

선박 전력 시스템을 위한 가스터빈 시뮬레이터

최익찬, 이동춘
영남대학교 전기공학과

Gas Turbine Simulator for Shipboard Electric Power Systems

Ick-Chan Choi, Dong-choon Lee
Dept. of Electrical Eng., Yeungnam University

ABSTRACT

본 논문에서는 선박 전력 응용을 위해 가스터빈에 대한 Rowen 모델을 채택하여 유도 전동기로 그 특성을 모의하는 시뮬레이터를 개발하고자 한다. PSIM을 이용한 시뮬레이션 결과가 제시된다.

1. 서론

최근 선박에서 기계적 구동을 이용한 추진보다 전기적 구동을 이용한 추진으로 바뀌고 있으며, 이에 따라 선박에서 발전기의 사용도 증가하고 있다. 발전기를 구동하기 위해 주로 가스터빈을 사용하게 되는데, 이는 가스터빈이 부피가 작고 고속으로 회전할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문이다.

전기 선박에 대한 연구가 활발히 진행됨에 따라 선박내 발전기 및 배전 시스템에 대한 연구가 절실히 요구된다. 실제 가스터빈을 이용한 연구는 높은 고온 고압의 배기가스, 고속회전으로 인한 위험이 따르므로 이의 특성을 모의할 시뮬레이터 장치를 개발할 필요가 있다.

본 논문에서는 가스터빈 모델 중 이미 정확도가 검증된 Rowen 모델을 채택하여 그 동작 특성을 유도전동기를 통해 구현하고자 한다. PSIM 시뮬레이션 결과가 제시된다.^[1]

2. 가스터빈 구성

본 장에서는 가스터빈의 대표적 모델인 Rowen모델의 구성에 대해 기술한다.^[2] 그림 1은 가스터빈의 Rowen 모델을 나타낸다. 여기에 사용된 상수는 표 1에 보인다.

2.1 LVG (Low Value Gate)

LVG는 속도제어, 가속도제어, 온도제어의 세 출력 값을 비교해 가장 작은 값을 선택하여 필요한 연료량으로 정한다.

2.2 속도 및 가속도 제어

3개의 제어기 출력 값에서 일반적으로 속도 제어의 출력 값이 가장 낮기 때문에 가스터빈은 주로 속도 제어에 의해 동작된다. 가속도 제어는 가스터빈이 정지 상태에서 운전을 시작할 때만 동작한다.

2.3 연료제어

연료 제어부는 밸브 제어기와 연료 계통장치로 구성된다. 각 전달함수의 계수는 사용하는 연료 종류, 가스터빈 모델에 따라 달라질 수 있으며, 본 연구에서는 범용적으로 사용되는 계수를 선택하였다.^[4]

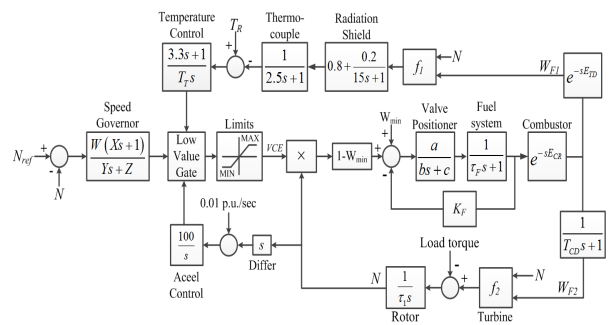


그림 1 가스터빈 Rowen 모델

표 1 Rowen 모델 파라미터 [3]

파라미터	값	파라미터	값
W	16.7	W _{MIN}	0.23
X	0.6	T _F	0.4
Y	1	K _F	0
Z	1	E _{CR}	0.01
MAX	1.5	E _{TD}	0.04
MIN	-0.1	T _{CD}	0.2
a	1	T _R	950°F
b	0.05	T _T	450°F
c	1	T _I	15.64

2.4 온도 제어

온도 제어부는 복사차폐, 열전대, 온도제어기로 구성된다. 정상상태에서 터빈의 배기가스 온도는 지령 온도보다 낮은 상태로 유지된다. 배기가스 온도에 해당하는 f₁의 식은 다음과 같다.

$$f_1 = T_R - 700 \times (1 - W_{f1}) + 550 \times (1 - N) \quad (1)$$

2.5 터빈-압축기

연료제어의 출력이 터빈-압축기의 입력으로 들어가고, 이에 따라 터빈의 출력 토크 f₂가 식(2)와 같이 결정된다.

$$f_2 = 1.3 \times (W_{f2} - 0.23) + 0.5 \times (1 - N) \quad (2)$$

3. 가스터빈 시뮬레이터

그림 2는 가스터빈 시뮬레이터의 제어 블럭도를 나타낸다. 지령 속도와 실제 속도를 피드백하여 생긴 오차를 그림 1에 제시된 가스터빈에 입력한다. 가스터빈의 속도 오차에 비례해

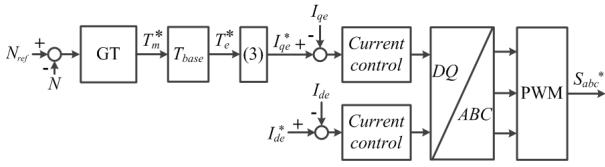


그림 2 가스터빈 시뮬레이터 제어 블럭도

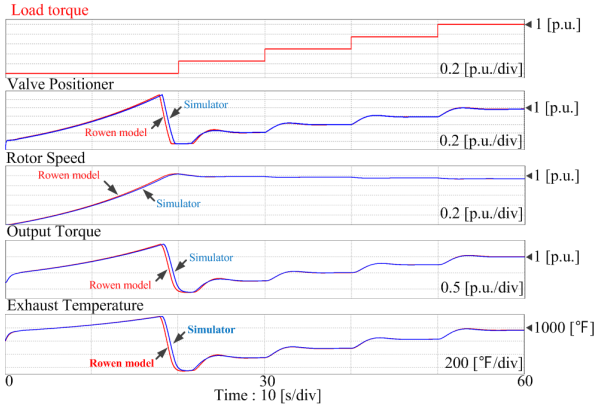


그림 3 Rowen 모델과 가스터빈 시뮬레이터 출력 비교

가스터빈의 출력토크 T_m^* 이 결정되는데, 가스터빈의 출력 토크에 유도기의 T_{base} 를 곱하여 유도기가 발생시킬 T_e^* 를 만든다. T_e^* 에서 식 (3) 식을 통하여 q-축 지령 전류 i_{qe}^* 를 생성한다. [5]

$$i_{qe}^* = \frac{T_e^*}{\frac{3}{2} \frac{P}{2} \frac{L_m^2}{L_r} i_{dc}^*} \quad (3)$$

4. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션에 가스터빈을 모의할 유도전동기의 용량은 5MW이며, 정격속도는 6000rpm이다. 유도전동기에 5MW의 PMSG를 연결하고 AC/DC PWM 컨버터를 통해 DC 링크 전압제어를 한다.

4.1 가스터빈 시뮬레이터 검증

그림 3은 부하 토크를 10초마다 0.25 p.u.씩 증가시킬 때 Rowen 모델과 가스터빈 시뮬레이터의 응답을 보인다. 그림에서 각각 부하 토크, 밸브 제어부, 회전자 속도, 출력 토크, 배기가스 온도를 비교하였다. 부하가 증가하면서 각 출력이 두 모델에서 똑같이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

4.2 PMSG 및 DC링크 전압제어

그림 4는 유도전동기에 5MW의 PMSG를 연결해 AC/DC PWM컨버터로 DC링크 전압을 1 p.u.로 제어하고, 10초마다 부하 전력을 0.25 p.u.씩 증가시킬 때 DC링크 전압 응답과 가스터빈 시뮬레이터 특성을 보인다. 그림에서 각각 부하전력, DC 링크 전압, 가스터빈 밸브 제어부, 회전자 속도, 출력 토크, 배기가스 온도를 나타냈다. 부하 전력이 증가할 때, 가스터빈 시뮬레이터 특성은 그림 3과 일치하며, DC링크 전압은 1 p.u.로 유지된다.

5. 결론

본 논문은 가스 터빈 모델 가운데 Rowen 모델의 특성을

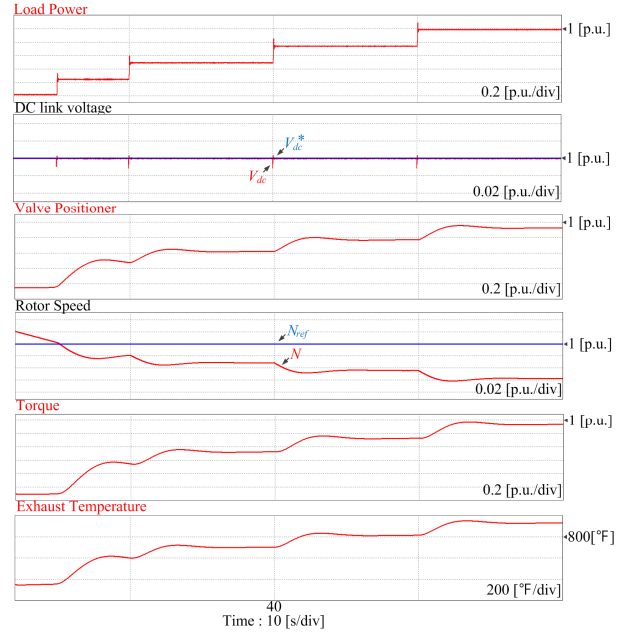


그림 4 부하 전력 변동시 DC링크 전압 제어 및 가스터빈 시뮬레이터 응답

5MW급 유도기를 통해 구현하였다. PSIM을 이용하여 Rowen 모델과 유도기를 이용한 가스터빈 시뮬레이터의 응답을 비교, 분석하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 제시한 가스터빈 시뮬레이터의 타당성을 검증하였고, 가스터빈 시뮬레이터와 PMSG를 이용해 DC링크 전압 제어를 확인하였다.

이 논문은 2014년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2014R1A2A1A11052748)

참고 문헌

- [1] S. K. Yee, J. V. Milanovic' and F. M. Hughes, "Overview and comparative analysis of gas turbine models for system stability studies," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol.23, no.1, pp.108-118. Feb.2008
- [2] A. A. Salam, A. Mohamed, M. A. Hannan, H. Shareef and M. Z. C. Wanik, "Performance evaluation of microturbine generation system for microgrid applications". In *IASTED International Conference on Modelling, Simulation, and Identification (MSI 2009)*, Oct. 2009
- [3] L. M. Hajagos and G. R. Berube, "Utility experience with gas turbine testing and modeling," Proc. of IEE PES Winter Meeting, Columbus, OH, Jan. 28 - Feb. 1, 2001, vol.1.
- [4] W. I. Rowen, "Simplified mathematical representations of heavy-duty gas turbines," *ASME J. Eng. Power*, vol. 105, pp. 865 - 869, 1983.
- [5] S. H. Kim and S. K. Sul, "Maximum torque control of an induction machine in the field weakening region," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 31, no. 4, pp. 787-794, 1995