

# 발전용 가스터빈 동적 거동 시뮬레이션 Tool 개발 및 해석

김정호\*, 김동섭\*\*†

\*인하대학교 대학원, \*\*인하대학교 기계공학과

## Development of Transient Behavior Simulation Tool and Analysis of Gas Turbines

Jeong Ho Kim\*, Tong Seop Kim\*\*†

\*Graduate School, Inha University

\*\*Department of Mechanical Engineering, Inha University

**ABSTRACT** : A program for analyzing the transient behaviors of industrial gas turbines was developed. Each component (compressor, combustor, turbine and ducts)of gas turbine is modeled as a fully module to enhance the expandability of the program. We used object-oriented programing for this purpose. The mass and energy balance equations are solved numerically by Multivariable Newton Raphson method. The characteristic maps for the compressor and turbine were used for predicting the performance of a gas turbine engine. Combustion in the combustor is assumed to be complete combustion, PID control is used to maintain constant rotational speed and turbine exhaust temperature by the control of the fuel flow rate and the changing of the compressor inlet guide vane angle at the same time. It was confirmed that stable control of the gas turbine was possible, even for a rapid load change.

**초 록** : 산업용 가스터빈의 동적 거동 해석을 위하여 시뮬레이션 Tool을 개발하였다. 시뮬레이션 Tool의 확장성을 향상시키기 위해 모든 가스 터빈 부품(압축기 및 연소기, 터빈, 덕트)을 모듈화하였다. 우리는 이 목적을 위해 객체 지향 프로그래밍을 사용했다. 질량 및 에너지 평형식은 다변수 뉴턴랩슨법을 사용하여 수치적인 해를 구했다. 가스터빈의 성능을 예측하기 위하여 압축기와 터빈의 성능선도를 사용하였다. 연소는 완전연소로 가정하였다. 가스터빈의 회전수와 터빈 배기 가스 온도를 일정하게 유지하기 위해서 PID 제어를 사용하여 연료량과 압축기 입구 안내각을 동시에 제어하였다. 가스터빈을 안정적으로 제어할 수 있었고 매우 빠른 부하 변화에도 대응이 가능함을 확인하였다.

**Key words** : Gas Turbine(가스터빈), Transient behavior(동적 거동), Performance Simulation(성능 모사), Control(제어)

### - 기호설명

- I : 로터 극관성 모멘트(kgm<sup>2</sup>)
- w : 각속도 (rad/s)
- t : 시간 (s)
- W : 출력 (MW)
- N : 회전수 (rpm)

### 1. 서론

가스터빈은 다른 발전 시스템보다 다양한 장점이 있기 때문에 신재생 에너지 세대에 전망을 가지고 있다. 풍력 및 태양열과 같은 주요 신재생 에너지는 시동 시간이 느리고 바람이 느려지거나 구름이 지나갈 때 전력생산이 급격하게 감소하는 결점이 있다. 급격한 전력 감소에 대응하여 신속하게 전력 변동이 가능한 가스 터빈은 신재생 에너지

† Corresponding Author  
kts@inha.ac.kr

의 변동하는 발전에 대응하여 전력 계통을 신속하게 백업할 수 있는 가장 신뢰할 수 있는 전원이다.

전력공급이 불안정하게 되면 가스터빈은 부하 변화를 신속하게 수행하여 상황을 해결한다. 이러한 급격한 부하 변동은 가스터빈의 터빈 블레이드 또는 열회수 증기 발생기의 고온 부품을 손상시킬 수 있다. 따라서 가스터빈의 과도상태를 정확히 예측하는 것이 중요하다.

개발된 동적 거동 시뮬레이션 프로그램은 확장성을 고려하여 모듈로 제작하였기 때문에 출력이 수십 kW인 마이크로 가스터빈뿐만 아니라 수백 MW인 대형 가스터빈까지 시뮬레이션 해석이 가능하다.

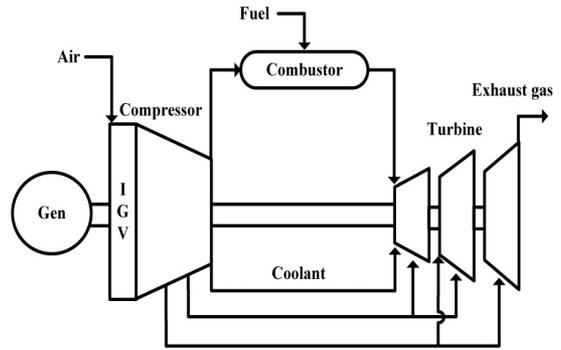


Fig. 1 Configuration of gas turbine

## 2. 본 론

### 2.1 설계 및 탈설계 모델링

본 연구에서 개발된 프로그램은 Mathwork 사의 Matlab[1]을 이용하여 가스터빈의 구성부를 모델링 하였다. 해석에 사용된 가스터빈의 모델은 270 MW급의 대형 가스터빈으로 선정하였다. Fig. 1은 가스터빈의 구성도이다. 과도상태의 해석을 수행하기 위하여 사용한 로터의 회전 관성식은 다음과 같다[2].

$$I \frac{d\omega}{dt} = (\dot{W}_{net} - \dot{W}_{load}) / \left( N \times \frac{2\pi}{60} \right) \quad (1)$$

과도상태에서 가스터빈의 순출력과 부하 사이의 불균형 때문에 로터의 회전 속도는 변한다. 부하 추종 운전에서 부하 변동은 스케줄로 입력하여 사용할 수 있다.

탈설계 해석에 사용되는 압축기와 터빈의 성능선도는 제작사에서 공개하지 않기 때문에 성능이 유사한 성능선도를 스케일링하여 사용하였다. 부하 변동에 따른 출력과 터빈 출구 온도를 제어하기 위하여 PID 제어를 사용하였다.

### 2.2 과도상태 해석 결과

제작사에서 제공하는 설계 조건을 이용하여 설계점 해석을 진행 하였고 오차범위 1% 내에서 잘 맞는 것을 확인하였다.

대형 가스터빈의 과도상태 운전 자료는 일반적으로 공개되어 있지 않다. 따라서 사용자가 입력하는 부하 시나리오를 잘 추종하는지 확인하기 위하여 과도상태 시뮬레이션

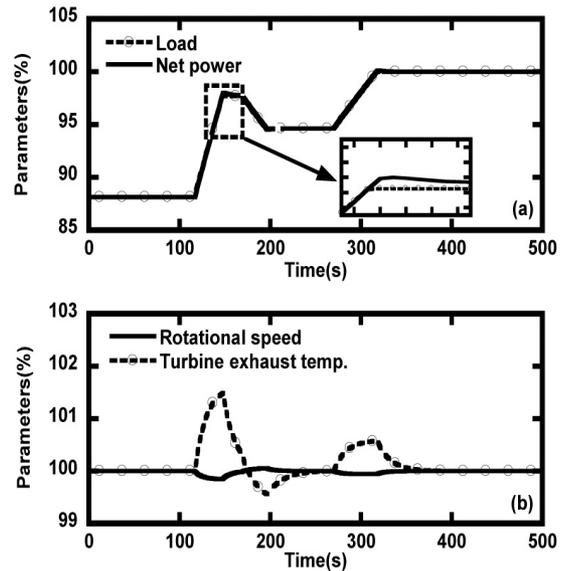


Fig. 2 Response to load profile: (a) Net power; (b) rotational speed and turbine exhaust temperature

해석을 진행하였고 해석결과는 Fig. 2에 나타내었다. 부하는 단계적으로 증가 및 감소시키는 운전을 수행하였다.

정상상태로 운전 중에 부하가 증가하게 되면 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 회전수가 감소하게 되고 터빈 출구 온도가 증가하게 된다. 회전수와 터빈 출구 온도를 일정하게 유지시키기 위하여 제어기에서 연료량을 증가시키고 입구 안내각의 각도를 조절한다. 로터의 회전을 관성으로 인하여 회전수가 오버슈트와 언더슈트가 발생하지만 빠르게 부하를 추종하며 회전수가 일정하게 유지된다.

### 3. 결론

가스터빈 동적 거동 해석이 가능한 시뮬레이션 Tool을 개발하였다. 본 연구에서 개발된 프로그램은 넓은 출력범위의 가스터빈 과도성능 해석이 가능하다. 시뮬레이션 Tool을 이용하여 해석한 결과, 대형 가스터빈을 안정적으로 제어할 수 있고 매우 빠른 부하 변화에도 대응이 가능함을 확인하여 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- (1) MathWorks, MATLAB ver R2016b, 2016.
- (2) Philip P. Walsh, Paul Fletcher, 2004, Gas Turbine Performance 2nd., Wiley, pp. 497.