

가스터빈 조속기의 안정도 해석을 위한 PSS/E 모의 실험

최인규, 김종안

한국전력공사 전력연구원

A Simulation for Analysis of Stability of Gas Turbine Governor using PSS/E

In-Kyu Choi, Jong-An Kim

Korea Electric Power Research Institute

Abstract

연료를 작동 유체의 내부 또는 외부에서 연소시켜서 발생된 고온 고압의 가스를 터빈에 공급하여 회전력을 발생시키는 원동기를 가스터빈이라 하며, 가스터빈을 이용한 발전기는 증기터빈을 이용한 발전기와 달리 기동 및 정지 시간이 대단히 짧고, 부하 변화에 대한 속응성이 뛰어나기 때문에 전력 계통 운용상 양수 발전기나 수력 발전기와 더불어 첨두 부하용으로 주로 사용된다. 본 고에서는 전력 계통에 병렬 운전 중인 가스터빈 발전기의 부하가 탈락되어 입력 에너지가 과잉으로 되었을 때, 제어 시스템의 중요한 파라미터인 연료량과 가스터빈 속도 및 배기가스의 온도가 비상 정지 수준에 도달하지 않고 안전하게 운전될 수 있는지의 여부, 즉 안정성을 판별하기 위하여 수행한 모의 시험에 대하여 기술하였다. 또, 부하가 탈락되지 않고 입력되는 연료량이 크게 변동하는 경우, 즉 큰 부하 변동을 모의 시험한 내용에 대하여 기술하였다

I. 서론

가스터빈 발전기의 주요 구성 요소는 그림1에 나타낸 바와 같이 압축기, 연소기, 터빈 그리고 발전기이다. 작동원리는 먼저 공기를 압축기로 압축한 후 연소기로 보내 고온 고압의 가스를 만들어서 터빈을 동작시키고 배기는 대기중에 방출

한다. 즉, 그림2에 나타낸 바와 같이 압축→가열→팽창→방열의 4개의 과정으로 이루어진다. 압축기는 대기를 흡입하여

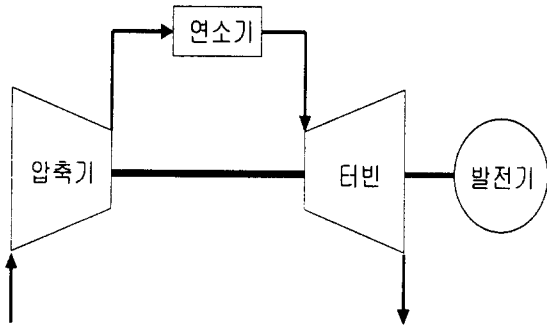


그림1 가스터빈 발전기 개요

압력을 상승시킨 후 연소기로 보낸다. 즉, 연료의 연소에 필요한 산소를 공급하는 역할을 하며, 단열압축 과정이므로 온도가 상승한다. 연소기는 압축기에서 유입된 고압의 압축공기를 연료(LNG 또는 경유)와 혼합, 연소시켜 높은 에너지의 연소가스를 만든다. 등압가열 과정으로서 연소가스 온도를

터빈의 급

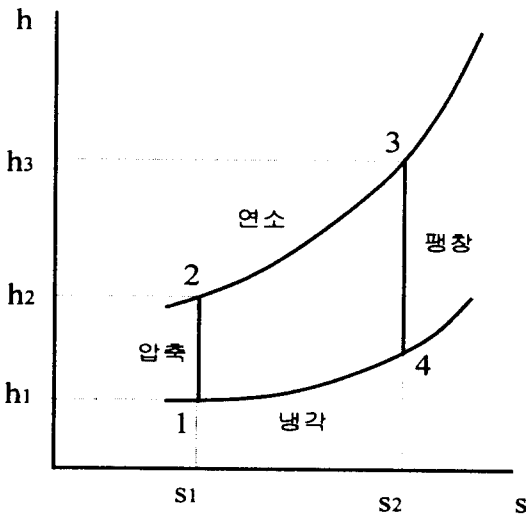


그림2 단순 가스터빈 사이클

속이 견딜 수 있는 온도까지 상승시킨다. 연소기에서 나온 고온 고압의 연소가스가 팽창하면서 터빈의 회전날개에 충동력과 반동력을 주어 기계적인 에너지로 변환된다. 정상운전시 터빈에서 발생된 기계적 에너지는 압축기에서 공기를 압축하는데 필요한 에너지로 공급되며 나머지는 발전

기를 구동하여 전기에너지, 즉 전력으로 변환된다. 이 과정은 단열팽창 과정으로서 가스의 압력과 온도가 떨어지며, 배기가스는 대기로 방출된다. 이러한 가스터빈 발전 시스템은 서인천, 안양, 북제주, 울산 등의 발전소에서 운전하고 있다.

II 가스터빈 제어 개요

그림1의 터빈 속도 및 출력을 제어하는 조속기 부분의 입출력 신호의 상호 관계를 그림3에 표시하였다. 속도/부하 제어부에서는 부하 기준값과 속도 편차를 입력으로 하여 연료 요구신호(FD)를 연료/공기 제어부로 출력한다. 연료 제어부에서는 연료 요구 신호와 가스터빈 입·출구 온도 및 속도를 입력으로 가스터빈으로 유입되는 실제 연료량 조절신호(FC)를 발생한다 가스터빈의 내부에서는 입구온도, 속

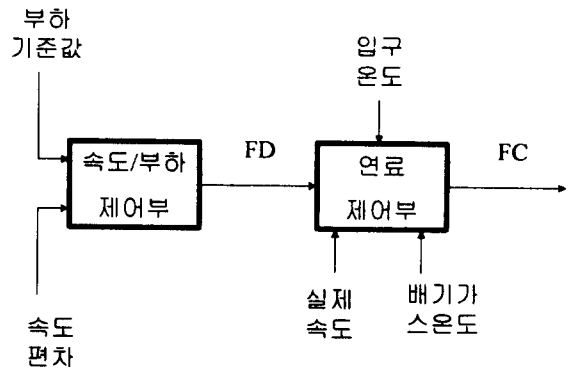


그림3 가스터빈 제어 개요도

도 편차, 공기량 및 연료량 등에 의하여 기계적 회전력이 발생된 후, 배기가스는 대기로 방출된다.

III 입력 데이터와 블록선도

본 고에서는 군산화력에서 운전중인 가스터빈을 대상으로 모의시험을 실시하였고 이를 위한 입력 데이터는 1991년도 한국전력 국제

입력 데이터	값	값
R	속도 조정을	0.05
T1	조속기 시정수	0.4sec
T2	연소기 시정수	0.1sec
T3	배기가스 온도 시정수	3sec
KT		2.0
Vmax	최대 연료밸브 개도	1.0
Vmin	최소 연료밸브 개도	-1.0

표1 입력 데이터

고서인 “발전기 제어계 특성조사 및 적정 파라미터 선정에 관한 연구”의 최종보고서에서 발췌하였으며 표1과 같다. 그림4을 보면 부하 기준값과 속도편차에 의해 조속기가 제어된다. 즉, 그림3의 속도/부하 제어부는 부하 기준값과 속도 편차를 입력으로 설정한 것이다. 또, 조속기에는 T1의 시정수가 존재하며 연료밸브의 개도를 출력으로 설정한다. 이 값은 상한 및 하한값을 가지도록 정하였다. 연료밸브 개도에 의해 연료량이 T2의 시정수를 가지고 부하 기준값을 추종하게 되고

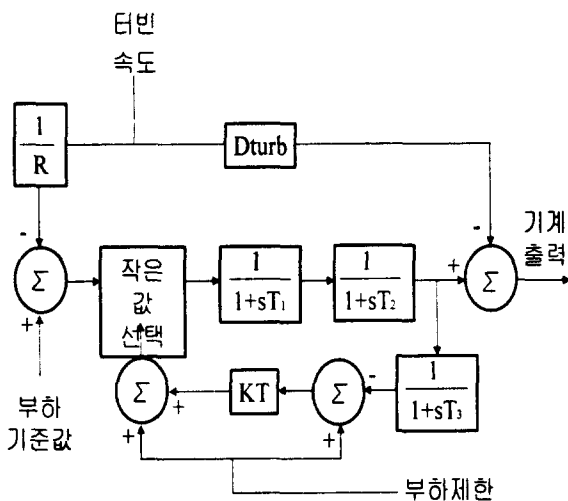


그림4 제어 블록선도

무시하면(Dturb=0), 이 값이 기계적 동력으로 된

다. T3은 배기가스 온도 시스템의 시정수이고 이의 출력은 배기온도가 된다. 부하 제한(Load Limit) 기능은 정상 운전 중 출력의 과도한 상승, 즉 연료밸브 개도의 과도한을 억제하는 기능으로 여기서는 필요하지 않은 기능이다.

IV 모의 시험

본 절에서는 입력 데이터와 블록선도를 이용하여 이용하여 전부하 탈락 및 부하 기준값이 크게 변동하는 부하변동 시험에 대하여 실시한 모의 시험 내용을 기술하였다. 가스터빈이 정상적인 운전을 하기 위해서는 연료밸브의 개도와 이에 따른 연료량, 터빈과 직결된 동기 발전기의 속도, 그리고 터빈에서 동력을 발생시킨 후 대기로 방출되는 배기가스의 온도 등이 조속기와 관련하여 제어의 안정성을 가늠하는 중요한 변수이다. 따라서, 전부하 차단 및 부하 변동시 이들의 변화에 대하여 기술하였다

먼저 각 변수들의 초기치는 표2와 같다. 조속기와 관련된 연료밸브 개도, 연료량, 배기 온도는 정상 상태에서 부하 기준값과 동일한 값을 가지게 된다. 이는 블록선도로부터 바로 알 수 있다. 전부하 운전 중인 정상 상태에

항 목	초기치
속 도	1.0pu
연료밸브 개도	0.6955pu
부하 기준값	0.6955pu
연료량	0.6955pu
배기가스 온도	0.6955pu

표2 군산 가스터빈 초기치

속도 편차가 0이고 기계적 입력은 0.6955pu으로 연료량과 같다. 연료량의 미분값은 0이 되므로 이런 조건으로부터, 역시 조속기내의 다른 상태 값도 0.6955pu가 된다. 그리고, 연료량의 변동이 없으면 배기가스 시스템의 입력이 0.6955pu이므

로 이의 출력도 0.6955pu가 된다. 그러므로 작은 값 선택회로에 입력되는 값은 $(1.0 + KT * (1 - 0.6955)) = 1.608pu$ 가 된다. 그런데, 정상 상태에서 속도 편차가 없으면 부하 기준값이 0.6955pu 이므로 작은값 선택회로의 최종 출력은 1.608pu 와 0.6955pu 중 작은값인 0.6955pu로 된다

가. 전부하 차단

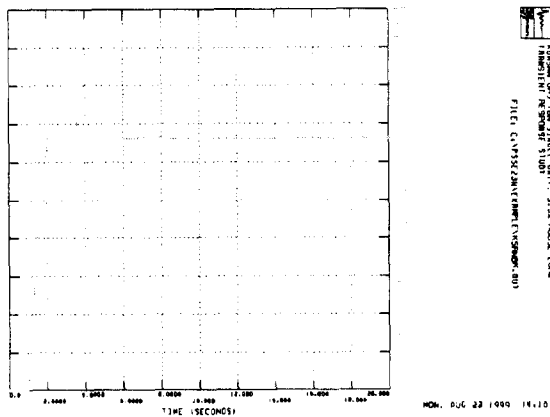


그림5 속도 변화

전부하 차단을 1초 만에 발생시킨 후, 즉 가스터빈에 의하여 구동되는 동기 발전기의 주차단기를 1초에 개방한 후, 가스터빈 속도의 변화를 그림5에 나타내었다

최대 속도 상승은 1.75초 후, 3.7%로서 정격속도는 3600rpm이므로 3733.2rpm까지 상승하고 안정되는 속도, 즉 정정속도는 3.32%로 3719.5rpm이다. 이는 과속도에 의한 비상정지속도인 10% 속도 즉 3960rpm을 초과하지 않으므로 전부하 차단시 과속도에 비상정지는 발생치 않을 것으로 추정된다.

그림6에 조속기와 관련되는 중요한 변수들의 변화를 나타내었다. 이를 분석해 보면 과속도를 감소시키기 위해 연료량은 지수 함수적으로 급속히 감소하며, 배기가스 온도는 서서히 감소하여 17초 이후에는 안정화되는 양상을 나타내고 있다.

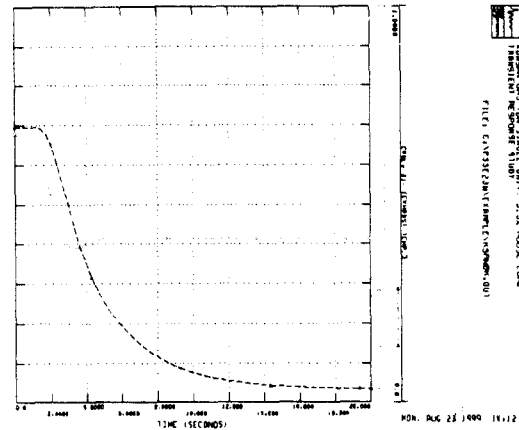


그림6 연료량, 배기가스 온도

위의 군산 가스터빈 발전기의 전부하 차단 모의 시험 결과 과속도에 의한 비상정지를 방지하기 위한 조속기의 제어 상태는 양호하게 나타났다..

나. 부하 변동

가스터빈 발전기의 동적 특성을 알아보기 위하여 부하 변동 시험에 대한 모사를 실시하였다. 모든 초기치는 전부하 차단시와 동일하게 하고 부하 기준값을 0.14%/sec의 속도로 30초 동안 감소시켜 보았다. 이 때의 부하 기준값은 그림7과 같이 0.6955pu에서 0.6534pu로 감소하였다. 부하 기준값은 감소하여도 발전기가 전력 계통에 병렬로 운전되고 있으므로 가스터빈의 속도는 거의 변하지 않는 것으로 파악되었으며 연료량 과 배기가스 온도는 약간,

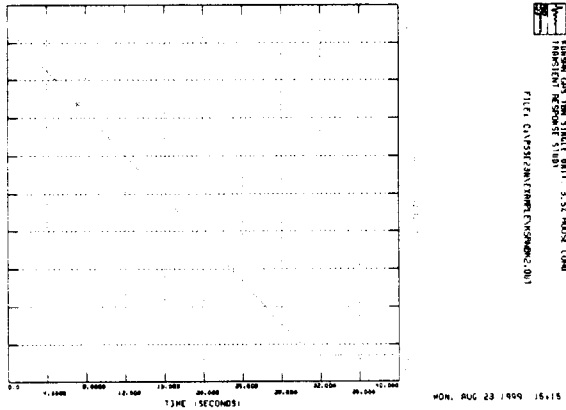


그림7 부하 기준값의 변동

의 시간지연을 가지며 부하 기준값을 추종하는 양상을 나타내었다. 이를 나타낸 것이 그림8이며 여기서 직선으로 나타난 부분이 연료량이다. 그림8을 살펴보면 연료량의 시정수는

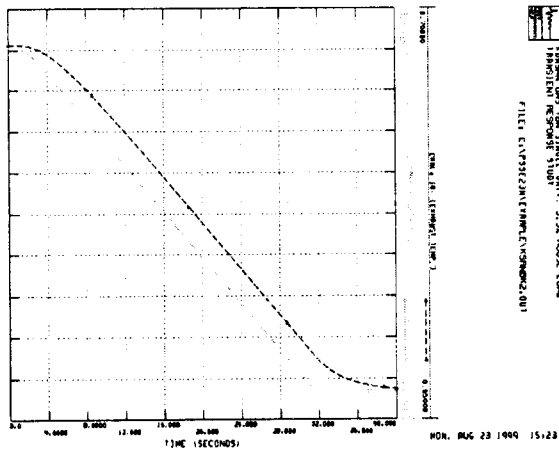


그림8 연료량, 배기가스 온도

0.1sec로 대단히 빠르게 변화하나 배기가스 온도의 시정수는 3sec로 응답이 대단히 늦음을 알 수 있다. 이는 온도 프로세스의 특성을 고려하면 당연한 결과이다.

IV 모의 시험 결과 고찰

지금까지 군산화력 발전소의 가스터빈 발전기를 대상으로 전력계통 해석용 프로그램인 PSS/E(Power System Simulator for Engineer)

에서 제공하는 GAST 모델을 이용하여 전부하 차단과 부하변동 시험에 대한 모사를 실시하여 보았다. GAST는 가스터빈 조속기를 매우 간단하게 모델링한 프로그램이나, 이를 이용하여 가스터빈 제어용 프로그램 설계에 매우 유용한 정보를 얻을 수 있었다. 최악의 운전 전부하 차단 시에도 최대 속도 상승은 3.7%로서 과속도에 의한 비상정지 속도에 도달하지 않으며, 또한 배기가스 온도도 상당히 안정되어 있다는 결과는 단적인 예이다. 현재 군산화력 가스터빈 조속기 모델에 대해 가지고 있는 데이터는 GAST로써 이를 이용하여 현장에 적용할 모의 제어기를 제작하기에는 부족한 점이 많다. 한 가지 간단한 예를 들면 GAST 모델은 공기량과 기동 및 정지에 관한 내용이 생략되어 있다. 향후 추진해야 할 사항으로는 다른 가스터빈 발전소 운전 데이터의 계속적인 수집, 운전 절차 파악, 각 발전소의 특징과 데이터와의 상관 관계 분석 등을 들 수 있으며, 이의 추진에 따라 가스터빈 모델링 및 모의 시험의 정확도가 향상되고, 시스템의 동특성 예측 기술 등의 향상이 가능하며 이러한 결과를 가스터빈 제어시스템의 설계에 반영할 수 있으리라 생각된다.

참 고 문 헌

1. 발전기초V - 한국전력공사 발전교육원, 1996
2. 발전기 제어계 특성조사 및 적정 파라미터 선정에 관한 연구, 한국전력공사 전력연구원, 1991
3. 가스터빈 운전지침서, 군산화력
4. 기력터빈 디지털 제어시스템 개발 중간보고서, 전력연구원, 1998