

200MW급 가스터빈 조속기 응답특성에 대한 연구

한영복* · 남강현** · 김성호***

A Study on the Response Characteristics of 200MW Gas Turbine Governor System

Young-Bok Han* · Kang-Hyun Nam** · Sung-Ho Kim***

요 약

국내 전력계통에 부하추종운전 중인 가스터빈 발전기들은 정격 주파수 유지에 큰 역할을 하고 있지만 종종 주파수 제어가 불량한 경우도 발생한다. 이에 가스터빈 속도제어 장치인 조속기의 제어 특성을 살펴보고 고장 유형을 분석한 후 사안 별로 대책을 제시하였다. 그리고, 가스터빈은 연료제어의 빠르기에 따라 주파수 회복에는 도움을 되지만 연소실 온도가 급격하게 변동하고 연소진동이 발생하는 등 안정운전을 저해하는 요소로 작용하기도 한다는 것을 조속기 응답시험을 통해 확인하였다. 따라서, 안정적인 전력품질을 유지하기 위해서는 철저한 설비관리를 수행하고 비례 적분 미분 제어방식에 4차산업의 핵심분야인 기계학습 알고리즘이 융합된 조속기 제어방식의 연구 필요성이 대두되었다.

ABSTRACT

Gas turbine generators in load-following operation in the domestic power system play a major role in maintaining the rated frequency, but often have poor frequency control. Therefore, after examining the control characteristics of the governor, which is a gas turbine speed control device, and analyzing the failure types, countermeasures were suggested for each case. In addition, it was confirmed through the governor response test that the gas turbine helps in frequency recovery depending on the speed of fuel control, but also acts as a factor impeding stable operation, such as rapid fluctuations in combustion chamber temperature and combustion vibration. Therefore, in order to maintain stable power quality, there was a need for thorough facility management as well as research on the governor control method in which the traditional PID control method and the machine learning algorithm, a core field of the 4th industry, were fused.

키워드

Frequency, Gas Turbine, Governor, Load Following Operation, Generator
주파수, 가스터빈, 조속기, 부하 추종운전, 발전기

1. 서 론

최근 세계 전력시장은 온실가스 감축을 위한 노력

으로 석탄화력발전소의 비중을 줄여나가고 있으며 이를 대체하기 위한 에너지원으로 신재생이나 천연가스 발전기의 비중을 높여가고 있다. 국내에서도 에너지

* 한국중부발전(주) (hyb0411@naver.com)

** 교신저자 : 대전대학교 전자정보공학부

*** 군산대학교 IT정보제어공학부(shkim@kunsan.ac.kr)

• 접수일 : 2022. 06. 30

• 수정완료일 : 2022. 07. 21

• 게재확정일 : 2022. 08. 17

• Received : Jun. 30, 2022, Revised : Jul. 21, 2022, Accepted : Aug. 17, 2022

** Corresponding author : Kang-Hyun Nam

Department of Electronic Engineering, Daejin University

Email : khnam@Daejin.ac.kr

전환정책에 따라 석탄화력발전소는 축소하고 복합발전설비는 증가하기 시작하여 현재, 155대의 가스터빈이 계통에 연계되어 전기를 생산하고 있으며, 가스터빈 설비용량은 25,987MW(22.4.25)로써 국내 전체 발전량의 약 20%를 차지하고 있다[1]. 이와 더불어 국가 에너지분야 경쟁력확보 차원에서 국책 연구과제를 통해 270MW H급 대형 가스터빈을 개발하여 실증시험을 수행하고 있으며 2023년부터 상업 운전을 시작할 예정이다.

가스터빈 발전기는 설비 특성상 기동·정지가 쉽고 주파수 변화에 대한 속응성이 빨라서 주로 첨두 부하를 담당하고 있다[2]. 즉, 전력계통에 연계된 가스터빈이 주파수 제어를 위한 부하추종운전 상태에서 대용량의 발전기가 불시에 정지되었을 때 발전출력을 빠르게 증가시켜서 계통 주파수를 신속히 회복시키는 역할을 하고 있다. 그러나 간헐적으로 가스터빈 제어 계통에 고장이 발생하여 계통주파수 회복에 기여하지 못하고 오히려 전력품질을 저하시키는 경우도 있다. 따라서, 본 논문에서는 가스터빈의 특징과 속도조정을 그리고 주파수 제어 기능에 관하여 살펴 본 후, 최근 5년간 대용량의 발전기가 전력계통에서 갑자기 탈락되었을 때 200MW급 가스터빈의 주파수 응답특성과 부하추종운전의 불량 사례를 분석하여 안정적 운전과 양질의 전력 공급을 위한 조속기 응답특성 방안을 검토하고 대책을 제시한다.

II. 가스터빈 제어

2.1 가스터빈 특징

가스터빈은 연소실과 터빈, 발전기 등이 하나의 축으로 이루어져 있으며 연소실에서 연료를 연소시켜서 발생한 고온과 고압의 가스를 직접 터빈에 공급하여 회전력을 발생시키는 원동기로서 내연기관에 해당한다. 보통 기력발전소 증기터빈의 발전기 출력제어는 터빈에 유입되는 과열증기 압력에 따라 크게 영향을 받지만 가스터빈에서는 가스연료의 압력 보다는 연소 온도에 크게 의존한다. 이러한 특징을 갖는 가스터빈은 주파수 변동에 대하여 연료 투입량을 신속히 제어

할 수 있기 때문에 증기터빈 보다 응답속도가 신속하다[2]. 또한, 증기터빈은 속도제어 루프에 비례제어를 병합한 형태의 제어를 사용하고 있으나, 가스터빈의 경우 여러 단계를 거치지 않고 발전출력을 직접 제한받아 연료량을 조절하는 형태의 비례적분 제어를 사용하고 있다.

2.2 발전기 속도조정을

전기의 품질은 전압과 주파수에 따라 좌우되기 때문에 전력거래소에서는 전력계통 망과 연계되어 전력을 생산하고 있는 발전사업자에게 부하추종 운전 및 자동발전제어(AGC) 운전 등의 계통운영 보조서비스에 대한 기준을 적용하여 정산금을 지급하고 있으며 계통안정을 위한 각종 시스템과 규정을 정하여 운영하고 있다. “전력시장 운영규칙”에 의하면 부하추종운전의 응답량 기준은 발전기별 속도조정을 특성에 따라 0.2Hz 주파수 변동시 응답 가능한 발전기 출력값을 의미하며, 발전원별 조속기 속도조정을 기준범위는 수력 및 내연 발전기는 3.0~4.0%, 가스터빈 발전기는 4.0~5.0%, 기력 발전기는 5.0~6.0%이다. 원자력 발전기는 그 특성을 고려하여 예외로 하고 있으며 기력발전기도 원자재 수급불안이나 제작사에 정해진 연료 설계범위를 초과 할 경우에는 예외로 할 수 있다고 명시되어 있다[3].

발전기 속도조정은 터빈 조속기 및 전기 저장장치에 주파수에 대한 응답특성을 나타내는 것으로서 정격출력, 정격주파수에서 순간적으로 무부하로 했을 때 주파수 상승분과 정격주파수와의 관계 비율로서 식 (1)과 같이 정의된다.

$$Ri = \frac{\Delta ft}{\Delta Pt} \cdot \frac{Pr}{fr} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

여기에서 Ri는 안정상태 경사 속도조정률[%]이고 Δft 는 구간 주파수변화[Hz]이며 fr 은 정격주파수[Hz]이다. 또한 ΔPt 는 구간대의 출력변화(MW)이고 Pr은 정격출력(MW)을 나타내는 변수이다.

2.3 발전기 주파수 제어

전력계통에 연계된 발전기는 규정 주파수인 60Hz로 동기화되어 발전하고 있으며, 이 발전기들은 터빈과 동일한 축으로 연결되어 있어서 터빈의 회전속도를 조정하여 주파수를 제어하고 있다[4]. 따라서 대용량 발전기가 계통에서 갑자기 탈락되었을 때 부하추종운전 모드로 운전되고 있는 가스터빈 발전기는 주파수와 비례관계인 터빈의 속도를 60Hz로 회복하기 위해 조속기는 발전기의 회전속도를 감지하고 주파수 편차에 대응하여 연료를 조절하여 주파수를 조절한다.

계통주파수가 변동하면 조속기는 피드백제어에 의해 계통주파수를 규정 주파수로 회복하기 위하여 발전기 출력을 제어한다. 그리고 발전기 출력은 속도조절률의 상수에 따라서 결정되며 조속기의 출력응답을 빠르게 하여 계통주파수의 하락을 방지하고 주파수를 일정한 범위내로 복귀시키는 구조로 되어 있다. 그리고 제작사마다 다르지만 조속기 관련 제어회로는 직렬형 PID 알고리즘 제어를 많이 사용한다[5]. 조속기 제어는 터빈에 들어가는 입력량을 조절해서 항상 같은 속도로 유지하는 제어장치로서 민감하게 반응해야 하지만 너무 민감해서도 안되는 장치이기 때문에 자동제어하기 어려운 부분이다. 즉, 조속기의 감도가 둔한 경우에는 계통 주파수가 변하여도 발전출력 변동량이 작아서 부하추종운전에 대한 응답력이 부족하게 되어 자동 주파수 제어의 역할을 못하게 된다.

2.4 가스터빈 조속기 제어방식

국내 발전설비로 운용 중인 가스터빈은 해외의 3~4개 기업에서 생산한 제품을 주로 사용하고 있으며, 분산제어설비(DCS)를 이용하여 가스터빈 연소실의 설정온도와 발전출력을 유지하기 위해 연소용 공기량과 연료량을 제어하고 있다.

가스터빈은 기동 후 전력계통과 연결되면 계통과의 동기속도로 회전하며 운전방식은 대부분 전력거래소의 지시에 따라 부하추종운전을 실시한다. 제어방식은 설정된 속도와 주파수를 유지하기 위해 조속기를 조절하고 있으며 실제 속도와 설정된 속도와의 차이 즉, 주파수 편차에 대해 비례적인 제어방식으로 연료량을 조절하여 목표값에 도달되도록 수행한다.

III. 부하추종 불량원인 사례 분석

3.1 개요

최근 5년간 국내 전력계통에 연계되어 운전되고 있는 200MW급 가스터빈 중에서 15대를 기준으로 하여 대용량 발전기가 탈락했을 때의 부하추종운전 상태 및 응답불량 원인을 분석해 보고자 한다.

표 1. 추종운전 불량원인 유형별 발생 건수

Table 1. Frequency tracking operation failure types

Power gen. output non-responsive	Following driving malfunction	Power gen. output haircu	EMS communication error	Relay malfunction
8 EA	6 EA	4 EA	2 EA	1 EA

가스터빈 15대에 대해 운전상태를 분석한 결과, 총 476회에 걸쳐 주파수 추종운전을 수행하였으나 운전상태가 불량하거나 기준에 미치지 못한 경우가 21회로 측정되었다. 불량원인에 대해 표 1과 같이 크게 5가지의 원인으로 분류할 수 있었으며, 이중에서 발전 출력 미응동(1~2MW 출력증발 포함) 횟수가 가장 많았다.

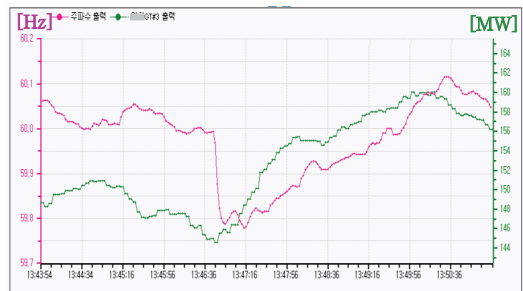


그림 1. 계통주파수 저하시 정상적인 추종운전
Fig. 1 Normal frequency tracking operation graph

그림 1은 국내 전력계통 주파수가 갑자기 저하할 때 가스터빈이 정상적으로 부하추종운전을 수행한 그래프이며 그림 2, 3, 4는 부하추종운전이 불량한 경우를 나타낸 그래프이다. 따라서 불량원인 유형별 발생 원인을 분석하고 실현 가능한 대책을 고찰해 보고자 한다.

3.2 발전 출력 미응동

가스터빈이 부하추중운전 중 대용량 발전기가 탈락하여 계통주파수가 저하되었으나 가스터빈이 신속하게 응동하지 못하고 발전출력이 거의 고정된 상태로 운전되고 있는 사례가 8건으로 가장 많았다.

그림 2는 가스터빈 기동계획 하루 전에 전력거래소에 가스터빈 최대가능 용량을 153MW로 입찰하였으나, 당일에는 기상변동으로 인하여 입찰량보다 낮은 149MW에서 최대출력으로 운전되고 있는 상태(Base Load 상태)에서 대용량 발전기가 탈락하였을 때의 가스터빈이 부하추중운전 상태를 실시간 기록한 그래프이다. 즉, 1일 전에 예측한 최대용량과 실제 시간대에 발전할 수 있는 발전량의 차이가 4MW 발생하여 관련 가스터빈이 부하추중운전에 미응동한 사례라고 볼 수 있다.

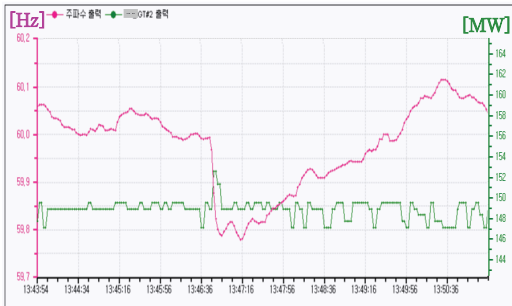


그림 2. 계통주파수 저하시 발전출력 최대 운전
Fig. 2 Full power operation when system frequency is lowered

일반적으로 가스터빈은 연소용 압축공기의 밀도에 영향을 많이 받고 있어서 일교차에 따라 발전출력의 변동이 큰 편이며, 200MW급 가스터빈은 대기온도가 1℃씩 변할 때 0.6~0.8MW 변동된다. 따라서 발전사업자가 전력거래소에 입찰할 때 각각의 가스터빈에 대한 성능과 가능출력을 정확하게 분석한 후에 최대출력용량을 정확하게 입찰해야 한다고 본다.

3.3 추중운전 동작불량

그림 3은 전력계통 주파수 저하시 가스터빈이 부하추중운전에 응동을 했지만 설정된 조속기 속도조절률에 미치지 못하고 발전출력이 서서히 상승하여 주파

수 회복에 정상적인 역할을 하지 못한 경우로서 유사 사례는 6건이었다.



그림 3. 계통주파수 저하시 출력상승 지연 운전
Fig. 3 Power delay operation when Frequency is lowered

제어회로에는 속도조절률이 4%로 설정되어 있었지만 가스터빈에 연료를 공급하는 제어밸브의 동작속도가 늦어 부하추중운전에 필요한 발전량이 부족한 사례로서, 제어계통이 정상적이었다면 계통주파수 저하 순간부터 27.5초 이내에 11.4MW 출력증발이 이루어져야 하지만 실제 응동량은 2.6MW 상승한 사례이다.

이러한 원인은 연료밸브를 교체하거나 밸브 내부 부품을 정비했을 때 반드시 연료 제어밸브의 특성시험을 수행하고 제어 파라미터를 조절하여 밸브의 동작속도를 조정하는 절차를 생략하였거나 제어밸브의 미세조정이 미흡하여 주파수가 크게 변할 때 응동특성이 불량한 상태로 운전되었다고 판단된다.

3.4 발전출력 감발

그림 4는 가스터빈 151MW에서 전력계통 주파수가 저하됨에 따라 156MW까지 상승하였으나, 연료량 제어밸브가 너무 빠르게 동작하여 연소실 온도가 설정값보다 20℃ 상승하여 보호회로가 동작한 경우로서 유사 사례는 4건이었다.

200MW급 가스터빈은 1300~1400℃의 고온에 견딜 수 있는 부품으로 구성되어 있지만 장기간 운전 시 고온 부품이 열화되어 주기적으로 교체하고 있는데 부품가격이 매우 고가이고 정비기간이 매우 길다. 따라서, 연소실 고온부품의 손상을 예방하기 위해 연소실의 온도와 관련된 보호회로는 민감하고 단계적으로

동작되도록 구성되어 있다. 연소실 온도가 상승하면 정보, 발전출력 감발, 발전정지 순으로 진행되며 연소기를 보호하도록 구성되어 있다.

가스터빈 출력 변동율은 제작사마다 약간 다르지만 6.5MW~12MW/분 정도로 설정되어 부하추중운전이 가능하도록 설계되어 있다. 가스터빈 연소온도와 관련된 보호회로 동작은 계절별로 대기온도에 적합한 연소제어계 조정이 미흡하거나 가스터빈 출력변동을 대비 속도조정이 너무 작게 설정되어 연료량이 순간적으로 급격하게 유입될 때 발생한다.

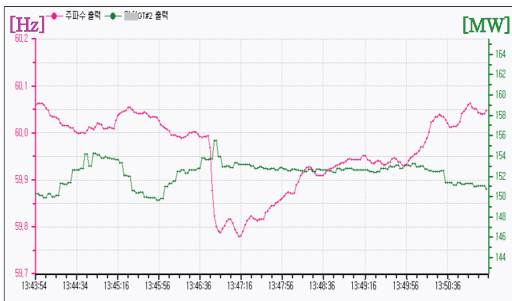


그림 4. 계통주파수 저하시 보호회로 동작 운전
Fig. 4 Protection active operation when the frequency is lowered

즉, 계통주파수 변동폭이 클 경우 출력요구량에 주파수 변화량이 더해져 큰 폭의 출력변화가 이루어지도록 설계된 제어회로에서 발생할 가능성이 높기 때문에 동특성 튜닝시 너무 빠른 응답에 주의를 해야 한다.

IV. 가스터빈 조속기 응답특성 시험

심야나 휴일 등 전력소비량이 적을 때 전력계통에 연계된 대형 발전기가 계통에서 갑자기 탈락했을 경우 계통 주파수는 약 0.2Hz 정도 저하된다. 이러한 상황을 모델링으로 하여 200MW급 가스터빈이 계통에 연계되어 운전되고 있는 상태에서 제어로직에서 주파수를 59.92Hz로 입력한 후에 가스터빈 조속기의 제어 특성에 따른 응답특성을 고찰하는 가스터빈 조속기 응답 특성시험을 수행하였다. 특성시험에 사용된 가스

터빈 발전기는 독일 S社 SGT-4000F 모델을 기준으로 하여 시험을 진행하였다.

이 모델의 속도/부하 제어기는 그림 5에 나타난 바와 같이 계통의 주파수가 변동되면 Droop Factor에 따라 자동으로 발전출력을 가감하게 되며, 이 Droop Factor는 계통의 주파수 변화에 따라 가스터빈 발전출력을 자동으로 조절하게 설정되어 있다.

4.1 가스터빈 발전기 운전특성 분석

가스터빈의 속도조정을과 관련된 제어회로에 주파수 편차 신호(0.8Hz/20초)를 입력 후 가스터빈 발전기의 출력변화를 분석한 결과, 기준 주파수 조정 상수값과 발전출력의 변화율을 계산하여 산출된 비례적분한 값보다 터빈에서 측정된 실제 속도를 주파수로 변환한 계통주파수의 시정수를 크게 해야만 발전출력 변화가 크게 변동됨을 알 수 있었다.

또, 터빈에서 실측한 속도인 Dynamic Frequency 보정값을 0.6으로 했을 때 연료량의 입력량이 순간적으로 많아지면서 발전출력이 빠르게 상승되고 연소실 온도가 높아짐을 알 수 있었다. 마지막으로, Ramp Function 내부에 있는 Dynamic Frequency 보정값을 크게 할수록 발전출력과 연소온도가 빨리 변하여 응답특성이 좋아졌으나 연소실의 연소온도가 제한값에 도달되었고 연소 불안정 현상이 발생하였다. 그리고 조속기 응동시험 후 주파수값을 현재의 상태값으로 원상 복구할 때 부분부하 구간에서 연소실의 일시적인 연소온도 불평형으로 발생하였으며, 이에 따른 연료 제어밸브의 일부 구간에서(38~43%)에서 미소한 채터링 발생함에 따라 발전출력값이 2~3MW Swing 현상이 나타났다.

4.2 주파수 Factor 변동에 따른 응동상태 분석

본 시험에서 사용된 독일 S사의 가스터빈 속도 제어를 블록도로 요약하여 표현하면 그림 5와 같다.

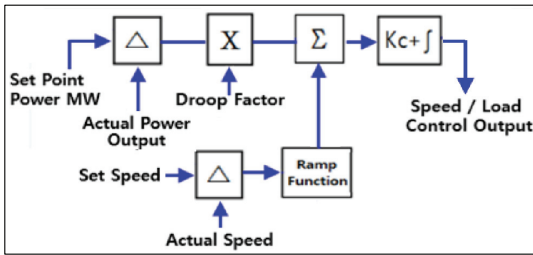


그림 5. 독일 S社의 속도 출력제어 흐름도
Fig. 5 German S's speed control system diagram

조속기 응동시험에 사용된 가스터빈의 제어 프로세스는 가스터빈의 실제 속도와 속도 기준신호의 차에 비례하여 기준신호를 변화시켜 계통주파수가 일정하게 유지되도록 연료량을 제어한다.

즉, 전력계통의 과부하로 인해 주파수가 저하할 때 가스터빈 속도제어 시스템에서는 Droop Factor 설정치에 비례해서 연료제어 기준 신호를 증가시키면 발전기 출력이 상승하여 주파수 회복에 기여하는 역할을 한다.[6]

그림 5의 흐름도 내부에 있는 X는 발전기의 Governor Droop 값을 계산하기 위한 함수로서 가스터빈의 속도기준 값을 생성하는 역할을 한다. 이 값은 Ramp Function 블록의 출력과 비교하여 편차를 계산하고 여기에서 발생된 편차는 비례적분 제어의 입력값으로 사용된다. 그리고 비례적분 제어기의 출력은 공기량 조절용 밸브의 개도 명령 값으로 사용된다.

그림 5에서의 Ramp Function은 부하추종운전의 응답속도를 조절하는 상수로서 발전출력량과 속도제어 특성에 큰 영향을 미치는 인자이기 때문에 속도조정률의 튜닝이 필요할 경우 이값을 조정해야 한다.

표 2. 주파수제어 시정수 변경시 출력 변동량
Table 2. Time constant change operation of control logic

Frequency Droop		-0.8Hz		
Ramp Function	Dynamic Frequency	0.03%/s	0.12%/s	0.20%/s
	Static Frequency	0.05%/s	0.20%/s	0.10%/s
Power Generator GF response	Reference Output (before the experi.)	134MW	127MW	127MW
	Variable Output (after the experi.)	139MW	140MW	146MW
	Variation in Power Gen. output	5MW	13MW	19MW

표 2는 가스터빈 속도제어와 관련된 Ramp Function의 상수 변경에 따른 발전출력간의 관계를 나타낸다. 계통주파수의 시정수를 0.8Hz 감소되게 하고 Dynamic Frequency의 Ramp 값이 0.03%/s로 설정되어 있을 때 발전출력은 134MW에서 1분 후 139MW로 5MW 상승하였으며, Ramp값을 0.20%/s로 설정하였을 때 가스터빈 발전기 출력이 기존보다 19MW 상승하였음을 나타낸다.

그림 6은 Ramp 함수의 정수값이 0.03%인 상태에서 발전기가 탈락되었을 때를 가정하여 가스터빈 운전 및 응답특성을 나타낸 그래프이다.

그림 7은 Ramp 함수의 정수값이 0.12%인 상태에서 발전기가 탈락되었을 때를 가정하여 가스터빈 운전 및 응답특성을 나타낸 그래프이다.

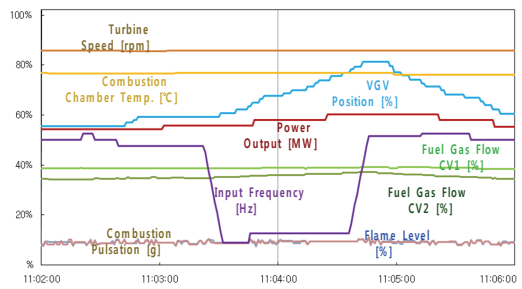


그림 6. Ramp값 0.03%일 때 가스터빈 운전 그래프
Fig. 6 Operation graph when ramp value is 0.03%

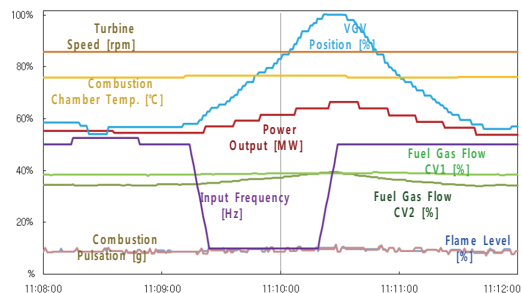


그림 7. Ramp값 0.12%일 때 가스터빈 운전 그래프
Fig. 7 Operation graph when ramp value is 0.12%

위의 시험에서 알 수 있듯이 가스터빈의 부하추종 운전은 조속기 제어량에 따른 연료 제어밸브가 얼마나 정확하고 동작하느냐에 따라서 주파수 응답에 대한 속응성과 정확도가 달라진다는 것을 확인하였다.

시험결과, 계통주파수 저하 시 가스터빈의 조속기 응답특성을 개선하기 위해서는 제어회로의 시정수나 Ramp 상수의 파라미터 변경을 통해서 해결이 가능하다 볼 수 있으나, 너무 빠르게 조정할 경우 순간적으로 연료량이 과다하게 주입되어 연소진동이나 연소실 온도가 상승하여 불안정이 발생할 수 있으므로 이러한 문제의 해결을 위해 연료밸브나 부하추종운전의 PID 제어방식에 대한 개선 등의[7] 추가적인 개선책이 필요하다.

V. 결론

본 논문에서는 국내에서 운전 중인 중인 가스터빈 발전기의 운전특성과 조속기 제어방식 등을 고찰해 보았으며, 대용량 발전기가 계통에서 탈락했을 때 200MW급 가스터빈의 부하추종운전 상태와 불량원인에 대해 분석하고 대책을 연구해 보았다. 또한, 가스터빈 운전 상태에서 주파수제어용의 시정수값 변경을 통해 가스터빈의 운전상태와 발전기의 발전출력과의 관계에 대해서도 분석해 보았다.

그 결과, 가스터빈 부하추종운전과 관련하여 연료제어밸브를 정밀하게 튜닝하는 기술은 쉽지 않지만 정확하게 고정해야 하고 최소한 분기당 1회정도 응답특성 시험을 해야만 부하추종운전의 신뢰성을 높일 수 있다고 본다. 그리고 국내의 전력산업 환경이 급속하게 바뀌어 감에 따라 신재생 에너지가 확대되고 있어 계통주파수 변동은 커질 수밖에 없는 구조로 변화가고 있는데 이러한 변화에 적절한 대응을 위해서는 한국전력 e-IoT(:energy-Inter[12]net of Thing) 플랫폼 연동[8]과 NFV(: Network Function Virtualization) MANO(: MANagement Orchestration) 모델[9]을 적용한 다양한 서비스 및 모니터링 등이 접목되어야 한다[10]

또한, 국내 전력계통의 주파수를 안정적으로 유지하고 비용을 절감하기 위해서는 가스터빈 발전기의 철저한 설비관리와 기존의 비례 적분 미분 제어방식의 PID 알고리즘 외에도 추가적으로 4차산업의 핵심 기술인 인공지능 분야의 기계학습[11] 알고리즘을 융합한[12] 가스터빈 조속기 제어방식도 연구되어야 할 것으로 판단된다.

References

- [1] H. Jeung, "Power Statistics Information System of EPSIS 2022," *the Korea Power Exchange*, vol. 7, Apr. 2022, pp. 5-6.
- [2] I. Choi, H. Woo, and Y. Lee, "Power plant turbine and power system frequency control," *Book Publishing Korea Electric Power Research Institute*, ch. 3, Nov. 2019, pp. 25-46.
- [3] H. Jeung, "Electricity Market Operation Rules," *the Korea Power Exchange*, vol. 20-5, Jan. 2021, pp. 185-198.
- [4] W. La, "Comparative analysis of speed and output control for load-following operation of power generators," *Proceedings of the 52nd Korean Society of Electrical Engineers Conference in 2021*, Seoul Korea, July 2021, pp. 1713-1714.
- [5] C. Lee and E. Kim, "Consideration and Analysis of PID Controller Power Plants," *Proceedings of the 50th anniver. of the KIEE Summer Conference*, Gangwon Korea, July 1998, pp. 43-44.
- [6] S. Lee, "Characteristics of Turbine-Generator Governor Droop through Graphs and Proportional Expressions," *2013 Journal of the Society of Lighting and Electrical Installations*, vol. 33, no. 5, Nov. 2013, pp. 33-38.
- [7] D. Paek, H. Cho, "The Current-Position Cascade PID Control of Delta-type Parallel Robot," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no. 2, Apr. 2020, pp. 273-283.
- [8] K. Nam, "Study on Smart Office Functionality Utilizing KEPCO Gateway" *J. of Korean Society for Internet Information*, vol. 11, no. 11, Nov. 2016, pp. 1107-1112.
- [9] K. Nam and M. Jang, "A Study on the Exploration Device of the Disaster Site Using Drones," *J. of Korean Society for Internet Information*, vol. 14, no. 3, June 2019, pp. 579-586.
- [10] K. Nam, "A Study on Yeong-san River Ecological Environment Monitoring based on IoT," *J. of Korean Society for Internet Information*, vol. 10, no. 2, Feb. 2015, pp. 203-209.

[11] J. Choi, "Performance Comparison of Machine Learning in the Prediction for Amount of Power Market," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 5, Oct. 2019, pp. 943-950.

[12] M. Cho "A Study on the History, Classification and Development Direction of Artificial Intelligence," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 2, Apr. 2021, pp. 307-312.

김성호(Sung-Ho Kim)



1984년 고려대학교 공과대학 학사
 1986년 고려대학교 공과대학 석사
 1991년 고려대학교 공과대학 박사
 1988년~1990년 고려대 생산기술 연구소 연구원
 1995년~1996년 Japan Hiroshima Uni. Post Doc.

1991년~현재 군산대학교 공과대학 IT정보제어공학부 교수

※ 관심분야 : 인공지능망, 피지 센서네트워크, 공장 자동화 및 오류검출

저자 소개



한영복(Young-Bok Han)

1993년 원광대학교 전기공학 졸업 (학사)
 1997년 전북대학교 전기공학 졸업 (석사)

현재 군산대학교 전자정보공학부 박사과정
 1993년~2002년 한국전력공사 근무
 2002년~현재 한국중부발전(주) (현재 복합제어기술부장)

※ 관심분야 : 인공지능, 피지제어, 공장자동화, PID 제어, 계측센서

남강현(Kang-Hyun Nam)



2003년 용인대학교 경영정보학과 졸업(이학사)
 2006년 경희대학교 대학원 정보통신학과 졸업(공학석사)
 2019년 군산대학교 대학원 컴퓨터정보공학과 수료(박사 수료)

현재 대진대학교 전자공학과 조교수
 1986년~2006년 삼성전자 Core망 개발팀 근무
 2006년~2013년 제주디지털콘텐츠연구센터 근무
 2013년~2017년 광주대학교 조교수 근무
 2017년~2021년 군산대학교 산학협력중점 교수 근무
 2013년~현재 산업통산자원부 이동통신분야 산업기술평가단 위원
 2015년~현재 정보통신기획평가원 정보통신 평가 위원
 2022년~현재 한국산업단지공단 클러스터 전문가
 ※ 관심분야 : 사물지능통신, 자율주행기술, MEC 가상화