

On-line 발전기 주파수응답시험 개발 및 적용에 관한 연구

오창수
전력거래소

곽월환
맥스파워(주)

Study on Development & Implementation of Online Generator Frequency Response Test

Oh Chang Soo Kwak Wol Hwan
Korea Power Exchange Max Power Co. Ltd

Abstract - Recently, Importance of Generator's Active/Reactive Power Control Capability is highly emphasized for prevention of Large Blackout. Especially, Generator's frequency Response Capability is important to the Power System Frequency Stability. This paper deals with the Development & Implementation of Each Generator Frequency Response Capability Test via the Injection of Artificial Frequency to the Online Generator. Actual On-line Generator's frequency Response Test was successfully implemented to 13 Generator having various fuel source.

1. 서 론

최근 들어 각국의 대형 광역정전 빈발로 전력계통 외란시 안정적인 전력 계통 운영을 위한 발전기의 계통기여 특성 규명 및 그 기여도의 측정/분류에 대한 중요성이 날로 강조되고 있다.

특히 전력계통 주파수는 계통에 접속되어 운전되고 있는 모든 발전기가 정상 또는 외란상태에서 필요량을 공급해 주어야 만이 적정 수준의 주파수 안정성 유지가 가능하므로, 개별 발전기의 주파수 응답성능이 매우 중요하다.

호주, 영국 등 전력시장이 발달한 국가의 경우에는 발전기의 주파수 제어 보조서비스의 성능을 계약하고, 그 기여량을 반영하여 계통운영에 활용하고 있는데 이 때 개별 발전기의 성능을 확인하기 위하여 온라인 응답시험 등을 활용하고 있다.

본 논문에서는 우리 계통에서 최초로 시행한 "온라인 발전기 주파수 응답시험"의 상세 절차와 그 적용사례를 논하고 있다.

2. 본 론

2.1 온라인 주파수 응답시험의 도입

2.1.1 배경

현재까지 국내 발전기의 주파수응답특성 분석방법은 실제로 계통 주파수가 저하되었을 경우 각 발전기의 출력변화를 기록하고 이를 분석하는 방식을 취하고 있다. 하지만 위 방식은 부정기적으로 발생하는 대용량 발전기 탈락시에만 확인이 가능한 수동적인 방식으로서 다양한 조건에서 발전기 주파수 특성을 파악할 수 없다는 한계가 있다. 반면, 주파수제어 보조서비스가 발달한 영국, 호주의 경우에는 측정대상인 단위 발전기에 개별적으로 모의 주파수 저하신호를 인가하여 모든 출력범위, 다양한 주파수 편차에 따라 발전기가 어떠한 방식으로 응답하는지 검증하는 시험을 주기적으로 시행하고 있으며, 이러한 특성을 바탕으로 상정고장시 주파수 예비력을 확보하고 있다. 우리의 경우에도 현행 주파수 제어 보조서비스 운영을 보다 선진화시키기 위해서는 해외와 같은 발전기 온라인 특성시험 방법론의 개발이 긴급하다고 하겠다.

2.1.2 온라인 시험 방법론

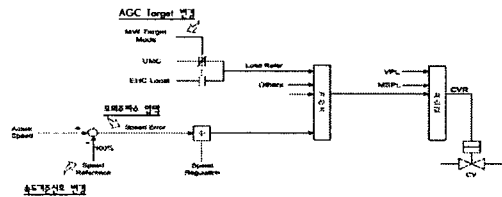
우리계통에서 현재까지 발전기의 속도제어 계통의 동작특성을 확인하는 시험은 발전소 계통병입전 전기안전공사에서 시행하는 발전기 과속도 보호장치(Overspeed Protection)의 동작시험뿐이었다. 이 시험은 발전기가 계통에 연계되어 있지 않은 상태에서 발전기 속도를 실제로 상승시켜 과속도 보호장치의 동작을 확인하는 시험으로, 단지 보호장치의 적정성만을 확인할 수 있는 한계가 있다.

발전기가 계통에 연결된 상태에서 발전기 주파수 응답특성을 확인하기 위해 연구한 첫 번째 방법은 발전기의 터빈속도 센서를 대체하는 Simulator를 제작하여 개별 발전기에 전형적인 모의 주파수 신호를 발생시키는 방법[1]이다.

실제 우리 계통에서 이와 같은 Simulator를 이용하여 분당복합, 신인천/서인천 복합화력 등에서 적용가능성을 시험해본 결과 각 발전소 터빈제어 시스템의 속도센서 입력회로가 상이하고 Simulator의 모의주파수 신호와 기존발전소의 속도신호 입력단을 상호 절제하는 과정에서 난관이 있어, 실제 정상운전중 시험시에는 발전기 불시정지를 초래할 위험이 있는 것으로 나타나 적용이 불가능한 것으로 판명되었다. 즉, 기존 발전설비 이외의 Simulator 등 외부장치 설치에 의한 온라인 시험은 불가하며 해외 시험사례를 벤치마킹하여 시험방안을 모색하게 되었다.

2.1.3 해외 시험방법의 응용

영국의 NGC사는 발전기 주파수특성 시험시 조속기와 Load Controller에 모의주파수 신호를 인가하는 것을 제안(캐나다 Kestrel Power Engineering사의 경우 터빈속도 제어로직의 속도제어 기준값 변경을 통해 시험)하고 있으며, 특히, 발전소 형태 및 신호 인가점의 접근성을 고려하여 여러 가지 다양한 주입방법이 채용될 수 있다고 제안[3]하고 있다. 이와 같은 시험방법은 정상적인 발전소 터빈 제어로직 상에서 모의주파수를 발생시키기 때문에 발전기 불시정지 위험없이 안전하게 시험이 가능하며, 터빈속도 제어시 기본적으로 활용되는 속도제어 기준값(60Hz)을 변경하므로 모든 발전소에서 적용할 수 있다. 하지만 문헌상에 구체적인 시험절차가 제시되어 있지 않고, 특히 발전소의 기존 속도제어 로직을 일부 변경 후 시험하여야 하므로 발전소 제어분야 전문가의 참여가 필수적이라 하겠다



〈그림 1〉 모의주파수 적용개요

위와 같은 해외사례를 벤치마킹하여 우리나라에서는 조속기 분야 중 가스터빈은 신인천복합, 스팀터빈은 당진화력측 제어분야 전문가의 기술지원으로 성공적으로 관련 조속기의 시험절차를 마련할 수 있었으며, Load Controller의 경우에는 전력거래소에서 자동발전제어(AGC) 목표값 송출 관련 시험절차[2]를 마련, 우리계통의 발전기에 성공적으로 적용하였다. 특히 가스터빈의 경우에는 별도의 시험로직을 신설, 터빈속도 기준값 대신 실제 터빈속도가 변화하는 것으로 모의함으로써 보다 정확한 시험이 가능하였다

2.2 온라인 시험절차 개발

2.2.1 모의주파수 적용

- 저주파수 시험범위 : -0.1 ~ -0.5Hz
- 해외 시험사례 및 터빈 저주파수 운전범위를 고려하여 59.5Hz (-0.5 Hz) 까지 시험을 시행
- 가스터빈 발전기를 제외한 기력 발전기는 연료공급후 출력이 변화하는 시정수가 1~2분여 소요되면서 보일러가 불안정하게 될 우려가 있어 주로 59.7Hz (-0.3Hz) 까지 시험
- 주파수 저하 시정수(기력)

주파수 편차(Hz)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
시정수(초)	2	3	5	7	8

- 실제 발전기 탈락시 계통특성과 기력 시험여건($\Delta f=0.1\%/1\text{초}$) 고려
- ※ 자유롭게 시정수 조정이 가능한 가스터빈은 실제 주파수저하시 통상적인 계통시정수인 2,2.6,8,10초로 적용하여 보다 정밀한 시험을 도모(기력 발전기도 시험로직을 신설시에는 가능한 사항임)

- 저주파수 지속시간 : 3분
- 스팀터빈 밸브개도제한(VPL) 및 가스터빈 온도제한(TEMP LIMIT) 등 발전기 출력제한요소 검증을 고려
- 저주파수 회복시간

주파수 편차(Hz)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
회복시간(초)	10	20	30	30	30

- 주파수 안정화 단계에서 나타나는 발전기 응답특성 규명

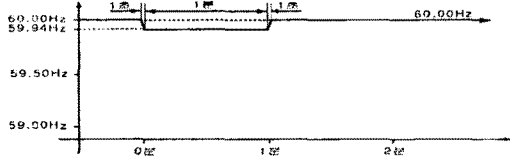
2.2.2 표준 시험절차

- 사전 조작 (발전소)
- AGC OFF 및 GOV FREE ON
- 발전소 Short Term Trend 및 Real Time Trend 설정
- DCS Max. Load Limit 105% 수준
- 속도제어 기준신호 상승값 변경 시행 (필요시)

○ 단계별 특성시험

단계	Speed Error (Hz)		시험 추이 (하강-지속-상승)
	변경전	변경후(예시)	
예비시험	0 (60Hz)	0.05 (59.95Hz)	1초-1분-1초
1	0 (60Hz)	0.1 (59.9Hz)	2초-3분-10초
2	0 (60Hz)	0.2 (59.8Hz)	3초-3분-20초
3	0 (60Hz)	0.3 (59.7Hz)	5초-3분-30초
4	0 (60Hz)	0.4 (59.6Hz)	7초-3분-30초
5	0 (60Hz)	0.5 (59.5Hz)	8초-3분-30초

- 1단계 시험추이 (예시)



- 발전기 Load Controller(AGC) 시험 -

- 사전준비 (중앙급전소)
- 시험발전기 AGC ON
- EMS TREND PLOT (SETPOINT, TARGET, 주파수)
- GEN FBIAS와 CHANGE REVERSAL를 0으로 설정
- 발전기 BPO MODE에서 목표값 설정준비(통신측 대기)

○ 단계별 특성시험

- 모의주파수 0.3Hz 인가 4초후 AGC 목표값 변경
- : 1단계:100→110MW, 2단계 : 100→130MW
- EMS Setpoint Filtering OFF후 상시시험 반복

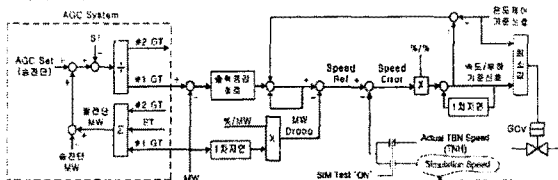
2.3 온라인 시험의 적용

2.3.1 대상 발전소 및 모의방법

구분	모의방법	
	터빈속도 기준신호	터빈 실제속도
기력	삼천포화력 5호기 하동화력 6호기 태안화력 3호기 당진화력 4호기	울산화력 4호기 평택화력 1호기 여수화력 1호기
가스터빈	-	보령복합 5호기 신인전복합 #13 G/T 부산복합 3호기 일산복합 5호기

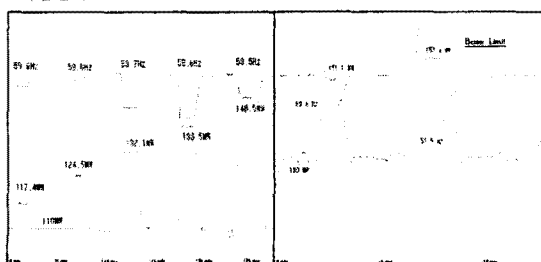
2.3.2 가스터빈 발전기

○ 제어로직



- 모의주파수 주입점 : 실제 터빈속도

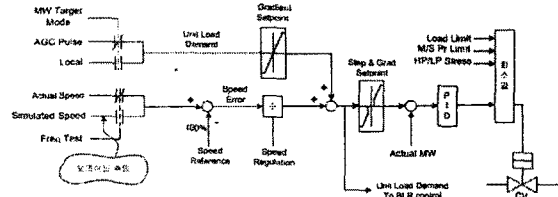
○ 시험결과



- 주파수저하시 발전기 출력변화량 : 7.23MW/0.1Hz (평균)

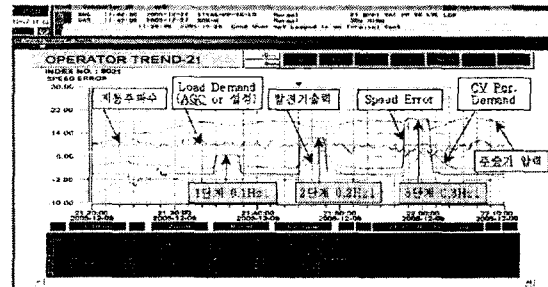
2.3.3 드럼형 스팀터빈 발전기

○ 제어로직



- 모의주파수 주입점 : 실제 터빈속도
- 이 발전기의 경우 2005년도 주제어설비를 Upgrade 하면서, 이번 시험과 관련하여 국내 발전소중 최초로 터빈 제어로직에 발전기 특성 시험(모의속도 주입) 회로와 발전기 특성시험 전용 운전용 화면을 설치함으로써, 향후 필요시 자체적으로 간편하게 발전기 특성시험을 실시할 수 있도록 함

○ 시험결과



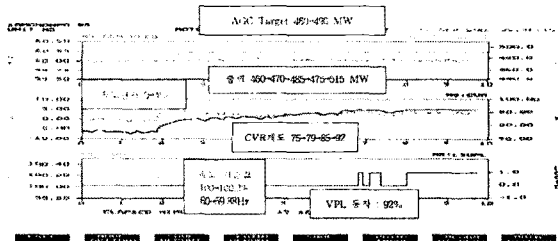
- 3단계 : Step 응답 150 → 155.7MW. Ramp 응답 170.4MW

2.3.4 관류형 스팀터빈 발전기

○ 제어로직 (그림1 참조)

- 모의주파수 주입점 : 터빈속도 기준값

○ 시험결과



- G/F 및 AGC 협제어에 따라 최대출력 기어

3. 결 론

본 연구를 통해 살펴본 "온라인 발전기 주파수 응답시험"은 발전기 정상 운전중 불시정지 위험없이 개별 발전기의 주파수 특성을 확인할 수 있는 국내 최초의 연구이다.

그리고, 실제 우리계통의 발전기 13대에 성공적으로 시험, 그 안정성을 검증받음으로서 향후 모든 발전회사의 주파수 응답성능 유지 및 개선에 활용될 수 있을 것이며, 특히, 시험을 통해 발전기별 성능을 계량화할 수 있어 향후 주파수제어 보조서비스 제도 개선시 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

현존 전력시장에서 계통측면의 신규서비스 개발은 전력시장 성숙에 큰 전기가 될 것으로 확신하며, 향후 관련연구를 지속적으로 개발하여 발전적인 전력산업을 지향하여야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 광원환,이강완,오창수 "발전기 부하추종성 시험용 주파수 Simulator 설계에 관한 연구" 추계 전기학회, 2004
- [2] 오창수,최영민,이윤기,이주호 "발전기 고장시 주파수 안정회복을 위한 AGC 개선방안" 추계 전기학회, 2005
- [3] G F Wood의 "Frequency Control in England and Wales - Generation Plant Frequency Control Service, 영국 NGC
- [4] Les Pereira의 "New Thermal Governor Model Selection and Validation in the WECC", IEEE PES, 2004