

임베디드를 이용한 터빈 발전기 조정을 모니터링 시스템 개발

장민규*, 전일영*, 이성근*, 김윤식*
한국해양대학교*

Development of Turbine Generator Speed Droop Monitoring System Using Embedded

Min-Gyu Jang*, Il-Young Jeon*, Sung-Geun Lee*, Yoon-Sik Kim*
Korea Maritime University*

ABSTRACT

This paper is about to develop a system to monitor speed droop rate characteristic of turbine governor for electric power plant.

High quality electricity can be obtained, and so electricity supplier get more profit through it. Developed system presents basis of judgement of unusual system and proper maintenance time for the governor and power plant.

1. 서 론

산업사회가 점차 발전함에 따라 향후의 전력수요는 점점 더 예측이 어려워지게 되고 대용량 전동부하가 급증하게 됨에 따라 전력의 고품질화는 갈수록 증가하고 있는 실정이다. 국내의 경우, 첨두부하를 거의 수력 및 양수발전에서 감당하고 그 용량 또한 상당한 편이어서 그 비중이 상당하다.^[4]

현재 전력산업은 전력거래소를 통한 전력거래 방식을 통하여 운영되며 발전전력 중 속도 조정율의 기여도에 따른 발전원가의 인센티브 계상 제도가 도입됨에 따라, 각 발전소의 조속기의 성능이 발전원가에 영향을 미치는 시대가 되었다.

국내의 계통전력은 과거와 달리 지속적인 원자력 발전소의 건설에 힘입어 2001년도의 경우, 계통 평균 전력은 크게 성장하였다. 그래서 이런 거대한 규모의 전력생산 품질유지 또한 갈수록 어려워지고 있는 실정이다. 통계적인 전력품질 기준으로 국내 계통 주파수 유지율은 약 0.05%이나 선진국들의 경우에는 대부분 0.02%를 유지하고 있다. 이러한 계통전력의 주파수 유지는 각 발전소 조속기의 성능에 따라 직접적으로 영향을 받는다. 따라서 전력계통의 주파수 조정에 따른 출력의 변동은 전력거래에 있어서 직접적인 발전원가 계상을 통한 원가

절상효과를 가져오므로 발전소의 적극적인 출력 조정운전이 요구되는 실정이다.^[5]

본 논문은 전력거래에 있어서 사업소 전력품질 개선의 영향을 직접적으로 확인 할 수 있는 시스템, 즉 발전소의 발전기 운전 중 전력계통의 전력품질 개선을 위한 터빈 조속기의 속도 조정을 특성을 실시간으로 감시하는 시스템을 개발하고자 한다. 그리하여 전력 수요자들에게 좀 더 양질의 전력을 공급하고 또한 발전 사업자는 발전원가를 통하여 수익의 증대를 얻을 수 있다.

2. 속도 조정을 운전

2.1 발전기 출력 제어

다음의 두 가지의 제어방식이 일반적으로 발전기의 출력제어에서 사용되고 있다.^[3]

- 정속 운전 제어모드 : Constant speed control
- 속도 조정을 제어모드: Speed droop control

이 중 속도 조정율(Speed droop) 제어모드는 전력 시스템의 속도(주파수)와 속도 설정값의 관계에 의하여 결정된다. 조정을 운전은 일정한 속도(주파수) 설정에 대해 설정과는 관계없이 일정한 안정상태 편차로 운전되는 것과 같은 효과를 가진다.

2.2 속도 조정율 특성

발전기가 계통전력에 동기된 후, 터빈의 속도는 시스템의 속도(주파수)에 고정되어 조정이 불가능하지만, 속도제어 시스템의 속도설정을 변경하는 것은 가능하다. 따라서 모든 제어기기들은 계통의 주파수가 하강할 경우에는 출력을 증가시키고, 주파수가 증가할 경우에는 출력을 감소시킨다.

터빈에 장착되어 있는 제어시스템 중, 기계-유압식이나 전기식 등 어떤 형태의 속도제어 메커니즘

이든, 항상 부하의 증가에 따라 속도설정을 약간 낮추는(Drooping) 특성을 지닌다. 속도 조정을(Speed droop; R)의 값은 발전기에서 속도(주파수) 대 부하특성으로 다음의 Fig. 1과 같이 나타난다.

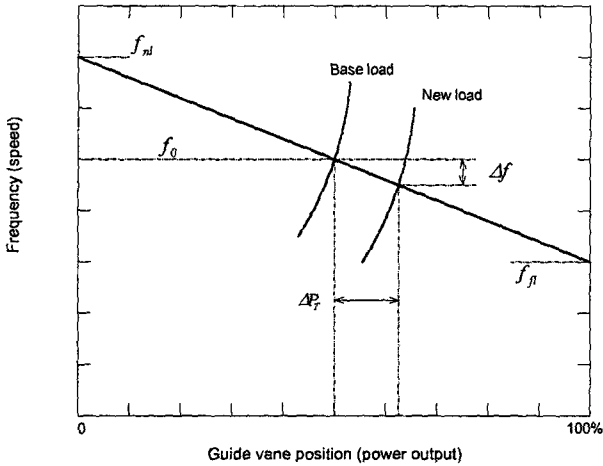


그림 1 속도 조정을 가진 제어시스템의 특성
Fig. 1 Characteristics of control system with speed droop regulation

이러한 속도 조정은 식 (2.1)과 같이 정의된다.

$$R[\%] = \frac{\Delta f(\Delta \omega)}{\Delta P} = \frac{f_{nl} - f_{fl}}{f_0} \times 100 \quad (2.1)$$

여기서,

f_{nl} : 무 부하 안정상태의 주파수
(Steady state frequency at no load)

f_{fl} : 전 부하 안정상태의 주파수
(Steady state frequency at full load)

f_0 : 정격 주파수(Rated frequency)

일반적으로 국내에서 침두 부하용의 속도 조정은 2~4[%]로 조정된다. 이는 발전기가 계통 병입 후 출력의 조정을 하지 않은 상태에서 계통의 주파수가 2~4[%] 하강하면 발전기의 출력은 발전기의 전 출력으로 조정되어 운전한다는 의미이다.

3. 시뮬레이션

특성시험을 위하여 VisSim으로 Fig. 2와 같이 제어시스템을 구성하였다. 조정을 운전특성을 시뮬레이션하기 위하여 동기운전 중 계통의 주파수를 변수로 임의 조정 하였다.^[1, 2]

시뮬레이션은 각기 다른 조정율로 운전되는 경우의 출력변동과 조정율 특성곡선을 확인한다.

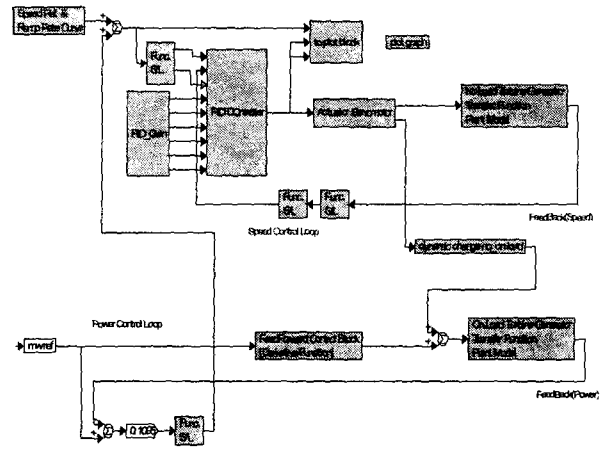


그림 2 조정을 특성시험을 위한 시뮬레이션 구성
Fig. 2 Simulation block diagram for speed regulation characteristics

3.1 조정을 응답 시험 (기준 출력 : 150 [MW])

조정을 운전을 시험하기 위하여 발전기 출력을 150[MW]까지 상승시킨 후 시뮬레이션을 행한다.

시험에서 계통주파수가 초기에 0.2[Hz] 낮아진 경우, 조정율이 5[%]인 시스템의 출력은 163.3[MW]에서, 조정율이 3[%]인 시스템의 출력은 172.8[MW]에서 안정되었다. 다음으로 계통주파수가 0.2[Hz] 더 낮아져 59.6[Hz]인 경우, 조정율이 5[%]인 시스템의 출력은 177.1[MW]에서, 조정율이 3[%]인 시스템의 출력은 194.4[MW]에서 안정되었다.

따라서 조정율이 작은 시스템일수록 계통안정에 기여한다는 사실을 확인할 수 있다. Fig. 3은 동일한 시스템에서 각기 다른 조정율을 가진 시스템의 계통주파수 변동에 따른 출력변동 특성시험의 그래프이다.

3.2 조정을 응답 시험 (기준 출력 : 0 [MW])

동일한 시험으로 0[MW]의 출력으로 운전되는 조건에서 계통의 주파수가 58.2[Hz] 즉, 1.8[Hz] (3[%]) 낮아진 경우의 시뮬레이션을 행한다.

Fig. 4의 시뮬레이션은 발전기가 계통과 동기된 상태에서 초당 0.1[Hz] 씩 계통의 주파수가 낮아져 58.2[Hz] (3[%])까지 낮아진 경우, 조정율이 각각의 3[%], 5[%]로 설정된 제어시스템의 응답을 시뮬레이션한 그래프이다.

Fig. 5는 조정율이 3[%] 설정된 시스템의 계통주파수 대 조정출력의 X-Y 그래프이다.

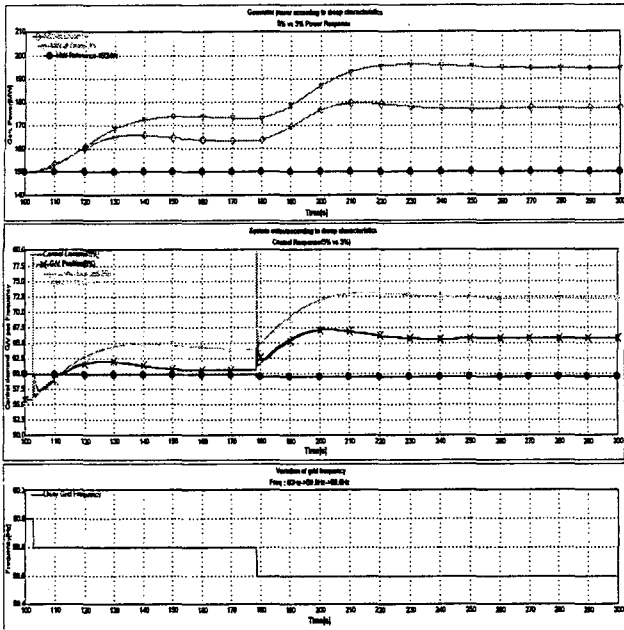


그림 3 3[%] 및 5[%] 조정을 응답시험
 (@150[MW], 0.2[Hz], 0.4[Hz])
 Fig. 3 Response test of speed droop at 3% and 5%
 (@150[MW], 0.2[Hz], 0.4[Hz])

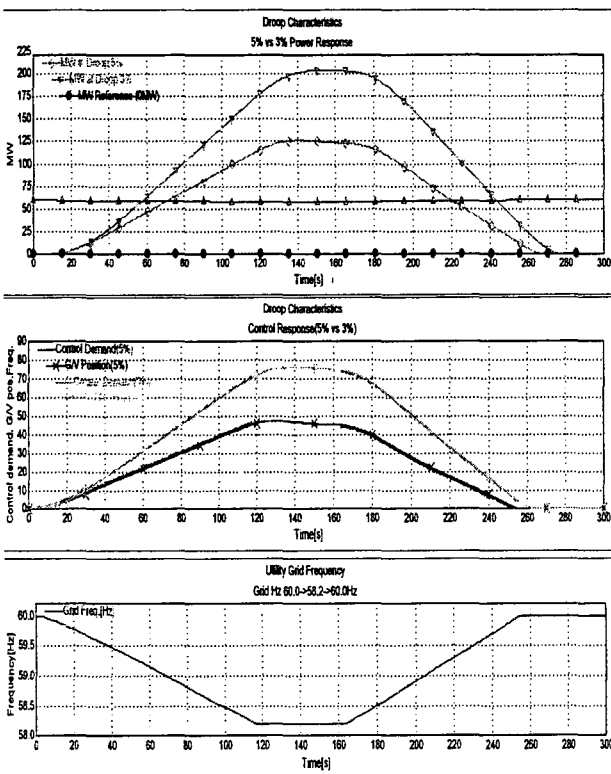


그림 4 3[%] 및 5[%] 조정을 응답시험
 (@[MW]설정, 1.8[Hz](3%)하강)
 Fig. 4 Response test of speed droop at 3% and 5%
 (@[MW] Reference, 1.8[Hz](3% droop))

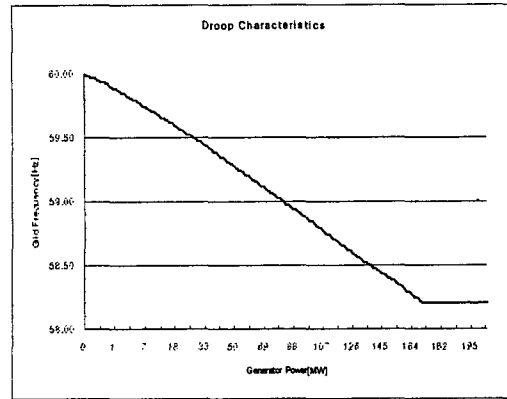


그림 5 3[%] 조정을 제어시스템의 조정을 특성곡선
 Fig. 5 Speed droop character curve of 3% speed droop control system

4. 실험 및 결과

하드웨어는 PC104버스의 CPU를 사용하고, 소프트웨어는 xPC Target을 사용하였다.

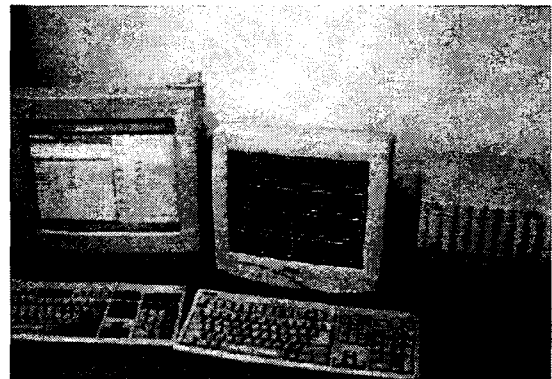


그림 6 조정을 모니터링 시스템
 Fig. 6 Speed droop monitoring system

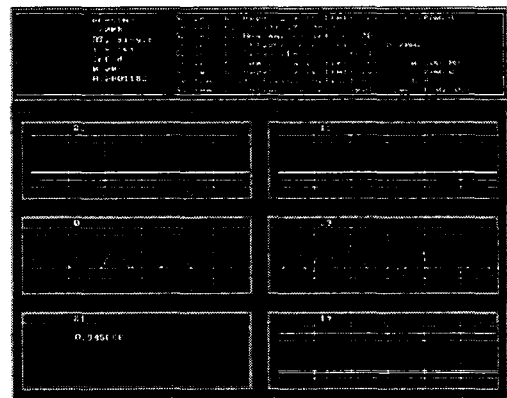


그림 7 조정을 모니터링 시스템 화면
 Fig. 7 Display of the speed droop monitoring

5. 결 론

모니터링 시스템을 사용하기 위해서는 운전 중인 가바나(governor)와 발전기가 필요하다. 그러나 실험실에서 이러한 장비를 갖추기는 쉽지 않기 때문에 시스템의 성능을 검증하기 위해 만족도(Satisfaction) 백터를 도입하였다.

가바나의 설정된 조정율에 대한 모니터링된 조정율의 비로 만족도를 나타낸다. 발전기의 MPU에서 나온 속도 신호와 발전기 출력 신호를 임의로 조정해 만족도가 100%가 나오도록 하였다. 발전기 출력값이 시뮬레이션한 값과 같은지 비교하였다.

4.1 조정율 시험 (150 [MW])

주파수 신호를 60.0Hz에서 0.2Hz 낮추었을 때 (59.8Hz), 만족도를 100%에 맞추기 위해 발전기 출력 신호를 조절하였다.

다시 0.2Hz 주파수 신호를 낮추었을 때(59.6Hz)도 마찬가지로 발전기 출력 신호를 조절하였다.

표 1 주파수 조절에 따른 발전기 출력 (Ref.:150[MW])
Table 1 Generator power VS. frequency

주파수[Hz]	발전기 출력 신호[MW]	
	3% Droop	5% Droop
60.2		
60.0	150 - Reference	
59.8	172.8	163.3
59.6	194.4	177.1
59.4		

4.2 조정율 시험 (0 [MW])

60.0[Hz]에서 0[MW]의 출력을 내고 있을 때, 58.2[Hz]로 떨어지면(3% Droop) 발전기는 전체 출력(200[Mw])을 내는 실험이다.

주파수 신호를 58.2Hz인 1.2V에 맞추고 만족도가 100%일 때까지 발전기 출력신호를 조절하였다.

표 2 주파수 조절에 따른 발전기 출력 (Ref.:0[MW])
Table 2 Generator power VS. frequency

주파수[Hz]	발전기 출력 신호[MW]
	3% Droop
62.0	
61.0	
60.0	0 - Reference
59.0	
58.0	200

본 논문은 발전소의 발전기 운전 중 전력계통의 전력품질 개선을 위한 터빈 조속기의 속도 조정율 특성을 실시간으로 감시하는 시스템 개발을 제안하였다.

시뮬레이션을 통해 발전기 출력을 150[MW]까지 상승시킨 후 시험을 행하고, 조정율이 작은 시스템일수록 계통안정에 기여한다는 사실을 확인할 수 있었다.

동일한 시험으로 발전기가 계통과 동기된 상태에서 발전기의 출력을 조정하지 않고 0[MW]의 출력으로 운전되는 조건에서 주파수가 58.2[Hz] 즉, 1.8[Hz](3[%]) 낮아진 경우의 시뮬레이션을 행하였다. 이를 통해 조정율이 3[%] 설정된 시스템의 주파수 대 발전 출력의 조정율 특성 곡선 그래프를 그릴 수 있었다.

시스템은 PC104버스를 사용하여 구성하였으며, xPC Target을 사용하여 어플리케이션을 코딩하였다. 또 실험의 타당성 검증을 위해 만족도 백터를 도입하였다. 가바나(governor)에서 설정된 속도 조정율과 모니터링된 조정율의 비로 나타낸다.

실험은 주파수 변동에 대한 발전기 출력을 만족도 100%에 맞도록 조절하였다.

결과값이 시뮬레이션한 값과 동일하였으며, 이를 통해 조정율 모니터링 시스템의 활용 가능성을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] A. W. Ordys, A. W. Pike, M. A. Johnson, R. M. Katebi and M. J. Grimble, Modelling and simulation of power generation plants, springer-verlag, 1994.
- [2] 권영훈, "PID 제어를 이용한 발전용 스팀터빈의 조속 알고리즘 및 디지털화에 관한 고찰", 한국해양대학교, 석사학위논문, 1998.
- [3] "Governing Fundamentals", Manual, No. TA-442, Woodward Governor Company
- [4] Rene J Bender, Power Generation System CmGrace Hill Book Company, 1967.
- [5] 정태환, Contral of Prime Mover Speed, 한국 전력공사 장비기획실, 1997.