

중용량 발전소 터빈 속도조정을 향상을 위한 연구

신윤오, 김종안
한국전력공사 전력연구원

The study of a medium power plants to Improve Turbine Speed Regulation

Shin Yoon Oh, Kim Jong An
KEPCO KEPRI

Abstract - The demand for the high quality of utility electrical power has been increasing rapidly in recent years because of today's electrical energy dependent industries and most people's everyday lives based on computer systems. However, electrical power supply conditions to meet this high quality demand becomes more difficult and more due to a large portion of nuclear power plants output in total electrical power supply which normally do not respond to frequency variations, and high peak of air conditioner demands during the summer season. So the rest of power plants should be operated to show the best governor regulation performance to maintain the electrical power frequency quality.

1. 서 론

설비의 장기 사용에 따른 성능개선의 일환으로 중용량 발전소(250MW)에 대한 수명연장공사가 있었으며 이와 관련하여 고압 터빈 블레이드와 케이싱의 교체, 증기 제어밸브 개도 순서 변경등 기계분야의 작업을 시행하였다. 설비 성능 개선후 최종적으로 개선 내용중 제어 성능을 확인하기 위하여 Governor Free 운전 시험을 한 결과 발전소에서 원하는 목표치를 만족시키지 못하고 있어 이의 해결방법을 연구하고 방안을 제시하였다. 현재 한국전력에서 주파수 일정유지를 위한 터빈 조속기의 속도조정은 기력발전소는 6%이하, 복합발전소 중 발전 전용은 4% 전력과 열공급용은 5%이하, 수력은 3%이하로 목표치를 설정하여 운영하고 있다. 이는 주파수를 60 ± 0.1% 이내로 유지하여 전기품질 확보에 의한 산업 전반의 생산품질 향상에 기여하기 위한 것이다.

본 논문은 수명연장 및 기능 개선을 위한 설비 개선 공사가 있었던 250MW 발전소에 대한 설비 교체 전후의 제어 응답특성 및 성능을 시험하고 설비 개선후 증기 제어 밸브의 응답특성이 조속기의 요구 속도조정을 전출력 범위에서 만족시키지 못하는 현상을 발견하고 이에 대한 해석을 실시후 그 개선 방안을 제시한 내용이다.

2. 본 론

2.1 속도조정을 5%란

정격속도, 정격출력이고 Control Valve가 완전히 Open 된 상태에서 속도가 정격의 5% 상승하면 Control Valve가 완전히 닫힘을 의미하며 정격 250MW의 경우, 주파수 60Hz시 주파수가 5% 즉, 3Hz 상승하면 Control Valve가 완전히 닫힘을 의미한다. 식(1)은 S.R(Speed Regulation)을 수식으로 표현했으며, 표1은 정격250MW에서 주파수 변화에 따른 MW 변화를 나타냈다.

$$S.R = \left(\frac{\Delta F}{F_n} \div \frac{\Delta P}{P_n} \right) \times 100 (\%) \text{ -----(1)}$$

여기서, F_n : 기준주파수(60Hz)

P_n : 발전기의 정격출력 (250MW)

표 1. 정격 250MW에서 주파수 변화에 따른 MW 변화

주파수 변화 (ΔF Hz)		0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
MW 변화 (ΔP MW)	5% S.R	1.67	3.33	5.00	6.66	8.33
	10% S.R	0.83	1.66	2.50	3.33	4.16

2.2 G/F 운전시 터빈의 출력제어 검토

검토 발전소의 터빈 출력제어 로직은 아래 그림 1과 같으며, G/F(Governor Free) 운전시에는 계통주파수가 정격 60Hz를 벗어나는 편차에 비례하여 K Delta f가 변하게 되고 나아가 'Steam Flow Request' 신호가 비례하여 변한다. 이때 Steam Flow Request는 Load Limit Set에 의해 제한을 받으며, Governor Valve의 증기유량곡선이 선형이라면 주증기 압력이 일정할 경우 모든 출력대에서 발전기 출력 변동폭과 주파수 편차는 일정한 관계를 유지하지만, 증기유량곡선이 비직선형이면 출력대에 따라 고르지 않게 된다. 그림1 G/F Control Logic에서 F(x) Curve를 사용하여 Tuning 함으로서 비직선성을 상당히 개선할 수 있다. 현재 F(x) Curve의 기울기는 1이며 제어기의 S.R은 10%로 Setting 되어 있다.

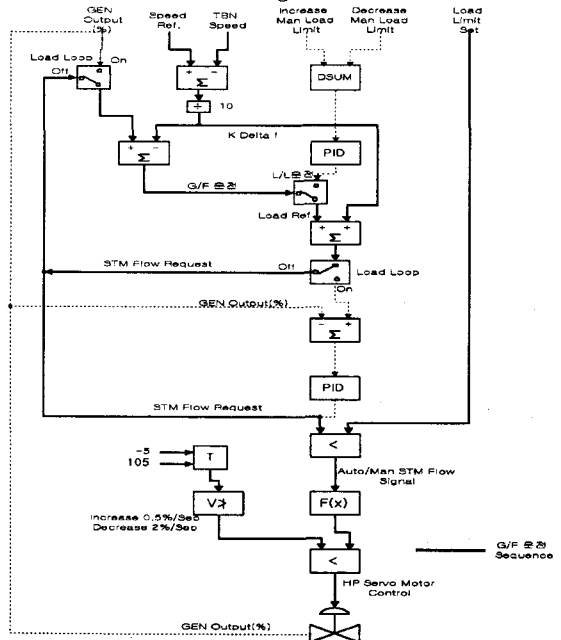


그림 1 G/F Control Logic

또한, 그림1에서 MW FeedBack은 이곳 발전소에서 사용하지 않고 있으며, 추후 추가할 예정이다.

2.3 출력대별 속도조정을 측정

2.3.1 표2는 고압터빈 교체 후 정상운전 상태에서 G/F 운전결과와 속도조정율과 서보모터의 위치를 측정한 결과이다.

표2. G/F 운전출력에 따른 평균 S.R과 서보모터 위치

운전출력	속도조정율 (%)	주증기압력 (kg/cm ²)	서보모터 위치 (%)
180MW	4.52	148	58.6
190MW	4.52	150	59.2
200MW	4.23	152	60.0
210MW	6.98	152	61.7
220MW	6.08	155	62.3
230MW	9.32	162	63.5
240MW	13.48	162	64.9

2.3.2 그림 2는 운전출력대별 속도조정율을 나타냈으며 속도조정율은 210MW 이상에서 목표치인 6%를 넘어 나며 220MW이상에서 급속도로 나빠짐을 알 수 있다.

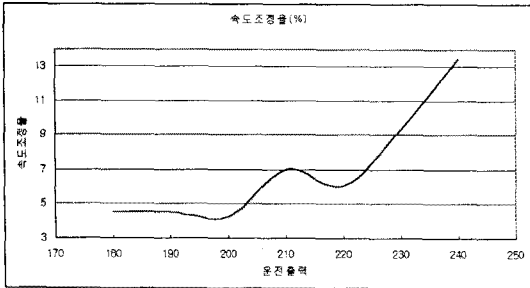


그림 2. G/F 운전출력대별 속도조정율 그래프

2.3.3 그림 3은 G/F 출력대별 서보모터의 위치를 나타냈으며 서보모터의 위치는 일반적으로 선형에 가깝게 나타나고 있다.

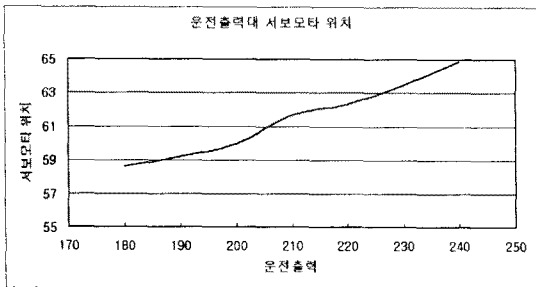


그림 3. G/F 운전출력대별 서보모터 위치 그래프

2.3.4 그림4는 현장 실측 데이터를 이용하여 G/F 운전 출력대별 주파수, 출력, 서보모터 위치 및 주증기 유량의 변화를 그래프화 한 것으로 서보모터 포지션의 변화는 일정(약 2mm 움직임)하나 주증기 유량은 200MW를 초과하는 범위에서부터 급격히 떨어지며 이때 S.R도 급격히 나빠지는 것으로 보아 CV(Control Valve)가 더 이상 계에 작용하지 못하는 포화상태이든지 아니면 더 이상 열리지 않음을 알 수 있다. 그러므로 200MW를 초과하는 부분의 유량커브를 변경 시키기 위하여 Governor 밸브를 해당량 만큼 더욱더 Open 시켜야 한다.

출력대별 변화량

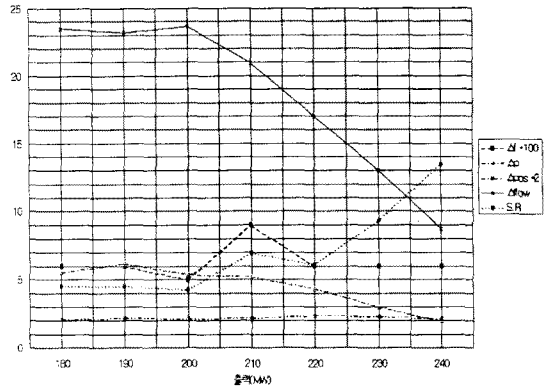


그림4. G/F 출력대별 주요 변수 변화량

2.4 주증기 압력 변경시험(165kg/cm², 155kg/cm²)시 서보모터 위치 비교

240MW에서 S.R이 급격히 나빠져 이를 해결하는 방법의 일환으로 주증기 압력 변경에 따른 CV 개도 변화로 인하여 계에 미치는 영향을 평가하기 위해 이때의 서보모터 위치 및 속도조정율을 확인하였으며 표3은 이때의 여러 실측치를 평균한 값이며 압력을 높여 운전하는 것이 속도조정율은 양호하나 우리가 원하는 궁극적인 목표치 내로 들지는 않았다.

표3. 주증기 압력변경시 S.R과 서보모터 위치

주증기압력 (kg/cm ²)	운전출력	속도조정율 (%)	서보모터 위치 (%)
165	240MW	8.5	63.5
155	240MW	11.7	68.7

2.5 구동 CAM 개조 후 Governor Valve 개도 측정

Cam의 개조 후 Governor 밸브의 개도에 따라 속도조정율에 미치는 영향 및 밸브의 특성을 평가하기 위해 포지션 디맨드에 따른 Governor 밸브의 개도를 측정하였으며 또한, 이를 제작사에서 제시한 도면과 비교 검토하였다.

2.5.1 Governor Valve 제어회로 구성

고압터빈의 증기량을 제어하는 Governor Valve는 모두 4 개가 있으며, 하나의 Servomotor에 연결된 기계적인 Link와 Cam에 의해 구동되고 Governor Valve 열리는 순서는 각 Cam 모양에 따라 결정된다. Servomotor는 유압으로 동작하며, 이 유압은 Electric Actuator가 제어한다.

2.5.2 Cam Shaft Angle과 Governor Valve 곡선

교체전 Governor Valve Position 곡선(Cam Shaft Angle 기준)은 그림5에 ALSTOM사의 Cam 설계에 따른 Governor Valve 개도 곡선은 그림6에 나타났다. 실제 Electric Actuator와 Servomotor Calibration 후 측정 한 데이터는 표4이며, 이때 곡선은 그림 7, 8과 같다. 여기서 Cam 개조전후의 고압터빈 증기유입 방법을 알아보기 위해 그림 5와 6을 비교해 보면 증기유입 방법이 변경(Governor Valve3+1방식→2+1+1방식) 되었음을 알 수 있고 제작사에서 새로 제작한 Cam이 정상적으로 제작되었는지 검토하기위해 그림 6과 7을 비교한 결과 유사한 것으로 나타났으며, G/F운전을 가장 많이 하는 240MW 부분에서 Position Demand가 65%정도이며 이때 그래프 상 CV 1,2의 개도 경사가 급해짐을 알 수 있다.

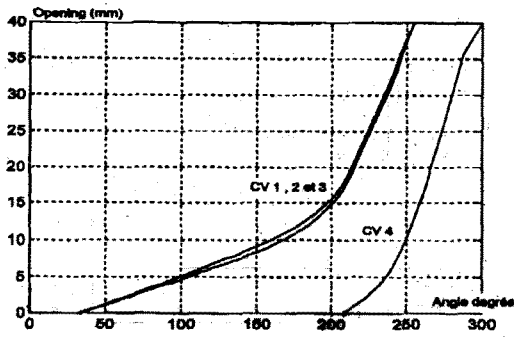


그림 5. 기존 CV 개도 곡선(Cam Shaft Angle 기준)

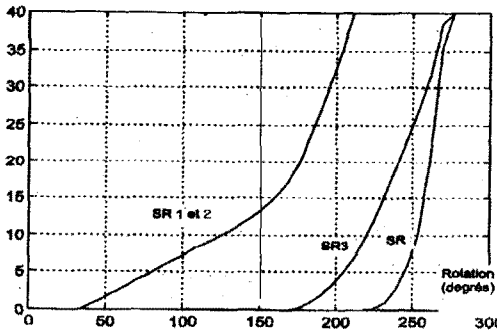


그림 6. ALSTOM에서 설계한 변경 CV 개도 곡선(Cam Shaft Angle 기준)

표 4. 주증기 제어변 개도 측정 데이터

Demand	Servo Motor	Cam Shaft 14	Cam Shaft 23	CV1	CV2	CV3	CV4
%	mm	%	245'	%	mm	%	mm
0	2	1.1%	0	0.0%	0	0.0%	0
5	7.5	3.9%	9	3.3%	8	3.0%	0
10	17.5	9.2%	24	8.9%	23.5	6.7%	0
15	27.5	14.5%	36	13.3%	36.5	14.3%	1.5
20	38	20.0%	51	18.9%	53.5	19.8%	2.5
25	48	25.3%	67	24.8%	69	25.2%	3.5
30	58	30.5%	84	31.1%	86.5	32.0%	5
35	67.5	35.5%	98	38.2%	100.5	37.2%	6
40	77.5	40.8%	114	42.2%	115.5	42.9%	6.5
45	88	46.3%	130	48.1%	131	46.9%	10
50	98	51.8%	145	53.7%	146	54.1%	12
55	107.5	56.6%	159	59.9%	161	59.6%	14
60	116.5	61.3%	173	64.1%	174	64.6%	15
65	125.5	66.1%	187	69.3%	188.5	69.2%	24
70	134.5	70.8%	200.5	74.3%	203	75.2%	31.5
75	145.5	76.6%	220	81.6%	216.5	80.6%	40
80	155.5	81.8%	237.5	88.0%	236.5	87.2%	40
85	165.5	87.1%	250.5	92.8%	251.5	93.1%	40
90	173.5	91.3%	261	96.7%	262	97.0%	40
95	178	92.6%	264	97.8%	40	100.0%	30
100	178	93.7%	265	98.1%	40	100.0%	20

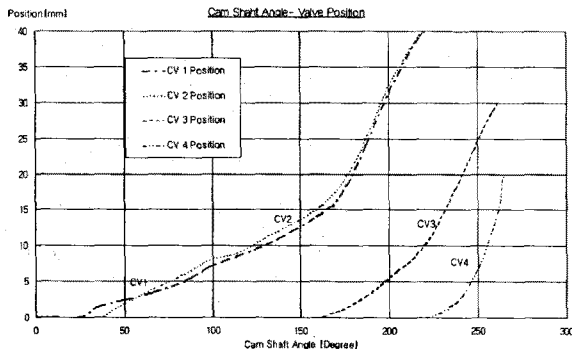


그림 7. 실측한 CV 개도 곡선(Cam Shaft Angle 기준)

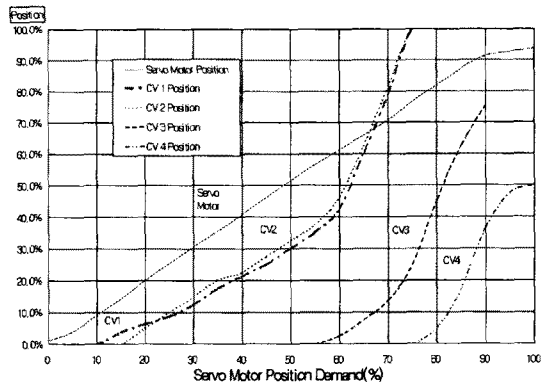


그림 8. 실측한 CV 개도 곡선(Servo Motor Stroke 기준)

3. 결 론

기술한 발전소의 주파수 추종성 향상을 위한 방안은 아래와 같다.

3.1 기계적으로 Governor Valve의 Cam 조정

Servomotor Demand가 60% 일 때 CV1,2가 급하게 열리게 설계된 것으로 보아 이때 CV가 포화상태로 제어에 영향을 적게 주는 것 같고 CV3는 약2mm 열린 상태로 STM Flow가 미약하므로, 출력 200MW~240MW 부근에서 증기유량 변동이 다른 출력 대에 비해 적어 속도조정이 10%를 초과한 것으로 추정되는 바 CV3 Curve를 좌측으로 수평이동 시킬 필요가 있으며 이는 제작사인 알스톰사와 협의가 필요하다.

3.2 주증기 압력 변경 운전

분석한 데이터는 240MW에서 160Kg/cm²의 압력으로 운전한 것으로 이때 포지션 Demand가 64.9%로 CV3 밸브가 약 4mm 열린 상태이므로 2.4항의 시험처럼 압력을 변경하여 운전함으로써 약간의 속도조정을 향상시킬 수 있다. 그러나 압력변경 운전은 발전소의 운전 효율과 밀접한 관계가 있으므로 효율에 대한 면밀한 검토가 실행된 후 실시해야 할 것이다.

3.3 제어로직에서 F(x) Curve의 수정

현재 $y=x$ 인 Slope를 갖고 전구간 운전중인 F(x) Curve를 구간별로 $y=1.5x$, $y=2x$, $y=3x$ 등의 Slope를 갖는 Curve를 수용함으로써 주파수조정을 향상시킬 수 있으며 아래 표5는 $y=1.5x$ 에서의 파라미터 변경에 대하여 예시하였으니 참고로 하여 시간을 갖고 미세 조정을 시행해 보기를 권한다.

표5 F(x) Curve의 수정방안 예시

X좌표	기존좌표	변경좌표	기존출력MW	변경출력MW
-5	-5	-5	0	0
0	0	0	0	0
60	60	60	20	20
67	67	67	215	225
67	67	67	235	245
105	105	105	300	300

(참 고 문 헌)

- 화력발전소 기본운전지침서 (한국전력공사)
- 터빈제어시스템 점검기술보고서 (1999. 전력연구원)
- Turbine Governor retrofit Drawing (1993. Bailey Eesacontrol)
- 화력발전 이론과 실무(Ⅲ) (1994. 한국전력공사)
- 속도조정을향상을 위한 기술보고서 (1999. 전력연구원)