

조속기 시스템에 대한 고찰과 수차 기동시 정격속도 미달 해결

정 우진
한국수자원공사

Consideration of Governor System in Hydro-power for speed and Solution of the lack of rated speed for starting

Woo-Jin Jeung
Korea Water Resources Corporation

1. 서 론

조속기는 발전기가 전력계통에 병입되어 운전할 때 계통의 주파수를 감지하여 그 변화에 따른 안내날개(Guide Vane)의 개도를 조절하여 발전기를 안정적으로 운영하도록 하며, 또 수차의 기동부터 계통병입까지의 정격속도를 유지시켜 주며, 사고시 수차를 급정지시키는 기능을 수행한다. 그러므로 이러한 기능을 수행하는 조속기는 수력발전소에 있어서 매우 중요한 설비라고 할 수 있다. 조속기에는 크게 기계식과 전기식으로 분류되는데 원리에 있어서는 둘 다 같으며, 이번 논문에는 주암수력발전소의 전기식 PID 디지털형 조속기 시스템에 대하여 고찰해 보고, 발전기 운영과정 중에 발생한 주암 제2호 수차발전기 기동시 정격속도 미달 현상에 대하여 정확한 원인 분석과 해결 방법을 기술함으로써 수차발전기의 조속기 시스템에 대한 폭넓은 이해와 유지관리에 많은 도움이 되었으면 한다.

2. 본 론

2.1 주암수력 디지털 조속기 시스템

2.1.1 디지털 조속기 시스템 개요

수차발전기의 조속기는 수차속도 검출에 의한 수차의 속도조절과 수차발전기의 출력 조절을 위한 안내날개 개도를 제어하는 시스템이다. 이러한 제어 시스템은 조속기 조절기로부터 조절하고자 하는 양을 전기적 신호로 변환하여 컨버터 코일에 보내며, 컨버터 코일의 동작에 따라 안내날개를 조작시켜서 수량과 출력 및 수차속도를 제어함을 목적으로 하며, 아날로그 PID 조속기에 기초를 둔 조속기이다. 컨버터 코일에 수신되는 전기적 신호는 부하설정기(65P) 및 주파수 설정기(65F)의 목표치와 안내날개의 개도 및 수차속

도의 귀환신호로 산정된다. 특히, 디지털 조속기 제어시스템은 중앙처리장치(CPU)와 입출력장치(PIO)의 소프트웨어 조정 프로그램에서 수차기동 제어, 속도제어, 동기속도제어, 부하제어, 서보모터 위치제어, PID 처리, 부하 및 주파수 설정과 서보모터 개도 제한기능 등을 수행한다.

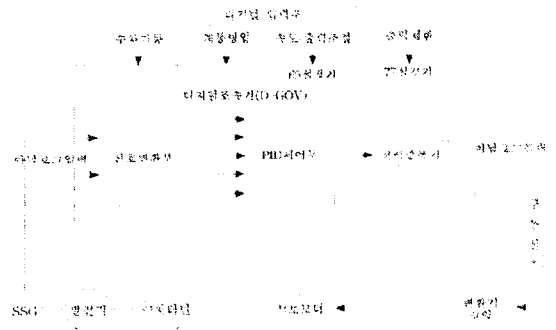


그림1 PID 디지털 조속기의 시스템 개략도

2.1.2 PID 디지털 조속기의 특징

- 1) PID(비례, 미분, 적분) 조절시스템 적용으로 신속한 응답과 안정된 제어가 가능하다.
- 2) 안내날개 개도는 차동변환기에 의해 검출된 전기적 신호로서 귀환되므로 높은 신뢰성과 정확성을 얻을 수 있다.
- 3) 수차의 속도는 SSG방식에 의해 검출되므로 속도검출기의 전압변화에 영향을 받지 않는 정확한 속도검출이 가능하다.
- 4) 프로그램에 의한 디지털 운용이 마이크로프로세서에 의해 수행되므로 높은 신뢰성이 보장되고 결점부분의 검출이 용이하다.
- 5) 설정기와 제한기는 제어 유니트에 있는 소프트웨어를 통해서 수행되므로 모터나 전위차계 등과 같은 하드웨어부분이 제거되어 유지관리가 수월하다.

2.1.3 디지털 조속기 구성 및 기능 설명

입력신호는 수차속도 및 서보모터 개도이며, 출력신호는 변환기 코일의 조절신호이다.

- 1) 주파수설정기(65F)
수차발전기가 전력계통으로부터 분리되어 운영될 때, 수차의 회전속도를 설정한다.
- 2) 부하설정기(65P)
수차발전기가 전력계통과 연결되어 운영될 때, 발전기 출력을 설정한다.
- 3) 수하율 설정기(Speed Drop Setter)
수차발전기가 전력계통과 연결되어 운영될 때, 서보모터 위치 변위에 대한 주파수 변화 비율로 수차의 속도를 설정한다.
- 4) 속도감지기
수차속도검출기(SSG)로부터 속도신호를 조속기에 사용되는 신호로 변환시키고, 이 신호의 출력전압은 주파수에 비례한다.
- 5) 안내날개 개도 감지기
서보모터 변위 검출기(차동변환기)로부터 위치신호를 받아 조속기에 이용되는 신호로 변환시키고, 이것의 출력전압은 안내날개 개도에 비례한다.
- 6) PID(비례, 미분, 적분) 제어
주파수와 부하의 편차신호를 받아 PID(비례, 미분, 적분)제어를 통해 최적 반응의 출력신호를 발생시킨다. 동작 입력에 대한 출력 비율의 변화는 수차발전기가 전력계통에 분리되어 운영되든지, 연결되어 운영되든지 간에 PID 제어회로를 통해서 산정된다.
- 7) 불감대(Dead Band)
수차발전기가 전력계통과 연결되어 운영될 때, 미소한 주파수 변화에 때문에 불안정한 상태로 운전되는 것을 보호하기 위해 주파수 편차에 대한 불감대를 형성시킨다.
- 9) 전력증폭기(Power Amplifier)
안내날개 개도명령에 부합되는 정확한 개도가 이루어질 때까지 증폭된 전류를 변환기 코일에 공급한다.
- 10) 부하제한기(77)
전기적으로 구성되어 있으며, 기존의 기계식 안내날개 개도 제한기 대신에 전기적으로 안내날개 개도를 제한한다.
- 11) 개도명령(Low Value Gate Circuit)
PID 조절회로와 안내날개 개도 제한기로부터 출력신호를 받으며 그것이 설정치 이하더라도 모두 전달되고 그 출력신호에 따른 안내날개 개도명령을 전력증폭회로에 보낸다.

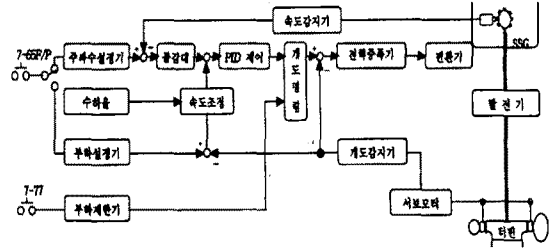


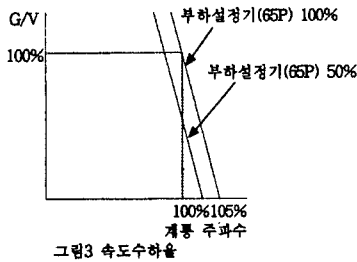
그림2 수차발전기 조속기의 시스템 구성

2.1.4 디지털 조속기 제어 기능 설명

- 1) 기동제어부와 속도제어부
기동(Start-up)모드를 선택하면 부하제한기(77)는 기동개도 설정값으로 증가되고, 이 값은 개도명령(LVG)을 거쳐 수차를 기동하고, 현 수차의 속도가 정격속도에 도달하면 PID 동작에 의해 주어진 안내날개 개도명령 값은 부하제한기(77)의 설정값보다 작아지며, 수차발전기는 자동적으로 PID 제어에 의해 정격 속도를 유지하기 시작한다. 그 후 속도일치 또는 동기투입 모드로 변하기 위해 준비를 갖추며 이탈신호는 PID 처리부로 전달된다.
- 2) 속도일치 제어부
동기(Synchro)모드에 놓으면, 동기투입장치에 의한 신호가 65F의 설정치를 제어하여 안내날개 개도를 동작시키고 수차속도를 제어한다. 이때 수차의 속도를 계통주파수와 일치시킨다.
- 3) 부하제어부
부하(Parallel)모드에서 부하제어용 신호는 부하설정기(65P) 신호와 안내날개 개도 사이의 편차 값으로부터 산정되며, 이득상수에 의해 속도수하율 만큼 증폭되고 속도 제어용 변환신호를 가산하여 PID 처리부로 보내진다. 이 기능은 계통주파수의 요동에 대비하여 일정한 비율(속도수하율)로 부하를 통제함으로써 주파수의 요동을 억제한다.

☞ 속도수하율이란

부하설정기(65P)를 100%로 설정하면 계통주파수가 5% 증가할 때 이 시스템의 출력은 안내날개 개도를 0% 열도록 명령한다. 다른 말로 표현하면 양측의 기율기에 부응한 속도 수하율은 설정치의 100%에서 부하설정기(65P)의 특성을 나타낸다.



4) PID 처리부

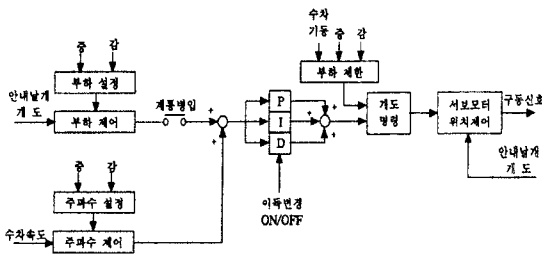
속도일치/속도의 편차신호 혹은 동기모드는 PID처리부에서 처리되어 안내날개 개도 명령값으로 전환된다. 각 모드에 대한 PID 처리부의 정수는 개별적으로 설정할 수 있다.

5) 부하제한부

PID 처리부의 명령에 의한 부하제한부(77)의 설정치 이내로 제어된 안내날개 개도를 유지하도록 한다. 안내날개 개도명령이 77 설정치를 초과하면 PID 처리부의 내부처리 출력의 포화를 방지하기 위해서 77 설정치의 추종동작을 시작한다.

6) 서보모터 위치제어부

현 안내날개 개도로 부터 산정된 변환신호와 안내날개 개도 명령값, 그리고 구동신호를 생산한다.



2.1.5 디지털 조속기 프로그램 로직 설명

1) A-D 및 D-A 컨버터

아날로그 데이터를 컴퓨터로 처리하려면 디지털 데이터로 변환시킨 다음 제어시스템이 운용되는데 이 기능을 갖고 있는 것이 A-D 컨버터이고, D-A 컨버터는 디지털 데이터를 아날로그 데이터로 전환시키는 기능을 한다.

주암수력 디지털 조속기의 입출력 전압은 0~5V이며, 조속기에 입력되는 신호는 0~4000 Count / 80~120% 속도신호와 0~100% 안내날개 위치신호이며, 출력되는 신호는 -100%~100% 개도편차의 변환기 구동신

호와 0~100%의 65F 위치 및 부하제한 위치 신호이다.

2) 속도변화율(ΔF) 및 불감대(DB) 연산

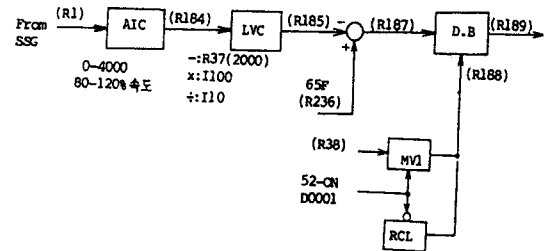


그림5 속도변화율(ΔF) 연산 과정

○ 속도변화율(ΔF) 연산

AIC는 입력되는 Count 중에 설정범위 이내의 Count만을 LVC로 보내면 LVC에서 Level을 조정한다.

- R184 = 0 Count(80% 속도) 일 때
 $R185 = (R184 - R37) \times 1100 / 110$
 $= (0 - 2000) \times 100 / 10 = -20000 \text{ Count}$
- R184 = 2000 Count(정격속도) 일 때
 $R185 = (2000 - 2000) \times 100 / 10$
 $= 0 \text{ Count}$
- R184 = 4000 Count(120% 속도) 일 때
 $R185 = (4000 - 2000) \times 100 / 10$
 $= 20000 \text{ Count}$ 이다.

○ 불감대(Dead Band) 연산

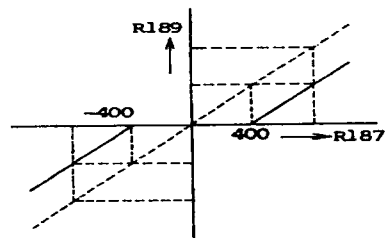


그림6 불감대 회로 특성

전력계통 병렬운전 중 계통주파수의 작은 변화에 대하여 안내날개가 불필요한 동작을 하지 않도록 하는 회로이며, 설정값은 400 Count (0.4% 속도:0.24Hz)이다. 따라서 병입전 속도 제어는 52-ON이 "0"이므로 그림6의 파선특성을 갖게되고, 계통에 병입되면 52-ON이 "1"이므로 R38의 설정값(400 Count)에 따라 실선의 특성이 되며, 65P(R244)의 설정값에 따라 PID연산을 수행하여 안내날개를 제어하게 된다.

3) 속도 수하율 연산

○ 개도신호 조정

LVC에서 Level을 조정한다.

R3 = 0 Count(0% 개도) 일 때
 $R193 = (R3 - I0) \times 1000 / 1400$
 $= (0 - 0) \times 1000 / 1400 = 0 \text{ Count}$
R3 = 4000 Count(100% 개도) 일 때
 $R193 = (4000 - 0) \times 1000 / 1400$
 $= 10000 \text{ Count}$ 이다.

R193의 값은 65P값과 연산된 뒤, MLT(Speed Drop Setter)에서 입력량 전체에 대하여 400/1000 Count로 조정 후 R196으로 전달된다.

○ 속도수하율 연산

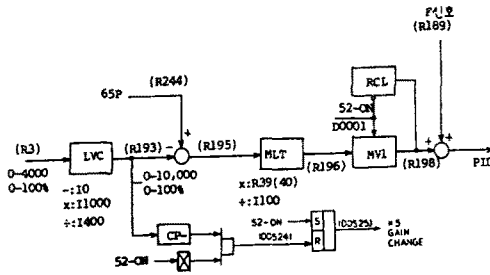


그림7 속도수하율 연산

계통주파수 60Hz(R189=0), 65P(R244) = 100%위치(10000 Count), 안내날개개도(10000 Count) 조건에서 안정운전을 할 때는 R189 = R196 = R198 = R204 = 0 Count가 된 상태이다.

다음은 계통주파수가 61.2Hz(102% 속도)로 변화시 R189 = R204 = -2000 Count가 되어 PID 연산을 거쳐 안내날개를 폐동작시키는데 안내날개 개도(R193)가 50%개도(5000 Count)에서 R195 = 5000 Count이고 MLT(40/100으로 Count조정)을 거쳐 R196 = R198 = 2000 Count가 되고 ΔF 신호(R189)는 -2000 Count 이므로 R204 = 0 이되고 안내날개 폐동작은 정지한다.

더욱이 계통주파수가 62.4Hz(104% 속도)로 상승하면 R189는 -2000 Count에서 -4000 Count로 변화하며 안내날개는 다시 폐동작을 수행하게 된다. 이것으로 인하여 안내날개 개도 R193이 0%(0 Count)에 이르고 R195 = 10000, R196 = R198 = 4000 Count가 되어 안내날개 폐동작은 정지한다.

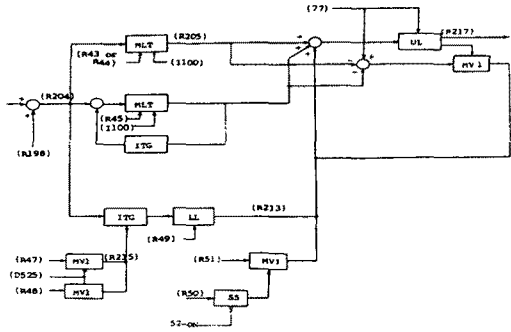


그림8 PID 연산 회로

수차가 기동할 때는 기동회로가 동작하고 77 신호(R252)를 20% 개도(2000 Count)까지 변화되어 안내날개 개도지령(R217)은 77신호에 설정되고 D529가 "1"이 되므로 R216은 2000 Count로 된다. 이후 회전수가 60.15Hz(100.25%)로 변화하면 R205 = -1 Count가 되어 R216 = 1999 Count로 변화되고 UL이 부동작하여 D529는 "0"이 되고, 안내날개 개도지령(R217)도 1999 Count가 되므로 안내날개가 폐동작을 하게되고, 그 이후는 조속기에 의한 동작으로 정격속도(400rpm)을 유지하도록 안내날개가 동작한다.

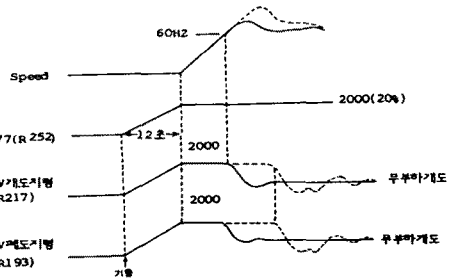


그림9 PID 추종회로 특성

만약, PID 추종회로가 없다면 적분출력(R213)은 최대 개신호(32667 Count)가 수행되기 때문에 그림9의 과선과 같은 궤적을 그리며 동작하게 되어 기동시에 오우버 슈트가 크게 된다.

5) 65P 동작

계통병입 전에는 65P의 증.감은 동작하지 않고, 계통병입 후에는 65P의 증.감에 의해서 10000 Count/60초의 비율로 동작한다. 65F와 77의 경우도 이와 비슷하게 동작한다.

4) 기동제어

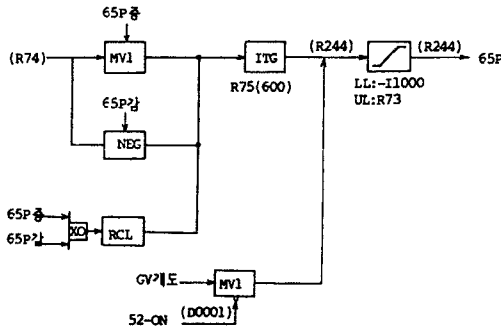


그림10 65P 연산

2.1.6 수차발전기의 가동 과정

1) 수차기동(Start)

주 스위치(1)를 기동(Start)위치에 놓으면 조속기용 솔레노이드 밸브(65S)가 열린다. 조속기용 솔레노이드 개방신호에 의해 조속기의 부하제한기(77)는 조속기 개도조정을 위해 수차기동개도(설정값 20%)를 결정한다. 이 개도조정에 의해 안내날개가 열리고 수차는 회전을 시작한다. 수차속도가 정격속도의 약 80%에 도달할 때 조속기 조절기로부터의 속도조절신호에 의해 수차속도가 조절되고 그 신호에 따라 수차발전기는 정격속도(400rpm)를 유지하게 된다.

2) 동기투입(Parallel)

발전기 전압(6.6kV)이 형성되었을 때 조속기 조절기에 있는 주파수설정기(65F)는 자동동기 장치의 속도일치 계전기로부터의 속도조절신호에 의해 조절되고, 따라서 발전기의 주파수(60 Hz)와 위상각은 전력계통의 주파수 및 위상각과 일치된다.

3) 부하(Load)

전력계통(154kV)에 병입되어 발전기가 부하운전을 할 때에는 조속기 조절기는 부하설정기(65P)의 설정값에 따라 안내날개 서보모터를 조절하여 발전기 부하의 증감을 조절한다. 부하운전을 하고 있던 중 전력계통의 주파수가 변화한다면 발전기의 부하조정은 속도수하율(설정값 4%)에 따르도록 되어 있다.

4) 수차정지(Stop)

수차발전기를 정지(Stop)시키면 조속기에 있는 부하제한기(77)에 폐쇄신호가 주어지게 되고, 안내날개 폐쇄에 따라 발전기의 부하가 감소하게 되며, 수차발전기는 무부하 상태에서 전력계통과 분리된다. 전력계통과 분리되면 조속기 조절기는 PID 제어부를 Off Line 모드로 전환시키고 조속기 솔레노이드 밸브(65S)의 폐쇄에 의해 안내날개는 완전히 닫히게 되고, 수차발전기는 속도가 감소하며 정지하게 된다.

2.1.7 조속기 유압 제어부 구성 및 기능 설명

1) 변환기(Converter)

변환기는 조속기 조절기에서의 전달된 전기적 신호를 기계적 변위로 전환하는 장치이며, 파이롯 밸브에 이 변위를 전달한다.

2) 기동 및 정지장치(Start & Stop Device)

기동 및 정지장치는 변환기에 연결된 콘택팅 로드의 움직임을 제어하며 파이롯 밸브로 하여금 정지시에는 파이롯 플랜저가 하향운동을 하도록 압력을 가하고 기동할 때는 상방향으로 움직이도록 파이롯 밸브를 해제한다.

3) 파이롯 밸브(Pilot V/V)

변환기의 기계적 변위는 중립위치로부터 밸브 플랜저를 동작시켜 제어피스톤을 제어할 수 있는 압유를 송출한다.

4) 제어피스톤(Control Piston)

제어피스톤은 주 배압변을 제어하는 부품이며 파이롯 밸브를 복귀시키기 위해 움직인다.

5) 주 배압변(Main Distributing V/V)

주 배압변은 서보모터에 흐르는 오일의 경로를 바꾸어 안내날개를 열리게 하거나 닫히도록 한다. 개폐시간은 주 배압변의 포트면적에 의해 결정된다.

6) 안내날개 개도 제한기(G/V Opening Limiter)

안내날개 개도 제한기는 어느 개도 위치 이하로 서보모터의 행정을 제한하기 위하여 사용된다. 그리고 수동 또는 원격으로 설정이 가능하다.

7) 복원기구(Restoring Mechanism)

복원기구는 서보모터의 이동을 조속기 조절기나 안내날개 개도 제한기에 전달한다.

8) 서보모터(Servomotor)

조속기의 주 배압변을 통해 유입된 압유에 의해 수차 안내날개를 개폐하는 장치이다.

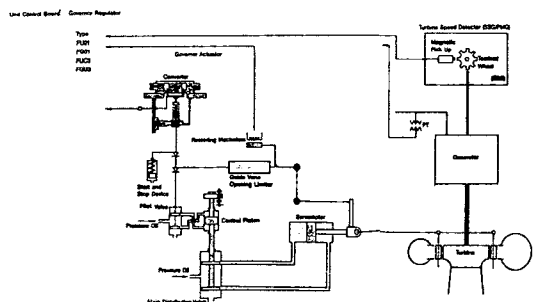


그림11 조속기 유압부 제어 시스템 구성도

2.1.8 조속기 ACTUATOR부 시험 및 조정 방법

1) G/V 복원량의 조정

○ 목적

복원기구의 각 링크 레버, 턴버클의 길이를 조정하여 서보모터 개도의 복원량이 적정하도록 한다.

○ 방법

가. 서보모터를 50% 개도로 조정하고 유압공급용 주밸브를 폐쇄한다.

나. 리턴 암이 대략 직각이 되도록 서보모터측으로부터 순차적으로 턴버클, 레버의 길이를 조정한다.

다. 유압공급용 주밸브를 열어 서보모터를 전개하고 G/V 지침이 100%± 2% 이내가 되도록 컨트롤 암의 위치를 조정한다.

라. 복원량의 조정이 완료되면 서보모터의 개도와 포텐쇼의 모터의 출력과의 관계를 점검하고 오차가 있을시는 복원기구와 같은 방법(링크레버 길이 및 위치조정)으로 조정한다.

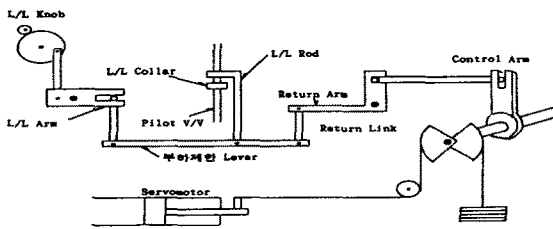


그림12 복원장치 기구 개략도

○ 불량시의 현상

복원량이 과다한 경우 발전기 운전중 G/V의 개폐동작시 목표 개도에 도달하기 전에 배압변이 중립위치로 되기 때문에 속도조정이 둔해지며, 복원량이 과소한 경우 목표개도보다 서보모터의 개도가 과다하게 이동하므로써 RACING 등의 원인이 된다.

2) 배압변 특성시험

○ 목적

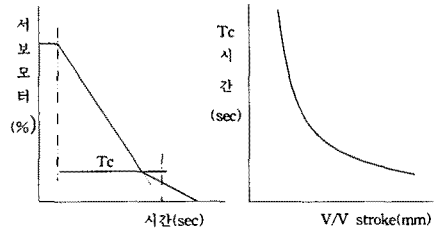
서보모터의 개폐시간은 유로의 통과면적, 즉 배압변의 스트로크를 조정하므로써 가능하다. 배압변 스트로크에 대한 서보모터의 폐쇄시간의 특성(배압변 특성)을 측정할 결과치는 서보모터의 개폐시간 조정시의 기준이 된다.

○ 방법

실제의 측정치는 서보모터 완충장치에 의해 서보모터의 동작은 아래그림과 같으므로 측정은 서보모터 전개부터 완충장치 점 전까지를 측정하는 것으로 배압변의 스트로크를 1mm씩 변화시켜 서보모터 전폐에서 급정지변을 동작시켜 각각의 폐쇄시간을 측정한다.

등가폐쇄시간은 그림의 직선부를 연장한 T_c 이다. 등가폐쇄시간 T_c 의 계산은 서보모터 스트로크 80%에서 30%까지의 시간을 T 라 하면,

$$T_c = 100/80 - 30 \times T = 2T$$



3) 부하제한장치의 조정 방법

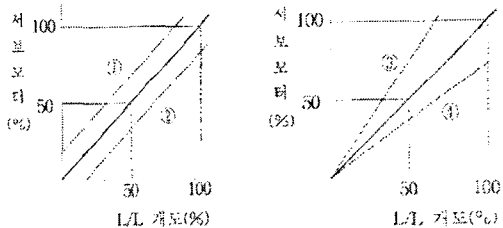
○ 목적

부하제한 개도와 G/V 개도의 관계가 일치하도록 조정한다.

○ 방법

가. 부하제한 개도를 10%씩 개방하면서 그때의 서보모터 개도를 기록한다. 이 때 파이롯 밸브는 수동개방이 가능하도록 조정하여야 한다.

나. 부하제한 개도 대 서보모터 개도와의 관계를 그래프로 작도한다.



- ▶ ①의 경우 L/L개도보다 서보모터가 전체적으로 더 열리는 경우로 부하제한 COLLAR를 아래로 이동 조정하여 정비레가 되도록 한다.
- ▶ ②의 경우 L/L개도보다 서보모터가 전체적으로 덜 열리는 경우로 부하제한 COLLAR를 위로 이동 조정하여 정비레가 되도록 한다.
- ▶ ③의 경우 L/L개도보다 서보모터 개도 관계의 기울기가 1보다 큰 경우로 부하제한 장치부의 레버 길이를 줄여 정비레가 되도록 조정한다.
- ▶ ④의 경우 L/L개도보다 서보모터 개도 관계의 기울기가 1보다 작은 경우로 부하제한 장치부의 레버 길이를 길게하여 정비레가 되도록 조정한다.
- ▶ 조정이 완료되면 최종적으로 부하제한 개도 대 서보모터 개도를 측정하여 확인한다.

○ 불량시 현상

부하제한장치에서 설정한 개도보다 서보모터가 더 열리거나 덜 열리는 현상이 발생하여 기동시

기동시간 지연, 과속도 또는 부하시 출력과다, 과소현상이 발생한다.

4) 변환기 코일 증류의 조정 방법

○ 목적

변환기코일 입력전압이 0V(컨버터 코일의 단선 등)일 때 기계적으로 안정되게 서보모터가 전 폐되도록 한다.

○ 방법

가. INLET V/V 폐쇄 또는 케이싱 배수상태에서 각 제어용 단자를 분리하고 유압라인을 개방한다.

나. 제어반의 전원이나 변환기 단자대의 단자를 분리하여 변환기코일 입력전압을 0V로 한다.

다. 파이롯 밸브를 손으로 올려서 서보모터를 전개한다.

라. 파이롯 밸브를 손을 떼고 서보모터가 닫히는가를 확인한다.

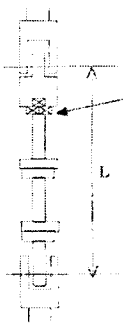
마. 서보모터의 폐쇄속도 조정은 컨넥팅 로드부 길이를 조정함으로써 한다.

바. 설정 시간

▶ 서보모터 폐쇄시간

부하차단시 폐쇄시간(등가폐쇄시간)의 약 3 배에서 60초의 범위로 조정한다.

▶ 이 때 조속기 프리 상태에서 변환기 밸런스 전압은 통상적으로 0.2V ~ 0.5V 이내이며, 길이를 길게 하면 밸런스 전압은 증가하고 길이를 짧게 하면 반대로 감소한다.



L 조정용 너트
L을 길게하면 폐쇄시간이 짧아지고
L을 짧게하면 폐쇄시간이 길어진다.

2.2 수차기동시 정격속도 미달 현상 해결

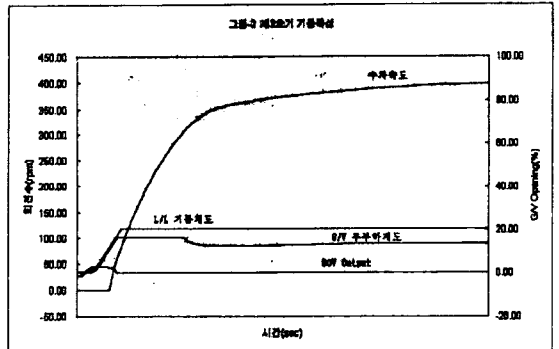
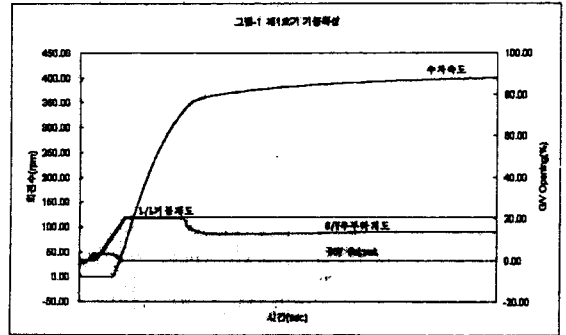
2.2.1 발생 현상

1) 첫 번째 현상

주암수력 수차발전기의 정상적인 기동패턴은 그림-1의 제1호기 기동특성과 같이 L/L 개방 개도(기동개도:20%)까지 G/V이 Open되었다가 정격속도의 80%에 도달하면 조속기가 속도를 검출하여 PID 속도제어로 이행되어 무부하 개도로 이행되는 것이 정상이다.

그러나, 제2호 수차발전기의 경우 그림-2에서

처럼 기동 개도가 L/L 개방 개도인 20%에 도달하지 못하고 16.5%에서 제한됨으로 인하여 수차속도 상승시간 T_r (정격속도의 10%→90%)이 제1호기에 비해 20초 이상 길어지고 무부하 개도 또한 제1호기에 비해 1% 이상 높은 상태로 유지됨.



2) 두 번째 현상

조속기 출력단의 변환기 코일에 인가되는 제어 출력전압을 나타내는 Balance Meter의 지시값이 운전중(속도가 정격속도로 안정된 경우)에도 약 +1V의 크기로 지속적으로 출력됨.

3) 세 번째 현상

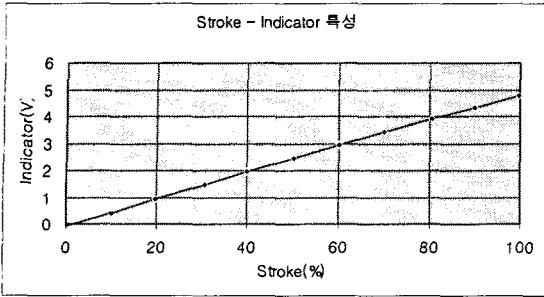
파이롯 밸브 피스톤 로드에서 가해지는 진동값의 주파수는 48Hz로 정상적이나 파이롯 밸브 전체에 전달되는 진동은 청각 및 촉각으로 감지될 만큼 과대하게 발생됨.

4) 네 번째 현상

발전기 운전 중 G/V Indicator 지시량이 L/L Indicator 지시량보다 전출력 범위에서 약 4% 정도 적게 지시됨.

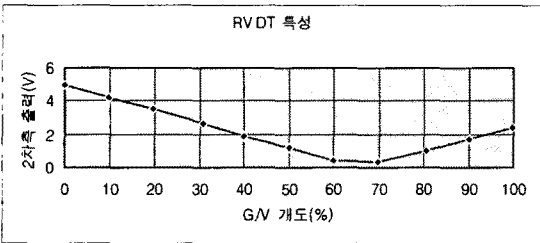
2.2.2 원인분석 및 진단내역

1) Servo-motor Stroke vs. G/V Indicator (Digital Count Address RO193)



▶ Servo-motor Stroke 값보다 G/V Indicator 값이 전구간에서 약 2%정도 적게 지시됨.

2) Servo-motor Stroke vs. RVDT 2차 전압



▶ G/V Full Open(2.3V)시와 Full Close(4.9V)시의 출력전압이 2.6V이상 차이가 나고 50% 영점이 67% 위치로 상방향으로 이동되어 있음.

3) Pilot V/V Piston Rod 진동량 측정

기준값 : 70 μ m

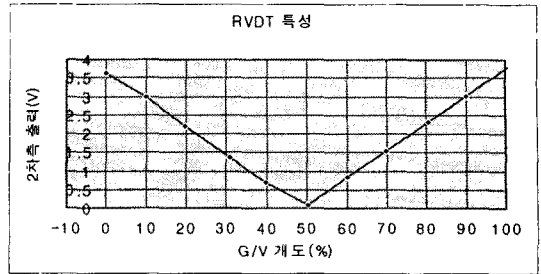
구분	65S ON		65S OFF	
	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
제1호기	50 μ m	0 μ m	0 μ m	0 μ m
제2호기	50 μ m	10 μ m	40 μ m	0 μ m

▶ 2호기의 진동량이 1호기에 비해 상대적으로 과다한 것으로 나타났으며, 위 표는 조정 완료 후 취득자료이며, 조정전 상태는 2호기의 경우 상기 값의 2~3배에 해당하는 값 일 것으로 판단됨.

2.2.3 조치 및 해결방법

1) RVDT(Rotational Variable Differential Transformer) 특성변화

정격속도 미달 현상 발생이후 복원 기구부의 복원량 조정 및 RVDT 고정위치의 변동으로 인한 특성변화로 판단되어 2002. 2. 19일 실시된 특성조정시 G/V Position Detector의 영점(VR4) 및 이득량(VR5)을 조정하여 아래 표와 같이 정상적인 상태로 복구하였음.



2) Pilot V/V 영점 조정

- ▶ Pilot V/V의 영점이 변화될 수 있는 요소로는 Pilot V/V Connecting Rod를 지지하면서 복원력을 공급하는 상부 스프링의 장력변화와
- ▶ Connecting Rod의 길이를 조정할 수 있는 조정볼트의 풀림에 의한 Rod 길이 변화로 추정할 수 있는데
- ▶ 조정볼트의 고정상태가 단단한 것으로 봐서 상부지지 스프링의 탄성변화로 인한 Pilot V/V의 영점이 폐(하) 방향으로 약 0.2mm 정도 이동한 것으로 판단하여
- ▶ 파이롯 밸브 영점을 개(상)방향으로 약 0.1mm정도 Rod 길이를 짧게 하여 조정을 완료함.
- ▶ 상기 조정의 결과로 Governor 전원상실시 기계적 복원력에 의한 G/V 폐쇄시간이 조정전 약 7초에서 약14초로 조정하였으며, 이 특성은 발전설비 보호기능 중 최종단계에 해당하며 통상적으로 폐쇄시간의 3배 정도로 조정함. (정상폐쇄속도 3.5초 \times 3배 = 약11초)

3. 결 론

위의 내용은 조속기 시스템에 대한 내용과 주암 수력 제2호 발전기에서 나타난 수차 기동시 정격속도가 미달 현상에 대한 문제해결 방법을 기술한 것이다. 이것은 현장에서 발전설비를 운영하면서 경험한 내용으로 현장 실무에 직접 적용했던 사항이며, 특히 수차발전기의 중요한 설비중 하나인 조속기 시스템은 발전소를 운영하고 계시는 분은 반드시 알아야 할 사항이고, 또 이 분야에 관심을 가지고 계시는 전기 기술인들도 많이 있으리라 본다. 조속기 시스템에 대해 미처 언급하지 못한 부분도 있으나, 이해하는데 조금이나마 도움이 되었으면 하는 바램이다.

[참 고 문 헌]

1. 자동동제어실무IV(수력발전소 Digital Governor) 한국수자원공사('91)
2. 주암수력 운전유지보수설명서 한국수자원공사('91)
3. 알기쉬운 조속기 한국수자원공사('98)