

마이크로 컴퓨터를 이용한 소수력발전 출력제어 시스템 개발
(Micro-computer based hydro governor system for small scale hydro power plant)

신 동 열
이 원 용*

한국동력자원연구소
한국동력자원연구소

1. 서 론

소수력발전은 70년대 석유위기 이후 손수한 국내 부존자원인 수자원을 이용하여 안정된 석유 대체에너지를 개발하자는 의도에서 관심을 갖게 된 분야이다. 소수력 자원을 이용하기 위해서는 수차·발전기를 제어하여 양질의 전기를 발생케 하고, 경제적인 운영을 하기 위한 소수력 특성에 맞는 출력제어 시스템이 필요하다.

수차·발전기에서는, 발생하는 동력과 수요 부하와의 불균형으로 인하여 항시 주파수 변화가 초래되며, 이것을 일정하게 유지하기 위하여 제어가 필요하다. 기존의 기계·유압식 Temporary droop 조속기는 시스템의 안정성을 유지하면서 주파수를 정치제어하는데 있어서 반응이 느린 단점이 있었다. 그런데, 소수력발전의 경우는 용량이 적어, 작은 부하변화에도 상대적으로 주파수의 변화가 커지는 특성이 있으므로 신호에 민감하고 반응이 빠른 제어가 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 일종의 P.I 제어기인

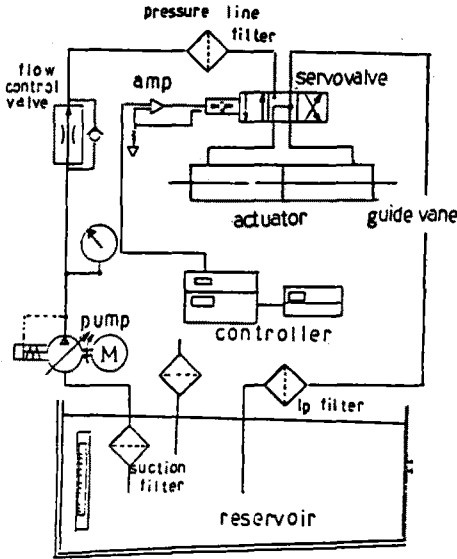
Temporary droop 조속기에 미분항을 추가시켜 반응성과 안정성을 향상시킨 2차 미분형 제어기를 개발하여 실험하였다. 또한 하드웨어의 복잡성을 피하고 제어 logic 의 구성과 제어 변수의 변환이 쉽게 될 수 있도록 μ -computer 를 이용하여 제어기를 구성하였다. μ -computer 의 제어신호와 연계되어 액츄에이터의 동적 특성을 향상시키기 위해서 전기적인 신호로 유압실린더를 구동시킬 수 있는 전기·유압식 서보밸브를 사용하였다.

2. 본 론

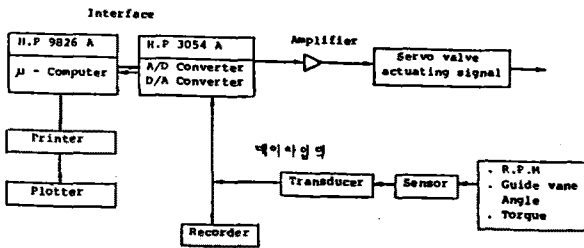
2.1. 시스템 구성

출력제어 실험을 위한 수차발전 시스템의 모델 플랜트는 1) 수차발전기 2) 축정기기 3) 제어기기, 그리고 4) 수압관과 상·하수조 등으로 구성되어 있으며, 제어부분은 (그림 1)과 같이 전기·유압 시스템으로 구성되어 있다. 주 제어부인 콘트롤러는 CPU MC-68000 인 HP 9826 μ -computer 와 HP 3054 데이터 처리 및 제어 유닛으로 이루어져 있다.

시스템 상태는 라코와 호크 메타(KST-20, DTM 408, Onosiki), 회전위치계(Moog 010-73251-1), 차압변환계(DP-4E-12-M.B. Standard Co) 등을 사용하여, 회전수, 출력, 안내깃 개도, 낙차 등을 측정하여 컴퓨터에 입력시켰다.



(그림 1) 전기·유압식 제어부



(그림 2) 마이크로 컴퓨터를 이용한 콘트롤러

2.2. 제어기 설계

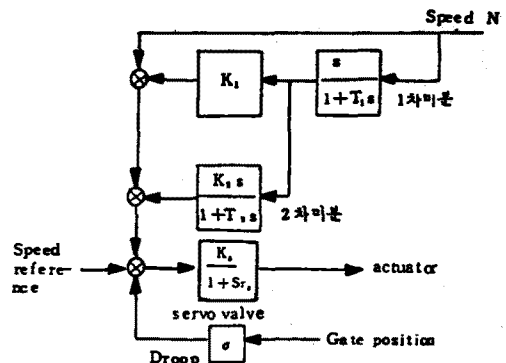
기존의 Temporary droop 조속기는 수압관내의 물의 관성력에 의한 시스템의 불안정을 보상해 주기 위하여 Dash-pot 로 구성된 귀환회로 내에 지연시간을 갖게 되어 있었다.

그러나, 이 제어기는 주파수 변화에 대해 반응이 느리기 때문에 이를 보완해 주기 위해 (그림 3)과 같이 구성되어 있는 2차미분형

조속기를 사용하여 반응을 향상시켰다. 이 조속기의 전체적인 전달함수는 (식 1)과 같으며 특성 지연 시정수 (T_d)는 (식 2)가 된다. 여기서 T_1 과 T_2 는 미분을 위한 filtering 시정수로 매우 작으므로 무시할 수 있다.

$$\frac{Y}{n} = \frac{1+S(T_1+T_2+K_1)+S^2(T_1T_2+K_1T_2+K_2)}{\sigma(1+ST_1)(1+ST_2)(1+STg/\sigma)} \quad \text{(식 1)}$$

$$T_d = \frac{T_g}{\sigma} \quad (T_g = 1/K_s) \quad \text{(식 2)}$$



(그림 3) 2차미분형 조속기

2.3. 제어 프로그램

1차 후진 미분식을 이용한 Z-변환으로 디지털 제어함수를 구하였다. 이 방법은 연산처리시간이 짧아 거의 연속적인 값을 얻을 수 있고, 모든 적분간격에 대해서도 수치적으로 안정성을 갖는 장점이 있다. 이것을 이용해서 구한 2차 미분형 조속기의 차분식은 다음과 같다.

$$m(K) = C_{1m}(K-1) - C_{2m}(K-2) - \sigma y(K) + C_{1\sigma} y(K-1) - C_{2\sigma} y(K-2) + C_{3n}(K) - C_{4n}(K-1) + C_{5n}(K-2) \quad \text{(식 3)}$$

여기서 T = Sampling time

$$T_i = T^2 + (T_1 + T_2) + T_1 T_2$$

$$C_1 = (T(T_1 + T_2) + 2T_1 T_2) / T_i$$

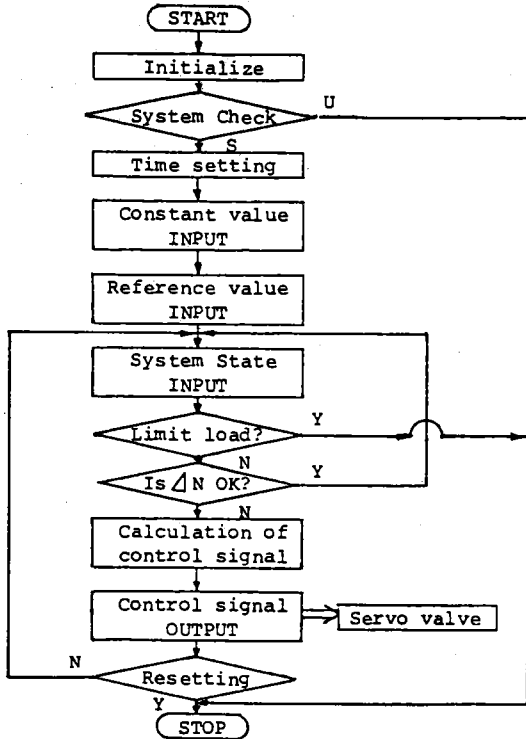
$$C_2 = T_1 T_2 / T_i$$

$$C_3 = (T^2 + T(T_1 + T_2 + K_1) + (T_1 T_2 + K_1 T_2 + K_2)) / T_i$$

$$C_4 = ((T_1 + T_2 + K_1)i + 2(T_1T_2 + K_1T_2 + K_2)) / T_i$$

$$C_5 = (T_1T_2 + K_1T_2 + K_2) / T_i$$

(식3)의 차분식을 제어값으로 하여 콘트롤러의 운영 소프트웨어를 구성한 것이 (그림4)의 흐름도이다.



(그림 4) 출력 제어 흐름도

2.4. 시스템 모델링

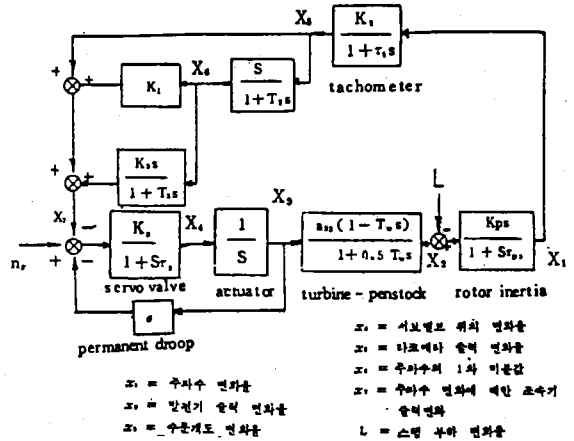
조속기를 실험하고 조정하며 제어변수를 최적화하는 과정은 시스템 전체를 반복 실험하여야 하는 복잡한 일로 이것을 피하고, 초기에 최적 운영점을 구하거나 설계시 제어 시스템의 안정성을 구하기 위해서는 시스템의 모델링과 시뮬레이션이 필요하다.

독립되어 운전되는 수력발전 시스템은 1) 수차, 수압관 2) 제어기(조속기) 3) 서보밸브 4) 수차발전기 회전자로 구분하여 모델링되며,

이 결과 2차 미분형 조속기를 가진 시스템의 전달함수는 (그림 5)와 같이 구해진다. 이 값을 계산하기 위한 상태·공간방정식은 (식 4)가 된다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \\ \dot{x}_6 \\ \dot{x}_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_w} & \frac{K_{ps}}{T_w} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_w} & \frac{a_{22}}{T_w} & -a_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{K_s}{T_s} & -\frac{1}{T_s} & 0 & 0 & -\frac{K_s}{T_s} \\ K_1 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_s} & 0 & 0 \\ \frac{K_1}{T_s} & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_s} & -\frac{1}{T_s} & 0 \\ \frac{K_1}{T_s} & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_s} & -\frac{1}{T_s} & 0 \\ K_1 & 0 & 0 & 0 & K_s & K_s & -\frac{1}{T_s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_1}{T_s} \end{bmatrix} U$$

(식 4)



(그림 5) 2차미분형 조속기로 구성된 시스템

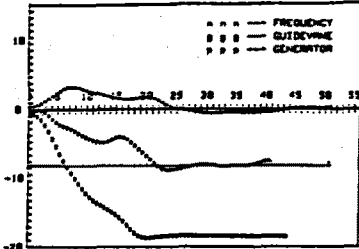
2.5. 성능실험 및 시뮬레이션

조속기의 제어변수에 따른 전체 시스템의 동적특성을 알아보기 위해 부하를 Step 함수로 변화시키는 실험을 하였으며 이 결과를 Simulation 결과와도 비교하였다. 실험 상태와 Simulation 상수는 표와 같다.

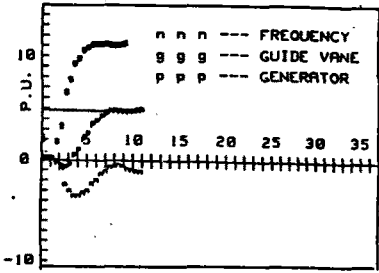
낙차유량	회전수	Dash pot 시정수	라선용 계수	가동용 계수	샘플링 시간	
5m	0.175 950 m3/sec R.P.M	2.2	0.25	0.045	0.32	
K_1	K_2	T_w	T_m	K_s	T_s	K_{ps}
2.0	0.7	0.36	2.5	0.46	2.5	0.85

(Table) 상태상수

(그림 6)와 (그림 7)은 Temporary droop 조속기에 의한 제어결과와 2차미분형 조속기에 의한 제어결과이다. Paynter 에 의해 주어진 Temporary droop 조속기의 최적값에 의한 것보다 2차미분형 조속기에 의한 결과가 훨씬 반응성이 빠른 것을 알 수 있다.

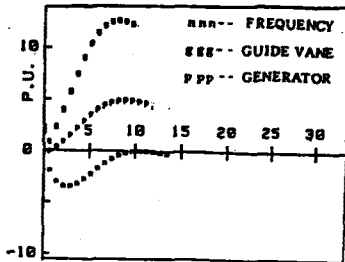


(그림 6) Temporary droop 조속기에 의한 실험결과



(그림 7) 2차미분형 조속기에 의한 실험결과

(그림 8)은 위의 결과를 Simulation 한 것으로 비교적 잘 일치됨을 볼 수 있다.



(그림 8) 시뮬레이션 결과

3. 결 과

본 연구를 통해 마이크로 컴퓨터를 이용한 소수력 발전 시스템의 디지털 출력 제어기법을 확립할 수 있었으며, 2차미분형 조속기를

사용함으로써 조속기의 동적 특성을 향상시켜 Temporary droop 조속기보다 빠른 반응 시간을 얻을 수 있었다. 또한, 상태·공간 방정식을 이용한 Simulation 에 의해 조속기의 설계 특성에 따른 시스템의 동적 특성을 이론적으로 해석할 수 있었으며 설계시에 제어변수를 예측할 수 있게 하였다.

Reference

1. Dipl Ing H. Brekke : "Stability studies for a governed turbine operating under isolated load Conditions", Water Power September 1974.
2. F.R. Schelif "Governor Characteristics for Large Hydraulic Turbines", RES-ERC-71-14. Engineering and Research Center Bureau of Reclamation.
3. Masanobu Araki, Takao Kuwabara : "Water Column Effect on Speed Control of Hydraulic Turbine and Governor Improvement" Hitachi Review Vol.22, No.2.
4. G.W. Bryce, P.W. Agnew, T.R. Foord : "On-site investigation of electro hydraulic governors for water turbines", PROC. IEE. Vol.124, No.2, FEBRUARY 1977.
5. K.H. Blf stadius : "Micro Computers for Hydro Plant Control", Water Power & Dam Construction, Nov. 1983.