

'96 춘계 학술발표회 논문집
한국원자력학회

Modular Modeling System(MMS)코드를 이용한 영광5,6호기
유출관계통에서의 과도현상 해석

고용상, 안장선, 정장규, 박병호, 고득윤
한국원자력연구소

요 약

영광5,6호기 유출관계통은 영광3,4호기의 유출관계통과는 달리 세계의 유출수 압력강하 오리피스 및 유출관 오리피스 개폐밸브를 이용하여 유출유량 및 압력을 제어한다. 새로이 설계 변경된 유출관계통의 성능 및 운전을 평가하기 위해서 Modular Modeling System(MMS) 코드를 이용하여 분석을 수행하였다. 분석결과 배압제어기 제어변수의 계수선정이 계통의 과도현상에 매우 큰 영향을 미치고 있기 때문에 배압제어기 제어변수 선정이 계통의 과도현상 완화에 매우 중요한 인자임을 알 수 있었다. 그리고 배압제어기의 계수만 적절하게 선정되어 있다면, 유출관오리피스 개폐밸브의 Stroke 속도변화에 따른 계통의 과도현상에 미치는 영향은 거의 없음을 알 수 있었다. 또한 유출관오리피스 개폐밸브 특성이 선형인 경우가 Equal Percentage 특성을 갖는 경우보다 과도현상 방지측면에서 우수하며, 배압제어기 제어변수의 계수만 적절하게 잘 선정된다면 유출관오리피스 개폐밸브의 운전에는 관계없이 계통의 과도상태를 적절하게 제어할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

1.0. 서론

본 연구의 목적은 Modular Modeling System (MMS) 코드를 이용하여 영광5,6호기의 유출관계통의 성능 및 운전 등을 분석하고, 유출관오리피스 개폐밸브 (CH-110X, 110Y, 110Z)와 배압제어밸브(Backpressure Control Valve) 사이 배관 내에서 압력진동(Pressure Oscillation)등 과도상태를 사전에 예측하여 설계가 진행되고 있는 계통의 성능을 평가하는데 있다. 영광 5,6호기 유출관계통은 기존호기의 유출관계통과는 다른 많은 설계변경이 존재하는 계통으로써 그 계통의 성능을 평가하고 과도상태시 그 건전성을 사전에 진단하고 평가하는 것이 절실히 요구될 뿐만 아니라 유출관계통 설계변경시 새로이 도입된 각종 기기들의 선정이 적절한지를 확인할 필요가 있다. 유출관계통의 사고 및 과도상태는 국내 및 국외 발전소에서도 다수 확인된 바 있다[참고문헌 1]. 이 과도현상 원인을 규명하기 위하여 관련 계통을 검토한 결과 유출관 유량제어밸브(CH-110P, 110Q) 및 배압제어밸브(CH-201P, 201Q)의 적절한 선정이 매우 중요한 것으로 판명되었다. 또한 미국 발전소인 팔로버디 발전소에서도 정상운전시 유출관의 배압진동이 매우 크고(250 psi), 빠르게 진행되고 있음이 발견되어 배압밸브의 제어변수(Control Parameter), 배압밸브의 설계요건등을 면밀하게 분석검토 한 바 있다[참고문헌 2]. 이와같이 기존호기들에서 관찰되었던 사고 및 과도상태를 미연에 방지하기 위해서 MMS 전산코드를 이용하여 유출관의 수력학적 현상을 묘사하였다.

본 연구에서 사용한 Modular Modeling System(MMS) Code는 발전소 운전상황의 변화로 인하여 각 계통내의

압력, 유량, 운동량 및 에너지변동이 유발될 때 계통이 평형상태로 안정되도록 보조 및 제어계통이 작동되는 경우와 같은 과도현상 분석을 보다 효율적으로 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 발전소 전 계통을 묘사하여 각 계통의 성능평가를 적절히 수행할 수 있는 코드로써 발전소 계통설계, 운전과도 현상분석, 운전상 문제점파악, 그리고 운전절차평가 및 개선 등에 적용이 가능한 코드이다.

2.0. 영광 5,6호기 유출관계통

그림 1에 나타난 바와 같이, 원자로냉각재는 저온관에서 유출되어 재생열교환기의 관부분을 지나면서 원자로냉각재 계통으로 주입되는 충전수에 의하여 냉각된 후 유출수는 3개의 유출관오리피스(정상운전시는 2개개방, 발전소가열, 냉각 및 비정상운전시는 3개운전)를 통과하면서 최소 30 gpm에서 최대 135 gpm까지 유지되며, 유출수 압력은 이들 유출관오리피스를 통과하면서 약 500 psig까지 일차로 감소된다. 또한 유출관오리피스 후단에는 유출수 유량을 제어할 수 있는 개폐밸브가 설치되어 있다. 최소유량(30 gpm)을 통과시키는 유출관오리피스 개폐밸브(CH-110X)는 가압기 수위제어계통으로부터 개폐신호를 받지 않고 정상운전시 항상 열려 있으며, 유출관중 대유량 (45gpm, 70gpm)을 통과시키는 2개의 유출관오리피스 개폐밸브(CH-110Y, 110Z)는 가압기 수위제어계통으로부터 개폐신호를 받도록 설계되어 있다. 이들 유출관오리피스 개폐밸브는 Pneumatic Diaphragm 글로브밸브로써 Plug Form은 선형특성 (Linear Characteristic)을 가지며, 밸브의 Stroke 속도는 5-60초 이내에서 제어가 가능하도록 설계되고 있다. 유출관오리피스를 통과한 유출수는 유출관열교환기를

통과하면서 기기냉각수에 의하여 120 °F (48.9 °C)까지 냉각되고, 유출수 압력은 배압제어밸브(CH-201P, 201Q) 전단에 설치된 배압제어기(PI Controller:PI-201)에 의하여 제어되고 배압제어밸브를 통과하면서 후단 계통에 적절한 압력으로 떨어진다. 또한 배압제어밸브는 기존호기와 동일한 Pneumatic Diaphragm 글로브밸브로써 다만 Plug Form은 Equal Percentage 특성을 갖도록 설계되어있다.

3.0. 분석방법

본 연구의 목적은 발전소계통 성능해석 코드인 MMS 코드를 이용하여 영광5,6호기의 유출관계통의 성능 및 운전등을 분석하고, 유출관오리피스 개폐밸브(CH-110X, 110Y, 110Z)와 배압제어밸브 사이 배관 내에서 압력진동(Pressure Oscillation)등 여러가지 과도상태를 사전에 예측하여 방지책을 구축하는데 있다. 따라서 유출관계통에 설치된 각종 기기들의 선정, 배압제어기의 설정치등의 적절성여부를 평가하고, 본 해석에 의해서 결정된 배압제어기의 설정치를 근거로 여러가지 유출관운전에 따른 과도현상을 평가하고자 한다.

3.1. 유출관계통 모델

유출관계통의 모델을 간략화하기 위해서 그림 1에 나타난 바와 같이 재생열교환기 후단부터 배압제어밸브 후단까지만 본 분석의 모델 대상으로 선정하였다. 즉 재생열교환기 후단의 배관을 입구 경계조건 그리고 배압 제어밸브 후단의 배관을 출구 경계조건으로 정하였다. 모델에 포함된 기기는 3개의 유출관오리피스, 유출관오리피스 개폐밸브, 유출관열교환기, 배압제어기(PI Controller), 배압제어밸브, 각종밸브의 구동자, 배관등이다.

4.0. 분석 및 결과

4.1. 배압제어기 제어변수의 설정치가 계통운전에 미치는 영향

배압제어기 제어변수의 설정치가 유출계통 운전에 미치는 영향을 면밀하게 분석하기 위해서 배압제어기 제어변수의 설정치변화에 따른 배압제어밸브의 개도(Position), 유출관 유량변화 및 배압제어밸브의 전단압력등의 과도현상이 어떻게 나타나는지를 분석하였다. 그림 2는 배압제어기 제어변수의 설정치중 비례계수(Proportional Gain)가 0.25 이고, 적분계수(Integral gain)는 0.5인 경우 시간에 따른 배압제어밸브의 개도, 유출관계통의 유량, 그리고 배압제어밸브의 전단압력을 나타낸 그림이다. 여기서 모사된 배압제어밸브의 거동은 밸브의 Stiction Effect를 고려하지 않은 이상적인 경우로 선정하였다. 그림에서 나타난 바와 같이 배압제어밸브의 개도는 40%~60%정도로 개폐운동을 반복하고 있으며, 계통유량도 상당히 불안정상태로 흐르고, 배압제어밸브의 전단압력도 460 psig를 중심으로 진동폭 약 10 psi 정도로 진동하고 있음을 볼 수 있다. 배압제어기의 설정치가 적절하게 선정되지 않아 배압제어기가 제대로

계통의 과도상태를 제어하지 못하여 이러한 과도현상이 나타나고 있는 것으로 판단된다. 그림 3은 배압제어기 제어변수의 설정치중 비례계수(Proportional Gain)가 0.25이고, 적분계수(Integral gain)는 0.05인 경우에 대한 과도현상을 나타낸 그림이다. 그림에서 나타난 바와 같이 배압제어밸브의 개도는 시간 35초까지 개도 50%를 기점으로 개폐를 반복하면서 서서히 그 진폭이 줄어들고 있으며, 그 이후에는 개도 50%를 일정하게 유지하고 있다. 또한 유출관계통의 유량 그리고 배압제어밸브 전단의 압력도 약 35초 이후에는 적절하게 배압제어기에 의해서 제어되고 있음을 볼 수 있다. 그림 4는 배압제어기 제어변수의 설정치중 비례계수가 0.25이고, 적분계수는 0.005인 경우에 대한 과도상태로 그림에서 나타난 바와 같이 배압제어밸브의 개도는 시간 15초까지 개도 50%를 기점으로 상당히 작은 진폭으로 왕복운동을 반복하지만 그 이후에는 일정한 개도를 유지하며, 유출관계통의 유량, 그리고 배압제어밸브 전단의 압력도 약 15초 이후에는 적절하게 배압제어기에 의해서 제어되고 있음을 볼 수 있다. 배압제어기 제어변수의 설정치중 비례계수의 변화에 따른 계통의 과도현상, 영향을 분석하기 위하여 적분계수를 0.005로 일정하게 유지시키고 비례계수를 2.5, 0.025로 변화시킬 때 배압제어밸브의 개도, 유출관계통의 유량, 그리고 배압제어밸브의 전단압력의 거동을 그림 5, 6에 나타내었다. 그림에서 나타난 바와 같이 비례계수가 2.5인 경우 배압제어밸브의 개도, 유출관계통의 유량, 그리고 배압제어밸브의 전단압력이 매우 일정하게 배압제어기에 의해서 제어되고 있음을 알 수 있다. 그러나 비례계수가 0.025인 경우는 시간이 약 45초까지는 배압 제어밸브의 개도는 50%를 기점으로 35-62%까지 움직이고 있으며, 유출관계통의 유량, 그리고 배압제어밸브의 전단압력도 매우 큰 폭으로 진동하고 있음을 볼 수 있다. 이러한 여러가지 분석 결과는 배압제어기의 제어변수의 선정이 유출관계통의 과도현상에 매우 민감하게 영향을 미치고 있다는 것을 나타낸 것으로써 계통의 과도현상을 적절하게 잘 제어하기 위해서는 배압제어기의 비례계수, 적분계수등을 적절하게 선정하는 것이 매우 중요함을 알 수 있다.

4.2. 유출관오리피스 개폐밸브의 Stroke 속도변화에 따른 과도현상평가

유출관오리피스 개폐밸브의 Stroke 속도변화에 따른 유출관계통의 과도현상을 평가하기 위해서 정상운전 상태(CH-110X, 110Y 밸브개방)에서 CH-110X밸브의 Stroke 속도를 30초, 10초, 그리고 5초로 변화시켜가면서 유출관계통의 과도현상을 분석하였다. 이때 앞서 언급했듯이 CH-110X밸브특성은 선형특성을 가지고 있으며, 배압제어기 제어변수의 비례계수 및 적분계수는 각각 0.25, 0.005인 경우를 선정하였다. 그림 7, 8은 유출관오리피스 개폐밸브 CH-110X밸브의 Stroke 속도를 30초, 5초로 변화시켜 밸브개도를 100%에서 0%로 작동할 경우에 대한 유출관오리피스 개폐밸브의 개도, 배압제어밸브의 개도, 유출관계통의 유량, 그리고 배압제어밸브 전단의 압력을 나타낸 것인데, 그림에서 볼 수 있듯이 CH-110X밸브의

Stroke 속도변화가 계통의 과도현상에 큰 영향을 미치지 않고 있음을 알 수 있다.

4.3. 유출관 오리피스 개폐밸브 특성 변화에 따른 과도현상평가

유출관오리피스 개폐밸브 특성 변화에 따른 계통의 과도현상에 대한 영향을 평가하기 위해서 CH-110X의 밸브특성을 선형특성과 Equal Percentage 특성인 경우를 고려하여 유출관계통의 과도현상을 분석하였다. 그림 4는 CH-110X의 밸브특성이 선형인 경우이고, 그림 9는 Equal Percentage특성인 경우이다. 그리고 배압제어기 제어변수중 비례계수는 0.25이고 적분계수는 0.005인 경우이다. 그림 4, 9에서 볼 수 있듯이 단지 유출관계통의 시간에 따른 과도현상은 거의 동일함을 알 수 있다. 그림 10, 11은 유출관오리피스 개폐밸브 운전에 따른 영향을 평가하기 위해서 CH-110Y밸브는 닫혀있고, CH-110X밸브는 Stroke속도 5초에 밸브개도 30%까지 잠글 경우 밸브특성 변화에 따른 과도현상을 나타낸 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 Equal Percentage특성을 갖은 밸브의 경우가 선형특성을 갖은 밸브보다 유출수 유량 및 배압제어밸브의 개도등 측면에서 더 심한 과도현상을 나타내고 있음을 볼 수 있다. 이는 밸브특성에 따라 밸브를 통과하는 유량이 다르기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다.

4.4. 유출관오리피스 개폐밸브의 운전에 따른 유출관과도현상 평가

유출관오리피스 개폐밸브의 운전으로 인한 계통과도현상을 평가하기 위해서 CH-110Y밸브는 닫혀있고, CH-110X밸브의 Stroke 속도 5초로 밸브개도를 100%에서 20%까지 닫을 경우(그림 12)와 CH-110X밸브는 열려있고, CH-110Y밸브의 Stroke 속도 5초로 밸브개도를 0%에서 50%까지 열 경우(그림 13)에 대해 계통의 과도현상을 분석하였다. 이 경우 유출관오리피스 개폐밸브의 특성은 선형특성이며, 배압제어기의 비례계수 및 적분계수는 각각 0.25, 0.005이다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 유출관의 운전에 관계없이 과도현상이 매우 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있다. 그림 14는 CH-110X밸브의 Stroke 속도 5초로 밸브개도를 100%에서 20%까지 닫을 때 배압제어기의 적분계수가 0.5인 경우에 대한 유출관오리피스 개폐밸브의 개도, 배압제어밸브의 개도, 유출관계통의 유량, 그리고 배압제어밸브 전단압력을 나타낸 것이다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 배압제어기의 제어변수가 적절하게 선정되지 않아 유출관내에서 심각한 과도현상을 유발하고 있음을 볼 수 있다. 그림 15는 CH-110X밸브의 Stroke 속도 5초로 밸브개도를 100%에서 20%까지 닫을 때 배압제어기의 비례계수를 0.0025로 변경할 경우에 대한 유출관오리피스 개폐밸브의 개도, 배압제어밸브의 개도, 유출관계통의 유량, 그리고 배압제어밸브 전단압력을 나타낸 것이다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 배압제어기의 제어변수가 적절하게 선정되지 않아 유출관내에서 심각한 과도현상을 유발하고 있음을 볼 수 있다. 따라서 이 분석에서도 알 수 있듯이

배압제어기의 계수만 적절하게 잘 선정된다면 유출관 오리피스 개폐밸브의 운전에는 관계없이 계통의 과도상태를 적절하게 제어할 수 있다는 것을 알 수 있다.

5.0. 결론

MMS 코드를 이용하여 영광 5,6호기 유출관계통의 과도현상을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 배압제어기 제어변수의 계수변화에 따른 계통의 과도현상을 분석해 본 결과 배압제어기의 계수 선정이 계통의 과도현상에 매우 큰 영향을 미치고 있음을 알았고, 배압제어기 제어변수 선정이 계통의 과도현상 완화에 매우 중요한 인자임을 알 수 있었다.

2) 유출관오리피스 개폐밸브의 Stroke 속도변화에 따른 계통의 과도현상을 분석해 본 결과 배압제어기의 계수만 적절하게 선정되어 있다면, 유출관오리피스 개폐밸브의 Stroke 속도변화가 계통의 과도현상에 미치는 영향은 거의 없음을 알 수 있었다.

3) 유출관오리피스 개폐밸브 특성 변화에 따른 계통의 과도현상을 분석해 본 결과 유출관오리피스 개폐밸브 특성이 선형인 경우가 Equal Percentage특성을 갖은 경우보다 과도현상 방지측면에서 우수함을 알 수 있었다.

4) 유출관오리피스 개폐밸브의 운전에 따른 계통의 과도현상을 분석한 결과 배압제어기 제어변수의 계수만 적절하게 잘 선정된다면 유출관오리피스 개폐밸브의 운전에는 관계없이 계통의 과도상태를 적절하게 제어할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

6.0. 참고문헌

- 1) 김은기, "유출관에서의 과도현상 해석", 원자력 연구소 연구논문, 1995.
- 2) Terry C. Price, "Modeling of the Palo Verde Letdown System", ANS Winter Meeting, Oct. 31, 1995

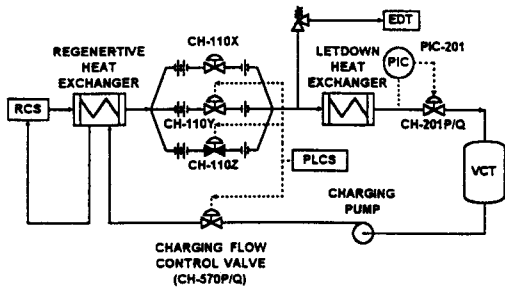


그림 1 영광 5,6호기 유출관 계통의 개략도

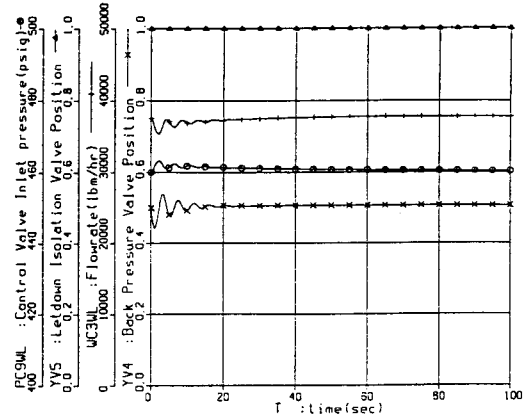


그림 4 배압제어기 제어변수(PG=0.25,IG=0.005)에 대한 밸브개도, 유량 및 압력변화

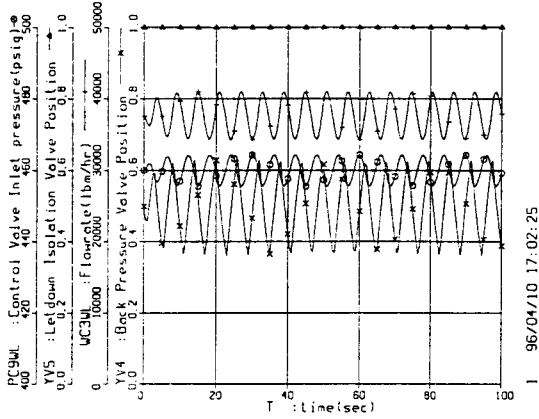


그림 2 배압제어기 제어변수(PG=0.25,IG=0.5)에 대한 밸브개도, 유량 및 압력변화.

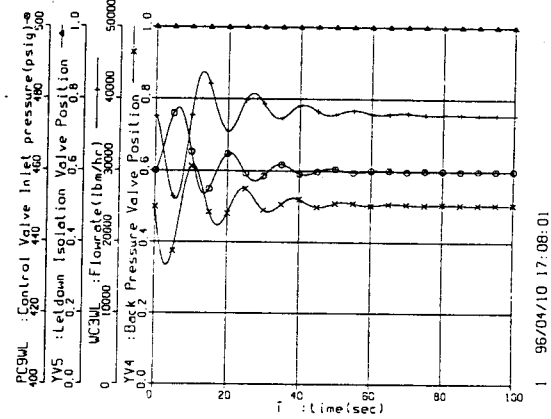


그림 5 배압제어기 제어변수(PG=0.025,IG=0.005)에 대한 밸브개도, 유량 및 압력변화.

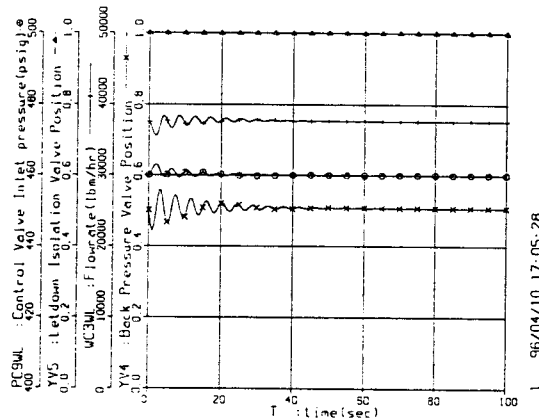


그림 3 배압제어기 제어변수(PG=0.25,IG=0.05)에 대한 밸브개도, 유량 및 압력변화

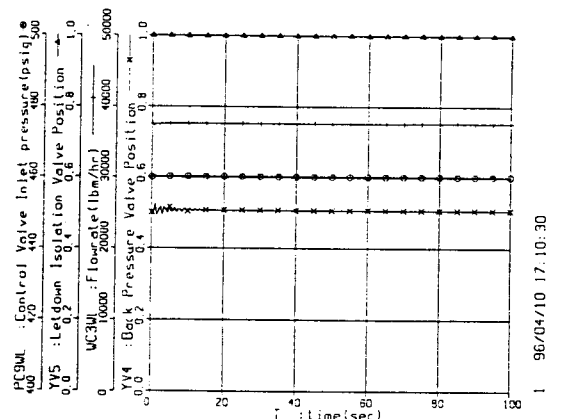


그림 6 배압제어기 제어변수(PG=2.5,IG=0.005)에 대한 밸브개도, 유량 및 압력변화.

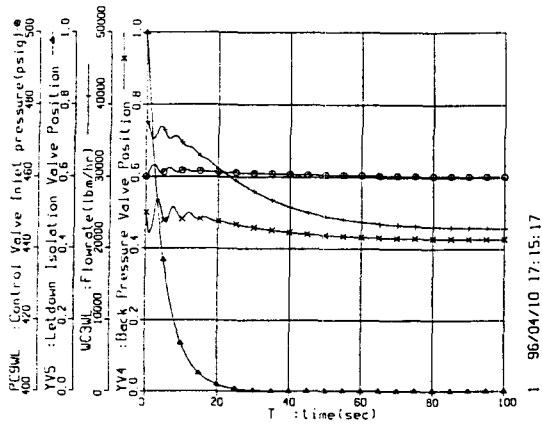


그림 7 CH-110X밸브 Stroke속도(30초)에 따른 밸브개도, 유량 및 압력변화.

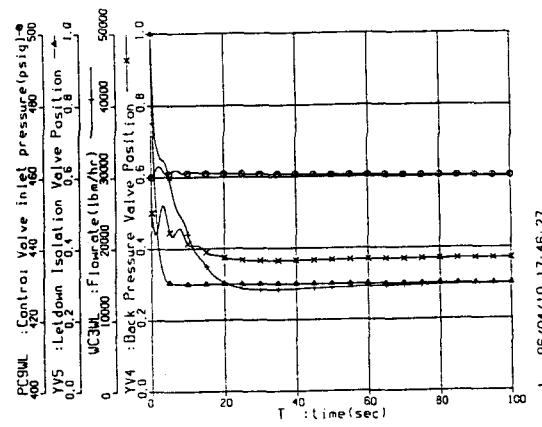


그림 10 CH-110X밸브 운전과 밸브특성(Linear)에 따른 밸브개도, 유량 및 압력변화.

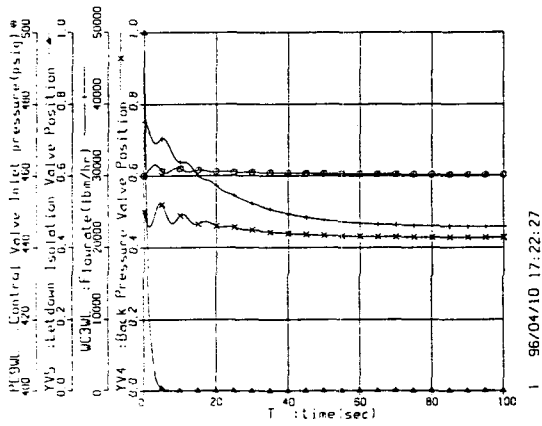


그림 8 CH-110X밸브 Stroke속도(5초)에 따른 밸브개도, 유량 및 압력변화.

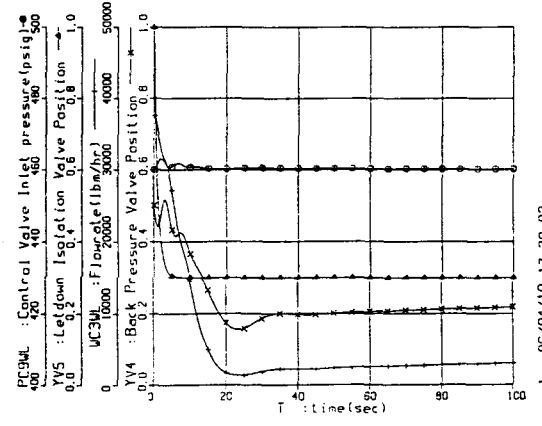


그림 11 CH-110X 운전과 밸브특성(Equal Percentage)에 따른 밸브개도, 유량 및 압력변화.

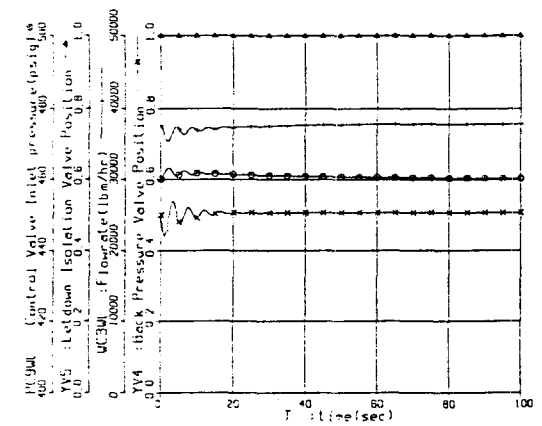


그림 9 CH-110X밸브특성(Equal Percentage)에 따른 밸브개도, 유량 및 압력변화.

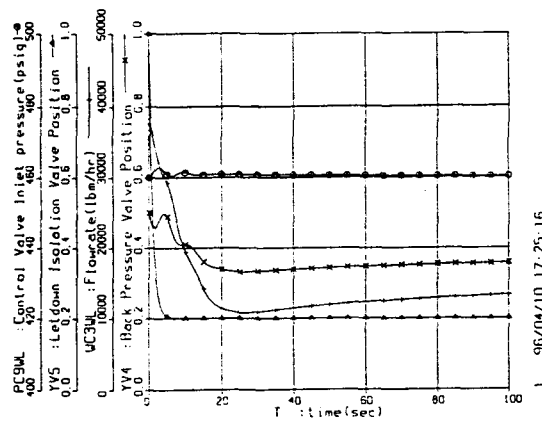


그림 12 CH-110X 운전과 밸브특성(Linear)에 따른 밸브개도, 유량 및 압력변화.

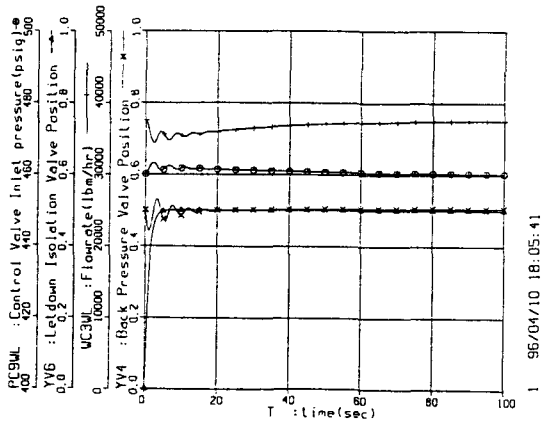


그림 13 CH-110Y 운전과 제어변수(PG=0.25, IG=0.005)에 따른 밸브개도, 유량 및 압력변화.

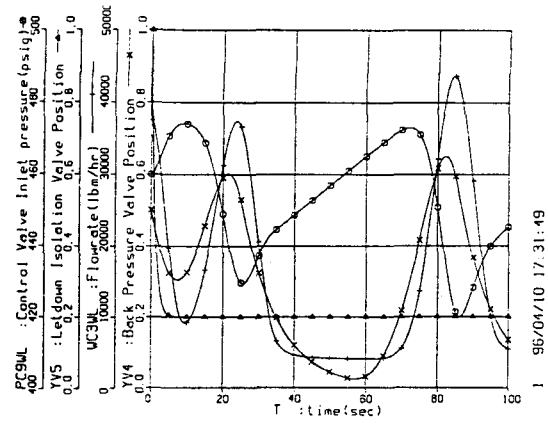


그림 15 CH-110Y 운전과 제어변수(PG=0.0025, IG=0.005)에 따른 밸브개도, 유량 및 압력변화.

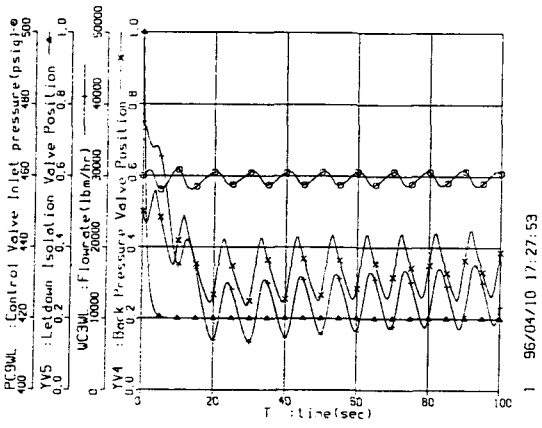


그림 14 CH-110Y 운전과 제어변수(PG=0.25, IG=0.5)에 따른 밸브개도, 유량 및 압력변화.