

데드밴드 제어밸브를 가진 제어루프의 제어 개선

Control Improvement of Control Loop with Deadband Control Valve

이광대*, 오응세**, 양승옥***
(Kwang-Dae Lee, Eung-Se Oh, Seung-Ok Yang)

Abstract - A control valve with deadband characteristics influences on the control dynamics. A control loop with deadband component shows cyclic control results and causes the wears of mechanical parts. A valve on the important process that require nonstop operation cannot be improved during operation. In case of control loops with deadband dynamics, the optimal control parameters based on the performance only are not sure of the good operation in point of protecting the control component. To improve the control performance and control oscillation, the control parameters should be changed to meet both control quality and protection of control components.

Key Words : deadband, control valve, control loop, tuning

1. 서론

제어밸브는 기계적인 마찰 등에 의하여 어느 정도는 데드밴드 특성을 가진다. 데드밴드 특성을 가진 밸브로 구성된 제어루프에서는 제어가 원활하지 못하고 주기적인 제어진동에 의하여 밸브의 기계적인 마모가 촉진되고 제어품질이 나빠진다.

이를 개선하기 위해서는 제어밸브의 기계적인 응답특성, 공기 구동 밸브의 다이어프램 사이징, 포지셔너의 적정성 등을 점검하여야 한다. 그러나 원자력발전소와 같이 밸브가 운전중 접근이 어려운 지역에 설치되어있거나, 운전중 지장을 주는 중요 밸브인 경우에는 운전중 정비가 어렵기 때문에 근본적인 개선이 어렵다. 이런 경우, 현재의 기계적인 데드밴드를 운전중에 개선하는 것은 어려우므로 제어기의 재설정을 통하여 제어품질과 제어밸브의 보호 목적을 동시에 달성하도록 하여야 한다.

본 논문에서는 실제 원자력발전소에서 제어기 재설정을 통하여 데드밴드 특성에 의한 제어 진동을 완화하고 적정 수준의 제어 품질을 만족하도록 개선한 내용을 기술하였다.

1.1 압력 제어시스템 개요

원자력발전소의 원자로냉각재 체적제어루프에서 압력 제어기 구성은 그림 1 과 같이 압력 제어밸브 201P, 압력 전송기 PT-201P, 비례적분 제어기 PC-201 로 구성된다.

저자 소개

- * 이광대: 한국전력공사 전력연구원 I&C그룹
- ** 오응세: 한국전력공사 전력연구원 I&C그룹
- *** 양승옥: 한국전력공사 전력연구원 I&C그룹

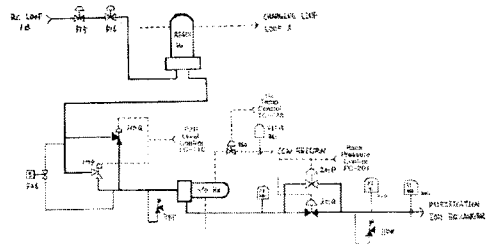


그림 1. 원자력발전소 체적제어루프의 압력제어 기기 구성

압력 제어기는 PT-201P로 측정된 압력이 증가하면 후단의 제어밸브를 열고, 감소하면 밸브를 단아서 일정한 압력으로 제어한다.

1.2 압력 제어 응답

발전소의 실제 압력 제어 응답은 그림 2 와 같다.

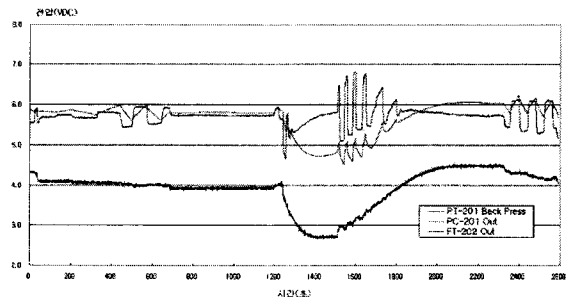


그림 2. 압력 제어 응답

그림 2에서는 압력 제어기 PC-201이 제어 설정값과 압력 계측값에 대해서 선형적으로 제어출력을 만들고 있음을 보여준다. 그러나 제어되는 압력은 구형과 특성을 나타내어 제어밸브가 데드밴드를 가짐을 알 수 있다. FT-202는 전단으로부터 유입되는 유량을 나타내며, 유입량이 약간만 변화하여도 압력이 순간적으로 변화함을 알 수 있다.

2. 제어기 재설정을 통한 개선

데드밴드를 가진 제어밸브를 제어기기로 사용하는 제어루프는 제어품질의 만족과 잦은 밸브의 ON/OFF 동작으로부터 밸브 기계부의 마모를 최소화하도록 운전하는 것이 바람직하다.

본 절에서는 우선 운전 값을 이용하여 압력 제어 모델을 구하였다. 제어 모델을 이용하여 시뮬레이션을 통하여 현재의 제어기 설정값이 적정한지를 조사하고 제어 진동을 완화하기 위한 최적 설정값을 구하였다.

2.1 압력 제어루프 모델링

일반적으로 일정한 부피의 압력 모델은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{dp}{dt} = \rho \frac{dV}{dt} = F_{in} - F_{out}$$

여기서, p 는 압력, ρ 는 유체 밀도, V 는 유체 체적, F_{in} , F_{out} 은 유입 또는 유출되는 유량이다. 위의 식과 같이, 압력의 변화는 유량의 변화에 대하여 1차 적분 응답특성을 가지는 적분 공정이다. 그러나 실제로는 순수한 1차 적분 공정과 밀도 변화 등에 의한 지연 효과가 나타나게 되며 이를 반영한 일반식은 다음과 같다.

$$p(s) = \frac{\Delta F}{S+K}$$

위의 일반식에 그림 2의 실제 운전 데이터를 이용하여 모델의 파라미터를 구한 디스크리트 모델 식은 다음과 같다.

$$p(z) = \frac{-0.235}{Z-0.5} \Delta F(z)$$

위의 경험적 모델 식을 이용하여 구성한 전체 제어루프 모델은 그림 3과 같다.

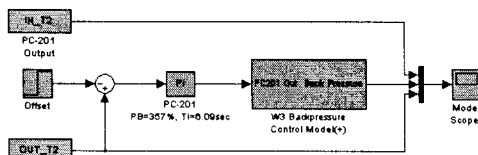


그림 3. 체적제어루프의 압력 제어 모델

구한 모델의 출력 값과 실제 운전 결과의 근사도는 그림 4와

같이, 거동 특성이 거의 유사하므로 적절하게 모델링 되었다고 평가할 수 있다.

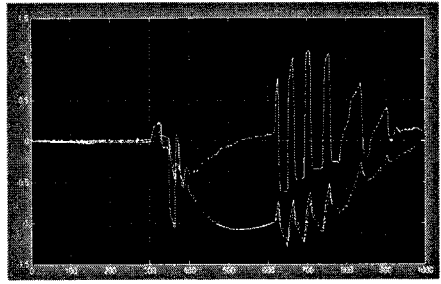


그림 4. 압력 모델(노란색)과 실제 운전 결과(보라색)의 비교

2.2 데드밴드가 없을 경우의 최적 제어 응답

현재의 제어기 설정값(비례대=357%, 적분시간=6.09초)에서 데드밴드가 없다고 가정할 경우의 압력 제어 모델을 이용한 응답 특성은 그림 5와 같다.

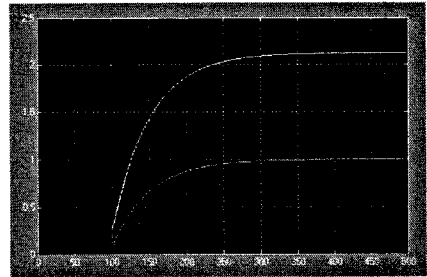


그림 5. 현재 제어기 설정값에서 데드밴드가 없을 경우의 제어응답

그림 5에서 압력변화에 대해서 추종하는 시간은 약 50초가 소요되고, 그림 4의 실제 운전 결과에서는 약 30초마다 압력 변화가 일어나므로 현재의 제어기 설정값으로는 적절하게 추종할 수 없음을 알 수 있다.

최적 제어기준을 오버슈트가 없는 것으로 할 경우, 최적 제어기 설정값은 비례대=200%, 적분시간=4초로서 그 결과는 그림 6과 같다.

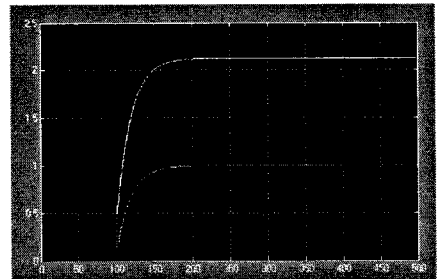


그림 6. 데드밴드가 없을 경우의 최적 설정값에서 제어응답

그림 9. 최적 제어기 설정값에서 데드밴드로 인한 제어 진동

2.3 데드밴드를 고려한 최적 제어 응답

데드밴드 특성을 가진 제어밸브로 구성된 제어루프에서의 최적 운전 조건은 제어가 원활한 것보다는 제어밸브의 기계적인 마모의 최소화, 배관의 압력 스트레스 지감, 적절한 수준의 제어품질 만족이다. 이러한 관점에서는 그림 6의 최적 제어기 설정값에 의한 제어 결과는 최적이라고 볼 수 없다.

그림 7은 제어밸브의 데드밴드를 고려한 제어루프 모델이다.

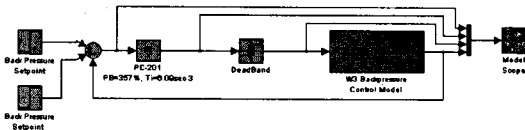


그림 7 제어밸브의 데드밴드를 고려한 제어루프 모델

그림 8은 현재의 제어기 설정값에서 발생할 수 있는 제어 진동 응답을 보여주며, 진동 주기는 약 95초이다. 제어기 출력이 $\pm 0.2\%$ 서서히 변화함에 따라 밸브 개도는 $\pm 0.2\%$ ON/OFF 동작을 하고, 제어 압력은 $\pm 0.5\%$ 진동을 함을 알 수 있다.

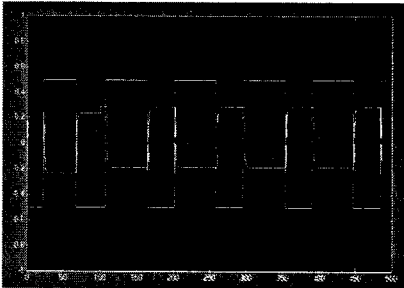
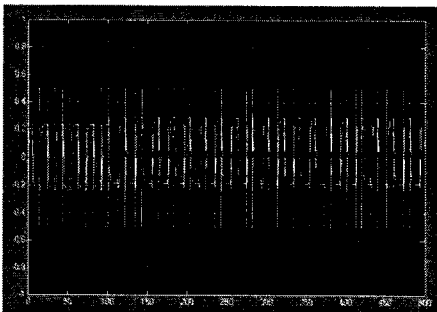


그림 8. 현재 제어기 설정값에서 데드밴드로 인한 제어 진동

그림 6의 최적 제어기 설정값에서 제어를 할 때 데드밴드에 의해 발생하는 제어진동 결과는 그림 9와 같으며, 진동 주기는 약 20초이다. 데드밴드가 없을 경우에는 최적인 제어기 설정값이 데드밴드가 있을 경우에는 제어진동 빈도가 약 5배 증가하여 최악의 결과를 나타낼 수 있음을 알 수 있다.



제어 응답성과 제어진동 억제를 목적으로 재설정된 값은 비례대=350%, 적분시간=10초이며, 이때의 진동 주기는 약 105초이다.

만약, 제어 결과와 제어 설정값이 정확하게 일치하지 않아도 되는 제어루프라면, 즉, 일정 범위내의 오프셋 오차를 허용하는 제어루프라면 적분시간을 가능하면 길게 설정하여 작은 오프셋에 대한 적분 제어 기능을 약화시켜 제어진동을 더욱 작게 할 수도 있다.

3. 결론

제어밸브를 사용하는 제어루프에서는 밸브의 제어특성이 제어품질에 많은 영향을 준다. 운전상 중요한 공정으로서 정비를 위한 정지가 불가능한 경우, 그리고 운전중 고방사능 지역으로서 정비를 위한 접근이 어려운 경우 등에는 완벽한 제어품질보다는 제어기기와 시설의 보호측면이 중요할 수도 있다.

데드밴드를 가진 제어밸브가 사용되는 경우에는 데드밴드가 없는 공정의 최적 제어기 설정값을 적용하는 것은 최악의 제어 특성과 기기 손상을 가져올 수도 있다.

본 논문에서는 실제 원자력발전소의 압력제어 사례를 이용하여, 데드밴드가 없을 경우의 최적 제어기 설정값이 데드밴드에 의하여 주기적으로 제어진동이 발생하는 제어루프에서는 얼마나 나쁜 영향을 미치는지를 보여준다.

시뮬레이션 결과, 데드밴드가 없는 제어루프의 최적 제어기 설정값은 데드밴드에 의한 제어 진동을 5배까지 증가시킬 수 있다. 이런 상태에서 장기간 운전할 경우에는 제어밸브의 기계적인 손상뿐만 아니라 배관에 주기적인 압력 스트레스를 발생시켜 수명을 단축시킬 수 있다.

따라서 제어품질과 기기 보호를 위해서는 제어 응답성과 데드밴드에 의한 진동 최소화를 만족시켜야하며, 이를 위하여 제어기 설정값을 다시 설정하여 운전하도록 하였다.

참 고 문 헌

- [1] James B.Riggs, "Chemical Process Control", 아진출판사, pp.96-97, 2001.
- [2] Lennart Ljung, "System Identification", Prentice Hall, pp.56-57, 1987.
- [3] Bahram Shahian, "Control System Design Using Matlab", Prentice Hall, pp.171-177, 1993.