

목표치 필터형 2자유도 PID 제어를 이용한 공기식 제어밸브의 제어 특성 연구

윤경렬, 김동화
대전 산업 대학교

A Study on the Characteristic of Control Valve using 2DOF PID Controller with Target Value Filter

Yoon Kyong-Ryol, Kim Dong-Hwa
Taejon National University of Technology

Abstract - The three-mode PID controller is widely used in plant because control algorithm is simple and tuning method is general. But the conventional PID controller can not have the both purpose of setpoint tracking and disturbance rejection at the same time. In this paper, we studied the application 2DOF PID controller to pneumatic control valve through simulation and experiments. Results are presented a satisfactory response.

1. 서 론

PID 제어기는 제어 이론이 간단하고, 현장에 대한 적응성도 좋고, 광범위하게 작용하는 장점이 있는 반면, 목표값 추종과 외란 억제를 동시에 할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 따라서 이러한 PID 제어의 단점을 보완하기 위해 2자유도 PID 제어기 (2-DOF : 2-Degrees of Freedom PID Controller)를 사용하게 된다. 2자유도 PID 제어기는 구현방법에 따라 다양하게 구성할 수 있으나, 구체적으로 각각의 구조에 대해 상세하게 그 성능과 특징을 비교 분석한 자료는 많지 않다. [1~3]

본 논문에서는 목표치 필터형 2자유도 제어를 구성하고 각 제어요소의 파라미터 가변시 특성과 성능을 시뮬레이션과 실험을 통해 제어밸브에 적용하는 문제를 연구하였다.

2. 본 론

2.1. 목표치 필터형 2자유도 제어

PID제어는 광범위하게 적용되고 있지만, 이는 목표치 추종과 외란 억제를 동시에 할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위해 2자유도 제어를 사용하게 된다.

목표치 필터형 2자유도 제어기의 기본 구조는 그림 2와 같이 목표치 필터부[$H(s)$], 미분선행형 PID제어부[$K(s)+F(s)$]로 구성되어 있다. [4~6]

그림 1.에서 응답을 결정하는 식을 나타내면 다음과 같다.

$$PV = \frac{H(s)K(s)G(s)}{1+[K(s)+F(s)]G(s)} SV + \frac{G(s)}{1+[K(s)+F(s)]G(s)} D(s) \quad (1)$$

여기서 각 부분은

$$K(s) = K_p(1 + \frac{1}{T_i s}) \quad (2)$$

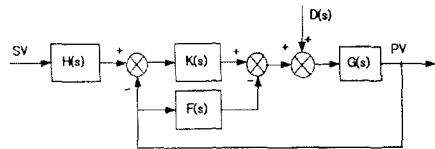


그림 1. 목표치 필터형 2자유도 PID 제어의 블록도
Fig.1. Block diagram of 2DOF with target filter.

$$F(s) = \frac{T_d s}{1 + \eta T_d s} \quad (3)$$

$$H(s) = \frac{1 + a T_i s}{1 + T_i s} + \frac{T_i s}{1 + T_i s} [-\frac{\beta}{1 + T_i s} + \frac{\gamma T_i s}{1 + \eta T_i s}] \quad (4)$$

으로 되어 있다. 외란에 강인한 파라미터를 구하기 위해서는 식(1)에서 외란D(s)항의 미분선행형 PID 제어기 K(s)와 F(s)를 식 (5)와 같이 하여 파라미터를 조절한다.

$$K(s) + F(s) = K_p(1 + \frac{1}{T_i s}) + \frac{T_d s}{1 + \eta T_d s} \quad (5)$$

즉, 식(5)의 파라메타 K_p, T_i, T_d, η 를 외란 D(s)에 강인하도록 적절히 조절하면 만족스런 응답을 얻을 수 있다. 그리고, 목표값 추종 특성이 뛰어나게 하기 위해서는 식 (4)의 파라미터인 a, β, γ , 적절히 조절하여야 한다. [7~8]

2.2 제어 밸브

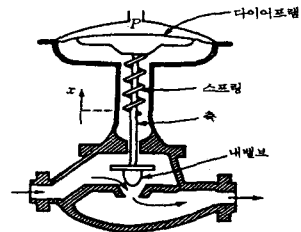


그림 2. P값 가변에 의한 제어밸브의 응답.
Fig. 2. Control valve response by P variation.

그림 2에서 다이어프램의 면적을 A, 측정 압력을 P, 다이어프램의 변위량을 x, 스프링 상수를 K라 하면 이 운동에는 뉴턴 법칙이 성립한다. [9]

$$\frac{M}{g_c} \frac{d^2 x}{dt^2} = PA_D + M \frac{K}{g_c} - Kx - P_i A_p - R \frac{dx}{dt} \quad (6)$$

라플라스 변환하여 압력 P와 변위량 x 사이의 전달함수를 구하면 식 (7)으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{x}{P} = \frac{A_0/K}{\frac{M}{Kg_c} s^2 + \frac{R}{K} s + 1} \quad (7)$$

3. 시뮬레이션 및 결과 고찰

그림 3은 P값을 0.01, 0.1, 0.5, 2로 증가시키면, 오버슈트가 커지고, 상승시간이 길어진다. 그림 4는 I값을 0.5, 0.8, 1.2, 1.8로 증가하면 오버슈트가 줄어든다. 그림 5는 η 값이 0.1, 0.7, 1.8, 2.5로 증가하면 오버슈트가 줄어드는 것을 알 수 있다.

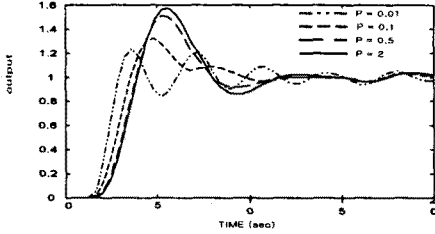


그림 3. P값 가변에 의한 계단 응답 특성.
Fig. 3. Step response via P variation.

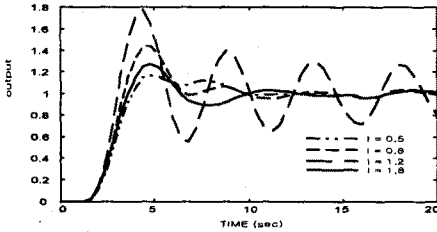


그림 4. I값 가변에 의한 계단 응답 특성.
Fig. 4. Step response via I variation.

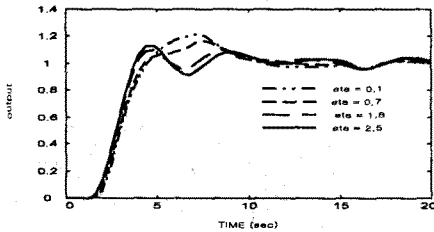


그림 5. η 값 가변에 의한 계단 응답 특성.
Fig. 5. Step response via η variation.

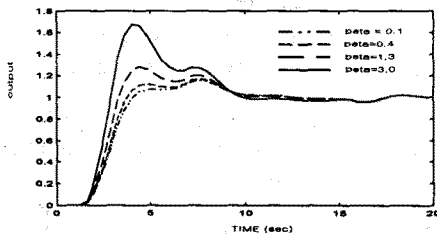


그림 6. β 값 가변에 의한 계단 응답 특성.
Fig. 6. Step response by β variation.

그림 6은 β 값을 증가시켰을 때 오버슈트가 급격히 변하는 것을 알 수 있다. 그림 7과 그림 8은 순간적인 외란 입력과 지속적인 외란 입력이 있을 때의 응답을 비교한 것으로 2DOF PID 제어기가 PID나 PI-D보다 우수한 응답 특성이 나타났다.

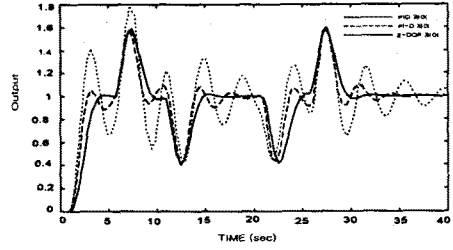


그림 7. 지속적 외란입력에 의한 응답.
Fig. 7. Output comparative by continuous disturbance.

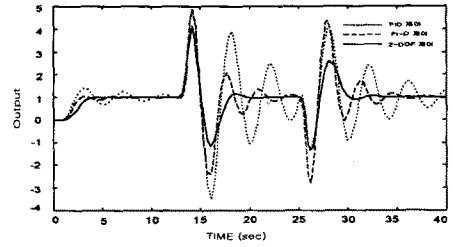


그림 8. 순간적인 외란입력에 의한 응답.
Fig. 8. Output comparative by impulse disturbance.

4. 실험 결과 고찰

그림 9에서 그림 13까지는 목표치 필터형 2자유도 PID 제어기의 각각의 파라미터의 가변에 의한 제어밸브의 응답을 나타낸 것이다.

그림 9는 P값이 커지면 밸브의 초기 동작점이 낮아진다. 그러나 3 이상의 이득은 더 이상 제어밸브 위치에 영향을 주지 않는다. 그림 10은 I값이 증가함에 따라 지연시간이 길어짐을 알 수 있다.

한편, 그림 11은 D값에 의한 특성을 나타낸 것으로 D값이 증가함에 따라 지연 시간이 길어짐을 알 수 있다. 그림 12는 η 값에 대한 응답으로 η 값이 클수록 지연특성이 커지고 있다.

또, 그림 13은 α 값의 가변에 따른 응답으로 α 가 커질수록 지연시간은 짧아진다. 이와 같은 각 파라미터 동작 특성을 이용해 목적치와 설정치 가변에 대해 원하는 응답을 얻을 수 있다.

그림 14는 PID 제어기, 미분 선행형 PID 그리고 제어기 목표치 필터형 2자유도 PID 제어기의 응답을 비교한 것이다. PID 제어기와 미분선행형 PID 제어기보다 목표치 필터형 2자유도 PID 제어기의 응답이 개선됨을 알 수 있다.

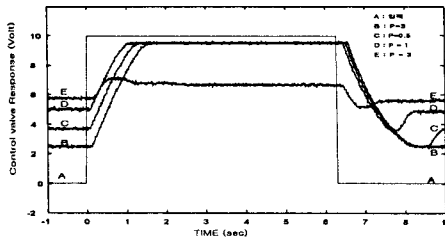


그림 9. P값의 가변에 의한 제어밸브의 응답.
Fig. 9. Control valve response via P variation.

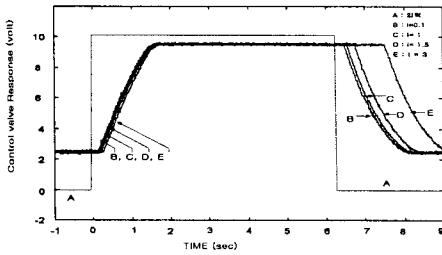


그림 10. I값의 가변에 의한 제어밸브의 응답.
Fig. 10. Control valve response by I variation.

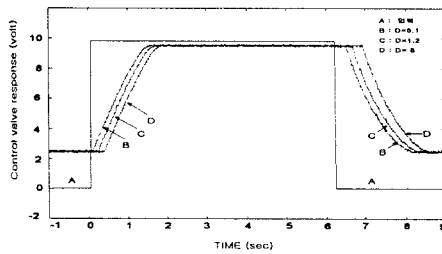


그림 11. D값의 가변에 의한 제어밸브의 응답.
Fig. 11. Control valve response by D variation.

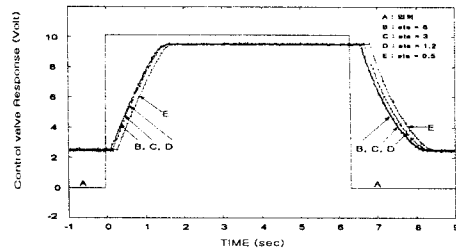


그림 12. η 값의 가변에 의한 제어밸브의 응답.
Fig. 12. Control valve response by η variation.

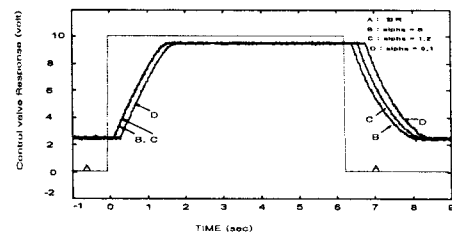


그림 13. α 값의 가변에 의한 제어밸브의 응답.
Fig. 13. Control valve response by α variation.

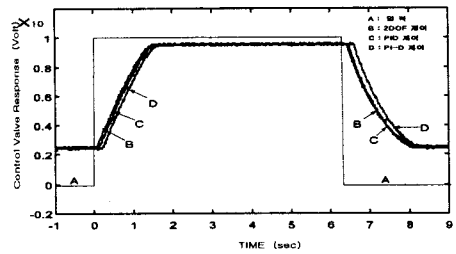


그림 14. PID, PI-D, 2DOF PID의 응답.
Fig. 14. Response of PID, PI-D, 2-DOF PID controller.

5. 결론

PID 제어기는 목표치 추종 성능과 외란 제거 기능을 동시에 만족할 수 없어 플랜트에서의 성능을 향상시키기 어렵다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 2자유도 PID 제어 중에서 목표치 필터형 PID 제어를 도입하여 목표치 필터와 미분선행형 부분에 대한 각각의 파라미터가 응답 특성에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통해 분석하고, 이를 제어 밸브에 적용하여 제어 특성을 고찰하였다.

그 결과 PID제어, 미분선행형 PID제어의 응답 특성보다 목표치 필터형 2자유도 PID제어의 실험 결과가 목표치 응답 시간이 빠르고, 외란에 강인함을 알 수 있었습니다. 그러나 2-DOF PID 제어가 PID 제어나 PI-D제어보다 파라미터가 많으므로 적당한 튜닝방법에 대한 연구가 필요하다.

(참 고 문 헌)

- [1] Ziegler and Nichols, "Optimum Setting for Automatic Controllers", Trans. ASME, 64, pp. 759~768, 1942.
- [2] Isaac M. Horowitz, "Synthesis of Feedback System Academic Press, 1963.
- [3] 廣井 "2自由度PID 制御の 概念と 基本形 2自由度 PID", 計裝, Vol. 34, No.7, pp.61-69, 1991.
- [4] 廣井 "2自由度PID制御方式とその應用", 日本鐵鋼協會 第91回 計測制御部會. (計制91-6-3), 1985.
- [5] 重政, 森, 市州 "目標値 フィルタ 備えた PID 制御の設計法", 計測自動制御學會 論文集 19卷 6号, pp. 509-511, 1983.
- [6] 田口, "2自由度 PID 制御系の 最適 パラメータ", 計測自動制御學會論文集 .Vol.23 No.9, pp. 9-15,1987.
- [7] 김동화, "계장제어 시스템", 통일출판사, 1997.
- [8] 廣井和男 "實験デジタル制御技術"
- [9] Thomas W. Weber, "An Introduction to Process Dynamics and Control", 1973