

< PID Control Design for Robots > 한양대학교 ERICA 전자공학부 최영진 교수

PID 제어를 설계한다는 것은 Proportional-Integral-Derivative (비례-적분-미분) 제어 기능을 구현한 구조에서 Gain(이득)을 제어 목적에 맞게 선정하는 것을 의미함.

1. PID제어: 혁신적인 제어 알고리즘들의 도전을 이기고 살아남았다.

- PID제어는 1936년 Callender에 의해서 처음으로 수학적 기술
- PID제어가 기계, 전기, 항공 등에 널리 사용되기 시작하면서 이득(Gain) 선정방법에 대한 이슈 발생
- Ziegler와 Nichols에 의해서 1942년 의미 있는 이득동조(Gain Tuning) 방법이 제안됨
- PID제어의 성능한계를 극복하기 위해 최적제어, 적응제어, 강인제어, 예측제어, 등 많은 최신 제어 기법들이 개발되었음도 불구하고 PID제어가 아직도 로봇(산업) 제어기의 90%이상 차지하고 있음

[1] A. Callender, D. R. Hartree, A. Porter, "Time lag in a control system", *Philos. Trans. R. Soc. London A*, London, UK: Cambridge University Press, 1936.

[2] J. G. Ziegler, and N. B. Nichols, "Optimum settings for automatic controllers," *Trans. ASME*, vol. 64, pp. 759-768, 1942.

[3] J. G. Ziegler, and N. B. Nichols, "Process lags in automatic control circuits," *Trans. ASME*, vol. 65, pp. 433-444, 1943.

2. PID제어: 과거의 경험, 현재 노력, 미래를 예측하는 제어 입력이며 다양한 보상기들이 돕는다.

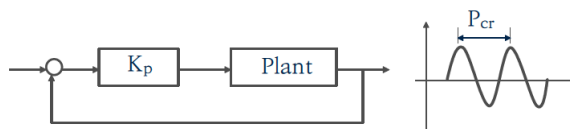
- 비례제어: 현재 시스템의 상태를 원하는 상태로 변경하고자 하는 제어 입력
- 적분제어: 지나간 시스템 상태의 (bygone state) 경험 정보로부터 축적된 제어 입력
- 미분제어: 현재 시스템 상태의 경향성 (tendency) 정보를 반영하여 예측한 제어 입력
- 외란관측기(Disturbance Observer)와 같이 사용하면 강인성 측면에서 더 좋은 성능을 보임
- 마찰보상기를 같이 사용하면 제어시스템 비선형성 극복에 큰 도움이 됨
- 입력포화보상기(Anti-windup)를 제어기 출력단에 사용하여야 원하는 성능을 달성할 수 있음

[4] S. Li, J. Yang, W-H. Chen, X. Chen, *Disturbance Observer-Based Control: Methods and Applications*, CRC Press, 2016.

[5] Franklin, Powell, Emani-Naeini, *Feedback Control of Dynamic Systems 8th edition*, Pearson, 2020.

3. 이득동조 (Gain Tuning): 개인의 경험과 시스템 역학에 기반한다.

- Ziegler-Nichols가 제안한 두 번째 동조 방법: 목표를 설정하고, 목표 값과 현재 값 사이의 오차를 계산하고 비례 제어를 적용하여 나온 출력이 지속적인 진동을 만들 때까지 비례 이득을 증가시킴. 이 때의 출력 진동주기를 임계 주기(P_{cr} , critical period)라고 하고, 이 때의 비례 이득값을 임계 이득(K_{cr} , critical gain)이라 하는데, 보통 비례이득은 임계이득의 60%를, 적분시간은 임계주기의 50%, 미분시간은 임계주기의 12.5%를 사용하여 설정하면 약간의 오버슈트를 가진 제어 응답을 얻을 수 있는데, 경험상 미분시간 및 적분시간을 20~100% 정도 같은 비율로 증가시키면 오버슈트를 감소시키는 효과를 확인할 수 있음.



- 기계시스템에 PID제어 적용할 때 몇 가지 유용한 동조 규칙
 1. 제어시스템의 관성이 커지면 비례이득과 적분이득을 관성에 반비례하러 줄인다.
 2. 비례이득이 증가되면 적분이득을 같은 비율로 증가시킨다.
 3. 목표속도가 증가하면 3가지 이득 모두를 목표 최대속도의 제곱근 비율 만큼 증가시킨다.
 4. 정상상태 오차는 3가지 이득의 공통상수 값에 반비례하거나 제곱근에 반비례한다. (구체적인 내용은 아래 제시된 구글 플레이 무료 도서 참조)

[6] Youngjin Choi, *PID Control Design for Robotic Manipulator*, 한양대학교 출판부, 2019. (구글 플레이 무료 도서) <https://play.google.com/store/books/details?id=kWDGDwAAQBAJ>