

# 자율주행 차량의 안정성 향상을 위한 PID 제어 기법 적용에 관한 연구

황교찬, 김기천\*

건국대학교, \*건국대학교

hkc0794@konkuk.ac.kr, \*kckim@konkuk.ac.kr

## A Study on the Application of PID Control Techniques to Improve the Stability of Autonomous Vehicles

Hwang Kyo Chan, Kim Kee Cheon\*

Konkuk Univ, \*Konkuk Univ

### 요약

본 연구에서는 자율주행 차량의 안정성 향상을 위해 PID 컨트롤러를 적용하고 그 효과를 분석하였다. CARLA 시뮬레이터를 활용하여 PID 제어 알고리즘을 구현하였으며, 비례, 적분, 미분 이득 상수를 적절히 조정함으로써 원하는 속도 추종과 안정적인 주행을 실현하였다. 그 결과, PID 제어 기법이 자율주행 차량의 안정성 및 성능 향상에 미치는 긍정적인 영향을 확인하였다.

## I. 서론

최근 자율주행 차량은 첨단 기술의 융합으로 교통 분야에서 혁신적인 변화를 이끌고 있다. 이러한 차량은 복잡한 환경에서 안전하고 효율적으로 운행하기 위해 정교한 제어 시스템이 필요하며, 특히, 차량의 안정성과 성능을 향상시키는 제어 기법은 자율주행 기술의 핵심 요소로 부각되고 있다.

비례-적분-미분(PID) 컨트롤러는 현대 제어 공학에서 가장 기본적이고 널리 사용되는 피드백 제어 메커니즘 중 하나로, 다양한 산업 분야에서 그 견고함과 신뢰성을 입증해 왔다. PID 컨트롤러는 원하는 설정값과 실제 프로세스 변수 사이의 오차를 지속적으로 계산하고, 이를 기반으로 비례, 적분, 미분 세 가지 요소를 결합하여 제어 신호를 생성한다. 이러한 방식은 시스템의 즉각적인 응답성, 장기적인 안정성, 그리고 미래 오차의 예측을 모두 고려할 수 있어 복잡한 제어 문제를 해결하는 데 효과적이다.

본 논문에서는 자율주행 차량의 제어 시스템이 도로 조건, 차량 동역학, 외부 방해 요소 등 다양한 변수로 인해 안정적인 운행이 어려울 수 있다는 문제를 해결하기 위해 PID 제어 기법을 적용하여 시스템의 안정성을 향상시키고자 한다.

빠르게 목표값에 도달하도록 돕는다. 적분항(Integral Term)은 시간에 따라 누적된 오차를 보정함으로써 정상 상태(steady-state) 오차를 제거하며, 지속적인 작은 오차를 없애는 역할을 한다. 미분항(Derivative Term)은 오차의 변화율을 고려하여 급격한 출력 변화를 완화하고, 이를 통해 오버슈트(overshoot)를 줄여 시스템의 안정성을 향상시킨다.

PID 제어기의 성능은 비례 상수  $K_p$ , 적분 상수  $K_i$ , 미분 상수  $K_d$ 의 적절한 설정에 크게 의존하며, 이들의 최적 값을 찾는 과정을 튜닝(tuning)이라고 한다. 튜닝은 수학적 방법이나 실험적/경험적 방법을 통해 수행되며, 시스템의 특성에 맞는 최적의 이득값을 설정함으로써 제어기의 성능을 극대화하는 데 중요한 역할을 한다.

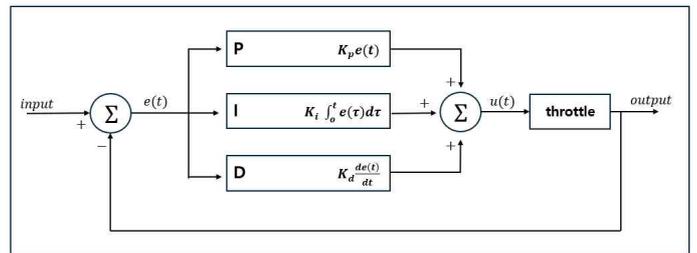


그림. 비례-적분-미분(PID) 제어기 구조

## II. 본론

### 1. 비례-적분-미분(PID) 제어기

비례-적분-미분(Proportional-Integral-Derivative, PID) 제어기는 실제 응용 분야에서 가장 널리 사용되는 대표적인 제어 기법으로, 피드백(feedback) 제어기의 형태를 기본으로 한다. 제어 대상의 출력값(output)을 원하는 참조값(reference value)이나 설정값(Set Point)과 비교하여 오차(error)를 계산하고, 이 오차를 바탕으로 비례(Proportional), 적분(Integral), 미분(Derivative) 세 가지 요소를 합산하여 제어값을 산출한다.

각 항의 역할은 다음과 같다. 비례항(Proportional Term)은 현재 오차값에 비례하여 즉각적인 제어 작용을 제공하여 시스템의 응답성을 향상시키고,

PID 제어는 차량 제어에 사용하는 이유로는 여러 가지가 있다. 첫째, PID 제어는 비례(Proportional), 적분(Integral), 미분(Derivative) 세 가지 요소를 결합하여 시스템의 오차를 최소화함으로써 차량의 위치와 속도를 정확하게 제어할 수 있다. 둘째, 이 기법은 시스템의 안정성을 높이는 데 효과적이며, 적절한 튜닝을 통해 차량이 원하는 경로를 안정적으로 따를 수 있도록 도와준다. 셋째, PID 제어는 빠른 반응 속도를 제공하여 도로 상황 변화에 즉각적으로 대응함으로써 안전성을 높인다. 넷째, 구조가 간단하고 이해하기 쉬워 다양한 시스템에 쉽게 적용할 수 있으며, 복잡한 알고리즘 없이도 효과적인 성능을 발휘한다. 마지막으로, PID 제어는 차량 뿐만 아니라 다양한 무인 이동체 및 로봇 시스템에도 적용될 수 있어 범용

성이 높다. 이러한 이유로 인해 PID 제어는 차량 제어 시스템에서 매우 유용하게 활용되고 있다.

## 2. CARLA 시뮬레이터에서 PID 제어 적용

CARLA 시뮬레이터에서 자율주행 차량의 속도 제어는 스로틀(throttle) 값을 조정함으로써 이루어진다. 스로틀은 차량의 가속도를 직접적으로 제어하는 주요 수단으로, 차량이 과도하게 가속하거나 감속하는 것을 방지하기 위해 스로틀 값을 최대 1.0으로 설정되어, 스로틀 값이 0.0에서 1.0 사이로 제한되도록 하였다.

속도 제어를 위해, 차량이 따라야 할 경로는 웨이포인트 파일에 의해 정의되며, 파일에는 각 웨이포인트에서 차량이 도달해야 할 위치와 그 지점에서의 원하는 속도  $v_{desired}$ 가 명시되어 있다. 차량이 현재 위치에 도달하면, 해당 웨이포인트의 원하는 속도와 현재 차량의 현재 속도를 비교하여 오차  $a$ 를 계산한다. 이 오차는 차량이 목표 속도에 도달하기 위해 필요한 속도 조절의 기준이 된다.

계산된 오차  $a$ 는 PID 제어 알고리즘에 입력되어 적절한 스로틀 값을 산출하는 데 사용된다. PID 컨트롤러는 비례 상수  $K_p=1$ , 적분 상수  $K_i=0.05$ , 미분 상수  $K_d=0.01$ 을 사용하여 오차의 현재 값, 과거 누적 값, 그리고 미래 예측 값을 기반으로 스로틀 값을 조정한다.

$$U(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

그림2. 비례-적분-미분(PID) 제어 수식

이렇게 계산된 스로틀 값은 실제 차량 제어에 적용하기 전에 0.0에서 1.0 사이의 범위로 제한해야 한다. 이를 위해 Python의 `np.clip()` 함수를 사용하여 스로틀 값 조정하여 조정된 스로틀 값은 차량의 가속 및 감속을 제어하기 위해 제어 명령(`cmd_throttle`)으로 전송된다. 이 과정을 통해 차량은 각 웨이포인트에서 원하는 속도에 정확히 도달할 수 있으며, 이는 자율주행 차량의 성능과 안정성을 크게 향상시킨다.

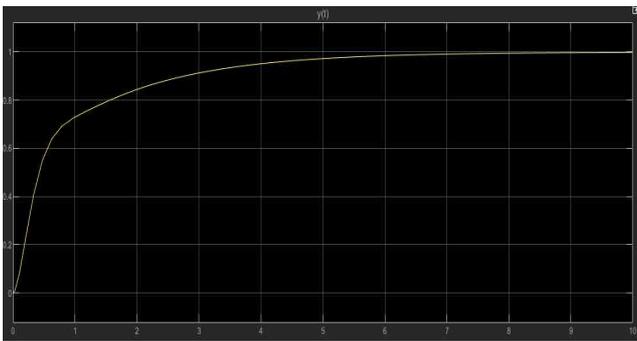


그림3. 비례-적분-미분(PID) 제어 상승시간 및 정상시간 그래프

또한, [그림3]에서 볼 수 있듯이 PID 제어기를 활용하여 오차를 최소화하고 시스템의 응답성을 높임으로써, 자율주행 차량이 복잡한 주행 환경에서도 안정적으로 운행할 수 있도록 지원한다.

## III. 결론

본 논문에서는 차량의 안전성과 성능을 향상시키기 위해 PID 제어 기법을 활용하여 CARLA 시뮬레이터 내에서 지정된 웨이포인트를 원하는 속도로 주행하는 모습을 성공적으로 구현하였다. 이러한 결과는 PID 제어기가

자율주행 시스템뿐만 아니라 다양한 무인 이동체에서도 효과적으로 적용될 수 있음을 보여준다. 앞으로는 이러한 데이터를 바탕으로 가상 환경을 넘어 AIoT Auto Car를 이용하여 현실에서 PID 제어를 통해 원하는 경로 및 속도를 정밀하게 제어할 수 있는 가능성을 검토할 예정이다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원·학·석사연계ICT핵심인재양성 지원을 받아 수행된 연구임(IITP-2024-RS-2020-II201834)

## 참고 문헌

- [1] 김성곤, et al. 가상차선 생성 및 PID 제어 기반의 자율주행 자동차 추종 시스템 구현. 한국정보과학회 학술발표논문집, 2018, 1045-1047.
- [2] International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC), Bali, Indonesia, 2023, pp. 799-802, doi: 10.1109/ICAIIIC57133.2023.10067045.
- [3] S. Y. Kim and P. S. Kim, "Automobile Cruise Control System Using PID Controller and Kalman Filter," KIPS Transactions on Computer and Communication Systems, vol. 11, no. 8, pp. 241-248, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3745/KTCCS.2022.11.8.241>.
- [4] <http://www.ktechno.co.kr/pictech/motor05.html>
- [5] Wang L. PID Control System Design and Automatic Tuning Using MATLAB/Simulink. Wiley-IEEE Press; 2020. doi:10.1002/9781119469414