

PID 제어를 통한 자율 주행차 스윙블 시트 제어 시스템 개발

최 용^{1,4} · 이 만 기² · 홍 영 진³ · 손 소 은¹ · 박 성 호² · 김 철 홍⁵ · 박 재 형^{6*}

¹한국로봇융합연구원 주임연구원 ²한국로봇융합연구원 선임연구원 ³한국로봇융합연구원 수석연구원

⁴전남대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정 ⁵승실대학교 컴퓨터학부 교수 ^{6*}전남대학교 지능전자컴퓨터공학과 교수

Swivel Seat Control System with PID Controller for Autonomous Vehicles

Yong Choi^{1,4} · Man-Gi Lee² · Young-Jin Hong³ · So-En Son¹ · Sung-Ho Park² · Cheol Hong Kim⁵ · Jaehyung Park^{6*}

¹Assistant Researcher, Korea Institute of Robotics & Technology Convergence, Pohang 37666, Korea

²Senior Researcher, Korea Institute of Robotics & Technology Convergence, Pohang 37666, Korea

³Principal Researcher, Korea Institute of Robotics & Technology Convergence, Pohang 37666, Korea

⁴Ph.d. Candidate, School of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

⁵Professor, School of Computer Science and Engineering, Soongsil University, Seoul 06978, Korea

^{6*}Professor, School of Electronics and Computer Eng. and Dept. of Intelligence Electronics and Computer Eng. Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

[요 약]

자율 주행 기술이 발달함에 따라 차량 내부에서 자동으로 회전이 가능한 스윙블 시트 개발이 필수적으로 요구될 것이다. 본 논문에서는 스윙블 시트의 위치 제어 시스템을 설계 및 제작하기 위한 기술을 연구하고, 이를 자율 주행차 스윙블 시트에 실제로 적용하는 실험을 수행하고자 한다. 제안된 스윙블 시트 제어 시스템에서는 PID 제어가 사용된다. PID 제어기는 간단한 구조로 우수한 성능을 제공할 수 있어서 일반적인 제어 시스템에 많이 사용되는 기술이다. P-게인 19, I-게인 0.2, D-게인 4.5일 때, 60도 위치에 안정적으로 위치 제어 되는 것을 확인하였다. 이를 통해 스윙블 시트 위치 제어 시스템에 PID 제어 기법을 적용함으로써 오버슈트를 낮추고 스윙블 시트를 정확하게 안정적으로 회전시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

[Abstract]

The recent advancements in autonomous driving technology have necessitated the development of automatically rotating seats. This study aimed to design and manufacture a position-control system for swivel seats and experimentally employ it in an autonomous vehicle. The proposed system uses proportional-integral-derivative(PID) controllers, which are characterized by their simple structure and excellent performance and commonly employed in various control systems. The results confirm that applying P-, I- and D-gains of 19, 0.2, and 4.5, respectively, to the PID controller enabled seat rotation to the target angle of 60° within 1.45 s. Thus, the experimental results demonstrate that applying PID control techniques to the swivel-seat position-control system in autonomous vehicles can reduce overshooting and ensure accurate and stable seat rotations.

색인어 : 자율주행차, 스윙블 시트, PID 제어, 임베디드 시스템, 토크 제어

Keyword : Autonomous Vehicle, Swivel Seat, PID Control, Embedded System, Torque Control

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2024.25.4.1039>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 08 March 2024; Revised 27 March 2024

Accepted 01 April 2024

*Corresponding Author, Jaehyung Park

Tel: +82-62-530-1796

E-mail: hyeoung@jnu.ac.kr

I. 서론

자동차 산업이 발전함에 따라 화석 연료의 소비를 줄이고 환경을 보전하기 위해 전기 자동차 보급이 점점 증가하고 있다. 2023년 1월부터 10월까지 세계 각국에 등록된 전기 자동차 총 대수는 약 1,100만대로 전년 대비 약 36.4% 상승하였다 [1]. 전기 자동차가 많이 보급됨에 따라 자율 주행차 또한 많은 관심을 받고 있다. 자율 주행차는 사람이 직접 운전하지 않고 인공지능(AI; Artificial Intelligence), 사물인터넷(IoT; Internet of Things), 가상현실 기술 등을 활용해 스스로 주행하는 자동차를 뜻한다. 우리나라에서도 2020년 7월부터 부분 자율주행 레벨 3으로 안전 기준이 도입되어 지정된 구간에서 자율 주행차의 책임 아래 운전자가 직접 운전을 하지 않아도, 차로를 유지하는 자율주행이 가능해졌다[2]. 자율주행 기술은 주행환경을 인지하고 최적의 주행조건을 판단하며 자율주행과 관련된 구동부의 제어단계를 포함한다. 그러므로 차량의 안전성 확보를 위해서는 차량의 주변 환경을 정확히 인식해야 하므로 차량에 부착된 카메라 센서, 레이더 센서, 라이다 센서, 초음파 센서 등 다양한 센서를 활용하여 ADAS(Advanced Driver Assistance System) 기능이 구현된다[3].

자율주행 시대에 맞춰 차량 내부에서 회전이 가능한 시트를 ‘스위블 시트(Swivel Seat)’라고 한다. 자율주행 레벨 4단계 이상이 실현되면 자동차의 실내공간은 더 이상 운전공간만이 아닌 휴식, 회의, 취침 등의 공간으로 기능이 확장됨에 따라 스위블 시트 필요성은 점점 커지고 있다. 스위블 시트가 180도 회전하면 차량 내부에서 회의 진행이 가능하게 되고, 영유아를 자동차에 보다 쉽게 탑승시킬 수 있을 것으로 기대된다. 그러므로 스위블 시트는 자율주행 자동차에 꼭 필요한 요소이고, 이를 통해 자동차는 주행 기능만 있는 것이 아니고, 사용자의 감성적인 기능과 편의성 기능들을 다채롭게 제공할 수 있게 된다.



그림 1. 전기 자동차 판매량(2017~2023)
Fig. 1. Electric vehicle sales(2017~2023)

본 논문에서는 스위블 시트의 위치 제어 시스템을 설계 및 제작하기 위한 기술을 연구하고, 이를 자율 주행차 스위블 시트에 실제로 적용하는 실험 결과를 보이고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 자율 주행차에 적용되는 스위블 시트를 제어하는 PID(Proportional Integration Differential) 제어 특성에 대해 설명한다. 3장에서는 스위블 시트 제어를 위한 전장 구성에 대해 설명하고, 전장 품목들의 스펙에 대해 정리한다. 또한, 스위블 시트를 제어하기 위한 펌웨어 흐름도 및 구현 코드에 대해 설명하며, PID 제어를 통해 스위블 시트가 60도 회전하는 전 과정을 보인다. 4장에서는 스위블 시트의 각도를 UI(User Interface) 프로그램을 통해 제어하는 실험을 통해 제안하는 방법의 유효성 및 적합성을 보이고, 마지막으로 5장에서 결론을 기술한다.

II. PID 제어

2-1 PID 제어

제어는 시스템의 상태를 원하는 목표로 도달시키는 과정인데, 널리 사용되는 제어 방법 중 하나가 피드백 제어 방식으로 동작하는 PID 제어이다. 피드백 제어란 입력에 대해 특정 과정을 거친 출력이 다시 입력에 영향을 미치면서 다시 과정으로 들어가 출력을 내는 반복적인 제어 방식이다. 스위블 시트에서 PID 제어는 시트의 각도값을 측정하고 측정된 현재값을 목표값과 비교하여 오차를 계산하며 오차를 이용해서 제어에 필요한 제어값을 다시 계산한 후, 계산된 제어값이 제어 대상의 입력으로 사용되는 피드백 제어 방식이다. 스위블 시트의 각도 제어를 위해서는 아래의 식 (1)을 적용하게 되고, 이는 그림 2에 보이는 PID 제어기를 통해 구현된다. U(t)는 우선 목표 각도를 설정한 후, 매 동작 주기마다(10 ms) 설정한 각도와 현재 값을 비교하여 제어값을 반복적으로 계산하는 과정을 통해 PID 제어기는 동작된다[4],[5].

$$U(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

PID 제어의 주요 특징은 다음과 같다. 비례(Proportional) 제어인 P-게인은(K_p) 목표치에 가는 정도를 결정하는 상수이다. P-게인이 높으면 시스템은 점점 더 빨리 목표점에 도달하게 되지만, 시스템이 불안정한 상태가 되고 설정점 근처에서 계속 진동하게 된다. 반면에 P-게인이 낮으면 시스템은 목표점에 더 느리게 도달하게 되지만 몇 번의 진동 후에는 시스템이 설정점 아래에서 일정한 오차를 가지며 안정한 상태가 된다. 적분(Integral) 제어인 I-게인은(KI) 목표치에 대한 정확도를 결정하는 상수이다. I-게인이 너무 낮으면 목표치에 근접하기 어렵게 되고, 반대로 I-게인이 너무 높으면 시간이 오래 걸리면서 외부 변화에 잘 대응하지 못하게 된다. 미소한 오차라고 하는 잔류편차를 없애기 위해 시간적으로 누적하여 어

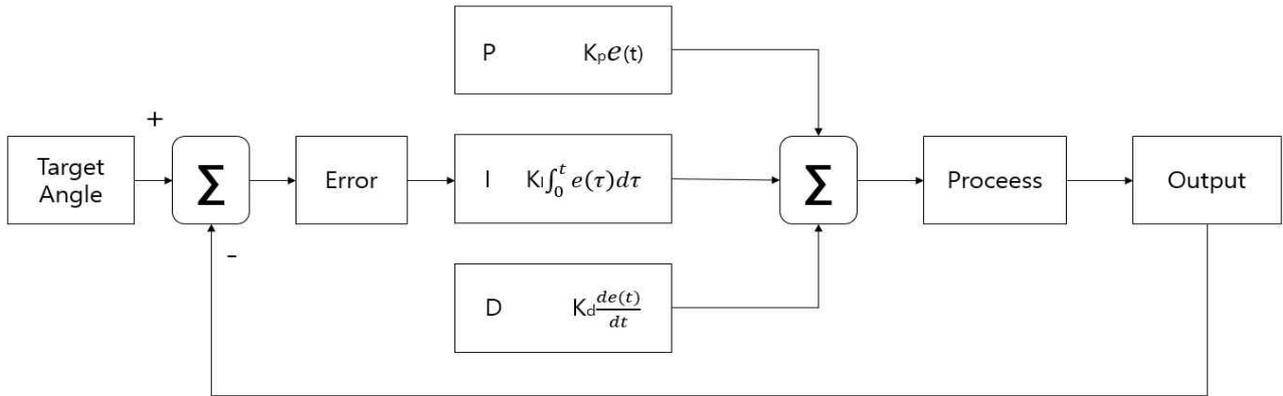


그림 2. 스윙블 시트 제어를 위한 PID 제어기 구조
 Fig. 2. PID controller structure for swivel seat

면 크기로 된 곳에서는 조작량을 증가하여 편차를 없애는 방식으로 동작한다. 미분(Differential) 제어인 D-게인은(K_d) P-게인으로 부족한 제어량을 보충해주는 역할을 한다. 즉, 순간 제어량을 높이면서 빠르게 목표값에 이르게 하는 역할을 담당한다. D-게인이 너무 낮으면 목표점에 도달하는 시간이 오래 걸리고, 반대로 D-게인이 너무 크면 진동이 발생하게 되므로 적절한 D-게인을 찾아 진동을 최소화시켜야 한다. 미분 제어는 모터 출력을 빠르게 올려 기울기 변화에 따른 응답속도를 높일 수 있는데, D-게인이 클수록 오차는 감소하고 오차를 빨리 교정해 상승 시간과 정착 시간이 감소한다[6],[7].

PID 제어에서 각 모듈의 역할을 정리하면 다음과 같다. P 제어는 목표값 도달 시간을 감소시킨다. 측정값이 목표값과 차이가 클수록 많이 조작하고, 차이가 적을수록 적게 조작한다. I 제어는 정상 상태 오차를 감소시킨다. 목표값에 최대한 가깝게 주행하기 위해 조정하여 편차를 줄일 수 있다. D 제어는 제어값 변화를 억제시킨다. 그러므로 P-게인, I-게인, D-게인 각각을 적절하게 조절해야 원하는 상태로의 제어가 가능하다. 본 논문에서는 진동이 작으면서도 빠른 시간에 안정 상태에 도달하는 스윙블 시트 제어를 위해 P-게인, I-게인, D-게인의 주요 특성을 반영하는 제어 방식을 제안하고자 한다.

2-2 PID 제어 활용 예

PID 제어는 로봇 및 산업분야에서 제어를 하기 위해 많이 사용된다. PID 제어는 드론 호보링에도 사용된다. 3축 자세 및 방위각 센서로부터 얻은 데이터는 필터를 거침으로써 기울어진 정도를 파악하고, 이 기울어짐을 PID 제어를 통해 보정함으로써 안정적으로 수평 자세를 제어하는 드론을 구현할 수 있다[8]. 이동 로봇의 군집제어를 위해서는 퍼지 보상된 PID 제어기가 제안되었다[9]. 이때의 제어 시스템은 선도 추종 로봇 접근법에 기반한 기구학 제어기와 이동 로봇의 동역학적인 효과를 다루기 위한 동역학 제어기로 구성되었다. 동역학 제어기는 PID 제어기와 비선형 환경에서 제어 성능을

개선시키기 위해 부착된 퍼지 보상기로 이루어져 있다. 또한, 수중 글라이더의 깊이와 자세를 제어하기 위해 PID 제어기가 사용되었고 다양한 시뮬레이션을 통해 해당 PID 제어기의 성능이 확인되었다[10]. 이렇게 PID 제어기는 많은 분야에 적용되고, 스윙블 시트의 위치 제어를 하기 위해 적용하였다.

III. 스윙블 시트 제어 시스템

3-1 스윙블 시트 전장 구성도

스윙블 시트의 효율적인 회전을 위한 스윙블 시스템은 그림 3에 보이는 바와 같이 회전을 처리하는 모터와 모터 제어를 위한 모터 드라이버 및 제어기로 구성된다. 제어기는 모터 드라이버와 통신이 가능해야 하고 스윙블 시트 각도를 측정하기 위한 절대 엔코더(Absolute Encoder)값을 SSI 통신을 통해 받을 수 있어야 하므로, 이러한 기능들을 만족하는 MCU(Micro Controller Unit)는 ST사의 STM32F407을 사용하여 제어기를 제작한다. 제어기 STM32F407의 주요 특성은 표 1에서 보이는 바와 같이 ARM 32bit Cortex M4 CPU(Central Processing Unit) with FPU(Floating Point Unit) 코어가 사용되며 CAN(Controller Area Network) 통신 및 SSI(Synchronous Serial Interface) 통신이

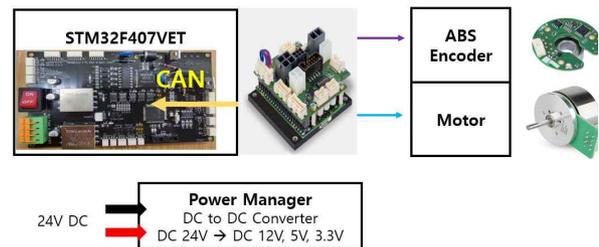


그림 3. 스윙블 시스템 구성도
 Fig. 3. Swivel system diagram

표 1. MCU 사양

Table 1. MCU specification

Name	Spec
Core	ARM 32 bit Cortex M4 CPU with FPU
Frequency	up to 168 MHz
Memory	512 KB(Flash) / 192 KB(RAM)
Operating Temp	-40°C to +85°C
Compiler	Keil

표 2. 스윙블 시스템 구성 부품

Table 2. Electronic components for swivel seat

Electronic components	Name	Spec	Brand	Interface
BLDC Motor	Motor	393025	170 W, 48 V, 9150 RPM, 3.69 A	MAXON MOTOR
	Gear	203129	156:1	
	Encoder	110516	500C PR	
Motor Driver	EPOS4 COMPACT	15 A, 50 V	CAN	
Absolute Encoder	BRD01	14 bit, 5 V, 65 mA	RLS	SSI

가능하다. 제어를 위한 프로그램 컴파일러는 Keil 프로그램을 사용한다.

스윙블 시트 구동을 위한 전장 구성 부품은 표 2에 보이는 바와 같다. 모터 및 모터 드라이버는 MAXON MOTOR사의 제품을 사용한다. 모터는 MAXON사의 393023 모델로 DC 48 V에 3.69 A를 소비하는 모터로 최대속도 9,840 rpm, 최대 토크 2,760 mNm이다. 기어박스는 MAXON사의 156:1의 기어비로 393023모터와 조합할 시 최대속도 63 rpm, 최대 토크 414.9 Nm이다. 엔코더는 14 bit Resolution을 가지는 RLS사의 절대 엔코더를 사용하고, 절대 엔코더 데이터는 SSI 통신을 통해 제어기로 보내진다. 절대 엔코더데이터를 10 ms 간격으로 받으면서 식 (1)의 PID 제어를 통해 설정한 각도와 현재 각도를 비교하면서 스윙블 시트 제어가 동작한다.

구현된 스윙블 시트 제어기는 그림 4에 보이는 바와 같이 전원부와 MCU, CAN 통신, SSI 통신부로 구성된다. 전원부는 공급전원 24 V 입력을 받아 5 V, 3.3 V로 전압을 하강하는 역할을 한다. MCU는 STM32F407을 사용하고, CAN 통신은 모터 드라이버와 통신하는 역할을 담당하며, SSI 통신은 ABS 엔코더 값을 수신하는 부분으로 설계된다. 제어기에서 SSI 통신을 통해 현재 각도값을 확인하고, 목표값과 계속 비교하면서 CAN 통신을 통해 모터 드라이버에 모터 구동을 위한 명령을 전달한다. 모터 드라이버가 제어기에서 받은

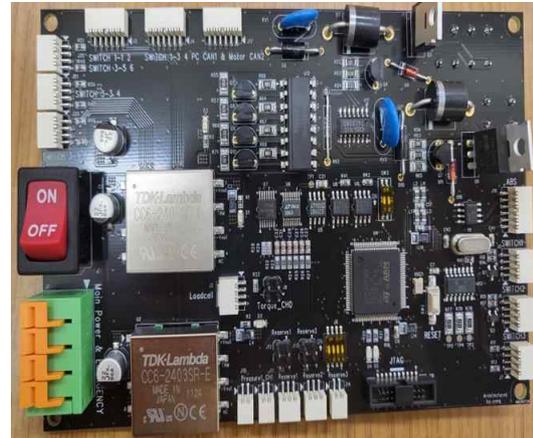


그림 4. 제작한 스윙블 시트 제어기

Fig. 4. Manufactured controller for swivel seat

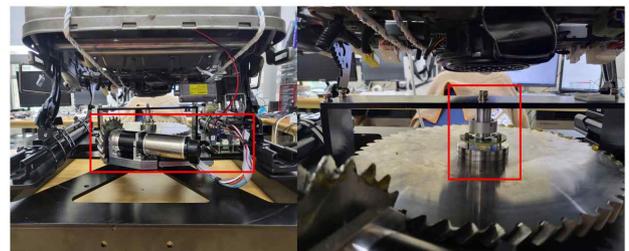


그림 5. 개발된 스윙블 시트 시스템

Fig. 5. Developed swivel seat system

Target Torque 값을 통해 모터를 구동시켜 스윙블 시트가 목표값에 수렴하게 된다.

제작된 스윙블 시트 시스템은 그림 5에서 보이는 바와 같다. 그림 5의 왼쪽 그림은 모터 및 모터 드라이버이고, 오른쪽 그림은 절대 엔코더를 나타낸다. 모터가 구동되면 시트가 회전되면서 절대 엔코더에서 각도를 측정한다. 제어기와 모터 드라이버는 CAN 통신을 통하여 데이터를 주고받고, 절대 엔코더는 SSI 통신을 통해 각도 값을 수신한다. 이를 통해 제작된 스윙블 시트 시스템은 목표 위치로 회전이 가능하게 개발하였다.

3-2 스윙블 시트 제어기 설계

스윙블 시트의 위치를 제어하기 위한 과정은 그림 6과 같다. 시스템에서는 먼저 전원을 인가하고 모터를 구동시킨 후, 현재 각도를 초기화시키는 작업을 수행한다. 초기화가 완료된 후 이동하고자 하는 각도가 입력되면 스윙블 시트를 이동하기 위한 Flag를 On 한다. 이후, 스윙블 시트는 PID 제어를 통하여 목표 위치로 이동하고, 이동이 완료되면 모터는 정지된다.

PID 계인을 변경하면서 최대한 오버슈트가 낮으면서도 안정적인 스윙블 시트 위치 제어를 위한 구현 코드는 그림 7에 보이는 바와 같다. 우선 PID 계인을 설정하고 ABS 엔코더 값을 초기화한다. 이후에는 PID 제어기 플래그를 1로 변경하여

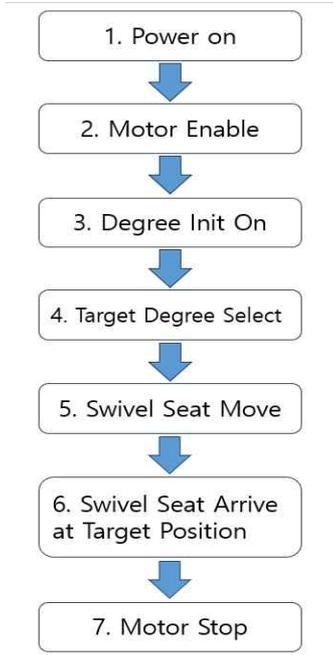


그림 6. 스윙블 시트 제어 흐름
Fig. 6. Swivel seat control flow

```

    //##### Gain Setting #####
    m_Kp[0] = 19.0f;
    m_Ki[0] = 0.2f;
    m_Kd[0] = 4.5f;
    m_torque_limit[0] = 400;
    m_step_time = 0.01;

    //Degree Init On
    if (ABS_Init_Flag == 1)
    {
        Init_ABS_Data();
        ABS_Init_Flag = 2;
    }

    //Swivel Seat Move
    m_actual_position[0] = Swivel_DATA.F_ABS;

    m_err[0] = m_desired_position[0] - m_actual_position[0];
    m_v_err[0] = (m_err[0] - m_pre_err[0]) / m_step_time;
    m_i_err[0] += (m_err[0] * m_step_time);
    m_torque[0] = (m_Kp[0] * m_err[0] + m_Kd[0] * m_v_err[0] + m_Ki[0] * m_i_err[0]);
    m_pre_err[0] = m_err[0];

    Swivel_DATA.F_Torque = maxon.input.act_tor[0];
    if (m_torque[0] > m_torque_limit[0]) m_torque[0] = m_torque_limit[0];
    else if (m_torque[0] < -m_torque_limit[0]) m_torque[0] = -m_torque_limit[0];

    //Target Degree Select
    if(m_robot_stated == 1)
    {
        m_desired_position[0] = 60;
        maxon.output.target_torque[0] = -m_torque[0];
    }
    }
    
```

그림 7. 스윙블 시트 제어 소스 코드
Fig. 7. Code implementation for swivel seat control

목표 각도값과 현재 각도값을 비교하여 오차를 줄이면서 제어가 10 ms 주기로 작동한다. 계산된 PID 수식은 모터의 토크값으로 입력이 되는 피드백 과정을 통해 오차를 줄여가면서 안정적으로 수렴하게 된다.

IV. 구축환경 및 결과

본 연구에서 제안한 기법을 토대로 스윙블 시트를 정확하게 회전시키기 위해 PID 제어를 사용하는 시스템을 구축하여 테스트를 진행하였다. 스윙블 시트는 사람이 앉아 있는 것과 유사한 효과를 얻기 위해 그림 8과 같이 75 kg의 바벨 원판



그림 8. 스윙블 시트 실험 사진(75 kg)
Fig. 8. Swivel seat experiment picture(75 kg)

을 올린 상태로 0도에서 60도까지 회전한다. 32 bit Cortex-M4 계열의 STM32F407 코드의 프로그래밍, 컴파일, 디버깅 및 최적화를 동시에 진행하기 위해 Keil MDK-ARM 프로그램을 사용하였다. KEIL MDK-ARM 프로그램을 통해 PID 제어 수식이 10 ms마다 호출되면서 0도에서 60도까지 스윙블 시트가 제어되도록 하였다.

데이터 로깅을 위해 제어기에서는 CAN 통신을 통해 PC 프로그램과 데이터를 주고받는다. PC 프로그램은 Visual Studio를 활용하여 구현하였다. PC 프로그램의 용도는 제어기에서 PC로 송신하는 각도 값과 Com Bit 값을 10 ms마다 받아 그래프로 확인하기 위함이다. Com Bit 값은 제어기에서 PC로 데이터를 보낼 때, 통신이 이상 없는 것을 확인하기 위한 bit 값이다. 또한 현재 각도값을 제어기에서 받아 그래프로 확인하였다.

그림 9는 PID 제어식을 이용하여 60도 회전을 수행한 스윙블 시트 각도에 대한 제어 결과를 나타내는 그래프이다. 그래프의 x축은 시간이고 단위는 10 ms이다. Y축은 현재 각도를 나타낸다. 그림 9에 보이는 결과에 사용된 P-게인은 30, I-게인은 0.2, D-게인은 4.5이다. 그래프를 살펴보면 회전량이 설정한 각도 60도보다 많이 올라가는 것을 볼 수 있는데, 이와 같이 목표값보다 오차가 커지는 현상을 오버슈트라고 한다. 오버슈트 때문에 안정 상태에 이르는 시간이 오래 걸린다. 그래서 오버슈트를 낮추기 위해 설정된 게인 값을 변경하면서 다시 테스트를 수행하였다.

오버슈트를 낮추고 설정한 각도 60도로 안정적으로 수렴하는 테스트 결과는 그림 10에 보이는 바와 같다. 그림 9의 결과를 보이는 PID 게인은 P-게인 19, I-게인 0.2, D-게인 4.5이다. 이때, 0도에서 회전 목표값인 60도로 이동하는데 소요된 시간은 1.45초이다. 이와 같이 PID게인을 설정할 때 가장 오버슈트가 낮으면서, 설정한 목표 각도에 안정적으로 수렴하는 것을 다양한 테스트를 통해 확인할 수 있었다. 본 연구

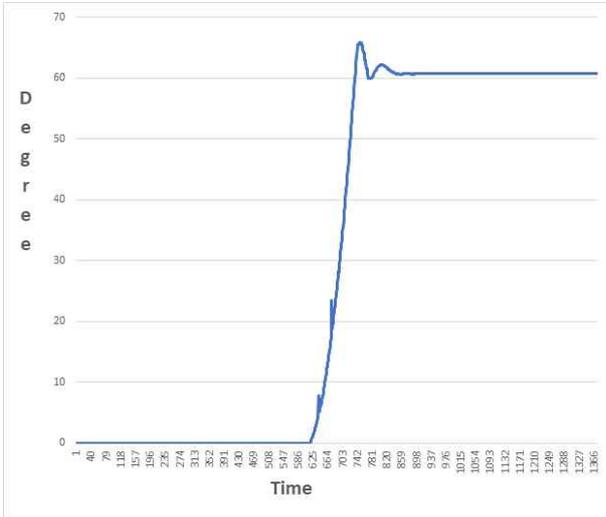


그림 9. PID 제어 결과(P→30, I→0.2, D→4.5)
 Fig. 9. PID control(P→30, I→0.2, D→4.5)

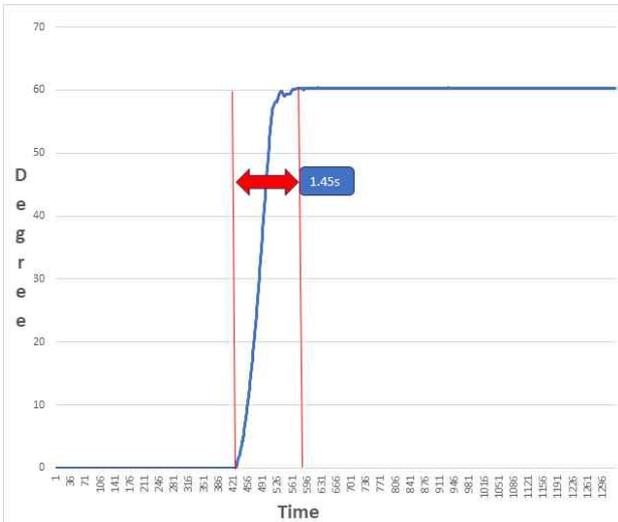


그림 10. PID 제어 결과(P→19, I→0.2, D→4.5)
 Fig. 10. PID control(P→19, I→0.2, D→4.5)

에서는 회전의 신속성보다는 회전 각도의 정확성 및 안정적인 회전 동작에 초점을 맞췄는데, 추후 연구로는 0도에서 90도까지 이동하는데 소요되는 시간을 1초 이내로 하는 것을 목표로 할 계획이다.

V. 결론

본 논문에서는 자율 주행차의 기술의 발달에 따라 스위블 시트의 필요성에 대해 기술하였고, 스위블 시트의 위치 제어를 하기 위한 PID제어에 대해 기술하였다. PID 제어를 통한 위치 제어 시스템을 설계 및 제작하였고, 이를 자율 주행차 스위블 시트에 적용하는 실험을 수행하였다. 원하는 위치

로 시트가 안정적으로 회전하기 위해 PID 계인을 수정하면서 실험을 수행하였다. P-게인 19, I-게인 0.2, D-게인 4.5일 때 60도 위치에 안정적으로 위치 제어 되는 것을 확인하였다. 스위블 시트 위치 제어 시스템에 PID 제어 기법을 구현함으로써 스위블 시트를 정확하고 안정적으로 회전시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 오버슈트를 낮추고 안정적으로 스위블 시트가 회전하는 것을 목표로 시스템을 구축하였다. 하지만 60도 회전하는데 1.45초가 걸려서 추후에는 정착 시간을 감소시키기 위한 기법을 연구할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 산자부 지원으로 한국산업기술진흥원(KIAT) 주관 "월드클래스 300 과제 연구개발(R&D, P0012995)"로 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] Global Monthly EV and Battery Monthly Tracker, *SNE Reserch*, November 2023.
- [2] K. A. P. C. Van Wees and K. A. Brookhuis, "Product Liability for ADAS; Legal and Human Factors Perspectives," *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, Vol. 5, No. 4, pp. 357-372, 2005.
- [3] K. H. An, S. W. Ah, W. Y. Han, and J. C. Son, "Autonomous Car Technology," *Telecommunication Trend Analysis Report*, 2013.
- [4] L. Wang, T. J. D. Barnes, and W. R. Cluett, "New Frequency-domain Design Method for PID Controllers," *IEE Proceedings - Control Theory and Applications*, Vol. 142, No. 4, pp. 265-271, July 1995.
- [5] J. Quevedo and T. Escobet, "Digital Control: Past Present and Future of PID Control," *Proc. IFAC Workshop*, 2000.
- [6] K. H. Ang, G.C.Y. Chong, and Y. Li, "PID Control System Analysis, Design and Technology," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 13, No. 4, pp. 559-576, July 2005.
- [7] Y. Li, W. Feng, X. K. Zhu, K. C. Tan, X. Guan, and K. H. Ang, "PIDeasy and Automated Generation of Optimal PID Controllers," in *Proceedings from the 3rd Asia-Pacific Conference of Control and Measurement*, Dunhuang, China, pp. 29-33, 1998.
- [8] J. W. Oh, "Drone Hovering Using PID Control," *The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 13, No. 6, pp. 1269-1274, 2018. <https://doi.org/10.13067/JKIECS.2018.13.6.1269>

[9] K. H. Bae and Y. K. Choi, "A Formation Control Scheme for Mobile Robots Using a Fuzzy Compensated PID Controller," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 19, No. 1, pp. 26-34, January 2015. <https://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.1.26>
 [10] M. J. Kim and M. G. Joo, "Depth Control of an Underwater Glider by Using PID Controller," *Journal of KIIT*, Vol. 13, No. 4, pp. 1-7, April 2015. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2015.13.4.1>



손소은(So-En Son)

2013년 : 부산대학교
 항공우주공학과(학사)
 2015년 : 부산대학교
 항공우주공학과(석사)

2015년~2018년: 국방과학연구소 연구원
 2018년~현 재: 한국로봇융합연구원 주임연구원
 ※관심분야 : FEM, 구조해석, 로봇플랫폼설계, 최적설계



최 용(Yong Choi)

2017년 : 전남대학교
 전자컴퓨터공학과(석사)

2017년~현 재: 전남대학교 전자컴퓨터공학과(박사과정)
 2017년~현 재: 한국로봇융합연구원 주임연구원
 ※관심분야 : 회로설계, 임베디드시스템, 제어 알고리즘



박성호(Sung-Ho Park)

2010년 : 영남대학교 전자공학과(학사)

2010년~현 재: 한국로봇융합연구원 선임연구원
 ※관심분야 : 회로설계, 임베디드 시스템, 로봇메커니즘



이만기(Man-Gi Lee)

2014년 : 영남대학교 기계공학부(학사)
 2016년 : 영남대학교 기계공학부(석사)

2017년~현 재: 한국로봇융합연구원 선임연구원
 2018년~현 재: 경북대학교 기계공학부(박사과정)
 ※관심분야 : 기계설계



김철홍(Cheol Hong Kim)

1998년 : 서울대학교
 컴퓨터공학부(학사)
 2000년 : 서울대학교
 컴퓨터공학부(석사)
 2006년 : 서울대학교
 전기컴퓨터공학부(공학박사)

2005년~2007년: 삼성전자 책임연구원
 2007년~2020년: 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수
 2020년~현 재: 숭실대학교 컴퓨터학부 교수
 ※관심분야 : 컴퓨터시스템, 임베디드 시스템, 고장진단시스템



홍영진(Young-Jin Hong)

1993년 : 고려대학교
 정보공학과(공학사)
 1996년 : 고려대학교
 전산과학과(이학석사)

1995년~1999년: PSINet Korea 기술연구소 연구원
 1999년~2006년: 삼성종합기술원 전문연구원
 2006년~2007년: 도쿄대학교(일본), 객원연구원
 2007년~현 재: 한국로봇융합연구원 수석연구원
 ※관심분야 : 수중작업용 로봇, 학습기반 로봇동작 최적화



박재형(Jaehyung Park)

1991년 : 연세대학교 전산과학과(학사)
 1993년 : 한국과학기술원(석사)
 1997년 : 한국과학기술원(공학박사)

1997년~1998년: 한국과학기술원(KAIST)
 인공지능 연구센터 연구원
 1998년~2002년: 한국전자통신연구원(ETRI)
 네트워크기술연구소 선임연구원
 2002년~현 재: 전남대학교 전자컴퓨터공학부
 지능전자컴퓨터공학화 교수
 ※관심분야 : 인터넷 라우팅, 멀티캐스트 라우팅,
 네트워크 보안, 무선 메시 네트워크, 인공지능