

## PID 제어 학습을 위한 시뮬레이션 기반의 교육 모델

서현호<sup>1</sup>, 김재웅<sup>2\*</sup>, 박성현<sup>3</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 컴퓨터공학과 박사과정, <sup>2</sup>공주대학교 컴퓨터공학부 교수, <sup>3</sup>공주대학교 컴퓨터공학과 박사

## Simulation-based Education Model for PID Control Learning

Hyeon-Ho Seo<sup>1</sup>, Jae-Woong Kim<sup>2\*</sup>, Seong-Hyun Park<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph. D. Student, Dept. of Computer Engineering, Kongju National University

<sup>2</sup>Professor, Dept. of Computer Science & Engineering, Kongju National University

<sup>3</sup>Ph. D. Dept. of Computer Engineering, Kongju National University

**요약** 최근 4차 산업혁명으로 스마트팩토리를 구성하는 요소 기술의 중요성이 높아지고 있으며, 이러한 기술들을 학습하기 위한 도구로 시뮬레이션이 널리 이용되고 있다. 특히 PID제어는 실제 응용 분야에서 다양하게 사용되고 있는 자동제어 기법으로서, 대부분 특정 상황에서 수학적 모델을 분석하거나 제어가 내장된 애플리케이션 개발에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 실제 교육적인 환경에서는 PID 제어 원리뿐만 아니라, 게인 값 조정 및 제어기 사용 방법 등에 대한 PID 시뮬레이터 교육이 필요하다. 본 논문에서는 3D 시뮬레이션을 통해 다양한 PID 제어의 교육과 실습이 가능한 모델을 제안 한다. 제안 모델은 가상의 Ball과 Fan을 구현하여 Fan에서 발생한 공기 압력에 의해 Ball에 양력이 받을 수 있도록 시스템을 구성하여 PID 제어를 실시하였다. 이때 Ball의 높이를 PID제어의 각 게인 값에 따라 그래프로 표현 후 실제 시스템과의 비교를 진행하였으며, 이를 통해 실제 수업에 충분히 적용할 만한 만족한 결과를 확인 할 수 있었다. 제안 모델을 통해 급격히 증가하는 스마트팩토리의 요소 기술을 원격 수업 환경에서 다양한 방법으로 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

**주제어** : 시뮬레이션 교육, PID, 스마트팩토리, 게인 제어, 3D 시뮬레이션

**Abstract** Recently, the importance of elemental technologies constituting smart factories is increasing due to the 4th Industrial Revolution, and simulation is widely used as a tool to learn these technologies. In particular, PID control is an automatic control technique used in various fields, and most of them analyze mathematical models in certain situations or research on application development with built-in controllers. In actual educational environment requires PID simulator training as well as PID control principles. In this paper, we propose a model that enables education and practice of various PID controls through 3D simulation. The proposed model implemented virtual balls and Fan and implemented PID control by configuring a system so that the force can be lifted by the air pressure generated in the Fan. At this time, the height of the ball was expressed in a graph according to each gain value of the PID controller and then compared with the actual system, and through this, satisfactory results sufficiently applicable to the actual class were confirmed. Through the proposed model, it is expected that the rapidly increasing elemental technology of smart factories can be used in various ways in a remote classroom environment.

**Key Words** : Simulation Education, PID, Smart Factory, Gain Control, 3D Simulation

\*Corresponding Author : Jae Woong Kim (jykim@kongju.ac.kr)

Received December 10, 2021

Accepted March 20, 2022

Revised March 6, 2022

Published March 28, 2022

## 1. 서론

공학 교육에 대한 다양한 논의를 통하여 실제 교육 장소에서의 학습과 시뮬레이션 환경에서의 학습을 수행하는 방법에 대한 방향이 제시되고 있다[1]. 교육 기관에서는 소프트웨어와 관련된 교육에 대한 지원과 관심이 지속되고 있으며, 피지컬 컴퓨팅을 위한 교구와 컴퓨터 등의 기자재를 확보하여 인프라 구축을 진행하고 있는 상황이다. 인터넷 보급의 급속한 발전으로 고등 교육 기관 및 대학에서도 온라인 소프트웨어 교육을 실행하고 있으며, 온라인을 통한 학습은 디지털 보급이 확산된 국가에서는 매우 효과적인 수 있다[2]. 또한 원격 교육은 학생들에게 매우 인기가 있으며, 학습 및 교육의 공간을 확장할 수 있고[3], 시뮬레이션을 도입한 원격 교육은 단순한 영상을 이해하는 강의 방식을 벗어나 학습자가 시뮬레이션을 통해 실습을 진행하는 과정을 통해 일방적인 지식 전달에서 벗어나 자기 주도적으로 학습 할 수 있다는 장점을 가지고 있다[4]. 이러한 원격 교육은 교사와 학습자 사이의 상호 작용을 확장하기 위해서 행동 요소 및 인지와 다양한 사회적인 요소들이 필요하다[5,6], 또한 교사들의 교육 커리큘럼의 설계와 효율적인 전달 능력은 효과적인 가상 환경을 학습에 접목시키는데 매우 중요한 역할을 하고 있으며, 교사들은 해당 과목의 전달 기술과 교육 설계에 대한 전문 지식이 필요하다[7]. 이러한 원격 교육은 고등 교육에서 매우 빠르게 성장하는 분야로서, 디지털 정보통신 기술의 발전으로 원격 온라인 교육이 기존의 전통적인 대면 수업과 경쟁할 수 있을 정도이다[8]. 현대 학생들은 매일 인터넷에 접속하고 컴퓨터와 스마트폰을 통하여 다양한 학습 도구와 플랫폼을 사용하여 원격으로 교육 콘텐츠를 학습하고 있다[9]. 최근 4차 산업 혁명으로 스마트팩토리를 구성하는 요소 기술의 중요성이 높아지고 있으며, 이러한 기술들에 대한 원격 교육이 이루어지고 있다. 특히 PID (Proportional, Integral, Differential) 제어는 실제 응용 분야에서 다양하게 사용되고 있는 자동제어 기법으로서, 대부분 특정 상황에서 수학적 모델을 분석하거나 제어가 내장된 애플리케이션 개발에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 실제 교육적인 환경에서는 PID 제어 원리뿐만 아니라, 게인 값 조정 및 제어기 사용 방법 등에 대한 PID 시뮬레이션 교육이 필요하다. 본 논문에서는 3D 시뮬레이션을 통해 다양한 PID 제어의 교육과 실습이 가능한 모델을

제안한다. 제안 모델을 통하여 물리적 특성을 이해하지 못해도, 게인 값의 조정을 통하여 비교적 간단하게 교육 목표에 도달할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 PID(Proportional-Integral-Differential) 제어

PID 제어의 기본 원리는 출력량을 조절할 수 있는 출력계와 이에 반응하여 변화량을 산출할 수 있는 입력계가 closed-loop로 이루어져 설정한 목표 값과 현재 상태 값의 차이를 각각 Proportional, Integral, Differential 하여 다시 출력계에 반영하는 제어 방식이다. PID 컨트롤러는 일반적으로 시스템의 정상 상태와 과도한 상태의 동작을 개선하기 위하여 사용되며, Integer order controller or Traditional controllers 로 알려져 있는 상황이다[10,11]. 기존의 PID 제어기 알고리즘은 PID 제어에 사용되는 기존의 속도 제어 시스템으로 간단하고 안정적이며 신뢰성이 높다[12]. 그러나 실제 대부분의 제조 공정에서는 서로 다른 정보의 매개 변수에 대한 가변성, 비선형, 시스템의 수학적 모델의 불확실성을 가지고 있어 PID 제어 매개 변수 조정은 매우 힘든 상황이며, 실제 생산 현장에서 최적의 상태를 달성하기 어렵다[13]. 따라서 특히 적절한 PID 컨트롤러 매개 변수를 선택하는 것은 매우 중요하지만, 최적화 기술 중 하나를 기반으로 매개 변수를 선택하여 성능 향상은 가능하나 효과적이라고 할 수 는 없다[13]. 또한 PID는 제어 환경에 따라 Low-pass Filter, Anti-Windup 등 여러 가지 제어기를 추가하여 시스템을 확장할 수 있는 특징을 가지고 있다.

### 2.2 Simulation Education

시뮬레이션을 이용한 학습은 공간, 비용, 안전 등 다양한 원인으로 실제 상황을 재현하기 어려운 경우나 복잡한 시스템의 일부를 차용하여 교육 목적에 맞게 보조 학습 도구를 도입하여 학습자로 하여금 이해를 돕기 위해 다양한 분야에서 연구되고 있다[14,15]. 특히 PC 성능의 발달로 3D 공간에 모델링을 쉽게 구현하고, 중력과 충돌 등 기본적인 물리적 현상을 비전문가도 비교적 쉽게 구현이 가능하도록 물리엔진이 탑재된 게임 엔진을 이용하여 가상의 시뮬레이션 환경을 구성하는 연구도 다양하게 연구되고 있다[16]. 또한, COVID-19 확

산 이후 사회적인 변화로 인해 원격 교육이 대중화 됨에 따라 실습을 요하는 기술 교육 등에서 학습자로 하여금 훈련 시뮬레이션을 배포하여 안전한 환경에서 연습 할 기회를 제공하고 문제 상황에 대하여 반복적인 연습이 가능하여 원격 교육으로 인해 부족한 실습 기회를 보충 할 수 있다[17].

### 3. 제안 시스템

#### 3.1 System Configuration Diagram

다음의 Fig. 1은 PID 제어를 위한 Ball Control 시뮬레이션 시스템 구성도로서, 크게 3가지로 구성되어 있다.

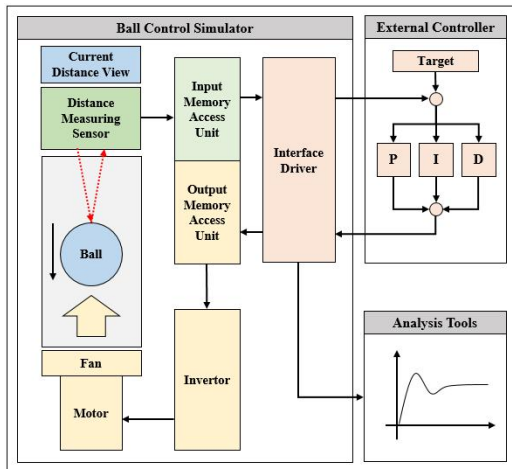


Fig. 1. System Configuration Diagram

첫째, 외부 컨트롤러는 PID 제어를 구성할 수 있는 애플리케이션 혹은 PLC, 아두이노 등과 같은 상용 컨트롤러이다. 외부 컨트롤러는 교육 커리큘럼에 따라 직접 PID 제어 프로그래밍을 실습하거나 또는 이미 구현된 PID 제어기의 게인 값을 조절할 수 있도록 구성되어 있다. 이때, 시뮬레이터 상의 입력 및 출력 데이터와 연동 할 수 있도록 제어기의 종류에 따라 라이브러리를 제공한다. 둘째, Ball Control Simulator는 3D 공간 상에 구현된 가상의 물리 법칙이 구현된 공간이다. 시뮬레이터에는 중력과 Drag가 적용된 Ball이 존재하며, Ball은 Fan에서 발생하는 Wind에 의해 수직 방향으로 힘을 받게 설계되어 있다. Fan의 출력은 실제 시스템과 유사하게 인버터에 의한 주파수 조절을 통해 이루어진

다. 또한 제어 도중 즉각적으로 Ball의 높이를 확인 할 수 있도록 현재 수치를 표시 하였고, 거리 측정 센서를 이용해 정량화 된 Ball의 높이를 외부로 전송 할 수 있도록 하였다. 외부로의 신호 전송은 프로토콜이 비교적 간단하며 범용성이 높아 다양한 외부 컨트롤러에 적용 가능한 RS-232 방식으로 interface driver를 구성하였다. 셋째, Analysis Tools은 PID 제어 도중 발생하는 입력 및 출력 값의 변화 등을 실시간 그래프로 표현 하며, 각종 게인 값에 변화에 따른 입력 및 출력 신호의 파형을 분석하는데 도움을 줄 수 있다.

#### 3.2 System Process

다음 Fig. 2는 시뮬레이터 상에서 이루어지는 Ball Control의 시스템 프로세스이다. 인버터는 Interface driver를 통해 외부의 제어 출력을 메모리에 Reading 하여 내부의 스케일을 통해 주파수 데이터로 변환한다. 이를 이용하여 Fan은 회전하게 되며 이는 공기 상태 방정식에 의해 수직 방향으로 힘을 발생하여 Ball에 전달한다. 전달된 양력은 Ball의 중력과 합산되어 Ball을 떠오르게 할지 가라앉게 할지를 결정한다. Ball의 현재 높이가 중력과 양력에 의해 실시간으로 변화하면, 이를 거리 측정 센서가 측정하여 외부의 입력으로 데이터를 전달한다.

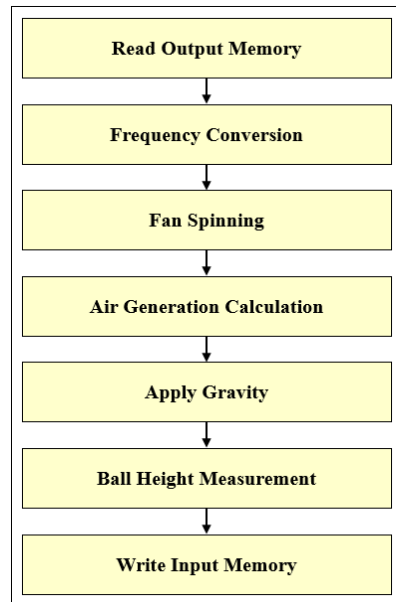


Fig. 2. System Process

### 3.3 Ball Control Simulator

PID 제어를 교육 시, 제시해야 하는 세 가지 학습 목표가 있다. 첫째는 PID 제어의 수식이 어떠한 원리로 대상을 원하는 제어 목표까지 도달 시키는지이며, 둘째는 P, I, D 각 제어기의 상수 값의 변화가 제어 특성에 어떠한 영향을 미치는지 학습하는 것이다. 마지막으로 제어 환경 내의 시스템의 특성에 따라 PID 제어를 어떠한 방향으로 설계하고 파라미터를 조정 할지를 경험적으로 학습 시키는 것으로 이는 관련 전공 학습자뿐만 아닌 실무에서 PID제어기가 적용된 설비를 다루는 엔지니어를 대상으로도 꼭 필요한 교육 과정이다. 제어 시스템의 특성은 제어 대상에 조작을 가하는 컨트롤러의 파라미터 설정 및 제어 대상에 가하지는 예상하지 못한 외부 변동, 설비에서 발생하는 노이즈로 인해 동일한 설비에서도 서로 다른 제어 특성을 가지게 된다. 이를 학습자에게 다양한 경험으로 제공하기 위해 다음 Fig. 3과 같이 Ball control을 위한 클래스를 구성하였다.

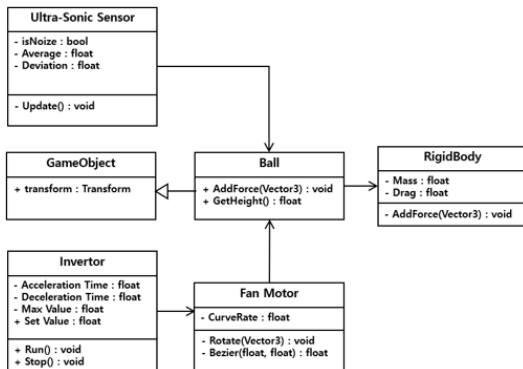


Fig. 3. Ball Control Class Diagram

인버터는 설정된 주파수를 생성하고 이를 모터에 전송하여 모터의 속도 조절을 하는 컨트롤러로 모터의 과부하를 방지하기 위해 최대 출력 주파수 제한과 Slow Start/Stop을 위한 가속 시간과 감속 시간 등을 파라미터로 가지고 있다. 이 수치를 통해 시스템의 반응 속도를 조절하여 제어 대상의 빠른 반응 특성과 느린 반응 특성을 각각 PID 제어와 그래프를 통해 확인해 볼 수 있도록 하였다. Fan 모터는 인버터로부터 주파수를 전달받아 회전하며 수직 상승 방향의 힘을 생성하여 공에 전달하는 역할이다. 이때 회전수와 생성되는 힘의 비율 그리고 공의 높이 대비 감소되는 힘의 비율을 수학적

모델이 아닌 Bezier 곡선을 이용하여 비전공자도 자유롭게 조절할 수 있도록 하였다. 다음 유니티의 GameObject로부터 파생된 Ball Object는 시뮬레이션 상에 실제화된 제어 대상이다. Ball에는 Rigidbody가 포함되어 중력에 의해 평상시 수직 하강하며, Fan 모터에서 발생하는 양력에 의해 위로 상승하거나 또는 힘의 평형에 의해 제자리에 머물게 된다. Ball이 가지는 변수로는 힘에 영향을 주는 Mass와 탄성 계수와 유사한 Drag가 있다. 마지막으로 볼의 높이를 측정할 거리 측정 센서로는 실제 현업에서 자주 사용되는 초음파 센서의 구조를 모방하여 구현하였으며, 초음파 센서의 측정 높이를 0V ~ 5V의 아날로그 신호로 변환하여 제공하여 아날로그 신호 변환에 대한 학습이 가능하도록 하였다.

### 3.4 Analysis Tools

PID 제어를 통한 시스템의 분석을 위한 도구로 주로 사용되는 것은 트렌드 그래프로 제어 대상의 현재 상태 및 출력기의 출력 상태를 실시간으로 표현 및 저장이 가능해야 한다. 이때, 시뮬레이션 상에 구현된 입력 / 출력 신호뿐만 아니라 사용자가 사용한 외부 제어기에서 생성한 데이터 또한 동시에 표현이 되어야 PID 제어기의 상태를 올바르게 분석 할 수 있다. 이를 위해 다음 Fig. 4와 같이 데이터의 흐름을 구성하였다.

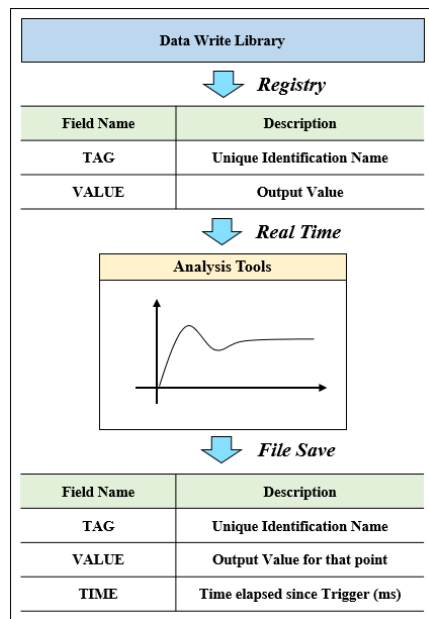


Fig. 4. Data Flowchart for Analysis Tools

Data Write Library는 PID 제어를 구현할 외부 컨트롤러에서 분석 도구로 데이터를 전송 할 수 있도록 지원하는 도구로 외부 컨트롤러의 종류에 따라 시리얼, 소켓과 같은 통신 라이브러리나 혹은 로컬에서 직접 프로그래밍이 가능하도록 DLL(Dynamic Linked Library) 파일 형태로 인터페이스를 제공한다. 외부 컨트롤러에서는 분석하고자 하는 변수의 값을 고유 식별 이름인 TAG와 함께 Pair로 전송하면 이는 윈도우 레지스트리 상에 저장되며, 이를 분석 도구에서 실시간으로 체크하여 그래프 형태로 표시한다. 또한 PID 제어기 상수 값의 변화에 따른 그래프 파형의 비교를 위해 측정된 데이터는 파일 형태로 로그에 저장된다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 System Implementation

제안 모델의 실험을 위하여 유니터를 이용해 다음의 Fig. 5와 같이 Ball Control Simulator를 구현 하였다.



Fig. 5. Ball Control Simulator

시뮬레이션에 사용된 인버터와 초음파 센서는 실제 상용 제품을 모방하여 최대한 현실성 있는 조작성 할 수 있도록 구성하였으며, 실제 Ball의 모션을 가시화하여 학습자들로 하여금 흥미를 유발 할 수 있도록 하였다. 또한 즉각적으로 Ball의 Mass와 Drag를 조절 할 수 있는 파라미터 설정창과 센서의 노이즈 정도를 조절 할 수 있는 설정 창을 각각 구현하여 다양한 변수를 가지고 실습이 이루어 질 수 있도록 하였다. 다음 Fig. 6은 외부 컨트롤러의 UI 화면으로 PID 제어 알고리즘을 C#

을 이용하여 작성하였으며, 제어 시작/정지를 위한 버튼과 볼의 높이를 0~100% 범위 내에서 설정할 목표 값 및 PID의 각 상수를 입력 받을 입력기로 구성하였다.

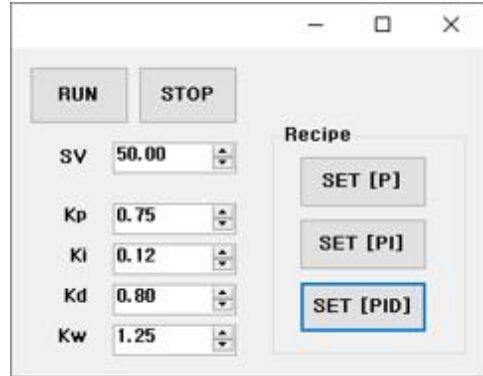


Fig. 6. External Controller UI

##### 4.2 Performance Analysis

다음 Fig. 7은 차트를 이용한 분석 도구 화면으로 무료 라이브러리인 ZedGraph를 이용하여 Ball의 현재 높이, 제어 총 출력 및 각 제어기의 개별 출력을 실시간으로 모니터링 한 결과이다.

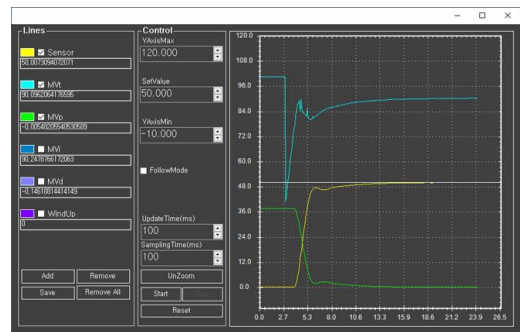


Fig. 7. Analysis Tools Using Charts

다음 Fig. 8은 본 논문의 제안 모델을 이용하여 P, I, D 각 상수의 값의 변화를 주어 데이터를 취득하고 각 제어마다 저장한 로그 파일을 바탕으로 스프레드 시트를 이용하여 비교한 결과이다. 일반적인 PID제어기만을 사용하였을 때, 목표 위치에 도달하지 못하는 현상과 PID 제어기의 Over-Shoot 현상 등 일반적으로 PID 제어기에서 보이는 파형의 특성을 확인할 수 있었다.

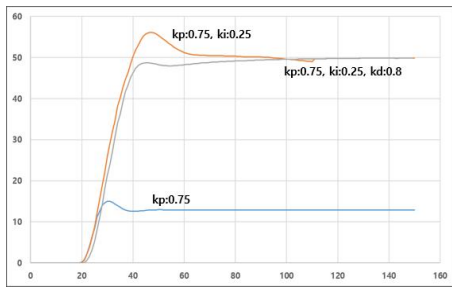


Fig. 8. PID curve by constant value

다음의 Fig. 9는 Ball의 파라미터를 변경하고, PID 제어기의 상수를 고정한 결과 그래프로서, Mass가 적고 Drag가 높을 경우 목표 지점에서 Ball이 Bounce됨을 확인할 수 있었다.

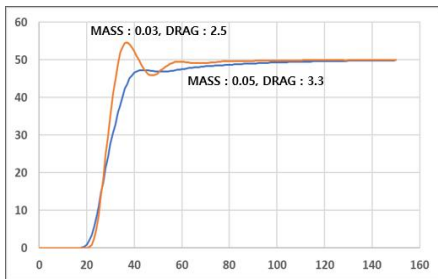


Fig. 9. PID curve based on ball parameters

다음 Fig. 10은 실제 인버터와 초음파 센서를 이용하여 본 연구에서 제시한 시스템을 실물로 구성한 뒤, 동일한 제어기를 이용하여 PID 제어를 수행하여 측정된 데이터이다.

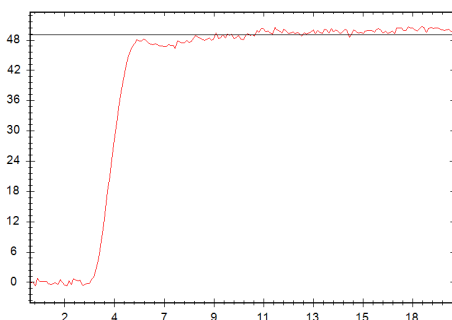


Fig. 10. PID curve of real system

실제 시스템은 모터 기동 중 발생하는 노이즈로 인해 초음파 센서의 수집데이터에 노이즈가 발생하는 차이가 있었으나 전체적인 파형에서 시뮬레이션과 같은 추세를

나타내었으며, 이는 오히려 처음 PID 제어기를 학습하는 학습자에게 외란에 의한 변수를 없애고 이론적으로 학습한 지식을 바로 적용하는 과정에서 어려움을 감소시키는 효과를 가져 올 것으로 기대해 볼 수 있다.

## 5. 결론

시뮬레이션을 활용한 교육은 고등 교육에서 매우 빠르게 성장하는 분야로서, IT 기술의 급속한 발전으로 원격 온라인 교육에 활용하여 기존의 전통적인 대면 수업과 경쟁할 수 있을 정도이다. 최근 4차 산업 혁명으로 스마트팩토리를 구성하는 요소 기술의 중요성이 높아지고 있으며, 이러한 기술들에 대한 시뮬레이션 교육이 이루어지고 있다. 특히 PID제어는 실제 응용 분야에서 다양하게 사용되고 있는 자동제어 기법으로서, 대부분 특정 상황에서 수학적 모델을 분석하거나 제어기가 내장된 애플리케이션 개발에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 실제 교육적인 환경에서는 PID 제어 원리 뿐만 아니라, 게인 값 조정 및 제어기 사용 방법 등에 대한 PID 시뮬레이터 교육이 필요하다. PID 제어는 간단하며 강력한 기능을 가지고 있어 개발이 오래되었음에 불구하고 현재까지 널리 쓰이는 자동 제어 기법이지만, PID를 학습함에 있어 선행되어야 할 요소 기술이 많으며, 배움의 단계에서는 쉽게 접근하기 어려운 기술이다. 또한 PID 제어를 다루기 위해서는 많은 단계적 시행착오가 필요하며, 민감한 시스템기에 실습 장비를 도입하여 실제 수업에 적용하기는 어려운 부분이 있다. 따라서 본 논문에서는 최근 급격히 발전한 컴퓨터 성능에 따라 널리 사용되고 있는 시뮬레이션 기법을 통해 PID 제어를 원격으로 학습할 수 있는 모델을 제안한다. 제안 모델을 통하여 급격히 증가하는 스마트팩토리의 요소 기술 및 온라인 교육 환경에서 다양한 방법으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- [1] J. V. Nickerson, J. E. Corter, S. K. Esche & C. A. Chassapis, (2007). Model for evaluating the effectiveness of remote engineering laboratories and simulations in education. *Computers & Education*. 49(3), 708-725.  
DOI : 10.1016/j.compedu.2005.11.019
- [2] H. S. Im & E. M. Im. (2021). The mediating effects



- of academic self-efficacy in the relationship between learning flow and self-directed learning that influences college online classes in COVID-19. *J. Learn. Cent. Curric. Instr.*, 21, 183-194.
- [3] J. Beese. (2014). Expanding learning opportunities for high school students with distance learning. *American Journal of Distance Education*. 28(4), 292-306. DOI : 10.1080/08923647.2014.959343
- [4] C. S. Noe. (2020). A Study on the Simulation-Based Electric Control Panel Distance Learning Model. *Journal of the Korea Convergence Society*, 11(10), 31-36.
- [5] A. S. Chow & R. A. Croxton. (2017). Designing a Responsive e-Learning Infrastructure: Systemic Change in Higher Education. *American Journal of Distance Education*, 31(1), 20-42. DOI : 10.1080/08923647.2017.1262733
- [6] S. Joksimović, D. Gašević, T. M. Loughin, V. Kovanović & M. Hatala. (2015). Learning at distance: Effects of interaction traces on academic achievement. *Computers & Education*, 87, 204-217. DOI : 10.1016/j.compedu.2015.07.002
- [7] V. Salyers, L. Carter, A. Carter, S. Myers & P. Barrett. (2014). The search for meaningful e-learning at Canadian universities: A multiinstitutional research study. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*. 15(6), 313-347. DOI : 10.19173/irrodl.v15i6.1713
- [8] E. N. Zaborova, I. G. Glazkova & T. L. Markova. (2017). Distance learning: Students' perspective. *Sociological Studies*. 2(2), 131-139.
- [9] C. Lytridis, A. Tsinakos & I. Kazanidis. (2018). ARTutor-an augmented reality platform for interactive distance learning. *Education Sciences*. 8(1), 6. DOI : 10.3390/educsci8010006
- [10] B. Hekimoğlu, S. Ekinçi & S. Kaya. (2018). Optimal PID controller design of DC-DC buck converter using whale optimization algorithm. In 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), IEEE. 1-6. DOI : 10.1109/IDAP.2018.8620833
- [11] S. Khubalkar, A. Junghare, M. Awar & S. Das. (2017). Modeling and control of a permanent-magnet brushless DC motor drive using a fractional order proportional-integral-derivative controller. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*. 25(5), 4223-4241. DOI : 10.3906/elk-1612-277
- [12] K. H. Ang, G. Chong & Y. Li. (2005). PID control system analysis, design, and technology. *IEEE transactions on control systems technology*, 13(4), 559-576. DOI : 10.1109/TCST.2005.847331
- [13] S. Thamizmani & S. Narasimman. (2014). Design of fuzzy PID controller for brushless DC motor. *International Journal of Emerging Research in Management & Technology*. 3(4), 66-75.
- [14] J. M. Kim & Y. S. Choi. (2020). Effects of Simulation Practice Education with Problem-Based Learning on Nursing Students' Learning Attitudes, Satisfaction, Critical Thinking, and Problem-Solving Ability. *Journal of Korean Society for Simulation in Nursing*, 8(1), 31-41.
- [15] S. W. Ha & J. Choi. (2020). *The Learning Effect of Simulation Game Activities in Geography Classes* : Focus on urban flood.
- [16] W. S. Park. (2015, October). Development of the Virtual Plant Using Mitsubishi PLC Simulation and Unity Game Engine. In *Proceedings of the Society of CAD/CAM Conference* (pp. 153-159).
- [17] G. W. Jin. (2020). AGV Distance Learning Model Based on Virtual Simulation. *Journal of the Korea Convergence Society*, 11(11), 41-46.

## 서 현 호(Hyeon-Ho Seo)

[정회원]



- 2020년 2월 : 공주대학교 IT융합학과(공학석사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 컴퓨터공학과(박사과정)
- 관심분야 : PLC, IoT, 시뮬레이션, 스마트 팩토리
- E-Mail : shhmetis@naver.com

## 김 재 웅(Jae-Woong Kim)

[정회원]



- 1983년 2월 : 중앙대학교 전자계산학과(공학사)
- 1988년 2월 : 중앙대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2000년 2월 : 대전대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학박사)
- 1992년 8월 ~ 현재 : 공주대학교 컴퓨터공학부 교수
- 관심분야 : 소프트웨어공학, 빅데이터, 멀티미디어공학
- E-Mail : jykim@kongju.ac.kr

박 성 현(Seong-Hyun Park)

[정회원]



- 2012년 2월 : 충남대학교 예술대학 음악학과(성악전공)
- 2017년 2월 : 공주대학교 IT공학 전공(공학석사)
- 2020년 2월 : 공주대학교 컴퓨터공학과 박사

- 관심분야 : 인공지능, 컴퓨터음악, 빅데이터
- E-Mail : giornopark@daum.net