

NEURAL NETWORK-BASED SELF-TUNING PID CONTROL FOR UNDERWATER VEHICLES

수중차량의 신경망 기반
자세 조정 PID CONTROL

황승현

경상국립대학교 컴퓨터과학과
증강지능연구실

01

Introduction

04

Simulation Results

07

Discussions

02

Background knowledge
Neural Network
& PID

05

Experimental
Set up

08

Q&A

03

Self-Tuning
Neural Network
for PID Control

06

Conclusions

01.

INTRO- DUCTION

INTRO- DUCTION

by Rodrigo Hernández-Alvarado 1,* , † , ‡ , Luis Govinda García-Valdovinos 1 , ‡ , Tomás Salgado-Jiménez 1 , ‡ , Alfonso Gómez-Espinosa 2 , ‡ ORCID and Fernando Fonseca-Navarro 1 , ‡

1

Energy Division, Center for Engineering and Industrial Development-CIDESI, Santiago de Queretaro, Queretaro 76125, Mexico

2

Tecnologico de Monterrey, Campus Queretaro, Ave. Epigmenio González 500, Fracc. San Pablo, Santiago de Queretaro, Queretaro 76130, Mexico

Sensors 2016, 16(9), 1429; <https://doi.org/10.3390/s16091429>

Received: 24 May 2016 / Revised: 25 July 2016 / Accepted: 10 August 2016 / P

ublished: 5 September 2016

01

SUBJECT

Comparison between Conventional PID-like controller and Auto-tune PID-like controller based on Neural Networks (NN)

02

KEYWORD

neural networks
auto-tuning PID
ROV(Remotely Operated Vehicles) control
disturbances

03

RESULT

Auto-tune PID-like controller based on Neural Networks attained the best performance with less energy.

02.

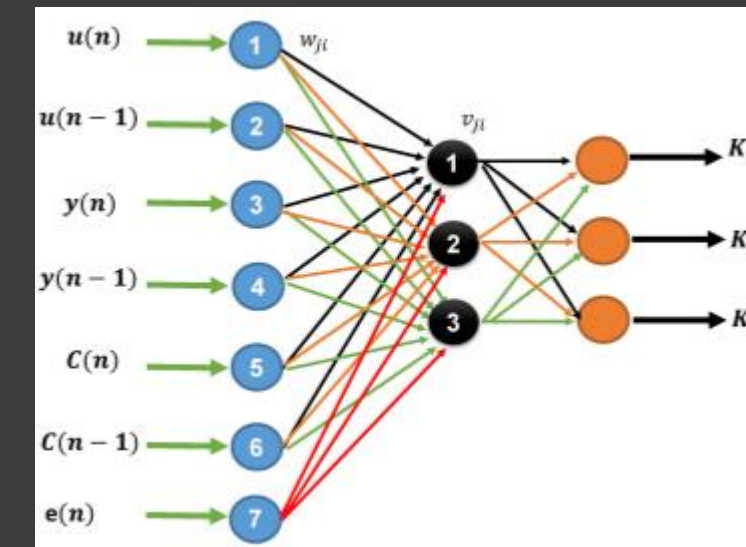
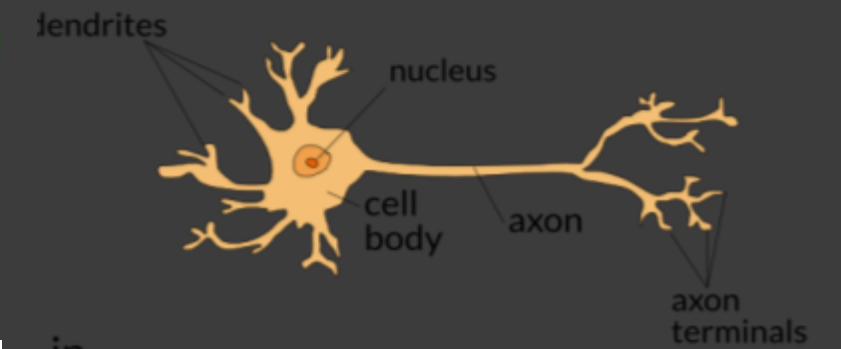
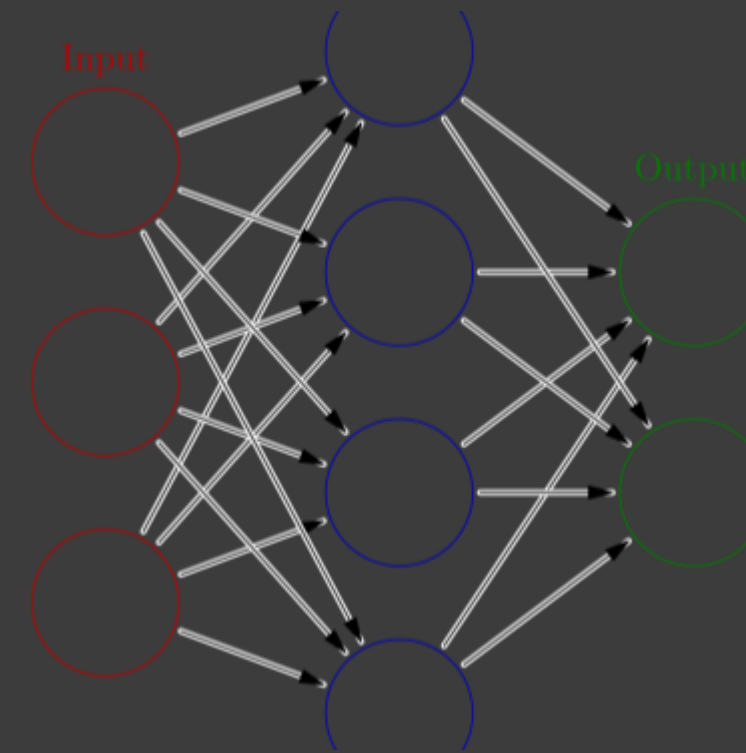
BACKGROUND KNOWLEDGE

01

NEURAL NETWORK

신경망은 생물학 용어로 생물의 뇌가 사고를 하는 곳이다. 인공신경망은 이 생물학적 신경망의 구조를 가져온 알고리즘이다. 인공 뉴런(Node)이 학습을 통해 시냅스(edge)의 가중치를 바꾸어 문제를 해결하는 방법을 학습하는 것이다. 신경망은 학습 방법에 따라 지도학습, 비지도학습으로 나눌 수 있다.

신경망의 특성: Parallelism and generalization, Non-linearity, Adaptability, Fault tolerance

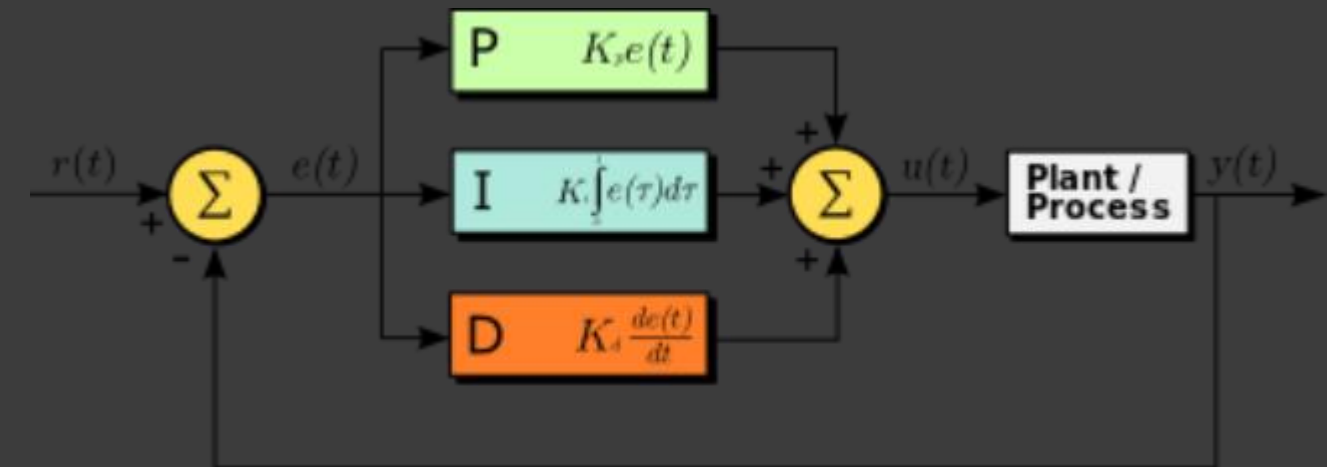


02

PID

PID(Proportional + Integral + Derivative)는 컨트롤러를 제어하는 가장 일반적인 방법으로, 단순하고 성능이 적절하여 널리 사용된다. 그러나, 모터가 지속적으로 매개변수가 변할 때, 또는 외부 교란(disturbances)의 대상이 될때는 PID Controller gains tuning approach를 사용한다. 대부분 오프라인으로 조정한다.

대안: Auto-tune PID-like controller based on Neural Networks

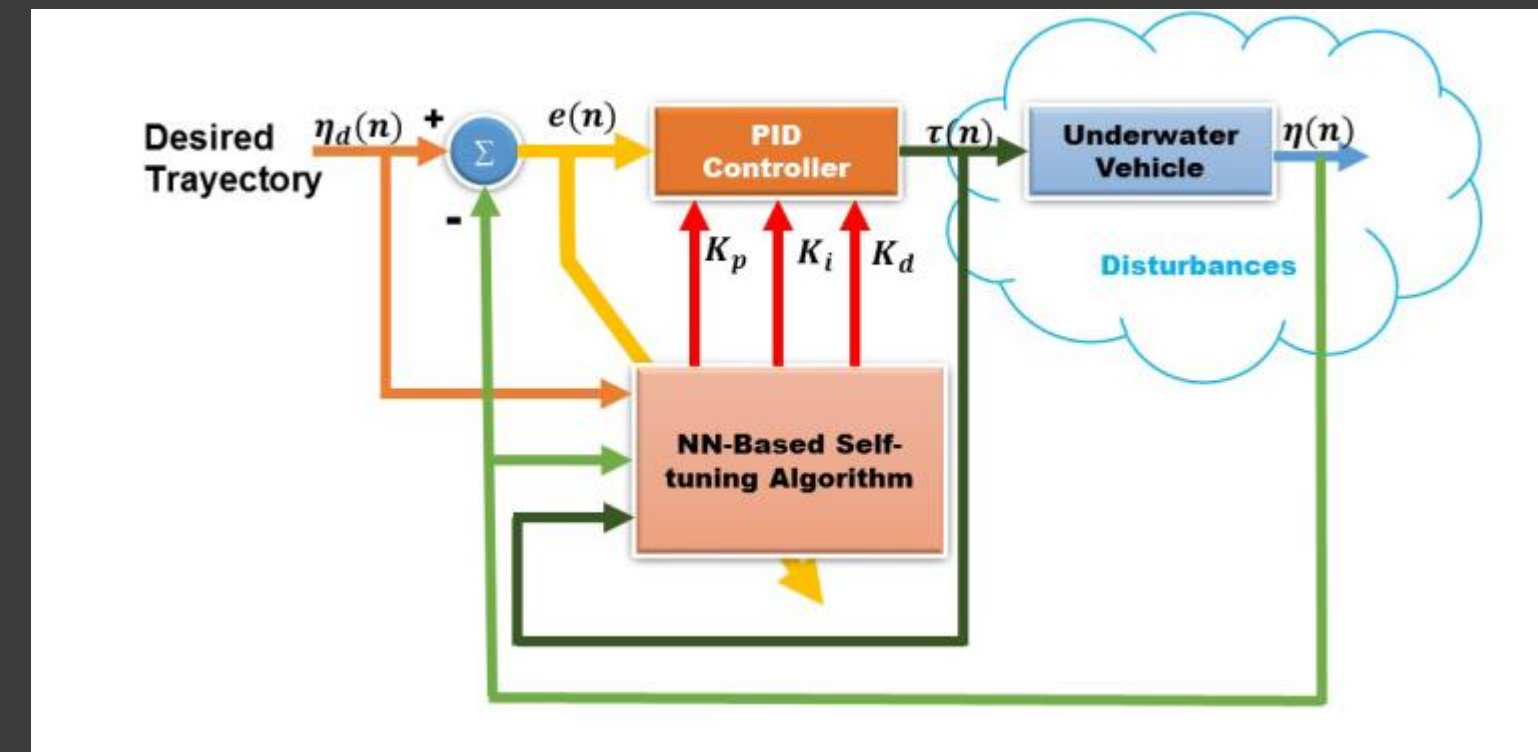


03.

SELF-TUNING NEURAL NETWORK FOR PID CONTROL

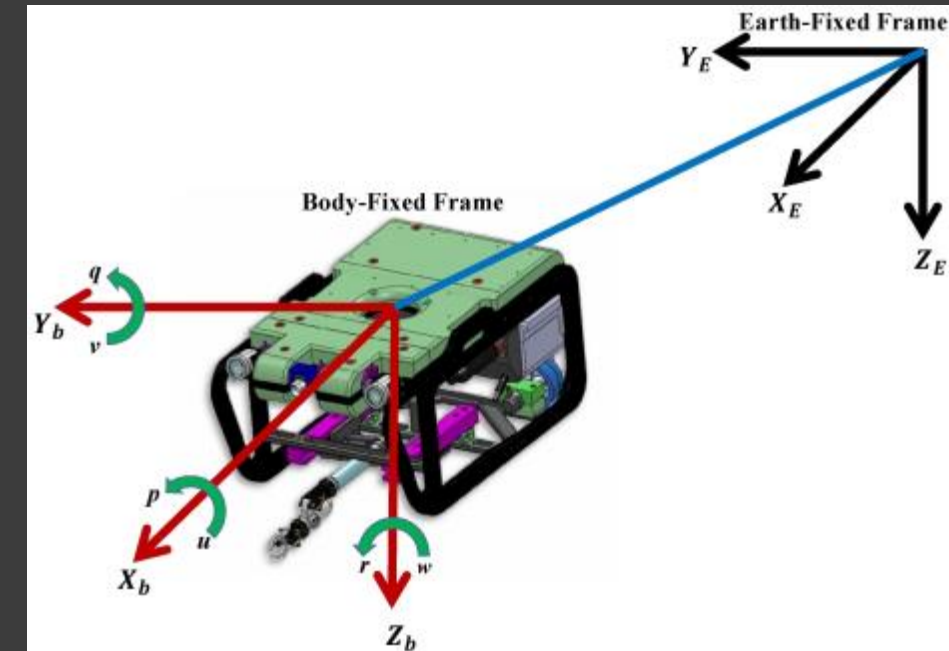
MIX OF CONTROL AND SMART SYSTEM

원하는 성능을 얻기 위해 직접 gain을 조정하는 것은 시간 소모가 크다. 그 대안이 신경망 기반 자동 튜닝 알고리즘이다.
이를 염두에 두고 제어와 스마트 시스템이 혼합되어야 한다.



UNDERWATER VEHICLE

Underwater Vehicle의 시스템 모델은 운동학적 모델, 유체역학 모델이 있고, 해류도 고려해야한다. 그러나 이 논문에서는 vehicle보다는 controller에 집중하기 위해 더 이상의 자세한 설명은 생략한다.



$$v = [v_1 \ v_2]^T = [u \ v \ w \ p \ q \ r]^T$$

$$\eta = [\eta_1 \ \eta_2]^T = [x \ y \ z \ \phi \ \theta \ \psi]^T$$

$$\begin{bmatrix} \dot{\eta}_1 \\ \dot{\eta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1(\eta_2) & O_{3 \times 3} \\ O_{3 \times 3} & J_2(\eta_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

$$M\dot{v} + C(v)v + D(v)v + G\eta = \tau$$

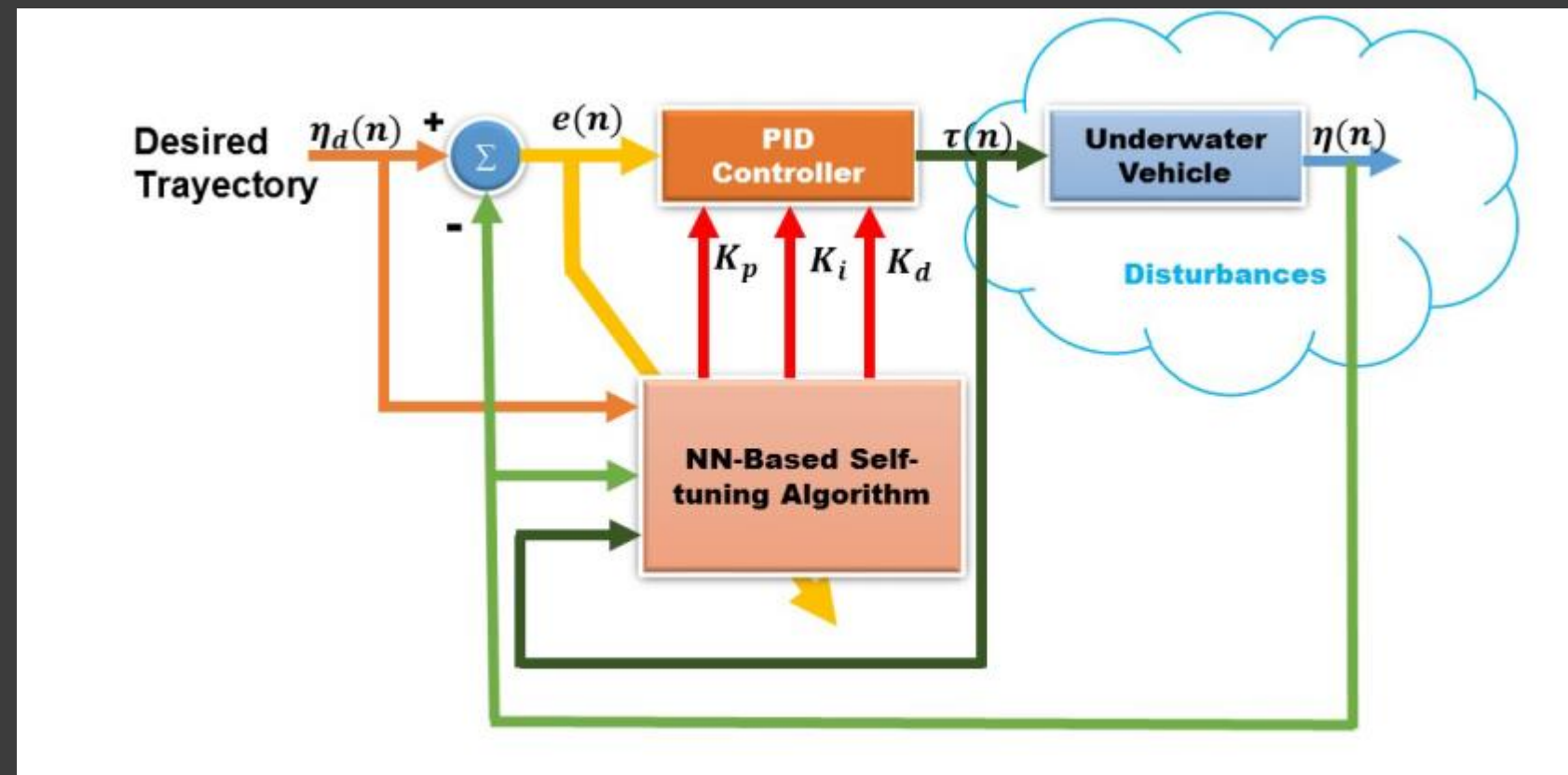
$$\dot{\eta} = J(\eta)v$$

$$v_r = v - v_{CI}$$

CONTROL LAW

$$\tau(n) = \tau(n-1) + K_p(e(n) - e(n-1)) + K_i e(n) + K_d(e(n) - 2e(n-1) + e(n-2))$$

| | |
|------------------------|-------------------------|
| $\tau(n)$ | original control signal |
| $e(n) = \eta_d - \eta$ | position tracking error |
| η_d | desired trajectory |
| $K_p \ K_i \ K_d$ | p, i, d gain |
| n | sample time |



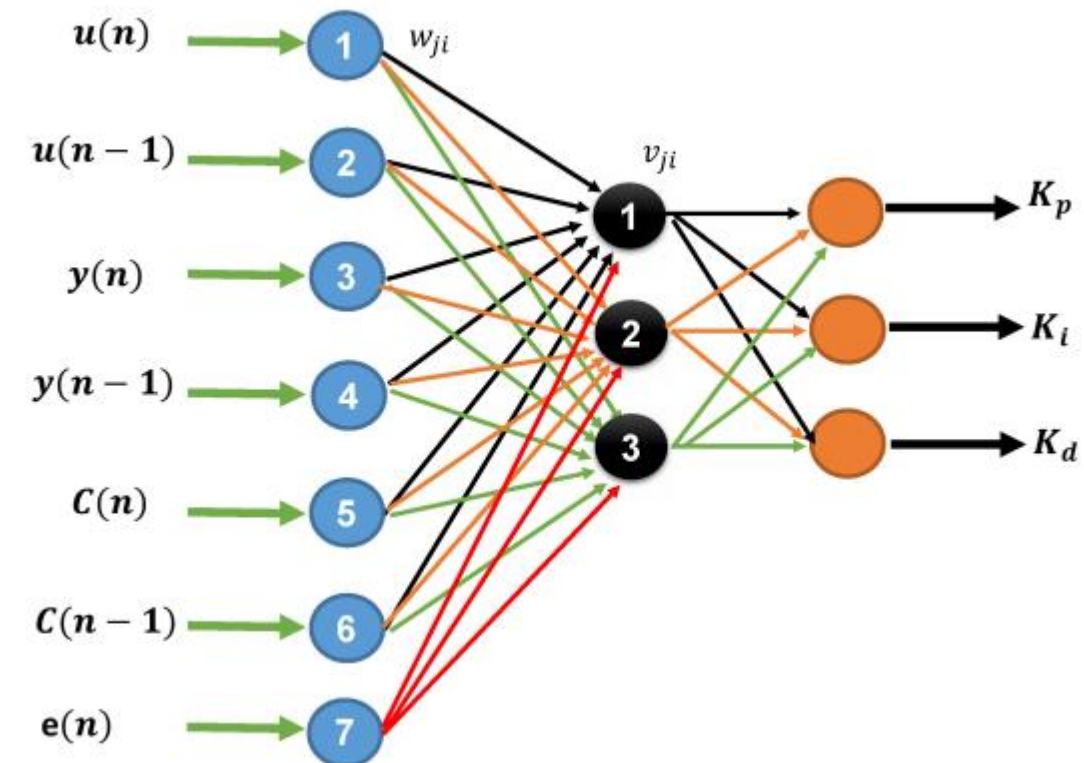
ALGORITHM AUTO-TUNER

역전파 알고리즘

신경망에 7개의 파라미터를 입력하고, pid gain을 얻는다

output layer에서 이상적인 output과 비교하여 오차를 구하고, 오차를 구하여, hidden layer로 역전파한다.

역전파는 gradient descent를 이용한다.



04.

SIMULATION RESULTS

01

UNDERACTUATED

Matlab/Simulink 소프트웨어를 이용하여 평가

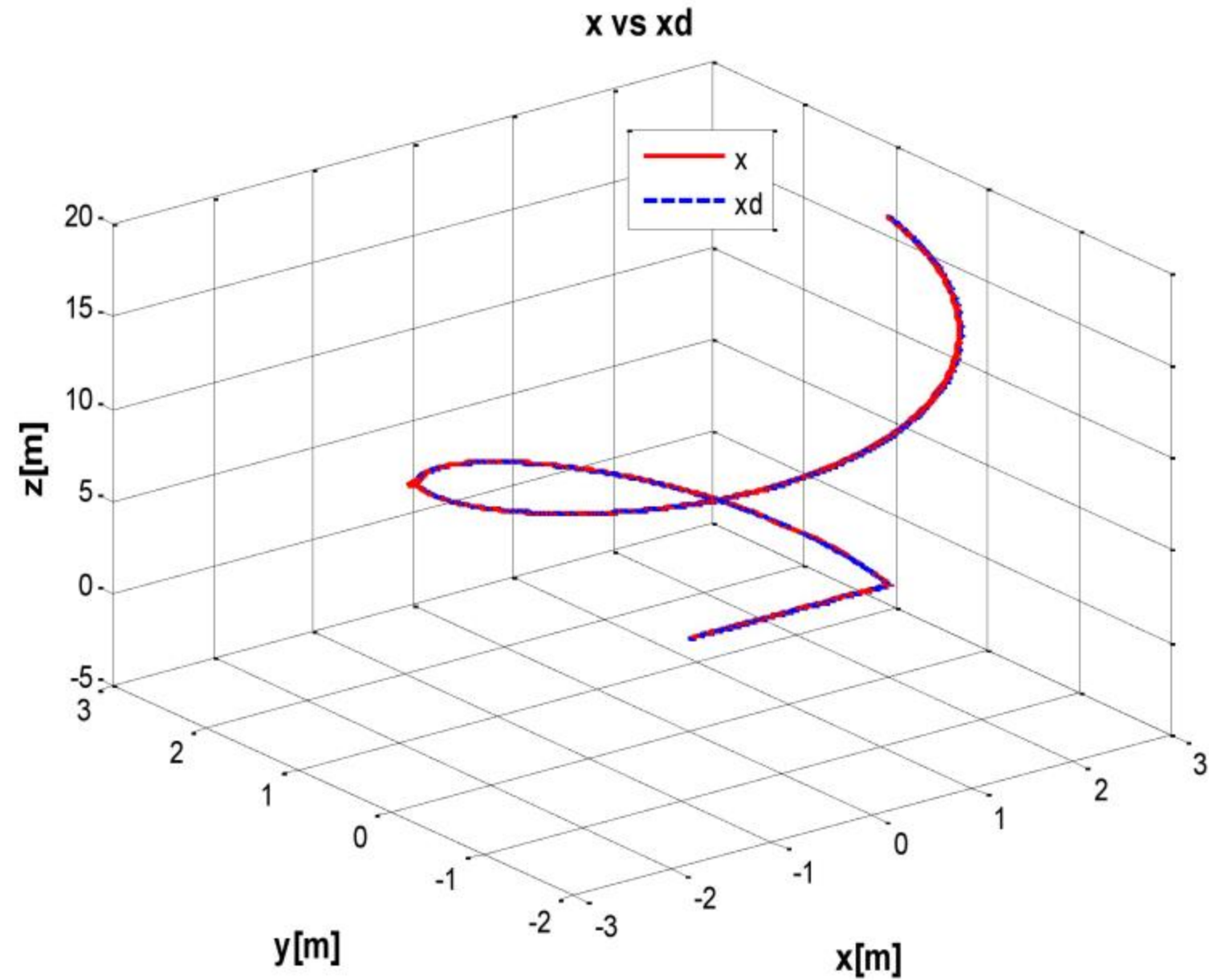
첫번째 섭동(perturbation) 20초

$V_c = 1.1 \text{ m/s}$, $a = 0$, $b = 0$.

두번째 섭동(perturbation) 20 - 45초

$V_c = 1.1 \text{ m/s}$, $a = 0$, $b = \pi/2$

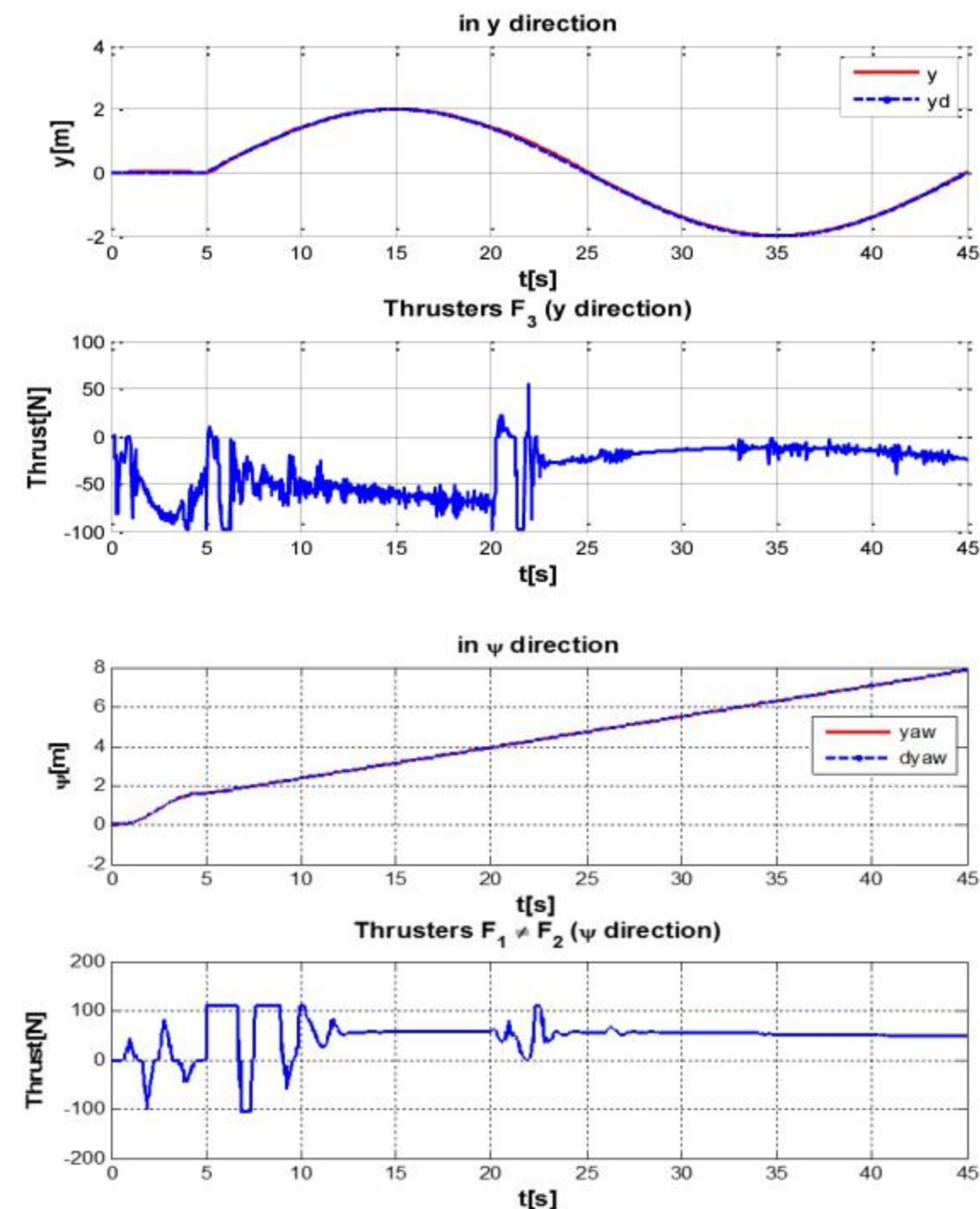
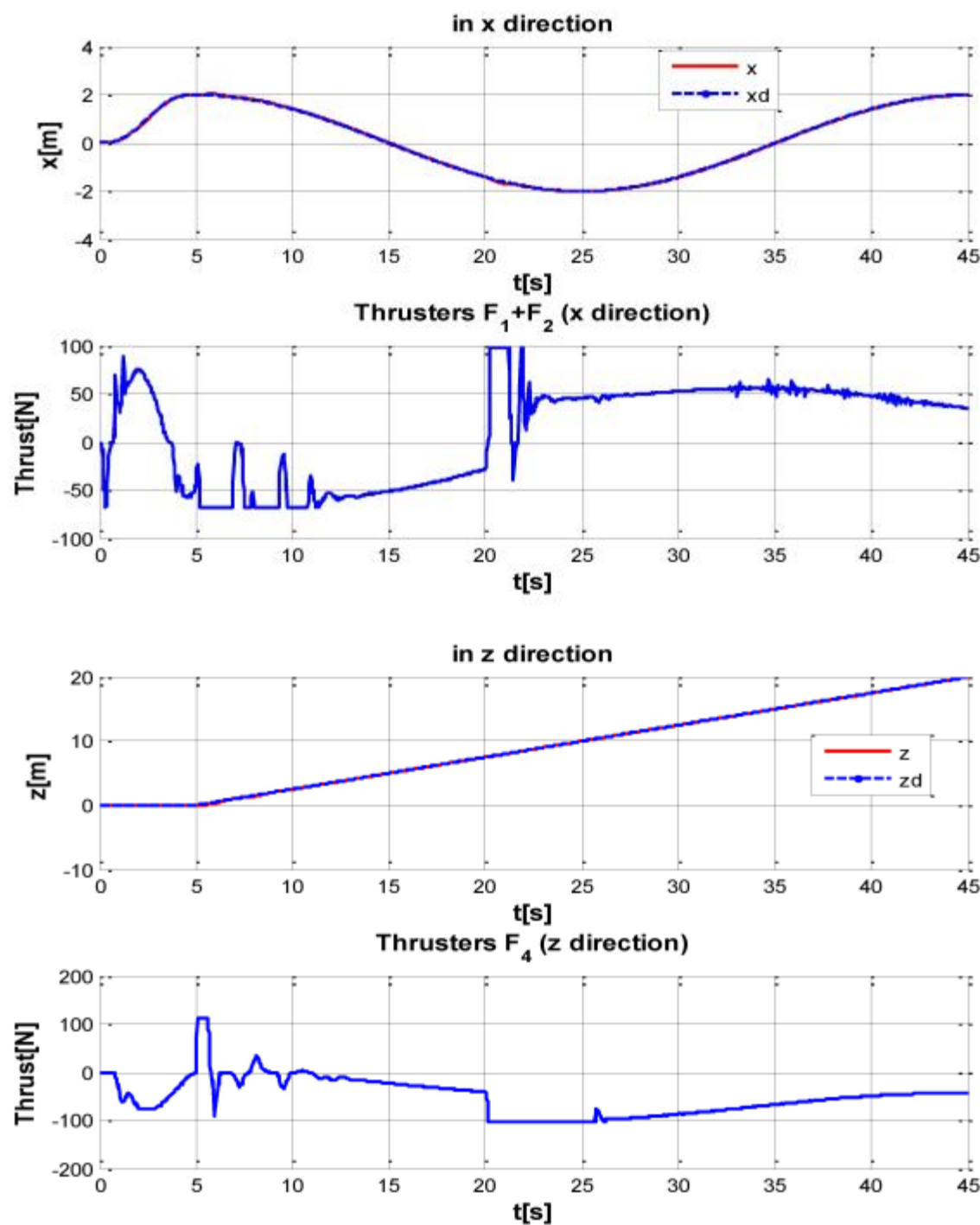
두번째 섭동일때 변화 감지하여 pid gain 적절하게 증감



02

THRUSTER

Thruster (엔진)의 궤적
x, y, z, Ψ (psi)

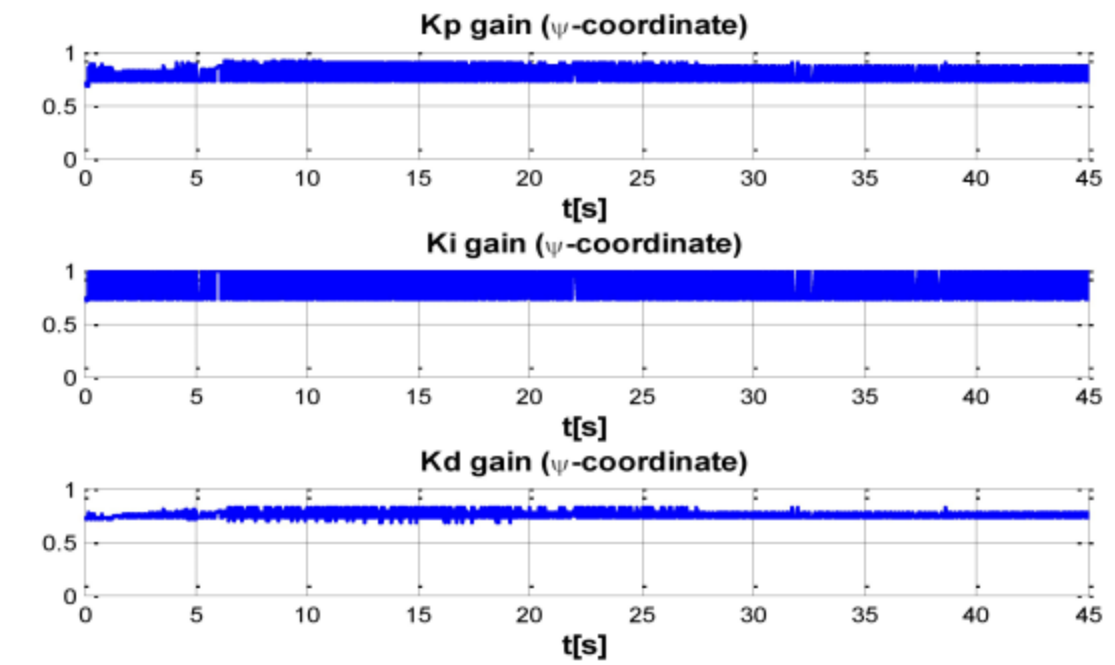
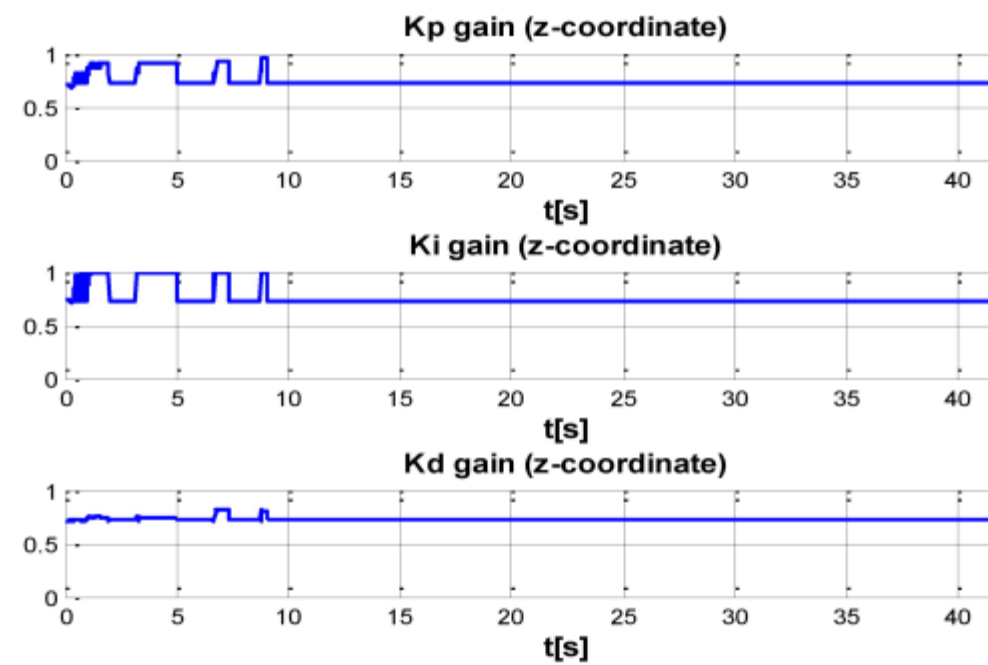
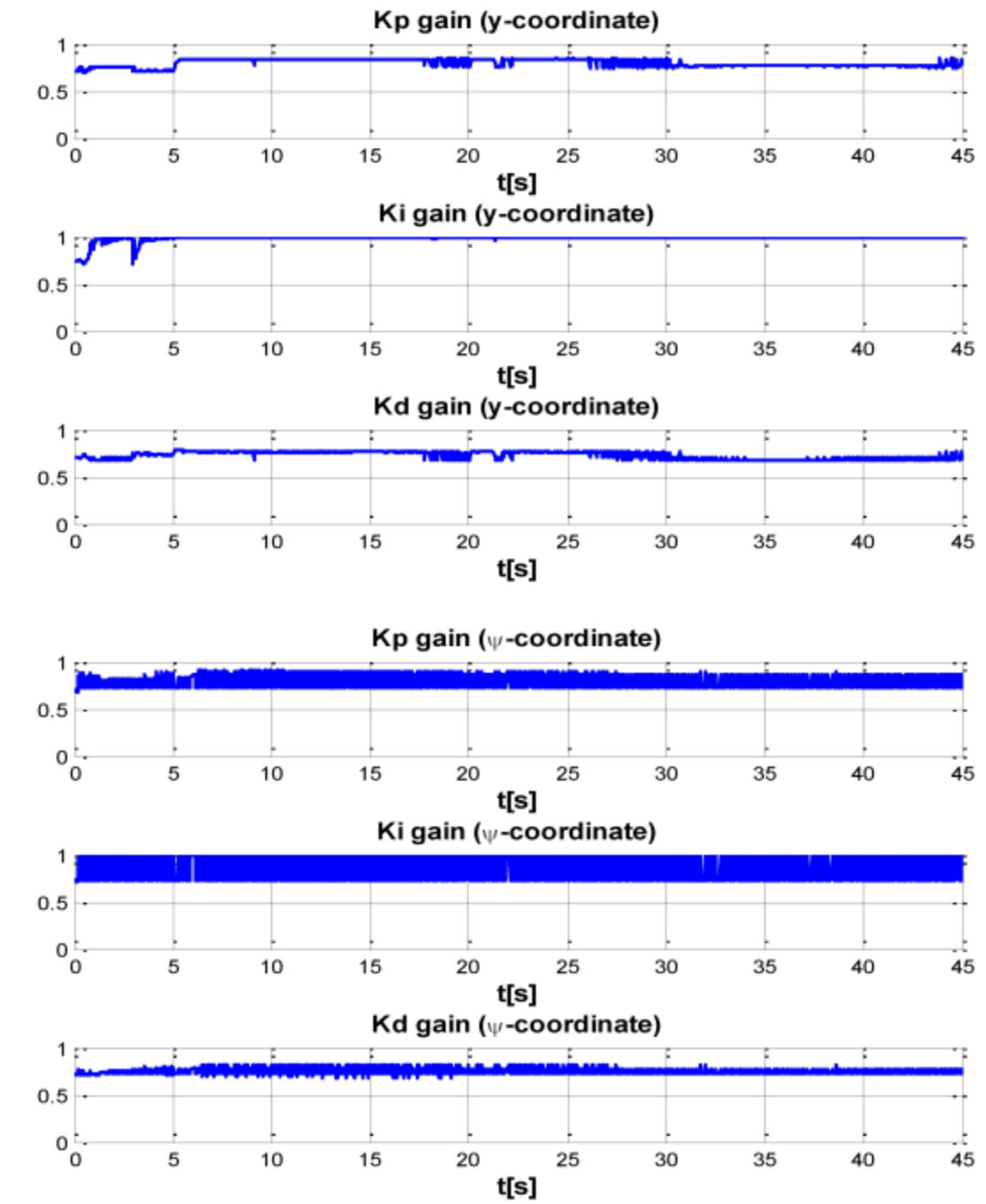
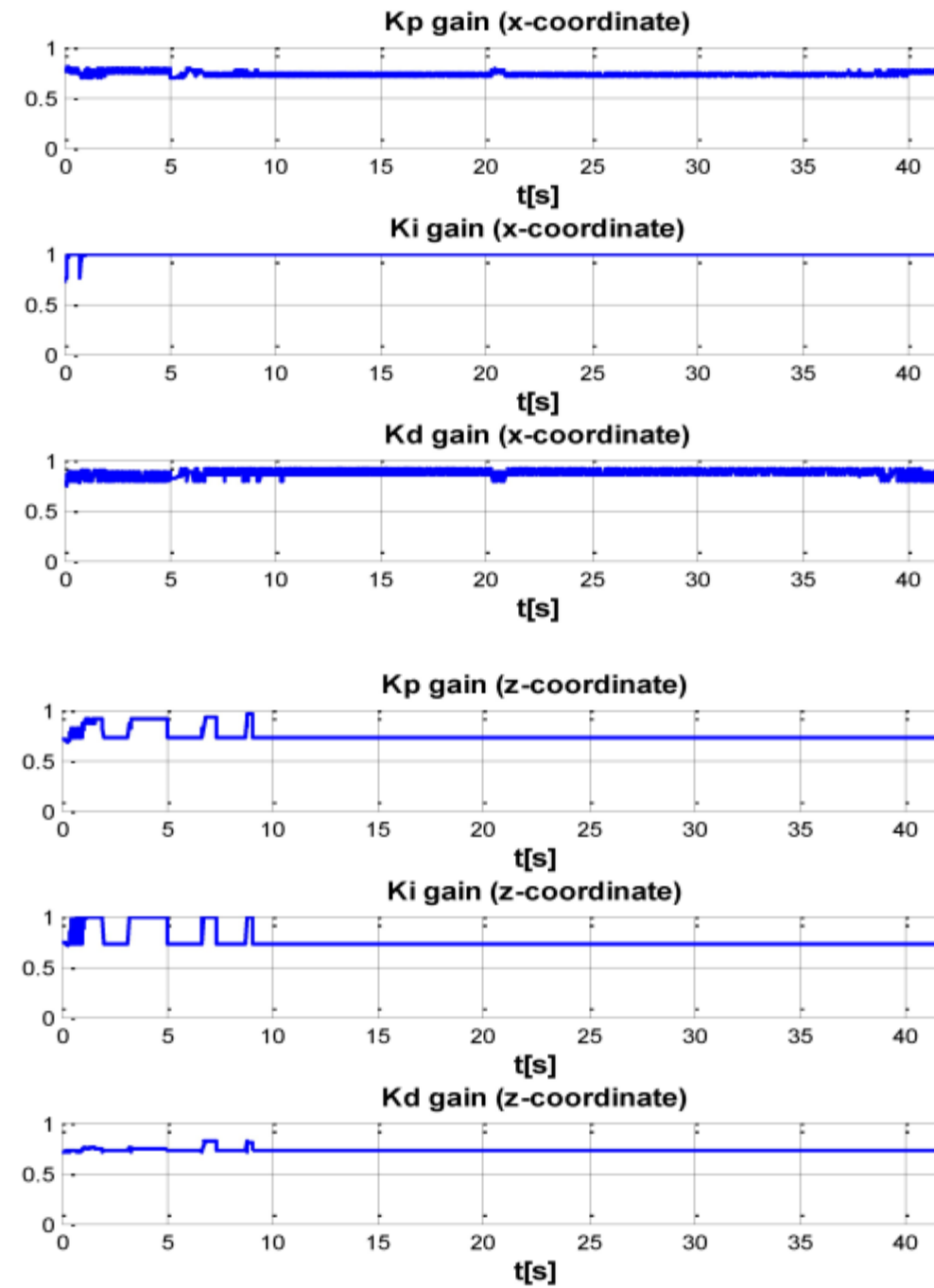


03

PID GAIN

PID gain time behavior

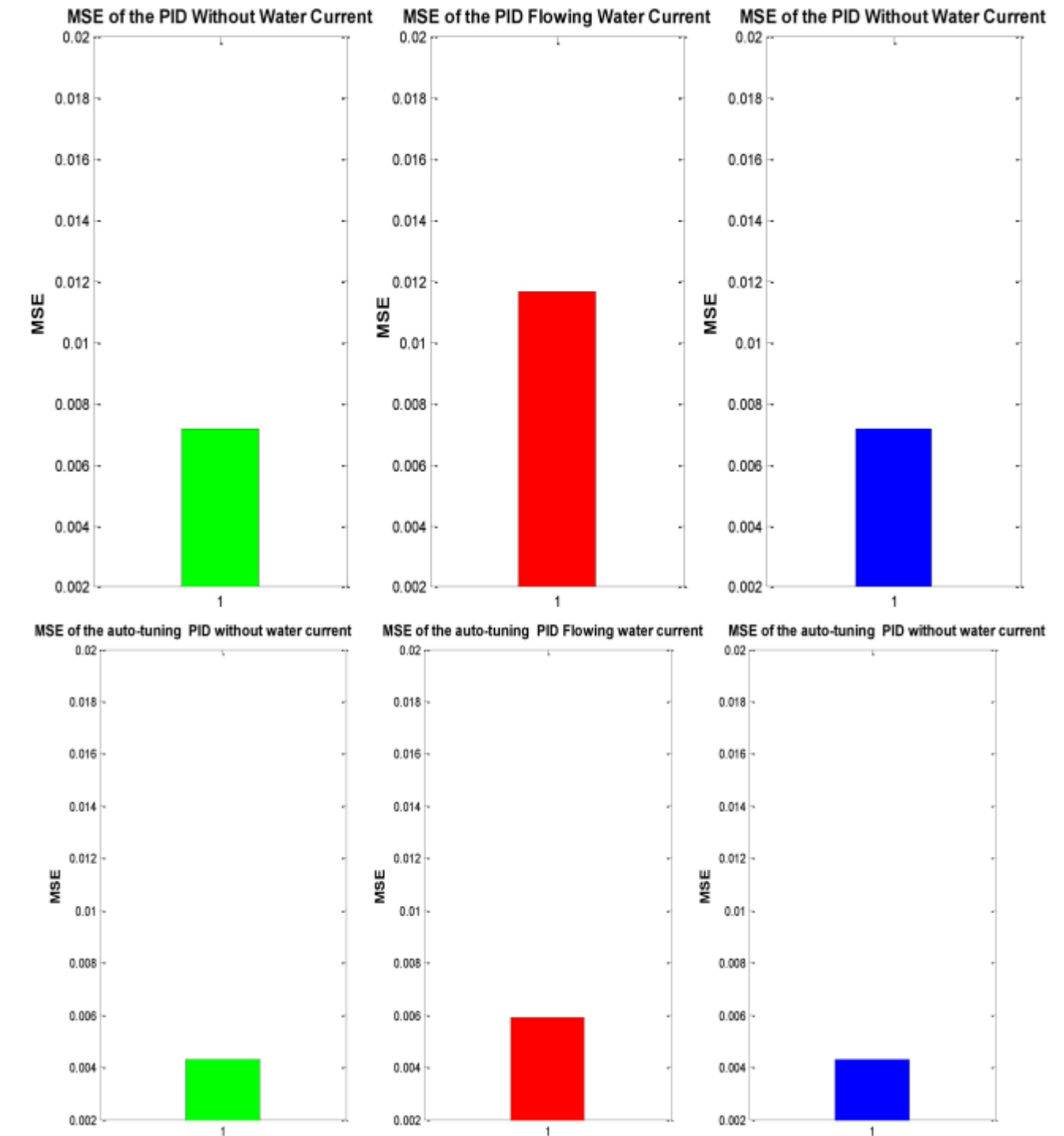
x, y, z, Ψ (psi)



04

PID VS. AUTO-TUNED PID

MSE(mean square error)를 이용하여 비교
auto-tuned PID는 매개변수 변화와 주변 환경 섭동이 있을 때, 성능
이 더 좋다.



05. EXPERIMENTAL SETUP

01

SETUP

Nu'ukul Ja

50 cm long, 30 cm wide, 30 cm height

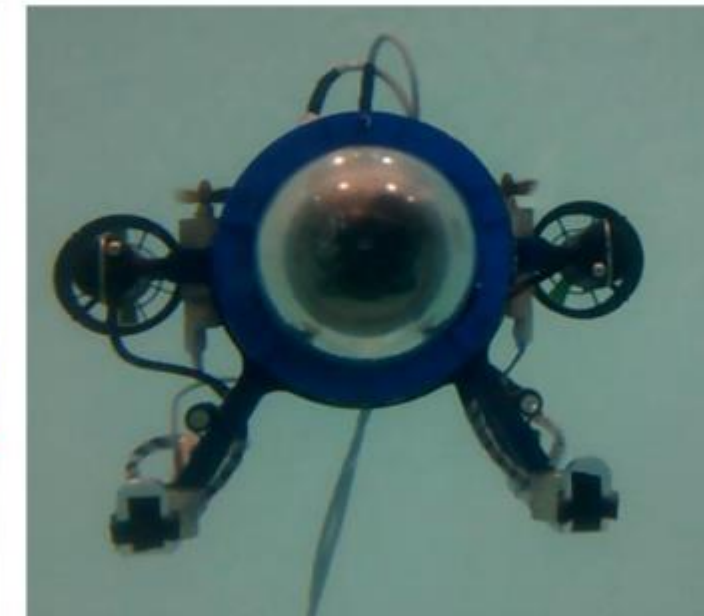
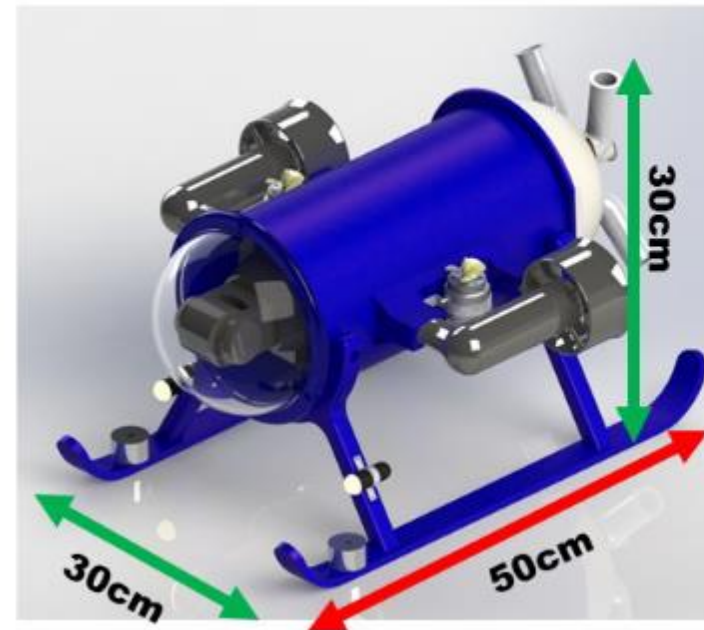
직경 15cm 압력 챔버에 전자 아키텍처

총 중량: 10kg

실험 2가지 진행, 동일한 조건에서 테스트

position tracking, energy consumption

2가지 측면에서 비교 분석



02

ELECTRONIC ARCHITECTURE

Instrumentation:

pressure sensor, leakage sensors, AHRS (Attitude and Heading Reference System), voltage and current sensors

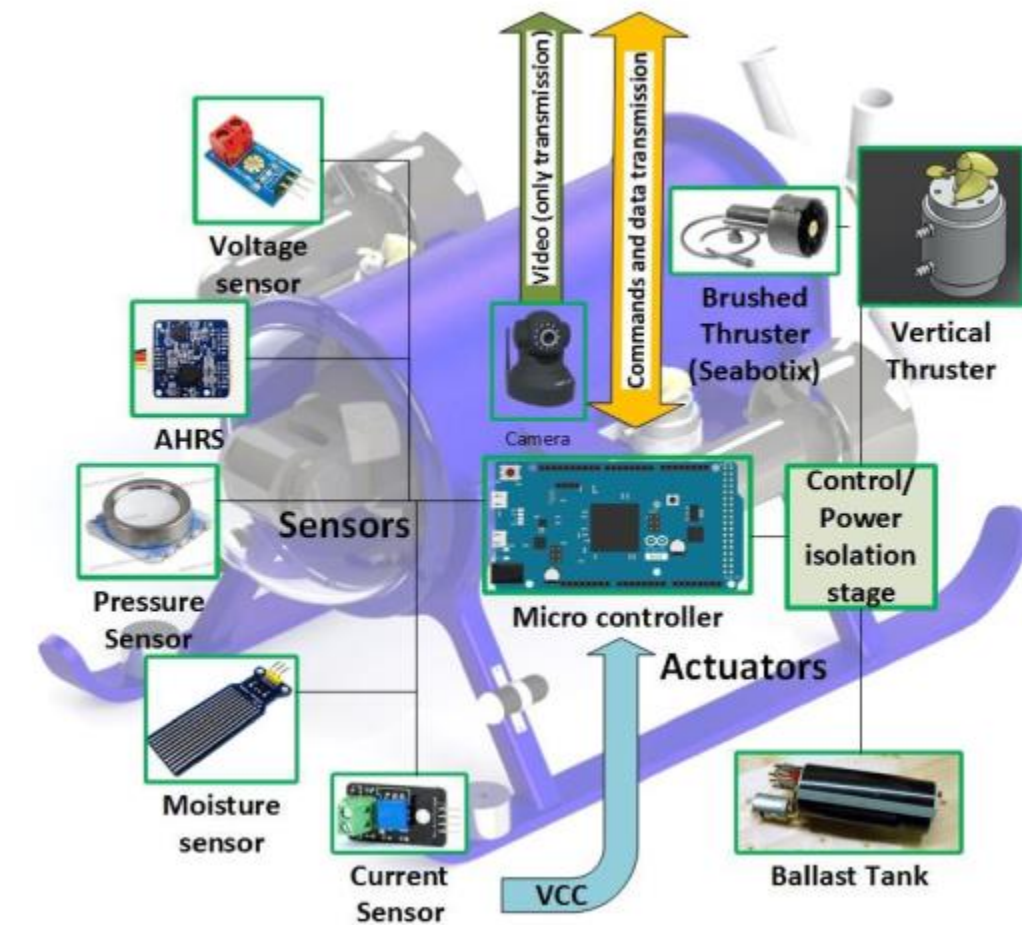
acquisition:

micro controller embedded in a development board

actuators:

4 thrusters used to provide direction and displacement to the vehicle

IP camera



03

INSTRUMENTATION

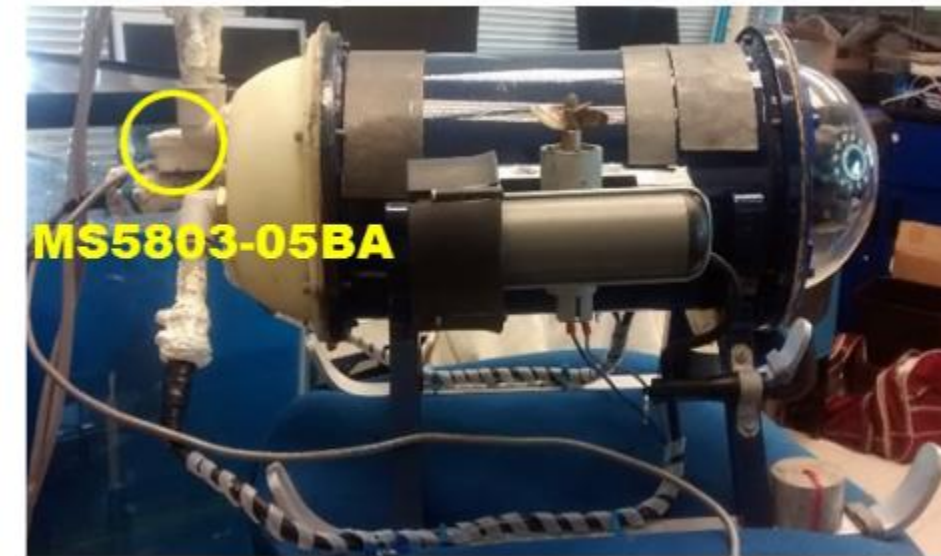
$$h = \frac{P - P_0}{\rho g}$$

rg , where h = depth (m)

P = hydrostatic pressure (bar)

P0= atmospheric pressure (bar)

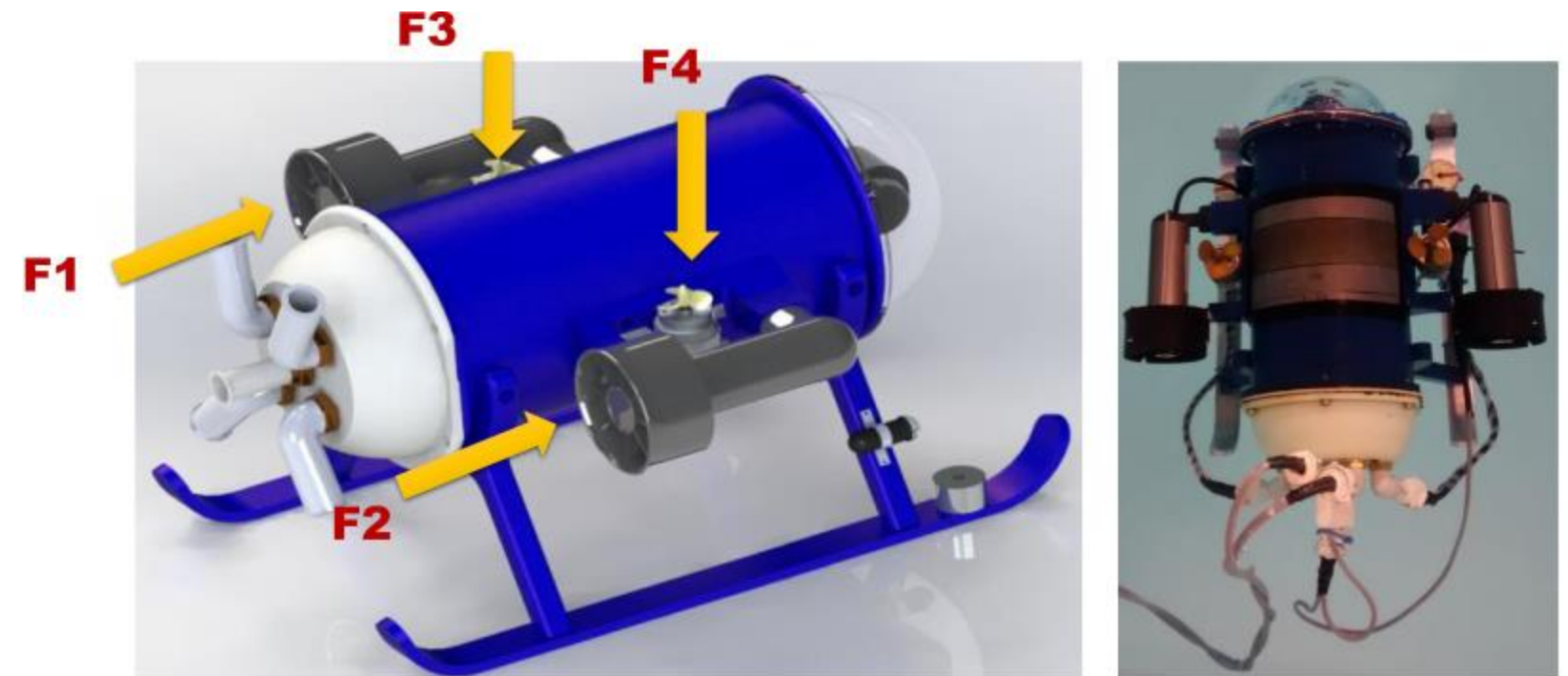
r = water density (kg/m³).



04

ACTUATORS

SeaBotix BTD150
20 VDC@ 4 A



05

RESULTS

The controls were evaluated by performing a data capture of 3 m, once the ROV was placed 1m underwater. In the first minute non disturbance took place. After this time, the weight was increased by 400 g (Figure 19) until a two minute mark.



06

THRUSTER

Thruster (엔진)의 궤적
 $x, y, z, \psi(\text{psi})$

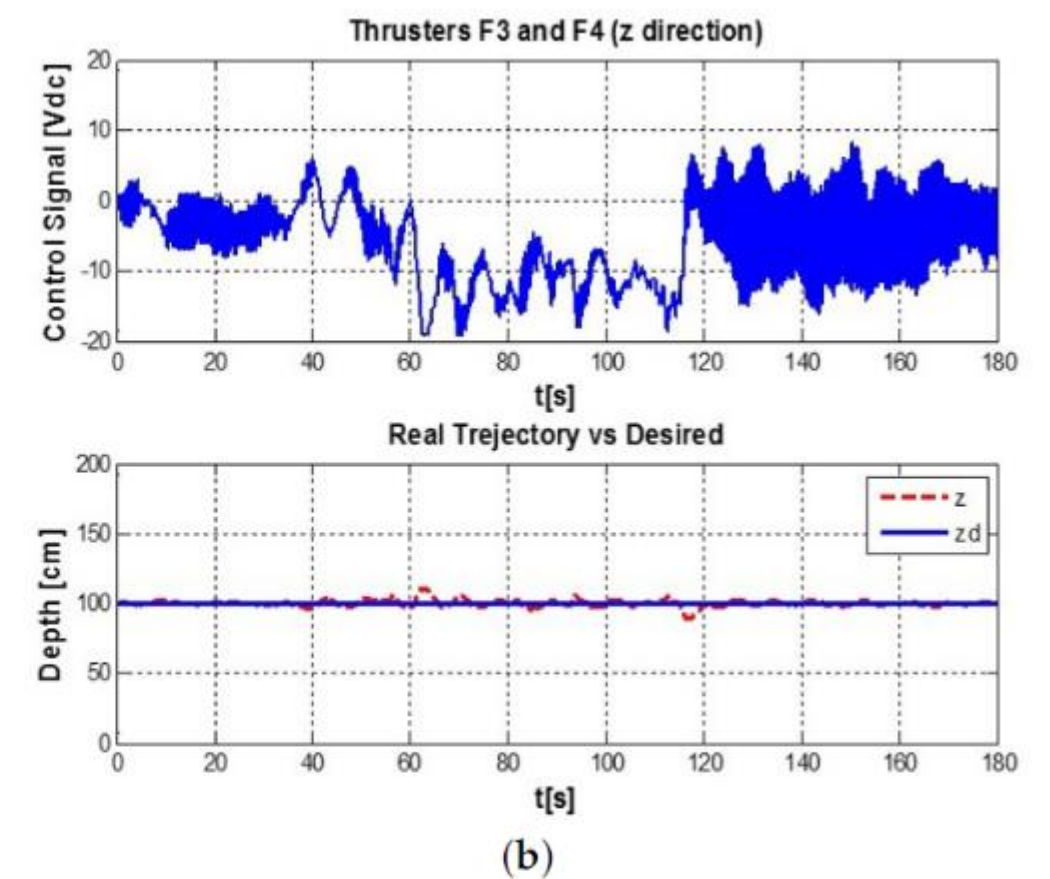
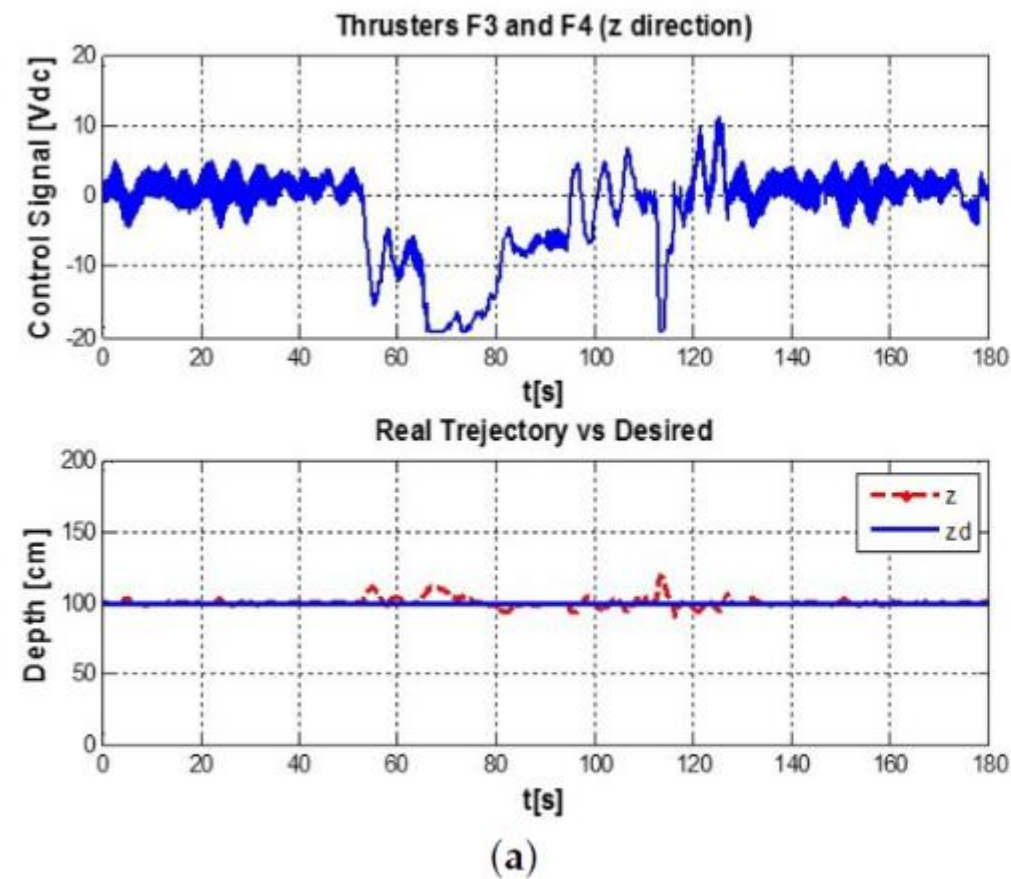


Figure 20. (a) Conventional PID Controller, (b) auto-tuned PID.

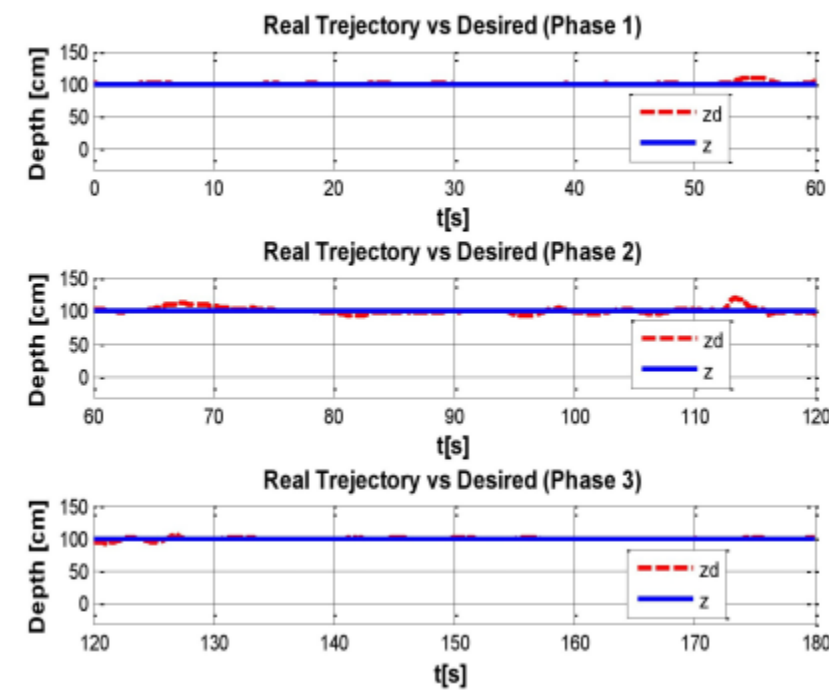
07

PID VS. AUTO-TUNED PID

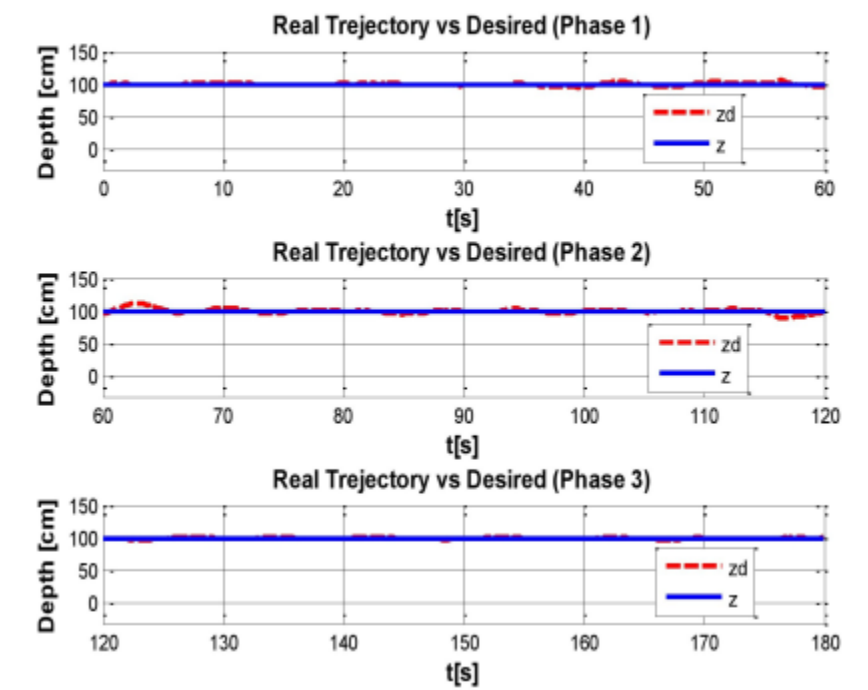
MSE(mean square error)를 이용하여 비교

auto-tuned PID는 매개변수 변화와 주변 환경 섭동이 있을 때, 성능이 더 좋다.

Conventional PID Control



Auto-tuned PID Control

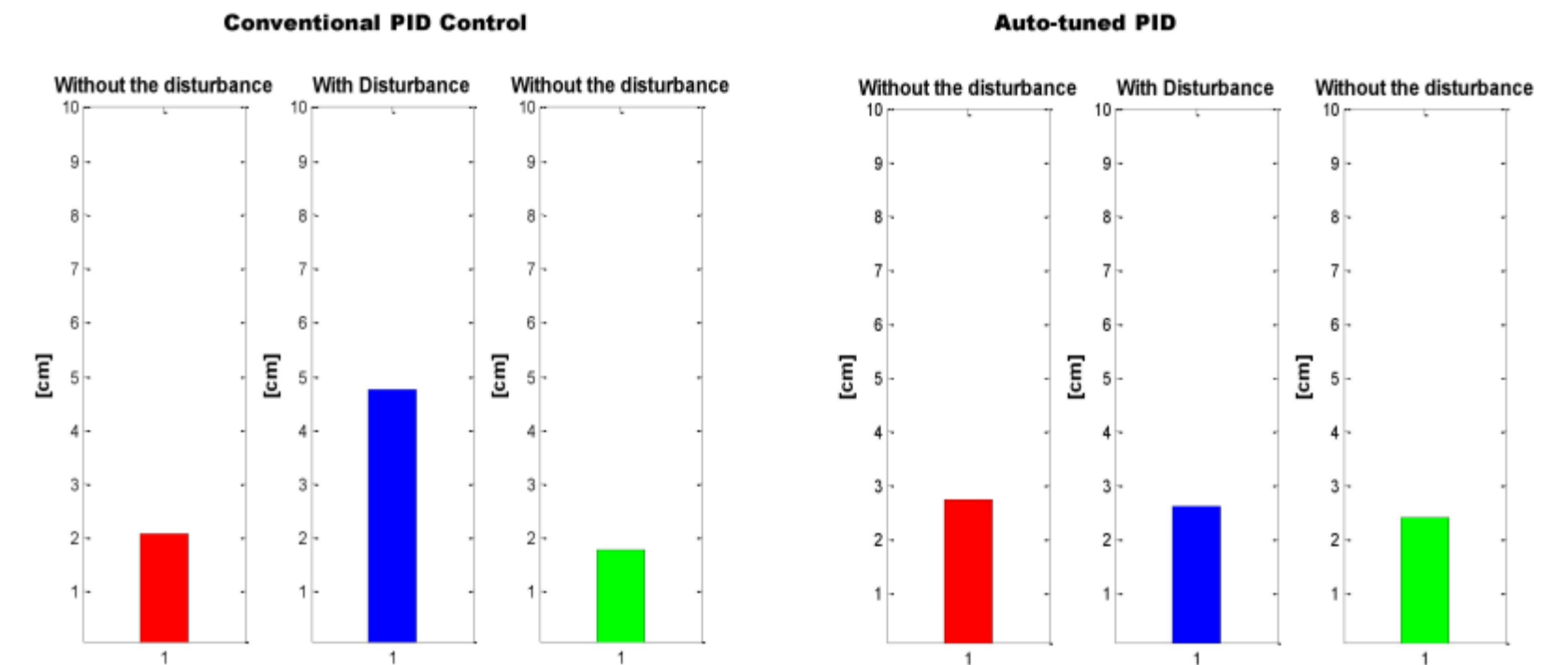
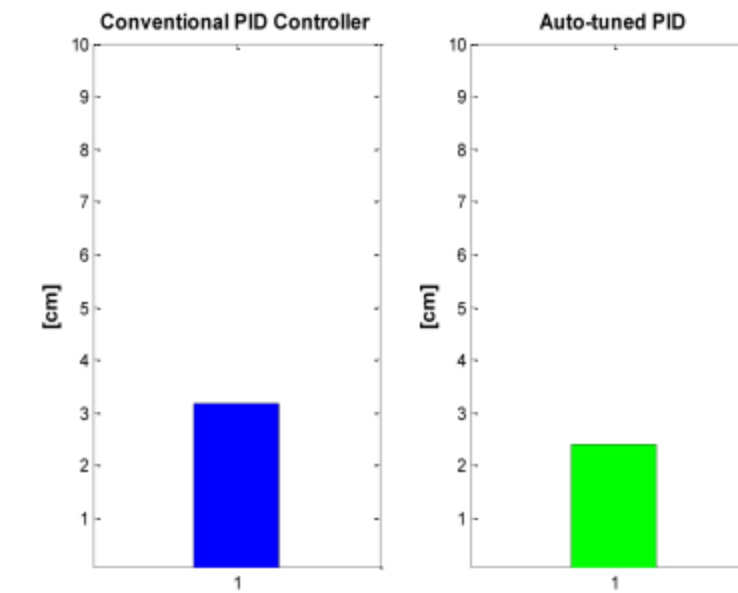


07

PID VS. AUTO-TUNED PID

MSE(mean square error)를 이용하여 비교

auto-tuned PID는 매개변수 변화와 주변 환경 섭동이 있을 때, 성능이 더 좋다.



06.

CONCLUSIONS

CON- CLUSIONS

시뮬레이션과 제품을 이용한 실험 결과로 미루어 보았을 때. Auto tuned PID Control based on NN이 Conventional PID Control보다 더 좋은 성능을 보인다.

position tracking error, energy consumption 관점에서 보았을 때.

07.

DISCUSSION

01

FITTING TO AGV

이 논문은 ROV의 궤적을 추적하게 모델이 설계되었다.
AGV에 맞게 파라미터를 일부 조정하면
괜찮은 모델을 만들 수 있을 것이다.

02

SETUP

AGV 모델을 실험할 수 있는 가상 시뮬레이션을 구축하거나
시제품을 이용할 수 있는 환경을 구축하여야 한다.

THANK YOU

수중차량의 신경망 기반 자체 조정 PID CONTROL

증강지능연구실

황승현

AILAB.GNU.AC.KR