

การออกแบบ พัฒนา และควบคุมแบบอัจฉริยะสำหรับหุ่นยนต์ได้นำอัตโนมัติ

ธิปดี ภาสว่าง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สิงหาคม 2557

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



การออกแบบ พัฒนา และควบคุมแบบอัจฉริยะสำหรับหุ่นยนต์ได้นำอัตโนมัติ

ธิปดี ภาสว้าง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สิงหาคม 2557

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม





คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายอภิดี ภาสว่าง  
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษิตตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  
(รศ.ดร.สัมพันธ์ ฤทธิเดช) ประธานกรรมการ  
(กรรมการบัณฑิตศึกษาประจำคณะ)

.....  
(ผศ.ดร.ธีรยุทธ ขาดิชนะยินยง) กรรมการ  
(ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)

.....  
(รศ.ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป) กรรมการ  
(กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)

.....  
(ผศ.ดร.วรวัดน์ เสี่ยมวิบูล) กรรมการ  
(กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)

.....  
(ผศ.ดร.อนันต์ สืบสำราญ) กรรมการ  
(ผู้ทรงคุณวุฒิ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษิตตามหลักสูตร  
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....  
(รศ.ดร.สัมพันธ์ ฤทธิเดช)  
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....  
(ศ.ดร.ประดิษฐ์ เทอดทูล)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับทุนจาก มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอขามเริญ จังหวัดมหาสารคาม และสำนักงานนโยบายและแผนพัฒนาพลังงาน กระทรวงพลังงาน ประเทศไทย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรยุทธ ชาติชนะยืนยง ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสี่ยงมวิบูล กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สัมพันธ์ ฤทธิเดช ประธานกรรมการสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ สืบสำราญ รองศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป กรรมการสอบ

ขอขอบพระคุณ น.ต.ดร.กฤติวัฒน์ สุทธิวารี สำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหาร กองทัพเรือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ สืบสำราญ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เซอร์ เรเน่ พิทยธรรมาทร บริษัท ออล อินฟอร์เมชั่น เทคโนโลยีส์ ดร.กรธรรม สติรกุล วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไตรสิทธิ์ เบญจบุญยสิทธิ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น (สสท.) น.อ.ศ.ดร.สรกฤษ ศรีเกษม มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กฤษณ์ ศรีวรมาศ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้เกียรติเป็นผู้เชี่ยวชาญที่ช่วยตรวจเครื่องมือการวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้การช่วยเหลือสนับสนุนการวิจัย

ธิปดี ภาสว่าง



ชื่อเรื่อง การออกแบบ พัฒนา และควบคุมแบบอัจฉริยะสำหรับหุ่นยนต์ได้นำ้อัตโนมัติ  
ผู้วิจัย นายธิปดี ภาสว่าง  
ปริญญา ปรัชญาคุณวุฒิบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
กรรมการควบคุม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีรยุทธชาติชนะยืนยง  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล  
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2557

### บทคัดย่อ

ปฏิญานี้พจน์นี้นำเสนอเทคนิค QFD ในการออกแบบหุ่นยนต์ได้นำ้อัตโนมัติ โดยมุ่งเน้นที่ภารกิจของทหารเรือไทย ซึ่งประกอบด้วยงานประจำหลัก 3 ประเภท ได้แก่ (1) การสำรวจได้นำ้ตามแผนประจำปี เพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและทรัพยากรได้นำ้ (2) การฝึกอบรมการดำนำ้ของทหาร (3) การตรวจสอบโครงสร้างได้นำ้ของเรือเพื่อหารอยน้ำรั่ว ผลของการศึกษาการออกแบบด้วยวิธี QFD ได้แสดงถึงความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิค QFD ในการออกแบบหุ่นยนต์ได้นำ้อัตโนมัติอย่างเป็นระบบ เพื่อให้ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน การจับคู่ระหว่างพารามิเตอร์ที่ออกแบบและพารามิเตอร์ที่คาดหวังรวมทั้งการออกแบบกรอบแนวคิดร่างของหุ่นยนต์ได้นำ้อัตโนมัติได้ถูกนำเสนอเช่นกัน

อัลกอริธึมการควบคุมแบบอัจฉริยะ การปรับค่าอัตราขยายของพีไอดีแบบออนไลน์ โดยใช้วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดแบบฝูงอนุภาค (PSO-PID-Online) ได้ถูกนำเสนอและใช้ในหุ่นยนต์จริง ซึ่งถูกสร้างขึ้นตามการออกแบบกรอบแนวคิดวิธี QFD ผลตอบสนองของการควบคุมของอัลกอริธึมการควบคุมที่นำเสนอได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับอัลกอริธึมการควบคุมแบบดั้งเดิมคือแบบพีไอดีที่มีการปรับค่าอัตราขยายด้วยวิธีของซิกเลอร์นิโคลส์ (ZN-PID) ผลการเปรียบเทียบได้แสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองของอัลกอริธึมการควบคุมแบบ PSO-PID\_Online ที่ดีกว่าแบบ ZN-PID ในแง่ของเวลาขึ้น ค่าพุ่งเกิน เวลาสู่สมดุล และค่าความผิดพลาดสถานะคงตัว

คำสำคัญ : หุ่นยนต์ได้นำ้อัตโนมัติ; QFD; การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (PSO); พีไอดี; การปรับค่าแบบออนไลน์



**TITLE** Design, Development and Intelligent Control of an Autonomous Underwater Robot

**AUTHOR** Mr. Tipd Pasawang

**DEGREE** Doctor of Philosophy Program **MAJOR** Mechanical Engineering

**ADVISORS** Asst. Prof. Dr.Theerayuth Chatchanayuenyong,  
Asst. Prof. Dr.Worawat Sa-ngiamvibool,

**UNIVERSITY** Mahasarakham University **DATE** 2014

### ABSTRACT

This thesis presents the QFD (Quality Function Deployment) technique to design an autonomous underwater robot focusing on the Thai Navy military mission, which consists of three main routine tasks; (1) the underwater survey under the annual plan in order to conserve the environment and underwater resources (2) the military diving training and (3) the inspection of underwater ship structure to find any water leakage. The QFD study results show the feasibility of using QFD technique to systematically design the autonomous underwater robot to meet the user requirements. Mapping between the design and expected parameters and a conceptual drafting design of an autonomous underwater robot are also presented.

An particle swarm optimization (PSO) PID gains online-tuning (PSO-PID-Online) intelligent control algorithm was proposed and implemented on the real robot, which was constructed in accordance as the conceptual design of QFD method. The control response of the proposed control algorithm was compared with the convention one, Ziegler-Nichols gains tuning PID (ZN-PID). The results show the better responses of the PSO-PID-Online control algorithm than the ZN-PID in terms of the rising time, the overshoot, the settling time and the steady-state error.

**Key Words** : Autonomous Underwater Robot; QFD (Quality Function Deployment); Particle Swarm Optimization (PSO); PID; Online-Tuning



## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพประกอบ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ความสำคัญของการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
บทที่ 2 ปรัชญาเอกสารข้อมูล	4
2.1 การพัฒนาหุ่นยนต์ใต้น้ำ	4
2.2 การออกแบบด้วยวิธี QFD (Quality Function Deployment)	15
2.3 ตัวควบคุมอัตโนมัติ (Autonomous Controller)	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	18
3.1 การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์น้ำอัตโนมัติ	18
3.2 การนำผลการออกแบบตามกรอบแนวคิด QFD มาสร้างเป็นหุ่นยนต์ใต้น้ำ	31
3.3 การออกแบบการควบคุมอัตโนมัติ	36
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปราย	47
4.1 ผลการทดลอง	47
4.2 การอภิปรายผล	58
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	61
5.1 สรุปผล	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	62
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	69
ประวัติย่อผู้วิจัย	74



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 เป็นรายชื่อหุ่นยนต์ที่ถูกพัฒนาขึ้นในทศวรรษที่ 1990	4
ตาราง 2.2 แสดงภารกิจต่างๆ ในการประยุกต์ใช้ของหุ่นยนต์ใต้น้ำ	6
ตาราง 2.3 พารามิเตอร์ในการออกแบบสร้างหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ	10
ตาราง 2.4 รายละเอียดองค์ประกอบการออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ	12
ตาราง 2.5 พารามิเตอร์ในการออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำ	13
ตาราง 2.6 ข้อดีข้อเสียในการออกแบบรูปทรงของหุ่นยนต์ใต้น้ำ	14
ตาราง 2.7 การเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุโครงสร้าง	14
ตาราง 2.8 วัฒนาการของปัญญาประดิษฐ์	16
ตาราง 2.9 สรุปบทความที่ประยุกต์ใช้ PSO ในปัญหาทางวิศวกรรม	17
ตาราง 3.1 ระดับความสำคัญของความต้องการของผู้ใช้งาน	19
ตาราง 3.2 ความต้องการของผู้ใช้งานหลัก 6 ด้านพร้อมรายละเอียดข้อย่อย	20
ตาราง 3.3 รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการออกแบบ	21
ตาราง 3.4 พารามิเตอร์ในการออกแบบพร้อมคำอธิบาย	22
ตาราง 3.5 ตารางวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ กับความต้องการของผู้ใช้งาน	25
ตาราง 3.6 รายละเอียดพารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ	28
ตาราง 3.7 การคำนวณค่าอัตราขยายพีไอดี ด้วยวิธีการซิกเลอร์นิโคลส์ (Ziegler Nichols Method)	40
ตาราง 4.1 การคำนวณค่าอัตราขยายด้วยวิธีซิกเลอร์นิโคลส์ (Ziegler Nichols)	48
ตาราง 4.2 ค่าอัตราขยายตัวควบคุมพีไอดีแบบซิกเลอร์นิโคลส์ (Ziegler Nichols)	49
ตาราง 4.3 ค่าพารามิเตอร์ของ PSO ในการปรับค่าที่ดีที่สุดของอัตราขยายพีไอดี (PSO online-tuning)	50
ตาราง 4.4 ผลตอบสนองของการควบคุมด้วยตัว PSO online – tuning PID	58
ตาราง 4.5 เปรียบเทียบผลตอบสนองที่ได้จาก ZN-PID และ PSO online-tuning PID ที่ setpoint เท่ากับ 130 องศา	70





## สารบัญภาพประกอบ

		หน้า
ภาพประกอบ 2.1	REMUS ใช้ในการสำรวจทำแผนที่ในทะเล พัฒนาโดย Kongsberg, Norway	7
ภาพประกอบ 2.2	AUV-207 ใช้เป็นฐานทดลอง พัฒนาโดย AUVERSI and ONR's Xth International San Diego, California	7
ภาพประกอบ 2.3	Tri MARES ให้เป็นฐานทดลอง พัฒนาโดย INESC TEC Portugal	7
ภาพประกอบ 2.4	The Hull BUG ให้เป็นฐานทดลอง การกิจทหารเรือ พัฒนาโดย Navy Office of Naval Research (ONR). At the Florida	8
ภาพประกอบ 2.5	SAAB Seaeye ROVs ใช้สำหรับการซ่อมอุปกรณ์ใต้น้ำ พัฒนาโดย Middle East to New Zealand	8
ภาพประกอบ 2.6	MBARI Washington, Nov 3 ใช้ในการตรวจสอบท่อใต้น้ำ พัฒนาโดย MBARI engineers in Washington	8
ภาพประกอบ 2.7	GarbiAUV ใช้เป็นฐานทดลอง พัฒนาโดย University of Girona	9
ภาพประกอบ 2.8	Kambara ใช้เป็นฐานทดลอง พัฒนาโดย Australia ANU and Sydney University	9
ภาพประกอบ 2.9	หุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ "ชาละวัน" ใช้เป็นฐานทดลอง พัฒนาโดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ประเทศไทย	9
ภาพประกอบ 3.1	ระดับความสำคัญของความต้องการในการใช้งาน	26
ภาพประกอบ 3.2	การจัดระดับความสำคัญของพารามิเตอร์	27
ภาพประกอบ 3.3	ภาพกรอบแนวคิดที่เกิดจากกระบวนการของ QFD ในการออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ	30
ภาพประกอบ 3.4	มอเตอร์ Thrusters ที่ใช้ในหุ่นยนต์ใต้น้ำ (Minnkota รุ่น classic28, 12 V <sub>dc</sub> )	31
ภาพประกอบ 3.5	บอร์ด Gyro รุ่น aMG IMU-9A	32
ภาพประกอบ 3.6	เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ (Compass module รุ่น HMC6352)	32
ภาพประกอบ 3.7	เซนเซอร์วัดความดันชนิดเก้จันรุ่น E8EB-01C ชนิด position ในย่าน 0 to 100 K <sub>pa</sub>	33
ภาพประกอบ 3.8	บอร์ดการสื่อสารไร้สาย RS232 to RF-wireless (RF2.4GHz)	33
ภาพประกอบ 3.9	ภาพรวมการจัดการการส่งจ่ายกำลัง (Power Supply)	34
ภาพประกอบ 3.10	ภาพรวมระบบควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ	34
ภาพประกอบ 3.11	ทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติที่ออกแบบด้วย QFD	35
ภาพประกอบ 3.12	แสดงโครงสร้างการออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ	35
ภาพประกอบ 3.13	ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น STM32F4 Discovery	36
ภาพประกอบ 3.14	ภาพรวมโปรแกรมที่อยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ทาร์เกต (Target)	37
ภาพประกอบ 3.15	ภาพรวมโปรแกรมที่ประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ซอร์ฟแวร์โฮสต์ (Software Host)	38



หน้า

ภาพประกอบ 3.16	บล็อกไดอะแกรมรวม (PID Controller)	39
ภาพประกอบ 3.17	โปรแกรมใน Blockset module discrete PID	39
ภาพประกอบ 3.18	บล็อกไดอะแกรมการหาพารามิเตอร์ด้วย (PSO online-tuning PID)	41
ภาพประกอบ 3.19	บล็อกการทำงานของ PSO online-tuning PID	41
ภาพประกอบ 3.20	ขั้นตอนการคำนวณหาค่าคำตอบของ (PSO online-tuning technique)	43
ภาพประกอบ 3.21	แผนภาพการค้นหาข้อมูลของ PSO	45
ภาพประกอบ 3.22	แบบโครงสร้างของฝูงอนุภาค	45
ภาพประกอบ 4.1	บล็อกการควบคุมอัตราขยายพีไอดี	47
ภาพประกอบ 4.2	ผลตอบสนองทิศทางการมุ่งหน้าเมื่อทำการป้อน Gain เท่ากับ 40	48
ภาพประกอบ 4.3	ผลตอบสนองทิศทางการมุ่งหน้าด้วยวิธีซิกเลอร์นิโคลส์ (Ziegler Nichols)	49
ภาพประกอบ 4.4	ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย PSO online-tuning ที่เวลา 0.00 วินาที	50
ภาพประกอบ 4.5	ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย PSO online-tuning ที่เวลา 0.27 วินาที	51
ภาพประกอบ 4.6	ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย PSO online-tuning ที่เวลา 0.54 วินาที	51
ภาพประกอบ 4.7	ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย PSO online-tuning ที่เวลา 1.21 วินาที	51
ภาพประกอบ 4.8	ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย PSO online-tuning ที่เวลา 1.48 วินาที	52
ภาพประกอบ 4.9	ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย PSO online-tuning ที่เวลา 2.15 วินาที	52
ภาพประกอบ 4.10	ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย PSO online-tuning ที่เวลา 2.42 วินาที	52
ภาพประกอบ 4.11	ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย PSO online-tuning ที่เวลา 3.09 วินาที	53
ภาพประกอบ 4.12	ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย PSO online-tuning ที่เวลา 3.36 วินาที	53
ภาพประกอบ 4.13	ผลตอบสนองอัตราขยาย $K_p$ PSO online-tuning เมื่อเริ่มการทำงาน ที่แสดงภาพจัดเรียงตัวของอนุภาค (Particle)	54
ภาพประกอบ 4.14	ผลตอบสนองอัตราขยาย $K_p$ ด้วย PSO online-tuning เมื่อค้นหา ในรอบที่ 2	54
ภาพประกอบ 4.15	ผลตอบสนองอัตราขยาย $K_p$ ด้วย PSO online-tuning เมื่อค้นหา ในรอบที่ 3	55
ภาพประกอบ 4.16	ผลตอบสนองอัตราขยาย $K_p$ ด้วย PSO online-tuning เมื่อค้นหา ในรอบที่ 4	55
ภาพประกอบ 4.17	ผลตอบสนองอัตราขยาย $K_p$ ด้วย PSO online-tuning เมื่อค้นหา ในรอบที่ 5	56
ภาพประกอบ 4.18	ผลตอบสนองอัตราขยาย Gain $K_p$ ด้วย PSO online-tuning เมื่อโปรแกรมพบตำแหน่งที่ดีที่สุด	56
ภาพประกอบ 4.19	ผลตอบสนอง PSO online-tuning technique จะแสดงผลของค่า ความผิดพลาด (Error)= 0	57
ภาพประกอบ 4.20	ผลการตอบสนอง PSO online-tuning ที่ค่า setpoint เท่ากับ 160, 100, 140 และ 80 องศา	58



ภาพประกอบ 4.21	เปรียบเทียบผลการตอบสนองของตัวควบคุม PSO online-tuning PID และ ZN- PID ที่ค่า setpoint เท่ากับ 130 และ 100 องศา	59
ภาพประกอบ 4.22	ภาพขยายเปรียบเทียบผลการตอบสนองของตัวควบคุม PSO online-tuning PID และ ZN- PID ที่ค่า setpoint เท่ากับ 130 องศา	59



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันหุ่นยนต์เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์เพื่อใช้อำนวยความสะดวกในการทำงาน และยังมีสำคัญในภารกิจหรือกิจกรรมของหน่วยงานและองค์กรต่างๆ มากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยเหตุผลที่การทำงานบางอย่างต้องใช้ทักษะความแม่นยำความอดทนและการทำงานเป็นระยะเวลาทำงานนานกว่าที่มนุษย์จะทำได้ในช่วงเวลาหนึ่งได้สำเร็จ หรือการทำงานในสถานการณ์ที่ก่อให้เกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติการนั้น จำเป็นต้องใช้หุ่นยนต์หรือเครื่องจักรกลเข้ามาเป็นตัวช่วย เช่น หุ่นกู้ภัยที่ใช้สำหรับกู้ภัยเหตุการณ์ที่มีความเสี่ยงสูงๆ หุ่นยนต์ที่ทำงานกับสิ่งที่มีความแม่นยำและความละเอียดสูงซึ่งต้องทำงานอย่างต่อเนื่องในระยะเวลาอันยาวนาน หุ่นยนต์ที่ใช้ประกอบชิ้นส่วนของรถยนต์ในโรงงานผลิตรถยนต์ เป็นหุ่นยนต์ในวงการอุตสาหกรรม ที่พบเห็นทั่วไปใกล้ตัวของเรา นอกจากนี้ในปัจจุบันหุ่นยนต์ยังมีบทบาทสำคัญในการปฏิบัติหน้าที่ในงานด้านความมั่นคงทางการทหารโดยเฉพาะทางกองทัพเรือได้ใช้หุ่นยนต์ เพื่อการปฏิบัติการกิจใต้น้ำ ในภารกิจต่างๆ เช่นภารกิจในการตรวจสอบทุ่นระเบิดใต้น้ำ การล่องกระสุนปืนนำวิถีที่ยิงมาจากฝ่ายตรงกันข้ามเพื่อไม่ให้ถูกเรือรบของฝ่ายเรา การตรวจสอบรอยรั่วใต้ท้องเรือรบที่มีขนาดใหญ่ การใช้หุ่นยนต์สำรวจท้องทะเลน้ำตื้นเพื่อดูแนวปะการังและสังเกตพฤติกรรมของสัตว์น้ำ และการบันทึกการฝึกดำน้ำของกำลังพลทหารเรือที่จะต้องฝึกฝนอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ เป็นต้น การสร้างหุ่นยนต์ใต้น้ำจึงเป็น เครื่องมือที่มีความสำคัญที่จะสามารถทำภารกิจต่างๆ เหล่านี้ได้ แต่อย่างไรก็ตามมีประเด็นที่สลับซับซ้อนมากมายที่ต้องศึกษาค้นคว้าในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ใต้น้ำ เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ไม่คงที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทุกสภาวะในการทำงานของหุ่นยนต์ใต้น้ำ ซึ่งมีสิ่งที่เป็นอันตรายในท้องทะเลมากมาย เช่น ปะการังใต้ท้องทะเล สัตว์น้ำ โขดหินใต้น้ำ แรงลอยตัวซึ่งเกิดจากความดันของน้ำที่มีต่อตัวหุ่นยนต์ ซึ่งทำให้ยากในการดำลึกลงไปใต้น้ำ หุ่นยนต์ใต้น้ำที่มีใช้งานได้จริงอยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นชนิดที่ควบคุมจากระยะไกลด้วยสายเคเบิล ไม่สามารถใช้ระบบสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุในการควบคุมการทำงานเหมือนกับหุ่นยนต์ที่อยู่บนพื้นดินได้ เนื่องจากคลื่นไม่สามารถทะลุผ่านคลื่นของน้ำได้ จำเป็นต้องใช้สายเคเบิลในการควบคุมการเคลื่อนที่ตามภารกิจ ในบางครั้งก็เรียกหุ่นยนต์ประเภทนี้ว่ายานพาหนะควบคุมระยะไกลใต้น้ำ (Remotely Operated Vehicle) หรือ ROVs การใช้งาน ROVs ค่อนข้างมีข้อจำกัดเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง ผู้ใช้งานเกิดความเมื่อยล้าในกรณีที่ต้องใช้งานเป็นเวลานาน รวมถึงมีปัญหาเรื่องความปลอดภัยด้วยเนื่องจากผู้ใช้งานจะต้องอยู่ในเรือที่ลอยล้าอยู่กลางแม่น้ำหรือมหาสมุทรตลอดเวลาของการปฏิบัติงานในแต่ละครั้ง

ดังนั้นความต้องการเทคโนโลยีขั้นสูงของหุ่นยนต์ใต้น้ำจึงมีมากขึ้นเรื่อยๆ และเป็นความต้องการหุ่นยนต์ที่สามารถทำงานได้อัตโนมัติอย่างสมบูรณ์แบบ มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือได้ หลายปีที่ผ่านมามีความพยายามที่จะศึกษาวิจัยมากมายเพื่อออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติเพื่อใช้งานทางด้านต่างๆ ใต้น้ำ แต่อย่างไรก็ตามในการออกแบบ พัฒนาหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติที่ผ่านมายังอาศัยประสบการณ์และแนวคิดของผู้ออกแบบแต่ละบุคคล ซึ่งยังขาดแนวทางหรือหลักการที่ชัดเจนในการออกแบบให้เหมาะสม ตรงกับการที่หุ่นยนต์จะไปทำงาน และตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานจริง



โดยเฉพาะในประเทศไทยซึ่งความต้องการใช้หุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติจะแตกต่างจากหุ่นยนต์ที่มีอยู่ เนื่องจากสภาพทางภูมิศาสตร์และความจำเป็นในการใช้งานที่แตกต่างกัน ซึ่งถ้าหากไม่ได้รับการออกแบบที่ถูกต้องแล้วจะไม่สามารถทำให้สำเร็จตามภารกิจที่ตั้งไว้ได้ ด้วยความสำคัญของหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจการศึกษาและพัฒนารูปแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติในการดำเนินภารกิจของทหารเรือไทย เพื่อเป็นประโยชน์ต่อทางการทหารเรือในการดำเนินภารกิจและเป็นประโยชน์ในการพัฒนาประเทศชาติต่อไป เนื่องจากการควบคุมหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติใต้น้ำ ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นมีความซับซ้อนสูง เนื่องจากความสำคัญทั้งด้านภารกิจ และสภาพสิ่งแวดล้อมรอบๆ หุ่นยนต์ ที่มีความไม่แน่นอนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา มีผู้วิจัยพยายามทำการพัฒนาการควบคุมจำนวนมากขึ้น จากการศึกษางานวิจัยที่มีในปัจจุบันคือ งานวิจัยที่พัฒนาการควบคุม ด้วยวิธีการการควบคุมแบบพีไอดี (PID control) แบบสไลด์ดิ้งโหมด (Sliding mode control) รวมถึงการนำหลักการของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence) เข้ามาสร้างความเป็นอัตโนมัติให้กับการควบคุมหุ่นยนต์ เช่น การใช้หลักการของการตัดสินใจด้วยทฤษฎีความคลุมเครือ (Fuzzy theory) โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) และหลักการประมาณค่าที่ดีที่สุด (Optimization algorithm) เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการหาพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี ในการควบคุมฐานการทดลอง ซึ่งการใช้หลักการ ประมาณค่าที่ดีที่สุด จากการศึกษาข้อมูลทางการวิจัย มีนักวิจัยได้นำทฤษฎีอัลกอริธึมพันธุกรรม (Genetic Algorithm) มาปรับแต่งอัตราขยาย  $K_p$ ,  $K_i$  และ  $K_d$  ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งผลการวิจัย นั้นสามารถนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมได้ในระดับหนึ่ง หลักการอัลกอริธึมพันธุกรรม เป็นแนวคิดที่ถูกพัฒนามานานแล้วตั้งแต่ปี 1975 ปัจจุบันนี้มีการนำหลักการประมาณค่าที่ดีที่สุด ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่กว่าคือการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO) ที่เริ่มพัฒนาเมื่อปี 1995 เป็นต้นมา จากการศึกษางานวิจัยในปัจจุบันยังไม่พบงานวิจัยที่ทำการพัฒนาการควบคุมการหาค่าอัตราขยายของตัวควบคุมพีไอดีโดยใช้หลักการของ PSO บนหุ่นยนต์ใต้น้ำ ดังนั้นในการพัฒนาการควบคุมหุ่นยนต์ใต้น้ำนี้ ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะพัฒนาตัวควบคุมที่ใช้หลักการของ PSO ในการหาอัตราขยายของตัวควบคุมพีไอดี เพื่อศึกษาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุม โดยจะทำการทดลองควบคุมบนหุ่นยนต์ใต้น้ำที่ได้สร้างขึ้นจากกรอบแนวคิด (Quality Function Deployment, QFD)

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติด้วยกรอบแนวคิด QFD (Quality Function Deployment)

1.2.2 เพื่อออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติตามกรอบแนวคิด QFD

1.2.3 เพื่อออกแบบระบบควบคุมหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติโดยใช้ วิธีการปรับค่าอัตราขยายแบบออนไลน์ของตัวควบคุมพีไอดีด้วย PSO (PSO-PID Gains Online-Tuning method)



### 1.3 ความสำคัญของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำให้ได้ต้นแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติที่มีการออกแบบตามกรอบแนวคิด QFD โดยมีตัวควบคุมอัตโนมัติที่สามารถประยุกต์ใช้งานจริงได้

### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติด้วยวิธี QFD โดยใช้กรณีศึกษางานในภารกิจของทหารเรือไทย

1.4.2 สร้างโครงสร้างหุ่นยนต์ตามกรอบแนวคิด QFD

1.4.3 ออกแบบตัวควบคุมอัตโนมัติแบบอัจฉริยะและทดสอบกับหุ่นยนต์ใต้น้ำที่สร้างขึ้น



## บทที่ 2

### ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

#### 2.1 การพัฒนาหุ่นยนต์ใต้น้ำ

การพัฒนาหุ่นยนต์ใต้น้ำ นับตั้งแต่ปีค.ศ.1775 เริ่มมีหุ่นยนต์ใต้น้ำตัวแรกเกิดขึ้นถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาหุ่นยนต์ใต้น้ำ [1] แต่ในปัจจุบันทั่วโลกมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์ใต้น้ำมากมายโดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาหุ่นยนต์ที่เป็นแบบอัตโนมัติ ซึ่งการนำไปประยุกต์ใช้งานจะมุ่งเน้นไปใช้งานทางด้านสิ่งแวดล้อม การสำรวจหาทรัพยากรธรรมชาติ งานทางด้านวิทยาศาสตร์และด้านการทหาร หุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติได้ถูกพัฒนาเพื่อแก้ปัญหาที่ท้าทาย ทางด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมใต้น้ำที่ไร้โครงสร้างที่แน่นอนและอันตราย แต่อย่างไรก็ตามการพัฒนาดังกล่าวยังเป็นเพียงการเริ่มต้นของหุ่นยนต์ใต้น้ำแบบอัตโนมัติซึ่งยังคงต้องการเทคโนโลยีขั้นสูง มีความเชื่อถือได้ ตรงกับความต้องการและใช้งานได้จริง ปัจจุบันนี้มีหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติมากกว่า 46 รูปแบบ [2] โดยส่วนใหญ่จะเป็นหุ่นยนต์ที่ใช้สำหรับงานสำรวจใต้น้ำ ที่ทำงานด้วยการบันทึกภาพใต้น้ำด้วยกล้องซึ่งไม่มีแขนจับวัตถุสิ่งของสำหรับทำภารกิจ ในการหยิบจับสิ่งของที่อยู่ในน้ำหรือจับเครื่องมือในการเชื่อมใต้น้ำแทนมนุษย์ เพื่อเชื่อมปิดรอยรั่วใต้ท้องเรือ ในทั้งหมดนี้มีจำนวนเล็กน้อยเท่านั้นที่ถูกออกแบบมาให้ปฏิบัติงานใต้น้ำลึกและใต้ผิวน้ำแข็ง แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนาหุ่นยนต์ใต้น้ำขึ้นมากมายที่มีภารกิจในการทำงานที่แตกต่างกัน จากในตาราง 2.1 รายชื่อหุ่นยนต์ที่ถูกพัฒนาในทศวรรษที่ 1990 มีการพัฒนาหุ่นยนต์ใต้น้ำ ที่ระดับความลึกตั้งแต่ระดับน้ำตื้นในระดับ 10-50 เมตร จนถึงความลึกในระดับ 6000 เมตร ซึ่งในการทำงานที่ความลึกในระดับน้ำลึก หุ่นยนต์เหล่านั้นจะใช้ในการสำรวจพื้นน้ำ ส่วนในระดับน้ำตื้นนั้น ส่วนมากจะใช้เป็นหุ่นยนต์การทดลอง [2]

ตาราง 2.1 เป็นรายชื่อหุ่นยนต์ที่ถูกพัฒนาขึ้นในทศวรรษที่ 1990

ปี	ชื่อหุ่นยนต์	จุดประสงค์การใช้งาน	ความลึก (ม)	ผู้พัฒนา
1990	UROV-2000	สำรวจพื้นน้ำ	2000	JAMSTEC, Yokosuka, Japan
1990	ไม่มีชื่อ	หุ่นยนต์ทดลอง	10	JAMSTEC, Yokosuka, Japan
1990	Musaku	หุ่นยนต์ทดลอง	10	JAMSTEC, Yokosuka, Japan
1990	UUV (II)	หุ่นยนต์ทดลอง	ไม่มีข้อมูล	Draper Laboratory, Cambridge, MA
1991	AROV	ค้นหาและทำแผนที่	ไม่มีข้อมูล	SUTEC, Linkoping, Sweden
1992	AE1000	ตรวจเช็คสายเคเบิลใต้น้ำ	1000	KDD, Japan
1992	Twin Burger	หุ่นยนต์ทดลอง	50	US, University of Tokyo, Tokyo, Japan
1992	ALBAC	ตรวจเช็คเสาใต้น้ำ	300	US, University of Tokyo, Tokyo, Japan
1992	MAY	เก็บกู้ระเบิด	ไม่มีข้อมูล	DARPA, Washington, DC
1992	Doggie	สำรวจพื้นน้ำ	6000	Yard Ltd., Glasgow, Scotland
1992	Dolphin	ตรวจตราคุณสมบัติของน้ำ	6000	Yard Ltd., Glasgow, Scotland



ตาราง 2.1 (ต่อ)

ปี	ชื่อหุ่นยนต์	จุดประสงค์การใช้งาน	ความลึก (ม)	ผู้พัฒนา
1992	ABE	สำรวจพื้นน้ำ	6000	WHOI, Woods Hole, MA
1992	Phoenix	หุ่นยนต์ทดลอง	10	Naval Postgraduate School, Monterey, CA
1992	ODIN	หุ่นยนต์ทดลอง	30	ASL, University of Hawaii, Honolulu, HI
1993	Ocean Voyager II	งานทางวิทยาศาสตร์	6000	Florida Atlantic University, Boca Raton, FL
1993	Odyssey II	งานทางวิทยาศาสตร์	6000	MIT Sea Grant, Cambridge, MA
1993	ARUS	สำรวจพื้นน้ำ	ไม่มีข้อมูล	EUREKA (European Consortium)
1993	ODAS	สำรวจ	900	Marconi Underwater Systems, UK
1993	Hugin	สำรวจ	600	Norwegian Defense Establishment, Norway
1993	Marius	สำรวจ	600	1ST, Lisbon, Portugal (w/France and Denmark)
1994	Largc-D UUV	หุ่นยนต์ทดลองทางทหาร	300	Naval Undersea Warfare Center, Newport, RI
1994	OTTER	หุ่นยนต์ทดลอง	1000	MBARI, CA
1994	Explorer	ตรวจเช็คงานท่อ	1000	Shenyang Institute of Automation, China
1995	ODIN II	สำรวจพื้นน้ำ	30	ASL, University of Hawaii, Honolulu, HI
1995	RI	สำรวจพื้นน้ำ	400	Mitsui Engineering, US, U. of Tokyo, Japan
1995	Autosub-1	ตรวจตราสภาพแวดล้อม	750	Southampton Oceanography Centre, UK
1996	Theseus	สำรวจใต้พื้นน้ำแข็งมหาสมุทรอาร์คติก	1000	ISE, Canada
1997	REMUS	สำรวจ	150	Woods Hole Oceanographic Institution, MA
1997	VORAM	หุ่นยนต์ทดลอง	200	Korea Research Inst. of Ships & Ocean Engr., Korea
1998	Solar AUV	หุ่นยนต์ทดลอง	ไม่มีข้อมูล	Autonomous Undersea Systems Institute, NH
1998	AUV-HM1	หุ่นยนต์ทดลอง	ไม่มีข้อมูล	National Taiwan University, Taiwan
1998	AMPS	งานทางทหาร	200	Pacific Missile Range Facility, Kekaha, HI
1998	SIRENE	ยานใต้ทะเล	4000	DESIBEL, European project led by IFREMER, France
1999	SAUVIM	งานทางทหาร/วิทยาศาสตร์	6000	ASL, University of Hawaii, Honolulu, HI

การออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ นั้น มีวิธีการออกแบบรูปร่างโครงสร้าง และการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ตามภารกิจ ขององค์กรหรือหน่วยงาน จากการศึกษาภูมิหลังการพัฒนาหุ่นยนต์ใต้น้ำ ตั้งแต่ ทศวรรษที่ 1990 [2] สามารถแบ่งกิจการที่มีการพัฒนาหุ่นยนต์ใต้น้ำ ออกได้เป็น 5 กิจการหลัก คือ กิจการด้านวิทยาศาสตร์ ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านการทหาร ด้านอุตสาหกรรมเหมืองแร่และน้ำมัน ไนมหาสมุทร ด้านงานอื่นๆ สามารถดูรายละเอียดได้ที่ ตาราง 2.2 แสดงภารกิจต่างๆ ในการประยุกต์ใช้ของหุ่นยนต์ใต้น้ำ [4]





ตาราง 2.2 แสดงภารกิจต่างๆ ในการประยุกต์ใช้ของหุ่นยนต์ใต้น้ำ

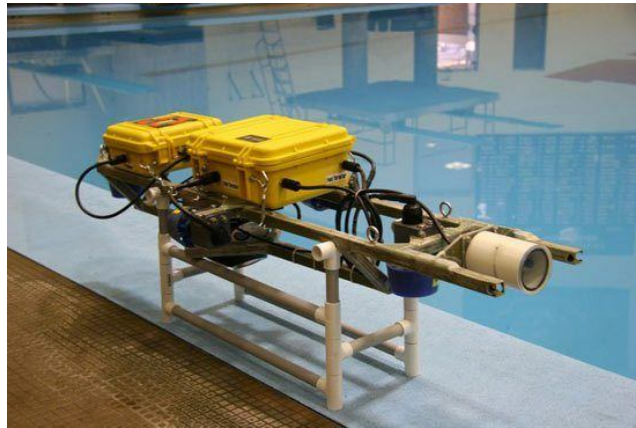
กิจการด้าน	ภารกิจของหุ่นยนต์ใต้น้ำ
วิทยาศาสตร์	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การกำหนดตำแหน่งที่ท้องทะเล</li> <li>- การตอบสนองที่รวดเร็วต่อภาวะการณ์เปลี่ยนทางความร้อนของพื้นโลกและมหาสมุทร</li> <li>- การสุ่มเก็บตัวอย่างทางธรณีวิทยา</li> </ul>
สิ่งแวดล้อม	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การตรวจตราในระยะยาว (เช่น การรั่วไหลของสารไฮโดรคาบอน การรั่วไหลของสารกัมมันตภาพรังสี มลภาวะต่างๆ)</li> </ul>
การทหาร	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การตรวจหาและกำจัดทุ่นระเบิดใต้น้ำ</li> <li>- เป็นเซนเซอร์นอกตัวเรือดำน้ำ</li> </ul>
อุตสาหกรรมเหมืองแร่และน้ำมันในมหาสมุทร	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การสำรวจมหาสมุทรและประเมินแหล่งทรัพยากร</li> <li>- การก่อสร้างและบำรุงรักษาโครงสร้างใต้น้ำ</li> <li>- ตรวจสอบรอยรั่วของสายก๊าซใต้น้ำ</li> </ul>
งานอื่นๆ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การตรวจสอบภายในและภายนอกลำเรือ</li> <li>- ตรวจเช็คสถานีกำเนิดพลังงานนิวเคลียร์</li> <li>- การติดตั้งและตรวจเช็คสายเคเบิลสื่อสารและสายไฟฟ้าใต้น้ำ</li> <li>- นำเที่ยวใต้น้ำเพื่อความบันเทิง</li> <li>- ควบคุมดูแลการหาปลาใต้น้ำ</li> </ul>

หุ่นยนต์ใต้น้ำที่มีในปัจจุบันนี้ มีรูปร่างที่แตกต่างออกกันออกไปนั้นหมายความว่าถึงการออกแบบตัวหุ่นยนต์ใต้น้ำให้เข้ากับสถานการณ์ และภารกิจที่จะนำหุ่นยนต์นั้นไปใช้งานดังตารางที่กล่าวข้างต้น อีกหนึ่งองค์ประกอบของหุ่นยนต์ใต้น้ำ ที่เป็นข้อกำหนดในการออกแบบคือ ขนาดของหุ่นยนต์ใต้น้ำและน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์ใต้น้ำ หุ่นยนต์ที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ภารกิจในการทำงานจะเหมาะสมสำหรับน้ำลึก ส่วนหุ่นยนต์ใต้น้ำที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ก็จะเหมาะสมกับการทำงานในระดับผิวน้ำหรือน้ำตื้น ที่ไม่ลึกนัก ส่วนหนึ่งของการพัฒนาหุ่นยนต์ใต้น้ำที่มีโครงสร้างและลักษณะรูปแบบที่แตกต่างกัน สามารถดูได้ตามภาพประกอบ 2.1 ถึง 2.9 ซึ่งแสดงรูปร่างหุ่นยนต์ใต้น้ำที่ได้พัฒนาขึ้นในช่วง 10 ปีย้อนหลัง





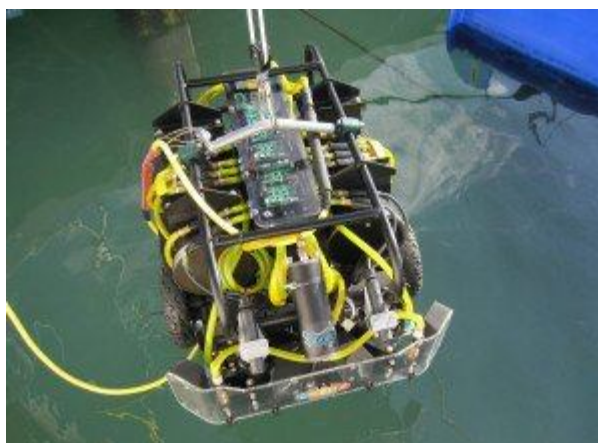
ภาพประกอบ 2.1 REMUS ใช้ในการสำรวจทำแผนที่ใต้น้ำ พัฒนาโดย Kongsberg, Norway



ภาพประกอบ 2.2 AUV-207 ใช้เป็นฐานทดลอง พัฒนาโดย AUVSI and ONR's Xth International San Diego, California



ภาพประกอบ 2.3 Tri MARES ใช้เป็นฐานทดลอง พัฒนาโดย INESC TEC Portugal



ภาพประกอบ 2.4 The Hull BUG ในเป็นฐานทดลอง การกักทหารเรือ พัฒนาโดย Navy Office of Naval Research (ONR). At the Florida



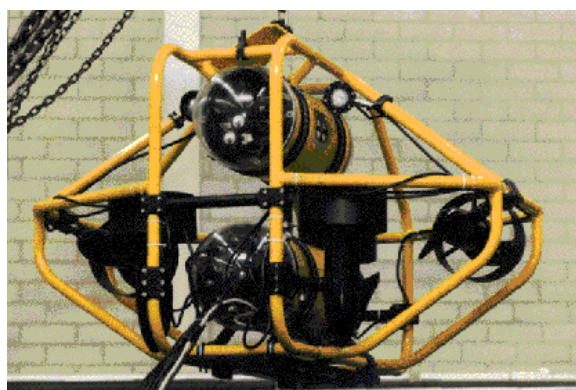
ภาพประกอบ 2.5 SAAB Seaeeye ROVs ใช้สำหรับการซ่อมอุปกรณ์ใต้น้ำ พัฒนาโดย Middle East to New Zealand



ภาพประกอบ 2.6 MBARI Washington, Nov 3 ใช้ในการตรวจสอบท่อใต้น้ำ พัฒนาโดย MBARI engineers in Washington



ภาพประกอบ 2.7 GarbiAUV ใช้เป็นฐานทดลอง พัฒนาโดย University of Girona



ภาพประกอบ 2.8 Kambara ใช้เป็นฐานทดลอง พัฒนาโดย Australia ANU and Sydney University



ภาพประกอบ 2.9 หุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ “ชาละวัน” ใช้เป็นฐานทดลอง พัฒนาโดย สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ประเทศไทย

จากข้อมูลการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติดังกล่าวข้างต้นจะพบว่าหุ่นยนต์จะถูกออกแบบเพื่อประยุกต์ใช้งานในจุดประสงค์ต่างๆ ทำให้มีรูปร่างและอุปกรณ์ประกอบต่างๆ กันออกไป สำหรับในประเทศไทยปัจจุบันมีการพัฒนาหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ ตัวแรกอยู่ที่สถาบัน เทคโนโลยีแห่ง เอเชีย (AIT) คือ หุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ “ชาละวัน” หลังจากนั้นก็มีมหาวิทยาลัยอื่นเข้ามาสนใจพัฒนา หุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ มากขึ้น

การพัฒนาการออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ ที่ควรนำมาพิจารณาในการออกแบบและสร้าง เป็นตัวหุ่นยนต์ และระบบควบคุมการทำงาน มีค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบสร้างหุ่นยนต์ใต้น้ำ อัตโนมัติ คือ ระบบการทำงาน หน่วยประมวลการทำงานหลัก (Main CPU) หน่วยประมวลผลรอง แหล่งจ่ายไฟฟ้า มอเตอร์ (Thrusters) ระบบเซนเซอร์ ความลึกในการใช้งาน สามารถดูรายละเอียดใน ตาราง 2.3

ตาราง 2.3 พารามิเตอร์ในการออกแบบสร้างหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ

ชื่อ AUV	ปี	ระบบ การทำงาน	main CPU	หน่วย ประมวลผล รอง	แหล่งจ่าย ไฟฟ้า	มอเตอร์ Thrusters	ระบบเซนเซอร์	ความลึกในการใช้ งาน
AE 1000 KDD, Japan	1992	V Works	VME MC68040/ 4M	3 DSP image processor	Lead-acid	3	AC magnetometers; camera; VCR Recorder; laser; Altimeter; depth meter; accelerometers; rate gyroscope; acoustic transponder; radio beacon, etc.	Max 2 knots 1,000 m depth
Phoenix NPS,USA	1992	OS-9	GESPAC MC68030/ 2M		Lead-acid gel	6 with 8 control fins	Data sonic PSA900 altitude sonar ST1000, ST725; collision avoidance sonar; Gyros	Max 1 knot 10 m depth
ABE WHOI,USA	1992	OS-9	68CH11	T800; SAIL network	Lead-acid gel alkaline lithium	6	Fluxgate compass; magnetic heading; angular rate sensor	2 knots 6,000 m depth



ตาราง 2.3 (ต่อ)

ชื่อ AUV	ปี	ระบบการทำงาน	main CPU	หน่วยประมวลผลรอง	แหล่งจ่ายไฟฟ้า	มอเตอร์ Thrusters	ระบบเซนเซอร์	ความลึกในการใช้งาน
Ocean Voyager II FAU, USA	1993	V Works	VME MC68030/8M	Neuron chips; LONTalk network	Lead-acid silver-zinc	1 with servo controlled rudder and stern plane	Watson 3 axis angle/rate; whisker sonar; sonic speedometer; pressure sensor; mosotech altitude; sonar; RF modem, etc.	Max 5 knots 600 m depth
Odyssey II MIT, USA	1993	OS-9	MC68030/8M	MC68HC11; SAIL network	silver-zinc	1 with servo controlled rudder and elevator	Altimeter; temp. sensor; acoustic modem; obstacle avoidance sonar; Pinger, etc.	6,000 m depth
OTTER MBARI, USA	1994	V Works	MVME167 (68040)	MVME167; NDDS protocol	Nickel-cadmium	8	Stereo CCD; Fluxgate compass 2-axis inclinometer; motional 3-axis angle/rate; pressure sensor; sharp sonic ranging and positioning system	Max. 4 knots 1,000 m depth 1 mechanical arm
ODIN II UH, USA	1995	V Works	VME MC68040		Lead-acid	8	Pressure sensor; Watson 3-axis angle/rate sensor; Kaiyo sonic ranging and positioning system	Max. 2 knots 30 m depth 1 mechanical arm

รายละเอียดองค์ประกอบของระบบในการออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ ที่สอดคล้องกับความต้องการในการใช้งาน และวิธีการกับรูปแบบที่สอดคล้องการความต้องการของระบบ[2] ดูรายละเอียดได้ในตาราง 2.4





ตาราง 2.4 รายละเอียดองค์ประกอบการออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ

ระบบ	ส่วนย่อยของระบบ	ความต้องการ	วิธีการ/รูปแบบ
Mission	Sensors	ข้อมูลระยะยาวในการตรวจสอบและการตรวจสอบเป้าหมายที่น่าสนใจ	โซนา
	Planner	แผนเป้าหมายภารกิจของเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดหรือความล้มเหลวของระบบ	การวางแผนเริ่มต้น
	World modeling	ชุดรูปแบบสำหรับระบบ AUV และภารกิจของ ,สิ่งแวดล้อม	จุดประสงค์ของภารกิจ
	Data fusion	ข้อมูลที่มีความหมายและถูกต้องจากข้อมูลจากเซ็นเซอร์หลายตัว	วิธีการวิเคราะห์ AI
Computer	Software	เครื่องมือสำหรับการพัฒนาบนคอมพิวเตอร์สำหรับการเคลื่อนที่ เพื่อสนับสนุนและการจำลองระบบความผิดพลาดของการทำงาน	ซอฟต์แวร์และระบบโปรแกรมประยุกต์
	Hardware	โมดูลอิเล็กทรอนิกส์ที่มีประสิทธิภาพ และมีความยืดหยุ่นในการทำงาน	สถาปัตยกรรมระบบ เครือข่ายการสื่อสาร แหล่งเก็บข้อมูล
	Fault-tolerance	การอำนวยความสะดวกเมื่อฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ล้มเหลว	การออกแบบที่ซ้ำซ้อน
Platform	Hull	โครงสร้างสำหรับเฉพาะภารกิจ; ความลึกและแหล่งจ่ายกำลัง ซึ่งมีข้อกำหนดขอเสถียรภาพ ต้นแบบที่แตกต่างกัน พารามิเตอร์ภารกิจ; วัสดุ ในการสร้าง	เหล็ก, อลูมิเนียมไทเทเนียม, คอมโพสิทเซรามิก
	Propulsion	การนำร่อง	
	Power	ระบบไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อนในภารกิจและเวลาในการใช้งาน	
	Work package	เครื่องมือสำหรับการตัด , ทำความสะอาด หรืออื่นที่เกี่ยวข้องกับภารกิจ	การจัดการภารกิจ
	Emergency	ระบบความปลอดภัยในการตอบสนองต่อ สภาพที่ผิดปกติและการบอกตำแหน่งของหุ่นยนต์	ภาวะฉุกเฉินเมื่อเกิดน้ำเข้า, ความผิดปกติของระบบไฟฟ้า
Vehicle sensor	Navigation	การระบุตำแหน่ง	อะคูสติก, Doppler, ไฟเบอร์ออฟติคgyro, GPS,
	Obstacle avoidance system (OAS)	ระบบการตรวจสอบและหลีกเลี่ยงอุปสรรคที่จะเกิด: ก่อนระยะ 50 เมตรและ ที่มุม 10 องศา	อะคูสติก และ เลเซอร์
	Self-diagnostic	การตรวจสอบและประเมินผลการดำเนินงานของหุ่นยนต์ พารามิเตอร์สำหรับสถานะของระบบย่อย	แรงดันไฟฟ้า ของเซ็นเซอร์, มอเตอร์ รอบต่อนาทีเซ็นเซอร์ ความเร็ว และอุณหภูมิ
	Communication	คำสั่งและการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างสถานพื้นผิวน้ำและตัวหุ่นยนต์ใต้น้ำ	ไฟเบอร์ออฟติค, อะคูสติกวิทยุ และเลเซอร์
Development &	Logistic support	องค์กรอุปกรณ์อะไหล่และซ่อมแซม การบำรุงรักษาเอกสารและอื่น ๆ	
	Simulation	เครื่องมือสำหรับการทดสอบการออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำและอินเตอร์เฟซ กลไกสำหรับการวิเคราะห์ของการดำเนินงานภารกิจ	จำลองการทำงานแบบเดียวและจำลองแบบไฮบริด สภาพแวดล้อมเสมือนจริง
	User interface	เครื่องมือสำหรับการแสดงข้อมูล และการป้อนข้อมูลคำสั่งในการทำงาน	อุปกรณ์เสมือนจริง, จอยสติค, กราฟิก 3 มิติ

จากการศึกษารายละเอียดการพัฒนาหุ่นยนต์ใต้น้ำ ดังตาราง 2.5 ซึ่งแสดงรายละเอียดของพารามิเตอร์ในการพัฒนาออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำ ที่แสดงโมเดลของหุ่นยนต์ใต้น้ำ ของหุ่นยนต์ใต้น้ำ ของ Tecnomare , Italy Western space and Marine, Inc. Kraft TeleRotics, Inc. Schiling Robotics



system, Inc. และ International submarine Engr.Ltd, Canada ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องคือ องศาอิสระในการเคลื่อนที่ degree of freedom การควบคุมจากชุดควบคุมไปยังหุ่นยนต์ใต้น้ำ Master/slave แหล่งจ่ายพลังงานที่งาน วัสดุที่ใช้ในการสร้าง เซนเซอร์ที่อยู่ในตัวหุ่นยนต์ ความสามารถในการหยิบจับวัตถุสิ่งของ งบประมาณที่ใช้ในการพัฒนา รวมถึงความยาวและน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์

ตาราง 2.5 พารามิเตอร์ในการออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำ

ชื่อหุ่นยนต์ใต้น้ำ	Tecnomare , Italy	Western Space and Marine, Inc.	Kraft TeleRotics, Inc.	Schiling Robotics System, Inc.	International Submarine Engr. Ltd., Canada
รายละเอียด					
โมเดล	Telemanipulator	The Arm-66	Predator	Titan III S	ISE 7F
D.O.F.	6 plus gripper	6 plus gripper	6 plus gripper	6 plus gripper	6 plus gripper
Master/slave	Mastser/slave	Mastser/slave	Mastser/slave	Mastser/slave	Mastser/slave
แหล่งจ่ายพลังงาน	220 V-50 Hz/110 v-60 Hz, optional	110-240 VAC, 50/60 Hz, hydraulic power-2 GPM @ 3000 Psi, 5-25 Micron absolute	47-63 Hz, 105-250 VAC and hydraulic power @2000 Psi, 5 GPM, 25 micron absolute	50/60 Hz, 90/260 VAC and hydraulic power @ 3,000 Psi, 1.5-5.0 GPM, 1.0-200 cSt.	Hydraulic power @ 1250 Psi, 10 LPM, 25 micron filter
วัสดุในการสร้าง	Aluminum alloy type 6000	Aluminum, stainlese steel composites, corrosion isolation system	Aluminum with teflon coating	6-4 titanium & 316 stainless	6061-T6 Aluminum
เซนเซอร์รวม	Resolver at each joint and torque sensor at the output shaft	Position, velocity, and torque	Position and force feedback	Resolver	Potentiomerers
แรง / แรงบิด	Jaw closure force: 700 N	Jaw force controls and sets grip 0-350 lbs. (120 lb/ft)	Jaw closure force: 300 lbs., wrist torque: 100 ft.lbs	Gripping force: 1,000 lbf., wrist torque: 125 ft.lbs	Gripping force: 330 lbf., wrist torque: 140 ft.lbs
Actuator	DC motor - brushless	Hydraulic cylinders	Hydraulic cylinders	Hydraulic cylinders	Hydraulic cylinders
งบประมาณ	\$350,000-410,000	\$280,000	\$119,00	\$149,500	70,000-250,000
ความยาว	2.70 m	66 inches	80 inches	75.4 inches	59 inches
น้ำหนัก	40 kg	145 lbs.	200 lbs.	250 lbs.	650 lbs. @ 1.4 m





รูปทรงของหุ่นยนต์ใต้น้ำ ใช้ในการพิจารณาในการพัฒนาออกแบบ ตัวหุ่นยนต์ใต้น้ำเนื่องจากองค์ประกอบของรูปทรงตัวหุ่นยนต์ใต้น้ำ มีผลกับการทำงานที่ความลึกที่ต่างกัน มีผลกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์ใต้น้ำ รวมถึงความลำบากในการออกแบบสร้าง ในตาราง 2.6 ซึ่งแสดงข้อดีข้อเสียในการออกแบบรูปทรงของหุ่นยนต์ใต้น้ำ ที่มีลักษณะที่เป็นรูปทรงกลม Single sphere ทรงกระบอก Cylinder และ รูปทรงไข่ Egg ที่แตกต่างกัน

ตาราง 2.6 ข้อดีข้อเสียในการออกแบบรูปทรงของหุ่นยนต์ใต้น้ำ [2]

รูปทรง	ข้อดี	ข้อเสีย
รูปทรงวงกลม Single sphere	น้ำหนักเบาต่อปริมาตร , อัตราส่วนที่ดีเยี่ยม สำหรับการดำน้ำลึกยานพาหนะ	การเคลื่อนที่ช้า เนื่องจากความกว้างและความยาวของตัวหุ่นยนต์
ทรงกระบอก Cylinder	ง่ายในการออกแบบ, ดีที่สุดในการเคลื่อนที่	ลำบากในการหมุนเปลี่ยนทิศทาง
รูปทรงจาน Saucer	กลศาสตร์การปรับปรุงในแนวระนาบ เหมาะสมกับการไหลของกระแส	โครงสร้างมีประสิทธิภาพควบคุมต่ำ จำกัด ระดับความลึกต้น
รูปทรงไข่ Egg	พลศาสตร์ที่ดีอัตราส่วน ของน้ำหนักกับปริมาตรที่ดี	ยากที่จะออกแบบและประดิษฐ์

วัสดุที่ควรพิจารณานำมาใช้เพื่อเป็นวัสดุโครงสร้างหุ่นยนต์ใต้น้ำ Steel alloy อลูมิเนียม Aluminum alloy ไททาเนียม Titanium alloy C/peek composite เซรามิก Ceramic ซึ่งรายละเอียดของวัสดุที่นำมาใช้เพื่อเป็นโครงสร้างของหุ่นยนต์ใต้น้ำ ดังแสดงในตาราง 2.7

ตาราง 2.7 การเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุโครงสร้าง

	Steel alloy	Aluminum alloy	Titanium alloy	C/peek composite	Ceramic
ความเครียดของวัสดุ Ultimate stress (Kpsi)	60	73	125	300	100
ทดต่อแรงอัด ความหนาแน่น (lb/in <sup>3</sup> ) Density (lb/in <sup>3</sup> )	0.283	0.1	0.16	0.056	0.13
การประดิษฐ์ Fabrication	Excellent	Very good	Good	Fair	Fair
ความต้านทานการกัดกร่อน Corrosion resistance	Poor	Fair	Very good	Excellent	Excellent
ความไวต่อแม่เหล็ก Magnetic susceptibility	Very high	Medium	High	Very low	Very low
ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง Relative cost	Very low	Very low	Moderate	Moderate	Moderate



## 2.2 การออกแบบด้วยวิธี QFD (Quality Function Deployment)

ออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ได้น้ำอัตโนมัติให้มี โครงสร้างและความสามารถที่ตรงกับงานที่ หุ่นยนต์จะไปปฏิบัติหน้าที่ และตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานจริง ซึ่งจากการสำรวจวรรณกรรมวิจัย การออกแบบและพัฒนาที่ผ่านมาได้อาศัยข้อมูลเพียงจากประสบการณ์และแนวคิดของผู้ออกแบบแต่ละ บุคคลเท่านั้น แต่ยังขาดหลักการที่ถูกต้อง ชัดเจน หลักการออกแบบด้วยวิธี QFD เป็นหลักการออกแบบ และพัฒนาที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ได้น้ำได้เป็นอย่างดีเนื่องจาก เป็นวิธีการที่แปรเปลี่ยนความต้องการของผู้ใช้งานมากเป็นกิจกรรมในการออกแบบและพัฒนา หลักการ ดังกล่าวนี้ได้พัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1967 เพื่อแก้ปัญหาก่อนการผลิตสินค้าออกมาใหม่ในครั้งแรกที่ประเทศ ญี่ปุ่น [16] แต่ต่อมาในปี 1972 มี การพัฒนาต่อ โดยได้ นำมาประยุกต์ใช้ครั้งแรกในอุตสาหกรรมของบริษัท มิทซูบิชิ ประเทศญี่ปุ่น [17] จากนั้นในปี ค.ศ. 1977-1984 บริษัทโตโยต้าได้นำมาประยุกต์ใช้จนกระทั่ง แพร่หลายออกไปในการ ทำความเข้าใจถึงความต้องการของผู้ใช้งาน [18] ในกระบวนการออกแบบ พัฒนาหุ่นยนต์จากการสำรวจวรรณกรรมวิจัยพบว่าได้มีการใช้วิธี QFD ในการปรับปรุงคุณภาพของ หุ่นยนต์โรงงานแบบคาร์ทีเซียน (Cartesian) ที่มีแกนการเคลื่อนที่ 3 แกน (3 Degree-of-freedom) และหุ่นยนต์แขนกล (Arm robot) ที่มีลักษณะโครงสร้างเหมือนกับหุ่นยนต์ PUMA เพื่อให้มีคุณภาพ ตามความต้องการของผู้ใช้งาน [19] การวางแผนทางออกแบบพัฒนาหุ่นยนต์ปลูกพืช (Plant nursing robot) โดยใช้ QFD ให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานและให้เป็นมิตรกับ สิ่งแวดล้อมรวมทั้งคำนึงถึง ความปลอดภัยของผู้ใช้งานด้วย [20] อย่างไรก็ตามจากการสำรวจ วรรณกรรมวิจัยที่ผ่านมาการ ออกแบบพัฒนาหุ่นยนต์เป็นเพียงการออกแบบในเชิงแนวคิด (Conceptual design) ยังขาดการนำเอา แนวคิดมาสร้างเป็นผลงานจริงและทดสอบใช้งานจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งยังไม่มี การ ออกแบบพัฒนา หุ่นยนต์ได้น้ำอัตโนมัติโดยใช้วิธี QFD และใน ประเทศไทยแทบจะไม่มี การวิจัยที่ต่อเนื่องเกี่ยวกับหุ่นยนต์ อัตโนมัติได้น้ำเลย

## 2.3 ตัวควบคุมอัตโนมัติ (Autonomous Controller)

ในศาสตร์ของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence) วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบ วิธีการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ แบ่งได้เป็น วิธีการเลียนแบบทฤษฎีวิวัฒนาการ หรือ Evolutionary algorithm ซึ่งวิธีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายคือ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm, GA) อีกกลุ่มหนึ่งที่น่าสนใจนำมาประยุกต์ใช้กับการหาค่าเหมาะสมที่สุดคือ ปัญญาฝูง (Swarm intelligence) ซึ่งเป็นการศึกษาและเลียนแบบวิธีการทางธรรมชาติของสัตว์ที่อยู่รวมกันเป็นฝูงเช่น การหาค่าเหมาะสม ที่สุดด้วยกลุ่มมด (Ant colony optimization, ACO) การหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (Particle swarm optimization, PSO) วิธีการคำนวณเชิงวิวัฒนาการนี้จะทำการค้นหาค่าคำตอบ เบื้องต้น และใช้กลไกที่เลียนแบบมาจากทฤษฎีวิวัฒนาการในการปรับปรุงคำตอบให้ดียิ่งขึ้นไปเรื่อยๆ จนกว่าจะพบคำตอบที่ดีที่สุด[23] การหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (Particle swarm optimization, PSO) ก็ถูกจัดว่าเป็นวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยเลียนแบบทฤษฎีวิวัฒนาการอีกแบบ หนึ่ง โดย Kennedy and Eberhart [24] ได้เสนอ PSO เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1995 สามารถดู



รายละเอียดใน ตาราง 2.8 ซึ่ง PSO เป็นวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการการเลียนแบบพฤติกรรมทางสังคมของสัตว์สังคม ผึ้งนก หรือ ผึ้งปลา เป็นต้น

ตาราง 2.8 วัฒนาการของปัญญาประดิษฐ์

Simulated Annealing	Expert System	Genetic Algorithm	Tabu Search	Ant System	Particle Swarm Optimization
1953	1969	1975	1989	1991	1995

จุดเด่นของ PSO อยู่ตรงที่มีการแบ่งปันข้อมูลระหว่างประชากรหรือกลุ่มอนุภาคเพื่อค้นหาผลลัพธ์และแก้ปัญหาที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว [25] ทำให้ PSO นิยมอย่างแพร่หลายและถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมในหลากหลายรูปแบบ [23,25,31] จากการศึกษาวิวัฒนาการ PSO มีการวิจัยนำหลักของ PSO มาหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี ของระบบปรับแรงดันอัตโนมัติ (Automatic voltage regulator, AVR) ในงานวิจัยได้กล่าวถึงหลักการ PSO เปรียบเทียบกับอัลกอริธึมพันธุกรรม (Genetic algorithm, GA) ซึ่งจากการทำวิจัย ปรากฏว่าการทำงานของ PSO ให้พารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี ดีกว่าการได้พารามิเตอร์จากอัลกอริธึมพันธุกรรม (Genetic algorithm, GA) นั้นหมายถึงให้ค่า ค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ที่น้อยกว่าและเวลาสู่สมดุล (Settling time) เข้าถึงได้เร็วกว่า[44] การนำ PSO มาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ PID ในการควบคุมมอเตอร์ ในการวิจัยได้นำซิกเลอร์นิโคลส์ (Ziegler-nichols) ในการหาค่าพารามิเตอร์ ผลการวิจัยการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการ PSO ให้ค่าพารามิเตอร์ที่ดีกว่าช่วงเวลานั้น (Rising time), เวลาสู่สมดุล (Settling time) and ค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ของระบบที่ดีกว่าซิกเลอร์นิโคลส์ (Ziegler-nichols) [41,42] มีผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีการทางวิวัฒนาการแบบผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรม (Genetic algorithms, GA) ร่วมกับวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (Particle swarm optimization, PSO) โดยใช้ชื่อเรียกวิธีการแบบผสมนี้ว่าอัลกอริธึมพันธุกรรมแบบฝูงอนุภาค (Swarm Genetic algorithms, SGA) วิธีการนี้ได้รวมเอาข้อดีของอัลกอริธึมพันธุกรรม GAs เข้ากับ PSO เพื่อทำการลดโอกาส การคัดทิ้งประชากรที่มีโอกาสเข้าสู่ค่าตอบที่ดีขึ้นก่อนเวลาอันควรรวมทั้งใช้อนุภาคกลุ่มเพื่อให้สามารถเข้าถึงพื้นที่ได้เร็วขึ้นกว่าอัลกอริธึมพันธุกรรม (GAs) แบบเดิมโดยอัลกอริธึมพันธุกรรมแบบฝูงอนุภาค (SGA) จะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในปัญหาการเลือก (Prototype) ประสิทธิภาพของ อัลกอริธึมพันธุกรรมแบบฝูงอนุภาค (SGA) จะนำไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์กับอัลกอริธึมพันธุกรรม (GAs) ในปัญหาข้างต้นโดยทำการเทียบผลที่ได้ในหลายๆ เซตการทดลองซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัลกอริธึมพันธุกรรมแบบฝูงอนุภาค (SGA) สามารถค้นหาค่าตอบได้เร็วและดีกว่าอัลกอริธึมพันธุกรรม (GAs) แบบเดิม [35,36,37]



การประยุกต์ใช้ PSO กับปัญหาทางวิศวกรรมด้านต่างๆ

ในส่วนนี้จะสรุปตัวอย่างบทความที่ได้ประยุกต์ใช้ PSO ในปัญหาทางวิศวกรรมในด้านต่างๆ ดังแสดงในตาราง 2.9 ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าตำแหน่งของอนุภาค (Particle) แต่ละตัวสามารถแปลงเป็นคำตอบ (Solution) ของปัญหาที่แตกต่างกันได้ โดยเทคนิคการแปลงตำแหน่งของอนุภาค (Particle) เป็นคำตอบของปัญหาหนึ่งๆ นั้นแต่ละปัญหาจะมีวิธีการเฉพาะที่แตกต่างกันไป

ตาราง 2.9 สรุปบทความที่ประยุกต์ใช้ PSO ในปัญหาทางวิศวกรรม [18]

ปัญหา	บทความ
Sequential ordering problem	Anghinolfi et al. [10]
Job-shop scheduling problem	Pongchairerks and Kachitvichyanukul [11]
Economic load dispatch with generator constraints	Safari and Shayeghi [12]
Flowshop scheduling problem	Liu et al. [13]
Order planning problem	Zhang et al. [14]
Joint pricing and lot-sizing problem	Dye and Ouyang [15]

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (Particle swarm optimization, PSO) นั้นสามารถที่จะนำมาแก้ปัญหาสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ ดังนั้นในการควบคุมหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติที่ถือว่าเป็นงานที่ยาก เนื่องจากความไม่เชิงเส้นที่มีอยู่สูงของพลวัตของระบบใต้น้ำ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกเอาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (Particle swarm optimization, PSO) มาเป็นตัวหาค่าพารามิเตอร์ของพีไอดี ในการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ใต้น้ำ

การหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (Particle swarm optimization, PSO) เป็นอีกหนึ่งเทคนิคของการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary computation) [25-26] เพื่อค้นหาผลลัพธ์ของปัญหาที่มีความซับซ้อน โดยการคำนวณเชิงวิวัฒนาการนี้มีต้นกำเนิดมาจากทฤษฎีวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตซึ่งชาร์ลส์ดาร์วิน (Charles Darwin) เป็นผู้คิดค้นในปี ค.ศ.1842 [25] เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคสามารถใช้แก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสมการของปัญหาแบบไม่เป็นเชิงเส้น [24] และสามารถประยุกต์ใช้กับสมการแบบไม่ต่อเนื่องได้ [27]

การทำงานของ PSO เลียนแบบมาจากพฤติกรรมทางสังคมของสิ่งมีชีวิต เช่น การเคลื่อนที่ของฝูงนกที่มักออกหาอาหารพร้อมๆ กันเป็นฝูงนกแต่ละตัวทำหน้าที่บินค้นหาอาหารและอาจย้ายที่อยู่อาศัยไปพร้อมๆ กัน จุดใดที่มีอาหารอยู่หรือสามารถพักอาศัยได้ หรือแม้แต่จุดที่มีอันตรายนกจะสื่อสารกันในกลุ่มเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน [24-25] นกแต่ละตัวซึ่งเปรียบเป็นอนุภาคแต่ละตัวจะต้องเก็บข้อมูลเวกเตอร์สองเวกเตอร์คือเวกเตอร์ระบุตำแหน่งและเวกเตอร์ระบุความเร็วในการบิน ดังนั้นถ้าในหนึ่งอนุภาคแทนด้วยพารามิเตอร์ของปัญหาหนึ่งจะประกอบด้วยตัวแปรซึ่งคือเซตข้อมูลของอนุภาคแต่ละตัว [25] จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น หลักการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการนำมาแก้ปัญหาในการควบคุมหุ่นยนต์ใต้น้ำ



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ

3.1.1 กรอบความคิดการออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติสำหรับภารกิจทหารเรือไทยโดยวิธี QFD (Conceptual design of an Autonomous Underwater Robot for Thai Navy Military tasks Using QFD method)

ในการออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติในงานวิจัยนี้จะใช้กรณีศึกษาเป็นภารกิจทหารเรือตามนโยบายและแผนการวิจัยประจำปีในภารกิจ การดำน้ำในการศึกษาแนวปะการังในระดับน้ำตื้น เพื่อศึกษาความสมดุลของปะการังกับสัตว์น้ำ การดำน้ำเพื่อบันทึกการฝึกดำน้ำของทหารเรือไทย และการดำน้ำเพื่อสำรวจรอยรั่วของโครงสร้างใต้ท้องเรือ โดยเน้นการปฏิบัติภารกิจในชายฝั่งน้ำที่ไม่ลึกเกิน 10 เมตร ขั้นตอนในการออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติด้วยวิธี (Quality Function Deployment, QFD) มีด้วยกัน 6 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คือการระบุผู้ใช้งาน (User Identification)

เป็นการระบุผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการใช้งานหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติในภารกิจ ทหารเรือ โดยหลักการแล้วจำนวนผู้ใช้งานที่ต้องทำการสำรวจอยู่ที่ 20–30 คน [20] ซึ่งในการคัดเลือกผู้ใช้งานได้คัดจากทหารเรือที่ดูแลเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมในท้องทะเลจำนวน 9 คน ทหารเรือที่เป็นครูฝึกดำน้ำจำนวน 5 คน ทหารเรือที่ดูแลเรือรบจำนวน 13 คน และทหารเรือที่อยู่ในกลุ่มนักวิจัยและพัฒนาจำนวน 9 คนรวมผู้ที่ใช้งานและเกี่ยวข้องกับการให้ข้อมูล จำนวน 36 คน

ขั้นตอนที่ 2 คือการสำรวจความต้องการของผู้ใช้งาน (User Requirements)

เป็นการพัฒนาหัวข้อความต้องการของผู้ใช้งานที่ได้จากเสียงของผู้ใช้งาน (Voice of users) ที่มีผลต่อการออกแบบ หุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ ตามตาราง 3.1 ระดับความสำคัญของความต้องการของผู้ใช้งานในงานวิจัยนี้ได้สำรวจความต้องการของผู้ใช้โดยแบ่งเป็นกลุ่มความต้องการหลัก ออกเป็น 6 ด้าน นั่นคือ ความสามารถในการทำงาน Operating Capacity องค์ประกอบในการทำงาน Operating Function ด้านงบประมาณในการลงทุน Economy สิ่งที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม Environment ความปลอดภัยในการใช้งาน Operating Safety ด้านการออกแบบ Design ซึ่งในตารางที่ 3.2 เป็นรายละเอียดย่อยใน ความต้องการหลัก 6 ด้าน ซึ่งเป็นข้อมูลสำหรับการนำไปใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขั้นตอนที่ 3 คือการกำหนดความสำคัญในแต่ละความต้องการของผู้ใช้งาน (Prioritizing user Requirements)

เป็นการกำหนดความสำคัญ ในแต่ละความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งจะต้องระบุค่าระดับคะแนนในแต่ละพารามิเตอร์โดยผู้ใช้งานเอง



ตาราง 3.1 ระดับความสำคัญของความต้องการของผู้ใช้งาน

Requirement	Importance ratings				Average importance ratings
	$U_1^*$	$U_2$	$U_3$	$\dots U_{36}$	$I_r^{***}$
$X_r$	$I_{r1}^{**}$	$I_{r2}$	$I_{r3}$	$\dots I_{r36}$	.....
$X_1$	5	5	5	4	5
$X_2$	5	4	3	1	3.9
$X_3$	5	3	3	5	5
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
$\dots X_{36}$	5	5	4	5	3.5

\* User 1 of  $n$  interviewed users

\*\* Rating of user 1

\*\*\* Importance ratings are calculated according to Equation (1).

$$I_r = \sum_{j=1}^C I_{rk} / C ; r = 1, 2, 3, \dots, R \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้  $C$  คือ จำนวนของผู้ใช้งาน  
 $I_r$  คือ ค่าเฉลี่ยของระดับความสำคัญของความต้องการของผู้ใช้งาน  
 $X_r$  คือ ความต้องการของผู้ใช้งาน  
 $I_{rk}$  คือ ระดับความสำคัญของความต้องการของผู้ใช้งาน ( $j$ )  
 $R$  คือ จำนวนของความต้องการของผู้ใช้งาน

จากความต้องการใช้งานหลักมีด้วยกัน 6 ด้าน ภายในมีรายละเอียดที่เป็นหัวข้อย่อยเพื่อที่ระบุให้เกิดความชัดที่ชัดเจนในความต้องการเพิ่มขึ้น เช่น ความต้องการทำงาน Operating Capacity รายละเอียดหัวข้อย่อยจะกล่าวถึงความสามารถที่ต้องการให้หุ่นยนต์สามารถดำได้ในความลึกประมาณ 10 เมตร Operating depth up to 10 meters การควบคุมยนต์ให้อยู่ในสภาวะนิ่ง Underwater standstill ความต้องการในบันทึกด้วยภาพกล้อง VDO และการควบคุมความเร็วไม่เร็วนัก Low operating speed สามารถดูได้ในตาราง 3.2 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดความสำคัญ



ตาราง 3.2 ความต้องการของผู้ใช้งานหลัก 6 ด้านพร้อมรายละเอียดข้อย่อย

Main categories	User Requirements, $X_r, r = 1, \dots, 36$
1. Operating Capacity	(1.1) Operating depth up to 10 meters, (1.2) Underwater standstill, (1.3) Able to record video, (1.4) Able to track ship bottom, (1.5) Long operating time, (1.6) Low operating speed
2. Operating Function	(2.1) Operate remotely with cable, (2.2) Operate remotely with radio, (2.3) Autonomous control, (2.4) Easy to control, (2.5) Easy to service, (2.6) Failure self-buoyancy, (2.7) Able to work during night time
3. Economy	(3.1) Low operation costs, (3.2) Low energy consumption, (3.3) Easy to transport, (3.4) Low cost control system
4. Environment	(4.1) Avoids damage to the underwater plants, (4.2) Avoids damage to animals, (4.3) Avoids water polluting, (4.4) Quiet, (4.5) Use renewable energy
5. Operating Safety	(5.1) Safety when transport, (5.2) Fail safe remote surveillance, (5.3) Safety when water leakage
6. Design	(6.1) Self-navigation, (6.2) Easy to add equipment, (6.3) Look beauty, (6.4) Well-managed power supply, (6.5) Structure adjustable to balance the hull, (6.6) Obstacle avoid, (6.7) Light weight, (6.8) Small size, (6.9) Move four degree of freedom, (6.10) Real time video monitoring, (6.11) Use resistance-to-corrosion material

ขั้นตอนที่ 4 คือการระบุพารามิเตอร์ในการออกแบบ (Identification of design parameters)

เป็นการวิเคราะห์ ปัจจัยในการออกแบบที่สัมพันธ์กับพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้มาจากความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งกระทำโดยผู้เชี่ยวชาญในด้านต่างๆของหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ ผู้เชี่ยวชาญอาจแบ่งออกเป็นด้านต่างๆดังนี้ (1) Underwater Application (2) underwater robot mechanical structure design (3) Industrial design and product optimizing (4) Underwater robot technologies design and system integration (5) Control System Design (6) Embedded system design (7) Environmental impact consideration (8) Energy saving consideration โดยรายชื่อผู้เชี่ยวชาญในด้านต่างๆ แสดงในตาราง 3.3





ตาราง 3.3 รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการออกแบบ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ		Fields of Expertise
Asst. Prof. Dr. kridiwat sutivary	Naval Research & Development Office	Military underwater applications
Asst. Prof. Dr. Keartisak Sriprateep	Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University	Industrial design and product optimization
Asst. Prof. Dr.Theerayuth. Chatchanayuenyong	Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University	Underwater robot design and system integration
Asst. Prof. Dr.Worawat Sa-ngiamvibool,	Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University	Control system design
Asst. Prof. Dr. Anan Suebsomran	Department of Teacher Training in Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Education, King Mongkut's Institute of Technology. North Bangkok	Mechanical and System Design
Sir Rene Pitayataratorn	Centre of Excellence in Embedded Development (CEED), Khon Kaen University	Embedded System Design
Asst. Prof. Dr. korntham Sathirkul	Department of Science Service, Ministry of Science and Technology.	Control System and Mechanical Design
Asst. Prof. Traizit Benjaboonyazit	Thai-Nichi Institute of Technology	QFD expert
Prof. Dr. Sorakit Srikasem	Royal Thai Air Force Academy	Electronics and Communication System design

ขั้นตอนที่ 5 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของผู้ใช้งานกับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง (Determination of Relationships)

เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของผู้ใช้งานกับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ โดยอาศัยผู้เชี่ยวชาญด้านต่างๆที่ระบุอยู่ในขั้นตอนที่ 4 ตาราง 3.3 เป็นผู้กำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบให้มีความสัมพันธ์กับความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งดูได้ใน ตาราง 3.4





ตาราง 3.4 พารามิเตอร์ในการออกแบบพร้อมคำอธิบาย

		Design Parameters	Explanation
1. Operating Capacity	1.1	10-Meter Robot Structure	Structure of the robot can operate underwater up to 10-meter depth.
	1.2	Depth Sensor	Have a depth sensor to measure the robot depth from water surface.
	1.3	Underwater Camera	Have an underwater camera to record photo and video.
	1.4	Ultrasonic Sensor	Have an ultrasonic sensor to measure robot height from water bottom.
	1.5	Power Supply Management	Have well power supply management for equipment inside the robot such as camera, sensor, controller, etc.
2. Operating Function	2.1	Remote Cable Operate	Can control and monitor the robot remotely via cable.
	2.2	Remote Radio Control	Can control and monitor the robot remotely via radio frequency (RF) signal.
	2.3	Autonomous Control Algorithm	Have a control algorithm, which enables the robot to move autonomously.
	2.4	Graphic User Interface	Have graphic user interface between user and robot.
	2.5	Equipment Module Design	Equipments inside the robot are designed in module for easily service purpose.
	2.6	Self Buoyancy System Design	The robot can buoy by itself when it is out of service.
	2.7	Underwater Lights	Have underwater lights for navigation purpose.
3. Economy	3.1	Low Energy Consumption	Use low energy consumption equipments.
	3.2	Equipped With Eyebolts & Transport Wheel	The robot can be transported easily with eyebolts and wheel .
	3.3	Low Cost Controller	Use low cost controller.
4. Environment	4.1	Equipped With Thruster Guards	All thrusters are equipped with guard for protection purpose.
	4.2	Use Clean Energy	Use clean energy to conserve environment.
	4.3	Use Low Noise Electric Motor	Use low noise electric motor to avoid nuisance sound.
	4.4	Use Rechargeable Battery	Use rechargeable battery.



ตาราง 3.4 (ต่อ)

		Design Parameters	Explanation
5. Operating Safety	5.1	Main Power Safety Switch	Have main power switch to shutdown all equipments in case of accident.
	5.2	Remote Surveillance Design	The robot can be shut down all systems remotely.
	5.3	Pressure Hull	The robot's hull is pressurized to prevent water leakage.
6. Design	6.1	Compass Sensor & Vertical Gyroscope	The robot is equipped with compass sensor and vertical gyroscope.
	6.2	Open Frame Structure Design	The robot structure has an open frame design, which can be equipped with external sensor easily.
	6.3	Beautiful Hull Form Design	The hull form of robot is well designed and looks beautiful.
	6.4	Detail Power Distribution Planning	The power distribution for equipment inside the robot is well-managed.
	6.5	Adjustable Buoyancy Components	The buoyancy level of robot can be adjusted with its components.
	6.6	Use Strong But Light Weight Material	The robot structure is made of not only light weight but also strong material.
	6.7	Small Overall Size	The overall size of robot is small to be easily transported.
	6.8	Configuration Design	The robot is well configured to make it balance in all demensions.
	6.9	Communication System Design	The user can communicate with the robot for controlling and monitoring purposes.
	6.10	Use Resistant To Corrosion Material	The material for underwater pressure hull must not only be able to withstand high external pressure, but must also withstand the environment [21].



ขั้นตอนที่ 6 คือการหาความเกี่ยวพันกันระหว่างพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ (Correlation between the design parameters)

เป็นการกำหนดประเมินระดับความเกี่ยวพันกันระหว่างพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านต่างๆที่ระบุอยู่ในขั้นตอนที่ 4 ตาราง 3.3 แทนค่าด้วยค่าตัวเลขต่างๆ ซึ่งค่าตัวเลขมากหมายถึงมีความสำคัญมาก ส่วนค่าตัวเลขน้อยความสำคัญที่เกิดขึ้นระหว่างความต้องการในการใช้งานกับพารามิเตอร์ในการออกแบบก็จะน้อยลงตาม โดยใช้สมการที่ 2 ใช้สำหรับคำนวณระดับความสำคัญความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ

$$IRank = \frac{R_{s,n} - \min}{R} / (k) \quad (2)$$

เมื่อกำหนดให้  $R$  คือ range = max-min;  
 $\min$  คือ ค่าที่น้อยที่สุด ของค่า ( $D_{r,n}$ ).  
 $\max$  คือ ค่าที่มากที่สุด ของ ทั้งหมดของ raw scores ( $D_{r,n}$ ).

$k = \sqrt{\frac{n}{2}}$  ;  $n$  = คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบทั้งหมด

$$R_{s,n} = \sum_{j=1}^m I_{r,m} D_{r,n} \quad (3)$$

เมื่อกำหนดให้  $I_{r,m}$  คือ ค่าเฉลี่ยระดับความสำคัญของความต้องการของผู้ใช้งาน  $m$  ( $m=1-36$ ).

$D_{r,n}$  คือ ระดับความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของผู้ใช้งาน  $m$  และ พารามิเตอร์ในการออกแบบ  $n$  ( $n=32-1$ )

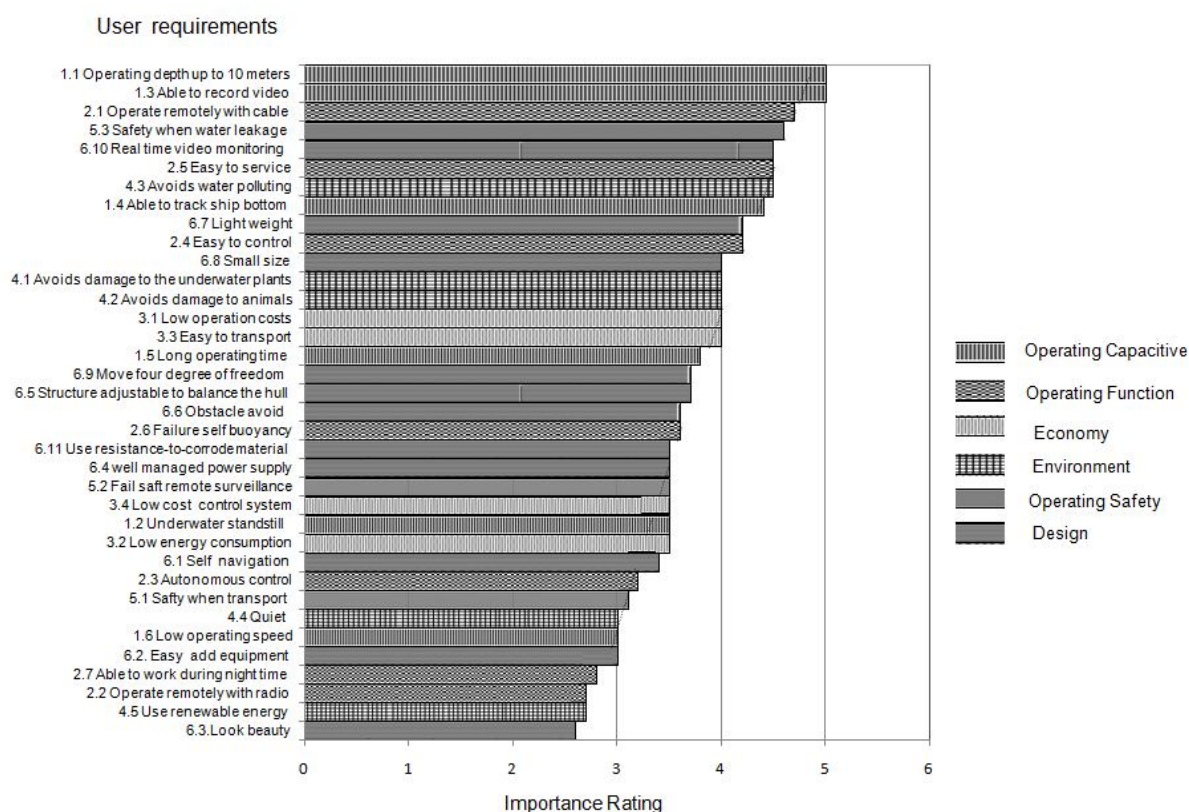


ตาราง 3.5 ตารางวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบกับความต้องการของผู้ใช้งาน

	1. Operating Capacity										2. Operating Function					3. Economy			4. Environment			5. Operating Safety			6. Design					Sum Of Horizontal Score			
	1.1. 10 Meter Robot Structure	1.2. Depth Sensor	1.3. Underwater Camera	1.4. Ultrasonic Sensor	1.5. Power Supply Management	2.1. Remote Cable Operate	2.2. Remote Radio Control	2.3. Autonomous Control Algorithm	2.4. Graphic User Interface	2.5. Equipment Module Design	2.6. Self Buoyancy System Design	2.7. Underwater Lights	3.1. Low Energy Consumption	3.2. Equip with Eye Ball & Transport Wheel	3.3. Low Cost Controller	4.1. Equip with Thruster Guards	4.2. Use Clean Energy	4.3. Use Low Noise Electronic Motor	4.4. Use Rechargeable Battery	5.1. Main Power Safety Switch	5.2. Remote Surveillance Design	5.3. Pressure Hull	6.1. Compass Sensor & Vertical Gyroscope	6.2. Open Frame Structure Design	6.3. Beautiful Full Form Design	6.4. Detail Power Distribution Planning	6.5. Adjustable Buoyancy Components	6.6. Use Strong Built Light Weight Material	6.7. Small Overall Size		6.8. Configuration Design	6.9. Communication System Design	6.10. User Resistance To Corrosion Material
1.1 Operating depth up to 10 meter	5	9	9	3	9	3	1	9		9		9	3		1	9		9		1			3	3	9	1	3	1	9	9	113		
1.2 Underwater standstill	3	9		3	9					9		9				3							9	9	9	9	9	3	3	102			
1.3 Able to record video	5		9					9									3							9	9	9	1	9	3	43			
1.4 Able to track ship bottom	4	3	9	9	9	9	1	9	3		9		1		3	3	3	3				9	9				1	1	102				
1.5 Long operating time	3	8			9							9												9	9	9	9	3	57				
1.6 low operating speed	3	1	9	9	9					1								9					3	9	9	9	9	9	95				
2.1 Operate remotely with cable	4	7	9	3	9			9				9	9					9				9							66				
2.2 Operate remotely with radio	2	7	9	9		9		9				9	9					9				9	9					9	81				
2.3 Autonomous control	3	2	9	9			9	9			9	9	9					9				9	9			3		93					
2.4 Easy to control	4	2	9		9	9	9	9			9	9	9										9	9			3		75				
2.5 Easy to service	4	5	9		3									9						3		9					9	9	60				
2.6 Failure self buoyancy	3	6	3							9											3		9			1	9		25				
2.7 Able to work during night time	2	8	9	9	9	9					9											3				9		3	57				
3.1 Low operation costs	4	1			9							9		3				9										3	34				
3.2 Low energy consumption	3	5			3							9	9					3									9	9	24				
3.3 Easy to transport	4	9			9						1	9	9	9					9							9	9	3	76				
3.4 Low cost control system	3	5		9										9									9	9			9	9	54				
4.1 Avoids damage to the Underwater plants	4	9	9		3	1	9				9		9	9					1			9						68					
4.2 Avoids damage to animals	4	9	9		3	1	9				3		9	9					1			9						62					
4.3 Avoids water polluting	4	5					9						9	3	9							9						3	42				
4.4 Quiet	3											3					9											3	15				
4.5 Use renewable energy	2	7			9							3	3					9						3				27					
5.1 Safty when transport	3	1	9			3								9					9					9			9	9	3	60			
5.2 Fail saft remote surveillance	3	5									9											9				3		3	24				
5.3 Safety when water leakage	4	6			3	3		9		3			9					3		9				1	9	3		9	61				
6.1 Self navigation	3	4	9	9	9	9	9	9		1		9										9						9	73				
6.2 Easy to add equipment	3	3			3			9					9										9	3			3	3	42				
6.3 Look beauty	2	6	9								1	1										1	9			9	9	3	51				
6.4 Well-managed power supply	3	5			9								9											9					27				
6.5 Structure adjustable to balance the hull	3	7	9				3	3		9	3							3		9		9			9		9	3	69				
6.6 Obstacle avoid	3	6	9	9	9		9		1			9										9				9			73				
6.7 Light weight	4	2	9									3		9			3	3			3			3	9	9		1	52				
6.8 Small size	4	9	3				9		9				9										3		3		9	3	57				
6.9 Move four degree of freedom	3	7			9	9	9	9				9		9								9	9				9	9	75				
6.10 Real time video monitoring	4	5			9	9	9	9				9		9									9					9	72				
6.11 Use resistance-to-corrosion material	3	5	9									3							9		3				1				9	34			
<b>Raw score</b>	311	493	183	386	381	355	127	685	293	40.5	194	262	233	185	604	208	97.2	52.8	195	226	64.8	83	500	277	114	136	216	204	376	259	193	333	2141
<b>Relative %</b>	4%	6%	2%	5%	5%	4%	2%	7%	4%	0%	2%	3%	3%	2%	7%	3%	1%	1%	2%	3%	1%	1%	6%	3%	1%	2%	3%	2%	5%	3%	2%	4%	100%
<b>IRank</b>	3	4	2	3	3	3	2	5	3	1	2	3	2	2	5	2	1	1	2	2	1	1	4	3	2	2	2	3	3	2	3	79	

### 3.1.2 การสร้างหุ่นยนต์อัตโนมัติด้วยพารามิเตอร์ที่ได้จากกรอบความคิด QFD

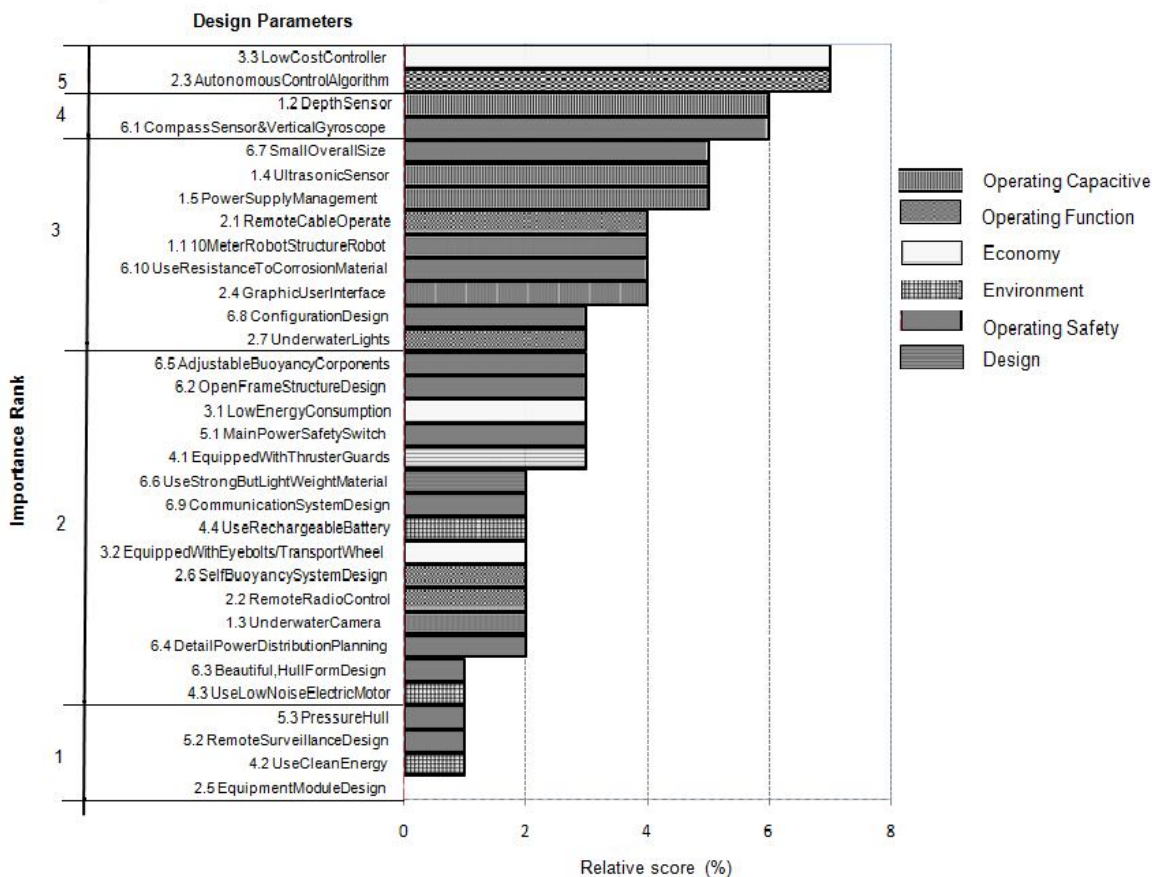
ข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ในการวิจัยครั้งนี้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนนั้นคือ ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ด้วยวิธีการ QFD (Quality Function Deployment) จากกระบวนการในการทำการนั้นได้ข้อมูลที่มีความจำเป็นในการออกแบบดังรายละเอียดในตาราง (ภาคผนวก 1)



ภาพประกอบ 3.1 ระดับความสำคัญของความต้องการในการใช้งาน

จากภาพประกอบ 3.1 ระดับความสำคัญของความต้องการในการใช้งาน มีรายการความสำคัญความต้องการในการใช้งาน ในระดับความสำคัญของความต้องการในการใช้งานมาก คือ (1) able to record video, (2) operating depth up to 10 meters, (3) operate remotely with cable, and (4) safely when water leakage. ระดับความสำคัญของความต้องการในการใช้น้อย คือ (1) look beauty, (2) use renewable energy, (3) operate remotely with radio, and (4) able to work during night time.





ภาพประกอบ 3.2 การจัดระดับความสำคัญของพารามิเตอร์

จากภาพประกอบ 3.2 การจัดระดับความสำคัญของพารามิเตอร์ (1) Low Cost Controller, (2) Autonomous Control Algorithm, อยู่ในความสำคัญระดับ 5 คือ (3) Compass Sensor Vertical Gyroscope, (4) Depth Sensor อยู่ในความสำคัญระดับ 4 และระดับความสำคัญน้อยที่อยู่ในระดับ 1 คือ (1) Equipment Module Design, (2) Use Clean Energy, (3) Use Low Noise Electric Motor, (4) Remote Surveillance Design, (5) Pressure Hull, และ (6) Beautiful Hull Form Design.



ตาราง 3.6 รายละเอียดพารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ

Item	list	Design parameters	Expected tools
1	2.3	Autonomous Control Algorithm	Conventional PID and intelligent control
2	3.3	Low Cost Controller	Micro-controller
3	1.2	Depth Sensor	Pressure sensor
4	5.1	Compass Sensor & Vertical Gyroscope	Compass sensor, vertical gyroscope
5	1.4	Ultrasonic Sensor	Fish finder sonar sensor
6	1.5	Power Supply Management	Three power supply modules; controller power supply, sensor power supply and motor driver power supply modules
7	5.7	Small Overall Size	Not bigger than 120x120x120 cm
8	1.1	10-meter Robot Structure	Aluminium alloy
9	2.1	Remote Cable Operate	0.9 mm <sup>2</sup> 4-cores Cable
10	2.4	Graphic User Interface	Visual basic
11	5.1 0	Use Resistance To Corrosion Material	Aluminium alloy
12	2.7	Underwater Lights	Tungsten halogen lamp
13	3.1	Low Energy Consumption	Controller low power supply, sensor low power supply and motor driver low power supply modules
14	4.1	Equipped With Thruster Guards	Aluminium thruster guards
15	5.1	Main Power Safety Switch	Safety switch
16	5.2	Open Frame Structure Design	Aluminium open frame structure
17	5.5	Adjustable Buoyancy Components	Equipped with buoyancy components, e.g. pressurizable plastic tube, foam
18	5.8	Configuration Design	3-D Balancing shape designed with SolidWorks
19	1.3	Underwater Camera	Digital camera installed inside pressurized hull



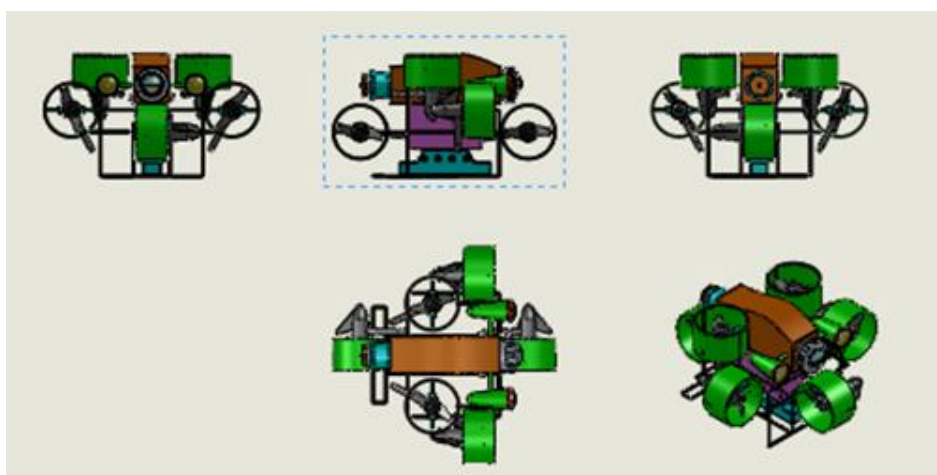
ตาราง 3.6 (ต่อ)

Item	list	Design parameters	Expected tools
20	2.2	Remote Radio Control	Not installed, since it is not practical when the robot is underwater.
21	2.6	Self Buoyancy System Design	Buoyancy force > gravitational force design
22	3.2	Equipped With Eyebolts & Transport Wheel	Eyebolts and transport wheels
23	4.4	Use Rechargeable Battery	Use rechargeable battery
24	5.4	Detail Power Distribution Planning	Three power supply modules; controller power supply, sensor power supply and motor driver power supply modules
25	5.6	Use Strong But Light Weight Material	Aluminium alloy
26	5.9	Communication System Design	RS232 cable
27	4.2	Use Clean Energy	Use rechargeable battery
28	4.3	Use Low Noise Electric Motor	Electric trolling motor
29	5.2	Remote Surveillance Design	Signal sending via RS232 cable
30	5.3	Pressure Hull	Pressurized robot hull
31	5.5	Beautiful Hull Form Design	Balancing-shape hull form designed with Solid works
32	2.5	Equipment Module Design	Equipments designed in modules and connected to one another via connectors

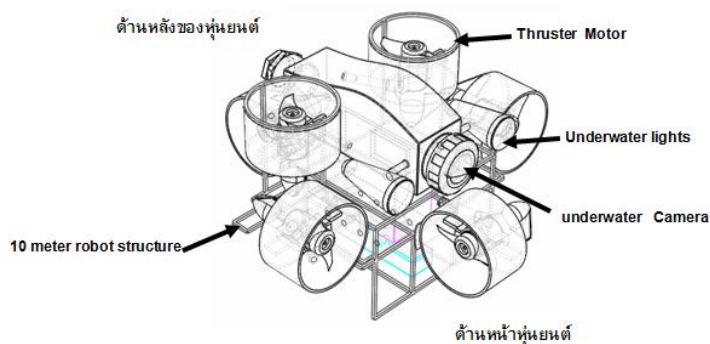




จากตาราง 3.6 ได้นำข้อมูลมาใช้ออกแบบสร้างเป็นหุ่นยนต์ที่สามารถใช้งานจริงได้ ซึ่งได้ จากศึกษาความต้องการของผู้ใช้งานและเป้าหมายภารกิจของหุ่นยนต์ใต้น้ำ ข้อมูลที่จำเป็นที่ใช้ประกอบ เป็นโครงสร้างตัวหุ่นยนต์ใต้น้ำ คือ ภาพรวมของตัวหุ่นต้องมีขนาดเล็ก Small Overall Size อยู่ที่ 120x120x120 cm ความสามารถในการเคลื่อนที่ไปด้านหน้า เลี้ยวซ้ายขวา เลี้ยวไปด้านซ้ายด้านขวา เพื่อเป็นข้อกำหนดในการติดตั้ง มอเตอร์ที่ในการขับเคลื่อน การดำขึ้นลงในระยะประมาณ 10 เมตร เพื่อกำหนดค่าน้ำหนักของหุ่นยนต์ใต้น้ำ แล้วนำมาออกแบบเบื้องต้นด้วยโปรแกรม Solid works ดังภาพประกอบ 3.3



(ก) ภาพฉายในแต่ละด้านของหุ่นยนต์อัตโนมัติใต้น้ำ



(ข) ภาพอธิบายส่วนประกอบของหุ่นยนต์

ภาพประกอบ 3.3 ภาพกรอบแนวคิดที่เกิดจากกระบวนการของ QFD ในการออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ

### 3.2 การนำผลการออกแบบตามกรอบแนวคิด QFD มาสร้างเป็นหุ่นยนต์ใต้น้ำ

การนำผลการออกแบบตามกรอบแนวคิด QFD มาสร้างเป็นหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติจริง จะต้องอาศัยอุปกรณ์ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### มอเตอร์ใบพัด (Thrusters Motor)

Thrusters Motor เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้แรงดันในการขับเคลื่อน  $12 V_{dc}$  มีจำนวนทั้งหมด 6 ตัว สามารถกันน้ำในตัวมอเตอร์ได้มีขนาดของใบพัดขนาด 9 นิ้ว ให้แรงขับได้ 28 ปอนด์ เป็นของบริษัท Minnkota รุ่น Classic 28,  $12 V_{dc}$  ซึ่งสามารถดูได้ในภาพประกอบ 3.4 ซึ่งการวางตำแหน่งของมอเตอร์นี้เพื่อรองรับการทำงานการเคลื่อนที่ 4 แกน (4 degree of freedom)

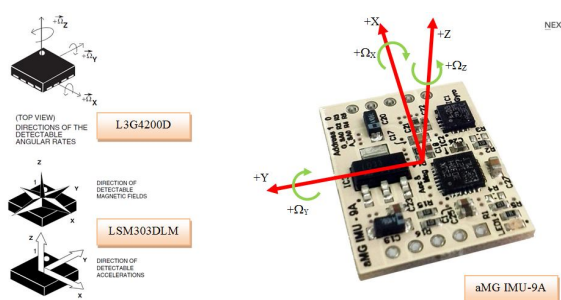


ภาพประกอบ 3.4 มอเตอร์ Thrusters ที่ใช้ในหุ่นยนต์ใต้น้ำ (Minnkota รุ่น classic28,  $12 V_{dc}$ )

#### เซนเซอร์ไจโร

อุปกรณ์ในการวัดความเอียงของตัวหุ่นยนต์ใต้น้ำ วัดทิศมุมในการหมุนเพื่อการตรวจสอบสถานะของหุ่นยนต์ เพื่อรักษาสภาพความสมดุลของตัวหุ่นยนต์ใต้น้ำ บอร์ด รุ่น aMGIMU\_9A เป็นบอร์ดที่มีคุณสมบัติภายในบอร์ดสองส่วนหลักคือ Three-axis angular rate sensor ใช้ไอซีเบอร์ L3G4200D ที่สามารถตรวจสอบมุมในการเคลื่อนที่ได้ 3 แกน นั่นคือมุมหมุน(roll), มุมก้มเงย (pitch) และมุมการหันเหทิศทาง (yaw angle) แกนเป็นแบบลิเนียร์ และความเร่ง(Acceleration) ใช้ไอซีเบอร์ LSM303DLM ความเร่งที่เต็มสเกลเท่ากับ  $\pm 2 g / \pm 4 g / \pm 8 g$  และสนามแม่เหล็ก (Magnetic field) มีสเกลอยู่ที่  $\pm 1.3 / \pm 1.9 / \pm 2.5 / \pm 4.0 / \pm 4.7 / \pm 5.6 / \pm 8.1$  การสื่อสารสัญญาณเป็นแบบ I<sup>2</sup>C ที่โหมดมาตรฐานความถี่ (100 kHz) ความเร็วที่ทำงานความถี่ (400 kHz) ค่าที่ส่งออกจะเป็นแบบ I<sup>2</sup>C ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัล สามารถดูได้ตามภาพประกอบ 3.5





ภาพประกอบ 3.5 บอร์ด Gyro รุ่น aMG IMU-9A

เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ (Compass module รุ่น HMC6352)

โมดูลเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์เป็นรุ่น HMC6352 ใช้ในการวัดทิศทางมุ่งหน้า (Heading) เพื่อกำหนดทิศทางที่หุ่นยนต์จะมุ่งหน้าไป ใช้ไฟเลี้ยง 3-5 V การรับส่งข้อมูลเป็นแบบ I<sup>2</sup>C ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัล สามารถอ่านค่าทิศทางความแม่นยำ (Accuracy) ในการอ่านค่า 0.1 องศา มีโมดูลปรับแต่งค่าความเที่ยงตรงติดตั้งอยู่ภายใน ทำให้ค่าความผิดพลาดมีเพียง 2.5 องศา รูปร่างโมดูลเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์เป็นรุ่น HMC6352 ดังแสดงในภาพประกอบ 3.6



ภาพประกอบ 3.6 เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ (Compass module รุ่น HMC6352)

เซนเซอร์วัดความลึกของน้ำ (Depth sensor)

ใช้เซนเซอร์วัดความดันรุ่น E8EB-01C เป็นเซนเซอร์วัดความดันแบบเกจจัน ที่ใช้วัดความดันในน้ำอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 Kpa. โดยที่ค่าแรงดันจะเปลี่ยนที่ช่วง 1V<sub>dc</sub> ถึง 5V<sub>dc</sub> ซึ่งสามารถวัดความลึกจากผิวน้ำถึงความลึกได้ 10 เมตร ดังภาพประกอบ 3.7 ค่าแรงดันไฟเลี้ยงคือ 24V<sub>DC</sub> ±10% ความดันสมบูรณ์สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4

$$P_A = P_0 + \rho gh \quad (4)$$

เมื่อ  $P_A$  คือ ค่าสัมบูรณ์

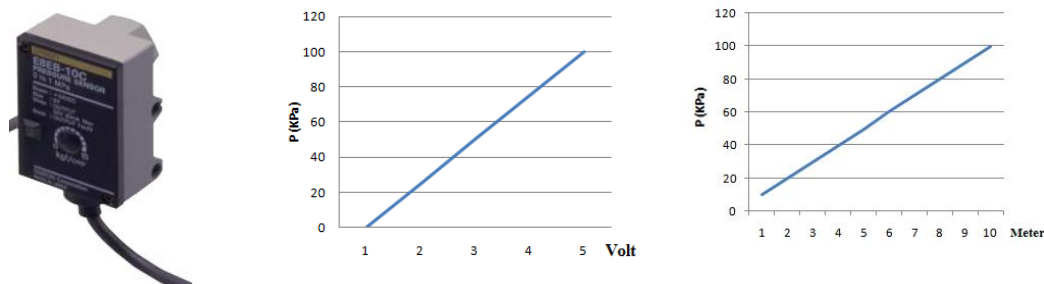
$P_0$  คือ แรงดันเกจ ( $P_0 = 101,325$  Pascal)

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ  $\text{kg/m}^3$ . ( $\rho = 1,000 \text{ kg/m}^3$  for fresh water)

$g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก in  $\text{m/s}^2$ . ( $g = 9.806 \text{ m/s}^2$ )

$h$  คือ ระดับความสูงของน้ำที่จุดนั้น





ภาพประกอบ 3.7 เซนเซอร์วัดความดันชนิดเก้จันรุ่น E8EB-01C ชนิด position ในย่าน 0 to 100 K<sub>pa</sub>

#### บอร์ดการสื่อสารไร้สาย (RF-Wireless Board)

บอร์ดนี้ใช้สำหรับการรับส่งข้อมูล จากตัวหุ่นยนต์ใต้น้ำไปยังชุดควบคุม สามารถส่งข้อมูลภาพ ข้อมูล GPS ข้อมูลทิศทางของเข็มทิศ และข้อมูลความลึก มายังชุดควบคุมบนฝั่งเพื่อแสดงผล อ่านค่าสถานการณ์การทำงาน และยังสามารถส่งข้อมูลจากบนฝั่งไปควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใต้น้ำที่อยู่ภายในน้ำได้ การรับส่งข้อมูลเป็นแบบการแปลงสัญญาณ RS232 ไปเป็นสัญญาณวิทยุไร้สาย (RF-Wireless) ความถี่ 2.4 GHz รุ่น ET-RF24G V 2.0 ของบริษัท ETT ประเทศไทย ดังภาพประกอบ 3.8

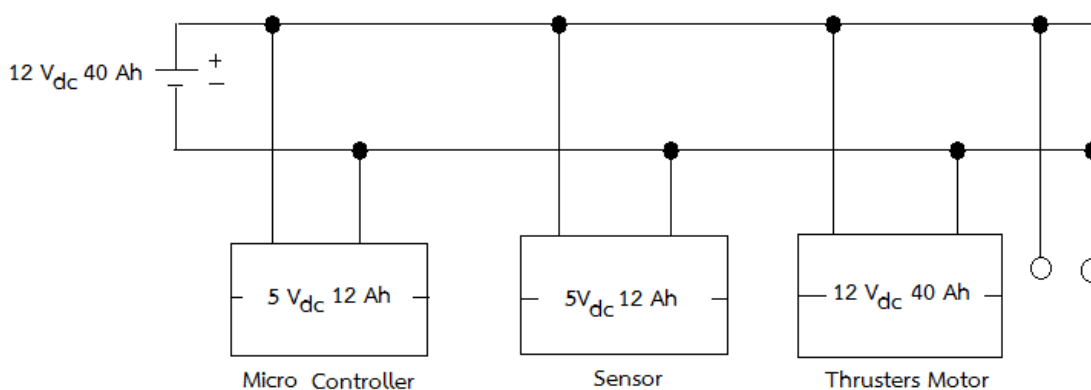


ภาพประกอบ 3.8 บอร์ดการสื่อสารไร้สาย RS232 to RF-wireless (RF2.4GHz)

#### การส่งจ่ายกำลัง (Power Supply)

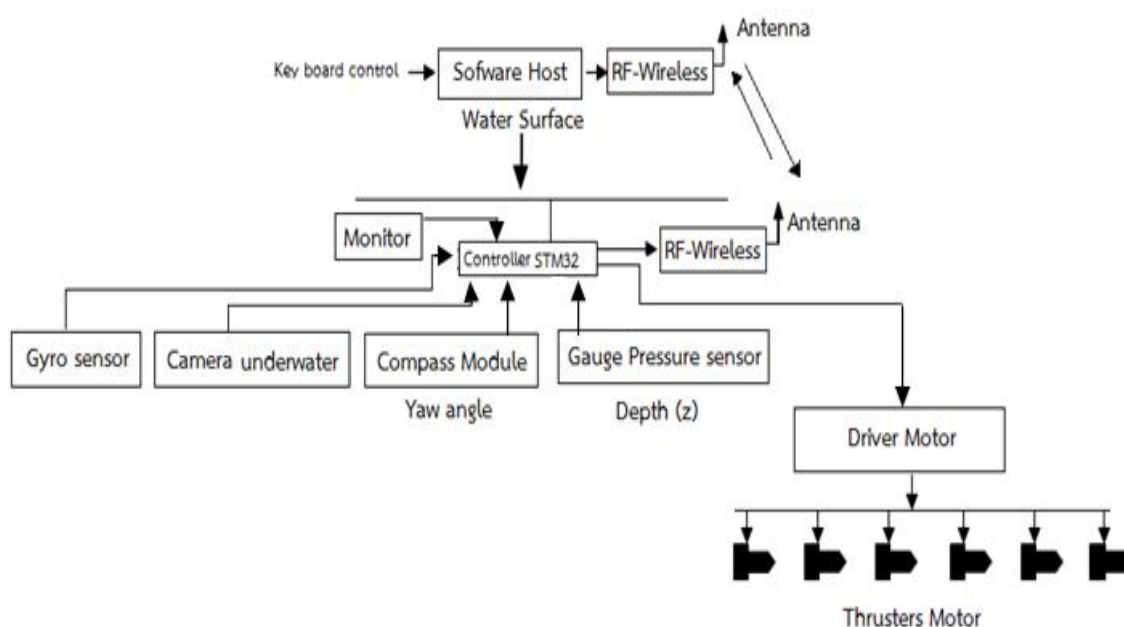
แหล่งจ่ายจ่ายกำลัง (Power Supply) ไฟฟ้าที่ใช้ในหุ่นยนต์ใต้น้ำ ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ จ่ายให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้ 5V<sub>dc</sub> 12 Ah จ่ายให้กับ Thrusters motor ใช้ 12 V<sub>dc</sub> 40 Ah และจ่ายให้กับเซนเซอร์ ใช้ 5 V<sub>dc</sub> 12 Ah ในการพิจารณาแหล่งจ่ายกำลัง (Power supply) ดังภาพรวมในภาพประกอบ 3.9





ภาพประกอบ 3.9 ภาพรวมการจัดการการส่งจ่ายกำลัง (Power Supply)

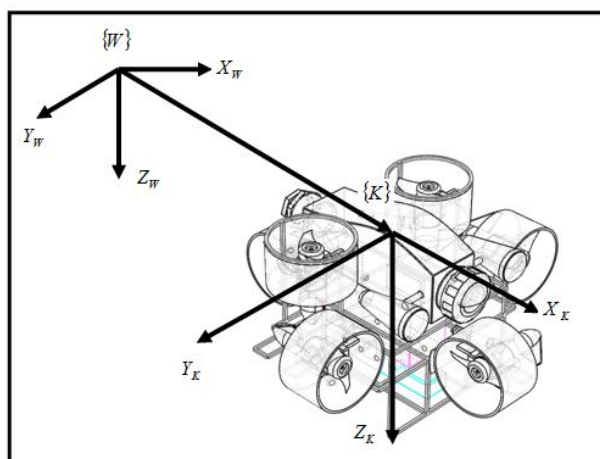
ภาพรวมระบบควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้มอเตอร์จำนวน 6 ตัวในการขับเคลื่อน เดินหน้าถอยหลัง เลี้ยวซ้ายเลี้ยวขวา ดำขึ้นดำลงใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น STM 32 ที่เก็บไว้ในตัวหุ่นยนต์ใต้น้ำ สามารถสื่อสารระหว่างตัวหุ่นยนต์ใต้น้ำไปยังพื้นบนดินด้วยบอร์ดที่ใช้ในการสื่อสารไร้สาย (RF-wireless board) การตรวจจับทิศทางมุ่งหน้าใช้เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ (Compass module HMC6352) และวัดความลึกของน้ำด้วยเซนเซอร์วัดความดันรุ่น E8EB-01C ซึ่งเป็นชนิดวัดความดันเกจ (Gauge pressure) ดังภาพประกอบ 3.10



ภาพประกอบ 3.10 ภาพรวมระบบควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ



จากภาพประกอบ 3.11 ทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติที่ออกแบบด้วย QFD ในการวิจัยนี้ เคลื่อนที่แบบ 4 องศาอิสระ คือ ดำขึ้นลง ในแกน  $Z_K$  เดินหน้าถอยหลังในแกน  $X_K$  และ เลื่อนซ้ายขวาทางแกน  $Y_K$  และสามารถหมุนซ้ายขวารอบแกน  $Z_K$



ภาพประกอบ 3.11 ทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติที่ออกแบบด้วย QFD

จากการออกแบบด้วยกรอบแนวคิด QFD ที่ผ่านมามีได้นำอุปกรณ์ต่างๆ ติดตั้งลงในตัวหุ่นยนต์ใต้น้ำที่ได้สร้างขึ้น เพื่อใช้ในการทดลองวิจัยครั้งนี้ ดังภาพประกอบ 3.12



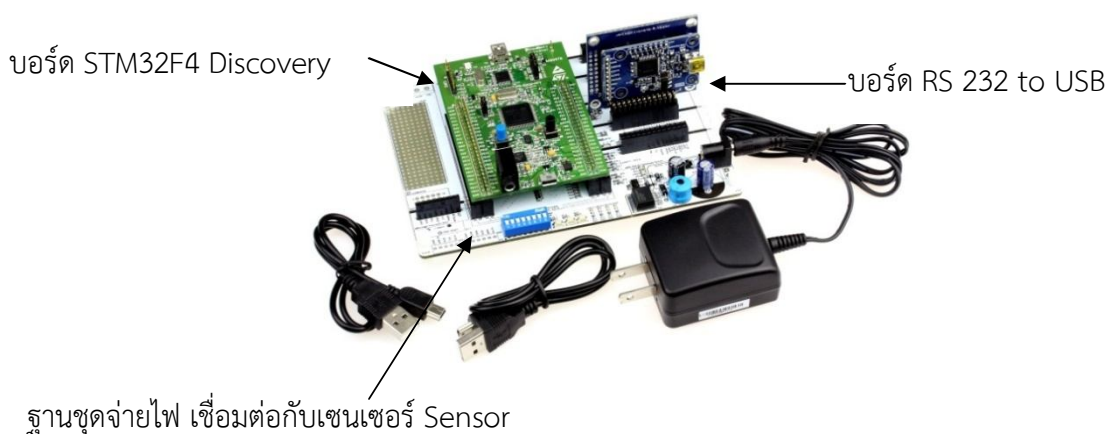
ภาพประกอบ 3.12 แสดงโครงสร้างการออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ

### 3.3 การออกแบบการควบคุมอัตโนมัติ

#### 3.3.1 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID)

รายละเอียดในการควบคุมแบบพีไอดี (PID) สามารถแบ่งการควบคุมออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ทาร์เกต (Hardware Target) และซอฟต์แวร์โฮสต์ (Software Host) ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ได้นำอัตโนมัติ รายละเอียดมีดังนี้

3.3.1.1 ฮาร์ดแวร์ทาร์เกต (Hardware target) ที่ใช้ในระบบควบคุม ใช้ซีพียู (CPU) ที่มี 32 bit อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ได้นำ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น STM32F4 Discovery ที่ได้พัฒนาขึ้นโดยบริษัท Aimagin ประเทศไทย ซึ่งมีส่วนประกอบหลักอยู่สามส่วน ดังภาพประกอบ 3.13 แสดงถึงส่วนประกอบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการวิจัยนี้



ภาพประกอบ 3.13 ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น STM32F4 Discovery

ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น STM32F4 Discovery พัฒนาโปรแกรมจาก Module บน Simulink ในโปรแกรม Matlab ซึ่งถือว่าเป็นโปรแกรมที่ได้รับการยอมรับในการทำงานด้านการคำนวณทางคณิตศาสตร์วิศวกรรม โปรแกรมที่อยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์จะเรียกว่าทาร์เกต (Target) ซึ่งจะเขียนในรูปของ Blockset module ดูภาพรวมของการทำงานในภาพประกอบ 3.14 มีรายละเอียดในการใช้งานประกอบด้วย

1) Blockset module I<sup>2</sup>C เพื่ออ่านเซ็นเซอร์ฮอลล์ (Compass sensor) ซึ่งมีคุณสมบัติในการสื่อสารข้อมูลเป็นแบบ I<sup>2</sup>C มีขาที่ใช้ในการสื่อสารคือ SDA และ SCL ใช้แสดงค่าทิศทางของหุ่นยนต์

2) Blockset module USART ใช้เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ กรณีที่ต้องการส่งค่าจากคอมพิวเตอร์ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อการประมวลผลข้อมูลให้เกิดข้อมูลแบบเวลาจริง (Real time)

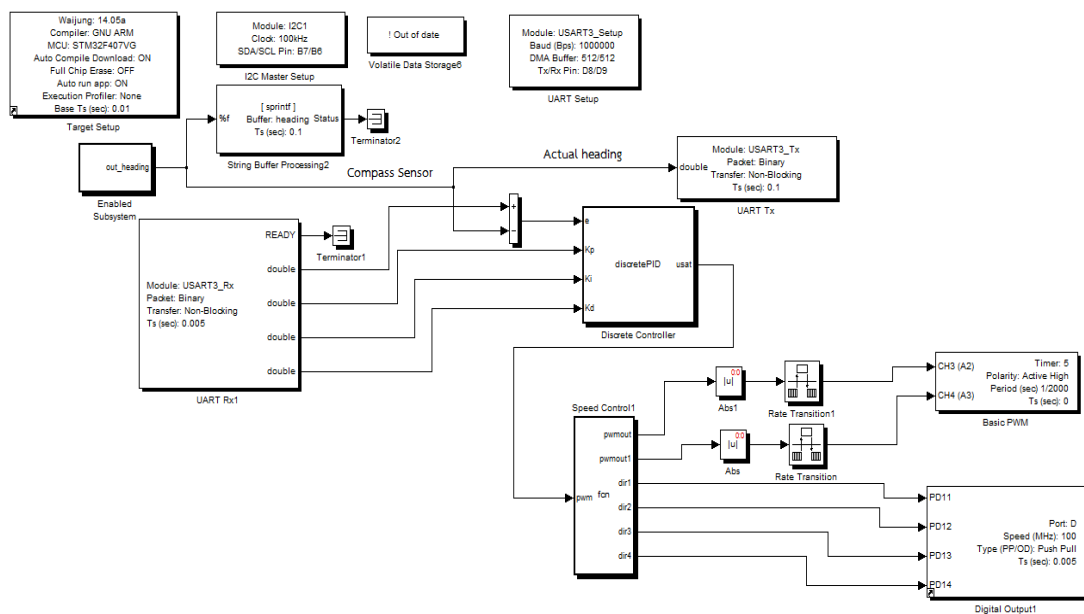
3) Blockset module discrete PID ใช้เก็บสมการคำนวณตัวควบคุม PID ซึ่งส่วนประกอบใน module นั้นจะประกอบด้วยตัวอินพุตใช้รับค่า  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  และอินพุต Error ที่ถูกส่งมาจากฝั่ง Host บน คอมพิวเตอร์สื่อสารผ่าน Module USART RX เมื่อสมการควบคุม PID ได้ค่า  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$



และอินพุต ค่าผิดพลาด (Error) จะทำการคำนวณค่าตามกระบวนการควบคุมของ PID Controller แล้วส่งค่าออกไปที่เอาต์พุตเป็น PWM ที่ต่อไปยังกล่อง Function ชื่อ Blockset module speed control ซึ่งใช้กำหนดเงื่อนไขในงานควบคุมการเปลี่ยนทิศทางซ้ายขวาของหุ่นยนต์ใต้น้ำ เตรียมพร้อมที่จะต่อออกภายนอกไปยังบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ (Motor Driver Board) ขับให้มอเตอร์ขับ (Thrustor motor) หมุน

4) Blockset module speed control ใช้เก็บเงื่อนไขสมการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ใต้น้ำเงื่อนไขของการส่งค่า PWM ออกเพื่อกำหนดความเร็วเข้าในการหมุนมอเตอร์ขับ ((Thrustor motor) ส่วน dir1 และ dir2 ที่อยู่ในโปรแกรมจะเป็นตัวกำหนดทิศทางการหมุนมอเตอร์ขับ (Thrustor motor) ส่งออกไปยังบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ (Motor driver board) ต่อไป

5) Blockset module USART Tx ใช้สำหรับส่งข้อมูลกลับไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่ออ่านค่าทิศทางของหุ่นยนต์ใต้น้ำที่กำหนดด้วยเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ (Compass module รุ่น HMC6352) โดยให้แสดงผลผ่านซอฟต์แวร์โฮสต์ (Software host)



ภาพประกอบ 3.14 ภาพรวมโปรแกรมที่อยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ทาร์เกต (Target)

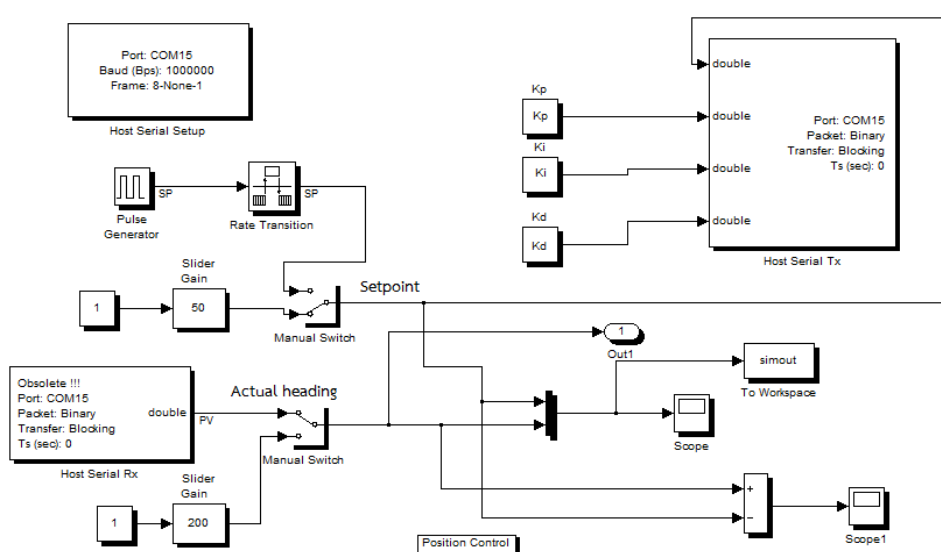
3.3.1.2 ซอฟต์แวร์โฮสต์ (Software host) คือส่วนของโปรแกรมที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้แสดงค่าทิศทางของหุ่นยนต์ใต้น้ำ ใช้เชื่อมต่อกับสมการ PSO ที่อยู่ในรูปของ M.file เพื่อควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ใต้น้ำ ซึ่งจะต้องเชื่อมต่อไปยังฮาร์ดแวร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ทาร์เกต (Target) ตลอดการทำงาน ดังภาพประกอบ 3.15 มี Blockset module ในโปรแกรมประกอบด้วย

- 1) Blockset module Port 15 เป็นตัวกำหนดการเชื่อมต่อสื่อสารระหว่าง ฮาร์ดแวร์ทาร์เกต (Hardware target) กับซอฟต์แวร์โฮสต์ (Software host) ผ่านสาย USB พอร์ตที่ 15
- 2) Blockset module Host serial Tx ใช้รองรับค่า  $K_p$ ,  $K_i$  และ  $K_d$  ที่ได้รับการป้อนจากผู้ใช้งานเพื่อที่จะส่งค่าไป ฮาร์ดแวร์ทาร์เกต (Hardware target)



3) Blockset module Host serial Rx จะนำค่าทิศทางมุ่งหน้าทีอ่านได้จากเข็มทิศจากฮาร์ดแวร์ทาร์เกต (Hardware Target) มาแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ด้วยซอฟต์แวร์โฮสต์ (Software host)

4) บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์โฮสต์ (Software Host) มีเงื่อนไขในการแสดงผลการทำงานคือ เปรียบเทียบผลระหว่างค่าที่ Setpoint กับผลตอบสนองค่าที่อ่านจากเข็มทิศ (Actual heading) ของหุ่นยนต์ซึ่งจะแสดงใน Scope เปรียบเทียบผลตามเงื่อนไขการบวกลบเพื่อที่จะให้แสดงผลตอบสนองค่าความผิดพลาด (Error) ของทิศทางการเคลื่อนที่ควบคุมซึ่งจะแสดงผลตอบสนองบน Scope1



ภาพประกอบ 3.15 ภาพรวมโปรแกรมที่ประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์โฮสต์ (Software Host)

รูปแบบการควบคุมพีไอดีสามารถดูได้ในภาพประกอบ 3.15 จากภาพ setpoint จะเป็นตัวกำหนดค่าของทิศทางที่ต้องการให้หุ่นยนต์ได้น้ำเคลื่อนที่ไป ส่วนค่า error คือผลตอบสนองที่เกิดขึ้นจากผลต่างของค่าทิศทางที่หุ่นยนต์ขณะที่เคลื่อนที่มุ่งหน้า (Actual heading) ลบกับค่าตำแหน่ง setpoint ที่กำหนดไว้ครั้งก่อน ค่า error ที่ได้มาจะถูกป้อนไปยังบล็อก PID controller ซึ่งจะคำนวณค่าตามสมการที่ 5 ส่วนค่าอัตราขยาย  $K_p$ ,  $K_i$  และ  $K_d$  นั้นได้คำนวณด้วยวิธีการ ZN-PID turning ค่า Disturbance คือสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นกับตัวหุ่นยนต์ได้น้ำ

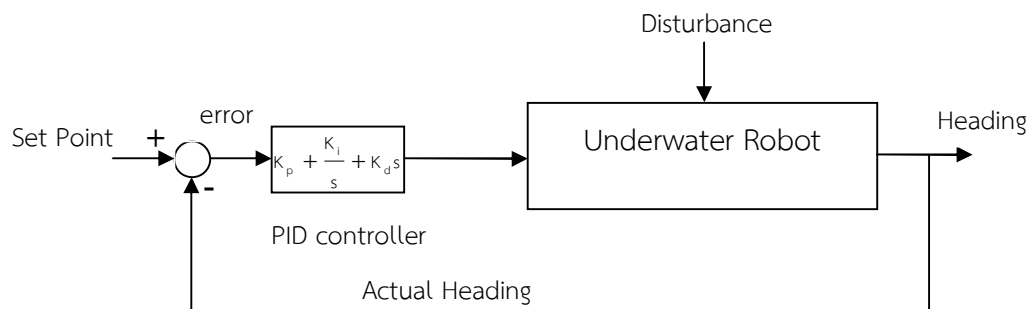
สมการ PID เบื้องต้นที่ใช้งานควบคุม คือ

$$u(t) = K_p \times e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (5)$$

เมื่ออยู่ในรูปของ S Domain PID เขียนได้ดังสมการที่ 6

$$c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (6)$$





ภาพประกอบ 3.16 บล็อกไดอะแกรมรวม (PID Controller)

จากสมการที่ 6 จะถูกเขียนโปรแกรมไว้ในฟังก์ชัน target ด้วย ภาษาซี (C) ใน Blockset module discrete PID ซึ่ง Blockset module นี้จะรับค่าอินพุต ค่า  $K_p$ ,  $K_i$ , และ  $K_d$  พร้อมกับค่าความผิดพลาด (Error) ซึ่งโปรแกรมที่ใช้งานสามารถเขียนได้ดังภาพประกอบ 3.17

```
function usat = discretePID(Error, Kp, Ki, Kd)
persistent ul
persistent eold
if isempty(eold)
ul = 0; % integral term
eold= Error;
end
h = 0.005; % Sample time (sec)
uP=Kp* Error;
ul=ul+Ki*h* Error;
uD=Kd/h*( Error -eold);
usat=saturate(uP+ul+uD,-100,100);
eold= Error;
function output = saturate(input, lowlimit, highlimit)
output = input;
if (output > highlimit)
output = highlimit;
elseif (output < lowlimit)
output = lowlimit;
end
```

ภาพประกอบ 3.17 โปรแกรมใน Blockset module discrete PID



### 3.3.1.3 การปรับค่า PID ด้วยวิธีการซิกเลอร์นิโคลส์ (ZN-PID Turning)

วิธีการซิกเลอร์นิโคลส์ (ZN-PID Turning) เป็นวิธีการหนึ่งที่ได้การยอมรับในการหาพารามิเตอร์พีไอดี ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ได้นำไปให้เกิดประสิทธิภาพในการควบคุม วิธีการหาค่าอัตราขยายพีไอดีจากวิธีการซิกเลอร์นิโคลส์ (ZN-PID Turning) จะใช้ตาราง 3.7 เพื่อใช้คำนวณหาค่าอัตราขยายพีไอดี

ตาราง 3.7 การคำนวณค่าอัตราขยายพีไอดี ด้วยวิธีการซิกเลอร์นิโคลส์ (Ziegler Nichols Method)

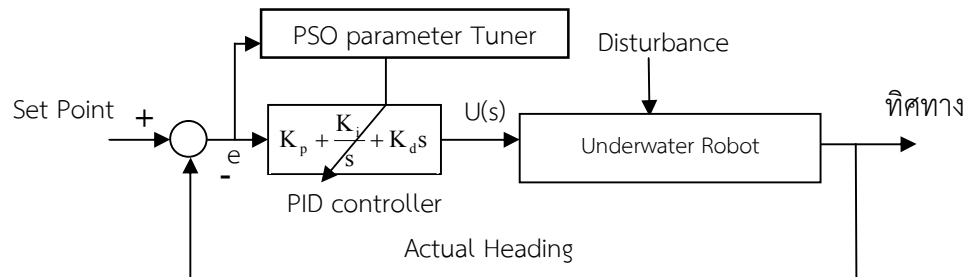
ชนิดของคอนโทรลเลอร์	อัตราขยาย	สมการที่ใช้คำนวณ
(P)	$K_p$	$=0.5 \cdot K_u$
(PI)	$K_p$	$=0.45 \cdot K_u$
	$K_i$	$=1.2/T_u$
(PID)	$K_p$	$=0.6 \cdot K_u$
	$K_i$	$=2/T_u$
	$K_d$	$=T_u/8$

### 3.3.2 การปรับค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดีด้วยเทคนิค PSO (Particle swarm optimization technique)

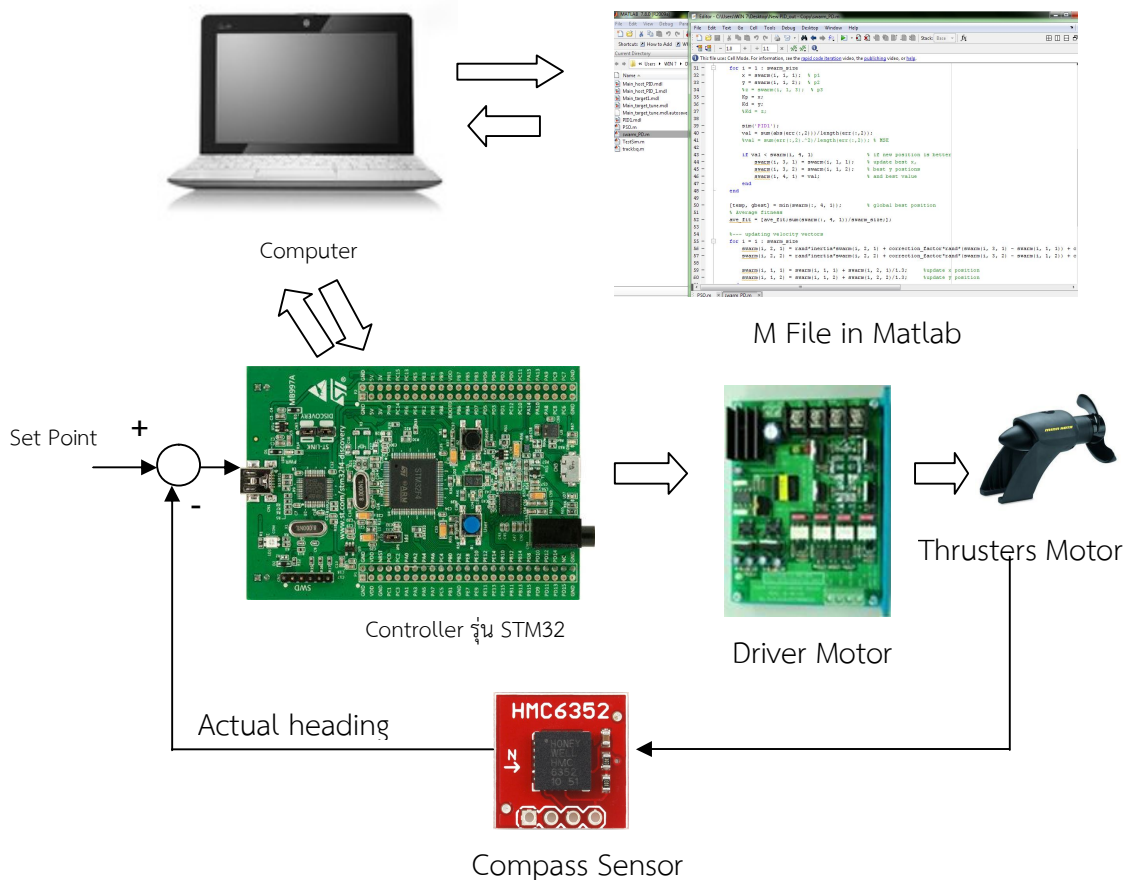
การหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดีด้วยเทคนิค PSO (Particle swarm optimization technique) เป้าหมายของการปรับค่าคือ ความต้องการอัตราขยายค่า  $K_p$ ,  $K_i$ , และ  $K_d$  ที่ได้จากกระบวนการคำนวณจากสมการที่ 8 กับ 9 เป็นสมการหลัก ซึ่งวิธีการเริ่มจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ควบคุมคือ จำนวนอนุภาค (Particle) ขนาด (Dimension) ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight,  $w$ ) ค่าคงที่  $C_1$  และ  $C_2$  และกำหนดจำนวนรอบการคำนวณสูงสุด (Iteration) ในการทำงาน ซึ่งคำสั่งหรือ Code โปรแกรม จะถูกเขียนด้วยภาษาซี บนโปรแกรม Matlab ในหน้าต่าง Editor ที่เป็น M.file เมื่อกระบวนการทำงานของโปรแกรมเกิดขึ้น แล้วโปรแกรม (PSO online-tuning technique) จะทำการกำหนดค่าให้  $K_p$ ,  $K_i$ , และ  $K_d$  ส่งผ่านไปยังโปรแกรมตามภาพประกอบ 3.14 ภาพรวมโปรแกรมที่ประมวลผลบนซอฟต์แวร์โฮสต์ (Software host) แทนการป้อนค่า  $K_p$ ,  $K_i$ , และ  $K_d$  ด้วยค่าเริ่มแรกก่อนค่าใดค่าหนึ่ง ด้วยวิธีการ Random ค่า จากนั้นโปรแกรมในส่วนซอฟต์แวร์โฮสต์ (Software host) ก็จะส่งค่าข้อมูลไปยังฮาร์ดแวร์เทอร์เกต (Hardware target) หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้หุ่นยนต์ได้นำเปลี่ยนไปยังทิศทางที่ Setpoint กำหนดเมื่อการทำงาน 1 รอบเสร็จสิ้น จะทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดของแต่ละอนุภาคไว้ในตัวแปร Pbest และทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดของอนุภาคทั้งหมดไว้ในตัวแปร Gbest ไว้ก่อนโปรแกรม (Software host) จะคอยตรวจสอบผลของค่าผิดพลาด (Error) เมื่อผลแล้วส่งกลับไปยังโปรแกรมที่อยู่ในส่วนของ M.file เพื่อนำมาวิเคราะห์และปรับปรุงหาค่า  $K_p$ ,  $K_i$ , และ  $K_d$  ที่จะป้อนค่าใหม่ในรอบต่อไป การทำงานจะถูกปรับเปลี่ยนไปในการทำงานแต่ละรอบจนได้ค่าผิดพลาด (Error) เป็น 0 ซึ่งเป็นไปตามดัชนีประสิทธิภาพการ (Performance indices) ของ (PSO online-tuning technique) เมื่อเสร็จสิ้นรอบการทำงานที่กำหนดไว้ทั้งหมด โปรแกรมจะคำนวณและแสดงค่าพารามิเตอร์  $K_p$ ,  $K_i$  และ



$K_d$  ที่ดีที่สุดออกมา ซึ่งดูรายละเอียดเพิ่มเติมที่ภาพประกอบ 3.19 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดของ (PSO online-tuning technique)



ภาพประกอบ 3.18 บล็อกไดอะแกรมการหาพารามิเตอร์ด้วย (PSO online-tuning PID)

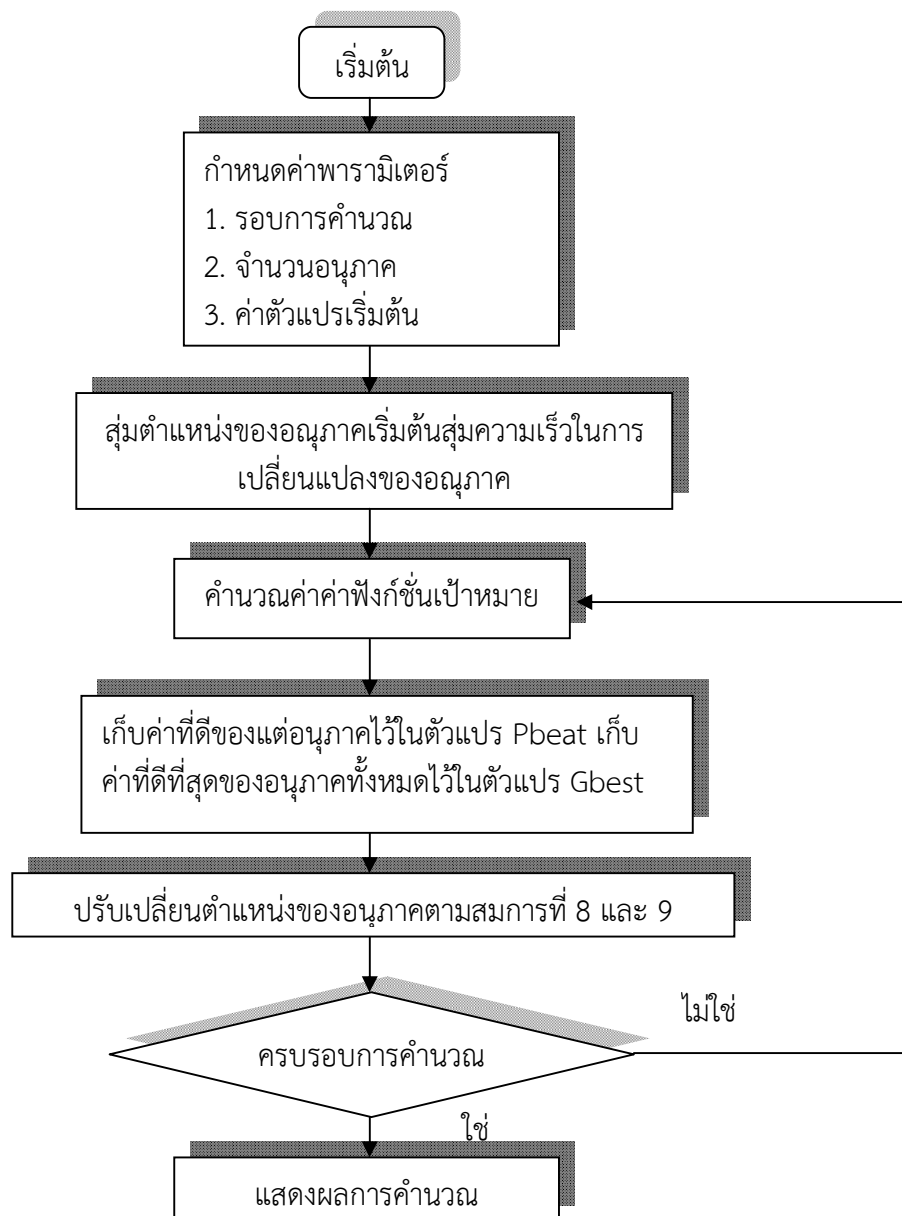


ภาพประกอบ 3.19 บล็อกการทำงาน PSO online-tuning PID

จากภาพประกอบ 3.18 แสดงบล็อกการทำงาน PSO online-tuning PID ภายในภาพประกอบไปด้วยคอมพิวเตอร์ที่เป็นตัวกลางการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรม M File ใน Matlab ที่เขียนคำสั่ง PSO ไว้พร้อมมีโปรแกรมตามภาพประกอบ 3.14 ภาพรวมโปรแกรมที่ประมวลผลบนซอฟต์แวร์โฮสต์ (Software host) เชื่อมต่อผ่านสาย USB กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น STM32 ที่มีโปรแกรมตามภาพประกอบ 3.18 ภาพรวมโปรแกรมที่อยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ทาร์เกต (Target) โดยมี เซนเซอร์เข็มทิศ (Compass Sensor) เป็นตัวกำหนดทิศทางในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ได้นำมีบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ (Motor Driver Board) เป็นตัวสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังมอเตอร์ขับ (Thrusters Motor) ใช้ในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ได้นำไปยังเป้าหมายที่กำหนด

จากภาพประกอบ 3.19 แสดงขั้นตอนการคำนวณหาค่าคำตอบของ (PSO online-tuning technique) ซึ่งเริ่มต้นจากการกำหนดค่ากำหนดค่าพารามิเตอร์ของรอบการคำนวณ จำนวนอนุภาค และ ค่าตัวแปรเริ่มต้น จากนั้นโปรแกรมจะทำการสุ่มตำแหน่งของอนุภาคเริ่มต้นสุ่มความเร็วในการเปลี่ยนแปลงของอนุภาค แล้วทำการคำนวณค่าฟังก์ชันเป้าหมาย พร้อมกับเก็บค่าที่ดีที่สุดของแต่ละอนุภาคไว้ในตัวแปร Pbest และเก็บค่าที่ดีที่สุดของอนุภาคทั้งหมดไว้ในตัวแปร Gbest กับทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคตามสมการที่ 8 และ 9 เมื่อครบรอบการคำนวณถ้าไม่ใช่จะกลับไปคำนวณค่าฟังก์ชันเป้าหมาย แต่ถ้าใช่จะแสดงผลแสดงผลการคำนวณเป็นผลของคำตอบ





ภาพประกอบ 3.20 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าคำตอบของ (PSO online-tuning technique)

### 3.3.2.1 หลักการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization)

วิธีการในการหาค่าที่ดีที่สุด แบบฝูงอนุภาค PSO มีสมการในการทำงานดังนี้  
เซตข้อมูลของอนุภาคแต่ละตัว ดังสมการที่ 7

$$P_k = \{x, v, \text{fitness value}, Gbest, Pbest\} \quad (7)$$



เมื่อกำหนดให้

$P$	คือ	อนุภาคประกอบด้วย $P_k = P_1, P_2, \dots, P_k$
$K$	คือ	จำนวนอนุภาค
$X$	คือ	ตำแหน่งที่อนุภาคที่อยู่ในปัญหา เขียนอยู่ในรูปของ $X_d = X_1, X_2, \dots, X_d$
$d$	คือ	จำนวนมิติของปัญหา
$V$	คือ	ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาค ประกอบด้วยเวกเตอร์ตามขนาดมิติของปัญหา $V_d = \{V_{p1}, V_{p2}, \dots, V_{pd}\}$
Fitness Value	คือ	ค่าความเหมาะสมของอนุภาคนั้น สามารถคำนวณได้จากฟังก์ชันเป้าหมายดังนี้ Fitness value objective function (x)
$Gbest$	คือ	ค่าตำแหน่งที่อนุภาคนั้นได้ค่าความเหมาะสมสูงสุด โดย $Gbest_d = \{Gbest_{1d}, Gbest_{2d}, \dots, Gbest_{kd}\}$
$pbest$	คือ	ค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดที่กลุ่มอนุภาครุ่นปัจจุบันได้ โดย $Pbest_d = \{Pbest_{1d}, Pbest_{2d}, \dots, Pbest_{kd}\}$

สมการคำนวณ PSO

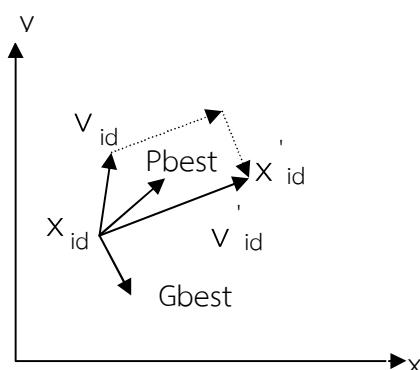
$$v_d = w \times v_d + c_1 \times r_1 \times (pbest - x_d) + c_2 \times r_2 \times (gbest - x_d) \quad (8)$$

$$v_d = v_d + v'_d \quad (9)$$

เมื่อกำหนดให้

$V'_d$	คือ	ค่าความเร็วที่คำนวณได้จากอนุภาครุ่นปัจจุบัน
$V_d$	คือ	ค่าความเร็วที่คำนวณได้จากอนุภาครุ่นก่อน
$X_d$	คือ	ตำแหน่งที่คำนวณได้จากอนุภาครุ่นปัจจุบัน
$X'_d$	คือ	ตำแหน่งที่คำนวณได้จากอนุภาครุ่นก่อน
$w$	คือ	ค่าการถ่วงน้ำหนัก เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมผลกระทบของความเร็วที่การวนซ้ำก่อนหน้าที่มีผลต่อความเร็วในการวนซ้ำปัจจุบันของอนุภาคทั้ง $K$ ตัว
$c_1$ และ $c_2$	คือ	ค่าคงที่อัตราเร่งในการค้นหา
$r_1$ และ $r_2$	คือ	ค่าตัวเลขสุ่ม (Random number) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1



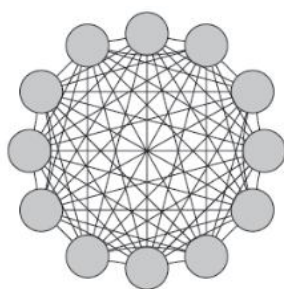


ภาพประกอบ 3.21 แผนภาพการค้นหาข้อมูลของ PSO [24]

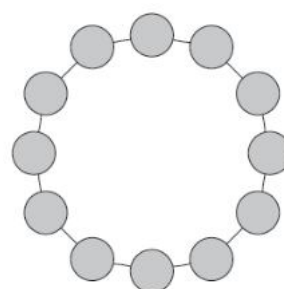
โดยทั่วไปแล้ว การค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของ PSO มีสองรูปแบบคือ [23,26]

1) รูปแบบสากล (Global version) ใช้การเปรียบเทียบตำแหน่งของอนุภาคแต่ละตัวกับตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Global best position) ซึ่งก็คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ฝูงทั้งฝูงค้นพบ ภาพประกอบ 3.22 (ก) แสดงให้เห็นแบบโครงสร้างสากล (Global topology) หรือ Gbest model

2) รูปแบบเฉพาะที่ (Local version) การสื่อสารเกิดขึ้นผ่านทางตำแหน่งที่ดีที่สุดเฉพาะกลุ่ม (Neighbors' best position) ซึ่งหมายถึง อนุภาคแต่ละตัวสื่อสารกับอนุภาคตัวอื่นเฉพาะบางตัวที่ถูกเลือกมาโดยวิธีการใดวิธีการหนึ่งแล้วเท่านั้น ภาพประกอบ 3.22 (ข) แสดงให้เห็นแบบโครงสร้างเฉพาะที่ (Local topology) หรือ (Lbest model) ในรูปแบบวงแหวน



(ก) gbest topology



(ข) lbest topology

ภาพประกอบ 3.22 แบบโครงสร้างของฝูงอนุภาค [24]

วิธี PSO แบบมาตรฐาน [24] ตำแหน่งที่ดีที่สุดสากลถูกใช้เป็นแหล่งข้อมูลเดียวที่ใช้ติดต่อกันในฝูง การใช้ตำแหน่งที่ดีที่สุดสากลนำมาสู่การทำให้อนุภาคในฝูงบินมาตัวรวมกันอย่างรวดเร็ว ทำให้ฝูงอนุภาคติดอยู่ในจุดที่ดีที่สุดเฉพาะที่ ด้วยจุดอ่อนนี้ของ PSO มาตรฐาน ทำให้นักวิจัยปรับปรุงวิธี PSO แบบใหม่ๆ โดยการใช้ตำแหน่งที่ดีที่สุดเฉพาะกลุ่มแบบต่างๆ [35-36] แทนการใช้ตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล





### 3.3.2.2 ดัชนีประสิทธิภาพการทำงานสำหรับ PSO

ดัชนีประสิทธิภาพ คือฟังก์ชันของเกณฑ์ข้อผิดพลาด การหาประสิทธิภาพในการทำงานตัวควบคุม ที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นการประเมินค่าที่ดีที่สุด ซึ่งใช้ในการหาค่า PSO ในการควบคุมหุ่นยนต์ได้น้ำนี้ใช้ ค่าปริพันธ์ของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (Integral Absolute Error : IAE) กำหนดโดยสมการที่ 10

$$I_{IAE} = \int_0^T |e(t)| dt \quad (10)$$

โดยที่  $IAE$  คือน้ำหนักข้อผิดพลาดกับเวลาจะเน้นค่าความผิดพลาดในช่วงจาก 0 ถึง T โดยที่ T คือ ค่าที่คาดว่าจะเป็ค่า settling time ของตัวควบคุม



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการอภิปราย

#### 4.1 ผลการทดลอง

ในการวิจัยการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์อัตโนมัติได้นำ ตามกรอบแนวคิด QFD (Quality function deployment ) และวิธีการควบคุมแบบอัตโนมัติ ในกรณีศึกษาความต้องการของทหารเรือไทย สำนักงานวิจัยและพัฒนาทหารเรือไทย สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

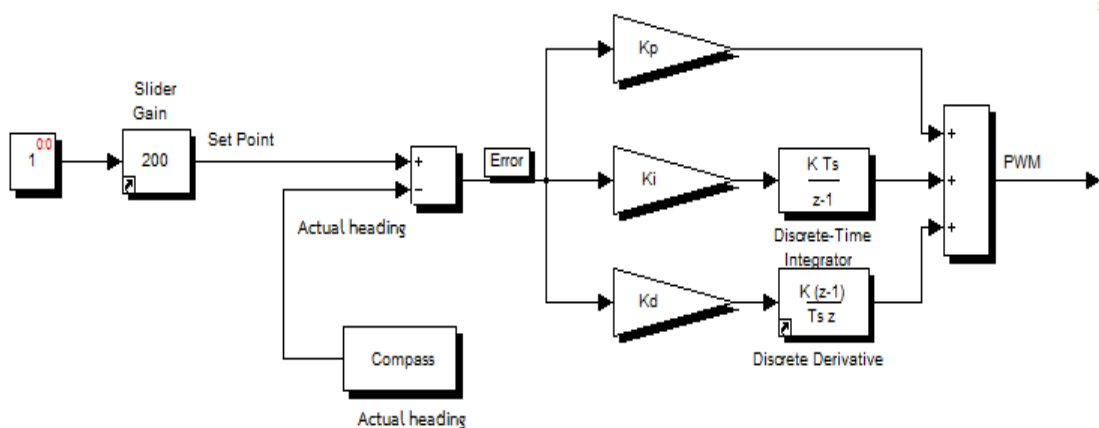
4.1.1 ผลการทดลองตัวควบคุมอัตราขยายพีไอดีโดยใช้เทคนิคของซิกเลอร์นิโคลส์ (Ziegler Nichols)

การหาค่าตัวควบคุมอัตราขยายพีไอดีในงานวิจัยนี้ใช้ สมการ PID เมื่ออยู่ในรูปของ S Domain ดังสมการที่ 1 เป็นต้นแบบในการคำนวณค่า

$$u(t) = K_p \times e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

$$c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (2)$$

จากสมการ นำมาเขียนบล็อกการควบคุมอัตราขยายพีไอดีใน Simulink module ของ matlab ได้ดังภาพประกอบ 4.1

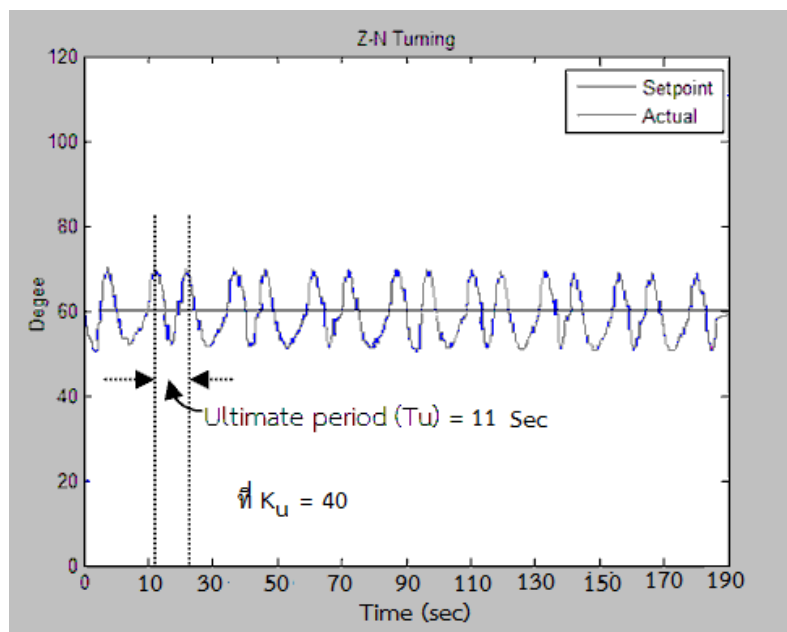


ภาพประกอบ 4.1 บล็อกการควบคุมอัตราขยายพีไอดี



ในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมโดยใช้เทคนิคของซิกเลอร์นิโคลส์ (Ziegler Nichols) มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนในการคำนวณด้วยการป้อนค่า  $K_p$  โดยกำหนดค่า  $K_i$  และค่า  $K_d$  มีค่าเท่ากับ 0 แล้วค่อยๆปรับค่า  $K_p$  เพิ่มขึ้นจนเกิดการแกว่ง (Oscillate) ผลตอบสนองของทิศทางการมุ่งหน้า (Heading) ดังภาพประกอบ 4.2 ซึ่งจากการทดลองได้ค่าดังกล่าวของ  $K_u$  เท่ากับ 40 ตามตาราง 4.1



ภาพประกอบ 4.2 ผลตอบสนองทิศทางการมุ่งหน้าเมื่อทำการป้อน Gain เท่ากับ 40

ตาราง 4.1 การคำนวณค่าอัตราขยายด้วยวิธีซิกเลอร์นิโคลส์ (Ziegler Nichols)

ตัวควบคุมพีไอดี	อัตราขยาย	สมการคำนวณอัตราขยาย
(P)	$K_p$	$=0.5 \cdot K_u$
(PI)	$K_p$	$=0.45 \cdot K_u$
	$K_i$	$=1.2/T_u$
(PID)	$K_p$	$=0.6 \cdot K_u$
	$K_i$	$=2/T_u$
	$K_d$	$=T_u/8$



ขั้นตอนที่ 2 ทำการคำนวณหาค่าอัตราขยาย จากตาราง 4.1

จากภาพประกอบ 4.2  $K_u = 40$  ,  $T_u = 23-12=11$  วินาที

กรณีเป็นตัวควบคุมแบบ P ค่า  $K_p = (0.5*40) = 20$

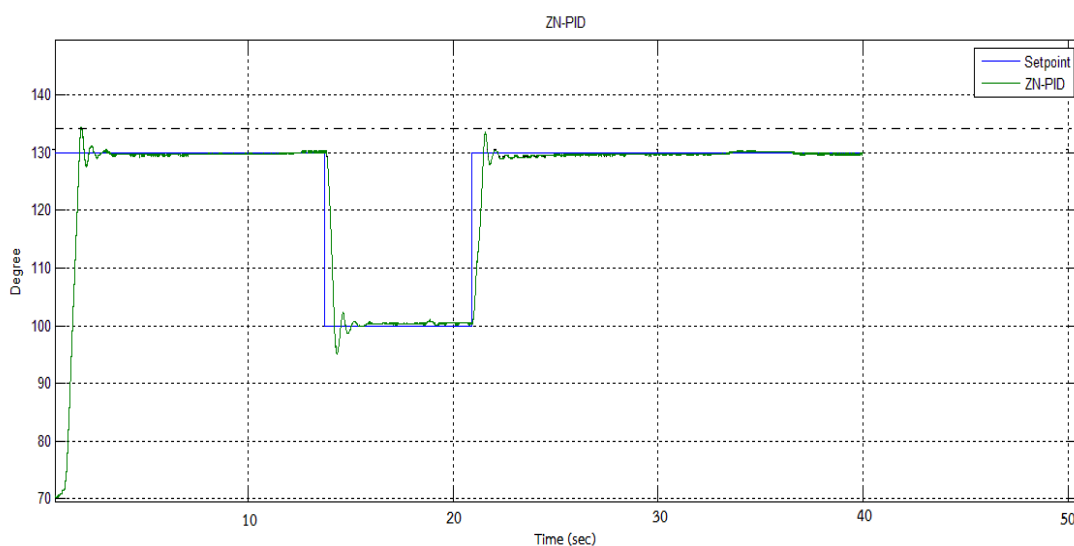
กรณีเป็นตัวควบคุมแบบ PI ค่า  $K_p = (0.45*40) = 18$ ,  $K_i = (1.2/11) = 0.109$

และกรณีเป็นตัวควบคุมแบบ PID ค่า  $K_p = (0.6*40) = 24$ ,  $K_i = (2/11) = 0.181$ ,  $K_d = (11/8) = 1.375$

ตาราง 4.2 ค่าอัตราขยายตัวควบคุมพีไอดีแบบซิกเลอร์นิโคลส์ (Ziegler Nichols)

ตัวควบคุมพีไอดี	อัตราขยาย
(P)	$K_p=20$
(PI)	$K_p=18$
	$K_i = 0.109$
(PID)	$K_p= 24$
	$K_i= 0.181$
	$K_d=1.375$

ขั้นตอนที่ 3 นำค่าอัตราขยาย  $K_p$ ,  $K_i$  และ  $K_d$  ที่ได้มาจากขั้นตอนที่ 2 ป้อนให้กับตัวควบคุม PID โดยตั้ง SetPoint ไว้ที่ 130 และ 100 องศา ได้ผลตอบสนองดังภาพประกอบ 4.3



ภาพประกอบ 4.3 ผลตอบสนองทิศทางการมุ่งหน้าด้วยวิธีซิกเลอร์นิโคลส์ (Ziegler Nichols)

จากภาพประกอบ 4.2 พบว่าผลตอบสนองมีค่าพุ่งเกิน (Overshoot) =6.7 % ค่าเวลาสู่ความสมดุล (Settling time) =3.4 วินาทีและมี ค่าความผิดพลาดของสถานะคงตัว (Steady state error) = 0.5 องศาที่ setpoint 130 องศา



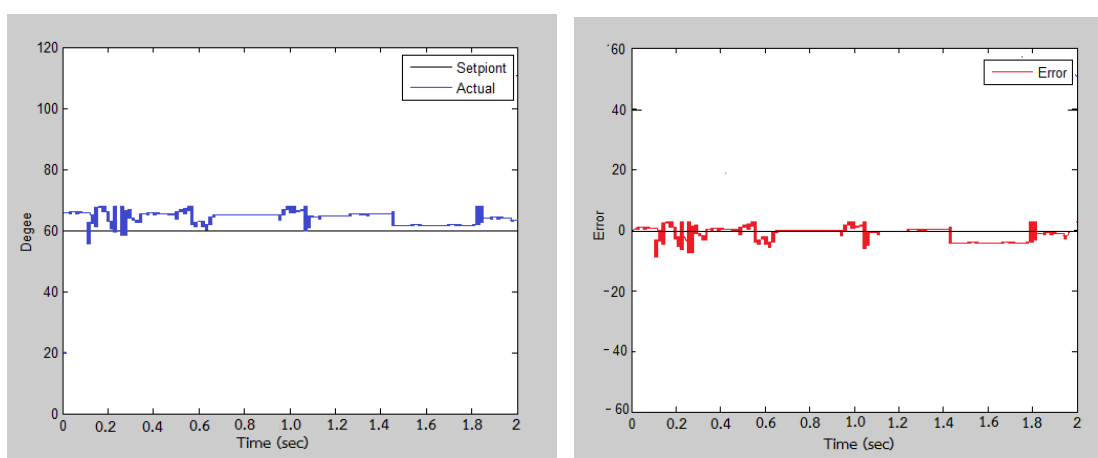
#### 4.1.2 ผลการทดลองตัวควบคุมแบบ PID ที่ปรับค่าพารามิเตอร์โดยใช้เทคนิค PSO แบบออนไลน์ (PSO online-tuning technique)

การหาค่าพารามิเตอร์โดยใช้เทคนิค PSO แบบออนไลน์ (PSO online-tuning technique) นั้นมีความยากในการออกแบบพัฒนาการควบคุมอาจเป็นเพราะในอดีต ความสามารถของตัวคอนโทรลเลอร์มีความเร็วในการประมวลผลต่ำ ทำให้ต้องใช้แบบจำลองการทำงานของฐานทดลองก่อนนำมาทดลองกับงานจริง ด้วยเหตุผลนี้จะต้องหาฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของฐานทดลอง ที่ต้องการควบคุมก่อน ซึ่งเป็นสิ่งที่ลำบากเพราะสภาพของจริงกับสภาพแบบจำลองนั้นแตกต่างกันมาก ในงานวิจัยนี้พยายามที่จะดำเนินการหาค่าอัตราขยายของตัวควบคุมพีไอดีโดยใช้เทคนิค PSO แบบออนไลน์ (PSO online tuning technique) สิ่งที่จะต้องกำหนดเบื้องต้นในขั้นตอนการคำนวณของ PSO คือ การกำหนดจำนวนอนุภาค (Particle) ขนาด (Dimension) ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight,  $w$ ) ค่าคงที่  $C_1$  และ  $C_2$  และ จำนวนรอบการคำนวณสูงสุด (Iteration) ในการทำงาน ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ค่าพารามิเตอร์ของ PSO ในการปรับค่าที่ดีที่สุดของอัตราขยายพีไอดี (PSO online-tuning)

ค่าพารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
จำนวนอนุภาค (Particle)	30
ขนาด (Dimension)	2
ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight $w$ )	$W_{\max} = 0.9, W_{\min} = 0.4$
ค่าคงที่ $C_1$ และ $C_2$	0.7, 0.7
จำนวนรอบการคำนวณสูงสุด (Iteration)	60

ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย PSO online-tuning ในขณะที่กำลังปรับค่าสามารถดูได้ในภาพประกอบ 4.4 ถึง 4.12

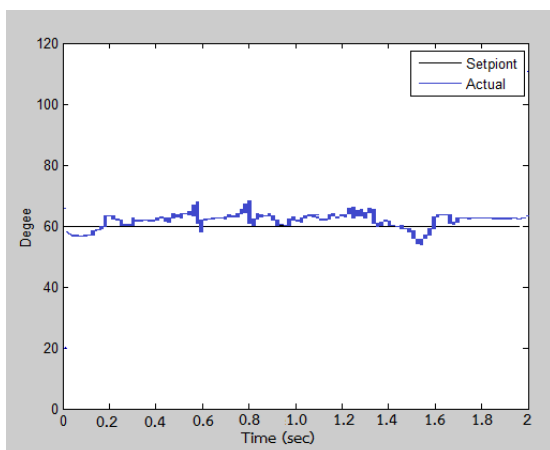


(ก) ทิศทางการมุ่งหน้า (Heading)

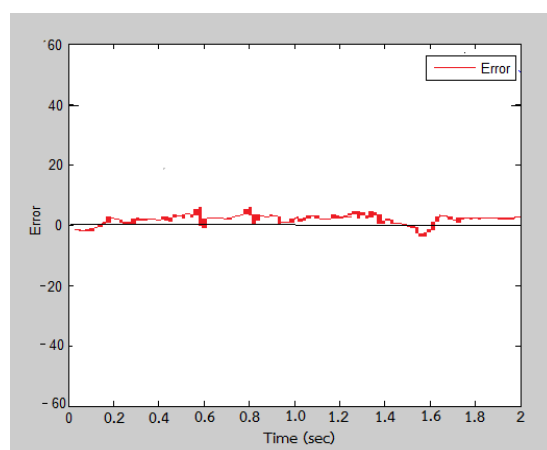
(ข) ค่าความผิดพลาด (Error)

ภาพประกอบ 4.4 ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ ด้วย PSO online-tuning ที่เวลา 0.00 วินาที



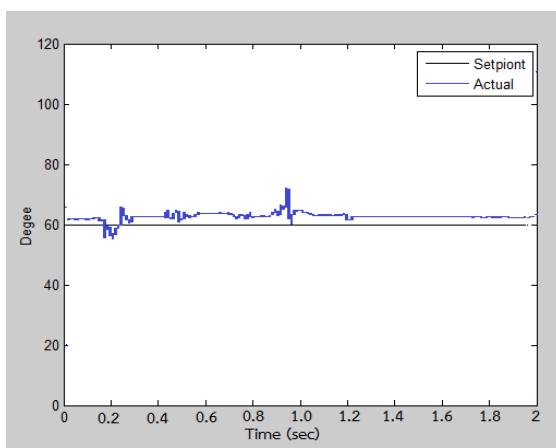


(ก) ทิศทางการมุ่งหน้า (Heading)

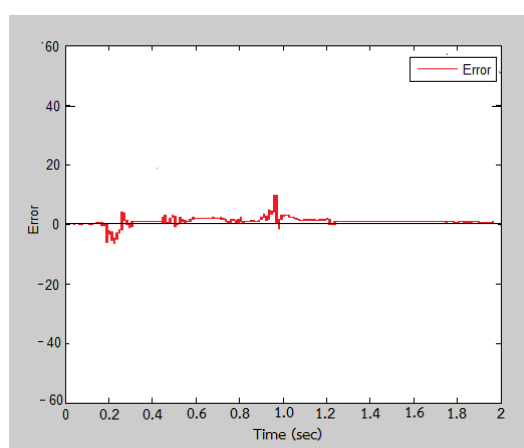


(ข) ค่าความผิดพลาด (Error)

ภาพประกอบ 4.5 ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย PSO online-tuning ที่เวลา 0.27 วินาที

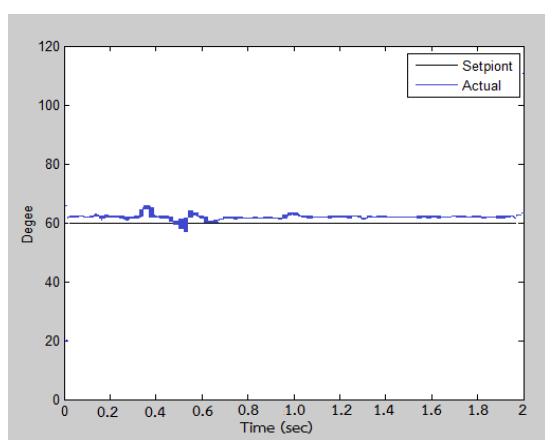


(ก) ทิศทางการมุ่งหน้า (Heading)

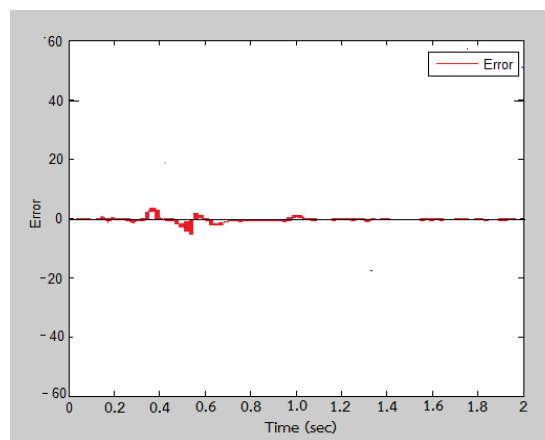


(ข) ค่าความผิดพลาด (Error)

ภาพประกอบ 4.6 ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย PSO online-tuning ที่เวลา 0.54 วินาที



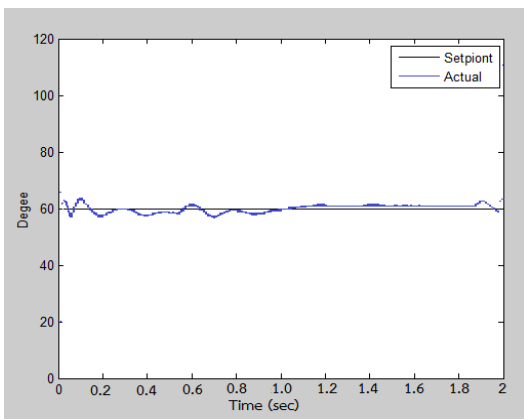
(ก) ทิศทางการมุ่งหน้า (Heading)



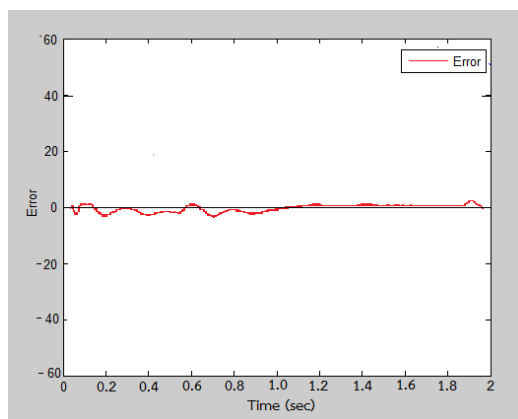
(ข) ค่าความผิดพลาด (Error)

ภาพประกอบ 4.7 ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย PSO online-tuning ที่เวลา 1.21 วินาที



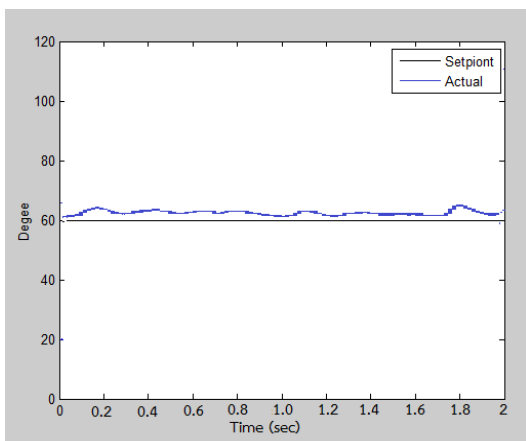


(ก) ทิศทางการมุ่งหน้า (Heading)

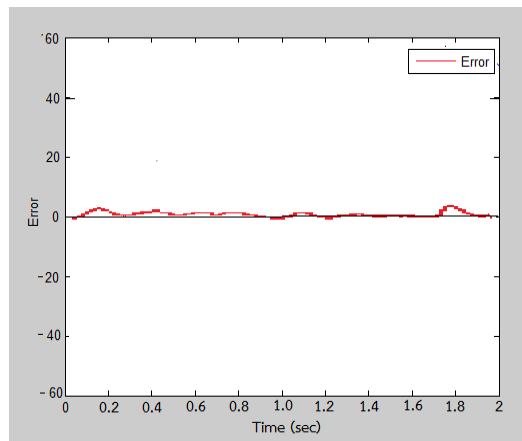


(ข) ค่าความผิดพลาด (Error)

ภาพประกอบ 4.8 ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย PSO online-tuning ที่เวลา 1.48 วินาที

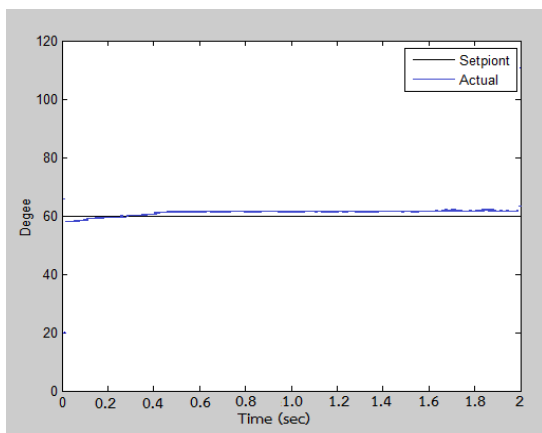


(ก) ทิศทางการมุ่งหน้า (Heading)

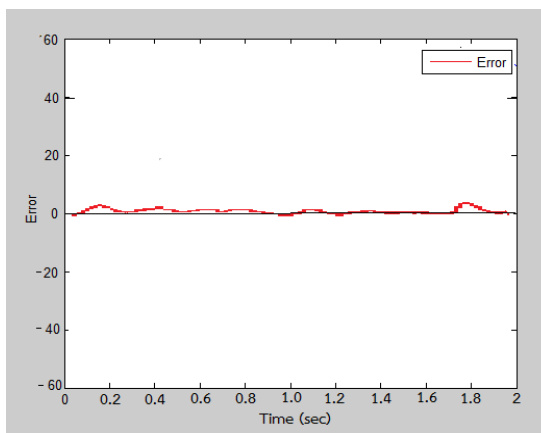


(ข) ค่าความผิดพลาด (Error)

ภาพประกอบ 4.9 ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย PSO online-tuning ที่เวลา 2.15 วินาที



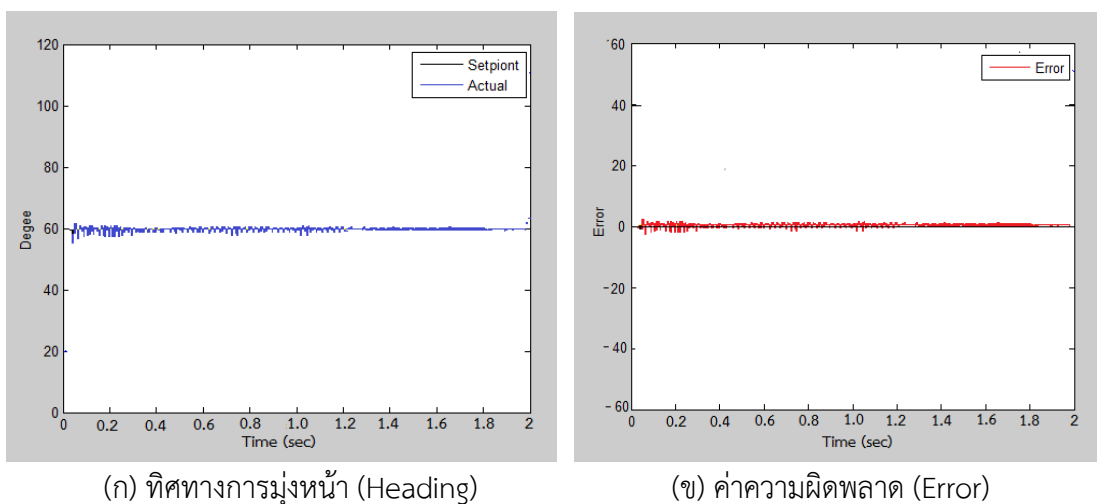
(ก) ทิศทางการมุ่งหน้า (Heading)



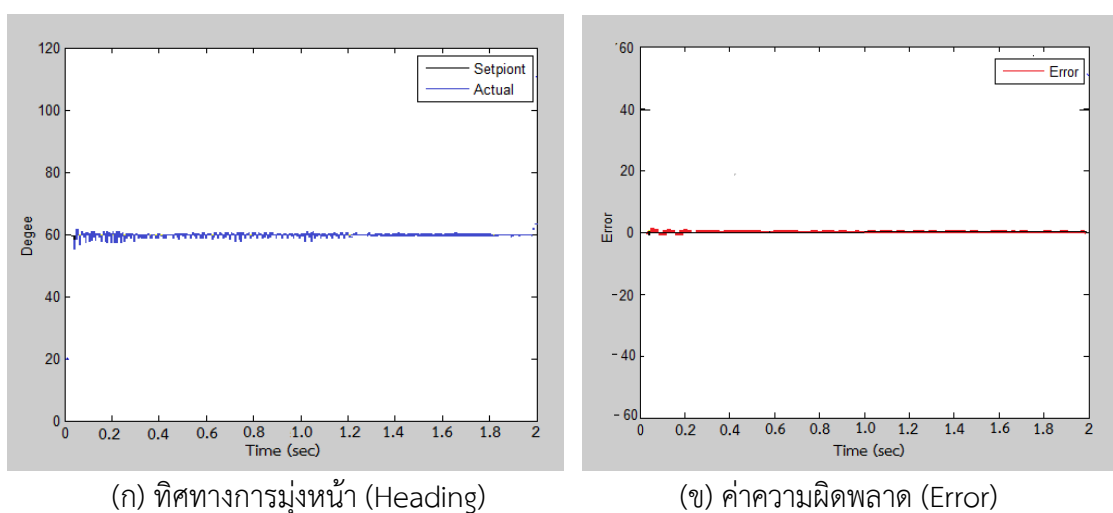
(ข) ค่าความผิดพลาด (Error)

ภาพประกอบ 4.10 ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย PSO online-tuning ที่เวลา 2.42 วินาที





ภาพประกอบ 4.11 ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย PSO online-tuning ที่เวลา 3.09 วินาที

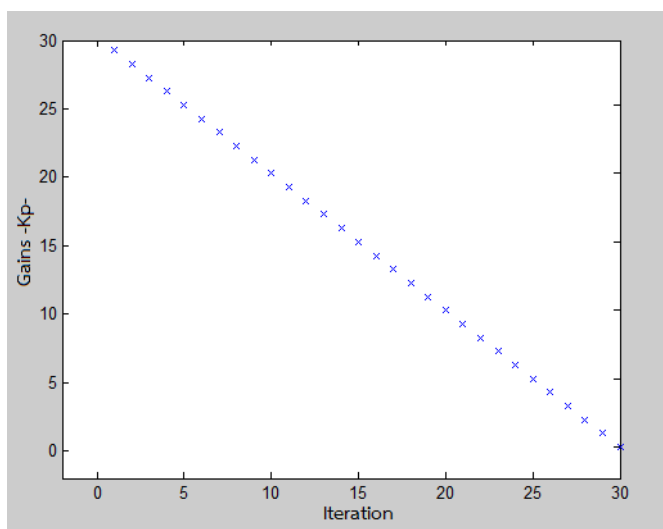


ภาพประกอบ 4.12 ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย PSO online-tuning ที่เวลา 3.36 วินาที

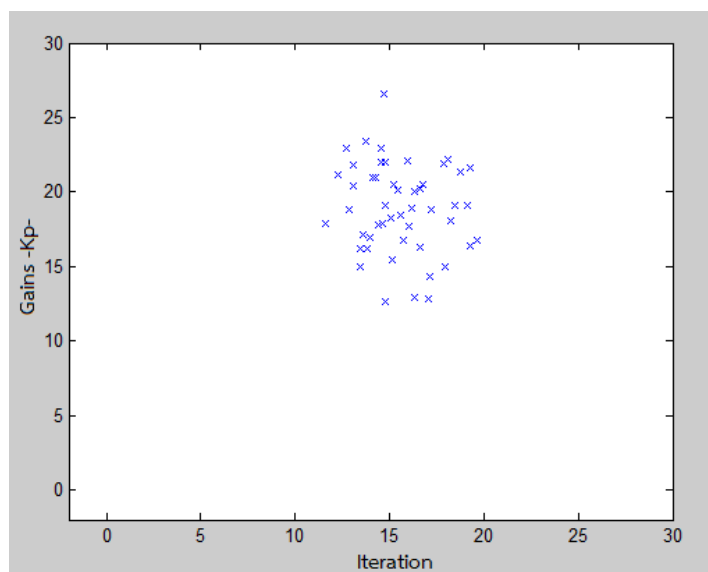
การเคลื่อนของอนุภาค (Particle) ในการหาตำแหน่งอัตราขยาย  $K_p$ ,  $K_i$  และ  $K_d$  จากภาพประกอบ 4.14 ถึง 4.18 ได้แสดงเฉพาะในส่วนของการหาตำแหน่งอัตราขยาย  $K_p$  ขณะกำลังปรับค่าพารามิเตอร์ (PSO online-tuning technique) เพื่อแสดงให้เห็นพฤติกรรมเคลื่อนของอนุภาคที่ไปยังตำแหน่งที่ดีที่สุด ในการทำงานครั้งแรกตัวอนุภาคอัตราขยาย  $K_p$  จะจัดเรียงตัวดังในภาพประกอบ 4.13 ในขณะที่ (PSO online-tuning technique) ทำงานตัวอนุภาค (Particle) จะแตกตัวออกเพื่อหาพื้นที่ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค (Particle) จนได้ตำแหน่งดีที่สุดในพื้นที่แต่ละรอบและสุดท้ายจะเหลือตำแหน่งในพื้นที่ที่ดีที่สุดตำแหน่งเดียวนั้นคือค่าอัตราขยาย  $K_p$  ตำแหน่งที่ดีที่สุดของค่าทิศทางการมุ่งหน้า (Heading) ที่ 60 องศา



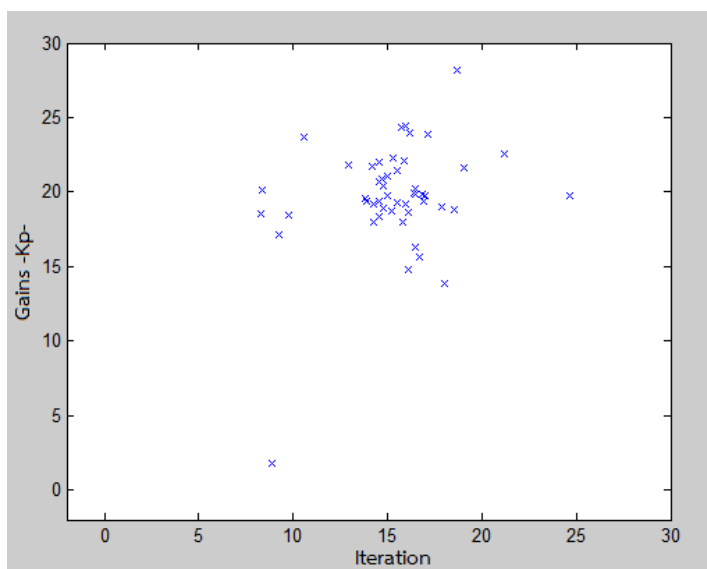




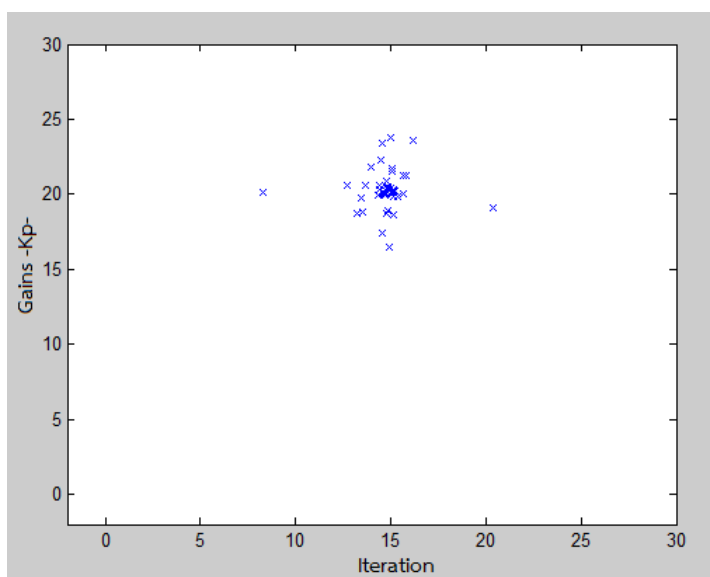
ภาพประกอบ 4.13 ผลตอบสนองอัตราขยาย  $K_p$  PSO online-tuning เมื่อเริ่มการทำงาน ที่แสดงภาพจัดเรียงตัวของอนุภาค (Particle)



ภาพประกอบ 4.14 ผลตอบสนองอัตราขยาย  $K_p$  ด้วย PSO online-tuning เมื่อค้นหาในรอบที่ 2

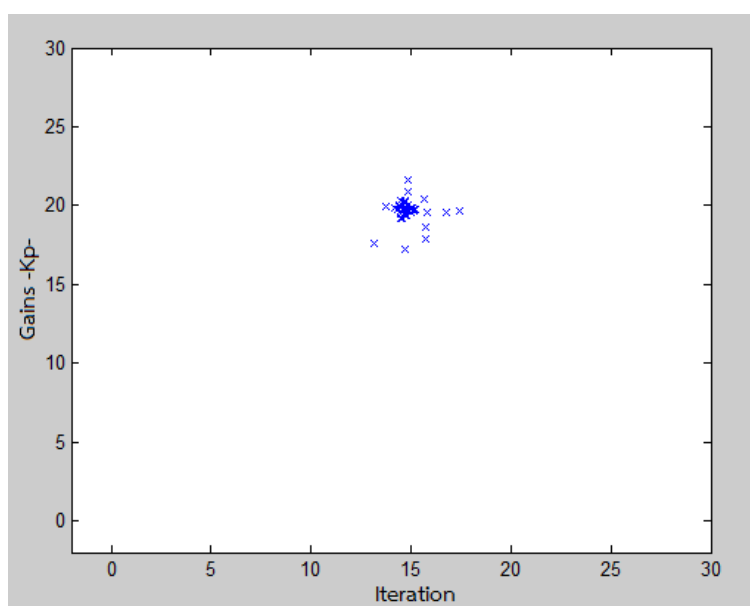


ภาพประกอบ 4.15 ผลตอบสนองอัตราขยาย  $K_p$  ด้วย PSO online-tuning เมื่อค้นหาในรอบที่ 3

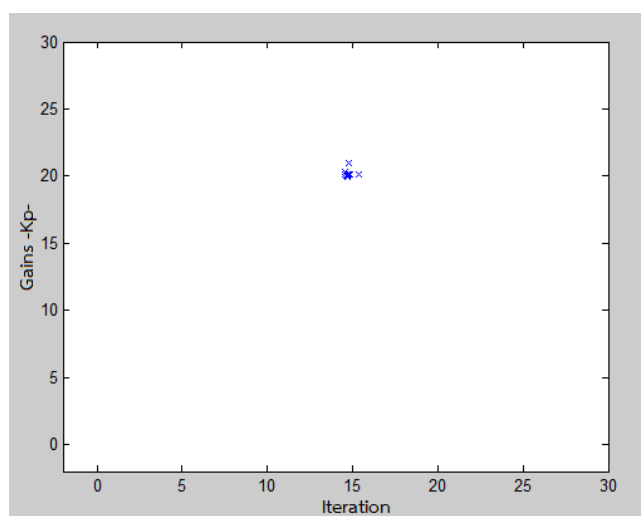


ภาพประกอบ 4.16 ผลตอบสนองอัตราขยาย  $K_p$  ด้วย PSO online-tuning เมื่อค้นหาในรอบที่ 4



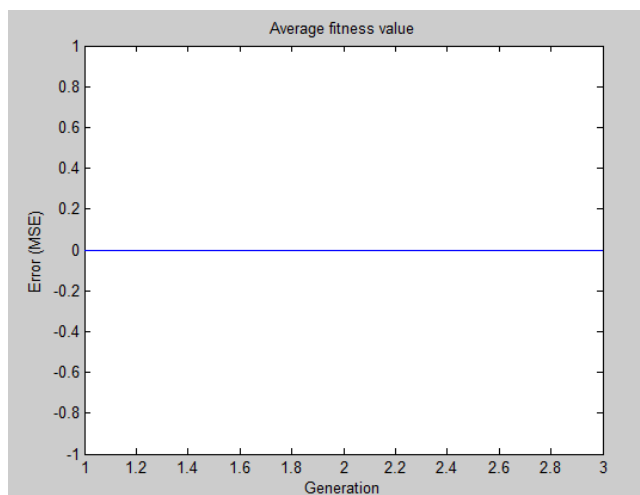


ภาพประกอบ 4.17 ผลตอบสนองอัตราขยาย  $K_p$  ด้วย PSO online-tuning เมื่อค้นหาในรอบที่ 5



ภาพประกอบ 4.18 ผลตอบสนองอัตราขยาย Gain  $K_p$  ด้วย PSO online-tuning เมื่อโปรแกรมพบตำแหน่งที่ดีที่สุด

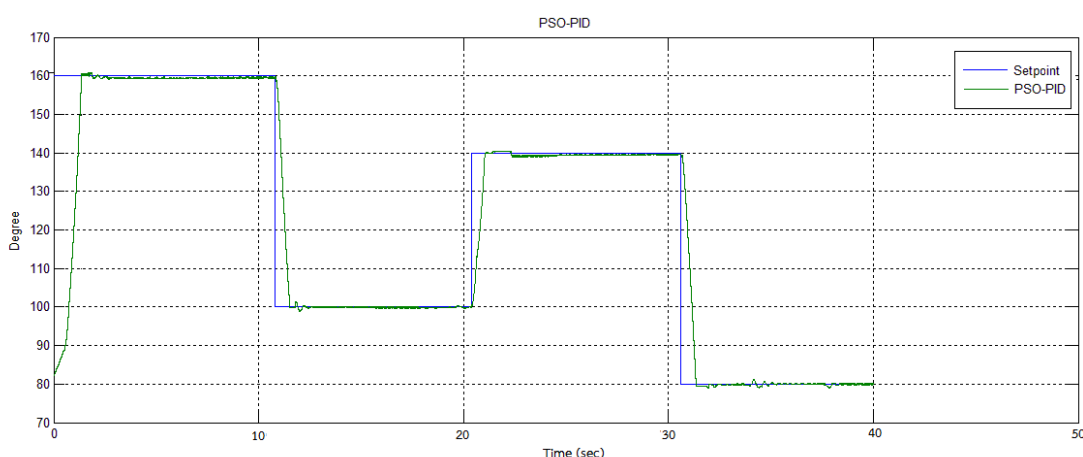
จากการปรับค่าเพื่อหาดำแหน่งพื้นที่ที่ดีที่สุดของอนุภาค (Particle) เมื่อจำนวนอนุภาคทั้งหมดมารวมกันที่ตำแหน่งที่ดีที่สุดหนึ่งตำแหน่ง ผลตอบสนองค่า Error จะมีค่าเท่ากับศูนย์ เส้นกราฟจะแสดงดังภาพประกอบ 4.19 พบว่า PSO online-tuning technique เมื่อแสดงผลตอบสนองค่าความผิดพลาด(Error)= 0 นั้นหมายถึงการปรับหาดำแหน่งพื้นที่ที่ดีที่สุดของอนุภาค (Particle) อัตราขยายทั้งค่า  $K_p$ ,  $K_i$  และ  $K_d$  ที่เป็นตัวระบุค่าคำตอบ ซึ่งโปรแกรมจะให้คำตอบที่เป็นอัตราขยาย  $K_p=21.58$ ,  $K_i=1.04$  และ  $K_d=3.78$  ออกมาขณะที่ตั้งค่า setpoint ไว้ที่ 60 องศา



ภาพประกอบ 4.19 ผลตอบสนอง PSO online-tuning technique จะแสดงผลของค่าความผิดพลาด (Error)= 0

ค่าอัตราขยายที่ดีที่สุดที่ได้จากขั้นตอนการหาค่าของ PSO ได้แก่  $K_p=21.58$ ,  $K_i=1.04$  และ  $K_d=3.78$  ที่ setpoint เท่ากับ 60 องศา เมื่อนำค่าดังกล่าวมาป้อนให้กับตัวควบคุม PID จะได้ผลตอบสนองการควบคุมทิศทางการมุ่งหน้า (Heading) ดังภาพประกอบ 4.20





ภาพประกอบ 4.20 ผลการตอบสนอง PSO online-tuning ที่ค่า setpoint เท่ากับ 160, 100, 140 และ 80 องศา

จากภาพประกอบ 4.20 สามารถอ่านค่าผลตอบสนองได้ตามตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ผลตอบสนองของการควบคุมด้วยตัว PSO online – tuning PID

ผลตอบสนอง	160 องศา	100 องศา	140 องศา	80 องศา
Overshoot (%)	0 (%)	0 (%)	0 (%)	0 (%)
Settling time (sec)	1.5 (sec)	1.4 (sec)	1.3 (sec)	1.4 (sec)
Steady state error	0 องศา	0 องศา	0 องศา	0 องศา

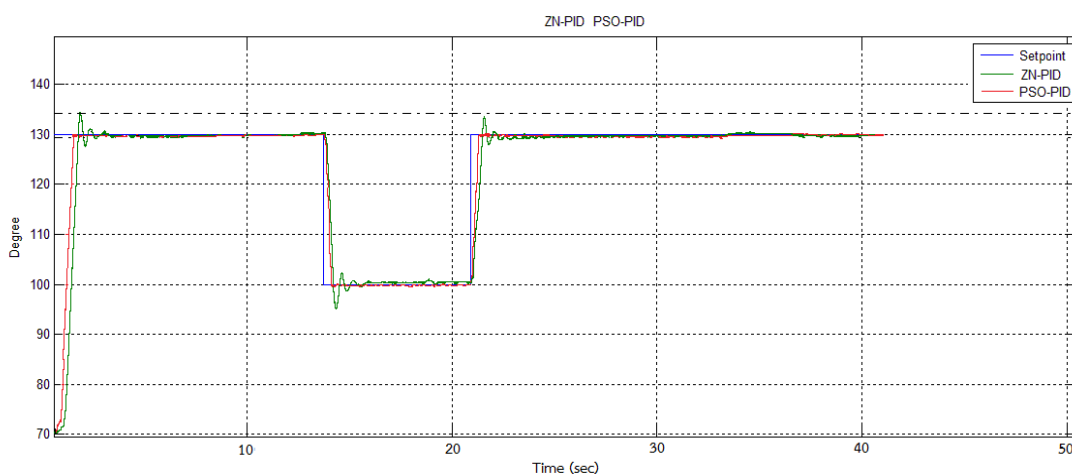
## 4.2 การอภิปรายผล

การออกแบบ พัฒนา และควบคุมแบบอัจฉริยะสำหรับหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ ได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าด้านการออกแบบด้วยวิธีการ QFD (Quality Function Deployment) พร้อมการหาค่าพารามิเตอร์ในการควบคุม แบบ PSO online-tuning สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

4.2.1 การออกแบบกรอบแนวคิด QFD (Quality Function Deployment) ได้ข้อมูลที่มีความจำเป็นในการออกแบบ และการสร้าง ซึ่งข้อดีในการออกแบบด้วยกรอบแนวคิด QFD คือ หุ่นยนต์ที่ได้ทำการออกแบบและสร้างสามารถตอบสนองกับความต้องการในการใช้งานของผู้ใช้งานได้อย่างครบถ้วน ส่วนข้อเสียในการตอบสนองในการใช้งานนั้นอาจอยู่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เมื่อมีการเปลี่ยนความต้องการในการใช้งานใหม่ หุ่นยนต์ใต้น้ำที่ได้ออกแบบในครั้งแรกอาจต้องเปลี่ยนรูปร่างหรือลักษณะการทำงานใหม่ เนื่องจากการเสนอความต้องการในครั้งแรกอาจไม่ครอบคลุมความต้องการในการใช้งานครั้งต่อไป

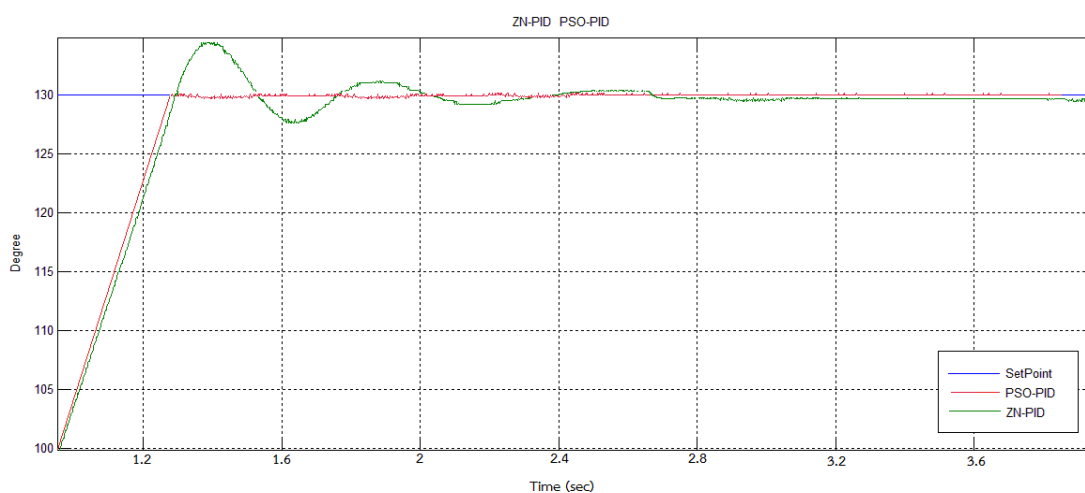


4.2.2 การปรับค่าอัตราขยายของตัวควบคุมพีไอดีด้วยวิธีของซิกเลอร์นิโคลส์ Ziegler Nichols (ZN-PID) ได้ค่าอัตราขยาย  $K_p = 24$ ,  $K_i = 0.181$  และ  $K_d = 1.375$  ส่วนค่าอัตราขยายที่ได้จากการปรับค่าด้วยวิธี PSO (PSO online-tuning) ได้ค่าอัตราขยาย  $K_p=21.58$ ,  $K_i=1.04$  และ  $K_d=3.78$  ซึ่งผลตอบสนองของทิศทางการมุ่งหน้า (Heading) เปรียบเทียบจากทั้งสองวิธีดังกล่าวแสดงดังภาพประกอบ 4.21



ภาพประกอบ 4.21 เปรียบเทียบผลการตอบสนองของตัวควบคุม PSO online-tuning PID และ ZN- PID ที่ค่า setpoint เท่ากับ 130 และ 100 องศา

ภาพประกอบ 4.22 แสดงถึงภาพขยายการเปรียบเทียบผลการตอบสนองระหว่าง ตัวควบคุม PSO online-tuning PID และ ZN-PID จากภาพพบว่าตัวควบคุม PSO online-tuning PID สามารถนำทิศทางการมุ่งหน้าไปสู่ setpoint ที่ 130 องศาได้เร็วกว่า ตัวควบคุม ZN-PID



ภาพประกอบ 4.22 ภาพขยายเปรียบเทียบผลการตอบสนองของตัวควบคุม PSO online-tuning PID และ ZN- PID ที่ค่า setpoint เท่ากับ 130 องศา



ตาราง 4.5 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุมของตัวควบคุมจากภาพประกอบ 4.22 ซึ่งจะเห็นว่าค่าตัวควบคุม ZN-PID มีค่าพุ่งเกิน (Overshoot) = 16.7 % ค่าเวลาสู่ความสมดุล (Settling time) = 2.2 วินาที และค่าความผิดพลาดของสถานะคงตัว (Steady state error) = 0.5 องศา ส่วนค่าตัวควบคุม PSO online-tuning PID ค่าพุ่งเกิน (Overshoot) = 0 % ค่าเวลาสู่ความสมดุล (Settling time) = 1.3 วินาที และ ค่าความผิดพลาดของสถานะคงตัว (Steady state error) = 0 องศาที่ setpoint เท่ากับ 130 องศา ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีกว่าของตัวควบคุมแบบ PSO online-tuning PID

ตาราง 4.5 เปรียบเทียบผลตอบสนองที่ได้จาก ZN-PID และ PSO online-tuning PID ที่ setpoint เท่ากับ 130 องศา

Tuning	Overshoot (%)	Settling time (sec)	Steady state error (degree)
ZN-PID	16.7	2.2	0.5
PSO online-tuning PID	0	1.3	0



## บทที่ 5

### สรุปผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติครั้งนี้มี ข้อสรุปดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1.1 ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติตามกรอบแนวคิด QFD (Quality Function Deployment) เก็บข้อมูลจากผู้ใช้งานจากสำนักงานวิจัยและพัฒนาทหารเรือไทย เป็นผู้ให้ข้อมูลแสดงความคิดเห็นและความต้องการในการใช้งานจำนวน 36 คน พร้อมทั้งอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ทำพารามิเตอร์ในการออกแบบจำนวน 9 คน ซึ่งสามารถสรุปผลความต้องการของผู้ใช้งานได้ถูกแบ่งออกเป็น 6 หัวข้อหลัก คือ Operating capacity, Operating function, Environment, Economy, Operating safety, Design พบว่าระดับความสำคัญของความต้องการในการใช้งาน มีรายการความสำคัญความต้องการในการใช้งาน ใน ระดับความสำคัญของความต้องการในการใช้งานมาก คือ (1) able to record video, (2) operating depth up to 10 meters, (3) operate remotely with cable, and (4) safely when water leakage. ระดับความสำคัญของความต้องการในการใช้น้อย คือ (1) look beauty, (2) use renewable energy, (3) operate remotely with radio, and (4) able to work during night time ส่วนค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบพบว่าการจัดระดับความสำคัญของพารามิเตอร์ (1) Low Cost Controller, (2) Autonomous Control Algorithm, อยู่ในความสำคัญระดับ 5 (3) Compass Sensor Vertical Gyroscope, (4) Depth Sensor อยู่ในความสำคัญระดับ 4 และระดับความสำคัญน้อยที่อยู่ในระดับ 1 คือ (1) Equipment Module Design, (2) Use Clean Energy, (3) Use Low Noise Electric Motor, (4) Remote Surveillance Design, (5) Pressure Hull, และ (6) Beautiful Hull Form Design. ซึ่งเป็นค่าที่ผู้เชี่ยวชาญทุกท่านให้ความคิดเห็นสอดคล้องกันไปในทางเดียวกัน เมื่อนำผลจากการวิเคราะห์การเลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์มาทำการออกแบบเป็นตัวหุ่นยนต์ใต้น้ำพบว่า หุ่นยนต์ใต้น้ำที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องตรงกับความต้องการในการใช้งานกับภารกิจทหารเรือไทยทุกหัวข้อความต้องการในการใช้งาน

5.1.2 การออกแบบระบบควบคุมหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติโดยใช้ วิธีการปรับค่าอัตราขยายแบบ ซิกเลอร์นิโคลส์ Ziegler Nichols (ZN-PID method) ด้วยค่าอัตราขยาย  $K_p = 24$ ,  $K_i = 0.181$  และ  $K_d = 1.375$  ผลตอบสนองทิศทางการมุ่งหน้า (Heading) พบว่าผลตอบสนองที่ setpoint ที่ 130 องศา มี ค่าพุ่งเกิน (Overshoot) = 7.1 % ค่าเวลาสู่ความสมดุล (Settling time) = 2.2 วินาทีและมี ค่าความผิดพลาดของสถานะคงตัว (Steady state error) = 0.5 องศา ซึ่งผลตอบสนองนั้นสามารถนำไปใช้งานได้ในระดับดี บางทิศทางการมุ่งหน้า (Heading) เท่านั้น แต่เมื่อมีการเปลี่ยนทิศทางการมุ่งหน้า (Heading) ไปยังทิศทางอื่น พบว่าผลตอบสนองของ ค่าพุ่งเกิน (Overshoot), ค่าเวลาสู่ความสมดุล (Settling time) และ ความผิดพลาดของสถานะคงตัว (Steady state error) นั้นเปลี่ยนไปตามทิศทางการมุ่งหน้า





5.1.3 การออกแบบระบบควบคุมหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติโดยใช้ วิธีการปรับค่าอัตราขยายแบบออนไลน์ของตัวควบคุมพีไอดีด้วย PSO (PSO-PID gains online-tuning method) ได้แก่  $K_p=26.58$ ,  $K_i=1.04$  และ  $K_d=3.78$  ผลตอบสนองทิศทางการมุ่งหน้า (Heading) ที่ 130 องศา ค่าพุ่งเกิน (Overshoot) 0 % ค่า ค่าเวลาสู่ความสมดุล (Settling time)=1.3 วินาที และค่า ความผิดพลาดของสถานะคงตัว (Steady state error) = 0 องศา ซึ่งผลตอบสนองการเปลี่ยนทิศทางการมุ่งหน้า (Heading) ไปยังทิศทางอื่น จะให้เกิดผลตอบสนองของค่าพุ่งเกิน (Overshoot) จะมีค่าความผิดพลาดน้อย 1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าเวลาสู่ความสมดุล (Settling time) จะเปลี่ยนระยะเวลาเข้าถึงไปตามทิศทางที่ถูกเปลี่ยนจากจุดเดิมไปมากหรือน้อย ถ้าเปลี่ยนจากจุด setpoint เดิมไปหาจุด setpoint ใหม่มาก ค่าเวลาสู่ความสมดุล (Settling time) ค่าก็จะใช้ระยะเวลาที่นานกว่า การเปลี่ยนจากจุด setpoint เดิมไปหาจุด setpoint ใหม่ที่น้อยกว่า และ ค่าความผิดพลาดของสถานะคงตัว (Steady state error) ก็ยังคงเป็น 0 องศา ค่าผิดพลาดประมาณ 1 องศา ดังนั้นจากการออกแบบระบบควบคุมหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติ ในการวิจัยนี้พบว่ามีวิธีการที่ดีที่สุดคือ วิธีการปรับค่าอัตราขยายแบบออนไลน์ของตัวควบคุมพีไอดีด้วย PSO (PSO-PID Gains Online-Tuning method)

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1.1 การวิจัยในเรื่องของหุ่นยนต์ใต้น้ำในเมืองไทยยังไม่มีกัณอย่างแพร่หลายนักวิจัยควรให้ความสนใจในการค้นคว้าด้วยกรอบแนวคิด QFD (Quality Function Deployment) ในแต่ละภารกิจที่ใช้งานเพราะจะได้หุ่นยนต์ใต้น้ำที่ตรงกับความต้องการ และพัฒนาตัวควบคุมหุ่นยนต์ใต้น้ำให้มีประสิทธิภาพด้วยการนำ ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) อื่นๆ เข้ามาเปรียบเทียบ

5.2.1.2 การพัฒนาออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำสิ่งที่ดำเนินการยากมากที่สุด คือ การหาวิธีการป้องกันน้ำไม่ให้เข้าที่ตัวหุ่นยนต์ใต้น้ำควรที่อัดอากาศเข้าไปในตัวกล่องควบคุม เพื่อจะได้สังเกต รอยรั่วและป้องกันน้ำเข้าด้วย การเชื่อมต่อสายระหว่าง Thrusters Motor กับแผงวงจร ควรใช้ หัวข้อต่อของลมจะป้องกันได้เป็นอย่างดี

5.2.1.3 การออกแบบหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยและการรักษา ธรรมชาติในน้ำและสัตว์น้ำ ดังนั้นควรเลือกใช้วัสดุที่มีความต้านทานการกัดกร่อน ทดต่อแรงอัดอากาศ ในน้ำควรเป็น Steel alloy

5.2.1.4 การออกแบบระบบควบคุมหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติควรใช้ วิธีการปรับค่าอัตราขยายแบบออนไลน์ของตัวควบคุมพีไอดีด้วย PSO (PSO-PID gains online-tuning method) เพราะจะทำให้การเข้าถึง setpoint ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ควรที่จะพัฒนาการหาพารามิเตอร์แบบออนไลน์ ด้วยวิธีอื่นเพิ่มเติม เช่น GA, Bee colony, Ant colony เป็นต้น



เอกสารอ้างอิง



## เอกสารอ้างอิง

- [1] Blidberg D. Richard. "The Development of Autonomous Underwater Vehicles (AUV): a Brief Summary". Autonomous Undersea Systems Institute, AUSI, ICRA, Seoul, Korea, 2001; 25: 1-6.
- [2] Yuh J. "Design and Control of Autonomous Underwater Robots: A Survey". Kluwer Academic Publishers, Autonomous Robots 2000; 8: 7-24.
- [3] C.Silpa-Anan, S. Abdallah and D. Wettergreen. "Development of Autonomous Underwater Vehicle towards Visual Servo Control". Proceeding Australian Conference on robotics and Automation 2000; 12: 105-110.
- [4] Creuze V., O. Parodi, and X. Xiang. "Design, Simulation and Experimental Results of Taipan 300, a New Autonomous Underwater Vehicle Prototype". Proceeding IEEE OCEANS'2009; Bremen: Germany, p.1-6.
- [5] Buescher J., W. Chang, M. DeLance, V. Goel, D. Hays, D. Hinkes, et al. "Cornell University Autonomous Underwater Vehicle 2002". [online]. 2002 [cited 25 February 2012]; Available from: <http://www.auvsi.org/competitions/2002/papers/Cornell.pdf>.
- [6] Altshuler R.C., H.H. Atkins, A.A. Cavic, C.C. Chase, R.S. Cortesi, B.M. Davis, et al. "ORCA-II: An Improved Autonomous Underwater Vehicle". [online]. n.d. [cited 25 February 2012]; Available from: <http://web.mit.edu/orca/www/paper99.pdf>.
- [7] Theerayuth Chatchanayuenyong, Manukid Parnichkun, "Design and Control of a Six-Degree of Freedom Autonomous Underwater Robot Chalawan". [CD-ROM]. Bangkok, Thailand: Conference; 2004.
- [8] Yoerger D.R. and J.E. Slotine. "Robust Trajectory Control of Underwater Vehicles". IEEE Journal of Oceanic Engineering 1985; 4: OE-10.
- [9] Nakamura Y. and S. Savant. "Nonlinear Tracking Control of Autonomous Underwater Vehicles". Proceeding IEEE International Conference on Robotics and Automation, Nice, France 1992; 3: 429.
- [10] Antonelli G., S. Chiaverini, N. Sarkar and M. West. "Adaptive Control of an Autonomous Underwater Vehicle: Experimental Results on ODIN". IEEE Transaction on control Systems Technology 2001; 9(5): 756-76.
- [11] Lorentz J. and J. Yuh. "A Survey and Experimental Study of Neural Network AUV Control". IEEE AUV'96 Monterey 1996; 8: 7-24.
- [12] Porto V.W. and D.B. Fogel. "Neural Network Techniques for Navigation of AUVs". Proceedings of Symposium on Autonomous Underwater Vehicle Technology (Conference Proceedings), 1990; 5(2): 137-141.



- [13] Smith S.M., G.J.S. Rae and D.T. Anderson. "Applications of Fuzzy Logic to the Control of an Autonomous Underwater Vehicle". IEEE International Conference on Fuzzy Systems 1993; 2: 1099-1106.
- [14] Silpa-Anan C., T. Brinsmead, S. Abdallah and A. Zelinsky. "Preliminary Experiments in Visual Servo Control for Autonomous Underwater Vehicle". [online]. 2001 [cited 25 February 2012]; Available from: <http://www.syseng.anu.edu.au/rs/UH>.
- [15] Theerayuth Chatchanayuenyong and Manukid Parnichkun. "Neural Network Based-Time Optimal Sliding Mode Control for an Autonomous Underwater Robot". International Journal of Mechatronics. Elsevier Science Ltd., Pergamon, 2006; 16(8): 471-478.
- [16] Mizuno S. and Y. Akao, eds. "Quality Function Deployment: Approach for Total Quality Control". Tokyo, in Japanese: s.l.; 1978.
- [17] Hales R., D. Lyman and R. Norman. "Synthesis of Market Research Data Through a Combined Effort of QFD, Value Engineering, and Value Graph Techniques". Qualitative Market Research : An International Journal 1990; 1(3): 156 - 172
- [18] Biren Prasad. "Review of QFD and Related Deployment Techniques". Journal of Manufacturing Systems 1998; 17(3): 221-234.
- [19] Korayem M.H. and A. Iravani. "Improvement of 3P and 6R Mechanical Robots Reliability and Quality Applying FMEA and QFD Approaches". Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Elsevier 2008; 24: 472-487.
- [20] Sørensen C.G., R.N. Jørgensen, J. Maagaard, K.K. Bertelsen, L. Dalgaard and M. Nørreremark. "Conceptual and user-Centric Design Guidelines for a Plant Nursing Robot". Biosystems Engineering, 2009; 87(1): 1-11.
- [21] Holland J. Adaptation in Natural and Artificial Systems. Michigan: University of Michigan Press; 1975.
- [22] "Evolutionary Computation". [online]. 2012 [cited 25 February 2012]; Available from: [http://en.wikipedia.org/wiki/Evolutionary\\_computation](http://en.wikipedia.org/wiki/Evolutionary_computation).
- [23] พิศุทธิ พงศ์ชัยฤกษ์. "การประยุกต์ใช้ พาร์ทิเคิลสวอมออฟทีไมเซชันอัลกอริทึมแบบต่างๆ ในการจัดตารางการผลิตแบบทำตามสั่ง". วารสารวิชาการอุตสาหกรรม 2554; 5(1): 1-8.
- [24] Kenned J. and R. Eberhart. "Particle Swarm optimization". in Proc. of IEEE International Conference on Neural Networks 1995; 4: 1942- 1948.
- [25] สุขกิจ นุตยะสกุล. "การคำนวณเชิงวิวัฒนาการระหว่างเจเนติกอัลกอริทึม กับพาทิคอลสวอมออฟที ไมเซชัน". Journal of Information Science and Technology 2011; (2)2: 13-22.



- [26] Eberhart R.C. and Yuhui Shi. “Particle Swarm Optimization: Development, Applications and Resources”. [online]. 2001 [cited 25 February 2012]; Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber&userType=inst>.
- [27] วรายุทธ คัมภีร์วัฒน์ และชัยยุทธ์ สัมภาวะคุปต์. “การประยุกต์ใช้วิธี การหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิค แบบชาวนฉลาดในการประมาณสถานะของระบบไฟฟ้ากำลัง”. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ (EECON-32); 28-30 ตุลาคม 2552; กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล; 2552.
- [28] Liu H., A. Abraham, O. Choi, and S. Hwan Moon. “Variable Neighborhood Particle Swarm Optimization for Multi-objective Flexible Job-Shop Scheduling Problems”. [online]. 2006 [cited 25 February 2012]; Available from: <http://cpansearch.perl.org/src/KYLESCH/AI-PSO-0.82/ReactivePower-PSO-wks.pdf>.
- [29] สุภรณ์ สุวรรณรังษี และเดชา พวงดาวเรือง. “การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบรูปทรงด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค”. การประชุมวิชาการ หน่วยงานวิศวกรรมอุตสาหการ 2551; กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล. หน้า 95-100.
- [30] นิพนธ์ ภูทอง. “การจัดสรรงบประมาณรักษาแบบป้องกันที่ เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าส่วนภูมิภาค”. [ออนไลน์] 2555 [สืบค้นเมื่อวันที่ 3 มีนาคม 2555]. ได้จาก: <http://research.rdi.ku.ac.th/world/cache/cQ/abstNiponPHOAll.pdf>.
- [31] วิลาสินี ศึกษาการ. “การจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่มีฟังก์ชันราคาที่ไม่ราบเรียบโดยใช้วิธี ทำให้เหมาะสมแบบกลุ่มอนุ ภาคร่วมกับวิธี โปรแกรมกำลังสองแบบลำดับ”. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2551.
- [32] Maria-Iuliana Dascalu. “Application of Particle Swarm Optimization to Formative e-Assessment in Project Management”. Information Economica 2011; 15: 48 – 61.
- [33] Bratton D. and J. Kennedy. “Defining a Standard for Particle Swarm Optimization”. [online]. 2007 [cited 3 March 2012]; Available from: <https://svn-d1.mpi-inf.mpg.de>.
- [34] Wu-Chang Wu and Men-Shen Tsai. “Feeder Reconfiguration Using Binary Coding Particle Swarm Optimization”. International Journal of Control, Automation and Systems 2008; 6: 488 – 494.
- [35] พิศุทธิ์ พงศ์ชัยพฤกษ์. “การพัฒนาวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดแบบพาร์ทิเคิลสวอมออฟทีไมเซชันด้วยวิธี การเลียนแบบโครงสร้างการเรียนรู้ ทางสังคมแบบหลากหลาย”. วารสาร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2554; 3(5): มกราคม – มิถุนายน. หน้า 14-22.



- [36] Parsopoulos K.E. and M.N. Vrahatis. "Unified Particle Swarm Optimization for Solving Constrained Engineering Optimization Problems". First International Conference, ICNC 2005; 36(12): 582 – 591.
- [37] Zhang H., H. Li and C.M. Tam. "Particle Swarm Optimization for Resource-Constrained Project Scheduling". International Journal of Project Management 2006; 24: 83 – 92.
- [38] Yoshida H., K. Kawata, Y. Fukuyama and Y. Nakanishi. "A particle Swarm Optimization for Reactive Power and Voltage Control Considering Voltage Stability". in G. L. Torres and A.P. Alves da Silva, Eds. in Proc. Intl. Conf. on Intelligent System Application to Power System, Rio de Janeiro, Brazil, 1999; 117 – 121.
- [39] Fayazi Boroujeni H., M. Eghtedari, A. Memaripour and E. Behzadipour. "Controller Parameters Design of Doubly Feed Induction Generator Using Particle Swarm Optimization". Indian Journal of Science and Technology 2011; 4: 1635 – 1638.
- [40] Araki M. "Control systems, Robotics and Automation-Vol II – PID Control". Kyoto: University, Japan.
- [41] Kim Dong Hwa and Park Jin Ill. "Intelligent PID Controller Tuning of AVR System Using GA and PSO". International Conference on Intelligent Computing, ICIC 2005; 3645: 366-375.
- [42] Astrom K.J., T. Hagglund. "The Future of PID Control". Control Eng.Pract 2001; 9(11): 1163–1175.
- [43] Ziegler, G. and N. B. Nichols. "Optimum Settings for Automatic Controllers". Trans. ASME 1942; 64: 759-768.
- [44] Astrom K J., T. Hagglund. "Automatic Tuning of Simple Regulators with Specifications on Phase and Amplitude Margins". Automatica 1984; 20: 645-651.
- [45] Cohen G.H and G.A Coon. "Theoretical Consideration of Retarded Control". Trans ASME1953; 75: 827-834.
- [46] Haibing Hu, Qingbo Hu, Zhengyu Lu, Dehong Xu. "Optimal PID Controller Design in PMSM Servo System Via Particle Swarm Optimization". Industrial Electronics Society 2005; 4(2): 53-64.
- [47] Parsopoulos K.E. and M.N. Vrahatis. "Particle Swarm Optimizer in Noisy and Continuously Changing Environment". Indianapolis: s.l.; 2001.



- [48] Hirotaka Yoshida, Kenichi Kawata, Yoshikazu Fukuyana, Yosuke Nakanishi. "A particle Swarm Optimization for Reactive Power and Voltage Control Considering Voltage Stability". IEEE International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems(ISAP 99) 1999; 4(8): unpagued.
- [49] Zwe-Lee Gaing, "A Particle Swarm Optimization Approach for Optimum Design of PID Controller in AVR System". IEEE Transactions on Energy Conversion 2002; 19(2): 384-391.
- [50] Javed Alam Jan and Bohumil Sulc. "Evolutionary Computing Methods for Optimizing Virtual Reality Process Models". International Carpathian Control Conference 2002; Malenovice Czech Republic, May 27-30.
- [51] Parsopoulos K.E. and M.N. Vrahatis, "Recent Approaches to Global Optimization Problems Through Particle Swarm Optimization". Natural Computing 2002; 1: 235–306.
- [52] Thomas Beielstein, K.E. Parsopoulos and Michael N. Vrahatis. "Tuning PSO Parameters Through Sensitivity Analysis". Technical Report of the Collaborative Research Center 531 Computational Intelligence CI--124/02, University of Dortmund; January 2002.
- [53] Zheng Y, Liyan Zhang, Jixin Qian Longhua Ma "Robust PID Controller Design using PSO". International Symposium on Intelligent Control IEEE Oct 2003; 2(12): 320-329.
- [54] Bartz–Beielstein T., K.E. Parsopoulos and M.N. Vrahatis, "Analysis of Particle Swarm Optimization Using Computational Statistics". Proceedings of the International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 2004. .s.n.: s.l.; 2004. 34-37.
- [55] Rohit Ramachandran, S. Lakshminarayanan and G.P Rangaiah. "Process Identification using Open-Loop and Closed Loop Step Responses". Journal of the Institute of Engineers 2005; 45(6): 1-13.



ภาคผนวก





โปรแกรม (PSO online-tuning technique)



โปรแกรม PSO tuning PID ที่เขียนในส่วนของ M .File

```

clear
clc
close all
iterations = 60;
inertia = 1;
correction_factor = 2.0;
swarm_size = 30;
ave_fit = [];
for i=1:swarm_size
    swarm(i,1,1) = i;           % p1
    swarm(i,1,2) = i;           % p2
    swarm(i,1,3) = swarm_size - i; % p2
end
swarm(:, 4, 1) = 1000;         % best value so far
swarm(:, 2, :) = 0;           % initial velocity
swarm(:,3,1) = swarm(:,1,1); % initial Pbest X
swarm(:,3,2) = swarm(:,1,2); % initial Pbest Y
swarm(:,3,3) = swarm(:,1,3); % initial Pbest z
%% Plotting the swarm first time only
clf
plot(swarm(:, 1, 1), swarm(:, 1, 2), 'x') % drawing swarm movements
axis([-2 30 -2 30]);
for iter = 1 : iterations
    disp(strcat('iteration =', num2str(iter)));
    %%-- evaluating position & quality ---
    for i = 1 : swarm_size
        x = swarm(i, 1, 1); % p1
        y = swarm(i, 1, 2); % p2
        z = swarm(i, 1, 3); % p3
        Kp = x;
        Ki = y;
        Kd = z;
        sim('PID1');
        val = sum(abs(err(:,2)))/length(err(:,2));
        if val < swarm(i, 4, 1) % if new position is better
            swarm(i, 3, 1) = swarm(i, 1, 1); % update best x,

```



```

        swarm(i, 3, 2) = swarm(i, 1, 2); % best y postions
            swarm(i, 3, 3) = swarm(i, 1, 3); % best z postions
        swarm(i, 4, 1) = val; % and best value
    end
end
[temp, gbest] = min(swarm(:, 4, 1)); % global best position
% Average fitness
ave_fit = [ave_fit;sum(swarm(:, 4, 1))/swarm_size;];
%--- updating velocity vectors
for i = 1 : swarm_size
    swarm(i, 2, 1) = rand*inertia*swarm(i, 2, 1) + correction_factor*rand*(swarm(i, 3, 1)
- swarm(i, 1, 1)) + correction_factor*rand*(swarm(gbest, 3, 1) - swarm(i, 1, 1)); %x
velocity component
    swarm(i, 2, 2) = rand*inertia*swarm(i, 2, 2) + correction_factor*rand*(swarm(i, 3, 2)
- swarm(i, 1, 2)) + correction_factor*rand*(swarm(gbest, 3, 2) - swarm(i, 1, 2)); %y
velocity component
    swarm(i, 2, 3) = rand*inertia*swarm(i, 2, 3) + correction_factor*rand*(swarm(i, 3, 3)
- swarm(i, 1, 3)) + correction_factor*rand*(swarm(gbest, 3, 3) - swarm(i, 1, 3)); %z
velocity component
    swarm(i, 1, 1) = swarm(i, 1, 1) + swarm(i, 2, 1)/1.3; %update x position
    swarm(i, 1, 2) = swarm(i, 1, 2) + swarm(i, 2, 2)/1.3; %update y position
    swarm(i, 1, 3) = swarm(i, 1, 3) + swarm(i, 2, 2)/1.3; %update z position
end
% Plotting the swarm
clf
plot(swarm(:, 1, 1), swarm(:, 1, 2), 'x') % drawing swarm movements
axis([-2 30 -2 30]);
pause(.01)
end
bestX = swarm(gbest, 3, 1);
bestY = swarm(gbest, 3, 2);
bestz = swarm(gbest, 3, 3);
bestX = strcat('gbest = ',num2str(bestX));
bestY = strcat('pbest = ',num2str(bestY));
bestz = strcat('pbest = ',num2str(bestz));
disp(strvcat('====End====',bestX,bestY,bestz'===='));
figure

```



```
plot(ave_fit);  
title('Average fitness value');  
ylabel('Error (MSE)');  
xlabel('Generation');
```



ประวัติย่อผู้วิจัย



## ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นายธิปดี ภาสว่าง ชื่อเดิม นายเพทาย ภาสว่าง
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2515
จังหวัด และประเทศที่เกิด	จังหวัดร้อยเอ็ด ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2527 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนอสาสามารถวิทยา พ.ศ. 2532 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด พ.ศ. 2535 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาโทรคมนาคม วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด พ.ศ. 2538 ประกาศนียบัตรวิชาชีพครูเทคนิคชั้นสูง (ป.กศ.ชั้นสูง) สาขาครูเทคนิคไฟฟ้าสื่อสาร วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่ พ.ศ. 2545 ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2557 ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำแหน่ง สถานที่ทำงาน	ครู อันดับ คศ.3 วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด 45000 โทรศัพท์ 0-4351-1289
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด 45000 โทรศัพท์ 0-4351-1289

### รางวัลเรียนดี ทุนวิจัย และทุนการศึกษา

ทุนการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพครูเทคนิคชั้นสูง ประจำปีงบประมาณ 2536  
ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

ทุนการศึกษาระดับปริญญาโท ประจำปีงบประมาณ 2544 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ  
จอมเกล้าธนบุรี ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

ทุนการศึกษาระดับปริญญาเอกภายในประเทศ ประจำปีงบประมาณ 2551 สำนักงาน  
นโยบายและแผนพลังงาน

ทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2555 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

### ผลงานวิจัย

เพทาย ภาสว่าง, The Development of Expert System in Utilizing and  
Determining Defectiveness of Television Set, Thesis มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
ธนบุรี, 2545

