# รายการรูปประกอบ

**รูป** **หน้า**


1.1 เรือหลวงจักรีนฤเบศร ณ อู่ราชนาวีมหิดลอดุลยเดช กรมอู่ทหารเรือ 2
1.2 สภาพผิวใต้ท้องเรือหลวงจักรีนฤเบศร 2
1.3 สภาพผิวใต้ท้องด้านท้ายเรือหลวงจักรีนฤเบศร 3
2.1 ประเภทของยานใต้น้ำ 6
2.2 ยานใต้น้ำ SubjuGator 8
2.3 ยานใต้น้ำเพื่อฝึกปราบเรือดำน้ำของกองทัพเรือ 10
2.4 ยานใต้น้ำขนาดเล็กบรรทุกผู้โดยสารได้ 3 ถึง 5 คนของกองทัพเรือ 11
2.5 ระบบการควบคุมการรักษาเสถียรภาพของระนาบของยานใต้น้ำ 12
2.6 ยานใต้น้ำ "ชาละวัน" ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) 13
2.7 ระบบควบคุมแบบเปิด (Open-loop control systems) 14
2.8 ระบบควบคุมแบบปิด (Closed-loop control systems) 15
2.9 ระบบควบคุมหลายตัวแปร (Multivariable control systems) 15
2.10 การควบคุมด้วยความกว้างพัลส์ 16
2.11 การป้อนสัญญาณพัลส์เข้ากับบอร์ด H Bridge ควบคุมความเร็วมอเตอร์ 16
2.12 ระบบควบคุมแบบพีไอดี (PID control system) 17
2.13 ผลจากการปรับอัตราขยายแบบพี ($K_P$) 18
2.14 ผลจากการปรับอัตราขยายแบบไอ ($K_I$) 19
2.15 ผลจากการปรับอัตราขยายแบบดี ($K_D$) 20
2.16 การตอบสนองของระบบ 22
2.17 ความคลาดเคลื่อนการติดตามเส้นทาง และความคลาดเคลื่อนเส้นทางเดิน 23
2.18 ตัวอย่างสนามความเร็วสำหรับการติดตามเส้นทางวงกลม 23
2.19 ขั้นตอนการทำงานของการควบคุมด้วยสนามความเร็ว (VFC algorithm) 24
2.20 แผนผังสนามความเร็วช่วยแอลคิวอาร์ควบคุมการติดตามเส้นทาง 27
3.1 ซีลทางกล (Mechanical seal) 30
3.2 การป้องกันด้วยน้ำมันของชุดขับเคลื่อนจากบริษัท SeaBotix 31
3.3 ส่วนประกอบคลัปปลิ้งแม่เหล็กในชุดขับเคลื่อน (Thruster) 32

**รูป** **หน้า**


3.4 ภาพประกอบรวมของชุดขับเคลื่อน (Thruster) 33
3.5 ชุดกำลังขับเคลื่อนต้นแบบ 33
3.6 การทดสอบหากำลังขับของชุดขับเคลื่อน (Thruster) 34
3.7 อุปกรณ์วัดและบันทึกผลด้วย Load cell และ NI CompactRIO 34
3.8 ควบคุมความเร็วและบันทึกผลการทดลองด้วยโปรแกรม LabVIEW 35
3.9 ชุดขับเคลื่อนในแนวนอน 35
3.10 ชุดขับเคลื่อนในแนวดิ่ง 36
3.11 ตำแหน่งการติดตั้งถังบัลลาสต์แบบต่างๆ 38
3.12 การดำสู่ใต้ผิวน้ำด้วยการเติมน้ำสูถังบัลลาสต์หลัก 38
3.13 การลอยขึ้นสู่ผิวน้ำด้วยอากาศอัดไลน้ำในถังบัลลาสต์หลัก 39
3.14 ตำแหน่งการติดตั้งถังควบคุมแรงดันในเรือดำน้ำแบบเครื่องยนต์ดีเซล 39
3.15 ตำแหน่งการติดตั้งครีบของเรือดำน้ำ 40
3.16 การควบคุมมุมครีบในระหว่างการดำของยานใต้น้ำ 40
3.17 ชุดขับเคลื่อนแนวดิ่งของยานใต้น้ำขนาดเล็ก SeaLift 40
3.18 ลักษณะรูปร่างยานใต้น้ำที่เหมาะสม 41
3.19 ภาพการออกแบบยานใต้น้ำขนาดเล็ก 42
3.20 การวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างของยานใต้น้ำ 43
3.21 การวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างฝาปิดของยานใต้น้ำ 44
3.22 การทดสอบรอยรั่วด้วยการอัดความดันอากาศและจุ่มน้ำ 44
3.23 การทดสอบรอยรั่วด้วยความดันสุญญากาศ 45
3.24 แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ 46
3.25 บอร์ดพีซีฝังตัว (Embedded PC) 46
3.26 อุปกรณ์วัดมุมและความเอียง 3DM Accelerometer 47
3.27 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoc 48
3.28 บอร์ดขับมอเตอร์แบบ HB80A 48
3.29 คอมพิวเตอร์พีซี (Computer PC) 49
3.30 กล้อง USB 49
3.31 จอยสติก (Joystick) 50

**รูป** **หน้า**


3.32 แบตเตอรี่ 12 โวล์ท 50
3.33 การเข้าสู่โปรแกรม LabVIEW 2010 51
3.34 แผนผังเครื่องมือวัดที่สร้างจาก LabVIEW 52
3.35 ตัวแปรที่ใช้ร่วมกันสามารถเป็นได้ทั้งลูกข่าย OPC Client หรือ OPC Server 53
3.36 SVE สามารถสื่อสารกับ PLC ที่ผ่าน OPC 53
3.37 SVE เป็นเซิร์ฟเวอร์ OPC 54
3.38 ลักษณะการเชื่อมต่อด้วยโปรแกรม LinkMaster 55
4.1 แผนภาพอ้างอิงบนตัวยานของการเคลื่อนที่ในระนาบ 57
4.2 แผนภาพอิสระพื้นที่หน้าตัดด้านข้างของยานใต้น้ำ 59
4.3 แผนผังการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าแบบเปิด (Open-loop forward motion diagram) 60
4.4 แผนผังการควบคุมทิศทางยานใต้น้ำแบบเปิด (Open-loop yawing motion diagram) 60
4.5 ผลการจำลองการควบคุมความเร็วการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าแบบเปิด 60
4.6 ผลการจำลองการควบคุมทิศทางยานใต้น้ำแบบเปิด 61
4.7 แผนผังการควบคุมทิศทางยานใต้น้ำแบบปิดด้วยต้นกำลังขับเดียว 61
4.8 แสดงอัตราขยายพีไอดี (PID gains) ต่าง ๆ ของการติดตามการควบคุมมุมที่ 90 องศา 62
4.9 การทดสอบการติดตามทิศทางยานใต้น้ำ 62
4.10 การติดตามการควบคุมแบบพีไอดีที่ 90 องศา 63
4.11 การติดตามการควบคุมแบบพีไอดีที่มุมต่าง ๆ 63
4.12 แผนภาพอิสระของยานบนระนาบ xy (ROV's free body diagram in xy-plane) 67
4.13 สนามความเร็วของเส้นทางโคจรแบบวงกลม 68
4.14 ความเร็วที่กำหนดเมื่อจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (-5, -5) 69
4.15 ความเร็วที่กำหนดเมื่อจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (1, 1) 69
4.16 แผนผังการทำงานของ PVFC 70
4.17 ผลการจำลองการควบคุมจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (-5, -5) 71
4.18 ผลการจำลองการควบคุมจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (1, 1) 72
4.19 ยานใต้น้ำขนาดเล็ก 73
4.20 สัมประสิทธิ์แรงต้านของหน้าตัดรูปวงรี 77

**รูป** **หน้า**


4.21 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านตามอัตราส่วนแกนหลักของตัวยาน 79
4.22 ตัวควบคุมระบบยานใต้น้ำอัตโนมัติ 83
4.23 เส้นทางโคจรที่กำหนดของยานใต้น้ำอัตโนมัติ เริ่มต้นจากจุด (1.2,1.2) 83
4.24 เส้นทางโคจรที่กำหนดของยานใต้น้ำอัตโนมัติ เริ่มต้นจากจุด (-0.3,-0.3) 84
4.25 ผลการจำลองเส้นทางของยานใต้น้ำจากจุดเริ่มต้นที่ (1.2,1.2) 86
4.26 ผลการจำลองเส้นทางของยานใต้น้ำจากจุดเริ่มต้นที่ (-0.3,-0.3) 86
4.27 การติดตั้งกล้อง USB 87
4.28 แผ่นวงกลมสีแดงบนยานใต้น้ำอัตโนมัติ 87
4.29 ระบบการมองเห็นของโปรแกรม LabView vision 87
4.30 การใช้เครื่องมือ VFC ของยานใต้น้ำอัตโนมัติ จุดเริ่มต้นอยู่นอกเส้นทางวงกลม 88
4.31 การใช้เครื่องมือ VFC ของยานใต้น้ำอัตโนมัติ จุดเริ่มต้นอยู่ในเส้นทางวงกลม 89
4.32 การนำยานใต้น้ำขนาดเล็กลงน้ำ 90
4.33 ทำการควบคุมยานใต้น้ำขนาดเล็กด้วยจอยสติก 90
4.34 ควบคุมยานใต้น้ำขนาดเล็กมายังตำแหน่งกลางสะพาน 90
ข.1 รายละเอียดของยานใต้น้ำขนาดเล็ก 116
ข.2 ระยะห่างของชุดขับเคลื่อนยานใต้น้ำขนาดเล็ก 117
ค.1 บอร์ด PSoC CY8C29866 119
ค.2 I/O Ports ของบอร์ด PSoC CY8C29866 119
ง.1 โปรแกรมควบคุมยานใต้น้ำแบบกึ่งอัตโนมัติ 131
ง.2 แผนผังการควบคุมด้วยจอยสติกในโปรแกรม LabVIEW 132
ง.3 แผนผังการแปลงภาพจากกล้อง USB เป็นตำแหน่งพิกัด xy ในโปรแกรม LabVIEW 132
จ.1 การติดตามการควบคุมแบบพีไอดีที่ 45 องศา 134
จ.2 การติดตามการควบคุมแบบพีไอดีที่ 0 องศา 134
จ.3 การติดตามการควบคุมแบบพีไอดีที่ -45 องศา 135
จ.4 การติดตามการควบคุมแบบพีไอดีที่ -90 องศา 135