

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๘
กิตติกรรมประกาศ	๙
สารบัญ	๗
รายการตาราง	๑๑
รายการรูปประกอบ	๑๑
รายการสัญลักษณ์	๑๓
ประมวลศัพท์และคำย่อ	๑๓
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาของการศึกษาวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	4
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	4
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	5
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎี	6
2.1 บทนำ	6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.3 ระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรม (Industrial Control System)	14
2.3.1 การควบคุมด้วยความกว้างพัลส์ (Pulse-Width Modulation Control; PWM)	15
2.3.2 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID Control)	17
2.4 ระบบควบคุมสนามความเร็ว (Velocity Field Control; VFC)	22
2.5 การประมาณค่าแบบลำดับการลดรูปสถานะ (Reduced-Order State Estimators)	25
2.6 การควบคุมแบบเชิงเส้นกำลังสอง (Linear Quadratic Regulator; LQR)	26
2.7 การควบคุมแบบสนามความเร็วช่วยแอลคิวอาร์ควบคุมติดตามเส้นทาง (VFC assist LQR Path Tracking Control)	27
2.6 บทส่งท้าย	28

3. องค์ประกอบระบบของยานใต้น้ำขนาดเล็ก	29
3.1 ระบบขับเคลื่อน (Thruster)	29
3.1.1 แมคคานิคอลซีลหรือซีลทางกล (Mechanical Seal)	29
3.1.2 การป้องกันด้วยน้ำมัน (Oil filled)	30
3.1.3 คลັปปลิงแม่เหล็ก (Magnetic Coupling)	31
3.1.3.1 หลักการทำงานและการออกแบบคลັปปลิงแม่เหล็ก	32
3.1.3.2 ชุดขับเคลื่อน (Thruster) ต้นแบบ	33
3.1.3.3 การทดสอบหาค่ากำลังขับของชุดขับเคลื่อน (Thruster)	34
3.1.3.4 สรุปผลการทดสอบวัดแรงขับของชุดขับเคลื่อนต้นแบบ	36
3.2 การออกแบบตัวเรือและโครงสร้าง	37
3.2.1 ความดันภายใต้ใต้น้ำลึก	37
3.2.2 แรงลอยตัว	37
3.2.2.1 การควบคุมความลึกด้วยถังแรงดัน (Ballast Tank)	38
3.2.2.2 การควบคุมความลึกด้วยครีปหรือปีก (Hydroplane)	39
3.2.2.3 การควบคุมความลึกด้วยชุดขับเคลื่อน (Thruster)	40
3.2.3 รูปทรง	41
3.2.4 การออกแบบยานใต้น้ำขนาดเล็ก	41
3.2.5 วิเคราะห์ความแข็งแรงของลำตัวยานใต้น้ำ	43
3.3 ระบบอิเล็กทรอนิกส์และการเชื่อมต่ออุปกรณ์	45
3.3.1 บอร์ดพีซีฝังตัว (Embedded PC)	46
3.3.2 3DM Accelerometer	47
3.3.3 PSoC microcontroller	47
3.3.4 บอร์ดขับมอเตอร์แบบ HB80A	48
3.3.5 คอมพิวเตอร์พีซี (Computer PC)	49
3.3.6 กิ่ง USB OKER Full HD 386	49
3.3.7 จอยสติค (Joystick)	50
3.3.8 แบตเตอรี่และระบบจ่ายไฟ	50
3.4 โปรแกรมการควบคุม	51
3.4.1 โปรแกรม LabVIEW	51

3.4.2	โปรแกรม NI OPC Servers	52
3.4.3	โปรแกรม LinkMaster OPC	54
3.5	บทส่งท้าย	51
4.	ผลการจำลองและการปฏิบัติ (Simulation and Implementation)	57
4.1	การควบคุมทิศทางด้วยการควบคุมแบบพีไอดี (PID Control)	57
4.1.1	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)	57
4.1.2	การจำลองการควบคุม (Control Simulations)	59
4.1.3	การประยุกต์ใช้งาน (Implementations)	62
4.2	การควบคุมแบบลดผลกระทบด้วยสนามความเร็ว (Passive Velocity Field Control)	64
4.2.1	ระบบเพิ่มเติมทางกล (The Augmented Mechanical System)	64
4.2.2	สนามความเร็วที่กำหนดของระบบเสริม (Augmented Desired Velocity Field)	65
4.2.3	กฎการควบคุมคู่ (Coupling Control Law)	66
4.2.4	การจำลองระบบของยานใต้น้ำอัตโนมัติ (Modeling of The AUV System)	66
4.2.5	การติดตามการโคจรยานใต้น้ำบนระนาบ (The AUV Planar Trajectory Tracking)	68
4.2.6	การจำลองและผลลัพธ์ (Simulation and Results)	70
4.3	การควบคุมแบบสนามความเร็วช่วยควบคุมเส้นทางของยานใต้น้ำอัตโนมัติ	73
4.3.1	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของยานใต้น้ำขนาดเล็ก	73
4.3.1.1	พลศาสตร์ของยานใต้น้ำขนาดเล็ก	73
4.3.1.2	พจน์ของเมตริกซ์มวลและความเฉื่อย	74
4.3.1.3	พจน์ของเมตริกซ์คอร์โอลิสและเซนตริฟิวทัล	75
4.3.1.4	พจน์ของเมตริกซ์ค่าความหน่วงของของเหลว	76
4.3.1.5	เวกเตอร์ของแรงกระทำ	76
4.3.1.6	เวกเตอร์ของแรงและทอร์กจากภายนอก	76
4.3.2	วิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์ของยานใต้น้ำ	77
4.3.2.1	วิเคราะห์เมตริกซ์มวลและความเฉื่อย	78
4.3.2.2	วิเคราะห์เมตริกซ์ของคอร์โอลิสและเซนตริฟิวทัล	78
4.3.2.3	วิเคราะห์เมตริกซ์ค่าความหน่วงของของเหลว	79
4.3.2.4	วิเคราะห์เวกเตอร์ของแรงกระทำ	80
4.3.2.5	วิเคราะห์เวกเตอร์ของแรงและทอร์กจากภายนอก	80

4.3.2.6	สมการการเคลื่อนที่ของยานใต้น้ำ	81
4.3.3	การจำลอง (Simulations)	82
4.3.3.1	สนามความเร็ววงกลม (Circular Velocity Field)	83
4.3.3.2	ผลการจำลอง (Simulation Results)	85
4.3.3.3	วิธีการทดสอบ (Testing Methodology)	86
4.3.3.4	ผลการทดสอบ (Testing Results)	88
4.4	การทดสอบการทำงานโดยผู้ควบคุม	89
4.5	บทส่งท้าย	91
5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	92
5.1	สรุปผลงานวิจัย	92
5.2	ข้อจำกัดในงานวิจัย	94
5.3	ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัย	95
	เอกสารอ้างอิง	96
	ภาคผนวก	
ก	แบบรายละเอียดชุดขับเคลื่อน (Thruster)	102
ข	แบบรายละเอียดโครงสร้างยานใต้น้ำขนาดเล็ก	115
ค	การเขียนโปรแกรมควบคุมความเร็วของ PSoC microcontroller	118
ง	การเขียนโปรแกรมควบคุมด้วย LabVIEW	130
จ	ผลทดลองควบคุมทิศทางด้วยการควบคุมแบบพีไอดี	133
	ประวัติผู้วิจัย	136