สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(10)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย	1
1.2 การตรวจเอกสาร	3
1.3 วัตถุประสงค์	15
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	16
1.5 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	16
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	17
2. ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น	19
2.1 ข้อมูลทางด้านการแพทย์	19
2.1.1 การจัดท่าเพื่อระบายเสมหะ	19
2.1.2 ประโยชน์ของงการจัดท่าเพื่อระบายเสมหะ	19
2.1.3 การประเมินการรักษา	20
2.1.4 ตารางแสดงท่าที่ใช้ในการทำกายภาพบำบัด	20
2.1.5 การประเมินผลภายหลังการรักษา	21
2.1.6 การประเมินการรักษา	21
2.2 คุณลักษณะของเตียงกายภาพบำบัด	21
2.2.1 ขอบเขตการเคลื่อนทีของเตียงกายภาพบำบัด	22
2.2.2 แนวทางการออกแบบและพัฒนาเตียงกายภาพบำบัด	22
2.3 ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างเตียงกายภาพบำบัด	22
2.3.1 ทฤษฎีและหลักการคำนวณเรื่องเสาสูง (Column or Struts)	22
2.3.2 ทฤษฎีและหลักการคำนวณเรื่องความเค้นดัดในคาน (Bending Stress in Beam)	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 ระบบขับเคลื่อน	26
2.4.1 ทฤษฎีหลักการออกแบบมอเตอร์และสกรูกำลัง	27
2.5 ระบบควบคุม	28
2.5.1 ส่วนประกอบระบบควบคุมเตียงกายภาพบำบัด	29
2.5.2 การออกแบบระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิก	30
3. การออกแบบและสร้าง	32
3.1 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างเตียงกายภาพบำบัด	32
3.1.1 การคำนวณโครงสร้างเตียงกายภาพบำบัด	32
3.1.2 การออกแบบเตียงกายภาพบำบัดด้วยโปรแกรม Solid EDGE	60
3.1.3 ผลการสั่งประกอบโครงสร้าง	60
3.2 ขั้นตอนการออกแบบมอเตอร์	61
3.2.1 การออกแบบขนาดมอเตอร์	61
3.2.2 การเลือกซื้อมอเตอร์ และผลการประกอบระบบขับเคลื่อนเข้ากับโครงสร้างเตียงกายภาพบำบัด	66
3.3 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างกฎการควบคุมฟัซซี่ลอจิก	68
3.3.1 การทำฟัซซิฟิเคชันอินพุต (Input Fuzzification)	69
3.3.2 การกำหนดตัวแปลเอาต์พุตของฟัซซี่ (Fuzzy Output)	70
3.3.3 การกำหนดขอบเขตเชิงภาษา	70
3.3.4 การสร้างเงื่อนไขหรือกฎการควบคุมของฟัซซี่	71
3.3.5 การทำดีฟัซซิฟิเคชันของเอาต์พุต (Output Defuzzification)	73
3.3.6 การเปลี่ยนค่าเอาตพุต (Output) ที่ได้เป็นค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle)	74
3.4 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างระบบควบคุมเตียงกายภาพบำบัด	80
3.4.1 การรับค่า	80
3.4.2 บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ (ARM-7 STAMP LPC 2119)	82
3.4.3 ระบบขับเคลื่อน	84
3.4.4 ตัวตรวจรู้ (Sensor)	86
3.4.5 แหล่งจ่ายไฟ (Power supply)	87

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 โครงสร้างเตียงกายภาพบำบัดแบบสมบูรณ์	89
4. การออกแบบการทดลอง	90
4.1 การออกแบบการทดลอง	90
4.1.1 การทดลองโดยระบุค่ามุมแต่ละมุม	91
4.1.2 การทดลองด้วยการเรียกใช้ฟังก์ชัน	91
5. ผลการทดลอง	93
5.1 การออกแบบการทดลอง	93
5.1.1 ผลการทดลองโดยระบุค่ามุมแต่ละมุม	93
5.1.2 ผลการทดลองด้วยการเรียกใช้ฟังก์ชัน	105
5.2 สรุปผลการทดลอง	114
6. บทสรุป	116
6.1 บทสรุป	116
6.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหา	116
6.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป	117
บรรณานุกรม	118
ภาคผนวก	120
ก การควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคอมพิวเตอร์	121
ข การควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคีย์แพทและแสดงผลด้วยจอ LCD	135
ค คุณสมบัติของบอร์ด ET-ARM-7 STAMP LPC2119	141
ง ผลการออกแบบโครงสร้างด้วยโปรแกรม Solid-EDGE	147
จ ฟังก์ชันการทำงานของเตียงกายภาพบำบัด	153
ฉ ผลการนำเตียงกายภาพไปใช้งานจริง	166
ประวัติผู้เขียน	171

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2-1	ท่าที่ใช้ในการทำกายภาพบำบัด	20
2-2	ท่าที่ใช้ในการทำกายภาพบำบัดแบบประยุกต์	21
2-2	เปรียบเทียบคุณสมบัติข้อดี-ข้อเสียของระบบขับเคลื่อน	27
3-1	การเทียบค่าตัวแปลทางอินพุต (Quantized)	69
3-2	การกำหนดตัวแปลเอาต์พุตฟัซซี่	70
3-3	เงื่อนไขควบคุมหรือกฎการควบคุม	72
3-4	ผลการคำนวณหาเอาต์พุตของฟัซซี่	74
3-5	ผลการเปลี่ยนค่าเอาต์พุตที่ได้เป็นดิวตี้ไซเคิล	75
3-6	ผลการจำลองระบบ (Simulation) หาเอาต์พุตของฟัซซี่ ด้วยโปรแกรม MATLAB	79
5-1	ค่าความคลาดเคลื่อนจอ LCD ของส่วนหัว กรณีไม่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	93
5-2	ค่าความคลาดเคลื่อนจอ LCD ของส่วนกลาง กรณีไม่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	94
5-3	ค่าความคลาดเคลื่อนจอ LCD ของส่วนล่าง กรณีไม่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	95
5-4	ค่าความคลาดเคลื่อนจอ LCD ของส่วนหัว กรณีที่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	96
5-5	ค่าความคลาดเคลื่อนจอ LCD ของส่วนกลาง กรณีที่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	97
5-6	ค่าความคลาดเคลื่อนจอ LCD ของส่วนล่าง กรณีที่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	98
5-7	ค่าความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุม ของส่วนหัว กรณีไม่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	99
5-8	ค่าความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุม ของส่วนกลาง กรณีไม่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	100
5-9	ค่าความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุม ของส่วนล่าง กรณีไม่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	101
5-10	ค่าความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุม ของส่วนหัว กรณีที่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	102
5-11	ค่าความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุม ของส่วนกลาง กรณีที่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	103
5-12	ค่าความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุม ของส่วนล่าง กรณีที่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	104
5-13	ค่าความคลาดเคลื่อนจอ LCD ทุกส่วน กรณีไม่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการเรียกใช้ฟังก์ชัน	105
5-14	ค่าความคลาดเคลื่อนจอ LCD ทุกส่วน กรณีที่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการเรียกใช้ฟังก์ชัน	107
5-15	ค่าความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุม ทุกส่วน กรณีไม่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการเรียกใช้ฟังก์ชัน	110
5-16	ค่าความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุม ทุกส่วน กรณีที่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการเรียกใช้ฟังก์ชัน	112

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1-1	เตียงกายภาพบำบัดแบบมือหมุน	1
1-2	เตียงกายภาพบำบัดแบบไฟฟ้า	2
1-3	โครงสร้างระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์	3
1-4	ผลตอบสนองของระบบ (a) ไม่มีตัวควบคุม (b) พีไอดี (c) ฟัซซี่ลอจิก	4
1-5	Block diagram ระบบควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรง	5
1-6	Block diagram การควบคุมตำแหน่งมอเตอร์กระแสตรงด้วยพีไอดี	5
1-7	Block diagram การควบคุมตำแหน่งมอเตอร์กระแสตรงด้วยฟัซซี่ลอจิก	6
1-8	ผลการทำ Simulation ของมอเตอร์	6
1-9	Schematic diagram ของระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์	7
1-10	รูปแบบการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์	8
1-11	ผลตอบสนองของตำแหน่งในระบบ ณ ตำแหน่ง 45 องศา	9
1-12	ผลตอบสนองของความเร็วเชิงมุมในระบบ ณ ตำแหน่ง 45 องศา	9
1-13	Block diagram ระบบควบคุมตำแหน่งของแขนหุ่นยนต์	10
1-14	ผลตอบสนองของระบบด้วยการ Simulation	11
1-15	ผลตอบสนองของระบบจริงโดยใช้ฟัซซี่ลอจิก	11
1-16	ผลตอบสนองของระบบจริงโดยใช้ระบบควบคุมพีดี	12
1-17	โมเดลของมอเตอร์กระแสตรง	12
1-18	โมเดล MATLAB/Simulation ของมอเตอร์กระแสตรง	13
1-19	Block diagram ระบบควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรง	14
1-20	ผลตอบสนองของความเร็วเชิงมุม	14
1-21	กราฟการเปลี่ยนแปลงแรงบิด	15
1-22	ส่วนประกอบของเตียงกายภาพบำบัด	16
2-1	รูปแบบเตียงกายภาพบำบัด	22
2-2	Free body diagram ของคาน	23
2-3	กราฟโมเมนต์ดัดในคาน (Bending moment diagram)	24
2-4	Free body diagram ของคาน	25
2-5	ลักษณะสกรูกำลังแบบเกลียว Acme	28

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
2-6	Block diagram ระบบควบคุมตำแหน่งของเตียงกายภาพบำบัด	29
3-1	ระยะและแรงที่กระทำต่อเตียงกายภาพบำบัด	32
3-2	Free body diagram ของส่วนหัว	34
3-3	Free body diagram ในการเคลื่อนที่ของส่วนหัว ณ 30 องศา	34
3-4	Free body diagram ในการเคลื่อนที่ของส่วนหัว ณ 0 องศา	35
3-5	Free body diagram ในการเคลื่อนที่ของส่วนหัว ณ -30 องศา	35
3-6	Free body diagram ของส่วนหัว หลังการย้ายแรง	36
3-7	Free body diagram ของส่วนหัวที่เขียนด้วยโปรแกรม MD-Solid	37
3-8	แรงเฉือน (Shear diagram) ที่ตำแหน่งใดๆ ของคานส่วนหัว	37
3-9	โมเมนต์ดัด (Bending diagram) ที่ตำแหน่งใดๆ ของคานส่วนหัว	37
3-10	คุณสมบัติเหล็กกล่องที่ใช้ในการออกแบบคานส่วนหัว	38
3-11	ความชัน (Slope)ที่ตำแหน่งใดๆ ของคานส่วนหัว	39
3-12	ระยะโก่ง (Deflection)ที่ตำแหน่งใดๆ ของคานส่วนหัว	39
3-13	Free body diagram ของส่วนกลาง	40
3-14	Free body diagram ในการเคลื่อนที่ของส่วนกลาง ณ 0 องศา	40
3-15	Free body diagram ในการเคลื่อนที่ของส่วนกลาง ณ -25 องศา	41
3-16	Free body diagram ของส่วนกลาง หลังการย้ายแรง	42
3-17	Free body diagram ของส่วนกลางที่เขียนด้วยโปรแกรม MD-Solid	42
3-18	แรงเฉือน (Shear diagram) ที่ตำแหน่งใดๆ ของคานส่วนกลาง	43
3-19	โมเมนต์ดัด (Bending diagram) ที่ตำแหน่งใดๆ ของคานส่วนกลาง	43
3-20	คุณสมบัติเหล็กกล่องที่ใช้ในการออกแบบคานส่วนกลาง	44
3-21	ความชัน (Slope)ที่ตำแหน่งใดๆ ของคานส่วนกลาง	45
3-22	ระยะโก่ง (Deflection)ที่ตำแหน่งใดๆ ของคานส่วนกลาง	45
3-23	Free body diagram ของส่วนล่าง	46
3-24	Free body diagram ในการเคลื่อนที่ของส่วนล่าง ณ 60 องศา	46
3-25	Free body diagram ในการเคลื่อนที่ของส่วนล่าง ณ 0 องศา	47
3-26	Free body diagram ในการเคลื่อนที่ของส่วนล่าง ณ -35 องศา	26

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
3-27	Free body diagram ของส่วนล่าง หลังการย้ายแรง	48
3-28	Free body diagram ของส่วนล่างที่เขียนด้วยโปรแกรม MD-Solid	49
3-29	แรงเฉือน (Shear diagram) ที่ตำแหน่งใดๆ ของคานส่วนล่าง	49
3-30	โมเมนต์ดัด (Bending diagram) ที่ตำแหน่งใดๆ ของคานส่วนล่าง	49
3-31	คุณสมบัติเหล็กกล่องที่ใช้ในการออกแบบคานส่วนล่าง	50
3-32	ความชัน (Slope)ที่ตำแหน่งใดๆ ของคานส่วนล่าง	51
3-33	ระยะโก่ง (Deflection)ที่ตำแหน่งใดๆ ของคานส่วนล่าง	51
3-34	Free body diagram ของเสา	52
3-35	คุณสมบัติเหล็กกล่องที่ใช้ในการออกแบบเสา	53
3-36	ผลการออแบบ	53
3-37	Free body diagram ของส่วนฐาน	54
3-38	Free body diagram ในการเคลื่อนที่ของส่วนฐาน ณ 15 องศา	55
3-39	Free body diagram ในการเคลื่อนที่ของส่วนฐาน ณ 75 องศา	56
3-40	Free body diagram ของส่วนฐาน หลังการย้ายแรง	57
3-41	Free body diagram ของส่วนฐานที่เขียนด้วยโปรแกรม MD-Solid	57
3-42	แรงเฉือน (Shear diagram) ที่ตำแหน่งใดๆ ของคานส่วนฐาน	57
3-43	โมเมนต์ดัด (Bending diagram) ที่ตำแหน่งใดๆ ของคานส่วนฐาน	58
3-44	คุณสมบัติเหล็กกล่องที่ใช้ในการออกแบบคานส่วนฐาน	58
3-45	ความชัน (Slope)ที่ตำแหน่งใดๆ ของคานส่วนฐาน	59
3-46	ระยะโก่ง (Deflection)ที่ตำแหน่งใดๆ ของคานส่วนฐาน	59
3-47	ผลการออกแบบเตียงกายภาพบำบัดด้วยโปรแกรม Solid-EDGE	60
3-48	ผลการประกอบโครงสร้างเตียงกายภาพบำบัด	61
3-49	ลักษณะสกรูกำลังแบบเกลียว Acme	62
3-50	ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนส่วนหัว	66
3-51	ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนส่วนกลาง	66
3-52	ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนส่วนล่าง	66
3-53	ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนส่วนฐาน	67

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
3-54	ผลการติดตั้งระบบขับเคลื่อนเข้ากับตัวเตียงกายภาพบำบัด	67
3-55	แผนผังการทำงานของระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิก	68
3-56	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุต 1 และ 2 (Error & Error change of angle)	71
3-57	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต	71
3-58	ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกด้วย MATLAB	75
3-59	ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกด้วย MATLAB	76
3-60	ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกด้วย MATLAB	76
3-61	ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกด้วย MATLAB	76
3-62	ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกด้วย MATLAB	77
3-63	ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกด้วย MATLAB	77
3-64	ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกด้วย MATLAB	77
3-65	ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกด้วย MATLAB	78
3-66	ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกด้วย MATLAB	78
3-67	ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกด้วย MATLAB	78
3-68	ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกด้วย MATLAB	79
3-69	Block diagram ระบบควบคุมตำแหน่งของเตียงกายภาพบำบัด	80
3-70	ลักษณะโปรแกรม LabVIEW	80
3-71	Flowchart การควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยโปรแกรม LabVIEW	81
3-72	บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ ET-ARM-7 STAMP LPC2119	82
3-73	โปรแกรมที่ใช้สำหรับบอร์ด ET-ARM-7 STAMP LPC2119	83
3-74	Flowchart การเขียนโปรแกรมภาษาซีควบคุมเตียงกายภาพบำบัด	83
3-75	การออกแบบวงจรขับมอเตอร์กระแสตรง	84
3-76	ผลการสร้างวงจรขับมอเตอร์กระแสตรง	85
3-77	การออกแบบวงจรขับมอเตอร์กระแสสลับ	85
3-78	ผลการสร้างวงจรขับมอเตอร์กระแสสลับ	86
3-79	โพเทนชิโอมิเตอร์	86
3-80	การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน 24 โวลต์	87

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
3-81	ผลการสร่างวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน 24 โวลต์	88
3-82	การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน 12 โวลต์	88
3-83	ผลการสร่างวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน 12 โวลต์	88
3-84	รูปแบบของเตียงกายภาพบำบัดที่เสร็จสมบูรณ์	89
4-1	การจัดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง	90
5-1	กราฟความคลาดเคลื่อนระบบ สำหรับส่วนหัว กรณีไม่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	93
5-2	กราฟความคลาดเคลื่อนระบบ สำหรับส่วนกลาง กรณีไม่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	94
5-3	กราฟความคลาดเคลื่อนระบบ สำหรับส่วนล่าง กรณีไม่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	95
5-4	กราฟความคลาดเคลื่อนระบบ สำหรับส่วนหัว กรณีที่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	96
5-5	กราฟความคลาดเคลื่อนระบบ สำหรับส่วนกลาง กรณีที่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	97
5-6	กราฟความคลาดเคลื่อนระบบ สำหรับส่วนล่าง กรณีที่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	98
5-7	กราฟความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุม ของส่วนหัว กรณีไม่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	99
5-8	กราฟความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุมของส่วนกลางกรณีไม่มีผู้ป่วยด้วยวิธีการระบุมุม	100
5-9	กราฟความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุม ของส่วนล่าง กรณีไม่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	101
5-10	กราฟความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุม ของส่วนหัว กรณีที่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	102
5-11	กราฟความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุมของส่วนกลาง กรณีที่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	103
5-12	กราฟความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุม ของส่วนล่าง กรณีที่มีผู้ป่วย ด้วยวิธีการระบุมุม	104
5-13	กราฟความคลาดเคลื่อนระบบ สำหรับส่วนหัว กรณีไม่มีผู้ป่วย เรียกใช้ฟังก์ชัน	106
5-14	กราฟความคลาดเคลื่อนระบบ สำหรับส่วนกลาง กรณีไม่มีผู้ป่วย เรียกใช้ฟังก์ชัน	106
5-15	กราฟความคลาดเคลื่อนระบบ สำหรับส่วนล่าง กรณีไม่มีผู้ป่วย เรียกใช้ฟังก์ชัน	107
5-46	กราฟความคลาดเคลื่อนระบบ สำหรับส่วนหัว กรณีที่มีผู้ป่วย เรียกใช้ฟังก์ชัน	108
5-17	กราฟความคลาดเคลื่อนระบบ สำหรับส่วนกลาง กรณีที่มีผู้ป่วย เรียกใช้ฟังก์ชัน	109
5-18	กราฟความคลาดเคลื่อนระบบ สำหรับส่วนล่าง กรณีที่มีผู้ป่วย เรียกใช้ฟังก์ชัน	110
5-19	กราฟความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุม ของส่วนหัว กรณีไม่มีผู้ป่วย เรียกใช้ฟังก์ชัน	111
5-20	กราฟความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุมของส่วนกลางกรณีไม่มีผู้ป่วยเรียกใช้ฟังก์ชัน	111
5-21	กราฟความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุม ของส่วนล่าง กรณีไม่มีผู้ป่วย เรียกใช้ฟังก์ชัน	112
5-22	กราฟความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุม ของส่วนหัว กรณีที่มีผู้ป่วยเรียกใช้ฟังก์ชัน	113

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
5-23	กราฟความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุมของส่วนกลาง กรณีที่มีผู้ป่วย เรียกใช้ฟังก์ชัน	114
5-24	กราฟความคลาดเคลื่อนสเกลวัดมุม ของส่วนล่าง กรณีที่มีผู้ป่วย เรียกใช้ฟังก์ชัน	114
ก-1	ขั้นตอนการควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคอมพิวเตอร์	122
ก-2	ขั้นตอนการควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคอมพิวเตอร์	123
ก-3	ขั้นตอนการควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคอมพิวเตอร์	123
ก-4	ขั้นตอนการควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคอมพิวเตอร์	124
ก-5	ขั้นตอนการควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคอมพิวเตอร์	124
ก-6	ขั้นตอนการควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคอมพิวเตอร์	125
ก-7	ขั้นตอนการควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคอมพิวเตอร์	125
ก-8	ขั้นตอนการควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคอมพิวเตอร์	126
ก-9	ขั้นตอนการควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคอมพิวเตอร์	126
ก-10	ขั้นตอนการควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคอมพิวเตอร์	127
ก-11	ขั้นตอนการควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคอมพิวเตอร์	127
ก-12	ขั้นตอนการควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคอมพิวเตอร์	128
ก-13	ขั้นตอนการควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคอมพิวเตอร์	128
ก-14	ขั้นตอนการควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคอมพิวเตอร์	129
ก-15	ขั้นตอนการควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคอมพิวเตอร์	129
ก-16	ขั้นตอนการควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคอมพิวเตอร์	130
ก-17	ขั้นตอนการควบคุมเตียงกายภาพบำบัดด้วยคอมพิวเตอร์	130
ก-18	ขั้นตอนการตั้งค่าสื่อสารผ่าน Net DDE ของโปรแกรม LabVIEW	131
ก-19	ขั้นตอนการตั้งค่าสื่อสารผ่าน Net DDE ของโปรแกรม LabVIEW	132
ก-20	ขั้นตอนการตั้งค่าสื่อสารผ่าน Net DDE ของโปรแกรม LabVIEW	132
ก-21	ขั้นตอนการตั้งค่าสื่อสารผ่าน Net DDE ของโปรแกรม LabVIEW	133
ก-22	ขั้นตอนการตั้งค่าสื่อสารผ่าน Net DDE ของโปรแกรม LabVIEW	133
ก-23	ขั้นตอนการตั้งค่าสื่อสารผ่าน Net DDE ของโปรแกรม LabVIEW	134
ข-1	ตัวอย่างตัวควบคุมสำรอง	136
ข-2	ขั้นตอนการควบคุมเตียงผ่านคีย์แพทและแสดงผลด้วยจอ LCD	136

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
ข-3	ขั้นตอนการควบคุมเตียงผ่านคีย์แพทและแสดงผลด้วยจอ LCD	137
ข-4	ขั้นตอนการควบคุมเตียงผ่านคีย์แพทและแสดงผลด้วยจอ LCD	137
ข-5	ขั้นตอนการควบคุมเตียงผ่านคีย์แพทและแสดงผลด้วยจอ LCD	137
ข-6	ขั้นตอนการควบคุมเตียงผ่านคีย์แพทและแสดงผลด้วยจอ LCD	138
ข-7	ขั้นตอนการควบคุมเตียงผ่านคีย์แพทและแสดงผลด้วยจอ LCD	138
ข-8	ขั้นตอนการควบคุมเตียงผ่านคีย์แพทและแสดงผลด้วยจอ LCD	139
ข-9	ขั้นตอนการควบคุมเตียงผ่านคีย์แพทและแสดงผลด้วยจอ LCD	139
ข-10	ขั้นตอนการควบคุมเตียงผ่านคีย์แพทและแสดงผลด้วยจอ LCD	139
ข-11	ขั้นตอนการควบคุมเตียงผ่านคีย์แพทและแสดงผลด้วยจอ LCD	139
ค-1	โครงสร้างบอร์ด ET-ARM-7 STAMP LPC2119	143
ค-2	รายละเอียดของ ET-ARM-7 STAMP LPC2119	144
ค-3	รายละเอียดของ ET-ARM-7 START KIT	146
ง-1	ผลการออกแบบเตียงกายภาพบำบัดด้วยโปรแกรม Solid EDGE	149
ง-2	ผลการออกแบบเตียงกายภาพบำบัดด้วยโปรแกรม Solid EDGE	149
ง-3	ผลการออกแบบเตียงกายภาพบำบัดด้วยโปรแกรม Solid EDGE	150
ง-4	ผลการออกแบบเตียงกายภาพบำบัดด้วยโปรแกรม Solid EDGE	150
ง-5	ผลการออกแบบเตียงกายภาพบำบัดด้วยโปรแกรม Solid EDGE	151
ง-6	ผลการออกแบบเตียงกายภาพบำบัดด้วยโปรแกรม Solid EDGE	151
ง-7	ผลการออกแบบเตียงกายภาพบำบัดด้วยโปรแกรม Solid EDGE	152
จ-1	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 1	154
จ-2	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 2	154
จ-3	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 3	155
จ-4	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 4	155
จ-5	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 5	155
จ-6	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 6	156
จ-7	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 7	156
จ-8	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 8	156

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
จ-9	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 9	157
จ-10	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 10	157
จ-11	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 11	157
จ-12	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 12	158
จ-13	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 13	158
จ-14	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 14	158
จ-15	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 15	159
จ-16	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 16	159
จ-17	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 17	159
จ-18	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 18	160
จ-19	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 19	160
จ-20	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 20	160
จ-21	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 21	161
จ-22	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 22	161
จ-23	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 23	161
จ-24	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 24	162
จ-25	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 25	162
จ-26	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 26	162
จ-27	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 27	163
จ-28	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 28	163
จ-29	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 29	163
จ-30	ลักษณะกายภาพของเตียงกายภาพบำบัดสำหรับฟังก์ชัน 30	164
ฉ-1	สถานที่นำเตียงไปใช้งานจริง ณ คณะแพทยศาสตร์ มอ.	166
ฉ-2	สถานที่นำเตียงไปใช้งานจริง ณ ห้องกายภาพบำบัดทรวงอก	166
ฉ-3	การติดตั้งเตียงกายภาพบำบัด	167
ฉ-4	การติดตั้งเตียงกายภาพบำบัด	167
ฉ-5	ตัวอย่างบอร์ดการจัดท่าระบายเสมหะ	167

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
ฉ-6	การทดลองควบคุมเตียงกายภาพโดยนักกายภาพบำบัด	168
ฉ-7	การทดลองควบคุมเตียงกายภาพโดยนักกายภาพบำบัด	168
ฉ-8	ขั้นตอนการทำกายภาพบำบัดผู้ป่วยเพื่อขับเสมหะ	168
ฉ-9	ขั้นตอนการทำกายภาพบำบัดผู้ป่วยเพื่อขับเสมหะ	169
ฉ-10	ขั้นตอนการทำกายภาพบำบัดผู้ป่วยเพื่อขับเสมหะ	169
ฉ-11	ขั้นตอนการทำกายภาพบำบัดผู้ป่วยเพื่อขับเสมหะ	169
ฉ-12	ขั้นตอนการทำกายภาพบำบัดผู้ป่วยเพื่อขับเสมหะ	170
ฉ-13	ขั้นตอนการทำกายภาพบำบัดผู้ป่วยเพื่อขับเสมหะ	170