สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	iv
กิตติกรรมประกาศ	vi
สารบัญ	vii
สารบัญรูป	x
สารบัญตาราง	xiii
รายการสัญลักษณ์	xiv
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์หลักของแผนงานวิจัย	5
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**6**
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับดวงอาทิตย์	6
2.1.1 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์	6
2.1.2 การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	6
2.1.3 รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิว	7
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์	8
2.2.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	9
2.2.2 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	10
2.2.3 ผลของอุณหภูมิต่อพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.3 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	16
2.4 การประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์	17
2.4.1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ	18
2.4.2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่มีภาระทางไฟฟ้าเป็นแบบไฟฟ้า	18
2.4.3 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระใช้ภาระทางไฟฟ้าเป็นแบบไฟฟ้ากระแสสลับ	18
2.4.4 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน	19
2.4.5 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานแบบสลับ	20
2.4.6 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานแบบขนาน	21
2.4.7 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่ง	21
2.4.8 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่งที่เป็นสถานี	23

สารบัญต่อ

หน้า

2.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบติดตามดวงอาทิตย์ 24
2.5.1 ประเภทของระบบควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ 24
2.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบขับเคลื่อน 28
2.7 การเลือกใช้ระบบขับเคลื่อนให้เหมาะสม 33
2.8 โปรแกรม PVsyst 5.31 34
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 38

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 45
3.1 วิธีดำเนินการวิจัย 40
3.2 การศึกษาสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งจริง 40
3.2.1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน 41
3.2.2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน 42
3.3 ระบบตรวจวัดและบันทึกข้อมูล 47
3.4 เซลล์อ้างอิง 49
3.5 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทำวิจัย 51
3.6 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าสายส่ง 52
3.7 ทฤษฎีการประเมินสมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบ 53
3.8 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ 55
3.9 การศึกษาสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองระบบ ฯ โดยการ Simulation 58

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล 66
4.1 การวิเคราะห์สมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 60
4.1.1 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน กับ 2 แกน 60
4.1.2 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน กับแบบ 2 แกน 63
4.2 สมรรถนะของระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน กับ แบบติดตั้งอยู่กับที่ 65
4.2.1 สมรรถนะของระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน กับ แบบติดตั้งอยู่กับที่ 67
4.3 วิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ระบบ 69
4.4 Simulationโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 71
4.5 การประเมินสมรรถนะทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 76
4.6 การศึกษา Sentivity Analysis ทางด้านเศรษฐศาสตร์ 79

สารบัญต่อ

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	**82**
5.1 ผลการประเมินทางด้านเทคนิคของระบบเซลล์แสงอาทิตย์	82
5.2 Simulation ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และแบบติดตั้งอยู่กับที่	83
5.3 สรุปผลการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์	83
5.4 ข้อเสนอแนะ	84
บรรณานุกรม	85
ภาคผนวก ก ตัวอย่างข้อมูลดิบสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์	
ภาคผนวก ข ผลการ Simulation โดยใช้ประแกรม PVsyst 5.31	
ภาคผนวก ค บทความทางวิชาการ	

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1	การเพิ่มของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในโลก	1
รูปที่ 2	สัดส่วนการยื่นขอผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนแบบ VSPP และ SPP	2
รูปที่ 3	โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย	3
รูปที่ 4	โรงไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ได้	4
รูปที่ 5	ขั้นตอนการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	8
รูปที่ 6	การสร้าง I-V curve	9
รูปที่ 7	คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ เซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ I-V curve	10
รูปที่ 8	I-V curve ที่แสดง peak power	11
รูปที่ 9	เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมาจากซิลิคอน	16
รูปที่ 10	เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมาจากสารประกอบ	17
รูปที่ 11	ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	17
รูปที่ 12	ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่ใช้ภาระทางไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง	18
รูปที่ 13	ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่มีภาระทางไฟฟ้าเป็นแบบไฟฟ้ากระแสสลับ	19
รูปที่ 14	ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานแบบอนุกรม	20
รูปที่ 15	ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานแบบสลับ	20
รูปที่ 16	ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานแบบขนาน	21
รูปที่ 17	การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่ง	22
รูปที่ 18	โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.267 MW จังหวัดอ่างทอง	23
รูปที่ 19	ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่งที่ติดตั้งบนหลังคา	23
รูปที่ 20	ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่งที่ติดตั้งร่วมกับอาคาร	24
รูปที่ 21	ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียว	25
รูปที่ 22	ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน	25
รูปที่ 23	แนวโน้มราคาของระบบติดตามดวงอาทิตย์ต่อตารางเมตร	28
รูปที่ 24	มอเตอร์แบบ Servo Motor (ซ้าย) และ Stepper Motor (ขวา)	30
รูปที่ 25	เข้าสู่การใช้งานคอมพิวเตอร์โปรแกรม PVSYST 5.31	34
รูปที่ 26	การเลือกระบบที่จะทำการออกแบบ	34
รูปที่ 27	เริ่มต้นการใช้โปรแกรม PVSYST 5.31 เพื่อทำนายปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	35
รูปที่ 28	เมนูหลักของโปรแกรม PVSYST 5.31 หลังจากทำเลือกการออกแบบเป็นแบบ	35
รูปที่ 29	การเลือกสถานที่ออกแบบและข้อมูลสภาพอากาศ	36
รูปที่ 30	การกำหนดลักษณะเฉพาะของระบบ	36

สารบัญรูปต่อ

		หน้า
รูปที่ 31	การระบุอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบ	37
รูปที่ 32	ผลลัพธ์จากโปรแกรม PVSYST 5.31	37
รูปที่ 33	วิธีดำเนินการวิจัยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งจริง	41
รูปที่ 34	ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน	42
รูปที่ 35	ระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน	43
รูปที่ 36	โครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์	44
รูปที่ 37	การติดตั้งมอเตอร์ ชุดขับเคลื่อน และชุดควบคุม	46
รูปที่ 38	การเชื่อมต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	46
รูปที่ 39	ระบบตรวจวัดและบันทึกข้อมูล	49
รูปที่ 40	รูปเซลล์อ้างอิง	50
รูปที่ 41	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์กับกระแสไฟฟ้าของเซลล์อ้างอิงของระบบเคลื่อนที่ 1 แกน	50
รูปที่ 42	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์กับกระแสไฟฟ้าของเซลล์อ้างอิงของระบบเคลื่อนที่ 2 แกน	51
รูปที่ 43	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทำวิจัย	52
รูปที่ 44	เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า	52
รูปที่ 45	โปรแกรม PVsyst 5.31	58
รูปที่ 46	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิ	60
รูปที่ 47	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์กับกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แบบ 2 แกน และ 1 แกน	61
รูปที่ 48	ความสัมพันธ์ระหว่างรังสีอาทิตย์กับกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แบบ 2 แกน และ 1 แกน	62
รูปที่ 49	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับค่ารังสีอาทิตย์	63
รูปที่ 50	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์กับพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้	64
รูปที่ 51	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้กับประสิทธิภาพของเซลล์	64
รูปที่ 52	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	65
รูปที่ 53	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์กับกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แบบ 2 แกนและแบบติดตั้งอยู่กับที่	66
รูปที่ 54	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์กับกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แบบ 2 แกน และ ติดตั้งอยู่กับที่	66
รูปที่ 55	ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ 2 แกน และ แบบติดตั้งอยู่กับที่	67
รูปที่ 56	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์กับพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้	68
รูปที่ 57	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์	68
รูปที่ 58	สรุปพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่ารังสีอาทิตย์	69
รูปที่ 59	สรุปพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่ารังสีอาทิตย์	70
รูปที่ 60	ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ระบบ	70

สารบัญรูปต่อ

		หน้า
รูปที่ 61	ค่ารังสีอาทิตย์ในแต่ละภูมิภาคในประเทศไทย	72
รูปที่ 62	ผลการ Simulation ระบบติดตั้งอยู่กับที่โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส	73
รูปที่ 63	ผลการ Simulation ระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส	73
รูปที่ 64	ผลการ Simulation ระบบติดตั้งอยู่กับที่โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึก Crystalline	74
รูปที่ 65	ผลการ Simulation ระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึก Crystalline	74
รูปที่ 66	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส	75
รูปที่ 67	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน	75
รูปที่ 68	การเปรียบเทียบราคาการติดตั้งระบบต่อกำลังวัตต์สูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	78
รูปที่ 69	เปรียบเทียบมูลค่าสุทธิตลอดอายุโครงการ	78
รูปที่ 70	เปรียบเทียบตัวแปรทางด้านเศรษฐศาสตร์	79

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ช่องว่างพลังงานของซิลิกอนกับอุณหภูมิ 14
ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียวและแบบสองแกน 26
ตารางที่ 3 เปรียบเทียบข้อมูลของระบบขับเคลื่อนแต่ละชนิด 32
ตารางที่ 4 ข้อมูลทางด้านเทคนิคของมอเตอร์ขับเคลื่อน 45
ตารางที่ 5 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 48
ตารางที่ 6 คุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 51
ตารางที่ 7 ตารางเปรียบเทียบข้อมูลทางด้านเทคนิคของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแบบ 75
ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 MW 77
ตารางที่ 1 ผลการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์กรณีราคาส่วนเพิ่ม (Adder) มีค่า 6 บาทต่อหน่วย 80
ตารางที่ 10 ผลการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์กรณีไม่มีราคาส่วนเพิ่ม (Adder) 81