

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ลำดับขั้นตอนการทดสอบและวิเคราะห์ระบบ.....	3
1.2 อัลกอริทึมของระเบียบวิธีเชิงเลขที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบ.....	3
2.1 ค่าเฉลี่ยของการวัดปริมาณรังสีแสงอาทิตย์บนแผ่นระนาบแต่ละเดือนที่กรุงเทพฯ ในหน่วย $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{day}$	8
2.2 ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ ในแต่ละพื้นที่ของโลกในแต่ละช่วงเวลาในรอบปี.....	9
2.3 องค์ประกอบของดวงอาทิตย์.....	19
2.4 สเปกตรัมของรังสีแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงความยาวคลื่น.....	20
2.5 การเปรียบเทียบความเข้มแสงในแต่ละช่วงความยาวคลื่นที่ค่าความรับอาบรังสีต่างๆ.....	22
2.6 ผลการลดทอนปริมาณรังสีแสงอาทิตย์จากปัจจัยต่างๆ.....	23
2.7 ผลการลดทอนปริมาณรังสีแสงอาทิตย์จากปัจจัยต่างๆ.....	24
2.8 เครื่องมือวัดปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนพื้นโลก.....	26
2.9 ตัวอย่างการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานในลักษณะต่างๆ.....	27
2.10 การใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง ในบริเวณที่เป็นพื้นที่ของประเทศไทยด้วยภาพถ่ายจาก ดาวเทียมในระยะไกล.....	28
2.11 ความสัมพันธ์ของการเพิ่ม CO_2 ในชั้นบรรยากาศ กับอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่เพิ่มขึ้น.....	29
2.12 การลดปริมาณลงของธารน้ำแข็งบริเวณขั้วโลกจากผลการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม.....	30
2.13 ลักษณะการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์.....	31
2.14 มุมของลำแสงจากดวงอาทิตย์ที่ทำกับแนวตั้งฉากกับระดับพื้นโลก.....	31
2.15 ผลของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวโลก จากการโคจรรอบดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา.....	32
2.16 การพิจารณามุมตกกระทบของรังสีแสงอาทิตย์บนโลก.....	33
2.17 ลักษณะการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ เมื่อพิจารณาจากจุดอ้างอิงบนโลก.....	35
2.18 การเปลี่ยนมุม Azimuth angle (ψ) ตามการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ ในช่วงเวลาต่างๆ.....	36
2.19 ตำแหน่งของมุม Zenith angle (θ_z) และ Altitude angle (α).....	36
2.20 แสดงมุมที่เกิดจากพื้นผิว ได้แก่ มุม Tile angle β , Surface Azimuth angle ψ และ Incident angle θ	37
2.21 การวัด และพิจารณาองค์ประกอบการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ บนพื้นเอียง.....	38
2.22 มุมประกอบต่าง ๆ สำหรับการพิจารณา มุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.23 ลักษณะแท่งผลึกซิลิกอน ก่อนการตัดเพื่อทำเป็นแผ่นผลึกสารกึ่งตัวนำ.....	43
2.24 ลักษณะการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและ โฮลในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะต่างๆ.....	46
2.25 การเกิดคู่อิเล็กตรอน และ โฮลขึ้นเมื่อมีแสงอาทิตย์มาตกกระทบบนเซลล์.....	47
2.26 การเคลื่อนที่ของประจุพาหะอิเล็กตรอนและ โฮลภายใต้สนามไฟฟ้า.....	47
2.27 ลักษณะการเคลื่อนที่ของประจุพาหะอิเล็กตรอนและ โฮลในสารกึ่งตัวนำที่สภาวะต่างๆ.....	48
2.28 การเปลี่ยนคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะต่างๆ.....	49
2.29 การพิจารณากราฟคุณลักษณะเฉพาะ เพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงค่าฟิลแฟกเตอร์ และจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์.....	51
2.30 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อพิจารณาผลของความต้านทานอนุกรม และ ความต้านทานขนาน.....	52
2.31 ผลการเปลี่ยนแปลงกราฟคุณลักษณะเมื่อค่าความต้านทานอนุกรม (R_s) และความต้านทานขนาน (R_{sh}) เปลี่ยนแปลงค่าไป.....	52
2.32 ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์.....	54
2.33 คุณลักษณะของการต่อร่วมเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม.....	57
2.34 คุณลักษณะของการต่อร่วมเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน.....	58
2.35 ผลการเปลี่ยนกราฟคุณลักษณะเมื่อมีการบังเงาบางส่วนบนแผงเซลล์.....	59
2.36 ผลการทำงานของชุดเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้การรับอาบรังสีแสงอาทิตย์ที่ต่างกัน.....	60
2.37 ผลกระทบต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	60
2.38 สถานะการทำงานของชุดเซลล์เมื่อมีการลัดวงจร และเปิดวงจรภายใต้การรับอาบรังสี ที่ต่างกัน.....	61
2.39 ลักษณะการต่อใช้งานของบายพาสไดโอด และบล็อกกิ้งไดโอด.....	62
2.40 การเปลี่ยนกราฟคุณลักษณะเฉพาะเมื่อนำเซลล์ที่มีคุณสมบัติต่างกันมาต่อร่วมกัน แบบขนาน.....	63
2.41 วัฏจักรการทำงานของแบตเตอรี่แต่ละวันในรอบปี.....	68
2.42 การทำงานของแบตเตอรี่ในแต่ละช่วงเวลาตามสภาพภูมิอากาศที่ต่างกัน.....	68
2.43 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความจุของแบตเตอรี่.....	70
2.44 ค่าเปอร์เซ็นต์ Depth of Discharge.....	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.1 สถานะที่สโพล์ดีกว่า โพลีโนเมียลการหาค่าแทรกอันดับสูงกว่าฟังก์ชันได้รับการ ปรับที่การเพิ่มขึ้นนับพลันที่ $(x = 0)$	89
3.2 สโพล์การปรับชุดของข้อมูลสี่จุด.....	91
3.3 การหาสโพล์กำลังสอง (quadratic splines) ในกรณีที่ $n = 3$	93
3.4 การประมาณฟังก์ชันจากจุดสังเกต 5 จุด ด้วยโพลีโนเมียลองศา 1.....	98
3.5 การอินทิเกรตเชิงตัวเลขด้วยวิธีการของ Simpson.....	109
3.6 การหาความผิดพลาดตามวิธีการของ Simpson	115
3.7 อัลกอริทึมของระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์.....	122
4.1 การใช้กราฟวิเคราะห์ระบบที่ประกอบด้วยสนามเซลล์แสงอาทิตย์กับแบตเตอรี่.....	124
4.2 ระบบที่ประกอบด้วยสนามเซลล์แสงอาทิตย์กับแบตเตอรี่ การสร้างกราฟเพื่อหาจุดทำงาน ขณะที่สนามเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายไฟเข้าประจุแบตเตอรี่ และจ่ายให้โหลดในเวลาเดียวกัน...125	125
4.3 จุดทำงานของระบบที่ประกอบด้วยสนามเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ขณะที่รังสี แสงอาทิตย์มีค่าต่ำ.....	126
4.4 การหาจุดทำงานของระบบที่มีแบตเตอรี่อุดมคติ.....	128
4.5 แผนภาพรายชั่วโมงของกระแสโหลด และแบตเตอรี่ตลอด 24 ชั่วโมง.....	129
4.6 การวิเคราะห์ระบบที่ประกอบด้วยตัวติดตามควบคุมการทำงานที่จุดกำลังสูงสุด (maximum power tracker).....	130
4.7 การวิเคราะห์ในระบบที่มีตัวคุมค่าแรงดันออก.....	131
4.8 การวิเคราะห์ในระบบที่มีแบตเตอรี่ ตัวติดตามควบคุมจุดกำลังสูงสุด และตัวคุมค่าแรงดันออก.....	132
4.9 ลำดับขั้นตอนการดำเนินงานในแต่ละส่วนสำหรับวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ตามวิธีการที่นำเสนอ	134
4.10 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจำลองการทำงาน และวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์..135	135
4.11 ลำดับขั้นตอนการคำนวณค่ากระแสที่แต่ละส่วนของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์.....	136
4.12 ผลการแสดงค่าในลักษณะรูปพื้นผิวโครงร่าง 3 มิติ ในลักษณะต่างๆจากข้อมูลการ ทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	137
4.13 ผลการแสดงค่าในลักษณะของเส้นโครงร่าง.....	138
4.14 ผลการแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่แต่ละส่วนของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์.....	139

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.15 ลำดับขั้นการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเชิงตัวเลข.....	140
4.16 การเปรียบเทียบฟังก์ชันพหุนามอันดับต่างๆ สำหรับการประมาณค่าของข้อมูลตัวอย่าง....	148
4.17 การเปรียบเทียบฟังก์ชันพหุนามอันดับต่างๆ สำหรับการประมาณค่าของระบบไฟฟ้า แสงอาทิตย์.....	149
4.18 การเปรียบเทียบฟังก์ชันพหุนาม ที่ค่าอันดับต่ำ และค่าอันดับสูง ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์.....	153
4.19 พารามิเตอร์ และองค์ประกอบของระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะ ชนิดกัมมันต์...	155
4.20 วงจรสมมูลของค่าความต้านทานรั่วของท่อ และความต้านทานอนุกรม.....	156
4.21 การสูญเสียแรงดันที่ปลายทางของจุดลงดิน	157
4.22 พารามิเตอร์ประกอบตามระยะทางของท่อที่ป้องกัน	158
4.23 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าตัวกำเนิดไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันของระยะทาง สำหรับท่อ ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร ที่ค่า R_E ต่างๆ กัน.....	159
4.24 การป้องกันการผุกร่อนแบบ Sacrificial Anode.....	161
4.25 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของการป้องกันการผุกร่อนแบบ Sacrificial Anode	161
4.26 การป้องกันการผุกร่อนแบบ Impressed Current	162
4.27 สภาพของท่อโลหะที่ยังไม่ได้รับการป้องกัน.....	163
4.28 สภาพการไหลของกระแสป้องกันการกัดกร่อนในระยะเริ่มต้น.....	164
4.29 สภาพการไหลของกระแสป้องกันการกัดกร่อนในช่วงสมดุล.....	164
4.30 สภาพของท่อโลหะที่ไม่มีการผุกร่อน.....	165
4.31 ท่อโลหะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้วที่ต้องการป้องกันการผุกร่อน.....	166
4.32 ระบบการทำงานของชุดป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะ.....	168
4.33 อุปกรณ์ประกอบการติดตั้งใช้งานของชุดป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะ.....	169
4.34 ความยาวนานแสงแดดเฉลี่ยแต่ละวันในรอบปี ณ ตำแหน่งละติจูดที่ 13 องศาเหนือ.....	170
4.35 วิธีการวัดเพื่อหาค่าสภาพต้านทานของดิน.....	171
4.36 วิธีการวัดเพื่อหาค่าความหนาแน่นกระแส.....	172
5.1 การต่อระบบทดสอบการจ่ายโหลดภาระแบบต่อเนื่อง โดยมีแบตเตอรี่เป็นชุดสะสม พลังงาน.....	176

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.2 ลำดับขั้นสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลการจ่ายโหลดภาระแบบต่อเนื่อง ที่มีแบตเตอรี่เป็น ชุดสะสมพลังงาน.....	177
5.3 การบันทึกค่าและแสดงผลด้วยโปรแกรม Excel.....	178
5.4 ผลลัพธ์การบันทึกค่ากราฟคุณลักษณะของ กระแสและแรงดันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่เวลาต่าง ๆ กัน.....	178
5.5 ผลลัพธ์ในการวิเคราะห์ค่ากระแสที่แต่ละส่วนของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วง เวลาตลอด 24 ชั่วโมง.....	179
5.6 ตัวอย่างการแสดงผลฟังก์ชันที่ระบบมีความสมดุลกันของพลังงาน.....	180
5.7 ตัวอย่างการแสดงผลฟังก์ชันที่พลังงานของระบบไม่สมดุลกัน.....	180
5.8 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีการปรับ มุมเอียงค่าต่างๆ ณ ตำแหน่งละติจูดที่ 13 องศาเหนือ.....	183
5.9 ลักษณะการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ ของแต่ละช่วงเวลาในรอบ 1 ปี ณ. ตำแหน่งละติจูดที่ 13 องศาเหนือ.....	186
5.10 มุมประกอบต่าง ๆ ที่ใช้คำนวณปริมาณรังสีตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	188
5.11 ลักษณะการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละรูปแบบที่ทำการวิเคราะห์.....	189
5.12 ลำดับขั้นตอนการทดสอบ และการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลของพลังงานที่แผง เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตออกมาได้ในแต่ละรูปแบบการติดตั้ง.....	190
5.13 ลำดับขั้นตอนการทดสอบ และการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการเชิงตัวเลขที่ได้นำเสนอ.....	191
5.14 ผลการต่อร่วมกันของเซลล์แสงอาทิตย์ ในลักษณะอนุกรม และขนาน.....	196
5.15 องค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบป้องกันการสุกร่อนของท่อโลหะแบบ Impressed Current..	209
5.16 ท่อโลหะที่ใช้ทดสอบการป้องกันการสุกร่อนแบบ Impressed Current.....	209
5.17 แอโนดชนิดแมกนีเซียมที่ใช้กับชุดป้องกันการสุกร่อนของท่อโลหะแบบ Impressed Current.....	210
5.18 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้กับชุดป้องกันการสุกร่อนของท่อโลหะแบบ Impressed Current.....	211
5.19 การต่อระบบเพื่อทำการทดสอบใช้งานชุดป้องกันการสุกร่อนของท่อโลหะแบบ Impressed Current.....	211
5.20 ปริมาณพลังงานเฉลี่ยที่ตกกระทบบนพื้นโลก ของแต่ละช่วงเวลาในรอบ 1 ปี ณ. ตำแหน่งละติจูดที่ 13 องศาเหนือ.....	212

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.21 หัววัดแบบ Cu/CuSo ₄ สำหรับการวัดตรวจสอบผลการใช้งานของป้องกันการ ผุกร่อนของท่อโลหะ.....	217
5.22 การวัดตรวจสอบผลการทำงานของป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะ.....	217
5.23 ผลการเปรียบเทียบค่าระดับแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่โหลดภาระ.....	218
5.24 ผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ กับพลังงานไฟฟ้าที่โหลด ภาระต้องการ.....	219
5.25 ผลการเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างของท่อที่ไม่ได้รับการป้องกันการผุกร่อน กับท่อโลหะที่ได้รับการป้องกันการผุกร่อนแบบ Impressed Current.....	220
6.1 ภาพโดยรวมของห้องทดสอบมาตรฐาน และวัดผลลัพธ์ข้อมูลของแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ที่มีการควบคุมพารามิเตอร์ และปัจจัยต่างๆ ได้.....	227