



วิศวกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ ในรูปความร้อนและการประยุกต์ใช้งาน

SOLAR THERMAL ENERGY ENGINEERING
AND APPLICATIONS

อรรถกร อาสนคำ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

คำนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหลักและมีอย่างไม่จำกัด ซึ่งส่งผลในหลายๆ ด้านต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก ตั้งแต่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ เกิดฝน กระแสน้ำในทะเล เกิดลม กระบวนการสังเคราะห์แสงไปจนกระทั่งการให้ความอบอุ่นแก่สิ่งมีชีวิตบนโลก ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์มีอิทธิพลอย่างมากต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตบนโลก ในทางวิศวกรรมแล้วการเข้าใจและสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาแปรเปลี่ยนและกักเก็บเป็นพลังงานในรูปแบบอื่นๆ ทั้งในรูปของความร้อนและไฟฟ้า เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งและมีความสำคัญต่อการพัฒนาของประเทศ ซึ่งปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าป้อนให้แก่อาคารที่พักอาศัยต่างๆ ที่เป็นทั้งในรูปความร้อน เช่น การผลิตน้ำร้อนและการกักเก็บไว้สำหรับอาบน้ำในช่วงกลางคืน หรือผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม และในรูปแบบการผลิตไฟฟ้า เช่น โซลาร์รูฟ (Solar roof) และฟาร์ม (Solar farm) ที่ปัจจุบันมีขนาดใหญ่เกิน 1 MW_e และมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศและในภูมิภาค

วิศวกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน และการประยุกต์ใช้งาน (Solar Thermal Energy Engineering and Applications) นับเป็นศาสตร์หนึ่งในการประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางด้านวิศวกรรม ซึ่งผู้เขียนได้ทำการรวบรวมเนื้อหาที่สำคัญในการออกแบบและคำนวณเกี่ยวกับรังสีแสงอาทิตย์และการประยุกต์ใช้ระบบที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์ จากตำราและบทความวิจัยทั้งในและต่างประเทศ รวมไปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ยังมีตำราที่เป็นภาษาไทยที่เกี่ยวข้องกับระบบทางพลังงานแสงอาทิตย์และการประยุกต์ใช้ ในท้องตลาดจำนวนไม่มากนัก ด้วยเหตุนี้จึงเป็นแรงบันดาลใจให้ผู้เขียนได้เรียบเรียงและเขียนตำราวิศวกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนและการประยุกต์ใช้งาน เล่มนี้ขึ้นมา

เนื้อหาในตำรานี้ได้แบ่งออกเป็น 7 บท โดยในแต่ละบทผู้เขียนได้สอดแทรกตัวอย่างการคำนวณไว้พอสมควร เพื่อให้ผู้ศึกษาสามารถเข้าใจเนื้อหาได้มากขึ้น โดยในบทที่ 1 ได้กล่าวถึงพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งในด้านศักยภาพและนโยบายด้านพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย บทที่ 2 ได้อธิบายถึงการคำนวณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนวัตถุนบนพื้นโลก ตามสถานที่ตั้งและเวลาที่ผู้ศึกษาต้องการทราบ บทที่ 3 กล่าวถึงสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ซึ่งได้อธิบายไปถึงการทดสอบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะ และการเพิ่มสมรรถนะในการทำความร้อน ได้แก่ การใช้สนามไฟฟ้า และคลื่นความถี่เหนือเสียงในการเพิ่มค่าความสามารถ

ในการถ่ายเทความร้อน และการใช้ป้อนความร้อนเสริมสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์ รวมถึงการนำโมดูลโฟโตวอลเทอิก/ความร้อน มาเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าและความร้อนได้ในเวลาเดียวกัน บทที่ 4 มุ่งเน้นไปที่การอธิบายเกี่ยวกับระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อน ซึ่งสามารถเก็บในรูปของของเหลวของแข็ง และสารเปลี่ยนสถานะ โดยเฉพาะสารเปลี่ยนสถานะในรูปของของแข็ง-ของเหลว ซึ่งได้นำวิธีการวิเคราะห์แบบเอนทัลปีมาช่วยในการทำนายสมรรถนะ ในบทที่ 5 และ 6 จะกล่าวถึงการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และการประเมินสมรรถนะระยะยาว ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการเลือกขนาดของระบบ ส่วนในบทสุดท้าย บทที่ 7 ได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ ให้สามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยเนื้อหาในตำราเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาทั้งในระดับบัณฑิตศึกษา และระดับปริญญาตรี ในสาขาวิศวกรรมเครื่องกล พลังงาน และสาขาที่เกี่ยวข้อง รวมถึงวิศวกร และผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งนี้ผู้เรียนควรมีพื้นฐานทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์ และการถ่ายเทความร้อนมาพอสมควร

สำหรับคำแปลศัพท์ภาษาอังกฤษ ในเอกสารเล่มนี้ จะพยายามใช้ตามคำศัพท์ในพจนานุกรมศัพท์เทอร์โมไดนามิกส์ และศัพท์พลังงาน ฉบับราชบัณฑิตยสถาน และในกรณีของคำศัพท์ที่ยังไม่ได้รับไว้ จะแปลศัพท์ตามความเหมาะสม

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่ให้การสนับสนุนมาโดยตลอด ตลอดจนครูอาจารย์ โดยเฉพาะ ศ.ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ ที่ได้ให้คำแนะนำในการเขียนตำราเล่มนี้

อรรถกร อาสนคำ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สิงหาคม 2563

สารบัญ

คำนิยาม	I
คำนำ	II
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 ศักยภาพและนโยบายด้านพลังงานแสงอาทิตย์	1
1.1 พลังงานแสงอาทิตย์	2
1.2 พลังงานจากรังสีอาทิตย์สู่โลก	4
1.3 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย	5
1.4 การใช้ประโยชน์โดยตรงจากพลังงานแสงอาทิตย์	6
1.5 สถานภาพและทิศทางการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์	9
1.6 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน	10
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1	13
เอกสารอ้างอิงบทที่ 1	14
บทที่ 2 รังสีอาทิตย์	15
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับรังสีอาทิตย์	16
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีตรงและรังสีกระจาย	24
2.3 การคำนวณค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมงบนพื้นเอียง จากค่ารังสีอาทิตย์รายวันบนระนาบในแนวระดับ	26
แบบฝึกหัดบทที่ 2	34
เอกสารอ้างอิงบทที่ 2	35
บทที่ 3 สมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	37
3.1 ผลคูณการส่งผ่านและการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	39
3.2 ความร้อนสูญเสียจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ ที่มีช่องเหลวเป็นสารทำงาน	42
3.3 ลักษณะการกระจายอุณหภูมิในผิวดูดรังสี	53
3.4 อุณหภูมิของไหลตามทิศทางการไหล	57

3.5	ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลและอุณหภูมิผิว ของแผ่นดัดกลืนรังสี	60
3.6	การทดสอบประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ	64
3.7	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในการผลิตอากาศร้อน	70
3.8	การทดสอบสมรรถนะตัวทำอากาศร้อนแสงอาทิตย์	74
3.9	ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์	75
3.10	การเพิ่มสมรรถนะในการทำความร้อน	86
3.11	โมดูลโฟโตวอลเทอิก	88
3.12	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสง	91
	แบบฝึกหัดบทที่ 3	97
	เอกสารอ้างอิงบทที่ 3	101
บทที่ 4	ระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อน	105
4.1	การเก็บรักษาพลังงานในรูปความร้อน	106
4.2	ระบบเก็บสะสมพลังงานที่ใช้สารตัวกลางที่เป็นของเหลว	107
4.3	ระบบเก็บสะสมพลังงานตัวกลางที่เป็นของแข็ง	114
4.4	ระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อนในตัวกลางที่เป็นสารเปลี่ยนสถานะ	121
	แบบฝึกหัดบทที่ 4	136
	เอกสารอ้างอิงบทที่ 4	141
บทที่ 5	การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	143
5.1	เงินลงทุนเบื้องต้น	145
5.2	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	146
5.3	มูลค่าพลังงานที่ประหยัดได้	148
5.4	การประเมินทางเศรษฐศาสตร์	150
	แบบฝึกหัดบทที่ 5	153
	เอกสารอ้างอิงบทที่ 5	154
บทที่ 6	การประเมินสมรรถนะระยะยาว	155
6.1	การประเมินสมรรถนะระยะยาวของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน	156

6.2	การวิเคราะห์สมรรถนะระยะยาว โดยใช้ศักยภาพการใช้ประโยชน์	160
6.3	การคำนวณโดยใช้วิธี แผนภูมิเอฟ	162
	แบบฝึกหัดบทที่ 6	169
	เอกสารอ้างอิงบทที่ 6	171
บทที่ 7	การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนในกิจกรรมต่างๆ	173
7.1	การผลิตน้ำร้อน	174
7.2	การอบแห้ง	175
7.3	เตาหุงต้มอาหาร	181
7.4	เครื่องกลั่นน้ำ	183
7.5	การทำความเย็น	184
7.6	การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	187
7.7	การกำจัดสารพิษโดยพลังงานแสงอาทิตย์	192
7.8	การให้ความร้อนและระบายความร้อนในอาคาร	193
7.9	ระบบอุ่นสระน้ำ หรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ	195
7.10	สระแสงอาทิตย์	197
	แบบฝึกหัดบทที่ 7	198
	เอกสารอ้างอิงบทที่ 7	200
ดัชนี		202

สารบัญภาพ

รูปที่ 1.1	แกนหมุนของโลกทำมุมเอียง 23.45° จากแนวตั้งฉากของระนาบวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์	3
รูปที่ 1.2	อุปกรณ์วัดรังสี-ไพรานอมิเตอร์	4
รูปที่ 1.3	สัดส่วนรังสีอาทิตย์ที่ตกบนโลก	5
รูปที่ 1.4	แผนที่รังสีอาทิตย์ (Solar map) สำหรับประเทศไทย	6
รูปที่ 1.5	โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์	7
รูปที่ 1.6	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์	7
รูปที่ 1.7	โมดูลโฟโตวอลเทอิก/ความร้อน	9
รูปที่ 1.8	ลักษณะตัวรวมแสงเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อน	11
รูปที่ 2.1	หลักการคำนวณมวลอากาศ	16
รูปที่ 2.2	ทิศทางของมุมชั่วโมง $\omega = 0^\circ$ ที่เที่ยงวันสุริยะ	19
รูปที่ 2.3	มุมเดคลิเนชัน δ	20
รูปที่ 2.4	มุมอะซิมุท	23
รูปที่ 2.5	มุมตกกระทบบนระนาบเอียงและระนาบในแนวระดับ	23
รูปที่ 2.6	รังสีอาทิตย์ที่ตกบนพื้นเอียง	29
รูปที่ 3.1	ลักษณะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบสำหรับของเหลว	38
รูปที่ 3.2	ลักษณะการส่งผ่านและดูดกลืนรังสีอาทิตย์ โดยตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ	39
รูปที่ 3.3	ลักษณะของแผ่นดูดกลืนรังสีแบบท่อและครีป	42
รูปที่ 3.4	ทิศทางการถ่ายเทความร้อนจากผิวแผ่นดูดกลืนรังสีไปยังสิ่งแวดล้อมทางด้านหน้าและด้านหลังตัวเก็บรังสี	44
รูปที่ 3.5	ลักษณะวงจรไฟฟ้า แสดงความต้านทานความร้อนจากอุณหภูมิผิวดูดรังสีไปยังอุณหภูมิอากาศโดยรอบ	47
รูปที่ 3.6	ลักษณะของผิวดูดรังสีชนิดท่อและครีปและลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดที่ผิวของแผ่นดูดกลืนรังสี	53
รูปที่ 3.7	สมดุลพลังงานที่ปริมาตรควบคุมของของไหลที่ไหลในท่อของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	57
รูปที่ 3.8	ลักษณะชุดทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบที่ใช้ของเหลวเป็นสารทำงาน	64
รูปที่ 3.9	สมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตาม ASHRAE Standard	65

รูปที่ 3.10	สมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในแต่ละประเภท	66
รูปที่ 3.11	ค่าคงที่ของเวลาของอุณหภูมิของไหลที่ออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เมื่อมีการลดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์กะทันหัน	68
รูปที่ 3.12	ระบบแสงอาทิตย์เทียมเพื่อใช้ทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์	70
รูปที่ 3.13	ลักษณะและทิศทางการไหลของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้ทำอากาศร้อน	71
รูปที่ 3.14	ลักษณะการไหลของอากาศผ่านตัวเก็บรังสีที่ผิวดูดรังสีเป็นเมตริกซ์	72
รูปที่ 3.15	ลักษณะตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตอากาศร้อนที่เป็นท่อพลาสติกสีดำ	73
รูปที่ 3.16	การใช้ผนังในแนวตั้งทำอากาศร้อน (Trombe wall)	73
รูปที่ 3.17	แผนภาพการทดสอบตัวทำอากาศร้อนแสงอาทิตย์	74
รูปที่ 3.18	ผิวดูดรังสีอาทิตย์ ที่ครีบทั้งฉลากกับท่อทางเดินของของไหล	77
รูปที่ 3.19	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ	78
รูปที่ 3.20	ผลของอัตราการไหลที่มีต่อ F_R ในกรณีที่สารทำงานเป็นน้ำ	80
รูปที่ 3.21	การเชื่อมต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบอนุกรม	82
รูปที่ 3.22	การเชื่อมต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบขนาน	85
รูปที่ 3.23	ผนังที่มีการฝังท่อ น้ำ เพื่อดึงความร้อนสะสมในผนัง และผลิตน้ำร้อนมาใช้ประโยชน์	86
รูปที่ 3.24	การใช้สนามไฟฟ้าช่วยเพิ่มความสามารถในการทำอากาศร้อน ในตัวทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	87
รูปที่ 3.25	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีการติดตั้งหัวกำเนิดคลื่นเสียง เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อน	87
รูปที่ 3.26	หลักการการใช้ปั๊มความร้อนในการเพิ่มสมรรถนะระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์	88
รูปที่ 3.27	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ภายใต้การทำงานจริง	90
รูปที่ 3.28	การสะท้อนรังสีจากรางพาราโบลิค	92
รูปที่ 3.29	ผิวสะท้อนรังสีตรงในรูปแบบต่างๆ	93
รูปที่ 3.30	เลนส์นูนและเลนส์พริสแม	96
รูปที่ 4.1	ตัวอย่างรูปแบบของพลังงานสะสม และรูปแบบความต้องการใช้ความร้อนระหว่างวัน	106

รูปที่ 4.2	ระบบผลิตน้ำร้อนที่มีสารตัวกลางเป็นน้ำ	107
รูปที่ 4.3	อัตราความร้อนที่น้ำในถังกักเก็บน้ำร้อน	108
รูปที่ 4.4	สมดุลพลังงานของน้ำในถังแต่ละชั้น	111
รูปที่ 4.5	ระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อนแบบกักเก็บ	114
รูปที่ 4.6	การแบ่งชั้นระบบกักเก็บความร้อน เพื่อพิจารณาอุณหภูมิของอากาศ	115
รูปที่ 4.7	การกระจายตัวของอุณหภูมิอากาศในแต่ละชั้นเบตกักเก็บ	120
รูปที่ 4.8	การกระจายตัวของอุณหภูมิอากาศในแต่ละชั้นเบตกักเก็บ	121
รูปที่ 4.9	เส้นขอบเขตที่แบ่งสถานะของเหลวและของแข็งในสารเก็บสะสมพลังงานเมื่อมีการให้ความร้อน	122
รูปที่ 4.10	พิกัดรูปแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular coordinates) เมื่อ T_m คืออุณหภูมิหลอมเหลว	123
รูปที่ 4.11	การเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปีตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของสารกึ่งตัวนำ	127
รูปที่ 4.12	การแบ่งส่วนในการวิเคราะห์สารเปลี่ยนสถานะรูปทรงกระบอกตามแนวรัศมี	127
รูปที่ 4.13	การแบ่งชั้นตามรัศมี	130
รูปที่ 4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างเอนทัลปีและอุณหภูมิของพาราฟิน	131
รูปที่ 4.15	ความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปรไร้มิติ θ , τ และ Y สำหรับการประจุและดึงความร้อนจากสารเปลี่ยนสถานะที่บรรจุในเบตลูกบอลลทรงกลม สารตัวกลางเป็นพาราฟินที่มีจุดหลอมเหลว $42\text{ }^{\circ}\text{C}$	133
รูปที่ 5.1	ราคาปัจจุบันของค่าใช้จ่ายรวมเพื่อหาขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสม	144
รูปที่ 5.2	ราคาปัจจุบันของค่าพลังงานที่ประหยัดได้และค่าใช้จ่ายรวมเพื่อหาขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสม	145
รูปที่ 6.1	ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์	156
รูปที่ 6.2	ระบบมาตรฐานในกรณีการทำงานเป็นของเหลว และมีถังเก็บสะสมพลังงานในรูปของน้ำ เพื่อผลิตความร้อนในอากาศและผลิตน้ำร้อน	163
รูปที่ 6.3	ระบบมาตรฐาน กรณีที่ผลิตน้ำร้อนอย่างเดียว ตัวเก็บรังสีอาจใช้ผลิตน้ำร้อนหรืออากาศร้อน	163

รูปที่ 6.4	ระบบมาตรฐานในกรณีที่ใช้อากาศทำความร้อนในอาคารและผลิตน้ำร้อน	163
รูปที่ 7.1	ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนของน้ำแบบธรรมชาติ	174
รูปที่ 7.2	ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนน้ำแบบบังคับ	175
รูปที่ 7.3	เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์แบบกล่อง	175
รูปที่ 7.4	เครื่องอบแห้งที่มีตัวผลิตอากาศร้อนร่วมกับตู้อบแห้ง	176
รูปที่ 7.5	เครื่องอบแห้งที่มีการไหลเวียนแบบบังคับระหว่าง เครื่องผลิตอากาศร้อนกับตู้อบแห้ง	177
รูปที่ 7.6	ตู้อบแห้งข้าวเปลือกแบบง่าย	177
รูปที่ 7.7	ห้องอบแห้งไม้จากระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ ที่มีการให้ความร้อนเสริมด้วย LPG	180
รูปที่ 7.8	จานพาราโบลอยต์ใช้ในการหุงต้มอาหาร	181
รูปที่ 7.9	การหุงต้มหรืออุ่นอาหารในภาชนะโดยตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ	182
รูปที่ 7.10	เครื่องกลั่นน้ำพลังงานและอาทิตย์แบบอ่าง	183
รูปที่ 7.11	ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน/ดูดซับที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นแหล่งให้ความร้อน	184
รูปที่ 7.12	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงในลักษณะต่างๆ	187
รูปที่ 7.13	การผลิตไฟฟ้าด้วยการรวมแสงไปยังเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	189
รูปที่ 7.14	การผลิตไฟฟ้าในระบบปล่อยพลังงานแสงอาทิตย์	189
รูปที่ 7.15	ระบบทำความเย็นแบบอัดไอที่มีการใช้ไฟฟ้า จากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด PV และ PV/T ร่วมกับไฟฟ้าจากสายส่ง	190
รูปที่ 7.16	ระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับระบบสะสมน้ำเย็น โดยมีการใช้ไฟฟ้าจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์	191
รูปที่ 7.17	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบขึ้นบันได	192
รูปที่ 7.18	ระบบบำบัดอากาศในการลด NO _x จากไอเสีย	192
รูปที่ 7.19	การใช้ปรากฏการณ์เรือนกระจกเพื่อให้ความร้อนภายในอาคาร	193
รูปที่ 7.20	การหมุนเวียนอากาศร้อนเข้าสู่ห้องโดยผนังทროมบ์	194
รูปที่ 7.21	ลักษณะผนังทროมบ์เพื่อการระบายความร้อนจากอาคาร	194

รูปที่ 7.22	ระบบใช้อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน	195
รูปที่ 7.23	ระบบผลิตน้ำร้อนป้อนให้กับบ่อเลี้ยงปลา	196
รูปที่ 7.24	ลักษณะการกระจายความเข้มของเกลือและอุณหภูมิน้ำตามความลึกในสระแสงอาทิตย์	197

ตัวอย่าง

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	สัดส่วนพลังงานในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ	2
ตารางที่ 1.2	ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบความร้อน	12
ตารางที่ 2.1	วันที่เป็นตัวแทนของแต่ละเดือนใน 1 ปี	21
ตารางที่ 2.2	รังสีรวมบนพื้นในแนวระดับรายวันเฉลี่ยต่อเดือนบนระนาบในแนวระดับ ($\bar{H}$) ของพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่	26
ตารางที่ 2.3	ค่าสัมประสิทธิ์ ค่า a_1 , a_2 , b_1 และ b_2 ที่สถานีวัดต่างๆ ของประเทศไทย	27
ตารางที่ 4.1	ค่า $\text{erf } \lambda$ และ $\lambda \exp(\lambda^2) \text{erf } \lambda$	125
ตารางที่ 6.1	ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงเฉลี่ยที่เวลา 9.00-10.00 น. (Sola time) ที่ตกกระทบตัวเก็บรังสีอาทิตย์, I_T ในเดือนมกราคม (ค่าสมมุติ)	161

วิศวกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ ในรูปความร้อนและการประยุกต์ใช้

SOLAR THERMAL ENERGY ENGINEERING AND APPLICATIONS

CHIANG MAI
UNIVERSITY PRESS

ตำรานี้ กล่าวถึงหลักการคำนวณรังสีแสงอาทิตย์ สมรรถนะ และแนวทางในการเลือก
ขนาดของอุปกรณ์ด้านพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์
การนำไปประยุกต์ใช้ทดแทนการใช้พลังงานฟอสซิล ในรูปความร้อนและไฟฟ้า
สอดแทรกเนื้อหาที่เกิดจากการวิจัยใหม่ๆ
ได้แก่ การผลิตน้ำร้อน การอบแห้ง
การทำความเย็น การเก็บสะสมพลังงาน
การปรับอากาศและการผลิตไฟฟ้า



ติดต่อได้ที่

<https://cmupress.cmu.ac.th>,
<https://cmu.to/cmupress>



CMUPress

โดย
พศ.ดร.อรรณกร อาสนคำ

ตำรานี้ กล่าวถึงหลักการคำนวณรังสีอาทิตย์ สมรรถนะและ
แนวทางในการเลือกขนาดของอุปกรณ์ด้านพลังงานแสงอาทิตย์
ได้แก่ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พร้อมกับการนำไป
ประยุกต์ใช้ประโยชน์ ทดแทนการใช้พลังงานฟอสซิล ในรูปความร้อน
และไฟฟ้า โดยมีการสอดแทรกเนื้อหาที่เกิดจากงานวิจัยใหม่ๆ ตลอด
จนการแสดงตัวอย่างการคำนวณ เพื่อให้ผู้อ่านสามารถนำไปใช้ในการ
ออกแบบระบบทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ในกิจกรรมต่างๆ ได้แก่
การผลิตน้ำร้อน การอบแห้ง การทำความเย็น การเก็บสะสมพลังงาน
การปรับอากาศ และการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น ดังนั้นตำรานี้ จึงมีประโยชน์
อย่างยิ่งสำหรับการเรียนการสอน และงานวิศวกรรมด้านการประยุกต์
ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมต่อสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย



CHIANG MAI
UNIVERSITY PRESS

ISBN: 978-616-398-487-6



บทที่ 1

ศักยภาพและนโยบาย ด้านพลังงานแสงอาทิตย์

1.1 พลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหลัก ซึ่งก่อให้เกิดปรากฏการณ์หลายอย่างบนโลก เช่น ก่อให้เกิดลม ฝน กระแสน้ำในทะเลมหาสมุทร เกิดชีวมวลโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง และทำให้เกิดเชื้อเพลิงฟอสซิลที่เกิดจากการทับถมของซากพืช และซากสัตว์ ดวงอาทิตย์มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.391×10^9 m ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างจุดศูนย์กลางดวงอาทิตย์และโลก เท่ากับ 1.496×10^{11} m โดยโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ 1 รอบ ใช้เวลา 365.25 วัน (Duffie, Beckman, 2013)

สเปกตรัมที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของรังสีอาทิตย์ที่นอกบรรยากาศของโลก (Extraterrestrial solar spectrum) มีลักษณะใกล้เคียงกับการเปล่งรังสีของวัตถุดำ (Black body) ที่อุณหภูมิ 5,760 K จึงถือว่าอุณหภูมิผิวดวงอาทิตย์ประสิทธิภาพ (Effective temperature) มีค่าดังกล่าวด้วย โดยมีสัดส่วนพลังงานในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1.1 (เสริม จันทรฉาย, 2557)

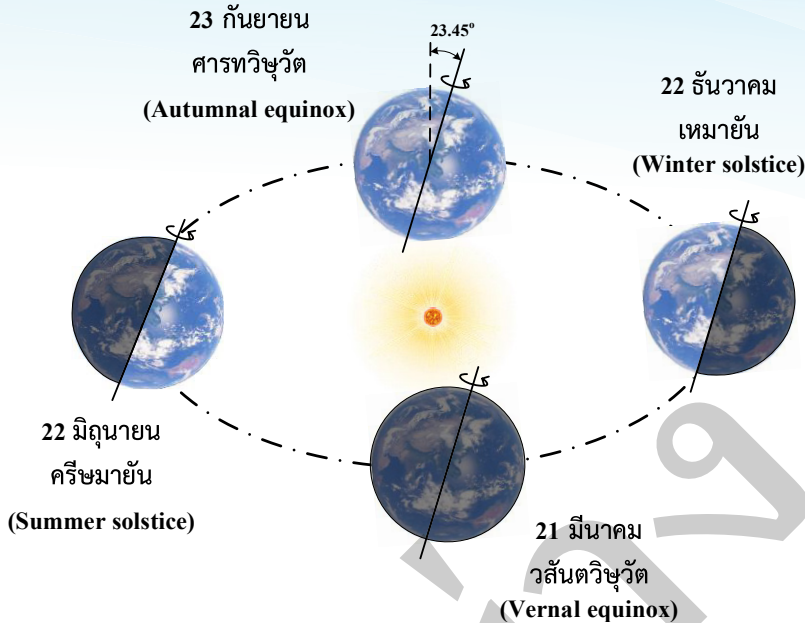
ตารางที่ 1.1 สัดส่วนพลังงานในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ (ดัดแปลงจาก เสริม จันทรฉาย, 2557)

รังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ	ช่วงความยาวคลื่น (μm)	สัดส่วนพลังงาน (%)
รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet)	0.01 – 0.40	8.0
แสงสว่าง (Visible)	0.48 – 0.78	33.0
รังสีอินฟราเรด (Infrared)	0.78 – 1,000	52.9

พลังงานแสงอาทิตย์เกือบทั้งหมด (กว่า 99%) อยู่ในช่วงความยาวคลื่นไม่เกิน $4 \mu\text{m}$ ซึ่งที่บริเวณความยาวคลื่นประมาณ $4 \mu\text{m}$ จะเป็นรังสีอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared)

ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกบนโลก ที่นอกบรรยากาศของโลก ที่ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างดวงอาทิตย์กับโลก เรียกว่า ค่าคงตัวรังสีอาทิตย์ (Solar constant, I_{sc}) ค่าดังกล่าวมีนักวิทยาศาสตร์และหน่วยงานต่างๆ ได้เสนอไว้แตกต่างกัน เช่น Johnson (1954) ที่เสนอค่าเท่ากับ $1,322 \text{ W.m}^{-2}$, NASA (1971) ได้กำหนดค่าเป็น $1,353 \text{ W.m}^{-2}$, The World Radiation Center (1954) เสนอค่าเท่ากับ $1,367 \text{ W.m}^{-2}$ และ Frohlich (1977) ได้เสนอค่า $1,373 \text{ W.m}^{-2}$ สำหรับตำราเล่มนี้จะใช้ค่า $1,367 \text{ W.m}^{-2}$ หรือ $1.96 \text{ Cal.m}^{-2}.\text{min}^{-1}$ หรือ $413 \text{ BTU.ft}^{-2}.\text{h}^{-1}$ หรือ $4.921 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$)

โลกเคลื่อนที่ในลักษณะวงรีรอบดวงอาทิตย์ ขณะเดียวกันโลกก็หมุนรอบตัวเอง โดยแกนหมุนของโลกจะทำมุม 23.45° จากแนวตั้งฉากของระนาบวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 1.1



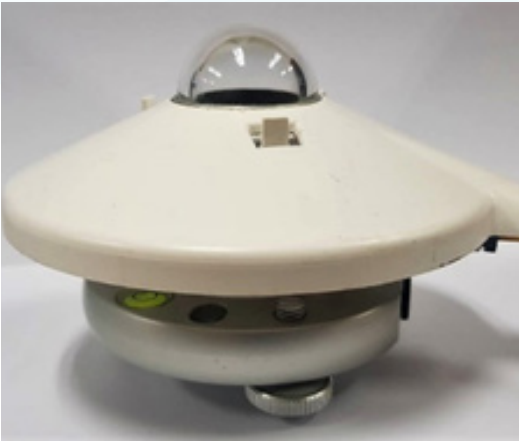
รูปที่ 1.1 แกนหมุนของโลกทำมุมเอียง 23.45° จากแนวตั้งฉากของระนาบวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

ปรากฏการณ์ดังกล่าว จะมีผลต่อรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนโลก โดยประมาณวันที่ 21-22 มิถุนายน จะเป็นวันที่กลางวันจะยาวที่สุดและกลางคืนสั้นที่สุดเรียกว่า ครีษมายัน (Summer solstice) และวันที่ 22 ธันวาคม จะเป็นวันที่กลางวันสั้นที่สุดและกลางคืนยาวที่สุด ซึ่งเรียกวันนี้ว่า เหมายัน (Winter solstice) นอกจากนี้ยังมีอีก 2 วัน คือวันที่ 21 มีนาคม เรียกว่า วสันตวิษุวัต (Spring equinox) และวันที่ 23 กันยายน เรียกว่า ศารทวิษุวัต (Autumnal equinox) ซึ่งเวลากลางวันจะเท่ากับเวลากลางคืน (กฤษณพงศ์, 2531)

ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกบนผิวโลก ยังแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ รังสีตรง (Beam or direct solar radiation) และรังสีกระจาย (Diffuse solar radiation)

รังสีตรง เป็นรังสีอาทิตย์ที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงตามแนวลำแสงอาทิตย์ มาตกบนตำแหน่งหนึ่งตำแหน่งใดบนผิวโลก มีทิศทางแน่นอน ในขณะที่ รังสีกระจาย เป็นส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ตกสะท้อนและกระจายไปโดยแก๊ส ฝุ่นละออง ตามทิศทางเดินของรังสี ก่อนตกกระทบบนตำแหน่งหนึ่งตำแหน่งใดบนผิวโลก โดยรังสีกระจายจะเข้ามาทุกทิศทาง ดังนั้นในกรณีรังสีตรงสามารถบังคับทิศทางของรังสี สามารถถูกหักเหหรือรวมแสงได้ ในขณะที่รังสีกระจายไม่สามารถควบคุมทิศทางรังสีได้

ผลรวมค่ารังสีตรงและรังสีกระจายบนระนาบหนึ่งระนาบใด เรียกว่า รังสีอาทิตย์รวม (Total solar radiation) ในกรณีรังสีรวมบนระนาบในแนวนอนจะเรียกว่า รังสีอาทิตย์โกลบอล (Global solar radiation) อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่ารังสีรวมจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ดังแสดงในรูปที่ 1.2 (ก)



ก. โพรานอมิเตอร์วัดรังสีรวม



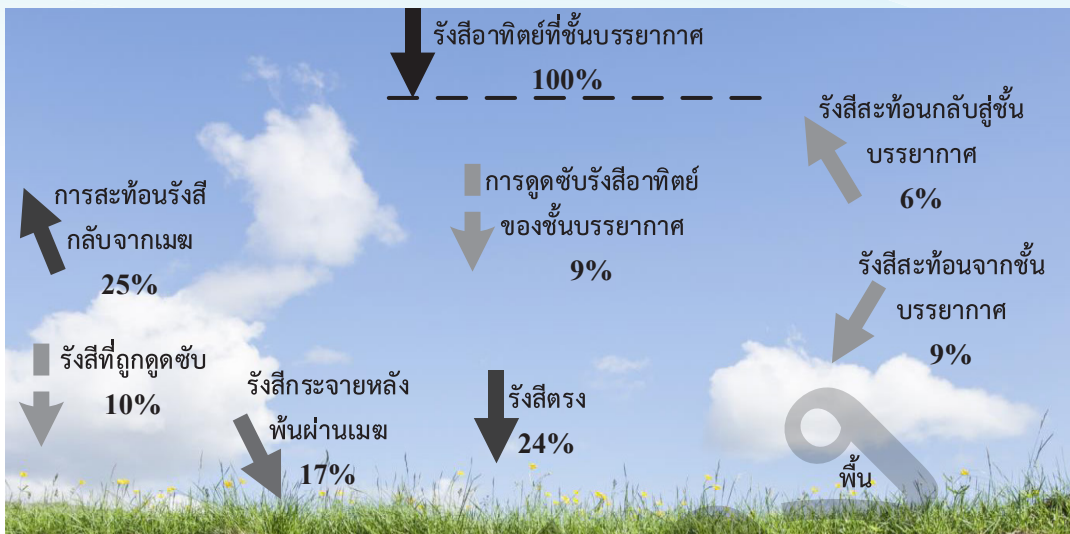
ข. โพรานอมิเตอร์วัดรังสีกระจาย
(เสริม จันทรฉาย, 2557)

รูปที่ 1.2 อุปกรณ์วัดรังสี-โพรานอมิเตอร์

โพรานอมิเตอร์ยังสามารถนำไปใช้วัดรังสีกระจายโดยการติดตั้งแผ่นกลม (Shading disc) หรือแถบวงแหวน (Shading ring) บังไม่ให้เซ็นเซอร์ของอุปกรณ์เห็นดวงอาทิตย์ ทำให้อุปกรณ์ดังกล่าวจะวัดค่ารังสีกระจาย ตัวอย่างของแถบบังแสง แสดงในรูปที่ 1.2 (ข) โดยผลต่างของรังสีอาทิตย์ที่วัดได้ในอุปกรณ์ทั้งสอง เมื่อวางบนระนาบเดียวกัน จะเป็นค่ารังสีตรงบนระนาบนั้น

1.2 พลังงานจากรังสีอาทิตย์สู่โลก

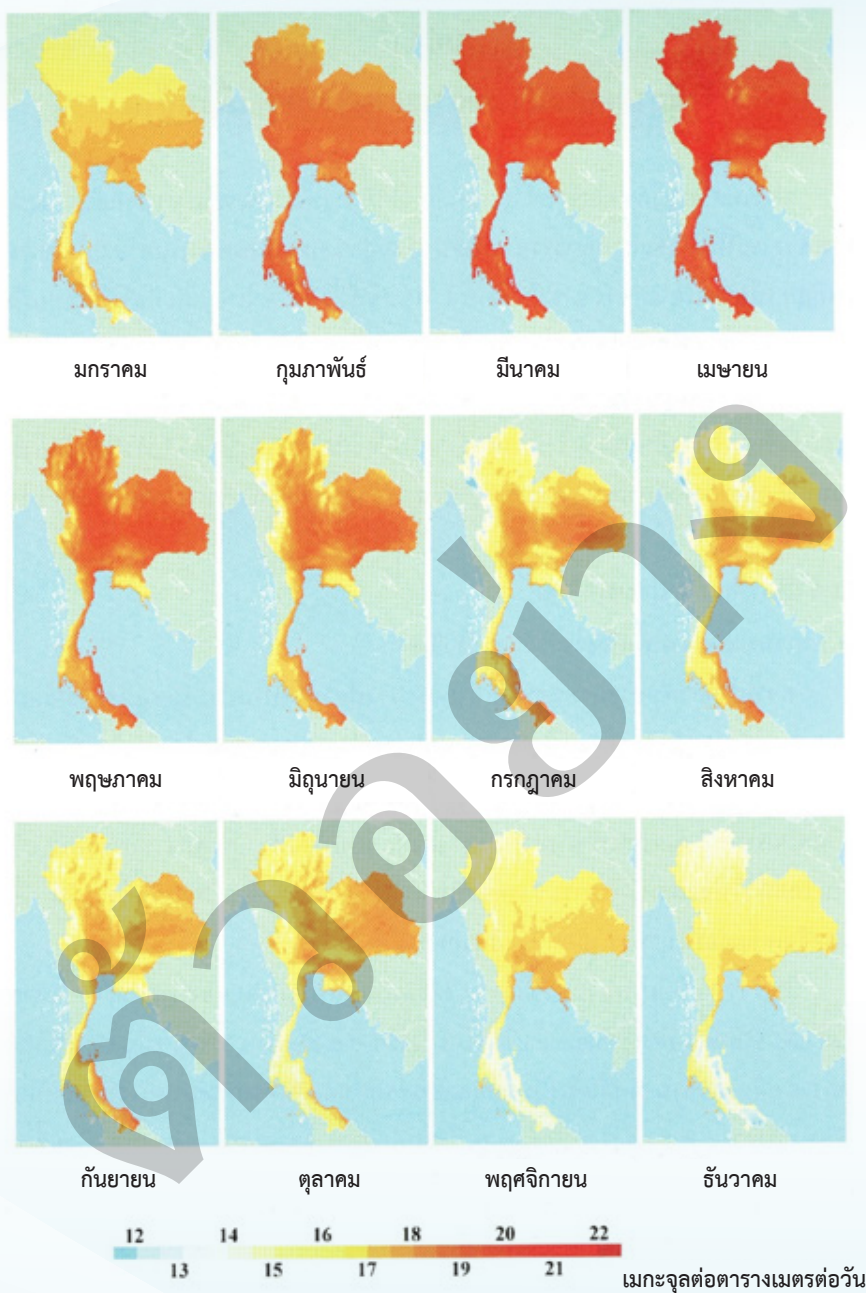
รังสีอาทิตย์ที่ตกบนโลกต่อปีมีค่าประมาณ 1.9×10^{14} tCOE (Tonne of coal equivalent) โดยที่ปริมาณการใช้พลังงานบนผิวโลกมีเพียง 9×10^9 tCOE ซึ่งมีค่าประมาณ 0.005% ของรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนโลกเท่านั้น โลกได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่น $0.3 - 3 \mu\text{m}$ พลังงานแสงอาทิตย์ 100% ที่ตกบนชั้นบรรยากาศโลกจะมีเพียง 24% เท่านั้นที่ตกมาถึงพื้นโดยไม่เปลี่ยนทิศ (รังสีตรง) และจะมีรังสีหักเหเปลี่ยนทิศทางในก้อนเมฆ ฝุ่นละอองและชั้นบรรยากาศอีก 25% (รังสีกระจาย) ดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 สัดส่วนรังสีอาทิตย์ที่ตกบนโลก (ดัดแปลงจาก Ristinen and Kraushaar, 2006)

1.3 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542) โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2542) พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดอยู่ระหว่างเดือนเมษายน และ พฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 MJ.m⁻².day⁻¹ บริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปี อยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อโยธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19 ถึง 20 MJ.m⁻².day⁻¹ คิดเป็น 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทย และ 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี ในช่วง 18-19 MJ.m⁻².day⁻¹ จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ พบว่า มีค่าเท่ากับ 18.2 MJ.m⁻².day⁻¹ แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง (รูปที่ 1.4)



รูปที่ 1.4 แผนที่รังสีอาทิตย์ (Solar map) สำหรับประเทศไทย (Janjai et al., 2005)

1.4 การใช้ประโยชน์โดยตรงจากพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์สามารถนำมาผลิตพลังงานโดยตรงเพื่อใช้ประโยชน์ใน 2 รูปแบบ คือ การผลิตไฟฟ้าโดยตรงโดยผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) ดังแสดงในรูปที่ 1.5 และการผลิต

ความร้อนโดยผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector) ดังแสดงในรูปที่ 1.6

เซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ จะทำด้วยซิลิคอน ซึ่งทำจากวัสดุประเภทซิลิกา ถูกลำมาสกัด และทำให้บริสุทธิ์ มีการหลอมตัวและแข็งตัว และจัดเรียงอะตอมให้ได้ตามต้องการ เซลล์แสงอาทิตย์ อาจจำแนกเป็นชนิดผลึกเดี่ยว (Single-crystalline, Mono-crystalline) ซึ่งใช้วัสดุค่อนข้างมาก ทำให้มีราคาค่อนข้างแพง ชนิดผลึกรวม (Polycrystalline) ซึ่งเป็นผลึกเล็กๆ ของผลึกเดี่ยวมาอัดเรียงตัวกันทำให้ราคาถูกลง และชนิดไม่มีรูปผลึก (Amorphous) ในรูปของฟิล์มบาง นอกจากนี้ ยังมีวัสดุที่ทำเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ แคดเมียมเทลลูไรด์ (Cadmium telluride) และแกเลียมอาซีนไนด์ (Gallium arsenide) เป็นต้น

โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบด้วย เซลล์แสงอาทิตย์ต่อเรียงตัวกันเพื่อให้สามารถจ่าย แรงดันและกระแสไฟฟ้าได้ตามต้องการ สมรรถนะในการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ มักจะกำหนดที่ค่ามาตรฐานที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ $1,000 \text{ W.m}^{-2}$ และอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ อยู่ที่ 25°C ไฟฟ้าที่ผลิตได้จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเมื่อนำมาใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ จะต้องใช้อุปกรณ์ประเภทอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงมาเป็นไฟฟ้ากระแสสลับก่อน



รูปที่ 1.5 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์



(ก) แบบแผ่นราบ



(ข) แบบท่อสุญญากาศ

รูปที่ 1.6 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์



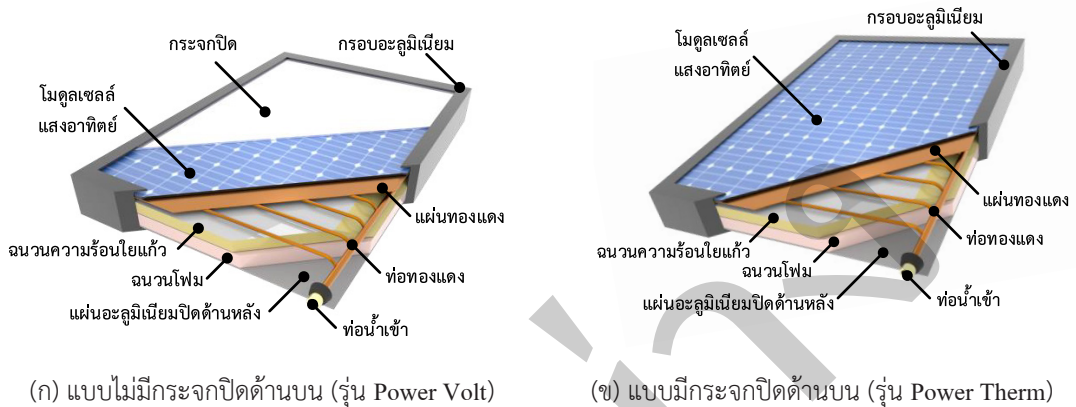
(ค) แบบรวมรังสี (รางพาราโบลิค)

รูปที่ 1.6 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (ต่อ)

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นความร้อนมาใช้ประโยชน์ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์อาจจำแนกเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ (Flat-plate solar collector) ซึ่งมีผิวดูดกลืนรังสี ดูดกลืนรังสีอาทิตย์และเปลี่ยนเป็นความร้อนให้กับของไหลที่ไหลในตัวเก็บรังสี เช่น น้ำ อากาศ หรือน้ำมัน ของไหลร้อนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ เช่น การผลิตน้ำร้อน เพื่อใช้ในการอุปโภค เช่น ในโรงแรม โรงพยาบาล หรือบ้านพักอาศัย การผลิตน้ำร้อนหรืออากาศร้อนเพื่อใช้ในการอบแห้ง หรือการทำความเย็นโดยผ่านระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนหรือการผลิตไฟฟ้าโดยผ่านวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ เป็นต้น รวมถึงการกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ตัวเก็บรังสีประเภทนี้สามารถใช้ประโยชน์จากรังสีอาทิตย์ชนิดรังสีตรงและรังสีกระจาย ยังมีตัวเก็บรังสีอาทิตย์อีกประเภทหนึ่ง คือ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมรังสี (Concentrating solar collectors) ซึ่งใช้ได้เฉพาะรังสีตรง ที่สามารถควบคุมทิศทางรังสีอาทิตย์ได้ ตัวอย่างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบนี้ ได้แก่ แบบรางพาราโบลิค (Parabolic trough) แบบจานรวมแสง (Parabolical dish) แบบหอพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar tower) เป็นต้น ระบบตัวเก็บรังสีประเภทนี้ ของไหลที่ผลิตได้จะมีอุณหภูมิสูง เช่น ในรูปของไอน้ำ รวมถึงสารพวกเกลือ หรือ ซิลิโคน เป็นตัวกลาง ที่สามารถทนอุณหภูมิสูง มักนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าผ่านวัฏจักรแรงดันไอน้ำ

นอกจากนี้ ยังมีอุปกรณ์ที่น่าสนใจของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนเข้าด้วยกัน อุปกรณ์ดังกล่าวเรียกว่า โมดูลโฟโตวอลเทอิก/ความร้อน, พีวี/ที (Photovoltaic/Thermal, PV/T module) ดังรูปที่ 1.7 โมดูลนี้จะมีน้ำไหลผ่านด้านหลังของแผงโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิโมดูลไม่สูงมากเกินไป ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้ายังคงมีค่าสูง ขณะเดียวกันยังได้นำความร้อนไปใช้ประโยชน์ ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมสูงขึ้นไปอีก

โมดูลพีวี/ที จะมี 2 ลักษณะ ได้แก่ แบบที่มีกระจกปิดและไม่มีกระจกปิดทับด้านบนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ในกรณีที่ต้องการผลิตไฟฟ้าและผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงและผลิตไฟฟ้าเป็นหลักตามลำดับ มีการออกแบบเพื่อเลือกขนาดโมดูลพีวี/ที เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศและผลิตน้ำร้อนใช้ในหอพักนักศึกษาในประเทศไทย (ชัชวาล กะการดี และคณะ, 2561)



รูปที่ 1.7 โมดูลโฟโตวอลเทอิก/ความร้อน

การเลือกขนาดโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ หรือโมดูลโฟโตวอลเทอิก/ความร้อน จะมีปรับเปลี่ยนไปตามความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ เนื่องจากมีความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน ซึ่งจะต้องใช้องค์ความรู้ในการประเมินค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนอุปกรณ์ รวมถึงสมรรถนะของอุปกรณ์ มาใช้กำหนดขนาดอุปกรณ์ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ต่ำที่สุด

1.5 สถานภาพและทิศทางการประยุกต์ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ (Solar Power Europe, 2016; IRENA, 2017)

การผลิตไฟฟ้าผ่านโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และความต้องการของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลก เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าขยายตัวแบบก้าวกระโดด โดยเฉพาะในปี ค.ศ. 2016 ซึ่งมีการติดตั้งและต่อเข้ากับสายส่งมากกว่า 76.6 GW หรือเพิ่มขึ้นกว่า 50% เทียบกับ 51.2 GW ที่ติดตั้งในปี ค.ศ. 2015 ทำให้มีกำลังผลิตไฟฟ้าสะสมรวมเกินกว่า 300 GW ในปลายปี ค.ศ. 2016 ทั้งนี้ตลาดของเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าจะอยู่ที่ประเทศจีน ซึ่งในปี ค.ศ. 2016 มีกำลังผลิตติดตั้งที่ต่อกับสายส่ง รว 34.5 GW ที่เพิ่มขึ้น 128% เทียบกับ 15.1 GW ในปีก่อน ซึ่งคิดเป็นสัดส่วน รว 45% ของโลก และในปี ค.ศ. 2016 ภูมิภาคเอเชีย-แปซิฟิก ซึ่งรวมประเทศจีนด้วย จะเป็นภูมิภาคที่มีการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุด โดยจะมีกำลังการผลิตติดตั้งสะสมรวม 147.2 GW คิดเป็นราว 48% ของตลาดโลก

สาเหตุหลักประการหนึ่งที่มีการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น เนื่องจากราคาในการผลิตไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โครงการบางโครงการที่มีอายุ 25 ปี พบว่า ราคาในการผลิตไฟฟ้าอาจราคาต่ำกว่า $0.8 \text{ Bath.kWh}^{-1}$ ($24.4 \text{ USD.MWh}^{-1}$) ในปี ค.ศ. 2016 ซึ่งมีราคาถูกกว่าโรงไฟฟ้าชนิดวัฏจักรรวม (Combined cycle) ที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ดังนั้น จึงมีการคาดการณ์ว่ากำลังการผลิตติดตั้งรวมอาจถึง 400 GW ในปี ค.ศ. 2018 และเพิ่มขึ้น 100 GW ในแต่ละปีซึ่งจะเป็น 700 GW ในปี ค.ศ. 2021

สำหรับประเทศไทย ความมั่นคงด้านพลังงานเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งการผลิตไฟฟ้าของประเทศเดิมพึ่งพาแก๊สธรรมชาติเป็นแหล่งพลังงานเกือบ 70% ดังนั้น รัฐบาลไทยจึงมีแผนพัฒนาพลังงานทดแทนในปี ค.ศ. 2015 ซึ่งวางเป้าว่าจะมีการใช้พลังงานทดแทน 30% ของความต้องการพลังงานทั้งหมดในปี ค.ศ. 2036 และพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของพลังงานทดแทน นอกจากจะผลิตไฟฟ้าไปใช้ในภาคเศรษฐกิจต่างๆ เช่น ในที่พักอาศัย อาคารพาณิชย์ และภาคอุตสาหกรรมแล้วยังไปอยู่ในอาคารพาณิชย์และภาคอุตสาหกรรม รวมถึงภาคขนส่ง ซึ่งคาดว่า ในปี ค.ศ. 2036 จะมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้า 1.5 ล้านคัน และยานยนต์ 2 ล้อ และ 3 ล้อ อีกราว 3.5 ล้านคัน

สำหรับประเทศไทยโซลาร์ฟาร์ม (Solar farm) เพื่อผลิตไฟฟ้าแห่งแรกของประเทศไทยติดตั้งโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยในปี ค.ศ. 1996 มีกำลังการผลิตไฟฟ้า 504 kW และในปี ค.ศ. 2015 มีกำลังการผลิตติดตั้ง ในระบบโซลาร์ฟาร์ม 1,422 MW และแบบโซลาร์รูฟท็อป (Solar rooftop) 83 MW ซึ่งมีการตั้งเป้าในปี ค.ศ. 2021 และ 2036 ให้มีกำลังการผลิต 2,993 และ 6,000 MW ตามลำดับ

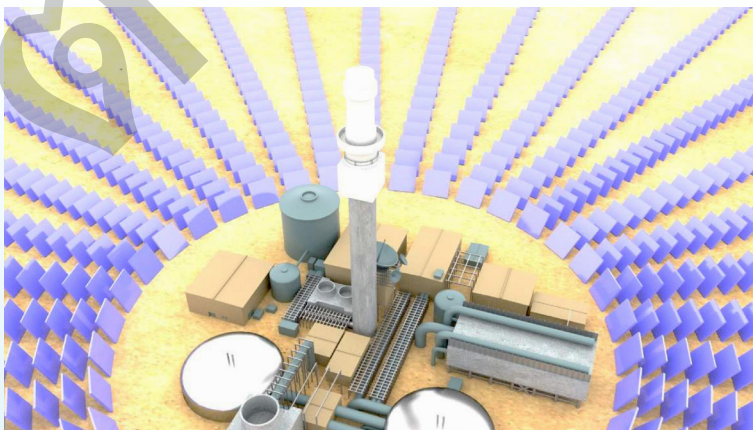
1.6 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน

การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน จะใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ (Flat-plate solar collector) ซึ่งสามารถใช้กับรังสีตรงและรังสีกระจายและตัวเก็บรังสีชนิดรวมแสง (Concentrating solar collectors) ซึ่งสามารถใช้กับรังสีตรงเท่านั้น สำหรับการผลิตไฟฟ้าโดยพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน (Solar thermal electricity, STE) จะใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสง เช่น ชนิดรางพาราโบลา (Parabolic trough) หรือหอคentral receiver) ซึ่งมีชุดกระจก (Heliostats) จำนวนมากสะท้อนรังสีไปที่ตำแหน่งโฟกัส ซึ่งมีของไหลทำงานที่อุณหภูมิสูง อาจขึ้นไปถึง $400^{\circ}\text{C} - 1,000^{\circ}\text{C}$ เพื่อนำไปผลิตไอน้ำและขับเคลื่อนกังหันไอน้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป นอกจากนี้ยังมีตัวสะท้อนรังสีแบบฟร็อสเนล (Fresnel reflector) ซึ่งมีแผ่นสะท้อนรังสีวางในแนวระดับ แต่ละตัวทำมุมเพื่อสะท้อนรังสีมาที่ตำแหน่งโฟกัส ลักษณะการสะท้อนรังสีทั้ง 3 แบบ แสดงในรูปที่ 1.8

ระบบข้างต้นจะเหมาะกับพื้นที่ที่มีรังสีอาทิตย์ตรงค่อนข้างสูง เช่น ยุโรปตอนใต้ แอฟริกา ตะวันออกกลาง บางส่วนของอินเดีย จีน อเมริกา และออสเตรเลีย เป็นต้น ในปี ค.ศ. 2015 มีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน ที่มีกำลังการผลิตรวมราว 4.9 GW และ ในปี ค.ศ. 2018 คาดว่าจะมีโรงไฟฟ้างดังกล่าวเพิ่มขึ้นอีกราว 300 MW ในพื้นที่ที่กล่าวข้างต้น (Taske et al., 2016) ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวสามารถลด CO_2 จากการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ได้อย่างชัดเจน มีการประเมินว่าศักยภาพในการลด CO_2 โดยในปี ค.ศ. 2030 คาดว่า สามารถลด CO_2 สะสมรวมได้ถึง $4,431 \times 10^6$ ตัน เทียบกับ $1,390 \times 10^6$ ตันในปี ค.ศ. 2015 ปัจจุบัน ทั้ง 3 รูปแบบ มีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวมแสดงในตารางที่ 1.2

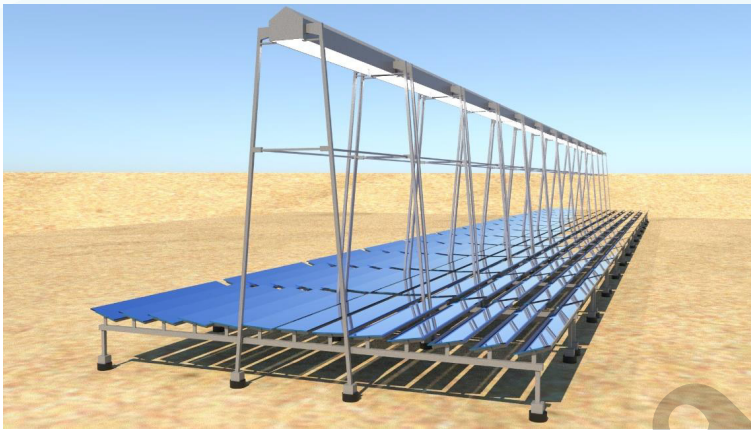


(ก) แบบรางพาราโบลา



(ข) แบบห่อรวมแสง

รูปที่ 1.8 ลักษณะตัวรวมแสงเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อน



(ค) แบบแผ่นสะท้อนพริสเนล

รูปที่ 1.8 ลักษณะตัวรวมแสงเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อน (ต่อ)

ตารางที่ 1.2 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน (Taske et al., 2016)

เทคโนโลยี	จำนวนการติดตั้งระบบ	กำลังการผลิตที่ติดตั้งแล้ว (MW)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตต่อปี (GWh)
รางพาราโบลิค	73	4,115	100,000
หอรรวมแสง	10	497	1,300
ตัวสะท้อนพริสเนล	8	179	350

ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย จะขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ขนาดของโรงไฟฟ้า ต้นทุนค่าก่อสร้าง ซึ่งคาดว่าจะลดลงเหลือราว 4 baht.kWh⁻¹ (12 cents.kWh⁻¹) ในปี ค.ศ. 2025 โดยมีประสิทธิภาพรวม 18-20% จาก 15-17% ในปี ค.ศ. 2015 (Columbo, 2013)

ในแบบรางรวมแสง ของไหลที่ไหลผ่านท่อ อุณหภูมิอาจขึ้นไปถึง 400°C และนำมาผลิตไอน้ำเพื่อขับเคลื่อนในวัฏจักรแรงคิน (Rankine cycle) หรือหอรรวมแสง อุณหภูมิที่ไวก้สอาจขึ้นถึง 1,000°C สารทำงานอาจเป็นเกลือหลอมเหลว หรือโซเดียมหลอมเหลว หรืออากาศ ส่วนรูปแบบสุดท้ายมักใช้น้ำเป็นสารทำงานและผลิตไอน้ำมาใช้ขับเคลื่อน เช่นเดียวกับแบบแรก โดยแผ่นสะท้อนที่อยู่แนวระดับ จะมีราคาถูกกว่ารางพาราโบลิค โดยแบบรางพาราโบลิคที่มีขนาดใหญ่ที่สุด จะมีกำลังการผลิตไฟฟ้ามีขนาด 280 MW ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา แบบหอรรวมแสงขนาดใหญ่ที่สุดมีขนาด 392 MW อยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกาเช่นเดียวกัน และแบบแผ่นสะท้อนพริสเนล มีขนาดใหญ่ที่สุด 125 MW ในประเทศอินเดีย (Taske et al., 2016)