

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินการศึกษาจันรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาโบลิคในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์
2. ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย
3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับจันพาราโบลา
4. การแผ่รังสีความร้อน
5. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพจันพาราโบลา

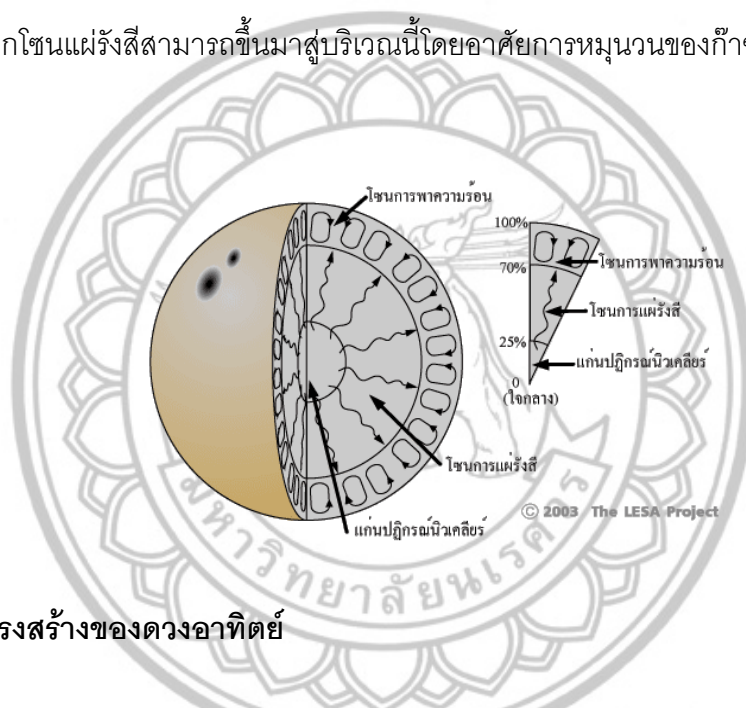
#### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์

**ดวงอาทิตย์**เป็นศูนย์กลางของระบบสุริยจักรวาล เป็นดาวฤกษ์ที่อยู่ใกล้โลกมากที่สุด และเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุดของโลก โดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลกต้องอาศัยพลังงานจากดวงอาทิตย์ไม่ทางตรงก็ทางอ้อมข้อมูลสำคัญที่เกี่ยวข้องกับดวงอาทิตย์สรุปได้ดังนี้

**ลักษณะทั่วไปของดวงอาทิตย์**ดวงอาทิตย์ในทางดาราศาสตร์ถือว่าเป็นดาวฤกษ์สีเหลืองขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับดาวฤกษ์อื่นที่มีอยู่ในจักรวาล มีอายุประมาณ 5,000 ล้านปี และคาดว่าจะมีอายุคงอยู่ต่อไปอีกราว 5,000 ล้านปี นั่นคือตลอดชีวิตของดวงอาทิตย์จะมีอายุยืนยาวราว 10,000 ล้านปี ซึ่งเป็นอายุเฉลี่ยของดาวฤกษ์ทั่วไปดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากโลก 150 ล้านกิโลเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.4 ล้านกิโลเมตรและมีอุณหภูมิที่พื้นผิวประมาณ 6,000 องศาเซลเซียส ดวงอาทิตย์มีเนื้อสารมากและมีแรงโน้มถ่วงสูงจึงสามารถดึงดูดสิ่งต่างๆ ทั้งบรรดาดาวเคราะห์บริวารทั้ง 9 ดวง ซึ่งหมายถึงโลก รวมทั้งดวงจันทร์ต่างๆ ที่เป็นบริวารของดาวเคราะห์ทั้ง 9 ดวงซึ่งมีอยู่รวมกันกว่า 60 ดวง ดาวเคราะห์น้อยอีกหลายหมื่นดวงและดาวหางอีกเป็นจำนวนมาก สิ่งต่างๆ เหล่านี้จะถูกดวงอาทิตย์ดึงดูดให้เคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ดวงอาทิตย์ประกอบด้วยไฮโดรเจนประมาณร้อยละ 71 ฮีเลียมร้อยละ 27.1 และธาตุชนิดอื่นๆ ร้อยละ 1.9 โดยน้ำหนัก

**โครงสร้างของดวงอาทิตย์**นักวิทยาศาสตร์ได้แบ่งโครงสร้างของดวงอาทิตย์ออกเป็น 3 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยแต่ละส่วนมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. แกนปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (Nuclear Burning Core) ส่วนนี้จะมีรัศมีประมาณร้อยละ 25 ของรัศมีดวงอาทิตย์ เป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบฟิวชันต่อเนื่องตลอดเวลาทำให้ไฮโดรเจนที่มีอยู่กลายเป็นฮีเลียม ในส่วนนี้มีอุณหภูมิสูงประมาณ 15 ล้านเคลวิน
2. โซนการแผ่ความร้อน (radiative zone) ส่วนนี้จะอยู่ถัดออกมาจากแกนปฏิกรณ์ที่ระยะประมาณร้อยละ 25-70 ของรัศมีดวงอาทิตย์ พลังงานจากแกนปฏิกรณ์นิวเคลียร์จะถูกนำขึ้นมาสู่ชั้นนี้โดยการแผ่รังสีด้วยอนุภาคโฟตอน
3. โซนการพาความร้อน (convection zone) เป็นบริเวณส่วนนอกของ ดวงอาทิตย์ ที่อยู่ถัดจากโซนการพาความร้อนที่ระยะประมาณร้อยละ 70 ไปจนถึงขอบนอกสุดของดวงอาทิตย์ พลังงานจากโซนแผ่รังสีสามารถขึ้นมาสู่บริเวณนี้โดยอาศัยการหมุนวนของก๊าซร้อน



ภาพ3 โครงสร้างของดวงอาทิตย์

ปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกิดในใจกลางของดวงอาทิตย์เป็นปฏิกิริยาหลูทโซ่แบบโปรตอน-โปรตอน โดยโปรตอนของไฮโดรเจนจำนวน 6 ตัว มีการรวมตัวกันแล้วได้เป็นนิวเคลียสของฮีเลียม 1 ตัวและโปรตอนของไฮโดรเจนอีก 2 ตัว ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ซึ่งจะมีมวลสาร ส่วนหนึ่งเกิดการเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานตามทฤษฎีของ แอลเบิร์ต ไอน์สไตน์ คือ

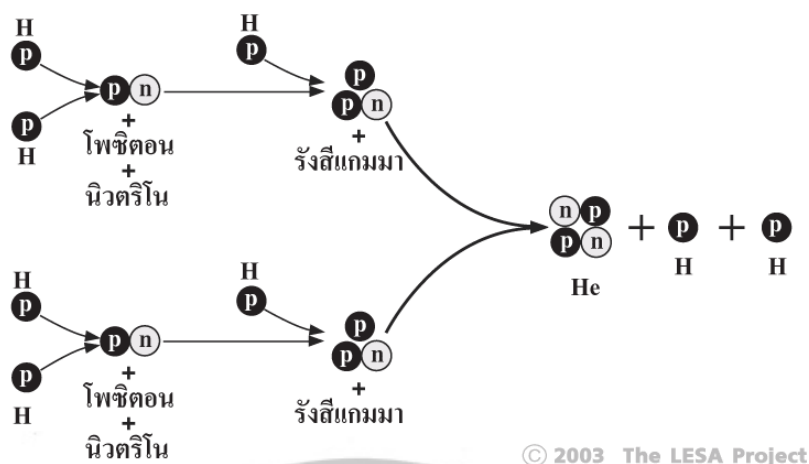
$$E = mc^2(1)$$

โดยที่

$E$  คือพลังงานที่เปลี่ยนรูปมาจากมวลสาร มีหน่วยเป็นจูล ( $J$ )

$m$  คือมวลสาร มีหน่วยเป็นกิโลกรัม ( $kg$ )

$C$  คือความเร็วแสง มีค่าเท่ากับ  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที ( $m/s$ )

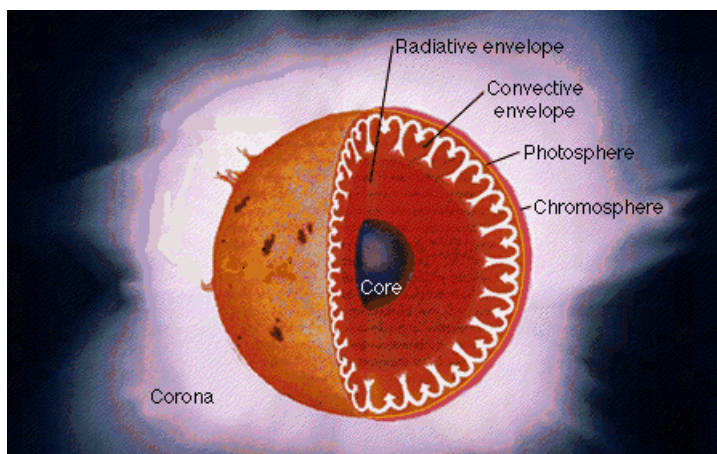


ภาพ4 การเกิดปฏิกิริยาแบบลูกโซ่โปรตอน-โปรตอน

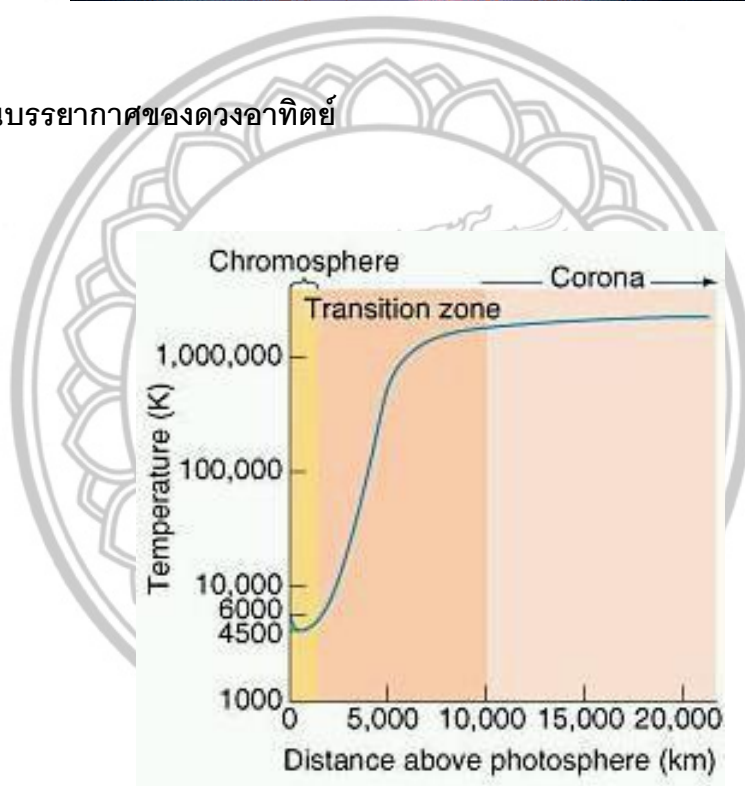
#### ชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์

ชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มดวงอาทิตย์อยู่รอบนอกสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ดังแสดงในภาพ 4 ซึ่งแต่ละชั้นจะมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความหนาของชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์ดังแสดงไว้ในภาพ5 ชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์มีดังต่อไปนี้

1. ชั้นโฟโตสเฟียร์ (photosphere) เป็นชั้นบาง ๆ อยู่ถัดออกมาจากตัว ดวงอาทิตย์ มีความสว่างจ้ามากจนไม่สามารถมองผ่านลึกไปถึงตัวดวงอาทิตย์ได้มีอุณหภูมิ 5,800 องศาเคลวิน และมีความหนาแน่นประมาณ  $2 \times 10^{-4}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
2. ชั้นโครโมสเฟียร์ (chromospheres) เป็นชั้นบรรยากาศบาง ๆ สูงขึ้นมาจากชั้นโฟโตสเฟียร์มีอุณหภูมิประมาณ 4,500 องศาเคลวิน มีความหนาแน่นประมาณ  $5 \times 10^{-6}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นชั้นที่มักเกิดปรากฏการณ์รุนแรงเช่น การระเบิด การพุ่งของพวยก๊าซหรือการเกิดเส้นสายยาวของลำก๊าซ
3. ชั้นคอโรนา (corona) เป็นบรรยากาศชั้นนอกสุดของดวงอาทิตย์อุณหภูมิสูงประมาณ 1 ล้านองศาเคลวิน มีความหนาแน่นประมาณ  $10^{-12}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอนโดยจะเปลี่ยนไปตามปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในดวงอาทิตย์สามารถมองเห็นได้ขณะที่เกิดสุริยุปราคาเต็มดวง เมื่อดวงจันทร์เคลื่อนที่ไปบังชั้นโฟโตสเฟียร์เท่านั้น ชั้นคอโรนามีลักษณะเป็นแสงสว่างเรืองสีขาวนวลแผ่ออกโดยรอบ ลักษณะเป็นเส้นคล้ายเส้นแวงสนามแม่เหล็กของดวงอาทิตย์



ภาพ5 ชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์

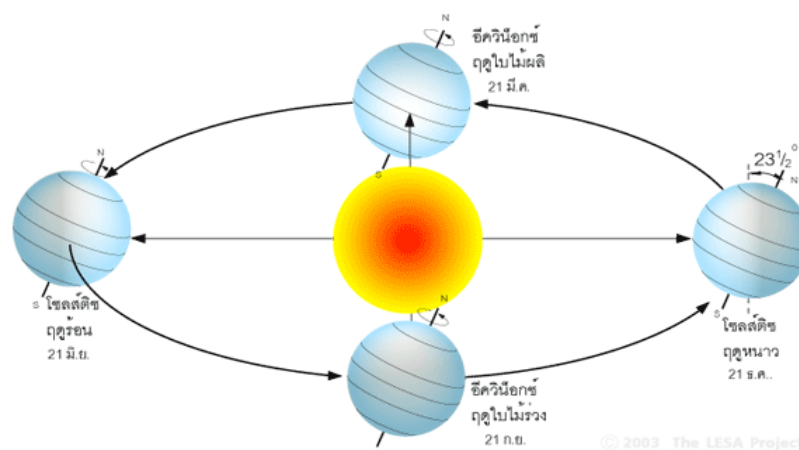


ภาพ6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความหนาของชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์

### การเคลื่อนไหวของโลกรอบดวงอาทิตย์

โลกมีลักษณะค่อนข้างกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7,900 ไมล์ (12,700 กิโลเมตร) โลกหมุนรอบแกน 1 รอบทุกๆ 24 ชั่วโมง และหมุนรอบดวงอาทิตย์ใช้เวลาประมาณ 365 วัน กับ 1/4 วัน โดยโคจรตามเส้นทางที่ค่อนข้างเป็นวงกลม ซึ่งมีดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางของวงโคจร การโคจรนี้โลกจะอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์นี้มากที่สุดเมื่อวันที่ 1 มกราคม และจะอยู่ไกลดวงอาทิตย์มากที่สุดเมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม ในเดือนมกราคมระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์

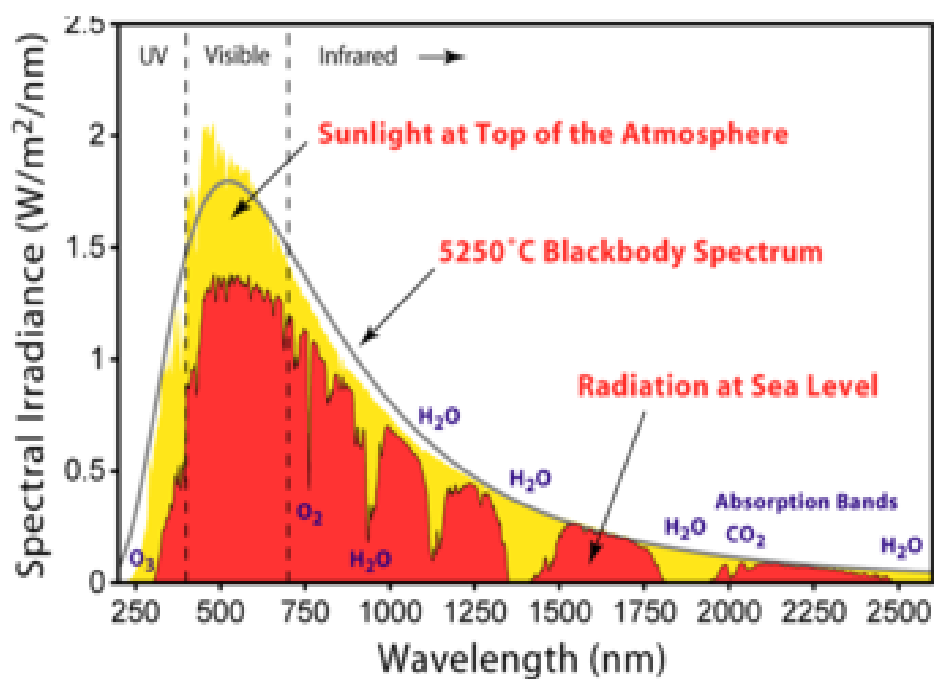
จะใกล้เคียงมากขึ้นประมาณร้อยละ 3.3 และความหนาแน่นของดวงอาทิตย์มีค่าเท่ากับกำลัง 2 ของระยะทาง ฉะนั้น ความหนาแน่นในเดือนมกราคมจะสูงกว่าในเดือนกรกฎาคมประมาณร้อยละ 7 แกนโลกที่หมุนรอบจะทำมุม 23.5 องศา กับแนวระนาบของดวงอาทิตย์ การเอียงนี้ทำให้เกิดฤดูกาลต่าง ๆ



ภาพ7 การเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์

### พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลก

แสงเคลื่อนที่จากดวงอาทิตย์มายังโลก ในรูปของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายช่วงความยาวคลื่นหรือเรียกว่าสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ ลักษณะของสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ทั้งภายนอกและภายในชั้นบรรยากาศดังแสดงในภาพ8 ทั้งในช่วงความยาวคลื่นของแสงที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า (visible light) และที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า เพราะมีความยาวคลื่นน้อยกว่าหรือมากกว่าความยาวคลื่นของแสงได้แก่ อินฟราเรด อัลตราไวโอเลต รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ และคลื่นวิทยุ เป็นต้นสเปกตรัมที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงความยาวคลื่นจะให้พลังงานที่แตกต่างกันดังแสดงในตาราง1 เมื่อแสงเคลื่อนที่เข้าสู่ชั้นบรรยากาศของโลกในชั้นบรรยากาศของโลกประกอบด้วยอะตอมของก๊าซ ไอน้ำ เมฆ และฝุ่นละอองต่างๆ ดังนั้นเมื่อแสงเคลื่อนที่เข้ามา บางส่วนจะเกิดการชนกับอะตอมของสิ่งต่างๆ เหล่านี้ทำให้เกิดการกระจัดกระจายของแสงซึ่งจะมีทั้งการสะท้อนลงสู่พื้นโลกและสะท้อนกลับสู่อวกาศ และจะมีบางส่วนที่ถูกชั้นบรรยากาศและก้อนเมฆดูดซับเอาไว้ ทำให้มีปริมาณแสงที่เคลื่อนที่ลงสู่พื้นโลกประมาณร้อยละ 51 สะท้อนกลับสู่อวกาศประมาณร้อยละ 30 และถูกดูดซับเอาไว้ในชั้นบรรยากาศโลกประมาณร้อยละ 19อันตรกิริยาและปริมาณของแสงอาทิตย์ในชั้นบรรยากาศโลกดังแสดงในภาพ 9

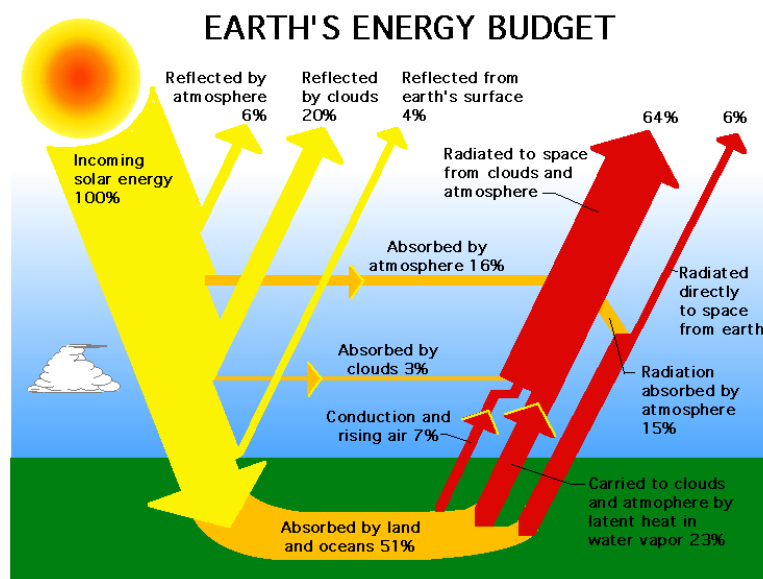


ภาพ 8 สเปกตรัมของแสงอาทิตย์ทั้งภายนอกและภายในชั้นบรรยากาศ

ตาราง 1 แสดงพลังงานที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

	ความยาวคลื่น (μm)	สัดส่วนของการแผ่รังสี	พลังงานจากการแผ่รังสี (W/m <sup>2</sup> )
อัลตราไวโอเล็ต	0.00-0.38	7.00 %	95
แสงที่มองเห็นได้	0.39-0.78	47.29 %	640
อินฟราเรด	0.79-∞	45.71 %	618





ภาพ9 อันตรกิริยาและปริมาณของแสงอาทิตย์ในชั้นบรรยากาศโลก

พลังงานแสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศมาสู่พื้นโลกนั้น ประกอบด้วยพลังงานจากรังสีของแสงที่ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงสู่พื้นโลกโดยตรง และพลังงานจากรังสีของแสงที่เกิดจากการกระจายและการสะท้อนภายในชั้นบรรยากาศ นั่นคือสามารถแบ่งองค์ประกอบของพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นโลกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. รังสีตรง(direct radiation หรือ beam radiation) เป็นรังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงสู่พื้นโลก โดยไม่เกิดอันตรกิริยากับอะตอมของธาตุใดๆในชั้นบรรยากาศ ทำให้มีค่าความเข้มของแสงสูงเมื่อมาถึงพื้นโลก รังสีของแสงในลักษณะนี้เหมาะสำหรับการใช้กับอุปกรณ์ประเภทที่ต้องรวมแสง (concentrator) ชนิดต่างๆ ที่ต้องการค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์สูงๆ

2. รังสีกระจาย(diffuseradiation หรือ scattered radiation) เป็นรังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่เกิดการชนกับอะตอมของธาตุต่างๆ ในชั้นบรรยากาศ ทำให้เกิดการกระจายของแสงและบางส่วนสะท้อนลงสู่พื้นโลก ค่าความเข้มของแสงจากรังสีประเภทนี้จะน้อยกว่ารังสีตรงมาก รังสีของแสงในลักษณะนี้เหมาะกับการใช้กับอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการความเข้มแสงสูงนักเช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น

สัดส่วนของรังสีตรงกับรังสีกระจายในแต่ละวันในแต่ละพื้นที่ จะมีความไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพของภูมิอากาศในแต่ละวันและแต่ละพื้นที่ ผลรวมของรังสีทั้งสองประเภทเรียกว่า รังสีรวม(total radiation หรือ global radiation) สำหรับค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวตั้งฉาก

บนพื้นที่ 1 หน่วย นอกชั้นบรรยากาศโลกเรียกว่า ค่าคงที่สุริยะ (solar constant) มีค่าเท่ากับ 1,353 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งค่าคงที่นี้แท้ที่จริงแล้วอาจมีการผันแปรได้ในช่วงประมาณ  $\pm 3.4\%$  ต่อปี แต่อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปก็ยังนิยมใช้เป็นค่าคงที่ดังกล่าวอยู่ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ลงสู่พื้นโลกทั้งหมดต่อปีสามารถคำนวณได้ดังนี้ (กำหนด 1 ปีเท่ากับ 365.25 วัน)

$$E = 365.25 \times 24 \times 3600 \times 1353 \pi r^2 \quad (2) = 365.25 \times 24 \times 3600 \times 1.73 \times 10^{17}$$

$$E = 5.46 \times 10^{24} \text{ J}$$

ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ต่อปีนี้เมื่อเทียบกับ ปริมาณพลังงานที่มนุษย์ทั่วโลกใช้ตลอดปีเช่น สมมติว่าโลกมีการใช้พลังงานทุกชนิดในปี พ.ศ. 2547 เท่ากับ 10,000 ล้านตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ(1 ล้านตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ มีค่าเท่ากับ  $12 \times 10^9 \text{ kWh}$ ) แสดงว่ามีการใช้พลังงานในหน่วยจูล เป็น

$$E = 10000 \times 12 \times 10^9 \text{ kWh} \quad (3)$$

$$= 10000 \times 12 \times 10^9 \times 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

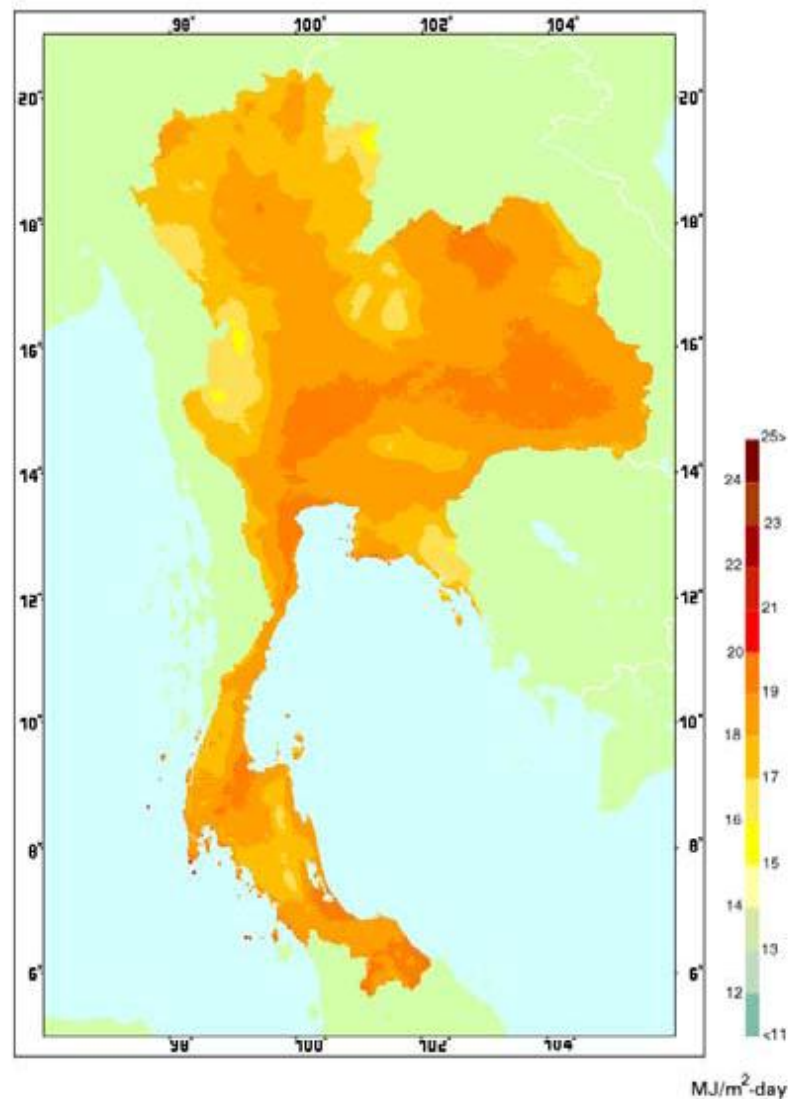
$$E = 4.32 \times 10^{20} \text{ J}$$

จากสมการ (2.2) และ (2.3) แสดงให้เห็นว่าค่าพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่ตกมาสู่พื้นโลกภายใน 1 ปี เทียบได้เท่ากับพลังงานที่มนุษย์ทั่วโลกสามารถใช้ได้ประมาณ 12,639 ปี

### ศักยภาพศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

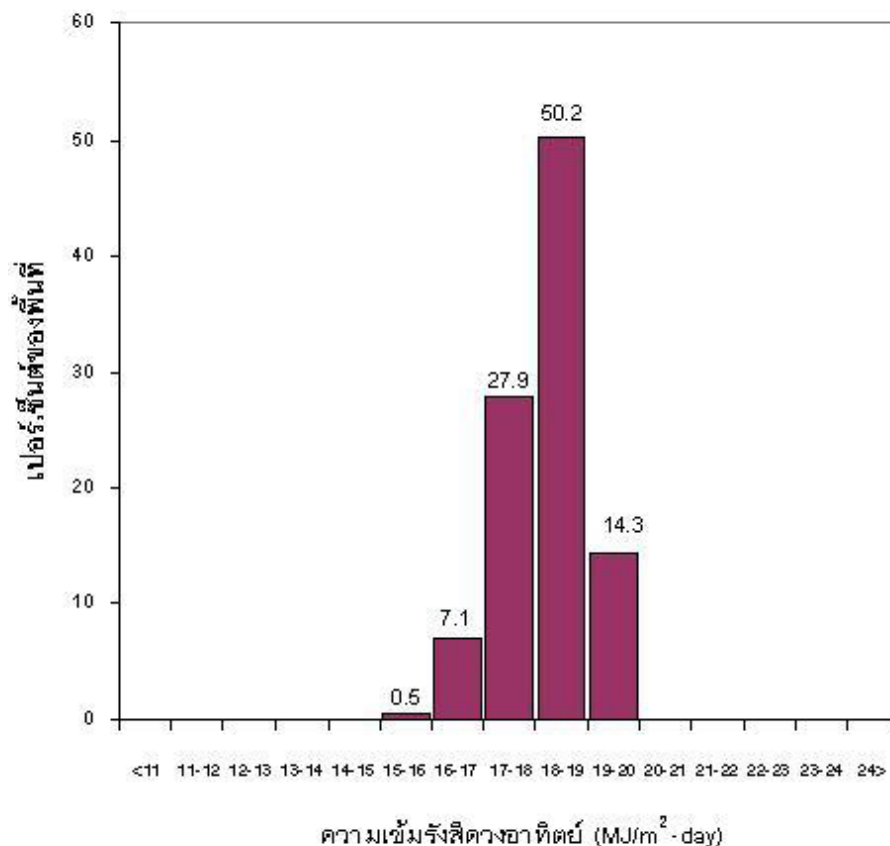
โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่ง จะสูงหรือต่ำขึ้นกับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น โดยบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากก็จะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง สำหรับการนำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้อุปกรณ์รวมแสงจำเป็นต้องทราบศักยภาพรังสีตรงด้วย ในกรณีของประเทศไทยศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในบริเวณต่างๆ โดยเฉลี่ยทั้งปีสามารถแสดงได้ด้วยแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีดังภาพ 10





ภาพ 10 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันต่อปีตามพื้นที่

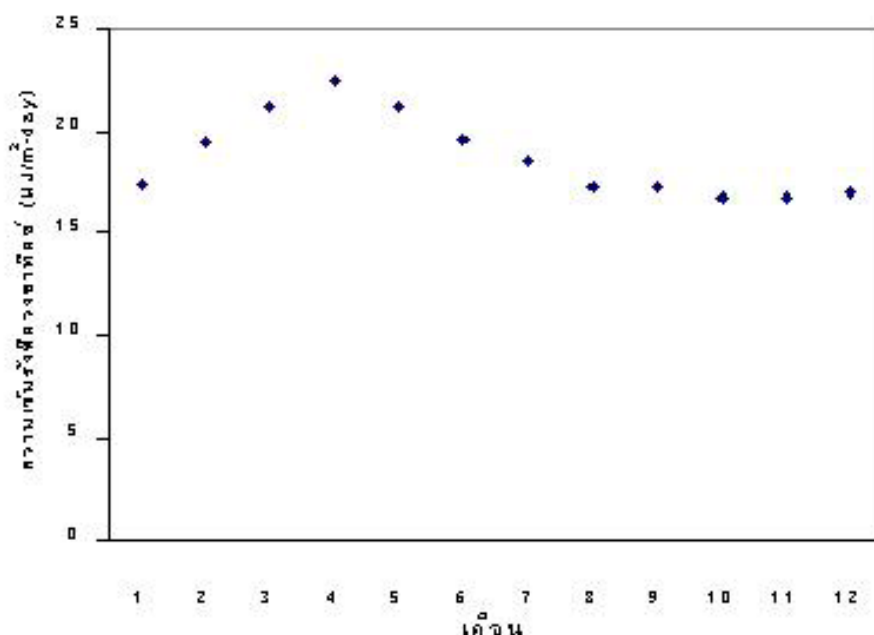
จากภาพ 10 จะเห็นว่าบริเวณที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูงแผ่เป็นบริเวณกว้างทางตอนล่างของภาคตะวันออกเฉียงเหนือและตอนบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่จังหวัดอุดรธานีรวมทั้งบางส่วนของภาคกลางสำหรับพื้นที่เหลือจะมีศักยภาพลดหลั่นกันตามทีแสดงในแผนที่เมื่อทำการจำแนกร้อยละของพื้นที่ตามความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้รับจะได้ผลดังภาพ 11



ภาพ 11 แสดงเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ที่ระดับต่าง ๆ

จากภาพ 11 จะเห็นว่าร้อยละ 14.3 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูงคือ ได้รับรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีในช่วง 19-20 MJ/m<sup>2</sup>- day และร้อยละ 50 ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์ในช่วง 18- 19 MJ/m<sup>2</sup>-day ซึ่งถือว่ามีศักยภาพแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงส่วนบริเวณที่มีศักยภาพค่อนข้างต่ำมีเพียงร้อยละ 0.5 ของพื้นที่ทั้งหมดเมื่อทำการเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศจากทุกพื้นที่เป็นค่ารายวันเฉลี่ยต่อปีจะได้เท่ากับ 18.2 MJ/m<sup>2</sup>- day

การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์จำเป็นต้องทราบการแปรค่าในรอบปีของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ด้วยจากรูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นถึงการแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในรอบปี

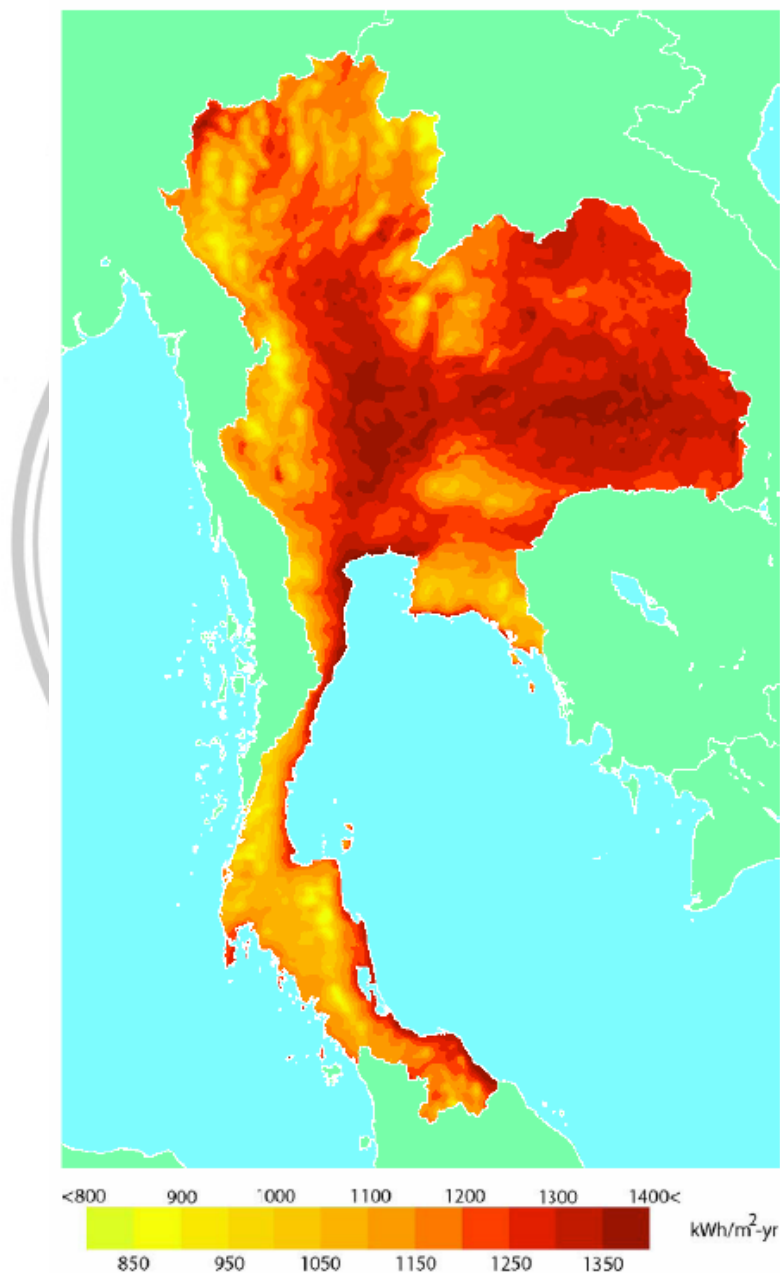


ภาพ12แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยรายเดือนโดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ทั่วประเทศ

จากภาพ12 จะเห็นว่าค่ารังสีดวงอาทิตย์แปรค่าในรอบปีอยู่ในระหว่าง16-22 MJ/m<sup>2</sup>- day โดยมีค่าค่อยๆเพิ่มขึ้นตั้งแต่เดือนมกราคมและสูงสุดในเดือนเมษายนแล้วค่อยลดลงต่ำสุดในเดือนธันวาคมการเปลี่ยนแปลงนี้ถือว่าไม่มากนัก

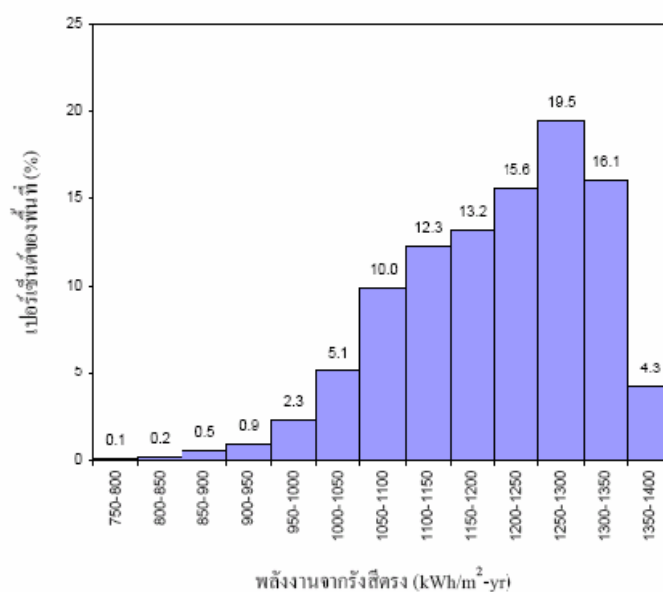
อุปกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์บางชนิดเช่นการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ concentrator จะใช้ประโยชน์จากรังสีตรงดวงอาทิตย์เท่านั้นโดยไม่สามารถใช้ประโยชน์จากรังสีกระจายได้ดังนั้นนอกจากทราบข้อมูลปริมาณรังสีรวมแล้วเราจำเป็นต้องทราบศักยภาพรังสีตรงดวงอาทิตย์ด้วย จากการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมพบว่าในช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายนพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีตรงค่อนข้างสูง (14- 17 MJ/m<sup>2</sup>-day) ทั้งนี้เพราะช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงฤดูแล้ง (dry season) ท้องฟ้าส่วนใหญ่แจ่มใสปราศจากเมฆรังสีดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่ จึงเป็นรังสีตรงตั้งแต่เดือนพฤษภาคมเป็นต้นไปรังสีตรงจะค่อยๆลดลงจนถึงเดือนกันยายน ทั้งนี้เพราะช่วงเวลาดังกล่าวประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ท้องฟ้ามักมีเมฆปกคลุมทำให้รังสีตรงมีค่าลดลงหลังจากนั้นรังสีตรงในตอนกลางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนตุลาคมจนถึงเดือนธันวาคมเพราะช่วงเวลาดังกล่าวประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือท้องฟ้าส่วนใหญ่ในภาคกลางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือค่อนข้างแจ่มใสรังสีตรงที่รับจึงมีค่าสูงสำหรับช่วงเวลาเดียวกันภาคใต้ยังคงมีค่ารังสีตรงต่ำเนื่องจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดผ่านอ่าวไทยจะนำ

ความชื้นมายังภาคใต้ ทำให้มีเมฆมากและมีฝนตก รังสีตรง จึงมีค่าต่ำเมื่อพิจารณาพลังงานรังสีตรงที่ได้รับรวมทั้งปี(ภาพ 13)จะเห็นว่าบริเวณที่ได้รับรังสีตรงสูงสุดจะอยู่ในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างในพื้นที่บางส่วนโดยพื้นที่ดังกล่าวได้รับรังสีตรงต่อไปในช่วง 1,350–1,400 KWh/m<sup>2</sup>-yr



ภาพ13 ศักยภาพพลังงานความเข้มรังสีตรงของประเทศไทย

การแจกแจงระดับของรังสีตรงในช่วงต่างๆโดยหาว่ารังสีตรงในระดับนั้นๆครอบคลุมพื้นที่กี่เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด (ภาพ 14) พบว่าการแจกแจงดังกล่าวมีลักษณะไม่สมมาตรโดยเอียงไปทางค่ารังสีตรงที่มีค่ามากและบริเวณที่มีความเข้มรังสีตรงสูงสุด (1,350-1,400 kWh/m<sup>2</sup>-yr) ครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 4.3 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศซึ่งส่วนใหญ่อยู่ที่บางส่วนของภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง



ภาพ 14 การแจกแจงของรังสีตรงตามพื้นที่

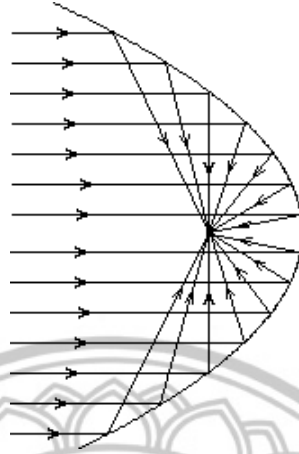
### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับจานพาราโบลิค

จานพาราโบลิคหรือแผ่นรับรังสีประเภทต่างๆถือเป็นหัวใจหลักของการประยุกต์ใช้พลังงานจากดวงอาทิตย์ตัวสะท้อนรังสีรูปพาราโบลิค (Parabolic) หรือพาราโบลอยด์ (Paraboloids) สามารถพบเห็นได้จากการประยุกต์ใช้ใน กล้องโทรทรรศน์, ไฟหน้าของรถยนต์ และจานดาวเทียม

### ทฤษฎีพาราโบลิคทางคณิตศาสตร์

ตัวรับรังสีรูปพาราโบลิคมีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีขนานที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวตัวรับรังสีให้รวมกันที่จุดโฟกัสหรือกรณีตรงกันข้าม ที่ตำแหน่งกำเนิดรังสี. จุดโฟกัสจะทำให้เกิดการสะท้อนของรังสีออกในลักษณะขนาน รูปภาพที่แสดงด้านล่างแสดงให้เห็นว่ารังสีขนานที่

เดินทางจากทางด้านซ้ายตกกระทบกับตัวรับรังสีแล้วจะไปรวมกันที่จุดโฟกัส เพียงจุดเดียว รังสีที่สะท้อนไปรวมกัน ณ. ตำแหน่งโฟกัสนี้ความเข้มของรังสีจะมีค่ามากที่สุด



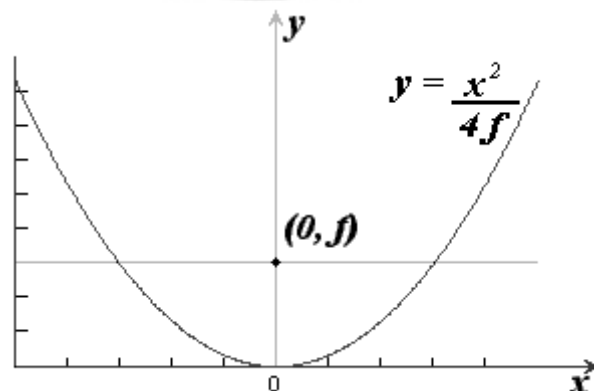
ภาพ15 The focusing action of a parabola

จากรูปคือตัวอย่างของพาราโบลาที่สะท้อนรังสีซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีผิวหน้าสัมผัสราบเรียบ แต่สามารถประยุกต์ใช้ให้ผิวหน้าดังกล่าวมีความแบนราบหรือโค้งงอได้มากกว่านี้ ภายใต้เงื่อนไขของสมการพาราโบลา คือ

$$y = ax^2 \quad (4)$$

เมื่อ  $a$  เป็นค่าคงที่ ความยาวโฟกัสของพาราโบลา คือ  $f$

$$a = \frac{1}{4f} \quad (5)$$



ภาพ16 Parabola - focal length =  $f$



เมื่อโฟกัสที่พิกัด  $(0, f)$  สมการพาราโบลาเท่ากับ

$$y = \frac{x^2}{4f} \quad (6)$$

จากสมการข้างต้นแสดงให้เห็นได้ว่า เมื่อกำหนดให้ค่า  $x$  เป็นค่าคงที่แล้วค่า  $y$  มีค่ามาก ความยาวโฟกัส  $f$  จะมีค่าน้อย ในทางกลับกันถ้าต้องการให้ความยาวโฟกัส  $f$  มีค่ามาก ค่า  $y$  จะต้องมีค่าน้อย

### สมบัติทางรังสีของวัตถุ

เมื่อรังสีใดๆตกกระทบวัตถุจะเกิดการสะท้อน(Reflection), การดูดกลืน (Absorption) และการส่องผ่าน(Transmission)ในที่นี้กล่าวถึงเฉพาะการสะท้อน

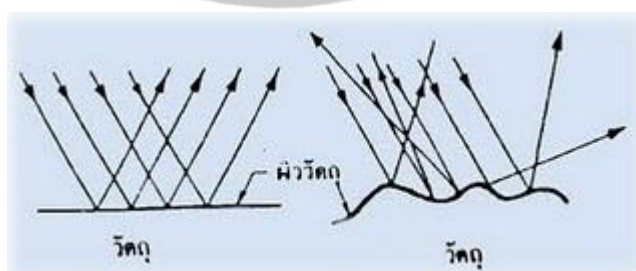
ลักษณะการสะท้อนรังสีแบ่งได้ได้ 2 ชนิดคือ

#### 1. การสะท้อนปกติ

วัตถุที่มีผิวเรียบไม่ว่าจะเป็นวัตถุผิวราบหรือผิวโค้ง การสะท้อนของแสงจะให้ผลเช่นเดียวกัน คือรังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นปกติ (เส้นแนวฉาก) จะอยู่ในระนาบเดียวกัน นอกจากนี้มุมตกกระทบและมุมสะท้อนจะมีค่าเท่ากันเสมอ

#### 2. การสะท้อนกระจาย

วัตถุที่มีผิวขรุขระ เช่น กระดาษ ไม้ และวัตถุทึบแสงอื่นๆ ก็มีการสะท้อนแสงเช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากผิวของวัตถุหยาบ แสงจึงสะท้อนออกไปในหลายทิศทาง เมื่อพิจารณาบริเวณเล็กๆของผิวขรุขระ จะเห็นว่าประกอบด้วยผิวเรียบจำนวนมากโดยที่มุมระหว่างผิวเหล่านั้นจะมีค่าต่างๆกัน และมุมตกกระทบจะเท่ากับมุมสะท้อน ณ ตำแหน่งที่แสงตกกระทบเสมอ



ภาพ 17 ลักษณะการสะท้อนรังสี

ไม่มีวัสดุชนิดใดที่จะทำให้เกิดลักษณะการสะท้อนเพียงอย่างเดียวได้จะต้องเกิดทั้งรังสีตรงและรังสีกระจายด้วยกันเสมอ ดังนั้นวัสดุที่จะให้คุณภาพการสะท้อนที่ดีจึงต้องทำให้พื้นผิวเรียบและเป็นมัน จึงจะมีค่ารังสีตรงมาก สำหรับงานรวมแสงแบบพาราโบลิกก็ต้องการคุณภาพในการสะท้อนที่ดีเมื่อเวลาขึ้นรูปแล้วสามารถปูให้เรียบตามความโค้งของงานพาราโบลิกได้

## ตาราง 2 แสดงค่าการสะท้อนรังสีของแต่ละวัสดุ

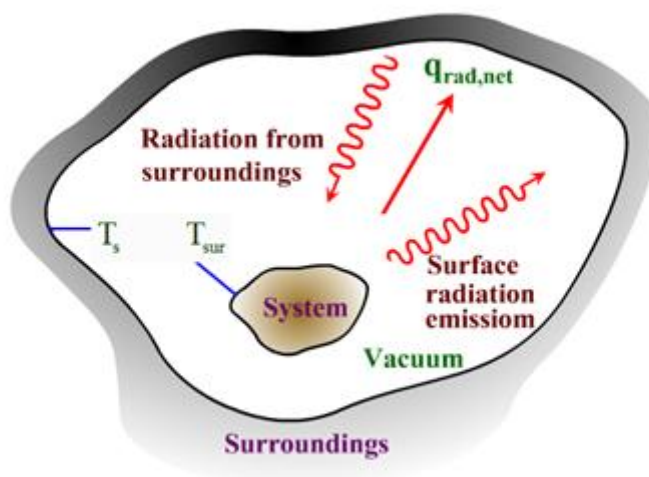
Material	Reflectivity
Copper	0.75
Aluminized type-C Mylar (from Mylar side)	0.76
Gold	$0.76 \pm 0.03$
Various aluminum surfaces-range	0.82 - 0.92
Anodized aluminum	$0.82 \pm 0.05$
Anodized acrylic, second surface	0.86
Black-silvered water-white plate glass	0.88
Silver (unstable as a front surface mirror)	$0.94 \pm 0.02$

ที่มา: C. Christopher Newton, 2007

### การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อนหมายถึง พลังงานการแผ่รังสีความร้อนถูกส่งออกโดยวัตถุวัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสมบูรณ์สามารถแผ่รังสีความร้อนได้พิจารณาของแข็งชิ้นหนึ่งเริ่มต้นที่อุณหภูมิ  $T_s$  ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม  $T_{sur}$  โดยรอบๆ ของแข็งเป็นสุญญากาศเนื่องจากของแข็งชิ้นนี้แยกตัวจากผนังสิ่งแวดล้อม โดยสุญญากาศดังนั้นจึงไม่มีการถ่ายเทความร้อนโดยการนำและการพาแต่พบว่าของแข็งนั้นจะเย็นตัวลงและในที่สุดจะเข้าสู่สมดุลกับสิ่งแวดล้อม

รอบตัวโดยการเย็นตัวนี้จะเกี่ยวข้องกับการลดลงของพลังงานภายในที่เก็บไว้โดยของแข็งและเป็นผลโดยตรงของการส่งออกของการแผ่รังสีความร้อนจากผิวในขณะเดียวกันผิวนั้นก็จะรับหรือดึงดูดการแผ่รังสีจากสิ่งแวดล้อมถ้า  $T_s > T_{sur}$  แล้วอัตราการถ่ายเทความร้อนสุทธิโดยการแผ่รังสี  $q_r$  จะออกจากพื้นผิวและพื้นผิวจะเย็นจนกระทั่ง  $T_s$  เข้าสู่  $T_{sur}$



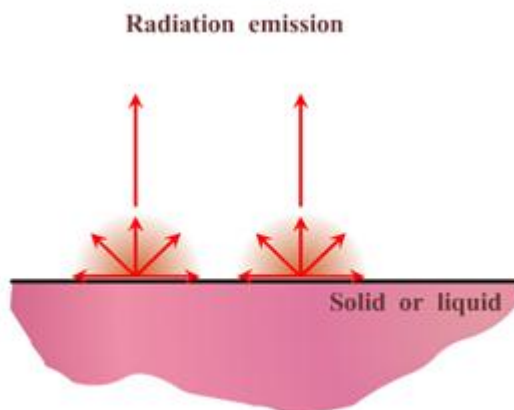
ภาพ18 การระบายความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิว

การถ่ายเทพลังงานโดยการแผ่รังสีความร้อนไม่ต้องการการแทรกตัวของตัวกลางระหว่างพื้นผิวร้อนและพื้นผิวเย็นโดยอาศัยทฤษฎีที่ใช้อธิบายขบวนการเคลื่อนที่ของการแผ่รังสีมีอยู่ 2 ทฤษฎี คือ

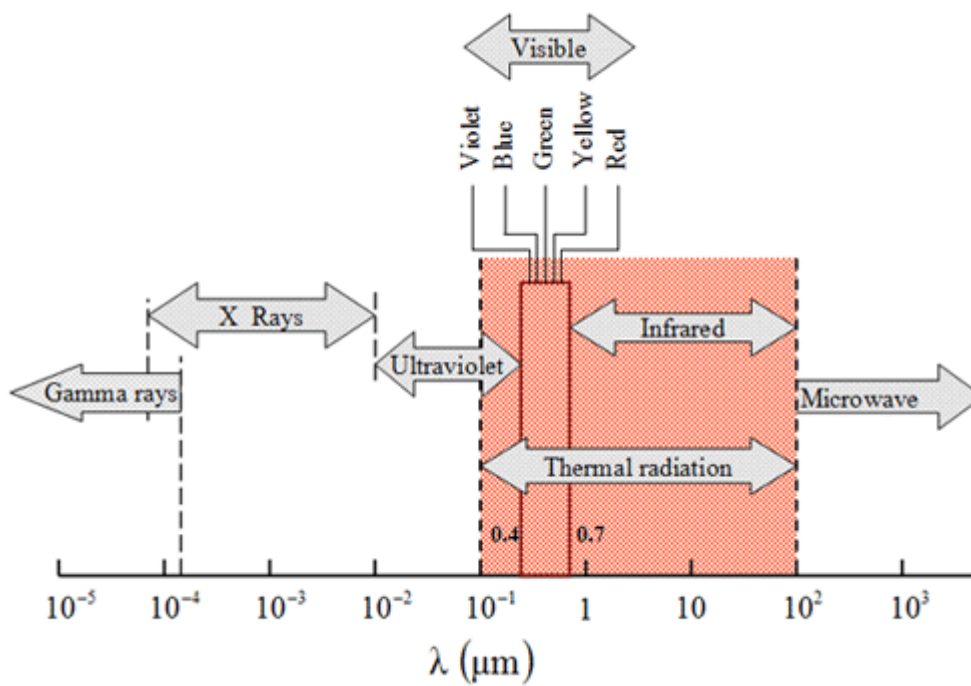
1. ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ (Maxwell's electromagnetic theory) ซึ่งกล่าวว่าการแผ่รังสีความร้อนเป็นการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
2. ทฤษฎีของ (Max Planck) ซึ่งกล่าวว่าการแผ่รังสีความร้อนเป็นการเคลื่อนที่ของโฟตอน (photon) หรือ ควอนตัม (quantum) ของพลังงาน

โดยสสารทุกรูปสามารถปล่อยรังสีออกได้ สำหรับก๊าซและของแข็งโปร่งแสงเช่นแก้วหรือผลึกเกลือที่อุณหภูมิสูงๆการส่งออกหรือการปล่อยออกจะเรียกว่า “ปรากฏการณ์ทางปริมาตร” (Volumetric phenomenon)

แต่ในของแข็งและของเหลวนั้นการแผ่รังสีความร้อนที่ปล่อยออกจากโมเลกุลภายในจะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลที่อยู่ใกล้ๆดังนั้นการส่งออกจากของแข็งหรือของเหลวเข้าสู่ก๊าซที่อยู่ใกล้หรือเข้าสู่สุญญากาศจะเรียกว่า “ปรากฏการณ์ทางพื้นผิว” (Surface phenomenon)



ภาพ19 การแผ่รังสีความร้อนบนพื้นผิว



ภาพ20 สเปกตรัมการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากอุณหภูมิของวัตถุ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพจนวนพาราโบลิก

ค่าParameter ต่างๆที่นำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพจนวนพาราโบลิกมีดังนี้  
อัตราส่วนความเข้มการรวมแสงทางเรขาคณิต

$$C_r = \frac{A_a}{A_H} \tag{7}$$

โดยที่

- $C_r$  คืออัตราส่วนความเข้มการรวมแสงทางเรขาคณิต  
 $A_a$  คือพื้นที่รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์บนจานพาราโบลิก ( $m^2$ )  
 $A_H$  คือพื้นที่ตัวรับรังสี ( $m^2$ )

### ความร้อนที่ได้จากจนวนรวมแสงแบบพาราโบลิก

พลังงานความร้อนจากรังสีตรงที่ตกกระทบจนวนรวมแสงแบบพาราโบลิก สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_a = I_d A_a \quad (8)$$

โดยที่

$Q_a$  คือค่าความร้อนที่ตกกระทบบนจนวนรวมแสงแบบพาราโบลิก(J)

$I_d$  คืออัตราการแผ่รังสีตรงของดวงอาทิตย์ ( $W/m^2$ )

ความร้อนที่ได้จากจนวนรวมแสงแบบพาราโบลิกสะท้อนออกมาสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_p = I_d A_a \eta_{con} \quad (9)$$

เมื่อ  $Q_p$  คือพลังงานความร้อนที่ได้จากจนวนรวมแสงแบบพาราโบลิกออกมา(J)

$\eta_{con}$  คือประสิทธิภาพจนวนรวมแสงแบบพาราโบลิก

พลังงานความร้อนที่ได้จากจนวนรวมแสงแบบพาราโบลิกออกมาส่วนใหญ่จะสะท้อนไปยังจุดโฟกัสส่วนที่เหลือคือค่าการสูญเสียจากการสะท้อนแสงของแผ่นสะท้อนแสง (Reflectance), ความไม่สมบูรณ์ของส่วนโค้งของจานพาราโบลา (Imperfect of Parabolic curve), ความผิดพลาดจากการติดตามดวงอาทิตย์ (Accuracy of tracking) ฯลฯ

### ความร้อนที่ได้จากการดูดกลืนบนตัวรับรังสี

ค่าความร้อนที่ได้จากการดูดกลืนบนตัวรับรังสีขึ้นอยู่กับ ความเข้มรังสีตรง ณ เวลานั้น, ประสิทธิภาพของจานพาราโบลิก และค่าการสูญเสียความร้อนในระบบ ค่าการสูญเสียความร้อนขึ้นอยู่กับสภาพการถ่ายเทความร้อนโดยมีข้อพิจารณาคือพื้นที่ของตัวรับรังสี, ค่าต่างของอุณหภูมิตัวดูดกลืนรังสีกับอุณหภูมิแวดล้อมและความเร็วลมในบริเวณนั้น ดังนั้นตัวรับรังสีแบบจานพาราโบลิกจะมีประสิทธิภาพด้านความร้อนสูงกว่าตัวรับรังสีแผ่นเรียบเพราะพื้นที่ของตัวรับรังสีมีขนาดเล็กกว่า จึงมีค่าการสูญเสียความร้อนน้อยกว่า

ความร้อนที่ได้จากการดูดกลืนบนตัวรับรังสีหรือค่าความร้อนที่นำไปใช้งานจากตัวรับรังสีแบบจานพาราโบลิก( $Q_u$ ) คือ

$$Q_u = Q_p - Q_{RH} - Q_{CH} \quad (10)$$

โดยที่

$$Q_{RH} = \alpha \varepsilon A_H (T_H^4 - T_a^4) \quad (11)$$

โดยที่

$Q_{RH}$  คือการสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี (J)

$\sigma$  คือค่าคงที่ Stefan-Boltzmann =  $5.667 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

$\varepsilon$  คือ Emissivity ของวัตถุ (ทองแดงมีค่า 0.87 ที่อุณหภูมิ 38°C)

$T_H$  คืออุณหภูมิของตัวรับรังสี (°K)

$T_a$  คืออุณหภูมิแวดล้อม (°K)

$A_H$  คือพื้นที่วัตถุ พื้นที่ตัวรับรังสี ( $\text{m}^2$ )

$$Q_{CH} = h_H A_H (T_H - T_a) \quad (12)$$

โดยที่

$Q_{CH}$  คือการสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อน (J)

ลมสงบ มีค่า  $h_H = 4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

ลมความเร็ว 10 m/s มีค่า  $h_H = 30 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

**ความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้น**

เมื่อน้ำได้รับความร้อนจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามสมการ

$$Q_u = m C_p (T_{out} - T_{in}) \quad (13)$$

โดยที่

$m$  คือน้ำหนักของน้ำ (kg/s)

$C_p$  คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ 4,180 (J/kg °K)

$T_{in}$  คืออุณหภูมิน้ำที่วัดครั้งแรก (°K)

$T_{out}$  คืออุณหภูมิน้ำที่วัดครั้งหลัง (°K)

1. ประสิทธิภาพรวมทั้งระบบของจานรวมแสงแบบพาราโบลิก

ประสิทธิภาพรวมทั้งระบบของจานรวมแสงแบบพาราโบลิก ( $\eta_{con}$ ) ขึ้นอยู่กับความร้อนที่ได้จากการถ่ายเทให้ตัวรับรังสี ( $Q_u$ ), ค่าการสูญเสียความร้อนการสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี ( $Q_{RH}$ ) และการสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อน ( $Q_{CH}$ ) ดังนั้นประสิทธิภาพรวมทั้งระบบของจานรวมแสงแบบพาราโบลิก ( $\eta_{con}$ ) คือ

$$\eta_{con} = \frac{Q_u + Q_{RH} + Q_{CH}}{Q_a} \times 100 \quad (14)$$