

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบและสร้างเครื่อง จำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นข้อมูลในการทำวิจัย โดยแบ่งหัวข้อการนำเสนอเพื่อให้เกิดความสะดวกในการทำ ความเข้าใจ ดังนี้

1. ทฤษฎีเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์
2. ทฤษฎีเกี่ยวกับแผงรับและสะท้อนแสงอาทิตย์แบบราง โค้งพาราโบลา
3. คุณสมบัติของท่อทองแดง
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### ทฤษฎีเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy)

ปัจจุบันโลกมีการใช้พลังงานอย่างมากในการประกอบ การต่าง ๆ และพึ่งพาพลังงาน จากเชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และ ถ่านหิน ในการขนส่งและผลิต กระแสไฟฟ้า พลังงานเหล่านี้จัดว่าเป็นประเภทไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ และนับวันจะลดลง ใกล้เคียงที่จะหมดไปโดยไม่สามารถผลิตขึ้นมาทดแทนได้อย่างรวดเร็วตามอัตราการ ใช้งาน นอกจากนั้นยังมีผลผลิตที่ก่อให้เกิดมลภาวะติดตามาคด้วย เช่น ความร้อน แก๊สพิษ และฝุ่นควัน จากการทำงานของเครื่องยนต์ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้มีการแสวงหาแหล่งพลังงานที่ไม่ก่อให้เกิด ผลกระทบดังกล่าวเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในอนาคต บางประเทศได้ใช้เครื่องปฏิกรณ์ นิวเคลียร์ในการผลิตกระแสไฟฟ้า แต่ก็ประสบปัญหาสารรังสีปนเปื้อน และ ปัญหาในการ กำจัดกากเชื้อเพลิงที่หมดอายุ พลังงานทางเลือกอื่น เช่น เชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้าก็ยังส่ง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำท่วม ป่าไม้ และสัตว์ป่า แต่มีพลังงานรูปแบบหนึ่งที่เราได้รับ มากมายตลอดเวลาไม่มีวันหมด ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานสำคัญที่สุด ต่อสิ่งมีชีวิตทั้งหลายบนโลกนี้ดวง อาทิตย์มีลักษณะเป็นกลุ่มแก๊สทรงกลม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง  $1.39 \times 10^6$  กิโลเมตร อยู่ห่าง จากโลกคิดเป็นระยะทางเฉลี่ย  $1.496 \times 10^8$  กิโลเมตร พลังงานที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์เป็นผล จากปฏิกิริยา เทอร์โมนิวเคลียร์ฟิวชั่น ทำให้ปล่อยพลังงานออกมาในอัตรา  $3.85 \times 10^{23}$  กิโลวัตต์ และจากปริมาณดังกล่าวจะมีพลังงานตกกระทบลงสู่โลกในอัตรา  $1.79 \times 10^{14}$  กิโลวัตต์ เทียบเป็นพลังงานที่ได้รับใน 1 ปี คือ  $1.51 \times 10^8$  กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง การปลดปล่อย

พลังงานจากดวงอาทิตย์ จะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ อย่างน้อยอีก 50 ล้านปีต่อไป การเปลี่ยนแปลงของอัตราการปลดปล่อยพลังงานจากดวงอาทิตย์ จะต่างกันไม่เกินหนึ่งเท่าตลอดชั่วอายุของดวงอาทิตย์ นอกจากนั้น วงโคจรรอบดวงอาทิตย์ที่เกือบจะเป็นวงกลม ทำให้ความแตกต่างของระยะที่ใกล้ที่สุดไม่ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลให้พลังงานจากดวงอาทิตย์ซึ่งตกกระทบเหนือชั้นบรรยากาศของโลก มีค่าแตกต่างกัน ไม่มากนักตลอดปี (Duffie and Beckman, 1991)

แสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลก เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความยาวคลื่นต่าง ๆ กันเป็นสเปกตรัมที่กว้างมาก ตั้งแต่คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ อินฟราเรด แสงที่ตามองเห็น อัลตราไวโอเลต รังสีเอ็กซ์ และรังสีแกมมา องค์การ NASA และองค์กร CIE (Commission International de l'Éclair age) ได้เสนอพลังงานรวมที่ตกกระทบผิวโลกมีค่าสูงกว่าถึง 1,367 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ( $\pm 2$  เปอร์เซ็นต์) เนื่องจากการเกิดจุดดับบนดวงอาทิตย์ และ  $\pm 3.5$  เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีจึงต้องบวกลบค่าเปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนไปของระยะห่างของโลกกับดวงอาทิตย์ หากเราสามารถนำพลังงานดังกล่าวมาใช้ได้เราจะมีพลังงานใช้อย่างเกินพอ ความร้อนจากดวงอาทิตย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายทางด้วยกัน อันดับแรก คือ การผลิตไฟฟ้าโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ แต่อย่างไรก็ตามปัญหาของการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนก็มีปัญหาอยู่บ้าง เนื่องจากความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกมายังโลกค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์จำเป็นต้องมีอุปกรณ์รับแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศมาสู่พื้น โลกนั้น ประกอบด้วยพลังงานจากรังสีของแสงที่ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงสู่พื้น โลกโดยตรง และพลังงานจากรังสีของแสงที่เกิดจากการกระจายและการสะท้อนภายในชั้นบรรยากาศ นั่นคือสามารถแบ่งองค์ประกอบของพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นโลกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. รังสีตรง (Direct Radiation หรือ Beam Radiation) เป็นรังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงสู่พื้น โลก โดยไม่เกิดอันตรกิริยากับอะตอมของธาตุใดๆ ในชั้นบรรยากาศทำให้มีค่าความเข้มของแสงสูงเมื่อมาถึงพื้นโลก รังสีของแสงในลักษณะนี้เหมาะสำหรับการใช้กับอุปกรณ์ประเภทที่ต้องรวมแสง (Concentrator) ชนิดต่าง ๆ ที่ต้องการค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์สูง ๆ

2. รังสีกระจาย (Diffuse Radiation หรือ Scattered Radiation) เป็นรังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่เกิดการชนกับอะตอมของธาตุต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศทำให้เกิดการกระจายของแสงและบางส่วนสะท้อนลงสู่พื้น โลกค่าความเข้มของแสงจากรังสีประเภทนี้จะ

น้อยกว่ารังสีตรงมารังสีของแสงในลักษณะนี้เหมาะกับการใช้กับอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการความเข้มแสงสูงนักเช่น ระบบเซลล์สุริยะ เป็นต้น

การหมุนของ โลกรอบตัวเองตามแนวแกนต่าง ๆ จะมีความสำคัญต่อการแผ่รังสีอาทิตย์จากดวงอาทิตย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากว่าในการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในตำแหน่งต่าง ๆ บนท้องฟ้า และเมื่อเทียบกับพื้น โลกจะสามารถอ้างอิงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่มองเห็นบนพื้น โลกที่พิถีพิถัน ๆ ได้จาก

1. มุมอะติจูด (Solar altitude angle) ซึ่งเป็นมุมในแนวตั้งที่บอกมุมเงยของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับระดับพื้นราบ

2. มุมแอสิมัท (Solar azimuth angle) ซึ่งเป็นมุมในแนวนอนที่บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ เมื่อวัดจากแกนในแนวทิศใต้เป็นทิศเริ่มต้น ที่ 0 องศา ถึง 180 องศา (วัดทวนเข็มนาฬิกา) และ 0 องศา ถึง -180 องศา (วัดตามเข็มนาฬิกา)

การส่องผ่านของรังสีอาทิตย์ ผ่านบรรยากาศในชั้นต่าง ๆ จะเกิดการกระจายของตัวของแสงไปทั่วท้องฟ้า เมื่อกระทบกับฝุ่น ละอองไอน้ำ และสารแขวนลอยต่าง ๆ ในแต่ละชั้นของ บรรยากาศ ซึ่งการกระจายตัวของรังสีในท้องฟ้า จะพิจารณาจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้าทำให้เกิดเป็นลักษณะต่าง ๆ ของท้องฟ้าได้ ดังนี้

1. ท้องฟ้าโปร่งใส (Clear sky)
2. ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly cloudy sky)
3. ท้องฟ้าเมฆปกคลุมทึบหรือฟ้าครึ้ม (Overcast sky)

ซึ่งท้องฟ้าโปร่งใสและท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วนจะมีปริมาณรังสีอาทิตย์ในท้องฟ้ามาก ส่วนท้องฟ้าเมฆปกคลุมทึบหรือฟ้าครึ้มจะมีปริมาณรังสีอาทิตย์ในท้องฟ้าน้อย

### ประเทศไทยกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบคือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน

การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีการใช้ทั้งใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าและใช้ผลิตความร้อน ในการผลิตกระแสไฟฟ้าประเทศไทยได้ทำการศึกษาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศ พบว่าประเทศไทยมีค่าเฉลี่ยรายปีของพลังงานจาก

แสงอาทิตย์ประมาณ 18.2 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 25 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ในช่วงเดือนเมษายน ในบริเวณพื้นที่ภาคกลางตอนบนเชื่อมต่อกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือบางจังหวัด และจากการศึกษาข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศพบว่า การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในประเทศไทยนั้นมีศักยภาพสำหรับการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยได้ที่ 4.6 ถึง 5.3 หน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน โดยมีจำนวนชั่วโมงการส่องสว่างของดวงอาทิตย์ 2,200 ถึง 2,900 ชั่วโมงต่อปี หรือ 6 ถึง 8 ชั่วโมงต่อวัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.2543: เว็บไซต์) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง เหมาะสำหรับการใช้ทั้งในรูปแบบของพลังงานความร้อนและการผลิตไฟฟ้า

### ทฤษฎีเกี่ยวกับแผงรับและสะท้อนแสงอาทิตย์แบบรางโค้งพาราโบลา

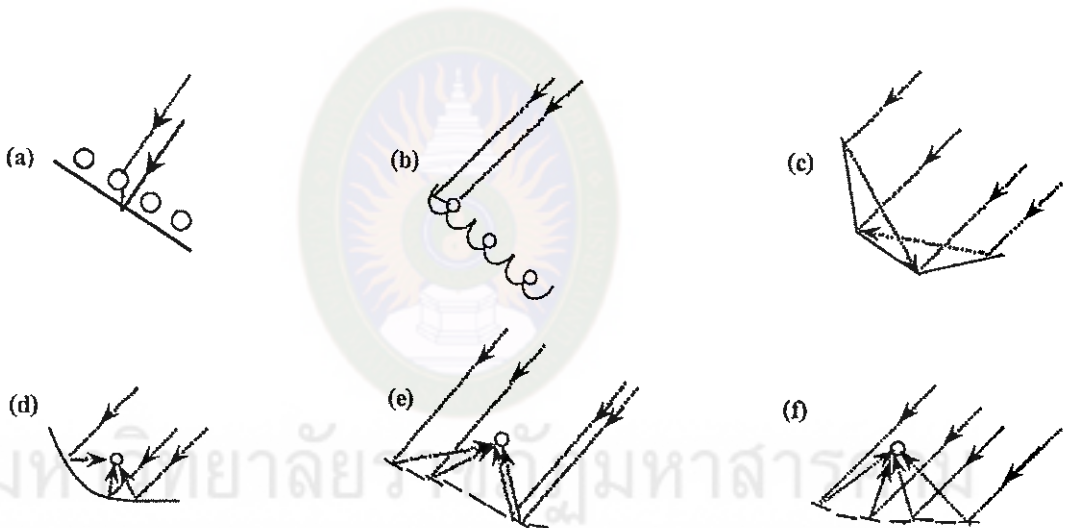
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมรังสี (Concentrating Collector) สามารถแบ่งออกได้หลายรูปแบบดังนี้ คือ ตัวรวมรังสี (Concentrator) ทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนหรือตัวหักเห (Reflector or Refractor) ตัวรวมรังสีมีลักษณะเป็นทรงกระบอกหรือผิวโค้ง (Cylindrical or Surfaces of Revolution) และตัวรวมรังสีเป็นแบบต่อเนื่องหรือแบบแยกส่วน (Continuous or Segmented) นอกจากนี้ตัวรับรังสี (Receiver) อาจเป็นแบบ นูน แบบแบน หรือแบบเว้า (Convex Flat or Concave) และแบบมีแผ่นปิดหรือแบบไม่มีแผ่นปิด (Covered or Uncovered)

เพื่อให้เข้าใจถึงคำว่า “ตัวเก็บรังสี (Collector)” นั้น จะใช้คำว่า ตัวเก็บรังสีแทนระบบซึ่งประกอบด้วยตัวรับรังสีและตัวรวมรังสี ตัวรับรังสีเป็นส่วนหนึ่งของระบบซึ่งทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีอาทิตย์และแปลงให้เป็นพลังงานรูปอื่น ซึ่งจะอยู่รวมกันกับแผ่นปิดและฉนวน ตัวรวมรังสีเป็นส่วนหนึ่งของตัวเก็บรังสีซึ่งทำหน้าที่รวมรังสีตรงที่ตกกระทบ ช่องรับแสง (Aperture) ของตัวรวมรังสีจะเปิดรับรังสีอาทิตย์ซึ่งสามารถผ่านมายังตัวรวมรังสีได้

### ลักษณะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมรังสี

ตัวรวมรังสีมีมากมายหลายชนิด ส่วนมากจะทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มพลังของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวรวมรังสีโดยการสะท้อนหรือหักเห ตัวรวมรังสีอาจจะเป็นทรงกระบอกเพื่อรวมรังสีและโฟกัสไปยังตัวรับรังสีที่มีลักษณะคล้ายเส้น หรืออาจจะเป็นจานกลมเพื่อรวมรังสีและโฟกัสไปยังตัวรับรังสีที่มีลักษณะเป็นจุด ตัวรับรังสีอาจจะเป็นแบบนูนแบบแบน หรือแบบเว้า ลักษณะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมรังสี มีด้วยกัน 6 แบบ ดังแสดงในภาพที่ 1 ภาพที่ 1 (a) และ 1 (b) ตัวดูดกลืนรังสีเป็นแบบทรงกระบอกวางเรียงตัวกันอยู่ห่าง มี

ตัวสะท้อนอยู่ด้านหลังเพื่อสะท้อนรังสีตรงที่เคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างตัวดูดกลืน ภาพที่ 1 (a) ตัวสะท้อนเป็นแบบแบนราบ ภาพที่ 1 (b) ตัวสะท้อนเป็นแบบ Cusp-Shaped Specula ภาพที่ 1 (c) ตัวรับรังสีมีลักษณะเป็นแผ่นแบนราบ มี ตัวสะท้อนรังสีอยู่ที่ปลายทั้งสองข้างเพื่อเพิ่มค่ารังสีที่ตกลงบนตัวรับรังสี อัตราส่วนการรวมรังสีของตัวเก็บรังสีแบบนี้มีค่าต่ำ ภาพที่ 1 (d) แสดงตัวสะท้อนแบบพาราโบลา ซึ่งอาจจะเป็นผิวแบบทรงกระบอกที่มีตัวรับรังสีแบบท่อ หรือผิวโค้งที่ตัวรับรังสีเป็นแบบกลมหรือแบบครึ่งทรงกลม ตัวสะท้อนแบบพาราโบลาสามารถใช้ตัวสะท้อนแบบ Fresnel แทนได้ กลุ่มของตัวสะท้อนแบบแบนราบที่ถูกจัดเรียง แสดงในภาพที่ 1 (e) ในการหักเหรังสีที่ตกกระทบ ตัวสะท้อนสามารถติดตั้งแยกจากกันและปรับตำแหน่งได้ ซึ่งแสดงในภาพที่ 1 (f)



ภาพที่ 1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมรังสีลักษณะต่าง ๆ

ที่มา (William, Stine and Michael Geyer, 2007)

- (a) ตัวดูดกลืนแบบท่อที่มีตัวสะท้อนรังสีอยู่ด้านหลัง;
- (b) ตัวดูดกลืนแบบท่อที่มีตัวสะท้อนเป็นแบบ Specular Cusp;
- (c) ตัวรับรังสีและตัวสะท้อนมีลักษณะเป็นระนาบ; (d) ตัวรวมรังสีแบบพาราโบลา;
- (e) ตัวสะท้อนแบบ Fresnel; (f) แถวของฮีลิโอสแตทที่มีตัวรับรังสีอยู่ตรงศูนย์กลาง

หน้าที่หลักของแผงรับรังสีอาทิตย์แบบรวมรังสี คือ การเพิ่มสนามพลังแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงสะท้อน หรือหักเหรังสีไปยังส่วนรับพลังงาน อาทิ รูปทรงกระบอกผ่าครึ่ง จะสะท้อนรังสีเป็นลักษณะเส้นตรง (สองมิติ) หรือรูปจานกลมจะสะท้อนรังสีในลักษณะเป็นจุดกลม (สามมิติ)ทั้งนี้จะพิจารณาในรายละเอียดเฉพาะ รูปทรงกระบอกผ่าครึ่งเท่านั้น อย่างไรก็ตามในหลักการและทฤษฎีพื้นฐาน โดยรวมยังคงเป็นลักษณะเดียวกัน ดังแสดงต่อไปนี้

1. อัตราส่วนการรวมรังสี เป็นอัตราส่วนพื้นที่อันเกิดจากการรวมรังสี (Area Concentration Ratio) มีคำจำกัดความ คือ อัตราส่วนพื้นที่ของช่องรับแสงต่อพื้นที่ของตัวรับแสง สำหรับอัตราส่วนของสนามการรวมรังสี จะนิยามได้ว่าเป็นสนามพลังงานเฉลี่ยบนตัวรับแสงต่อสนามพลังงานเฉลี่ยที่ช่องรับแสง โดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงสนามพลังงานบนผิวของตัวรับแสง ดังนั้นอัตราส่วนสนามการรวมรังสีเฉพาะที่ จะนิยามเป็นอัตราส่วนของสนามพลังงานที่จุดใด ๆ บนตัวรับแสงต่อสนามพลังงานที่จุดใด ๆ บนช่องรับแสงซึ่งแปรผกผันกับตัวรับแสง (Manoon Pidhuwan, 2004)

สมการอัตราส่วนพื้นที่การรวมรังสี คือ

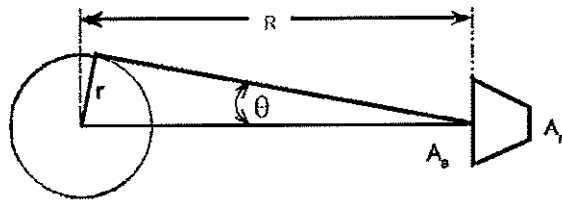
$$C = A_a / A_r \quad (1)$$

เมื่อ  $C$  คือ อัตราส่วนพื้นที่การรวมรังสี

$A_a$  คือ พื้นที่ช่องรับแสง

$A_r$  คือ พื้นที่ตัวรับแสง

สมการนี้ใช้ได้เฉพาะแผงรวมรังสีอาทิตย์แบบสามมิติ อาทิ แบบจานกลม (Paraboloid Concentrator) หรือแผงรวมรังสีแบบสองมิติ อาทิเช่น แผงรวมรังสีทรงกระบอก (Cylindrical Parabolic Concentrator) ในการพัฒนาให้อัตราส่วนของการรวมรังสีมีค่าสูงสุด ได้นำทฤษฎีที่สองของเทอร์โมไดนามิก มาประยุกต์ในการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่รังสีระหว่างดวงอาทิตย์กับตัวรับแสง โดยพิจารณาตัวรวมรังสีแบบจานกลม ซึ่งมีพื้นที่ช่องรับแสง  $A_a$  และพื้นที่ตัวรับแสง  $A_r$  ซึ่งหันเข้าหาดวงอาทิตย์ซึ่งมีรัศมี  $r$  และห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะ  $R$  ดังแสดงในภาพที่ 9 จากนั้น  $\theta_c$  คือ ครึ่งมุม (Half-Angle) ที่รองรับดวงอาทิตย์



ภาพที่ 2 ดวงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ  $T_s$  และระยะห่าง  $R$  จากตัวรวมรังสีที่มีพื้นที่ช่องรับแสง  $A_s$  และพื้นที่ตัวรับรังสี

ที่มา (William, Stine and Michael Geyer, 2007)

ถ้าตัวรับรังสีเป็นแบบสมบูรณ์ รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบช่องบนรับแสง (เช่นเดียวกับตัวรับแสง) จะเป็นสัดส่วนกับการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ถูกบังโดยช่องรับแสง แม้ว่าดวงอาทิตย์จะไม่ใช่วัตถุดำ แต่เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์จะสมมติให้ดวงอาทิตย์เป็นวัตถุดำที่อุณหภูมิ  $T_s$

$$Q_{s-r} = A_s (r^2 / R^2) \sigma T_s^4 \quad (2)$$

ตัวรับแสงแบบสมบูรณ์ (วัตถุดำ) จะปล่อยพลังงานออกมาเท่ากับ  $A_r T_r^4$  และสัดส่วนของพลังงาน  $E_{r-s}$  จะแผ่ไปยังดวงอาทิตย์

$$Q_{r-s} = A_r \sigma T_r^4 E_{r-s} \quad (3)$$

ทั้งนี้เมื่อ  $T_r$  และ  $T_s$  มีค่าเท่ากันซึ่งกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิก  $Q_{s-r}$  มีค่าเท่ากับ  $Q_{r-s}$  ดังนั้นจากสมการ (2) และ (3)

$$A_s / A_r = (R^2 / r^2) E_{r-s} \quad (4)$$

และถ้าค่าสูงสุดของ  $E_{r-s}$  เท่ากับ 1 อัตราส่วนการรวมรังสีสูงสุดสำหรับตัวรวมรังสีมีลักษณะกลม คือ

$$(A_d/A_r)_{\text{circular,max}} = (R^2/r^2) = 1/\sin^2 \theta_s \quad (5)$$

ในทำนองเดียวกัน ถ้าเป็นตัวรวมรังสีแบบเชิงเส้น จะได้

$$(A_d/A_r)_{\text{linear,max}} = 1/\sin \theta_s \quad (6)$$

ถ้าค่า  $\theta_s = 0.27$  ค่าอัตราส่วนการรวมรังสีที่เป็นไปได้สำหรับตัวรวมรังสีแบบกลม คือ 45,000 และสำหรับตัวรวมรังสีแบบเชิงเส้นจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 212 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีค่า อัตราส่วนการรวมรังสีสูง ๆ ที่มีความละเอียดเชิงแสงและมีระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ดี จะทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งทำให้มีการถ่ายเทพลังงานเพิ่มขึ้น

### หลักการสะท้อนรังสี รูปทรงพาราโบลา

แผงรับรังสีแบบพาราโบลาเชิงเส้น (Linear Parabolic Concentrator) ได้มีการศึกษาทั้งทางด้านทฤษฎีและทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้สำหรับงานที่ต้องการอัตราส่วนการรวมรังสีปานกลางและมีอุณหภูมิในช่วง 100 องศาเซลเซียส ถึง 500 องศาเซลเซียส คังตัวอย่างของตัวรวมรังสี ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าในรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา ตัวรับแสงที่ใช้กับตัวรวมรังสีชนิดนี้มีลักษณะเป็นท่อและครอบด้วยแก้วทรงกระบอก

หลักการทำงานของตัวเก็บรังสีชนิดนี้ ได้จากคุณสมบัติเชิงแสงของตัวรวมรังสีและภาพสะท้อน (การแผ่กระจายของสนามรังสีอาทิตย์ผ่านจุดศูนย์รวมแสง) สำหรับส่วนนี้จะพิจารณาถึงลักษณะทางเรขาคณิตของตัวสะท้อนและความกว้างของภาพสะท้อน

สำหรับแผงสะท้อนรังสีแบบพาราโบลา ค่าดูดกลืนรังสีต่อหน่วยพื้นที่ที่ไม่ถูกบังบนช่องรับแสง หาได้จากสมการ

$$S = I_b \rho(\gamma\tau\alpha)_n K_{\gamma\tau\alpha} \quad (7)$$

เมื่อ  $S$  คือ ค่าดูดกลืนรังสีต่อหน่วยพื้นที่ที่ไม่ถูกบังบนช่องรับแสง ( $\text{W.m}^2$ )

$I_b$  คือ รังสีตรง ( $\text{W.m}^2$ )

$\rho$  คือ ค่าการสะท้อนของตัวรวมรังสี



$\gamma\tau\alpha$  คือ ค่าตัวแปรของมุมตกกระทบต่าง ๆ

แฟกเตอร์การรับรังสี (Intercept Factor,  $\gamma$ ) คือ สัดส่วนของรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนออกไป ตัวอย่างหนึ่งของรูปแบบรังสีอาทิตย์ ในระนาบรวมรังสีของตัวรวมรังสีแบบเชิงเส้นแสดงในภาพที่ 2 ถ้าตัวรับรังสีขยายจาก A ไป B แฟกเตอร์การรับรังสีจะเป็น

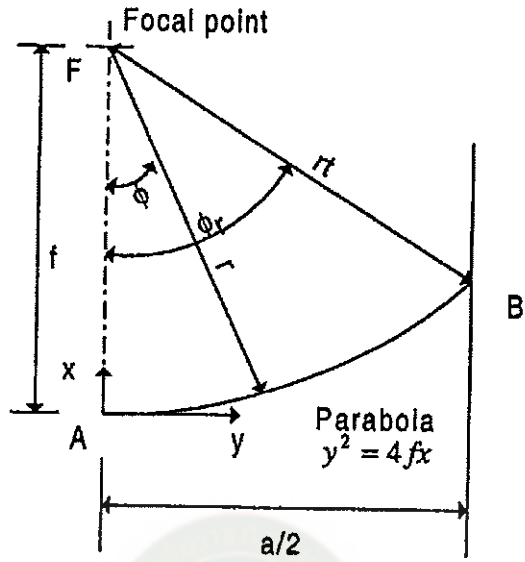
$$\gamma = \frac{\int_{-\infty}^A I(y) dy}{\int_{-\infty}^B I(y) dy} \quad (8)$$

วัตถุประสงค์ในการใช้ระบบรวมรังสีอาทิตย์ คือ เพื่อลดการสูญเสียความร้อนที่ตัวดูดกลืน โดยการลดพื้นที่ดูดกลืนรังสีให้มีขนาดเล็กลงโดยปกติค่า  $\gamma$  จะมีค่ามากกว่า 0.9

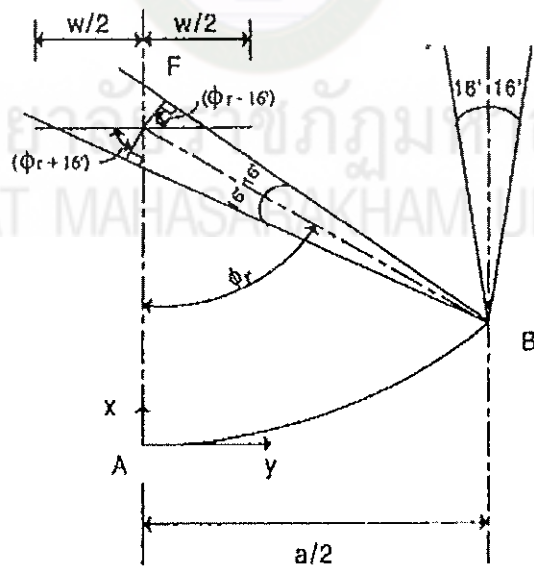
การหาค่า  $S$  จำเป็นที่ต้องทราบลักษณะและคุณสมบัติ ของภาพสะท้อนที่เกิดจากตัวสะท้อน ในทางทฤษฎีภาพสะท้อนที่เกิดจากตัวรวมรังสีแบบสมบูรณ์ จะมีลักษณะเป็นเส้น โดยขึ้นกับรูปทรงทางเรขาคณิตของตัวรับรังสี ในภาพที่ 3 และ 4 จะแสดงภาพตัดขวางของตัวรวมรังสีแบบพาราโบลาเชิงเส้น สมการของพาราโบลาในระบบพิกัด x-y คือ

$$y^2 = 4fx \quad (9)$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม  
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 3 ส่วนของตัวรวมรังสีแบบพาราโบลาเชิงเส้นในระบบพิกัด  $x, y$   
ที่มา (William, Stine and Michael Geyer, 2007)

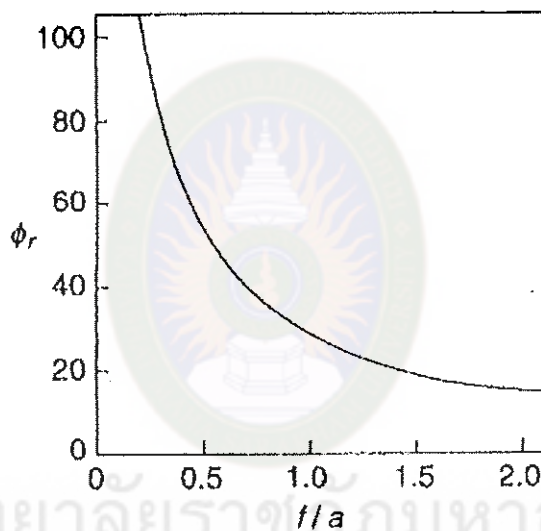


ภาพที่ 4 มิติของภาพสะท้อนสำหรับตัวรวมรังสีแบบเชิงเส้น  
ที่มา (William, Stine and Michael Geyer, 2007)

รังสีตรงในภาพประกอบ 11 ตกกระทบตัวสะท้อนแสงที่จุด B ที่ขอบ รัศมี ความโค้งของพาราโบลา (Mirror Radius) มีค่าสูงสุดที่ระยะ  $r$  มุมขอบ (Rim Angle)  $\phi_r$  คือ มุม AFB กำหนดได้จาก

$$\phi_r = \tan^{-1} \left[ \frac{8(f/a)}{16(f/a)^2 - 1} \right] = \sin^{-1} \left[ \frac{a}{2r_r} \right] \quad (10)$$

โดยที่  $a$  คือ ความกว้างของช่องรับแสง เพื่อความสะดวกจะพล็อต  $\phi_r$  เป็น ฟังก์ชันของ  $f/a$  ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\phi_r$  กับ  $f/a$

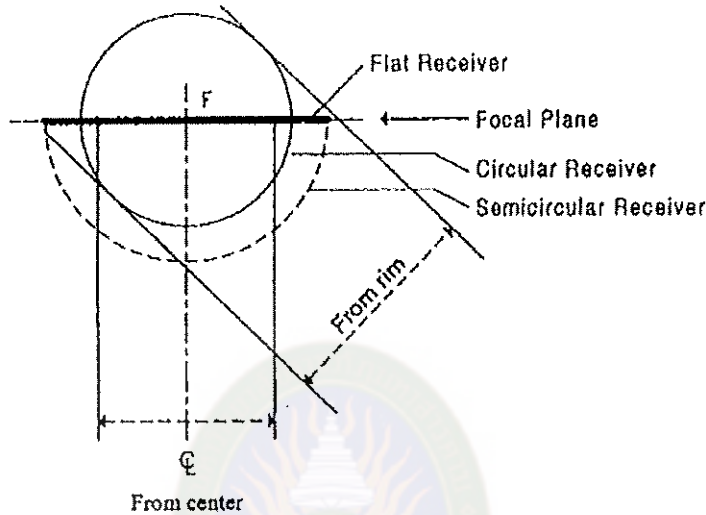
ที่มา (William, Stine and Michael Geyer, 2007)

สำหรับจุดใด ๆ บนตัวสะท้อนแสงพาราโบลา จะมีรัศมีความโค้งเฉพาะที่ (Local Mirror Radius)

$$r = 2f / (1 + \cos \phi) \quad (11)$$

รังสีตรงที่ตกกระทบเป็นลักษณะทรงกรวยที่มีความกว้างของมุมเท่ากับ  $0.53^\circ$  (จากภาพประกอบ 4 ซึ่งอธิบายถึงมุมที่แสงตกกระทบมีค่าครึ่งมุม  $16^\circ$  ฉะนั้นมุมเต็มเท่ากับ  $32^\circ$ ) กรณีต่อไปจะสมมติให้ตัวรวมรังสีมีลักษณะสมมาตรและรังสีตรงมีทิศทางตั้งฉากกับช่อง

รับแสง ทำให้รังสีตรงจะตกกระทบบัวรวมรังสีในทิศทางที่ขนานกับระนาบศูนย์กลางของพาราโบลา (ระนาบ x-z ที่แกนสมมาตรและจุดรวมแสงของพาราโบลาดังอยู่)



ภาพที่ 6 ภาพรังสีสะท้อนจากศูนย์กลางและขอบของ (ครึ่ง) ตัวสะท้อนพาราโบลาที่ตัวรับแสงเป็นแบบราบที่เล็กที่สุด, แบบกลมและแบบครึ่งวงกลมเป็นตัวรับแสงสะท้อนทั้งหมดจากพาราโบลา

ที่มา (William, Stine and Michael Geyer, 2007)

ในภาพที่ 6 แสดงการสะท้อนของรังสีจากขอบของพาราโบลา เพื่อหาความกว้างบริเวณรวมแสง ความกว้างของภาพสะท้อนในระนาบรวมแสง จะเพิ่มขึ้นเมื่อมุมขอบเพิ่มขึ้น และจะแสดงถึงตัวรับแสงแบบราบที่มีขนาดเล็กที่สุด แบบกลมและแบบครึ่งวงกลม ที่อยู่ตรงกับศูนย์กลางของจุดรวมแสง เพื่อรับรังสีสะท้อนทั้งหมด สำหรับตัวสะท้อนรังสีแบบพาราโบลาซึ่งมีรูปทรงที่สมบูรณ์ สามารถคำนวณขนาดของตัวรับแสงที่รับภาพสะท้อนทั้งหมดได้และสามารถหาเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวรับแสงทรงกระบอกได้ดังนี้

$$\begin{aligned} D &= 2 r_p \sin 0.267 \\ &= (\alpha \sin 0.267) / (\sin \theta_p) \end{aligned} \quad (12)$$

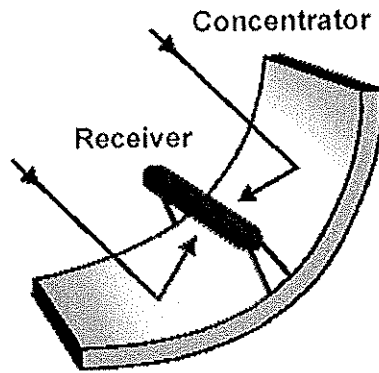
สำหรับตัวรับแสงแบบแผ่นราบ ในระนาบรวมแสงพาราโบลา (ระนาบ y-z ถึง F ในภาพที่ 6) ซึ่งจะมีความกว้าง W เท่ากับ

$$W = [2 r_r \sin 0.267 / \cos (\theta_r + 0.267)] \quad (13)$$

สามารถใช้ W เป็นเส้นค่าศูนย์กลางของตัวรับแสงแบบครึ่งทรงกลมได้ สำหรับตัวรับแสงแบบแผ่นราบ ค่าของ  $\theta$  จะเปลี่ยนแปลงจาก 0 ถึง  $\theta_r$  รัศมี r จะเพิ่มขึ้นจาก f ถึง  $r_r$  และขนาดของภาพสะท้อนทางทฤษฎีในระนาบรวมแสงจะเพิ่มขึ้นจาก D (ให้  $r_r$  เท่ากับ f) ถึง W ความยาวจตุรรวมแสงเป็นตัวแปรที่กำหนดขนาดของภาพสะท้อน สำหรับช่องรับแสงจะเป็นตัวแปรที่กำหนดพลังงานทั้งหมด ดังนั้นความสว่างของภาพสะท้อนที่ตัวรับแสงของระบบรวมแสง จะเป็นพันธะของอัตราส่วน  $a/f$

วิธีการในการหลอมโซลาร์จะใช้แสงอาทิตย์ในการหลอมเป็นหลัก โดยแสงอาทิตย์ จะให้ความร้อนทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดที่โซลาร์หลอมละลายได้ เพื่อให้โซลาร์ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง จึงต้องมีแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อสะท้อนแสงอาทิตย์ให้ถูกโซลาร์โดยตรง โดยจะใช้หลักการของแผงรับแสงอาทิตย์แบบรางพาราโบลาเข้ามาช่วย เพื่อให้แสงอาทิตย์ถูกโซลาร์อย่างเต็มที่ทำให้หลอมละลายได้เร็วยิ่งขึ้น

โดยตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา เรียกว่าตัวรับรังสีแบบรางพาราโบลา (Parabolic Trough) มีลักษณะเป็นรางโค้งยาว ผิวด้านในของราง โค้งทำด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงได้ดี แสงสะท้อนที่เกิดจากรางพาราโบลาทุกตำแหน่งตามความยาวของราง จะไปรวมกันที่เส้นรับแสงสะท้อน ลักษณะการรวมแสงแบบนี้เรียกว่าการรวมแสงแบบเส้น (Line Concentrating) ดังแสดงในภาพที่ 7

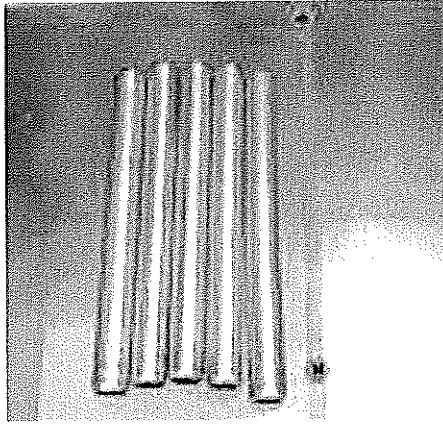


ภาพที่ 7 แสดงการรับและสะท้อนแสงของรางโค้งพาราโบลา  
ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (กระทรวงพลังงาน). 2543

### คุณสมบัติของท่อทองแดง

ทองแดงเป็นโลหะชนิดแรก ๆ ที่มนุษย์รู้จักและนำมาใช้งานจากหลักฐานพบว่า มนุษย์รู้จักการถลุงทองแดงขึ้นมา ใช้ทำเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ มาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ แม้ว่าทองแดงจะมีปริมาณน้อยมาก ในเปลือกโลก (เพียง 0.0001%) เมื่อเทียบกับโลหะอื่นอย่าง เหล็ก (5%) หรืออลูมิเนียม (8%) แต่ทองแดงเป็นโลหะมีตระกูล ซึ่งสามารถพบได้ทั้งในรูปอิสระ และในรูปสารประกอบ ซึ่งสามารถถลุงออกมาเป็นโลหะได้ง่าย การถลุงทองแดงปัจจุบัน จะนำสินแร่ทองแดง เช่น แร่ ชาลโคไซต์ (Chalcocite,  $\text{Cu}_2\text{S}$ ) แร่ชาลโคไพไรต์ (Chalcopyrite,  $\text{CuFeS}_2$ ) เป็นต้น มาเผาในอากาศ จะได้ทองแดงที่มีความบริสุทธิ์ประมาณ 97-99 % จากนั้นจึงนำมาผ่าน กระบวนการแยกด้วยกระแสไฟฟ้าอีกครั้ง เพื่อให้ได้ทองแดงที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า 99 %

ประโยชน์ของทองแดงที่เราคุ้นเคยกันดีที่สุดในสมัยนี้ก็คือ การนำมาใช้ทำลวดส่งกระแสไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ เนื่องจากทองแดงเป็นโลหะที่นำไฟฟ้าได้ดีเป็นอันดับสองรองจากเงิน แต่ราคาถูกกว่าเงินมาก การที่ทองแดงนำไฟฟ้าได้ดี ช่วยลดพลังงานที่สูญเสียไป ในรูปของความร้อน ขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายไฟ และยังช่วยป้องกันอันตราย จากการไหม้ของสายไฟอีกด้วย นอกจากนี้ ทองแดงยังเป็นส่วนผสมสำคัญ ของโลหะผสมหลายชนิด เช่น ทองเหลือง (ทองแดงผสมกับสังกะสี) สัมริด (ทองแดงผสมกับดีบุก) โมเนล (ทองแดง นิกเกิล เหล็ก และแมงกานีส) รวมทั้งยังใช้ผสมในเงินและทอง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของโลหะมีค่าเหล่านั้น สำหรับใช้ทำเครื่องประดับและเหรียญตราต่าง ๆ



ภาพที่ 8 ท่อทองแดง

จุดเด่นอีกอย่างหนึ่งของทองแดงก็คือ ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีมาก แม้ในสภาวะกัดกร่อนอย่างรุนแรง เช่น ในน้ำทะเล จากการสำรวจซากเรือที่จมอยู่ใต้ทะเล ตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 16 ครั้งหนึ่งพบว่ารอก (pulley) ที่ทำจากทองแดง ยังสามารถใช้งานได้ดี สมบัติพิเศษอีกประการหนึ่งคือ ทองแดงเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ หลายชนิด จึงถูกนำมาใช้เป็นปลอกหุ้มแผ่นไม้ ที่ใช้ต่อเรือเดินทะเลเพื่อป้องกันไม่ให้แมลงหรือเฟรียงทำลายไม้ รวมทั้งทำเป็นท่อส่งน้ำดื่ม สารประกอบทองแดงบางชนิด เช่น จูนสี (blue vitriol) หรือ คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ( $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) ใช้เป็นยาฆ่าเชื้อโรคและเชื้อราในแหล่งน้ำ การใช้ทองแดงในการกำจัดสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ในแหล่งน้ำดังกล่าวนี้ ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์แต่อย่างใด หากว่าร่างกายไม่ได้รับทองแดงเป็นปริมาณมาก จนเกินกว่าที่จะขับออกได้ทัน

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อากาศ เสนีวงศ์ ณ อยุธยา และทำการคณะ (2548:44) ได้ทำการวิจัยการสร้างและประเมินค่าพลังงานความร้อนโดยศึกษาถึงการกระจายอุณหภูมิ บนแผ่นเหล็กวงกลมสำหรับดูดซับพลังงานความร้อนและคำนวณหาพลังงานที่ได้รับจากการรวมแสงอาทิตย์ที่ระยะห่างระหว่างจุดรวมแสงกับจุดจางพาราโบลารวมแสงพาราโบลาย่อยจำนวนห้าใบ แต่ละใบมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร ความยาวโฟกัส 170 เซนติเมตร วัสดุด้วยแถบแผ่นสะท้อนแสง ชนิดอลูมิเนียมอะโนไดซ์ โดยมีพื้นที่รับแสงรวมทั้งห้าใบเท่ากับ 0.98 ตารางเมตร ผลการประเมิน ที่จุดกึ่งกลางแผ่นดูดซับความร้อนให้อุณหภูมิสูงสุดที่ทำได้ เท่ากับ 87 องศาเซลเซียส

วรพันธุ์ สมบัติธีระ (2551:50) ได้ทำการศึกษาหาลอมโซ่ไฟฟ้โดยใช้รางโค้งพาราโบลาคือยวที่ำจากแผ่นอลูมิเนียมเป็นตัวรับความร้อนจากดวงอาทิตย์แล้วสะท้อนไปยังโซ่ไฟฟ้เพื่อให้โซ่ไฟฟ้หลอมละลาย ช่วงเวลาในการหลอมอยู่ระหว่างเวลา 10.00-15.00 น. ผลสรุปคือ ได้อุณหภูมิสูงสุดที่วัดรางโค้งพาราโบลาคือ 89.5 องศาเซลเซียส

Manoon Pidhuwan et.al(2004:54) ได้ทำการศึกษาว่าความยาวของรางโค้งพาราโบลามีผลต่อประสิทธิภาพในการสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แผ่นสแตนเลสเป็นตัวสะท้อนแสงอาทิตย์โดยมีขนาด 1.2 X 2.4 เมตร และมีท่อคาร์บอนภายในท่อบรรจุน้ำมันเป็นตัวดูดซับแสงอาทิตย์ น้ำมันภายในท่อจะไหลตลอดเวลาด้วยอัตราการไหล 0.295,0.345,0.415,0.515 และ 0.685 kg/min ผลที่ได้คือ พลังงานความร้อนที่ได้สูงสุดบนตัวเก็บสะสมคือ 880W/m<sup>2</sup> และสามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้ 338.72 W

Qzturk.H.H.(2004:25) ได้ทำการศึกษาเตาหุงต้มพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลิก โดยทำการทดลองต้มน้ำ 6.3kg ในเตาหุงต้มพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลิกในช่วงเวลา 10:00-14:00 น.จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เปลี่ยนจาก550W/m<sup>2</sup> เป็น 1020W/m<sup>2</sup> และประสิทธิภาพพลังงานเฉลี่ย ทุกวันเป็น 9.2% ประสิทธิภาพพลังงานที่ได้มีส่วนใหญ่มีผลจาก 3 ปัจจัย คือ ระดับอุณหภูมิของน้ำที่หุงต้ม ค่าพลังงานรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม

ทนุ กันย้ง,ระดมพล ชาติมูลตรี(2552) ได้ทำการศึกษาการออกแบบและทดลองเครื่องผลิตน้ำร้อน โดยใช้หลักการรวมรังสีอาทิตย์ที่จุดโฟกัสซึ่งใช้แผ่นสแตนเลสและแผ่นอลูมิเนียมทำเป็นรางโค้งพาราโบลาคือ บริเวณที่เป็นจุดโฟกัสจะทำการติดตั้งตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบ 2 มิติเป็นสุญญากาศท่อทองแดงภายในเป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ภายนอกเป็นท่อพลาสติกใสและติดตั้งแผงเอียงทำมุม 16 องศา กับแนวระดับแนวเหนือใต้ เพื่อสามารถรับรังสีทุกๆส่วนของแผ่นรับรังสีอาทิตย์ ผลที่ได้คือ แผ่นสะท้อนที่ทำจากแผ่นสแตนเลสจะให้พลังงานความร้อนที่มากกว่าแผ่นอลูมิเนียมที่ประสิทธิภาพเท่ากับ 0.28 และ 0.21