

# แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการออกแบบ ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา Mathematical Modeling and the Design of Solar Parabolic Trough



รองศาสตราจารย์ ดร.ประกอบ สุรวัฒนาวรรณ และ ธีรภัทร หลิมบุญเรือง  
รองคณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ  
E-mail: fengpsw@ku.ac.th โทรศัพท์: 02-9428555 ต่อ 1803 โทรสาร: 02-5794576

## บทคัดย่อ

ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลาเป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะของรูปร่างผิวโค้งเป็นแบบพาราโบลาทรงกระบอก มีวัตถุประสงค์เพื่อสะท้อนแสงบริเวณผิวทำหน้าที่ยุบรวมแสงอาทิตย์ให้ไปรวมที่จุดโฟกัส ซึ่งมีของไหลที่ใช้สำหรับการดูดซับความร้อนและมีการหมุนเวียนเอาของไหลที่มีพลังงานความร้อนไปใช้งาน ปัจจุบันที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา มีอยู่หลายประการประกอบไปด้วยการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ ความแม่นยำของแบบจำลองการเดินทางของดวงอาทิตย์ การถ่ายเทความร้อนให้กับของไหล ระบบควบคุมกลไกการขับเคลื่อนรางพาราโบลาและความเร็วลม ฯลฯ สมการที่ใช้ในการออกแบบขนาดที่เหมาะสมต่อการรวมแสงของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลาอยู่ในรูปแบบของสมการอนุพันธ์และมีความซับซ้อนในการแก้สมการ ใน

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์แบบฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิก เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาขนาดที่ถูกต้องทำให้การผลิตชิ้นส่วนสำหรับตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลาสามารถทำได้อย่างแม่นยำในเชิงตัวเลข และจะมีประโยชน์ในกรณีที่มีการผลิตเป็นจำนวนมาก ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลาที่มีระยะโฟกัสเท่ากับ 300 มิลลิเมตร ความยาว 1.52 เมตร จำนวน 3 ชิ้น ได้ถูกออกแบบและจัดสร้างขึ้น เพื่อทดสอบความสามารถในการสร้างความร้อน ใช้การหมุนเวียนของน้ำ 3 ลิตรต่อนาที ผ่านท่อสุญญากาศ ซึ่งจัดวางไว้ ณ ตำแหน่งจุดโฟกัสของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา จากการทดสอบในสภาพแสงแดด พบว่าระบบสามารถสร้างพลังงานความร้อนได้โดยเฉลี่ย 4,180 กิโลจูล ในช่วงการทดสอบ 5 ชั่วโมง

**คำสำคัญ:** Solar parabolic trough, Hyperbolic function, Production of parabolic trough

## Abstract

A parabolic trough solar concentrator is built from cylindrical parabolic sheet with a curved surface shape. There is a surface used to reflect sunlight to the focal point. Working fluid is circulated at this focal point and used for absorbing heat energy. The performance of parabolic trough depends on many factors such as the reflection of sun beam, the tracking accuracy of sun moving path, heat transfer to working fluid, control and drives mechanism, wind speed, etc. A derivative equation used to design the dimension of parabolic trough is complex and not convenient to solve. This research work proposed the analysis using Hyperbolic function to determine the sizing. This calculation method enables the precise production of parabolic trough. This will also provide benefit when mass production is required for solar power plant. Three parabolic troughs with 300 mm focus length and 1.52 meter long were designed and built to test for the heat absorbing capacity. Vacuum tube installed at focal point is used to absorb heat and water flow inside the tube is circulated at 3 LPM. The result shows that the system can generate heat energy up to 4,180 kJ during 5 hr operating time.

**Keywords:** *Solar parabolic trough, Hyperbolic function, Production of parabolic trough*

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าทรัพยากรทางพลังงานในโลกนี้เช่น น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น มีปริมาณจำกัดและจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการขาดแคลนและอาจหมดสิ้นไปในอนาคต การหาแหล่งพลังงานอื่นๆ มาทดแทนจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องให้ความสนใจ โดยที่แหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าพลังงานที่ตกลงมายังผิวโลกต่อหนึ่งตารางเมตรจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1367 [7] วัตต์ต่อตารางเมตร นับเป็นค่าพลังงานที่น่าสนใจและสามารถนำเอามาใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด พลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เมื่อแหล่งพลังงานอื่นๆ ใกล้จะหมดประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรและมีศักยภาพทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับประเทศอื่นๆ หากมีการพัฒนาเทคโนโลยีทางพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นใช้เองภายในประเทศ จะเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกหนึ่งที่ทำให้เราไม่ต้องซื้อพลังงานในรูปแบบอื่นและเพื่ออนาคตของประเทศต่อไป

การวิจัยอุปกรณ์ที่ช่วยในการรวบรวมรังสีแบบรางพาราโบลามีมาอย่างต่อเนื่อง สำหรับในประเทศไทยนั้น ทนศักดิ์ ศักดิ์โฆษิตและคณะ [1] ได้ศึกษาการจำลองและสมรรถนะของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบรางพาราโบล่า บัญชา คงตระกูล [2] ได้ศึกษาถึงขนาดรูปร่างและความเหมาะสมของตัวรวมแสงแบบจานพาราโบล่าเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อน พิสิษฐ์ สุวรรณแพทย์และเสริม จันทรฉาย [3] ได้ศึกษาถึงศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบรวมความร้อนแบบรางพาราโบล่าสำหรับการผลิตไฟฟ้าขนาด 10 เมกกะวัตต์ ในส่วนของการประยุกต์การใช้งาน วัชรินทร์ ดงบังและวิทยา พวงสมบัติ [4] ได้ทำเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้รางรวมแสงแบบพาราโบล่า

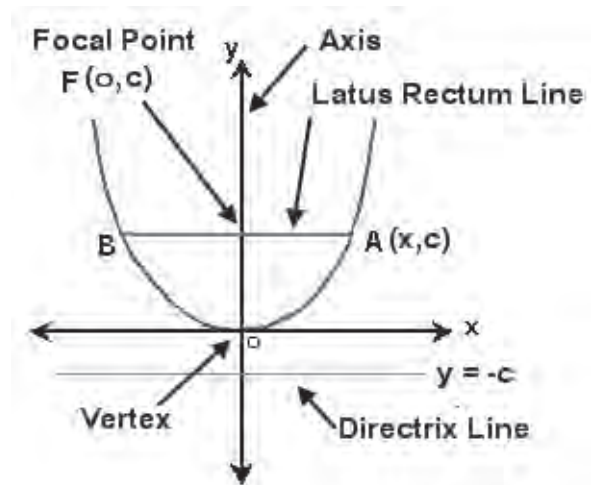
สำหรับในต่างประเทศ Bakos G.C. [5] ได้ ออกแบบอุปกรณ์ให้สามารถติดตามการเคลื่อนที่ของ ดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวันโดยกระบวนการควบคุมแบบ อัตโนมัติ รวมถึงศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและหาค่า ประสิทธิภาพของพลังงาน Dirk K. [6] และคณะได้ สร้างตัวเก็บความร้อนแบบรางพาราโบลา โดยนำความร้อนมาใช้ในระบบทำความเย็นและการผลิตกระแสไฟฟ้า ในปัจจุบันมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่ติดตามการเคลื่อนที่ ของดวงอาทิตย์ออกมาหลายรูปแบบเพื่อให้เหมาะสม กับสภาพการใช้งาน

จากการศึกษาถึงงานวิจัยที่ผ่านมาจะมุ่งเน้น การพัฒนาไปที่การออกแบบตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบ รางพาราโบลาเพื่อทำหน้าที่สะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ให้ ไปรวมกันที่บริเวณท่อดูดกลืนรังสีซึ่งอยู่ที่จุดโฟกัสของ รางพาราโบลาที่มีของไหลที่ใช้ในการดูดซับความร้อน และมีการหมุนเวียนของไหลนำพลังงานความร้อนไป ใช้ใช้งาน ซึ่งจะมีความเหมาะสมในการขยายขนาดของ ระบบเพิ่มเติมในอนาคตและปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การทำงานของประสิทธิภาพในการสร้างพลังงานความ ร้อนมีอยู่หลายประการประกอบไปด้วย ความแม่นยำ ของแบบจำลองการเดินทางของดวงอาทิตย์ ระบบ ควบคุมและกลไกขับเคลื่อน ความเร็วลม ดังนั้นงาน วิจัยฉบับนี้มีความประสงค์ศึกษาวิจัยการออกแบบและ สร้างอุปกรณ์ต้นแบบของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบ รางพาราโบลา ตลอดจนวิเคราะห์ถึงแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ของระบบและออกแบบระบบควบคุมที่ เหมาะสมสำหรับการติดตามดวงอาทิตย์

## 2. การคำนวณและการออกแบบ

### 2.1 การวิเคราะห์หาขนาดของ parabolic trough

พาราโบลาเป็นรูปทรงที่สามารถสะท้อนแสงหรือ รังสีที่ตกกระทบขนานกับแกนของพาราโบลาเข้าไปสู่ จุดๆ หนึ่ง (โฟกัส) เสมอ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบต่างๆ ของพาราโบลา

โดยที่มีสมการของของพาราโบลาแบบหงายขึ้น ที่มีจุดยอดอยู่ที่จุดกำเนิด (0,0) คือ

$$y = \frac{x^2}{4f} \quad (1)$$

การออกแบบให้ระยะในแนวดิ่งหรือความลึกของ Parabolic trough เท่ากับระยะโฟกัส สามารถทำได้โดย

$$y = f ; x = \frac{w}{2} \quad (2)$$

$$f = \frac{\left(\frac{w}{2}\right)^2}{4f} \quad (3)$$

$$\frac{f}{w} = 0.25 \quad (4)$$

อัตราส่วนที่เหมาะสมในการออกแบบตัวพาราโบลา ระหว่างความยาวโฟกัสต่อความกว้างของช่องรับรังสี (Ratio f) จะมีค่าเท่ากับ 0.25

การวิเคราะห์หาระยะความโค้งของ Parabolic trough

$$s = 2 \int_0^x \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \quad (5)$$

ใช้แนวคิดของ Hyperbolic function ในการวิเคราะห์

$$\frac{dy}{dx} = \frac{x}{2f} = \sinh u \quad (6)$$

$$\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} = \sqrt{1 + \sinh^2 u} \quad (7)$$

$$\sqrt{1 + \sinh^2 u} = \cosh u \quad (8)$$

$$x = 2f \sinh u \quad (9)$$

$$dx = 2f \cosh u du \quad (10)$$

$$s = 2 \int_0^x \cosh u \cdot 2f \cosh u \cdot du \quad (11)$$

$$s = 4f \int_0^x \cosh^2 u du \quad (12)$$

$$s = 4f \left( \frac{\sinh(2u)}{4} + \frac{u}{2} \right) \quad (13)$$

จะเห็นได้ว่าระยะความโค้งของ Parabolic trough อยู่ในรูปตัวแปรของ  $f$  (ระยะโฟกัส) และ  $u$  ซึ่งเป็นตัวแปรของ Hyperbolic function ดังนั้นขั้นตอนต่อไปจึงต้องดำเนินการวิเคราะห์ค่า  $u$  โดยการ Inverse hyperbolic function

$$\frac{x}{2f} = \sinh u \quad (14)$$

$$\frac{f}{w} = 0.25 \quad \text{แทนค่า } x = \frac{w}{2} \quad (15)$$

$$\frac{f}{(2x)} = 0.25 \quad \text{จะได้ว่า } x = 2f \quad (16)$$

$$\sinh u = \frac{x}{2f} = 1 \quad (17)$$

$$\frac{1}{2} (e^u - e^{-u}) = 1 \quad (18)$$

$$e^u - \frac{1}{e^{-u}} = 2 \quad (19)$$

คูณทั้งสองด้านด้วย  $e^u$

$$(e^u)^2 - 2(e^u) - 1 = 0 \quad (20)$$

สมการอยู่ในรูป Quadratic equation และสามารถ Solve สมการนี้ได้

$$e^u = 2.415 \quad \text{และ } u = 0.882 \quad (21)$$

แทนค่า  $u$  ในสมการ S

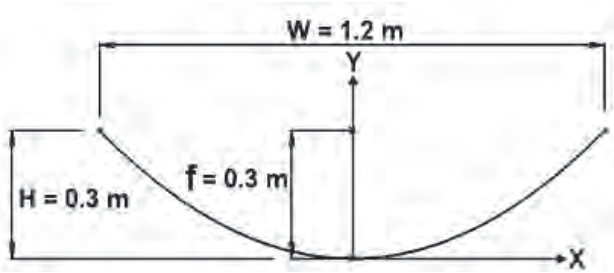
$$s = 4f \left( \frac{\sinh(1.764)}{4} + \frac{0.882}{2} \right) \quad (22)$$

รูปแบบของสมการ (22) จะสามารถนำไปใช้ในการหาระยะความโค้ง S หรือระยะความกว้างของแผ่นที่ใช้ผลิต parabolic trough และสามารถใช้ได้กับทุกการออกแบบที่มีระยะ  $f/w = 0.25$  ในกรณีงานวิจัยนี้ใช้ค่า  $f = 0.3$  เหตุผลเนื่องมาจากความเหมาะสมในการใช้ขนาดวัสดุ ซึ่งในกรณีนี้ใช้แผ่นโลหะขนาดมาตรฐานอย่างคุ้มค่า โดยให้มีส่วนเหลือทิ้งน้อยที่สุด ดังนั้นจะต้องใช้ระยะ S เท่ากับ

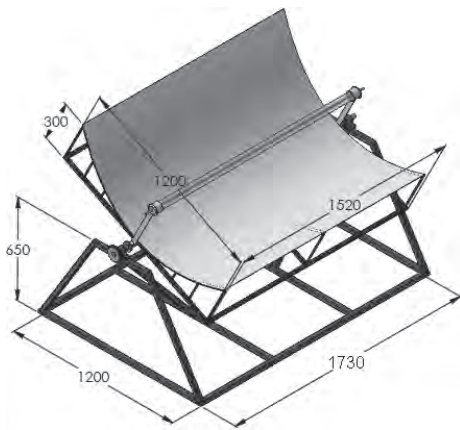
$$s = 4 (0.3) \left( \frac{\sinh(1.764)}{4} + \frac{0.882}{2} \right) \quad (23)$$

$$s = 1.379 \text{ m} \quad (24)$$

จากระยะโฟกัสมีค่าเท่ากับ 0.3 เมตร จะได้ค่าความกว้างของช่องรับรังสีคือ 1.2 เมตร จะได้สัดส่วนของส่วนโค้งพาราโบลาดังรูปที่ 2 และแบบจำลองของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลาก็ได้ออกแบบดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 มิติของพาราโบล่าที่ออกแบบ



รูปที่ 3 ขนาดของชุดพาราโบล่าที่ออกแบบ หน่วย:mm

ตารางที่ 1 ขนาดของรางพาราโบล่าที่ออกแบบ

ลำดับที่	รายละเอียด	ขนาด
1	Parabola Length (L)	1520 mm
2	Parabola aperture (W)	1200 mm
3	Focal distance (f)	300 mm
4	Thickness (mean value)	3 mm
5	Aperture area (A <sub>a</sub> )	2.09 m <sup>2</sup>

ค่าของตัวรวมรังสีที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยที่สุดที่จะสามารถรองรับ รังสีทั้งหมดที่สะท้อนมาจากรางพาราโบล่าที่ความโค้ง สมบูรณ์ มีค่าคือ (โดยที่ a = w/f)

$$d_{req} = \frac{1}{8} (a^2 + 16) \sin \theta_s \quad (25)$$

## 2.2 ประสิทธิภาพทางความร้อนของตัวเก็บรังสี

พิจารณาถึงค่าของแฟกเตอร์ที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวรวบรวม โดยพิจารณาที่ระบบรวบรวมรังสีเป็นแบบเชิงเส้นที่มีตัวรับแสงแบบ ทรงกระบอก คือ

$$F' = \frac{1/U_L}{\frac{1}{U_L} + \frac{D_o}{h_r D_i} + \left(\frac{D_o}{2k} \ln \frac{D_o}{D_i}\right)} \quad (26)$$

ค่าพลังงานความร้อนของของไหลที่ไหลอยู่ภายในท่อในที่นี้คือน้ำคือ

$$Q_U \Delta t = m C_p (T_1 - T_2) \quad (27)$$

และค่าประสิทธิภาพของระบบสามารถหาได้จาก

$$\eta = \frac{Q_U}{A_a I_b} \quad (28)$$

## 2.3 การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

มุมเดคลิเนชัน (Declination angle) เป็นมุมที่แสดงตำแหน่งเชิงมุมของดวงอาทิตย์ที่เวลาเที่ยงสุริยะ (Solar noon) เมื่อเทียบกับระนาบของเส้นศูนย์สูตร ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง  $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$  โดยจะคำนวณได้จาก [7]

$$\delta = 23.45 \sin \left( 360 \times \frac{248+n}{365} \right) \quad (29)$$

มุมของแต่ละชั่วโมงหาได้จาก

$$\omega = 15(12 - st) \quad (30)$$

เมื่อ st คือเวลามาตรฐานท้องถิ่นเทียบกับเวลาเที่ยงสุริยะ (Solar noon) ในพื้นที่ทดสอบหาได้จาก

$$st = \text{Standard time} + E-4(\text{Long}_{st} - \text{Long}_{Loc}) \quad (31)$$

เมื่อ  $\text{Long}_{st}$  คือ เส้นแวงที่ลากผ่านเวลามาตรฐาน

$\text{Long}_{Loc}$  คือ เส้นแวงที่ลากผ่านเวลาที่ท้องถิ่น

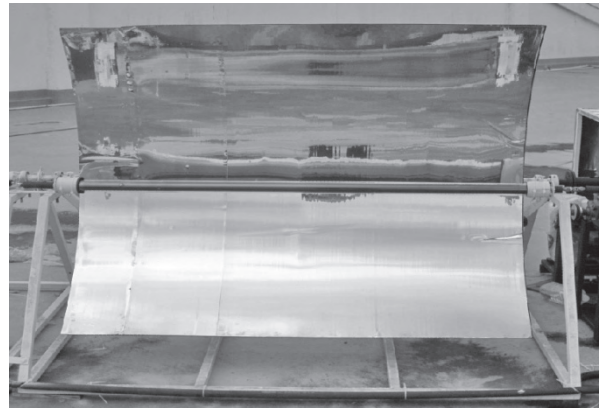
จากค่าและสมการต่างๆ ที่ได้กำหนดจะนำไป ออกแบบหารูปร่าง ขนาดและการติดตามดวงอาทิตย์ของ รังพาราโบล่า ซึ่งจะนำค่าที่คำนวณได้จัดสร้างต้นแบบ ตัวรวบรวมแสงอาทิตย์แบบรังพาราโบล่าขึ้นมา เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการทดสอบ

### 3. อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

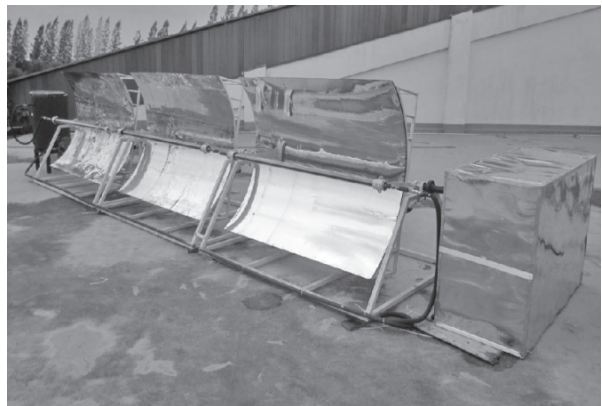
#### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้

ตัวรับและรวบรวมแสงอาทิตย์แบบรังพาราโบล่า เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากรังสีของ ดวงอาทิตย์ไปเป็นความร้อนให้แก่ของไหลทำงาน ซึ่งชุด รับและรวบรวมรังสีอาทิตย์แบบรังพาราโบล่าดังแสดง ในรูปที่ 4 มีส่วนประกอบหลักดังนี้คือ 1)ท่อสุญญากาศ (Evacuated tubes) เป็นแบบ 2 ชั้น โดยมีขนาดเส้นผ่า ศูนย์กลางภายนอก 47 mm และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ภายใน 33 mm ชั้นนอกจะเป็นสุญญากาศ ส่วนภายใน หลอดแก้วจะมีท่อทองแดงสำหรับให้น้ำไหลผ่านอยู่ ตรงกลางอีกที จะอาศัยการกักเก็บความร้อน โดยระหว่าง หลอดแก้วมีค่าเป็นสุญญากาศจะเป็นการป้องกันการ สูญเสียความร้อนและสามารถสะสมความร้อนได้ เป็นอย่างดี 2)ชุดรวบรวมรังสีจากแสงอาทิตย์ ซึ่งติด แผ่นสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Reflector film) ที่มีการเคลือบวัสดุที่เป็นอลูมิเนียมไว้ที่ชั้นใน เพื่อช่วย เพิ่มประสิทธิภาพในการสะท้อนรังสีได้เป็นอย่างดี โดย จะเคลือบอยู่บริเวณด้านบนพื้นผิวของรังพาราโบล่า แผ่นสะท้อนรังสีนี้จะช่วยหักเหรังสีทั้งหมดไปที่ท่อแก้ว สุญญากาศทำให้ความร้อนรวมกันและดูดซับค่าพลังงาน ความร้อนได้มากขึ้นมีอัตราการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์

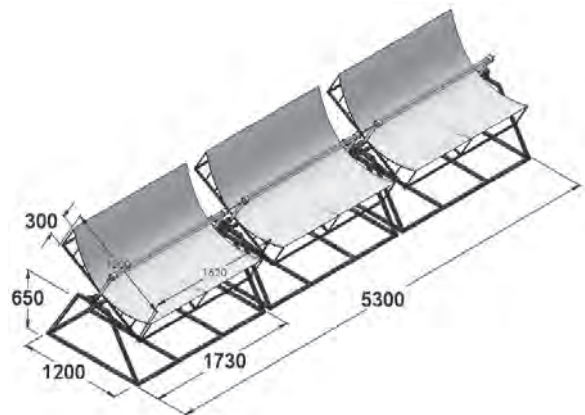
อยู่ที่ 85% 3)ระบบท่อและถังสะสมความร้อนเพื่อที่ ให้สารทำงานไหลหมุนเวียนอยู่ภายใน โดยจะใช้ท่อ ทองแดงขนาด 3 นิ้ว (3/8 นิ้ว) ซึ่งเป็นขนาดที่สามารถ รับรังสีดวงอาทิตย์ที่รวบรวมได้หมดพอดี ซึ่งจะใช้ รังพาราโบล่าทั้งหมด 3 รังประกอบกันเป็นแนวยาว ดังรูปที่ 5 และมีขนาดโดยรวมดังรูปที่ 6



รูปที่ 4 ด้านหน้าของรังพาราโบล่า

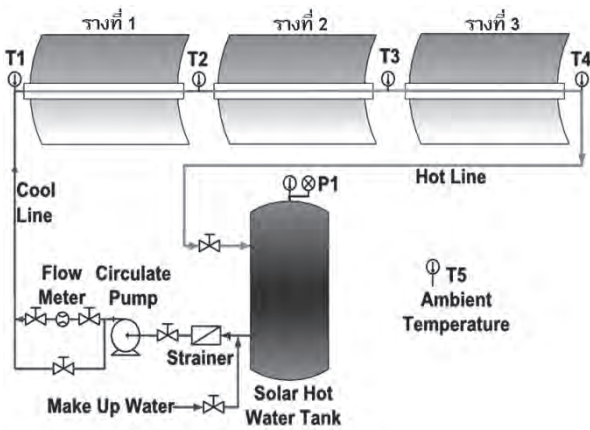


รูปที่ 5 ชุดรวบรวมแสงอาทิตย์แบบรังพาราโบล่า



รูปที่ 6 ขนาดโดยรวมของอุปกรณ์ทดสอบ

รูปที่ 7 แสดงแผนผังของชุดรวบรวมแสงอาทิตย์แบบรางพาราโบล่าที่ได้กำหนดตำแหน่งต่างๆ ของจุดที่จะทำการบันทึกอุณหภูมิของของไหลภายในท่อและอุณหภูมิของอากาศในบริเวณที่ทำการทดสอบ โดยจะประกอบไปด้วย อุณหภูมิของไหลภายในท่อก่อนเข้ารางที่ 1 (T1), อุณหภูมิของไหลภายในท่อที่ออกจากรางที่ 1 (T2), อุณหภูมิของไหลภายในท่อที่ออกจากรางที่ 2 (T3), อุณหภูมิของไหลภายในท่อที่ออกจากรางที่ 3 (T4) และอุณหภูมิของอากาศในบริเวณที่ทำการทดสอบ (T5) ซึ่งระยะระหว่าง T1-T4 จะค่าเท่ากับ 1.7 เมตร



รูปที่ 7 แผนผังของระบบพาราโบล่าที่ออกแบบ

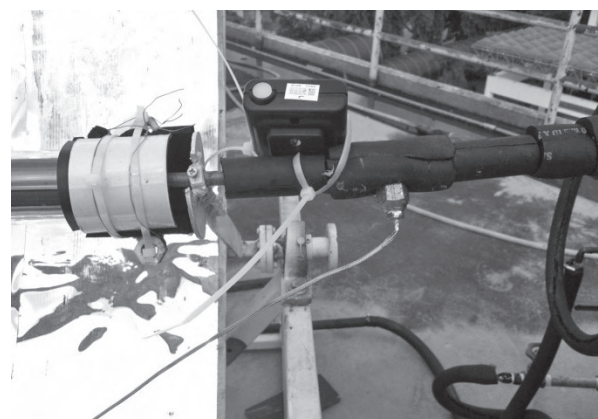
### 3.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบจะทำการทดสอบจริงกับแสงอาทิตย์ โดยการวางตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบล่าให้ตัวที่รับแสงอาทิตย์วางไปตามแนวทิศเหนือ-ใต้และให้ตัวรางพาราโบล่าที่รวบรวมแสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก เริ่มการทดสอบตัวรางพาราโบล่าจะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเริ่มต้นและจะมีการปรับให้ตัวรางพาราโบล่าเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ ชั่วโมงๆ ละ 15 องศา สารที่ใช้ในการทดสอบเป็นน้ำเปล่าให้ไหลด้วยอัตราการไหลคงที่คือ 3 LPM และน้ำจะถูกให้ไหลหมุนเวียนภายในระบบ ซึ่งถึงที่

ใช้สะสมความร้อนมีปริมาตร 50 ลิตร ส่วนการเก็บข้อมูลจะเริ่มตั้งแต่เวลา 12.00-16.00 น. ตลอดการทดสอบจะวัดและเก็บบันทึกข้อมูลอุณหภูมิของน้ำในท่อแต่ละจุดและอุณหภูมิของอากาศบริเวณที่ทำการทดสอบตามที่ได้อ้างอิงไว้ด้วยเทอร์โมคัปเปิลแบบชนิด K จะติดตั้งที่ท่อทองแดงตามตำแหน่ง T1 ถึง T5 ตามรูปที่ 7 จะเก็บค่าอุณหภูมิโดยใช้อุปกรณ์บันทึกข้อมูลแบบต่อเนื่อง (data logger) และวัดค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ (I) ในหน่วยของ  $W/m^2$  ด้วยเครื่อง Solar Power Meter รุ่น TES-1333R ทุกๆ 1 นาที ซึ่งเป็นแบบเก็บบันทึกข้อมูลได้ในตัวจนครบ 4 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 9 นำผลการทดสอบมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำภายในท่อและอุณหภูมิของอากาศภายนอกบริเวณที่ทำการทดสอบกับเวลาที่รับแสงอาทิตย์



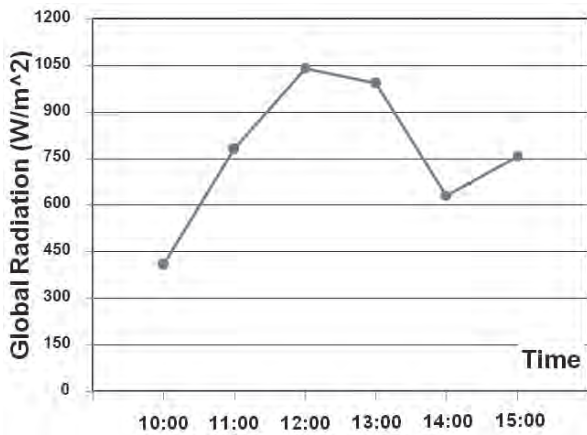
รูปที่ 8 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบ



รูปที่ 9 Solar Power Meter และเทอร์โมคัปเปิล

### 3.3 ผลการทดสอบ

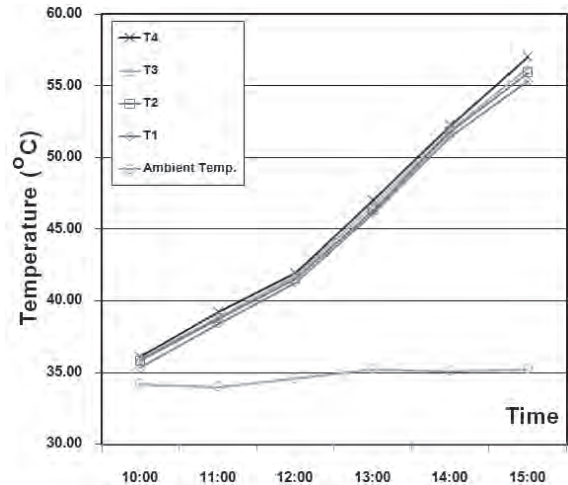
ได้ทำการทดสอบในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 โดยเก็บข้อมูลทุก ๆ 2 นาที แล้วหาค่าเฉลี่ยในเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 10.00 - 15.00 น. เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และเลือกทดสอบในวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง และมีแดดตลอดทั้งวัน ได้ค่าความเข้มรังสีดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีและเวลา

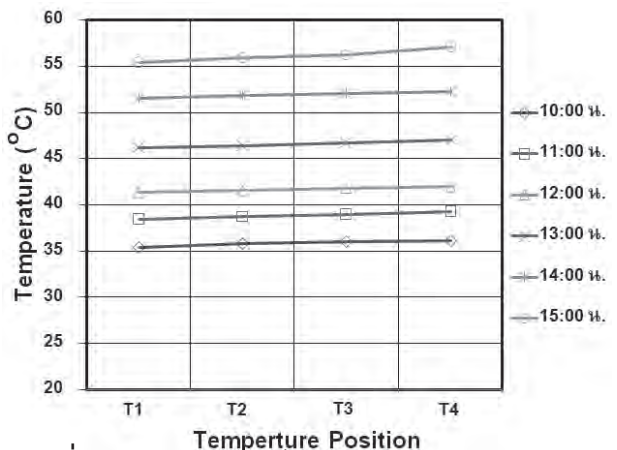
จากรูปที่ 10 พบว่าค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นตั้งแต่เวลา 10:00-12:00 น. และมีค่าสูงสุดอยู่ระหว่างช่วงเวลา 12.00 น. และในช่วงตั้งแต่เวลา 13:00-14:00 น. ระดับรังสีจะลดน้อยลงเนื่องจากในช่วงเวลานี้มีเมฆมาบังในบริเวณสถานที่ทดสอบจึงทำให้กราฟจะลดลง แต่ในช่วงตั้งแต่เวลา 14:00-15:00 น. ระดับรังสีเพิ่มขึ้นเนื่องจากในช่วงเวลานี้เมฆที่มาบังในบริเวณสถานที่ทดสอบได้ผ่านไปจึงทำให้กราฟมีความชันเพิ่มขึ้นจากรูปที่ 11 อุณหภูมิของน้ำที่ไหลผ่านจุดต่างๆ ของท่อทองแดง ซึ่งอยู่ในท่อแก้วสุญญากาศจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่มีแสงแดดมาตกกระทบบนช่องรับรังสีของรางพาราโบลา ถึงแม้ในช่วงเวลา 13:00-14:00 น. จะมีค่าของรังสีดวงอาทิตย์ที่ลดลงบ้าง ซึ่งทำให้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิในช่วงนี้ช้าลง

โดยอุณหภูมิที่จุด T4 เป็นจุดที่มีน้ำไหลผ่านเป็นจุดสุดท้ายของชุดทดสอบจะมีอุณหภูมิสูงที่สุดตลอดเวลาที่ทำการทดสอบ ขณะที่อุณหภูมิของอากาศแวดล้อมจะมีอุณหภูมิลดลงที่เท่ากับ 35°C



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา

รูปที่ 12 เป็นการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่จุดต่างๆ (T1-T4) พบว่าที่เวลาเดียวกันอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจากจุด T1 ไปจนถึงจุด T4 ซึ่งจุด T4 เป็นจุดที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดในทุกๆ เวลาและอุณหภูมิจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ที่เวลาทำการทดสอบมากขึ้น



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับตำแหน่ง

รูปที่ 12 และจากสมการที่ 27 จะได้ค่าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในแต่ละชั่วโมงตั้งแต่เวลา 10:00-15:00 น. มีค่าเป็นดังนี้ 550, 619, 504, 685, 557



และ 1,265 kJ ตามลำดับ ซึ่งทำให้ได้ค่าพลังงานความร้อนรวมเฉลี่ยเท่ากับ 4,180 kJ

#### 4. สรุปผลการวิจัย

สมการที่ใช้ในการออกแบบขนาดของที่เหมาะสม ต่อการรวมแสงอาทิตย์ของ Parabolic trough อยู่ในรูปแบบของสมการอนุพันธ์ และมีความซับซ้อนในการแก้สมการ

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอการวิเคราะห์การแก้ปัญหาแบบ Hyperbolic function เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาขนาดที่ถูกต้อง ทำให้การผลิตชิ้นส่วนสำหรับ Parabolic trough สามารถทำได้อย่างแม่นยำในเชิงตัวเลข และจะมีประโยชน์ในกรณีที่มีการผลิตเป็นจำนวนมาก

Parabolic trough ที่มีระยะโฟกัสเท่ากับ 300 mm ความยาว 1.52 m จำนวน 3 ชิ้นได้ถูกออกแบบและจัดสร้างขึ้น เพื่อทดสอบความสามารถในการสร้างความร้อน โดยใช้การหมุนเวียนของน้ำ 3 LPM ผ่านท่อสูญญากาศ ซึ่งได้จัดวางไว้ ณ ตำแหน่งจุดโฟกัสของ Parabolic trough

จากการทดสอบในสภาพแสงอาทิตย์ พบว่าระบบสามารถสร้างพลังงานความร้อนได้เฉลี่ย 4,180 kJ ในช่วงการทดสอบ 5 ชั่วโมง

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้เงินทุนสนับสนุนโครงการวิจัยและจัดทำต้นแบบ ประจำปีงบประมาณ 2554 ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัยที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และได้ให้คำแนะนำในการจัดทำงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

#### รายการสัญลักษณ์

$A_a$	พื้นที่ของตัวรวมรังสีที่ไม่ถูกเงาบัง	$m^2$
$C_p$	ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	$J/kg \cdot K$
$D_i$	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ	$m$
$D_o$	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ	$m$
$d_{req}$	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยที่สุดที่จะสามารถรองรับรังสีทั้งหมด	$m$
$E$	สมการของเวลา	นาที
$F'$	แฟกเตอร์ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสี	
$f$	ความยาวโฟกัส	$m$
$h_{fi}$	สัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนในท่อ	$W/m^2 \cdot K$
$I_b$	ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์	$W/m^2$
$m$	มวลของน้ำ	$kg$
$n$	จำนวนวันในรายปี	วัน
$Q_u$	พลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์	$W$
$T_1$	อุณหภูมิน้ำก่อนได้รับความร้อน	$K$
$T_2$	อุณหภูมิน้ำหลังได้รับความร้อน	$K$
$\Delta t$	เวลาในการให้ความร้อนแก่น้ำ	$s$
$U_L$	สัมประสิทธิ์สูญเสียความร้อนรวม	$W/m^2 \cdot K$
$W$	ความกว้างของโค้งพาราโบลา	$m$
$x$	ตำแหน่งในแนวราบ	$m$
$y$	ตำแหน่งในแนวตั้ง	$m$
$\delta$	มุมเดคลิเนชัน	องศา
$\omega$	มุมของดวงอาทิตย์แต่ละชั่วโมง	องศา
$\theta_s$	มุมต้นดวงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 0.27	องศา
$\eta$	ประสิทธิภาพของระบบ	

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] นันทนศักดิ์ ศักดิ์โสมษิตและคณะ (2552). การจำลองแบบและศึกษาสมรรถนะของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบรางพาราโบลา, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5, มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก.

[2] บัญชา คังตระกูล (2551). Mathematical Modelling of a Parabolic Concentrator for a Solar-Power Stirling Engine, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4, มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.

[3] พิสิษฐ์ สุวรรณแพทย์และเสริม จันทร์ฉาย (2552). ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนแบบรางพาราโบลาที่จังหวัดร้อยเอ็ด, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5, มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก.

[4] วัชรินทร์ ดงบันและวิทยา พวงสมบัติ (2552). เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้จานรวมแสงแบบพาราโบลา, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5, มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก.

[5] Bakos. G.C., (2006). Design and construction of a two-axis Sun tracking system for parabolic trough collector (PTC) efficiency improvement. Renewable Energy. January 2006, pp.2411—2421.

[6] Dirk K., Yuvaraj P., Klaus H. and Mark S., (2008). Parabolic trough collector testing in the frame of the REACT project. April 2007, pp. 612—618.

[7] Garg, H.P. and Prakash, J. (2000). Solar Energy Fundamentals and Application, Tata Mcgraw Hill, New Delhi.