

## บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำรังสีอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสีย ให้สามารถนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการใช้ตัวรับรังสีรูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร (ACPC) รวมรังสีอาทิตย์ให้ตกสู่ภาชนะบรรจุน้ำเสียเพื่อเป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ น้ำเสีย โดยการให้รังสีอาทิตย์ตกกระทบกับผิวคูคกลีนรังสีอาทิตย์ที่เคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) โดย  $\text{TiO}_2$  จะทำหน้าที่เป็นตัวคูคกลีนรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวของแผ่นคูคกลีนรังสีอาทิตย์ เพื่อกระจายและถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำทำให้น้ำเสียมีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้สูงขึ้นตามที่ต้องการเพื่อสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ณ อุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นทำได้ช้า โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร ซึ่งสามารถใช้ได้ตลอดปีโดยไม่ต้องปรับมุมตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ และพัฒนาให้ได้รับความร้อนที่เพิ่มขึ้นจึงมีการเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์บนผิวคูคกลีนเพื่อทำให้น้ำเสียมีอุณหภูมิสูงและสามารถยับยั้งการเจริญโตของแบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* ในน้ำเสียได้ และในงานวิจัยนี้ดำเนินตามขั้นตอนการวิจัยดังรูปที่ 3.1

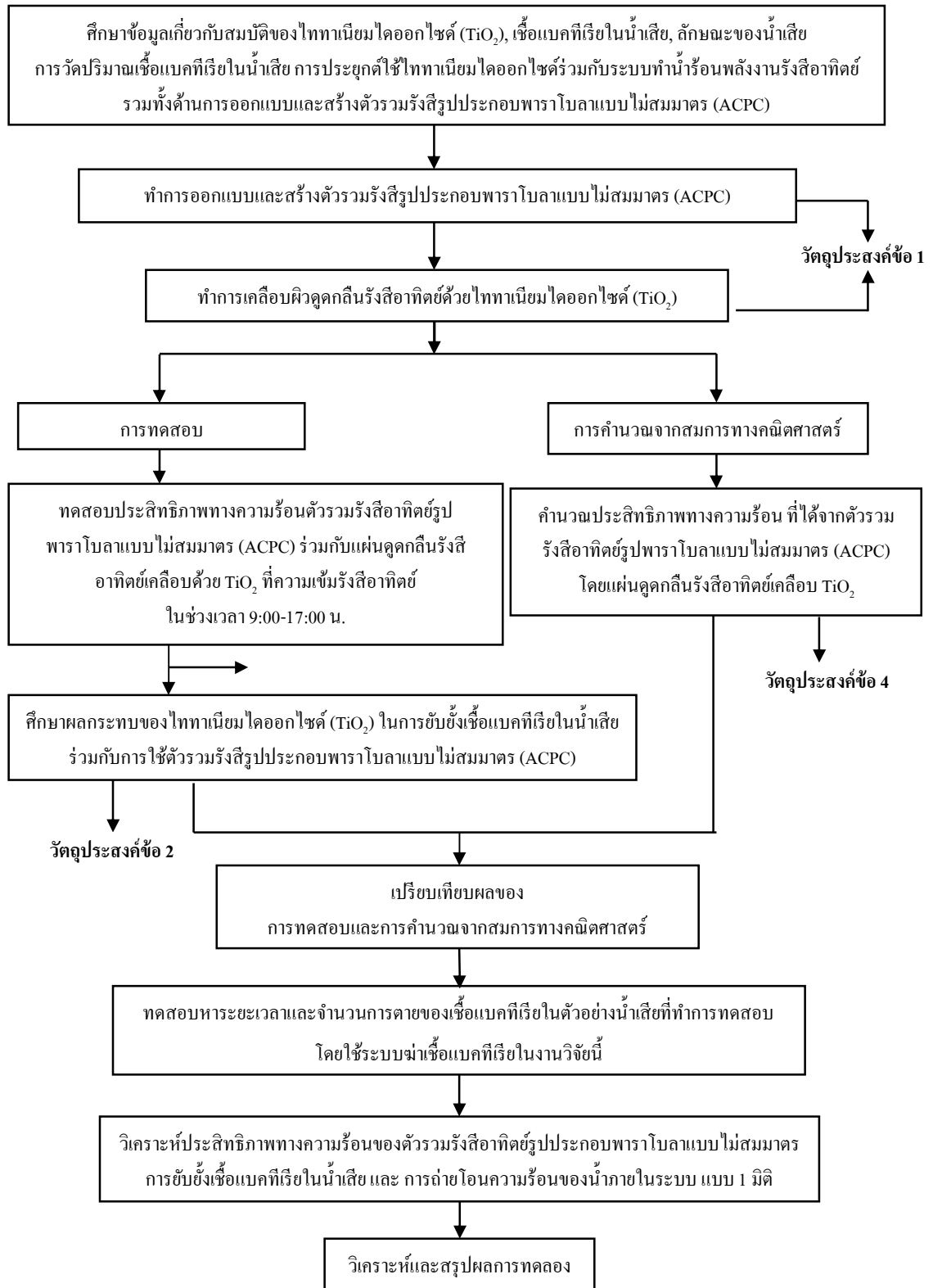
### 3.1 ขั้นตอนการวิจัย

ในการทำงานวิจัยนี้ ต้องได้ผลบรรลุตามวัตถุประสงค์คือ

1. เพื่อออกแบบและสร้างตัวรวมรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร (ACPC) ที่ใช้ได้กับทุกตำแหน่งดวงอาทิตย์ของกรุงเทพในการเพิ่มพลังงานความร้อนให้กับระบบ
2. เพื่อศึกษาการนำไททาเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) มาประยุกต์ใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในน้ำเสีย โดยใช้พลังงานรังสีอาทิตย์แบบตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร (ACPC) โดยเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์ เคลือบบนผิวคูคกลีน
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของตัวรวมรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร (ACPC) โดยเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) เคลือบบนผิวคูคกลีน
4. คำนวณการถ่ายโอนความร้อนของน้ำภายในระบบ จากสมการทางคณิตศาสตร์

### 3.1.1 ขั้นตอนการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้ทำงานวิจัยได้แบ่งขั้นตอนการทำงานดังนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

## 3.2 ระบบยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสีย

ระบบยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสีย ประกอบด้วย

### 3.2.1 ตัวรวมรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาไม่สมมาตร (ACPC)

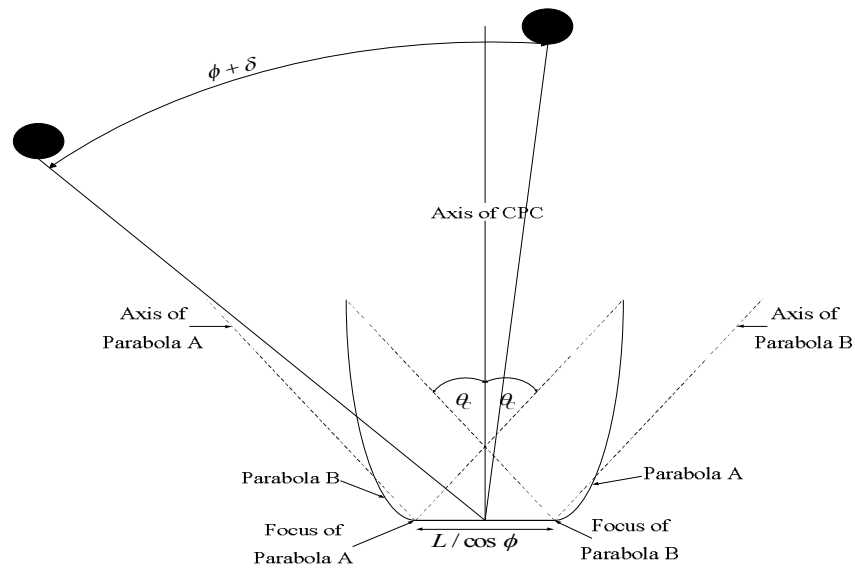
การออกแบบและสร้างตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร (ACPC) ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้แผ่นเหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) เป็นรางผิวสะท้อนรังสีอาทิตย์

ตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลาวางในทางยาวแนวเหนือ-ใต้ พื้นที่ที่ติดตั้งตัวรับรังสีอยู่ในแนวราบ และไม่มีเงามบังทับตัวรวมรังสีอาทิตย์

การออกแบบตัวรวมรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร (ACPC) คำนวณหาความสูงของแผงใหญ่และแผงเล็ก เพื่อให้มีการสะท้อนลงกล่องบรรจุน้ำได้มากที่สุด โดยคำนึงถึงด้านความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ การสร้างตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลา ต้องคำนึงถึงวัสดุที่นำมาเป็นรางผิวสะท้อนรังสีอาทิตย์ เพื่อให้ได้ค่าการสะท้อนรังสีที่สูงพอสมควร รวมถึงวัสดุในการทำป้ารับรังสีเช่นกัน

#### 1) การออกแบบและการสร้างตัวรวมรังสีอาทิตย์พาราโบลาแบบไม่สมมาตร (ACPC)

คำนวณหาความสูงของแผงรับรังสีอาทิตย์ [41] เพื่อให้มีการสะท้อนลงผิวดูดกลืนไททาเนียม ไดออกไซด์ได้มากที่สุด โดยคำนึงถึงด้านความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่ง CPC โดยทั่วไปเป็นแบบสมมาตรคือ มีขนาดด้านซ้ายและด้านขวาเท่ากัน วางอยู่บนพื้นราบ และทำการเปลี่ยนมุมเป็นระยะๆ ตามทิศการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงตำแหน่งของพื้นที่ที่ใช้ CPC เพื่อให้รังสีตกกระทบบน CPC ให้ได้มากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ทำให้มีความยุ่งยากในการใช้งาน จึงได้มีการออกแบบ CPC เพื่อให้สะดวกกับการใช้งานมากขึ้น โดยการออกแบบในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบ ACPC แบบแผ่นราบ โดยมีแผงใหญ่และแผงเล็ก ซึ่งได้ทำการปรับมุมเอียงเข้าหาดวงอาทิตย์ อีกทั้งคำนวณมุมการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ไว้ตลอดปี ทำให้ไม่ต้องมาคอยปรับตำแหน่งการเคลื่อนที่ของ ACPC



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งของรังสีอาทิตย์ที่กระทบบน CPC ตลอดปี [41]

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบโดยใช้ตำแหน่งพิกัดของกรุงเทพ ซึ่งทำมุมละติจูด  $14^\circ$  ( $\phi = 14^\circ$ ) และเนื่องจากแกนหมุนของโลกเอียงทำมุม  $23.45^\circ$  กับระนาบโคจรรอบดวงอาทิตย์ ทำให้เปลี่ยนแปลงมุมที่เกิดจากแนวเส้นต่อศูนย์กลางของโลกและดวงอาทิตย์ทำกับระนาบศูนย์สูตรของโลก ซึ่งเรียกว่า มุมเดคลิเนชัน โดยสามารถหาได้จากสมการ

$$\delta = 23.45 \sin \left[ 360 \frac{(284 + n)}{365} \right] \quad (3.1)$$

เมื่อ

$\delta$  คือ มุมเดคลิเนชัน (Degree);  $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$

$n$  คือ เลขที่วันของปี (1 มกราคม  $n = 1$ )

จากตำแหน่งที่ตั้งของ ACPC และมุมเดคลิเนชัน ทำให้ทราบมุมการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์มีค่า  $\delta + \phi$  สำหรับตำแหน่งกรุงเทพ ดวงอาทิตย์จะทำมุม  $-9.45^\circ$  ถึง  $37.45^\circ$  กับแนวตั้ง ทำให้ในงานวิจัยนี้เลือกมุม  $\theta_c = 21^\circ$  เพราะจะทำการเอียงแนวแกนของ ACPC ตามมุมละติจูด เมื่อนำไปรวมกับ  $\theta_c$  จะทำให้ ACPC รับรังสีได้ในช่วง  $-7^\circ$  ถึง  $35^\circ$  ซึ่งสามารถใช้งานได้ในช่วงเวลา 13 ม.ค. – 24 พ.ค. และ 22 มิ.ย. – 20 ธ.ค. และช่วงเวลาที่ทำการทดลองระหว่าง 11.00 น. – 13.00 น. โดยไม่ต้องคอยปรับมุมเป็นระยะๆ

โดยปกติรังสีที่ทำมุมกับแนวแกนของ CPC จะเกิดได้ 3 กรณี คือ

1.  $\theta < \theta_c$  รังสีจะตกระหว่างจุดโฟกัสทั้ง 2 ของ CPC
2.  $\theta = \theta_c$  รังสีจะตกที่จุดโฟกัสของ CPC
3.  $\theta > \theta_c$  รังสีจะตกเลยจุดโฟกัสออกไปทางด้านนอก CPC

ในการออกแบบนี้ได้ออกแบบโดยพิจารณารังสีที่ทำมุมกับแนวแกน CPC เป็นมุม  $\theta_c$  เนื่องจากถ้ารังสีทำมุมกับแนวแกน CPC ฝั่งแผงใหญ่ลดลง รังสีจะทำมุมกับแนวแกน CPC ฝั่งแผงเล็กเพิ่มขึ้น

**การออกแบบแผงใหญ่ (ทางเหนือ)** ในการออกแบบกรณีนี้เพื่อรับรังสีถือว่าเป็นแผ่นราบ

ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ดังนั้นจึงคำนวณค่าต่างๆ ได้ดังนี้

เมื่อ  $L=0.25$  m  $\phi=14^\circ$  และ  $\theta_c=21^\circ$

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่รับรังสีกว้าง } a &= \frac{L}{\cos \phi} \\ a &= \frac{0.25}{\cos 14}, \quad a = 0.257 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\text{ความสูง } H = \frac{L}{2 \cos 14} \left( \frac{1}{\tan \theta_c} + \frac{1}{\tan \theta_c \sin \theta_c} \right) \quad (3.3)$$

$$H = \frac{0.25}{2 \cos 14} \left( \frac{1}{\tan 21} + \frac{1}{\tan 21 \sin 21} \right), \quad H = 1.272 \text{ m}$$

$$\text{ความยาวโฟกัส } f = \frac{L}{2 \cos \phi} (1 + \sin \theta_c) \quad (3.4)$$

$$f = \frac{0.25}{2 \cos 14} (1 + \sin 21), \quad f = 0.1749 \text{ m}$$

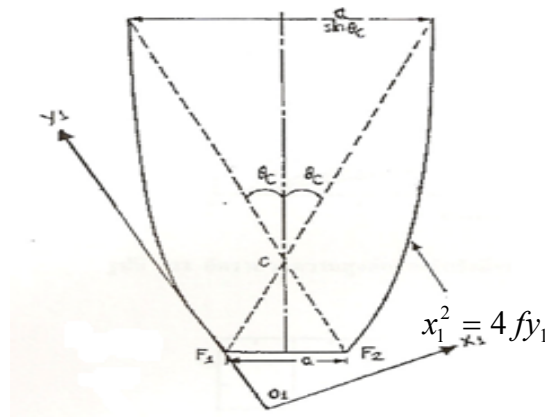
$$\text{พื้นที่หน้าตัดรับรังสี } A_a = \frac{a}{\sin \theta_c} = \frac{L}{\sin \theta_c \cos \phi} \quad (3.5)$$

$$A_a = \frac{0.25}{\sin(21) \cos(14)}, \quad A_a = 0.7189 \text{ m}$$

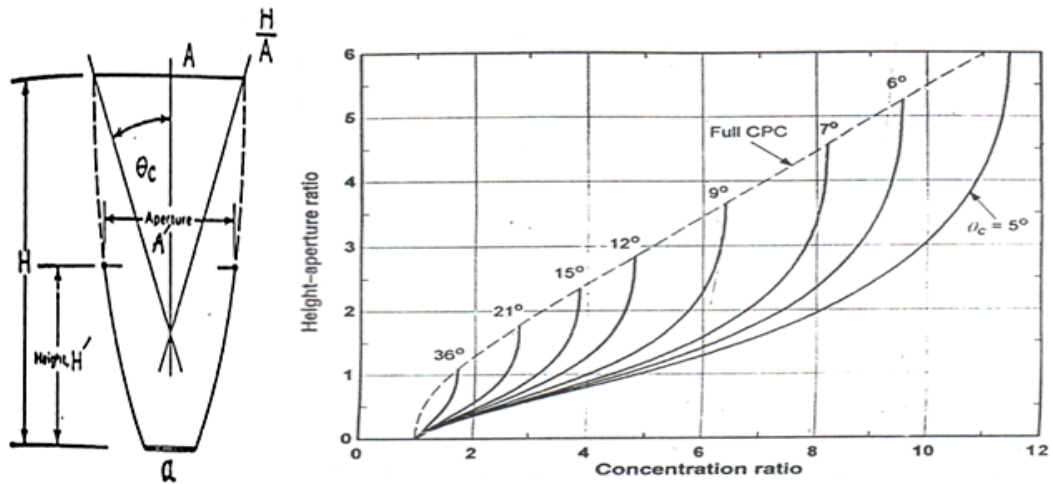
$$\text{อัตราส่วนความสูงต่อพื้นที่หน้าตัดรับรังสี } \frac{H}{A_a} = \frac{1.2721}{0.7189} \quad (3.6)$$

$$\frac{H}{A_a} = 1.7695$$

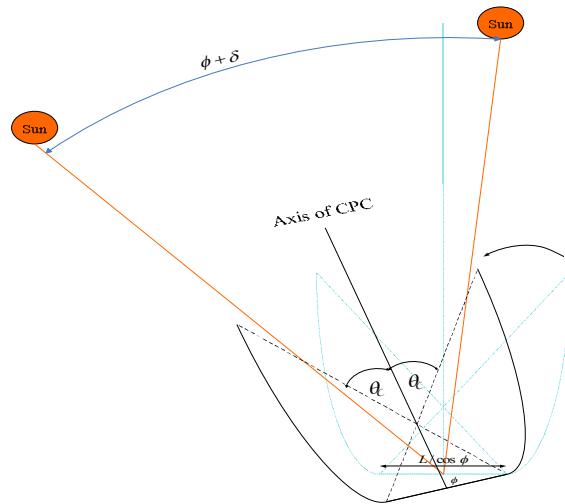
สามารถหาค่า CR ได้จากกราฟความสัมพันธ์อัตราส่วนความสูงต่อพื้นที่หน้าตัดช่องรับรังสี ( $H/A_a$ ) กับ อัตราเพิ่มความเข้มรังสี (CR) ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งค่า  $CR=2.38$  เมื่อ  $H/A_a = 1.7695$  จากนั้นทำการตัดปลาย CPC โดยพิจารณาจากการลด  $H/A_a$  50% (ตามทฤษฎี) จะได้  $(H/A_a)_{th} = 0.885$  จะมี  $CR = 2.42$  จากนั้นทำการหมุน CPC เอียงเข้าหาแสงทำ  $\phi$  กับแนวระดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ดังนั้นความสูงของแผงจาก 1.27 m จึงปรับขนาดเป็น 0.50 m และพื้นที่หน้าตัดรับรังสีเป็น 0.72 m เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน และเมื่อรังสีตกกระทบกับตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลาแผงใหญ่ มีลักษณะทางเดินรังสีดังแสดงในรูปที่ 3.6



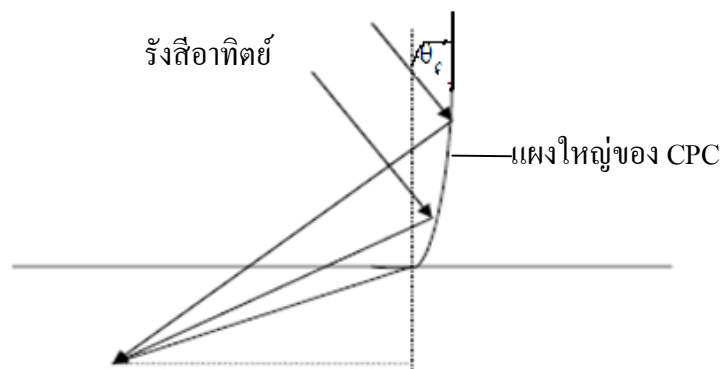
รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของ CPC โดยมีเป้ารับรังสีเป็นแบบแผ่นราบ [24]



รูปที่ 3.4 อัตราส่วนความสูงต่อพื้นที่หน้าตัดรับรังสี ( $H/A$ ) ของ CPC แบบเต็ม และแบบที่ถูกตัดบางส่วน [24]



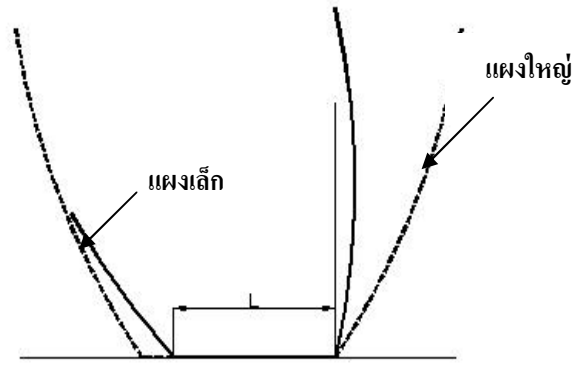
รูปที่ 3.5 หมุน CPC เข้าหาแสงทำมุม  $\phi$  กับแนวระดับ [41]



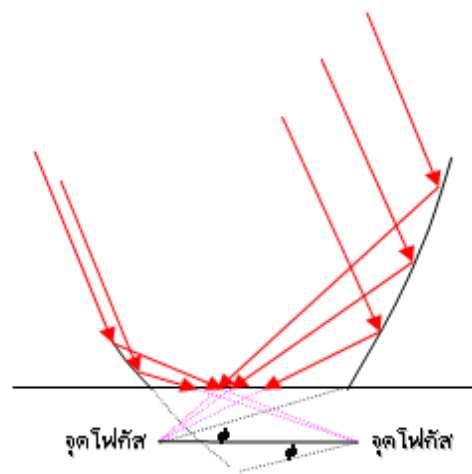
รูปที่ 3.6 ทางเดินรังสีทำมุม  $\theta_c$  กับแนวแกน CPC แผงใหญ่ [24]

#### การออกแบบแผงเล็ก (ทางใต้)

ให้จุดโฟกัสอยู่ในแนวเดียวกันกับแผงใหญ่ แต่ลดส่วนโค้งลงไปเป็นมุม  $\phi$  กับแนวระดับ ดังนั้นความสูงของแผงเล็กลดลงเหลือ 0.18 m แล้วเลื่อนจุดโฟกัสไปหาแผงใหญ่ตามแนวราบจนขอบของผิวสะท้อน CPC อยู่ ณ ตำแหน่ง  $L$  ซึ่งห่างจากขอบของแผงใหญ่ที่ระดับผิวภาชนะบรรจุน้ำเสีย เมื่อนำมาประกอบกันจะได้ ACPC ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และทางเดินของรังสีที่สะท้อน ACPC ดังแสดงในรูปที่ 3.8

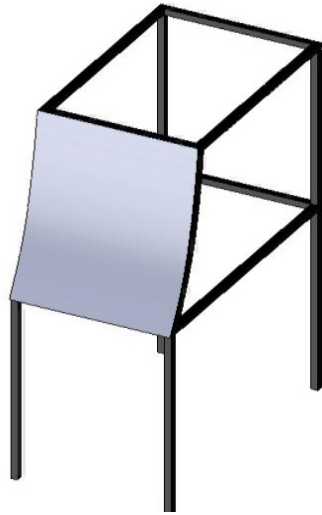


รูปที่ 3.7 ตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร (ACPC) [24]

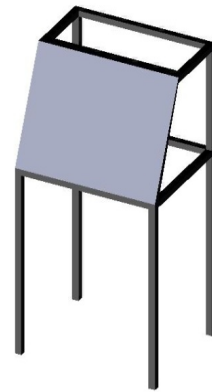


รูปที่ 3.8 ทางเดินของรังสีที่สะท้อนตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร [24]

ในการสร้าง ACPC จะต้องมีตัวยึดหรือโครงเป็นฐาน ซึ่งตัวโครงจะทำด้วยเหล็กกล่องเพื่อความแข็งแรง และใช้แผ่นสแตนเลสเป็นตัวสะท้อนรังสี ซึ่งมีการทาสีที่โครงเหล็กเพื่อป้องกันการเกิดสนิม เนื่องจากมีค่าการสะท้อนรังสีที่สูงพอสมควร ซึ่งตัวโครงเมื่อที่ออกแบบมาเขียนด้วยโปรแกรม SOLID WORK แล้วมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.9



(a) โครงตัวรวมรังสีอาทิตย์แผ่นใหญ่



(b) โครงตัวรวมรังสีอาทิตย์แผ่นเล็ก

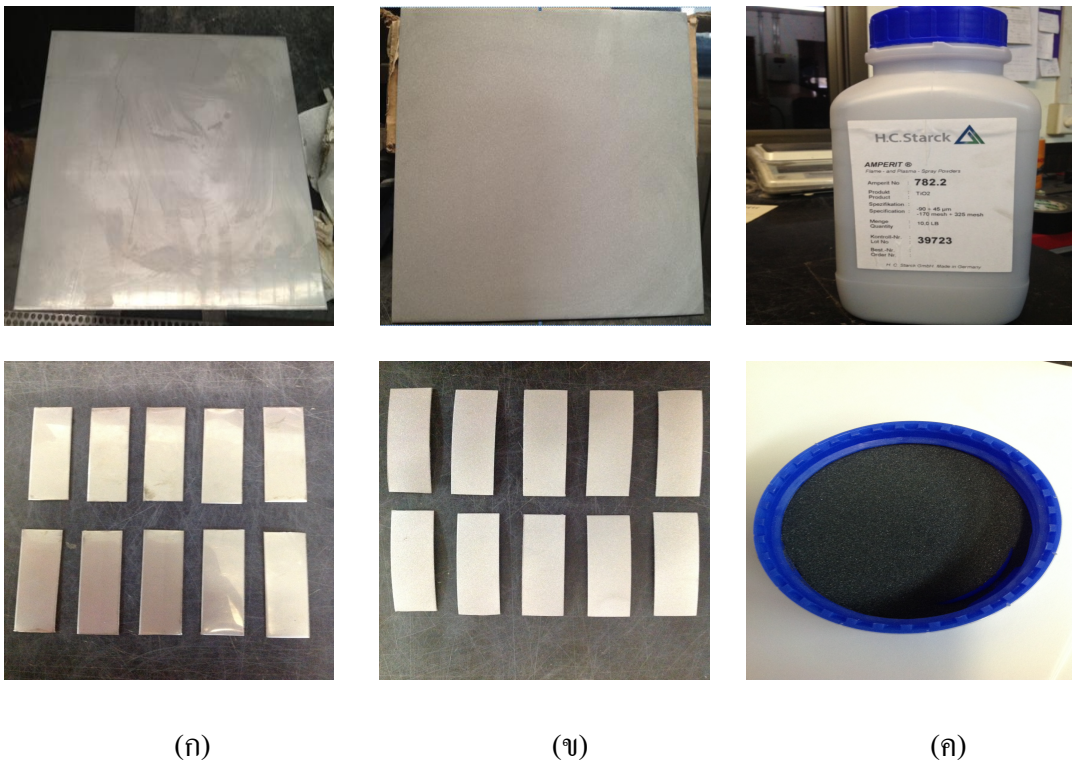


(c) ชุดอุปกรณ์ในการทดลอง

รูปที่ 3.9 ตัวโครงของตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC)

## 2) การเคลือบฟิล์มเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>)

การเคลือบ TiO<sub>2</sub> ลงบนแผ่นสแตนเลส โดยขนาดแผ่นสแตนเลสที่นำมาเคลือบมีขนาด 22 x 25 cm<sup>2</sup> ความหนา 3 mm และ ขนาด 7 x 2 cm<sup>2</sup> ความหนา 1 mm โดยก่อนที่เคลือบจะทำความสะอาดแผ่นสแตนเลสด้วยทินเนอร์สเปรย์ และหลังจากนั้นจะนำเข้าห้องยิงทรายทำให้ผิวหน้าสแตนเลส มีผิวหยาบเพื่อทำให้สารพ่นเคลือบเกาะติดชิ้นงานได้ดี และใช้ผง TiO<sub>2</sub> AMPERIT® 782.2 TiO<sub>2</sub> Fused Titanium Oxide (TiO<sub>2</sub>) บริษัท H.C. Starck จากห้องปฏิบัติการ Thermal Spray ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) การเตรียมอุปกรณ์เคลือบดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยการเคลือบใช้เทคนิคการเคลือบแบบการพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน (Thermal Spray) จากนั้นทำการยึดติดชิ้นงานเข้ากับฐาน โดยมีหัวเป่าพลาสติกมาเป็นตัวฉีดพ่นผง TiO<sub>2</sub> ที่หลอมเหลวด้วยเปลวความร้อนพ่นไปยังชิ้นงาน ซึ่งให้หัวเป่าพลาสติกมีระยะห่างจากผิวชิ้นงาน 3.5 in (8.89 cm) ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ทำติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เสร็จเรียบร้อยแล้วให้เหมาะสมตามที่ต้องการแล้วขั้นตอนต่อไป เริ่มทำการเคลือบโดยจะกำหนดความหนาของผิวเคลือบเท่ากับ 250 nm และพารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการการพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน ดังแสดงในตารางที่ 3.1



**รูปที่ 3.10** (ก) สแตนเลสเมื่อทำความสะอาดด้วยทินเนอร์สเปรย์

(ข) สแตนเลสหลังจากเข้าห้องยิงทรายเพื่อให้ผิวหน้าหยาบก่อนเคลือบ

(ค) ผง TiO<sub>2</sub> ที่ใช้เคลือบ จากห้องปฏิบัติการ Thermal Spray MTEC



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.11 (ก) ยึดติดชิ้นงานเข้ากับฐาน

(ข) ติดตั้งเป่าพลาสมา หัวง 3.5 in (8.89 cm)

ตารางที่ 3.1 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบการพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน (Thermal Spray)

Parameter	Value
Feed Rate (g/min)	53
Speed Robot (mm/s)	400
Arc Current (A)	500 (~60-70 Volt)
Pressure (Psi)	80, H <sub>2</sub> : 50, Ar: 100
Flow Rate (Psi)	H <sub>2</sub> : 25, Ar: 100
Cooling (Bar)	1

### 3.2.2 อุปกรณ์บรรจุน้ำเสีย

กล่องบรรจุน้ำเสียนี้ทำจากอะคริลิก หนา 5 mm ขนาด 24 x 27 cm<sup>2</sup> ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้กล่องที่วัสดุทำมาจากอะคริลิกพลาสติก (Acrylic Plastic) หรือโพลีเมทิลเมทาไครเลต (Poly(Methyl Methacrylate)) ดังแสดงในรูปที่ 3.12 (ก) ที่มีสมบัติสามารถให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านได้ถึง 92% และมีการสะท้อนที่ผิวประมาณ 4% [44] สามารถทนต่อการกระแทกและมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมดีกว่าพลาสติกชนิดอื่น นอกจากนั้นราคาถูกกว่ากระจก และนอกจากนั้นได้ใช้หลอดแก้วฝาเกลียว ดังแสดงในรูปที่ 3.12 (ข) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 25x200 ml เพื่อบรรจุน้ำเสียตัวอย่าง



(ก) กล่องอะคริลิก



(ข) หลอดแก้วฝาเกลียว

รูปที่ 3.12 (ก) กล่องอะคริลิก และ (ข) หลอดแก้วฝาเกลียว

### 3.2.3 อุปกรณ์เก็บน้ำเสียตัวอย่าง

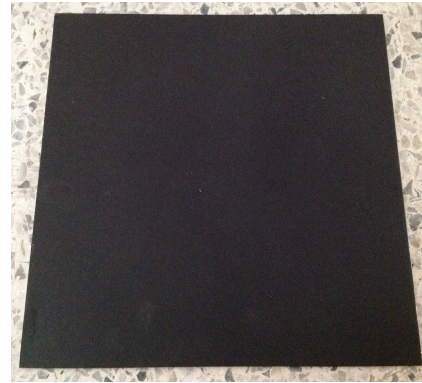
ขวดแก้วเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ซึ่งในงานวิจัยเลือกใช้ขวดแก้ว ขนาด 500 mL ดังแสดงในรูปที่ 3.13 เพื่อนำมาใช้เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากแหล่งน้ำชุมชนใกล้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มาทดสอบ



รูปที่ 3.13 ขวดแก้วเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

### 3.2.4 แผ่นดुकกลืนรังสีอาทิตย์หรือแผ่นตัวทำปฏิกิริยาในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แผ่นสแตนเลส ที่มีความหนา 3 mm ขนาด 22x25 cm<sup>2</sup> เคลือบผิวด้วย TiO<sub>2</sub> ดังแสดงในรูปที่ 3.14 สาเหตุที่เลือก TiO<sub>2</sub> เนื่องจาก เป็นสารตัวทำปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก ที่มีประสิทธิภาพสามารถสลายสารอินทรีย์เกือบทุกชนิดเมื่ออยู่ภายใต้รังสีอาทิตย์และสามารถบำบัดน้ำอากาศ และก๊าซพิษได้ [5] โดยนำมาวางไว้ภายในกล่องบรรจุน้ำบริเวณฐาน เพื่อให้เกิดผิวแผ่นดุกกลืนรังสีอาทิตย์สัมผัสกับน้ำเสีย



(ก) แผ่นดุกกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ TiO<sub>2</sub>      (ข) แผ่นดุกกลืนรังสีอาทิตย์สีดำด้าน

รูปที่ 3.14 แผ่นดุกกลืนรังสีอาทิตย์และแผ่นตัวทำปฏิกิริยา

### 3.2.5 อุปกรณ์ในการเก็บผล

#### ก) เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

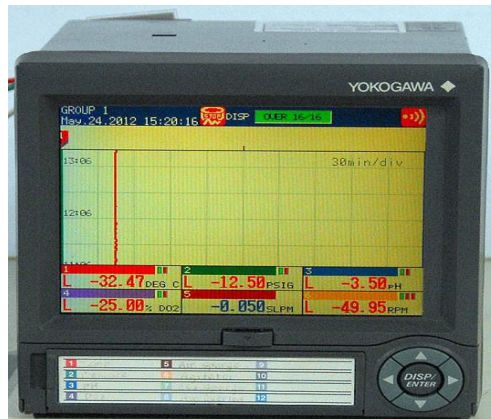
ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้ชนิด K ที่มีค่าความแม่นยำ (Accuracy)  $\pm 0.5$  °C ใช้ในการวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -18 °C ถึง 200 °C แล้วส่งค่าที่ได้ไปยังเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Sensitivity 41  $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ ) ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K

### ข) เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger)

เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องของ YOKOGAWA รุ่น DX230-3-2 STYLE S4 ดังแสดงในรูปที่ 3.16 ใช้บันทึกข้อมูลของอุณหภูมิที่ตำแหน่งค่าต่างๆ เช่น อุณหภูมิน้ำเสีย อุณหภูมิผิวคูคกลื่น และอุณหภูมิของตัวรวมรังสีอาทิตย์ เป็นต้น [3]



รูปที่ 3.16 เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ

### ค) เครื่องวัดรังสีอาทิตย์แบบรวมรังสี หรือเครื่องไพรานอมิเตอร์ (Pyranometers)

เครื่องวัดรังสีอาทิตย์แบบรวมรังสี ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องของ KIPP&ZONEN HOLLAND ชนิด CM11 (ค่า Sensitivity =  $5.24 \times 10^{-6}$  V/Wm<sup>2</sup>) ดังแสดงในรูปที่ 3.17 ใช้วัดความเข้มของรังสีอาทิตย์ แล้วส่งสัญญาณไปยังเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ [3]



รูปที่ 3.17 เครื่องวัดรังสีอาทิตย์แบบรวมรังสีอาทิตย์

### 3.2.6 อุปกรณ์ในการนับเชื้อแบคทีเรีย

ก) อาหารเลี้ยงเชื้อ **Lauryl Tryptose Broth** จำนวนที่ใช้ 250 mg ดังแสดงในรูปที่ 3.18 ซึ่งเป็นอาหารที่แบคทีเรียป่องจะสามารถเจริญเติบโตได้ดี



รูปที่ 3.18 อาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย

ข) ตู้บ่มเพาะเชื้อ (Incubator) มีหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าคงที่และสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 3.19 ซึ่งอุณหภูมิที่เชื้อแบคทีเรียสามารถเจริญโตได้จะอยู่ที่ 35 °C



รูปที่ 3.19 ตู้บ่มเพาะเชื้อ

ค) **เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave)** เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับนึ่งฆ่าเชื้อ โดยใช้ไอน้ำร้อนและแรงดันสูง ทำให้ของที่ผ่านการนึ่งแล้วอยู่ในสภาพปราศจากเชื้อ มักใช้เครื่องนี้ในการนึ่งฆ่าเชื้อของเสียทางชีวภาพเพื่อกำจัดและป้องกันการปนเปื้อน และนอกจากจะใช้ป้องกันการปนเปื้อนแล้ว เครื่อง Autoclave ยังสามารถใช้ฆ่าเชื้อตัวอย่างก่อนจะนำมาใช้ในการทดลองได้อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave)

ง) **ตู้ Laminar Flow Cabinets** เป็นตู้ปลอดเชื้อ มักใช้กับงานที่ต้องการความปลอดภัยทางชีววิทยาสอง เช่น การเขี่ยเชื้อ และการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ดังแสดงในรูปที่ 3.21 สิ่งสำคัญที่จำเป็นสำหรับตู้ปลอดเชื้อคือแผ่นกรอง HEPA ซึ่งจะช่วยกรองอากาศที่ผ่าน เข้า-ออก ภายในตู้ ซึ่งมีการไหลเวียนแบบ LAMINAR FLOW



รูปที่ 3.21 ตู้ Laminar Flow Cabinets

### 3.3 การทดสอบและเก็บผลทดสอบของระบบยั้งเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสีย

#### 3.3.1 ทดสอบประสิทธิภาพทางความร้อนที่ได้จากตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร (ACPC)

##### 1) ตัวแปรที่ต้องการวัด ในช่วงเวลา 9:03-17:03 น.

- ความเข้มรังสีอาทิตย์
- อุณหภูมิแผง ACPC
- อุณหภูมิน้ำ
- อุณหภูมิแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (ที่เคลือบด้วย  $TiO_2$  และเคลือบสีดำด้าน)
- พลังงานความร้อนของระบบที่สะสมได้

##### 2) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย

- เครื่องวัดรังสีอาทิตย์แบบรวมรังสีอาทิตย์
- สายเทอร์โมคัปเปิล มีค่าความแม่นยำ  $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$
- เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger)
- ตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตรและกล่องบรรจุน้ำ

##### 3) วิธีการทดสอบ (ณ บริเวณคาเฟ่อาคารพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

- ตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตรและอุปกรณ์ทั้งหมด ตั้งไว้กลางแจ้งในวันที่ท้องฟ้าโปร่งใส และมีความเร็วลมต่ำ ตั้งแต่เวลา 9:00 น. และวางตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตรในแนวตะวันออก-ตก โดยวางแผงใหญ่ ACPC หันหน้าเข้าหาทิศใต้ และวางแผงเล็กหันหน้าไปทางทิศเหนือ และกล่องบรรจุน้ำโดยมีแผ่นดูดกลืนรังสีที่เคลือบ  $TiO_2$  อยู่ภายใน โดยกล่องภาชนะบรรจุจะวางตรงกลางระหว่างตัวรวมรังสีทั้งแผงเล็กและแผงใหญ่ แล้วต่อสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger)

- มีการวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ตลอดวัน
- ทำการคำนวณหาประสิทธิภาพของตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร จากสมการที่ 3.7 ดังนี้

$$\eta = \frac{\dot{m}C_{pw}(T_{wo} - T_{wi})}{I_t A_c} \quad (3.7)$$

##### 4) วิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง

- สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิน้ำ โดยได้รับความร้อนจากตัวรวมรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร รวมทั้งประสิทธิภาพของแผง ในช่วงการทดสอบ

### 3.3.2 การทดสอบเปรียบเทียบระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร (ACPC) ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่เคลือบด้วย $\text{TiO}_2$ และแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม (Control)

การทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำภายในระบบทำน้ำร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

- แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบด้วยสีดำด้าน (Control)
- แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบด้วย ไททาเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ )

ซึ่งทั้ง 2 กรณี ทำงานร่วมกับตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร ตั้งแต่เวลา 09:03 น. – 17:03 น.

#### 1) ตัวแปรที่ต้องการวัด ในช่วงเวลา 9:03-17:03 น.

- ความเข้มรังสีอาทิตย์ (ทุกกรณี)
- อุณหภูมิแผง ACPC
- อุณหภูมิน้ำภายในระบบทั้ง 2 กรณี
- อุณหภูมิแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (ที่เคลือบด้วย  $\text{TiO}_2$  และเคลือบด้วยสีดำด้าน)
- พลังงานความร้อนของระบบที่สะสมได้

#### 2) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย

- เครื่องวัดรังสีอาทิตย์แบบรวมรังสีอาทิตย์
- สายเทอร์โมคัปเปิล มีค่าความแม่นยำ  $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$
- เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger)
- ตัวรวมรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตรและกล่องอะคริลิกบรรจุน้ำ

#### 3) วิธีการทดสอบ (ณ บริเวณศาลฟ้าอาคารพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

- การทดสอบทั้ง 2 กรณี โดยเตรียมน้ำในการทดสอบภายในกล่องอะคริลิกขนาด  $0.24 \times 0.27 \text{ m}^2$  พื้นที่รับรังสีของตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC เท่ากับ  $0.7189 \text{ m}$  และทำการติดสายเทอร์โมคัปเปิลที่จุดต่างๆ จากนั้นต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) โดยตั้งโปรแกรมให้บันทึกค่า

- การทดสอบทั้ง 2 กรณี มีการวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ ด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลตลอดวัน

#### 4) วิเคราะห์ข้อมูล

- สร้างกราฟเปรียบเทียบ โดยแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยของการทดสอบ และความเข้มรังสีอาทิตย์ ทุกกรณี
- สร้างกราฟเปรียบเทียบร้อยละการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยในน้ำของการทดสอบ 2 กรณี

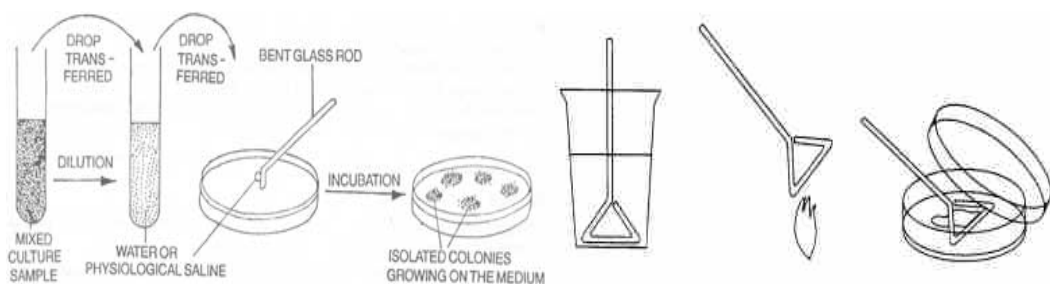
### 3.4 การทดสอบยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสีย โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ร่วมกับแผ่นคูกกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบไททาเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ )

#### 3.4.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้น้ำเสียจากแหล่งชุมชนบริเวณใกล้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เนื่องจากน้ำเสียที่ปล่อยมาตามท่อระบายน้ำจากแหล่งชุมชนนั้นมีเชื้อแบคทีเรียปะปนอยู่เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งเน้นแต่เชื้อชนิดนี้เพียงชนิดเดียวเท่านั้น การเก็บตัวอย่างน้ำเสียต้องเก็บในตอนเช้าเพื่อที่จะได้นำไปตรวจวิเคราะห์เชื้อแบคทีเรียที่อยู่ในน้ำเสียก่อนที่จะนำมาทดสอบการยับยั้งเชื้อด้วยแผ่นคูกกลืนที่เคลือบ  $\text{TiO}_2$  โดยการทดสอบนั้นจะแบ่งน้ำเสียตัวอย่างที่ได้ผ่านกระบวนการตรวจเชื้อก่อนแล้วนำมาใส่ในกล่องบรรจุน้ำที่เตรียมไว้จำนวน 2 กล่อง ซึ่งน้ำเสียที่ใช้มีปริมาตร 4.93 L รวมทั้งกล่องที่มีแผ่นคูกกลืนเคลือบด้วย  $\text{TiO}_2$  และแผ่นคูกกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสียาค้านเป็นชุดควบคุม โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการทดสอบไปแต่ละชั่วโมงใส่ไว้ในหลอดทดลองมาทดสอบ

#### 3.4.2 การเตรียมนับเชื้อแบคทีเรีย

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการ Spread Plate Technique เป็นการแยกจุลินทรีย์ให้บริสุทธิ์ที่สามารถตรวจนับปริมาณได้โดยมีการเจือจางเป็นลำดับส่วน (Serial Dilution) จากนั้นเปิดตัวอย่างที่มีความเจือจางตามต้องการโดยวิธี Septic Technique ปริมาตร 0.1 ml. ใส่ตัวอย่างลงบนอาหารวุ้นแข็ง และทำการเกลี่ยตัวอย่างให้กระจายทั่วผิวหน้าอาหารด้วย Sterile Spreader ที่ทำจากแท่งแก้ว Colony ของจุลินทรีย์จะเจริญบนอาหารวุ้นแข็งเท่านั้น วิธีการ Spread Plate นี้ ง่ายและสะดวกกว่าวิธี Pour Plate แต่ไม่เหมาะกับจุลินทรีย์พวกที่ไวต่อออกซิเจน [45]



(ก) ขั้นตอน Spread Plate Technique

(ข) อุปกรณ์ Spread Plate Technique

รูปที่ 3.22 เทคนิคการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียแบบ Spread Plate Technique [45]

### เครื่องมือและสารเคมี ในการเลี้ยงเชื้อ E. coli

1. อาหารเลี้ยงเชื้อ Lauryl Tryptose Broth จำนวน 300 mg
2. เครื่องชั่ง (Balance Analytical) ละเอียด 2 ตำแหน่ง
3. บีกเกอร์ (Beaker) พลาสติก ขนาด 2000 mL
4. กระจกตวง (Cylinder) ขนาด 1000 mL
5. ขวดชมพู่ ขนาด 500 mL
6. เครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) พร้อมแท่งคนแม่เหล็ก (Magnetic Bar)
7. ตะเกียงแอลกอฮอล์
8. ตู้บ่มเพาะเชื้อ (Incubator) อุณหภูมิ 35 °C
9. เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave)
10. ตู้ Laminar Flow Cabinets
11. น้ำกลั่น (Distilled Water : DW)

### ขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย

1. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยให้อาหารที่แบคทีเรียบ่งชี้จะเจริญเติบโตได้ดี คือ Lauryl Tryptose Broth 71.2 g เติมน้ำกลั่น 2 mL นำไปผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน
2. เติม Agar 15 g ในน้ำกลั่น 2mL ที่ผ่านการผสมด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ Lauryl Tryptose Broth
3. นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วย Autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 min ความดัน 15 psi
4. นำอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วไปเทใส่จานเพาะเชื้อ ภายในตู้ Laminar Flow Cabinets เพื่อป้องกันการปนเปื้อนสิ่งสกปรกภายนอก
5. เข้าตู้บ่มอุณหภูมิ 35 ± 0.5 °C นาน 24-48 hr
6. สังเกตการเจริญเติบโตของเชื้อ E coli ในแต่ละ Plate ว่าอันไหนใช้ได้ แล้วก็ใช้ Plate นั้นเพื่อนำมาเป็นตัวเปรียบเทียบ

### 3.4.3 การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยระบบฆ่าเชื้อแบคทีเรีย โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ $TiO_2$

การทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสีย โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

- แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำด้าน (Control)
- แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบไททานเนียมไดออกไซด์ ( $TiO_2$ )

ซึ่งทั้ง 2 กรณี ทำงานร่วมกับตัวรวมรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร (ACPC) ตั้งแต่เวลา 09:00 น. – 17:00 น. และตัวอย่างน้ำเสียที่นำมาทดสอบได้จากแหล่งชุมชนใกล้บริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

#### 1) ตัวแปรที่ต้องการวัด ในช่วงเวลา 9:00-17:00 น.

- ความเข้มรังสีอาทิตย์ (ทุกกรณี)
- อุณหภูมิแผง ACPC
- อุณหภูมิน้ำเสียภายในระบบทั้ง 2 กรณี
- อุณหภูมิแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (ที่เคลือบด้วย  $TiO_2$  และเคลือบสีดำด้าน)

#### 2) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย

- เครื่องวัดรังสีอาทิตย์แบบรวมรังสีอาทิตย์
- สายเทอร์โมคัปเปิล มีค่าความแม่นยำ  $\pm 0.5$  °C
- เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger)
- ตัวรวมรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตรและกล่องบรรจุน้ำ

#### 3) วิธีการทดสอบ (ณ บริเวณคาดฟ้าอาคารคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น)

- การทดสอบทั้ง 2 กรณี น้ำเสียที่ทดสอบบรรจุอยู่ในกล่องอะคริลิกขนาด  $0.24 \times 0.27$  m<sup>2</sup> และทำการติดสายเทอร์โมคัปเปิลที่จุดต่างๆ จากนั้นต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) โดยตั้งโปรแกรมให้บันทึกค่า

- การทดสอบทั้ง 2 กรณี มีการวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิน้ำที่เวลาต่างๆ ด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลตลอดวัน

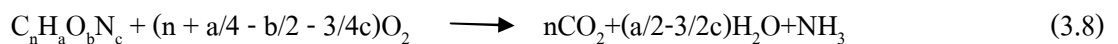
#### 4) วิเคราะห์ข้อมูล

- สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย ที่ระยะเวลาต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ทุกกรณี
- สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย ที่ระยะเวลาต่างๆ และอุณหภูมิน้ำเสียและอุณหภูมิแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ทุกกรณี

### 3.4.4 การวิเคราะห์ค่าปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์

#### (Chemical Oxygen Demand, COD)

ค่า COD หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการ เพื่อใช้ในการออกซิไดซ์ (Oxidize) สารอินทรีย์ ในน้ำเสียให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยที่สารอินทรีย์เกือบทั้งหมด (95-100%) จะถูก Oxidize โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรง (Strong oxidizing agent) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ดังแสดงในสมการที่ 3.8



#### การวิเคราะห์หาค่า COD แบบ Close Reflux Method

##### 1. สารละลาย Digestion Reagent

- ละลาย  $K_2Cr_2O_7$  4.913 กรัม ซึ่งอบแห้งที่  $103^\circ C$  เป็นเวลา 2 hr ในน้ำกลั่น 500 ml
- ก่อๆ เติม conc.  $H_2SO_4$  167 ml เติม  $HgSO_4$  ลงไป 33.3 g คนให้ละลาย ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 L ด้วยน้ำกลั่น

##### 2. กรด Sulfuric เข้มข้นที่ผสม $AgSO_4$ (Sulfuric Acid Reagent)

- ละลาย  $AgSO_4$  22 g ใน Conc.  $HgSO_4$  ซึ่งมีน้ำหนัก 4.1 kg (2.5 L) ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ละลาย

##### 3. สารละลายมาตรฐาน Ferrous Ammonium Sulfate (FAS) 0.1 N

- ละลาย  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  39 g ในน้ำกลั่น แล้วเติม conc.  $H_2SO_4$  ลงไป 20 ml ทำให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปจนครบปริมาตร 1 L
- สารละลายนี้ต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลาย Digestion Reagent ดังนี้คือ เติมน้ำกลั่น 10 ml สารละลาย digestion reagent 14 ml จากนั้นใช้ปิเปตต์ค่อยๆ เติม Sulfuric Acid Reagent ลงไป 14 ml ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไทเทรตกับสารละลาย Ferrous Ammonium Sulfate (FAS) โดยใช้ Ferrion จำนวน 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าอมเขียวและเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ วิธีการคำนวณดังแสดงในสมการที่ 3.9

$$\text{Normality of FAS solution} = \frac{\text{ml } K_2Cr_2O_7}{\text{ml } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2} \times 0.10 \quad (3.9)$$

##### 4. สารละลาย Ferrion อินดิเคเตอร์

- ละลาย 1-10 Phenantroline Monohydrat 1.485 g และ  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  695 mg ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรครบ 100 ml

หลอดทดลองต้องกำจัดสารอินทรีย์ตกค้างก่อนทำการทดสอบต้องล้างด้วยกรดซัลฟูริก 20% ตามด้วยล้างน้ำกลั่น 2 ครั้ง และเข้าตู้อบก่อนใช้งาน

### เครื่องมือและสารเคมี

1. หลอดทดลองฝาเกลียว (Test Tube with Screw Cap) ขนาด 16x100 mm
2. เตาต้ม (Block Heater)
3. ไมโครเซนทิฟิวซ์ (Micro Tube)
4. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)
5. เครื่องผสมสาร (Vortex mixer)
6. บีกเกอร์ ขนาด 50 ml และ 100 ml
7. สารมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ )
8. สารละลายไดเจสท์ (Digestion Reagent)
9. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Conc.  $H_2SO_4$  Reagent)
10. สารมาตรฐานเฟอร์รัสคอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous Ammonium Sulphate; FAS)
11. สารละลายอินดิเคเตอร์ Ferroin

### วิธีการวิเคราะห์

1. ล้างหลอดทดลองและฝาปิดด้วยกรด  $H_2SO_4$  ความเข้มข้น 20% ก่อนเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารอินทรีย์
2. ปิเปตต์น้ำตัวอย่าง (Sample) และ Blank (น้ำกลั่น) แทน Sample 2 หลอด 2.5 ml
3. หยด Digestion Reagent 1.5 ml แล้วค่อยๆ หยด  $H_2SO_4$  Reagent 3.5 ml
4. สังเกตสีภายในหลอดทดลอง ดังนี้
  - ถ้าได้สีเขียว แสดงว่าปริมาณ  $K_2Cr_2O_7$  เหลืออยู่มาก ใช้ปริมาณน้ำตัวอย่างน้อยเกินไป ต้องเพิ่มน้ำตัวอย่าง
  - ถ้าได้สีเขียวอมเหลือง แสดงว่า น้ำตัวอย่างเหมาะสม สามารถนำตัวอย่างไปรีฟลักซ์ได้
  - ถ้าได้สีเขียวอมฟ้า แสดงว่า ปริมาณน้ำตัวอย่างมากเกินไป ต้องทำการเจือจางน้ำตัวอย่างให้มีความเข้มข้นน้อยลง
5. ปิดจุกหลอดแก้วให้แน่น แล้วคว่ำหลอดแก้วไปมาหลายๆ ครั้ง ให้ทั่วถึง ก่อนที่จะนำตัวอย่างไปรีฟลักซ์ (เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนสะสมอยู่ที่ก้นหลอด ซึ่งอาจจะแตกได้ขณะทดลอง)
6. ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วหลังจากนั้นทำการไตเตรดกับ FAS จากสีเหลือง สีฟ้าอมเขียว และสีน้ำตาลแดง (จุดยุติ) ตามลำดับ

### 3.5 การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

#### 3.5.1 ประสิทธิภาพทางความร้อนที่ได้จากตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลา

##### ไม่สมมาตร (ACPC)

วิธีการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำการเปรียบเทียบผลของประสิทธิภาพทางความร้อนที่ได้จากการทดสอบกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยพิจารณา ดังนี้

##### 1) สมบัติต่างๆ ของระบบที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

- สมบัติของระบบ
- ความร้อนของระบบ
- ความเร็วลมภายนอกระบบ
- อากาศภายนอกระบบมีสมบัติเดียวกับอากาศแห้ง

##### 2) สมมุติฐานในการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

- ไม่คิดผลของฝุ่นและความสกปรกบนตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC
- ไม่คิดค่าการแผ่รังสีความร้อนทางด้านข้างแผง และการแผ่รังสีความร้อนของคลื่นยาว
- ไม่คิดค่าการสูญเสียความร้อนทางด้านข้างและด้านหลังแผง
- ตัวแปรทางกายภาพของสิ่งแวดล้อมอากาศและความเร็วลม มีค่าคงที่

##### 3) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

มีการใช้โปรแกรมคำนวณ โดยผู้วิจัยต้องทำการให้ป้อนข้อมูลในโปรแกรมให้น้อยที่สุด ซึ่งลำดับขั้นการคำนวณมีดังนี้

- จำนวนสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของตัวรวมรังสีอาทิตย์พาราโบลาไม่สมมาตร
- จำนวนการถ่ายโอนความร้อนของอุณหภูมิในน้ำภายในระบบ
- จำนวนประสิทธิภาพของตัวรวมรังสีอาทิตย์พาราโบลาไม่สมมาตร

### ก. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวรวมรังสีรูปพาราโบลาแบบไม่สมมาตร (ACPC)

1. ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยลมจากผิวบนแผงใหญ่สู่สิ่งแวดล้อม ( $h_{ct}$ , W/m<sup>2</sup>K)

$$h_{ct} = 2.8 + 3v \quad (3.10)$$

2. ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่ความร้อนจากผิวบนแผงใหญ่สู่สิ่งแวดล้อม ( $h_{rt}$ , W/m<sup>2</sup>K)

$$h_{rt} = \varepsilon_{steel} \sigma (T_{steel}^2 + T_{sky}^2) (T_{steel} + T_{sky}) \quad (3.11)$$

3. ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่ความร้อนจากผิวด้านหลังแผงใหญ่สู่สิ่งแวดล้อม ( $h_{rb}$ , W/m<sup>2</sup>K)

$$h_{rb} = \varepsilon_{steel} \sigma (T_{steel}^2 + T_a^2) (T_{steel} + T_a) \quad (3.12)$$

4. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม ( $U_L$ , W/m<sup>2</sup>°C)

$$U_L = U_t + U_b \quad (3.13)$$

7. พลังงานความร้อนที่นำมาใช้ประโยชน์ ( $Q_u$ , W)

$$Q_u = m C_{p,w} \Delta t \quad (3.14)$$

8. ประสิทธิภาพของแผง ACPC

$$\eta = \frac{Q_u}{I_t A_c} \quad (3.15)$$

เมื่อ

$h_{ct}$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของลมที่มีระยะระหว่างแผ่นราบไม่เกิน 0.5 m

$v$  คือ ความเร็วลม, m/s

$T_{steel}$  คือ อุณหภูมิแผงสะท้อนรังสีแผงใหญ่ (°C)

$T_{sky}$  คือ อุณหภูมิท้องฟ้า ( $K = 0.0552 T_a^{1.5}$ )

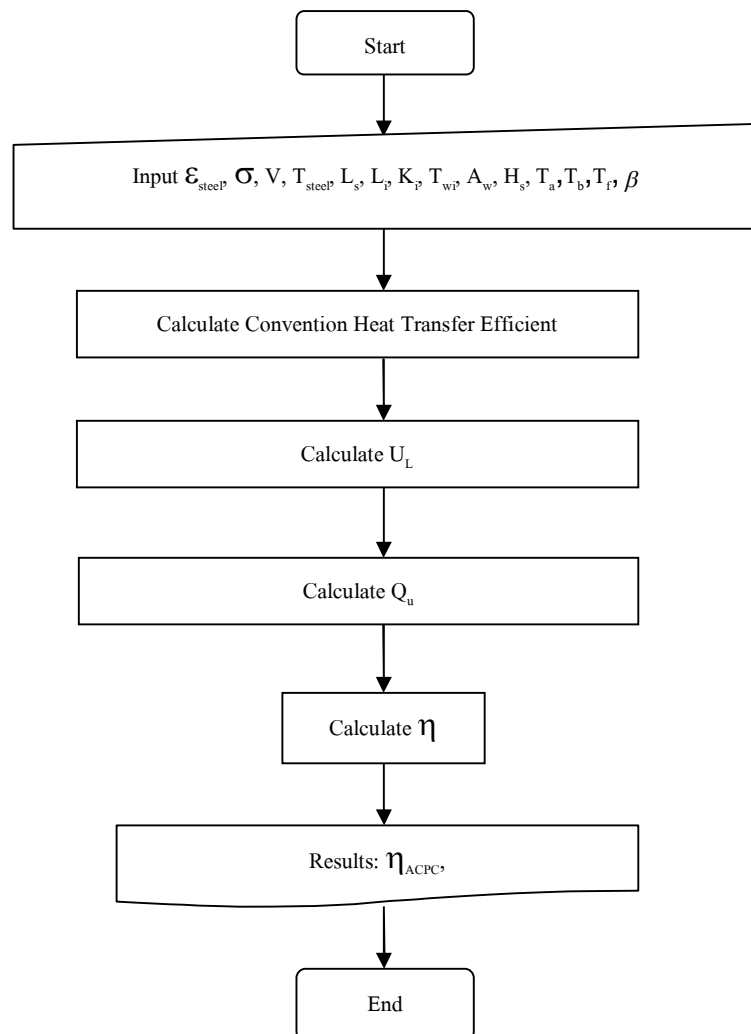
$\varepsilon_{steel}$  คือ ค่าการแผ่รังสีของแผงสะท้อนรังสี

$\sigma$  คือ ค่าคงที่สเตฟานด์โบลน์มาน ( $\sigma = 5.669 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>)

$T_a$  คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (°C)

- $U_b$  คือ สัมประสิทธิ์การพาและการแผ่รังสีความร้อนด้านหลังแผง =  $h_{cb} + h_{rb}$   
 $U_t$  คือ สัมประสิทธิ์การพาและการแผ่รังสีความร้อนด้านบนแผง =  $h_{ct} + h_{rt}$   
 $T_w$  คือ อุณหภูมิน้ำ ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $I_t$  คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์รายวัน ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

โดยสรุปแล้วสามารถเขียนเป็น Flow Chart ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ลำดับการคำนวณประสิทธิภาพของ ACPC

### 3.5.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุณหภูมิน้ำภายในระบบทำน้ำร้อน โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบTiO<sub>2</sub>

วิธีการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิน้ำที่ได้จากการทดสอบกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

โดยพิจารณา ดังนี้

#### 1) สมบัติต่างๆ ของระบบที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

##### 1. สมบัติของระบบ

- ให้อากาศภายนอกระบบมีสมบัติเดียวกับอากาศแห้ง

##### 2. สมบัติของน้ำ

- $\varepsilon_w$  คือ ค่าความสามารถในการแผ่รังสีของน้ำ (0.96)

##### 3. สมบัติของอะคริลิก

- $\tau_c$  คือ ค่าสปต.การส่งผ่านของ Acrylic (0.92)
- $\alpha_c$  คือ ค่าการดูดกลืนรังสีของ Acrylic (0.04)
- $\varepsilon_c$  คือ ค่าความสามารถในการแผ่รังสีของ Acrylic (0.95)
- $\rho$  คือ ความหนาแน่นของ Acrylic (0.04 kg/m<sup>3</sup>)
- $k_c$  คือ ค่าการนำความร้อนของ Acrylic (0.209 W/m °C)
- $C_{p,c}$  คือ ค่าความจุความร้อนของ Acrylic (1466 J/kg °C)

##### 4. สมบัติของสแตนเลส

- $\alpha_{standless}$  คือ ผลคูณค่าการส่งผ่านและการดูดกลืนรังสีของ Stand less (0.56)
- $\varepsilon_{standless}$  คือ ค่าการแผ่รังสีของ Stand less (0.22)
- $\rho_{standless}$  คือ ความหนาแน่นของ Stand less (8055 kg/m<sup>3</sup>)
- $\delta_{standless}$  คือ ความหนาของ Stand less (0.0762 m)
- $C_{p,standless}$  คือ ค่าความจุความร้อนของ Stand less (480 J/kg °C)
- $k_{standless}$  คือ ค่าการนำความร้อนของ Stand less (15.1 W/m °C)

## 2) สมมุติฐานในการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

- ไม่นำการถ่ายเทมวลและการแลกเปลี่ยนความร้อนในระบบมาพิจารณา และการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบจะทำพิจารณาใน 1 มิติ เท่านั้น
- น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำที่เก็บมาจากที่เดียวกันหรือมีสมบัติเหมือนกัน และสมบัติทางกายภาพเหมือนกัน
- การแลกเปลี่ยนความร้อนในน้ำสามารถอธิบายได้โดยกระบวนการนำความร้อน การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนและที่ผิวน้ำ อธิบายโดยการพาความร้อนแบบอิสระ
- การนำความร้อนมีผลน้อยกว่าการพาความร้อนมากจึงไม่นำมาคิด
- ตัวแปรทางกายภาพของสิ่งแวดล้อมอากาศมีค่าคงที่ตลอดกระบวนการ

## 3) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

มีการใช้โปรแกรม โดยผู้วิจัยต้องทำการให้ป้อนข้อมูลในโปรแกรมให้น้อยที่สุด ซึ่งลำดับการคำนวณ มีดังนี้

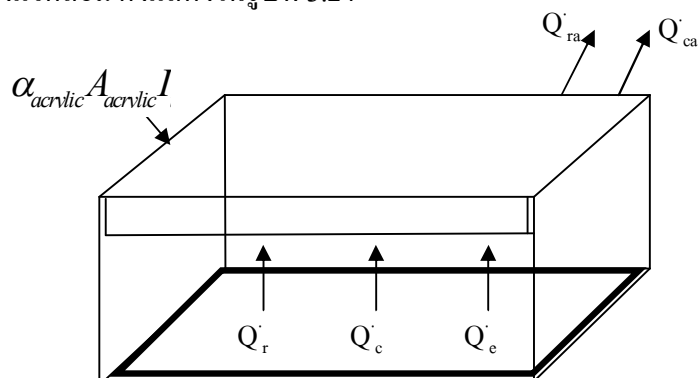
- กำหนดสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากผิวน้ำลงสู่สิ่งแวดล้อม
- กำหนดเพื่อทำนายอุณหภูมิในน้ำในจุดต่างๆ ที่กำหนด

## 4) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายโอนความร้อนของอุณหภูมิในน้ำภายในระบบ

### 4.1) สมดุลพลังงานภายในกล่องอะคริลิกบรรจุน้ำ โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์พาราโบลาแบบไม่สมมาตรทำน้ำร้อน [46]

อุณหภูมิในกล่องอะคริลิกบรรจุน้ำ โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์พาราโบลาแบบไม่สมมาตรในการรวมรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบเพื่อทำความร้อนให้แก่ภายในระบบ แต่ในการสมดุลพลังงานสามารถตั้งสมมติฐานว่าอุณหภูมิพื้นผิวอะคริลิกมีค่าเท่ากันตลอดทั้งผิวอะคริลิก

สมดุลพลังงานบริเวณอะคริลิก ความร้อนที่ได้จากการระเหย การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนของน้ำมายังอะคริลิก รวมกับความร้อนที่เก็บสะสมไว้ที่อะคริลิกมีค่าเท่ากับความร้อนที่สูญเสียจากอะคริลิกไปยังสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 สมดุลพลังงานบริเวณผิวอะคริลิก [46]

สมดุลพลังงานบริเวณผิวอะคริลิก สามารถเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$\alpha_b A_b I_t + \dot{Q}_e + \dot{Q}_c + \dot{Q}_r = \dot{Q}_{ra} + \dot{Q}_{ca} + m_b C_{p,b} \frac{dT_b}{dt} \quad (3.16)$$

อัตราการถ่ายโอนความร้อนจากผิวน้ำไปสู่ผิวอะคริลิก โดยการระเหย คำนวณจากสมการ

$$\dot{Q}_e = h_{ew} A_w (T_w - T_b) \quad (3.17)$$

อัตราการถ่ายโอนความร้อนจากผิวน้ำไปสู่ผิวอะคริลิก โดยการพาความร้อน คำนวณจากสมการ

$$\dot{Q}_c = h_{cw} A_w (T_w - T_b) \quad (3.18)$$

อัตราการถ่ายโอนความร้อนจากผิวน้ำไปสู่ผิวอะคริลิก โดยการแผ่รังสีความร้อน คำนวณได้ดังนี้

$$\dot{Q}_r = \varepsilon_w \sigma A_w \left[ (T_w + 273)^4 - (T_b + 273)^4 \right] \quad (3.19)$$

Dunkle ได้เสนอสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนระหว่างผิวระเหยของกล่องอะคริลิกบรรจุน้ำ ดังนี้

$$h_{ew} = 16.23 \times 10^{-3} h_{cw} \frac{P_w - P_b}{T_w - T_b} \quad (3.20)$$

$$h_{cw} = 0.884 \times \left[ T_w - T_b + \frac{(P_w - P_b)(T_w + 273)}{(0.2689 - P_w)} \right] \quad (3.21)$$

อัตราการสูญเสียความร้อนจากอะคริลิกไปสู่บรรยากาศโดยการแผ่รังสี

$$\dot{Q}_{ra} = \varepsilon_b \sigma A_b \left[ (T_b + 273)^4 - (T_{sky} + 273)^4 \right] \quad (3.22)$$

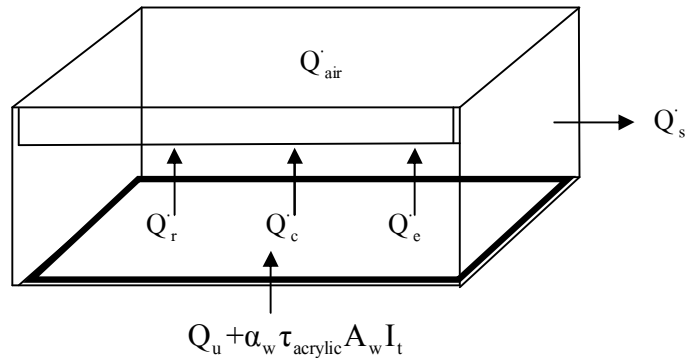
$$T_{sky} = 0.552 \times (T_a + 273)^{1.5} - 273 \quad (3.23)$$

อัตราการสูญเสียความร้อนจากอะคริลิกไปสู่บรรยากาศโดยการพาความร้อน

$$\dot{Q}_{ca} = h_{cb} A_b (T_b - T_a) \quad (3.24)$$

$$h_{cb} = 2.8 + 3.0V \quad (3.25)$$

สมดุลพลังงานบริเวณผิวระเหย ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ผ่านอะคริลิกมีบางส่วนถูกสะสมในอากาศและถูกดูดกลืนด้วยน้ำ นอกจากนี้มวลน้ำยังได้รับพลังงานความร้อนเสริมจากตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) เกิดการพาความร้อน การแผ่รังสี และระเหยไปยังผิวอะคริลิก ดังแสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 สมดุลพลังงานบริเวณผิวระเหย [46]

สมดุลพลังงานบริเวณผิวระเหย สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\alpha_w \tau_b A_w I_t + Q_u = \dot{Q}_e + \dot{Q}_c + \dot{Q}_r + \dot{Q}_s + \dot{Q}_{air} + m_w C_{p,w} \frac{dT_w}{dt} \quad (3.26)$$

อัตราการสูญเสียความร้อนที่ด้านล่างและด้านข้างของกล่องอะคริลิกบรรจุน้ำ คำนวณจากสมการ

$$\dot{Q}_s = UA_w (T_w - T_a) \quad (3.27)$$

เมื่อ

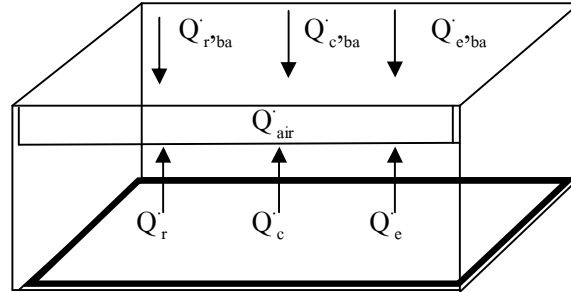
$$U = \frac{L_i}{K_i} + \frac{1}{h_{cb} + h_{rb}} \quad (3.28)$$

และ

$$h_{cb} = 5.7 + 3.8V \quad (3.29)$$

$$h_{rb} = \frac{0.87\sigma \times [(T_w + 273)^4 - (T_a + 273)^4]}{T_w - T_a} \quad (3.30)$$

ความร้อนที่สะสมในอากาศภายในกล่องอะคริลิกบรรจุน้ำ โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์พาราโบลาแบบไม่สมมาตรทำน้ำร้อน ( $\dot{Q}_{air}$ ) อธิบายได้ดังแสดงในรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 ความสะสมภายในกล่อง [46]

ดังนั้น อุณหภูมิน้ำในกล่องบรรจุน้ำของระบบทำความร้อน ณ เวลา  $t + \Delta t$  ได้ดังนี้

$$\alpha_w \tau_b A_w I_t = \dot{Q}_e + \dot{Q}_c + \dot{Q}_r + \dot{Q}_s + \dot{Q}_{air} + m_w C_{p,w} \frac{(T_w^{n+1} - T_w^n)}{\Delta t} \quad (3.31)$$

$$T_w^{n+1} = \left[ (\alpha_w \tau_b A_w I_t) - (\dot{Q}_e + \dot{Q}_c + \dot{Q}_r + \dot{Q}_s + \dot{Q}_{air}) \right] \times \frac{\Delta t}{m_w C_{p,w}} \quad (3.32)$$

เมื่อ

- $\dot{Q}_e$  คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนจากผิวน้ำไปสู่ผิวอะคริลิกโดยการระเหย (W)
- $\dot{Q}_c$  คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนจากผิวน้ำไปสู่ผิวอะคริลิกโดยการพาความร้อน (W)
- $\dot{Q}_r$  คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนจากผิวน้ำไปสู่ผิวอะคริลิกโดยการแผ่รังสีความร้อน (W)
- $\dot{Q}_s$  คือ อัตราการสูญเสียความร้อนที่ด้านล่างและด้านข้างของกล่องอะคริลิก (W)
- $\dot{Q}_{air}$  คือ ความร้อนสะสมของอากาศในกล่องอะคริลิกบรรจุ (W)
- $h_{cw}$  คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากน้ำสู่อากาศแวดล้อม ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )
- $h_{ew}$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของการระเหยของน้ำ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )
- $h_{cb}$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนระหว่างอะคริลิกกับน้ำ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )
- $h_{rb}$  คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนที่ด้านล่างกล่องอะคริลิก ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )
- $A_w$  คือ พื้นที่ผิวของน้ำในกล่องอะคริลิกบรรจุ ( $m^2$ )
- $C_{p,w}$  คือ ค่าความจุความร้อนของน้ำ ( $kJ/kg \cdot ^\circ C$ )
- $\varepsilon_w$  คือ ค่าความสามารถในการแผ่รังสีของน้ำ (0.96)
- $\alpha_w$  คือ ค่าสภาพการดูดกลืนของน้ำ
- $m_w$  คือ มวลของน้ำในระบบทำน้ำร้อน (kg)

- $\tau_b$  คือ ค่าการส่งผ่านของกล่องอะคริลิก  
 $I_t$  คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ ( $\text{W/m}^2$ )  
 $P_w$  คือ ความดันไออิ่มตัวที่ผิวน้ำ ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $P_b$  คือ ความดันไออิ่มตัวที่ผิวอะคริลิก ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_w$  คือ อุณหภูมิน้ำในระบบ ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_b$  คือ อุณหภูมิอะคริลิก ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $U$  คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านข้างและด้านล่าง ( $\text{W/m}^2\text{C}$ )  
 $L_i$  คือ ความหนาของแผ่นอะคริลิก (m)  
 $k_i$  คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของอะคริลิก  
 $g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $\text{m/s}^2$ )

โดยสมบัติของน้ำ เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ สามารถคำนวณได้โดยวิธีถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) โดยใช้ข้อมูลจากตารางสมบัติของน้ำที่ความดันบรรยากาศ ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$P_{sat} = \left[ (1 \times 10^{-6} T^3) - (4 \times 10^{-3} T^2) + (4.2 \times 10^{-3} T) - 0.0013 \right] T + 0.8242$$

$$C_{p,w} = \left[ (3 \times 10^{-6} T^3) - (8 \times 10^{-4} T^2) + (7.81 \times 10^{-2} T) - 3.0153 \right] + 4217.3$$

$$\mu = \left[ (3 \times 10^{-11} T^3) - (8 \times 10^{-9} T^2) + (9 \times 10^{-7} T) - 0.00005 \right] T + 0.0018$$

$$k = \left[ (-5 \times 10^{-9} T^2) - (9 \times 10^{-6} T) + 0.0021 \right] T + 0.5598$$

$$\rho = \left[ (1 \times 10^{-5} T^2) - (5.7 \times 10^{-3} T) + 0.0054 \right] T + 1000.1$$

$$P_r = 0.0013 T^2 - 0.2236 T + 11.372$$

โดยที่  $T =$  อุณหภูมิน้ำ ( $^{\circ}\text{C}$ )

### 3.6 การนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาพิจารณา

3.6.1 การนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาศึกษาต่อ เพื่อทำนายการเพิ่มเมื่อมีการปรับขนาดพื้นที่ของตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC และขนาดของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่เคลือบ  $\text{TiO}_2$  และชุดทดสอบที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม การทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำภายในระบบทำน้ำร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

- แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบด้วยสีดำด้าน (Control)
- แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบด้วย ไททานเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ )
- การทดสอบทั้ง 2 กรณี โดยพื้นที่รับรังสีของตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC เท่ากับ 1.7 m<sup>2</sup> ก่อองอะคริลิกบรรจุน้ำขนาด 1.7×2.2 m<sup>2</sup> รวมถึงแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ทั้ง 2 มีพื้นที่เท่ากับ 1.5×2 m<sup>2</sup>
- การทดสอบทั้ง 2 กรณี มีการวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิน้ำที่เวลาต่างๆ ด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลตลอดวัน

#### วิเคราะห์ข้อมูล

- สร้างกราฟเปรียบเทียบโดยแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยของ และความเข้มรังสีอาทิตย์ ทุกกรณี

### 3.6.2 การนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาศึกษาต่อ เพื่อทำนายการเพิ่มอุณหภูมิน้ำในแต่ละเดือนตลอดทั้งปีของตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC และขนาดของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่เคลือบ $TiO_2$ และชุดทดสอบที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม

เป็นการทำนายอุณหภูมิของระบบทำน้ำร้อนในแต่ละเดือนตลอดทั้งปี โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $TiO_2$  และแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม โดยในการเลือกวันที่นำมาใช้ในการทำนายของแต่ละเดือนตลอดทั้งปีนั้น สามารถเลือกวันที่มีค่ารังสีอาทิตย์ใกล้เคียงกับค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยของเดือนนั้นๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 วันที่แนะนำสำหรับแต่ละเดือนที่มีค่ารังสีอาทิตย์ใกล้เคียงกับค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยของเดือนนั้นๆ และค่าวันที่ของปี [27]

Month	n for 1 day of month	For the average day of the month		
		Date	n Day of year	$\delta$ Declination
January	I	17	17	-20.9
February	31+i	16	47	-13
March	59+i	16	75	-2.4
April	90+i	15	105	9.4
May	120+i	15	135	18.8
June	151+i	11	162	23.1
July	181+i	17	198	21.2
August	212+i	16	228	13.5
September	243+i	15	258	2.2
October	273+i	15	288	-9.6
November	304+i	14	318	-18.9
December	334+i	10	344	-23.0