บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในน้ำที่ก่อให้เกิดโรคต่างๆ โดยใช้พลังงานรังสีอาทิตย์ (Solar energy) ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ร่วมกับรางรวมแสงรูปประกอบพาราโบล่า (Compound parabolic concentrator, CPC) เพื่อทำการรวมแสงแล้วสะท้อนไปยังรีแอคเตอร์ ระบบจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อทำการออกแบบรีแอคเตอร์แบบมี TiO_2 โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติของน้ำ เชื้อจุลินทรีย์ในน้ำ การวัดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ รวมทั้งด้านการออกแบบและสร้างตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลา ทดสอบหาระยะเวลาในการยับยั้งหรือการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในน้ำที่เตรียมไว้ พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการกระจายอุณหภูมิแบบภาวะคงตัวสรุปและวิเคราะห์ผลและในงานวิจัยนี้ดำเนินตามขั้นตอนการวิจัยดังรูปที่ 3.1

3.1 ขั้นตอนการวิจัย

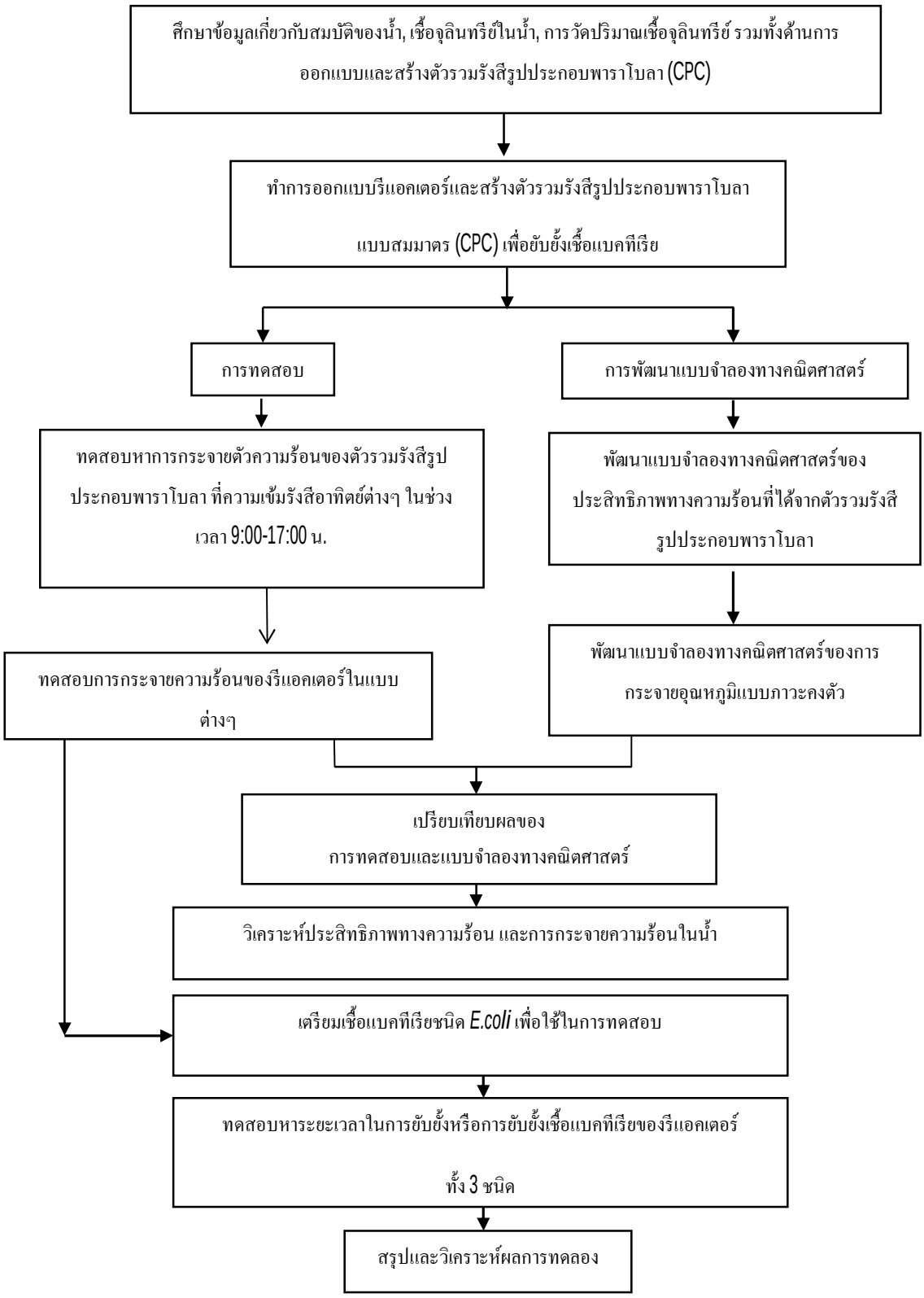
ในการทำงานวิจัยนี้ ต้องได้ผลบรรลุตามวัตถุประสงค์คือ

3.1 ศึกษาออกแบบและสร้างตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลาแบบสมมาตร (CPC)

3.2 ศึกษาระยะเวลาการกำจัดเชื้อ *E. coli* ด้วยกระบวนการโฟโตคาตาไลซิส โดยใช้ TiO_2 ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิที่ระดับต่างๆ

3.3 ศึกษาการเติมอากาศบนผิวน้ำ

3.4 เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการถ่ายโอนความร้อนในระบบ



รูปที่ 3.1 แผนภูมิขั้นตอนการวิจัย

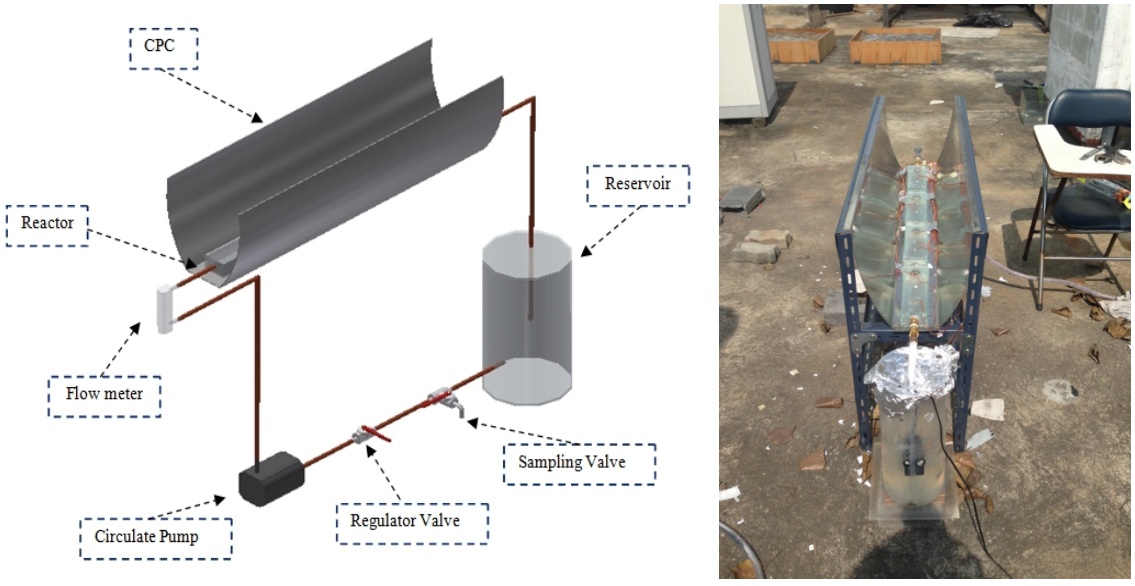
3.2 การทดสอบระบบ

การทดสอบระบบในวิทยานิพนธ์นี้มีส่วนประกอบหลักดังนี้

1. การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เป็นการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในแบบต่างๆ
2. การเติมอากาศของระบบการไหลเป็นการทดสอบเพื่อหาการถ่ายเทอากาศไปสู่น้ำเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสีย
3. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำผลที่ได้ไปทำนายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการรับรังสีอาทิตย์

3.2.1 การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

การทดลองได้ดำเนินการที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (13° 45 ' N 100 ° 31 ' E) โดยทำการทดสอบในช่วงเวลาที่แตกต่างกันของแต่ละการทดลอง โดยจะทำการวัดค่ารังสีอาทิตย์เพื่อคำนวณหาความเข้มรังสีที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้



รูปที่ 3.2 การทดลองการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

การทดลองนี้ได้ทำการออกแบบโดยการติดตั้งวาล์วเก็บตัวอย่างการทดลองเพื่อนำเชื้อที่ได้ออกมานับความเข้มข้นของเชื้อแบคทีเรีย และมีวาล์วปรับอัตราการไหลของน้ำเพื่อวิเคราะห์ระยะเวลาที่เชื้อแบคทีเรียรับพลังงานรังสีอาทิตย์ โดยจะใช้ปั๊มน้ำเป็นตัวทำให้น้ำหมุนเวียนในระบบ การออกแบบนี้ยังได้ติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลเพื่อวัดการไหลของน้ำผ่านรางรวมแสงรูปประกอบพาราโบล่า (CPC) ลงไปสู่ถังน้ำที่สามารถจุปริมาณน้ำได้ 7.5 ลิตร การทดลองนี้ได้มีการติดตั้งสายเทอโมคัปเปิ้ลเพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำที่เกิดขึ้นจากการทดลอง การทดลองนั้นเริ่มจากการเปิดปั๊มน้ำจากนั้นปริมาณของน้ำในแต่ละการทดลองมีจำนวน 6 ลิตร และการไหลของน้ำจะเริ่มจากถังน้ำไปยังวาล์วเก็บตัวอย่างเชื้อแบคทีเรีย, วาล์วควบคุมอัตราการไหล ปั๊ม เครื่องวัดอัตราการไหล รีแอคเตอร์ทั้ง 4 และไหลกลับคืนไปยังถังน้ำ (รูปที่ 3.2) โดยจะเก็บตัวอย่างของเชื้อแบคทีเรียที่ทำการทดลองทุกๆ 15 นาที เพื่อทำการวัดผลของเชื้อแบคทีเรียที่ลดลง ลักษณะการทดลองได้ถูกนำเสนอใน ตารางที่ 1

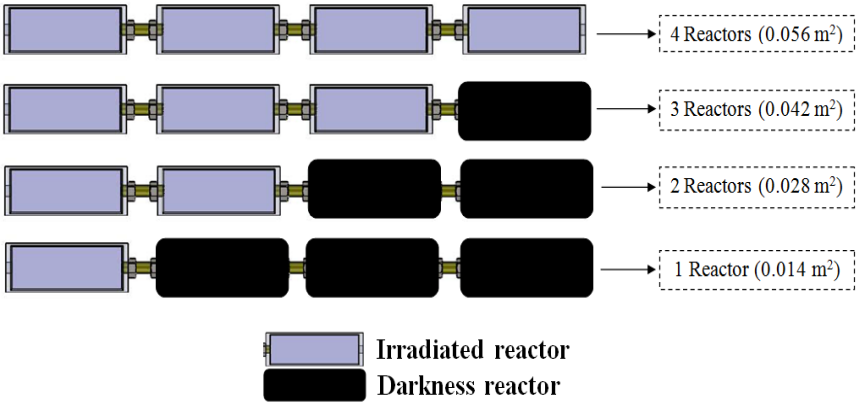
ตารางที่ 3.1 ลักษณะการทดลอง

พื้นที่รับรังสีอาทิตย์	0.014 m^2	0.028 m^2	0.042 m^2	0.056 m^2
จำนวนรีแอคเตอร์	1	2	3	4
ปริมาณน้ำที่ทดลอง	6 liters			
อัตราการไหล	2 liters/min			
ระยะเวลาที่ทดลอง	90 min			

3.2.2 การทดลองการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพื้นผิวของรีแอคเตอร์โดยการรับรังสีอาทิตย์

การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ได้ทดลองให้เห็นถึงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพื้นผิวรีแอคเตอร์ในขนาดพื้นที่ต่างกันคือ 0.014 , 0.028, 0.042, 0.056 m^2 เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของการยับยั้งแบคทีเรีย ในการทดลองได้วาง 4 รีแอคเตอร์ต่อกันดังรูปที่ 3.3 ซึ่งแต่ละรีแอคเตอร์มีพื้นที่เท่ากัน แต่การทดลองนั้นจะใช้แผ่นพลาสติกสีดำปิดพื้นที่ของการรับรังสีอาทิตย์ เพื่อทดลองหาประสิทธิภาพของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน การทดลองที่ 1 ทดลองโดยไม่มี TiO_2 เพื่อวิเคราะห์หาอัตราการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของรังสีอาทิตย์ การทดลองที่ 2 ทดลองโดยประยุกต์ใช้พื้นผิวสีดำของรีแอคเตอร์เพื่อดูดซับโฟตอนจากรังสีอาทิตย์ การทดลองที่ 3ได้ประยุกต์ใช้ TiO_2 เพื่อยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลซิส การทดลองทั้งหมดได้ทดลองในเงื่อนไขเดียวกันเพื่อหาประสิทธิภาพ

ของจำนวนพื้นผิวของรีแอคเตอร์ที่มีต่ออัตราการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย นอกจากนี้การทดลองได้ดำเนินการหาผลการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจากความเข้มรังสีอาทิตย์บนพื้นผิวรีแอคเตอร์ในแต่ละเงื่อนไข



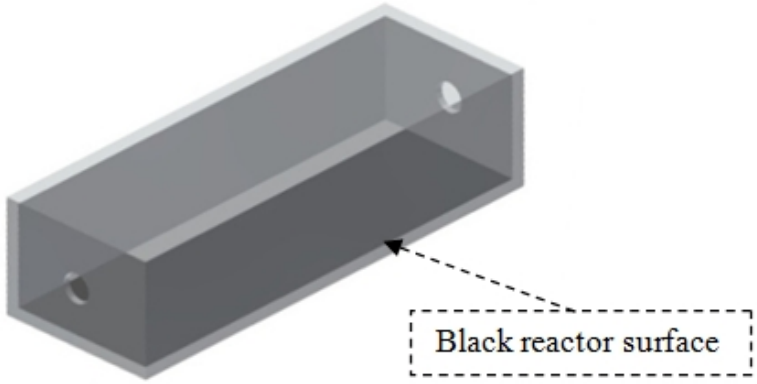
รูปที่ 3.3 พื้นที่รีแอคเตอร์รับรังสีอาทิตย์

3.3 การออกแบบรีแอคเตอร์และสร้างตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลา

การออกแบบรีแอคเตอร์นั้นได้แบ่งออกเป็น 3 ประเภทเพื่อนำมาทดสอบหาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อในแต่ละกรณี และการออกแบบตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบล่านั้นได้ถูกออกแบบเป็นชนิดเป้ารับรังสีอาทิตย์แบบแบนราบเพื่อให้สอดคล้องกับรีแอคเตอร์ที่ได้ออกแบบ โดยมีรายละเอียดของรีแอคเตอร์และรางรวมแสงรูปประกอบพาราโบล่าดังนี้

3.3.1 การออกแบบรีแอคเตอร์และรีแอคเตอร์พื้นผิวดำ

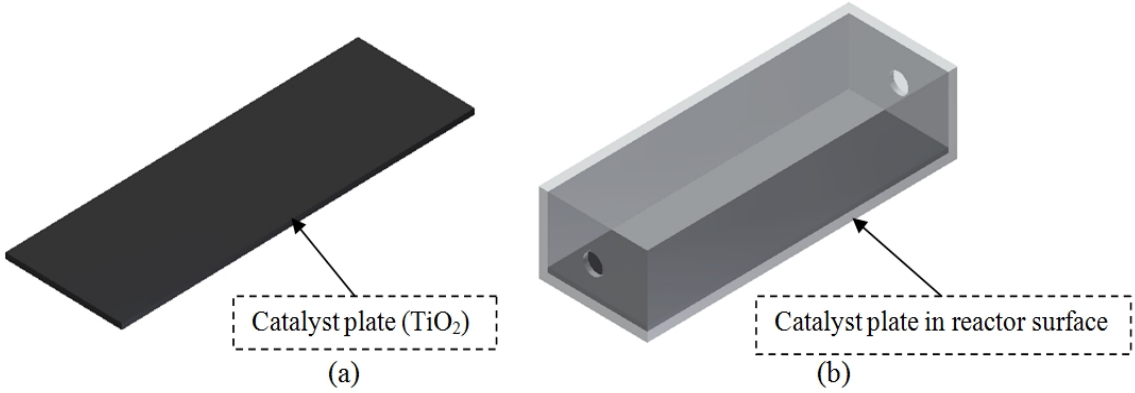
การออกแบบนี้ใช้แผ่นกระจกขนาด 7 × 20 ซม. และ 7 × 5 ซม. มีความหนา 6 มม. มาประกอบเป็นรีแอคเตอร์และรีแอคเตอร์พื้นผิวสีดำ โดยรีแอคเตอร์พื้นผิวสีดำได้รับการพ่นด้วยสเปรย์อะคริลิคสีดำ (TOA) บนแผ่นด้านล่างของกระจก จากนั้นนำทุกด้านของแผ่นกระจกมาประกอบเป็นรีแอคเตอร์ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในน้ำในกรณีรีแอกเตอร์พื้นผิวสีดำ (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 รีแอคเตอร์พื้นผิวดำ

3.3.2 การออกแบบรีแอคเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO_2

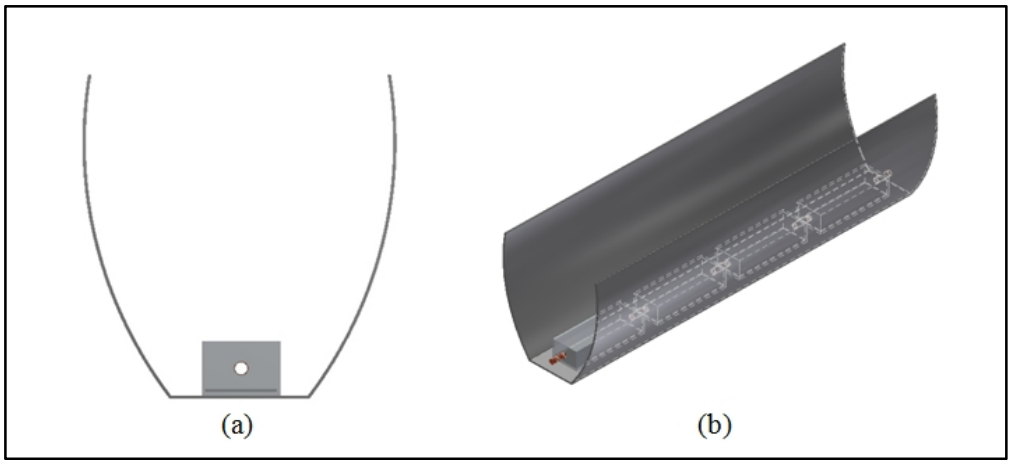
การออกแบบรีแอคเตอร์ที่เคลือบ TiO_2 เพื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลซิส โดยเคลือบ TiO_2 บนแผ่นสแตนเลส โดยใช้วิธีสเปรย์ด้วยความร้อน โดยเคลือบบนแผ่นสแตนเลสขนาด 7 × 20 ซม. ความหนา 3 มม. (รูปที่ 3.5a) โดยทำความสะอาดผิวแผ่นสแตนเลส โดยการเป่าด้วยทรายเพื่อให้ผิวเรียบก่อนเคลือบ TiO_2 ด้วยสเปรย์ความร้อน โดยวิธีการนี้ใช้ TiO_2 (Amperit) พ่นลงบนแผ่นสแตนเลสที่อุณหภูมิสูงและกระแสไฟฟ้าสูงเพื่อเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาบนแผ่น ซึ่งเคลือบให้มีความหนา 3 นาโนเมตร หลังจากนั้นนำแผ่นสแตนเลสมาวางด้านล่างของรีแอคเตอร์เพื่อรับพลังงานรังสีอาทิตย์ (รูปที่ 3.5b) เพื่อประยุกต์ใช้ TiO_2 ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลซิส



รูปที่ 3.5 (a) แผ่นสแตนเลสที่เคลือบ TiO_2 (b) รีแอคเตอร์ที่เคลือบ TiO_2

3.3.3 การออกแบบรางรวมแสงรูปประกอบพาราโบล่า

การออกแบบรางรวมแสงรูปประกอบพาราโบล่านี้ได้นำรีแอคเตอร์วางอยู่ใน CPC ในทิศทางเหนือ-ใต้ ที่พื้นเอียง 14° ละติจูด โดยใช้วัสดุแผ่นสแตนเลสขัดเงาเพื่อให้เกิดการสะท้อนของแสงที่ตกกระทบ การออกแบบ CPC แบบเป้ารับแสงแบนเรียบดังแสดงในรูปที่ 3.3a เพื่อความเหมาะสมกับการวางรีแอคเตอร์ในการทดลอง ซึ่งการออกแบบนี้เพื่อรวมรังสีอาทิตย์ลงบนรีแอคเตอร์ทั้ง 4 ที่วางต่อกันดังรูปที่ 3.3b



รูปที่ 3.6 (a) CPC แบบเป้ารับแสงแบนราบ (b) รีแอคเตอร์ใน CPC

การออกแบบ CPC ชนิดนี้โดยการกำหนดขนาดความกว้างของเป้ารับรังสีและคำนวณพารามิเตอร์ทั้งหมดของ CPC ตามเงื่อนไขสมการที่ 3.1- 3.3 [21]

$$H = \frac{a}{2}\left(\frac{1}{\tan\theta_c} + \frac{1}{\tan\theta_c \sin\theta_c}\right) \quad (3.1)$$

$$f = \frac{a}{2}(1+\sin\theta_c) \quad (3.2)$$

$$x^2 = 4fy \quad (3.3)$$

H คือ ความสูงของ CPC, a คือเป้ารับรังสี, θc คือ การมุมรับรังสี และ f เป็นจุดโฟกัสของส่วนโค้งพาราโบล่า การทดลองนี้ได้ทดสอบที่กรุงเทพฯ ดังนั้น θc ถูกกำหนดให้เป็น 21° และความกว้างของเป้ารับรังสีอาทิตย์กำหนดให้เป็น 12.5 ซม. ดังนั้นคำนวณจากสมการ (3.1) (3.2) และ (3.3) จะได้ความสูงของ CPC เป็น 0.617 m และระยะโฟกัสของรูปโค้งเป็น 0.084 เมตร CPC ยังได้รับการออกแบบการตัดความ

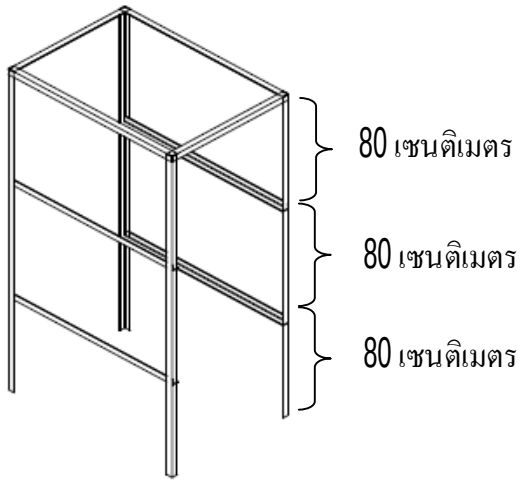
สูงลงเพื่อลดค่าวัสดุและยังเพิ่มเวลาการรับรังสีอาทิตย์ จากการคำนวณทั้งหมดได้ขนาดของ CPC ขนาด 61.7 × 12.5 × 100 เซนติเมตร

3.4 การออกแบบการทดลองเครื่องเติมอากาศ

เครื่องเติมอากาศนั้นมีอยู่หลายลักษณะ แต่เครื่องเติมอากาศนี้ได้ถูกออกแบบให้เติมอากาศบนผิวน้ำเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการทดลองการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์แล้วนำเชื้อแบคทีเรียที่ผ่านการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ในรางรวมแสงรูปประกอบพาราโบล่ามาเติมอากาศเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับการบำบัดน้ำเสีย

3.4.1 การออกแบบขาตั้งถาดเติมอากาศ

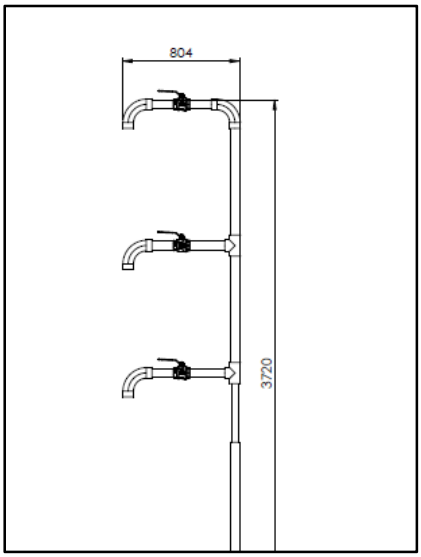
การออกแบบนี้จะใช้วิธีการทดลองโดยการเปลี่ยนความสูงของถาดเติมอากาศจากระดับผิวน้ำ โดยจะทำโครงสร้างการวางถาดเติมอากาศอยู่ทั้งหมด 3 ชั้น เพื่อที่จะทดสอบหาอัตราการถ่ายเทอากาศที่ระดับต่างๆ โดยการออกแบบให้ระยะห่างของแต่ละชั้นห่างกัน 80 ซม. และมีขนาด 80 × 120 × 225 ซม. เพื่อรองรับถาดเติมอากาศดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ขาตั้งถาดเติมอากาศในน้ำ

3.4.2 การออกแบบท่อปล่อยน้ำลงถาดเติมอากาศ

การออกแบบท่อปล่อยน้ำลงในถาดเติมอากาศนั้นใช้ท่อพลาสติก PVC ขนาด 2 นิ้วในการทดลอง โดยจะมีอยู่ 3 ระดับชั้นการทดลองแต่ละชั้นจะมีความสูงต่างกัน 80 ซม. โดยแต่ละตัวจะมีวาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำ โดยจะมีการควบคุมให้น้ำไหลในแต่ละชั้นและยังใช้ควบคุมอัตราการไหลของน้ำด้วย



รูปที่ 3.8 ท่อปล่อยน้ำลงสู่ถาดเติมอากาศในน้ำ

3.4.3 การออกแบบถาดเติมอากาศ

การออกแบบจำนวนรูโดยจะทำการออกแบบถาดเติมอากาศที่มีขนาด 120 × 80 ซม. ดังรูปที่ 3.9 โดยจำนวนรูและเส้นผ่านศูนย์กลางของรูที่แตกต่างกันดังนี้

- ถาดเติมอากาศที่มีจำนวน 20 รู และเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเท่ากับ 5 มม.
- ถาดเติมอากาศที่มีจำนวน 10 รู และเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเท่ากับ 10 มม.
- ถาดเติมอากาศที่มีจำนวน 20 รู และเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเท่ากับ 10 มม.
- ถาดเติมอากาศที่มีจำนวน 30 รู และเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเท่ากับ 10 มม.

รูปที่ 3.9 ถาดเติมอากาศ

3.5 การทดลองหาการแลกเปลี่ยนออกซิเจนที่ระดับต่างๆ

ในการทดลองหาการแลกเปลี่ยนของออกซิเจนที่ระดับต่างๆ นี้ จะเริ่มจากการทดลองหาการแลกเปลี่ยนของอากาศที่ระดับต่างๆ โดยทำการออกแบบและสร้างชุดเครื่องมือเติมอากาศบนผิวน้ำสำหรับการทดลอง และออกแบบระยะการทดลองแล้ววัดผลว่าถาดเติมอากาศแบบไหนที่อัตราการแลกเปลี่ยนออกซิเจนมากที่สุด

3.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

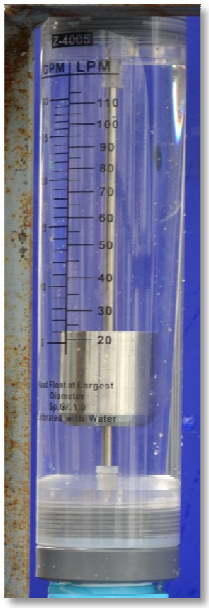
1. เครื่องวัดปริมาณออกซิเจน

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำคือ DO-meter เป็นเครื่องวัดลักษณะที่เป็นแบบดิจิตอล Model DO-551 ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งจะมีความแม่นยำมากและมีความสะดวกในการใช้มาก ซึ่งเครื่องวัดนี้จะสามารถวัดปริมาณออกซิเจนได้อย่างต่อเนื่อง

รูปที่ 3.10 เครื่องวัดปริมาณออกซิเจน (DO Meter)

2. เครื่องวัดอัตราการไหล

เครื่องวัดอัตราการไหลนี้จะใช้วัดอัตราการไหลของน้ำไปสู่ถาดเติมอากาศเติมอากาศ เครื่องวัดอัตราการไหลที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ใช้ของบริษัท Nitto Model Z-4005 ซึ่งสามารถวัดอัตราการไหลตั้งแต่ 20-110 ลิตรต่อนาที โดยจะทำการปรับอัตราการไหลที่วาว์ลของแต่ละชั้นการทดลองและสามารถอ่านค่าจากสเกลที่เครื่องวัดนี้ ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ

3. เครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นเครื่องสูบน้ำแบบจุ่มลงในน้ำ Model T-50 ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ซึ่งเป็นมอเตอร์ขนาด 0.4 kW แรงดันไฟฟ้า 220 V กินกระแสสูงสุด 4.1 A สามารถทำเฮดได้สูงสุด 10 เมตร

รูปที่ 3.12 เครื่องสูบน้ำ

4. ถังบรรจุน้ำพลาสติก

น้ำที่ใช้บรรจุน้ำในการทดลองนี้จะเป็นถังที่มีขนาด 94.5 x 123 x 84 ซม. ดังจะเห็นดังรูปที่ 3.13 ซึ่งจะสามารถบรรจุน้ำได้มากสุดถึง 976 ลิตร

รูปที่ 3.13 ถังบรรจุน้ำ

3.5.2 วิธีการทดลองเครื่องเติมอากาศบนผิวน้ำ

1. การทดลองนี้จะใช้แผ่นสังกะสีขนาด 80 × 120 ซม. โดยจะเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. จำนวน 20 รู เพื่อจะทำการทดลองหาการเติมอากาศ โดยจะทำการวัดหาค่า DO ในน้ำ โดยจะทำการทดลองออกเป็น 3 กรณี

กรณีที่ 1 ทำการสูบน้ำใส่เครื่องเติมอากาศที่เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. จำนวน 20 รู ที่ระดับความสูงจากพื้นผิวน้ำ 80 ซม.

กรณีที่ 2 ทำการสูบน้ำใส่เครื่องเติมอากาศที่เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. จำนวน 20 รู ที่ระดับความสูงจากพื้นผิวน้ำ 160 ซม.

กรณีที่ 3 ทำการสูบน้ำใส่เครื่องเติมอากาศที่เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. จำนวน 20 รู ที่ระดับความสูงจากพื้นผิวน้ำ 240 ซม.

2. การทดลองนี้จะใช้แผ่นสังกะสีขนาด 80 × 120 ซม. โดยจะเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. แต่ลดจำนวนรูลงเหลือจำนวน 10 รู เพื่อทำการทดลองหาการเติมอากาศ โดยจะทำการวัดหาค่า DO ในน้ำ โดยจะทำการทดลองออกเป็น 3 กรณี

กรณีที่ 1 ทำการสูบน้ำใส่เครื่องเติมอากาศที่เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. จำนวน10 รู ที่ระดับความสูงจากพื้นผิวน้ำ 80 ซม.

กรณีที่ 2 ทำการสูบน้ำใส่เครื่องเติมอากาศที่เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. จำนวน 10 รู ที่ระดับความสูงจากพื้นผิวน้ำ 160 ซม.

กรณีที่ 3 ทำการสูบน้ำใส่เครื่องเติมอากาศที่เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. จำนวน10 รู ที่ระดับความสูงจากพื้นผิวน้ำ 240 ซม.

3. การทดลองนี้จะใช้แผ่นสังกะสีขนาด 80 X120 ซม. โดยจะเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. จำนวน 10 รู เพื่อจะทำการทดลองหาการเติมอากาศ โดยจะทำการวัดหาค่า DO ในน้ำ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 กรณี

กรณีที่ 1 ทำการสูบน้ำใส่เครื่องเติมอากาศที่เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. จำนวน 10 รู ที่ระดับความสูงจากพื้นผิวน้ำ 160 ซม.

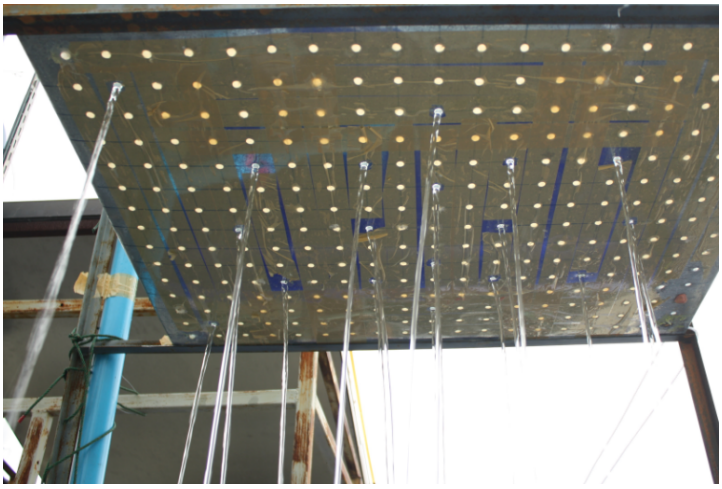
กรณีที่ 2 ทำการสูบน้ำใส่เครื่องเติมอากาศที่เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. จำนวน 20 รู ที่ระดับความสูงจากพื้นผิวน้ำ 160 ซม.

กรณีที่ 3 ทำการสูบน้ำใส่เครื่องเติมอากาศที่เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. จำนวน 30 รู ที่ระดับความสูงจากพื้นผิวน้ำ 160 ซม.

ถาดเติมอากาศแต่ละชุดจะถูกนำไปทดลองทีละชุด และก่อนการทดลองในแต่ละครั้งนั้นต้องมีการเตรียมน้ำเพื่อทำการทดลองเสมอ โดยน้ำในถังมีปริมาตร 697 liters แล้ววัดค่าความเข้มข้นของปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่น้ำ แล้วนำค่าที่ได้ทั้งออกซิเจนและปริมาณน้ำไปคำนวณหาปริมาณ Na_2SO_3 ที่จะเติมลงในน้ำจนทำให้ออกซิเจนในน้ำเป็นศูนย์ ตามสมการเคมี

$$2Na_2SO_3 + O_2 \longrightarrow 2Na_2SO_4$$

หลังจากที่คำนวณหาค่าปริมาณ Na_2SO_3 ตามปริมาณของน้ำและปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ กวนน้ำกับ Na_2SO_3จนกระทั่งสารเคมีละลายจนหมด และทิ้งสารเคมีไว้ประมาณ 20 นาที แล้ววัดค่าปริมาณออกซิเจนอีกครั้ง เมื่อน้ำในถังมีค่าเท่ากับ 0 หรือใกล้เคียง แสดงว่าน้ำนั้นสามารถนำมาทดลองได้ หลังจากเตรียมน้ำเสร็จก็ทำการบันทึกอุณหภูมิน้ำ ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำก่อนการเติมอากาศ หลังจากนั้นก็เปิดปั๊มเติมอากาศและวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำทุกๆ 10 นาที จนกระทั่งน้ำที่ทำการวัดถึงจุดอิ่มตัว



รูปที่ 3.14 น้ำไหลลงจากถาดเติมอากาศขณะทำการทดลอง

หลังจากที่ทำการทดลองชุดแรกเสร็จแล้ว การทดลองครั้งต่อไปต้องทำการเตรียมน้ำใหม่อีกครั้ง โดยทำการทดลองอย่างนี้โดยเปลี่ยนถาดการทดลองและระยะความสูง

3.6 การออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับระบบที่ต้องการ

ในงานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแบบต่อตรงเพื่อทำการปั๊มน้ำที่มีเชื้อแบคทีเรียผ่านรีแอคเตอร์ในรางรวมแสงรูปประกอบพาราโบล่าโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.6.1 การประเมินความต้องการน้ำ

การประเมินความต้องการน้ำสำหรับระบบนั้นมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป แต่ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดอัตราการไหลที่ 2 L/min ในการทดลอง

3.6.2 คำนวณพลังงานส่งน้ำที่ต้องการ

เมื่อทราบปริมาณความต้องการการใช้น้ำแล้ว ขั้นตอนต่อมาก็คือการคำนวณหาพลังงานในการส่งน้ำ ดังสมการที่ 3.4

$$E_h = \rho g V_h H \qquad (3.4)$$

เมื่อ

E_h = พลังงานในการส่งน้ำ, (J)

V_h = ปริมาณน้ำ, (m^3)

H = ระยะเฮดรวม, (m)

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ (1000 kg/m^3)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

3.6.3 หาค่าเฉลี่ยพลังงานรังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนของสถานที่ทดลอง

ในการออกแบบระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้ข้อมูลรังสีอาทิตย์ในแต่ละเดือนซึ่งได้มาจากค่าของการรวมรังสีรายวัน ข้อมูลที่ใช้ควรมีความสอดคล้องกับสถานที่ที่ทำการทดลอง ค่ารังสีอาทิตย์บนพื้นเอียงนั้นจะมีความแตกต่างจากรังสีที่ตกกระทบลงพื้นราบ ค่ารังสีอาทิตย์ที่ใช้ในการประมาณขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นรังสีที่ตกกระทบบนพื้นเอียง จึงต้องมีการปรับค่ารังสีอาทิตย์บนพื้นราบให้เป็นค่ารังสีบนพื้นเอียง โดยใช้ตัวคูณในการปรับค่า นั่นก็คือ แฟกเตอร์มุมเอียง

3.6.4 คำนวณหาขนาดของมอเตอร์ปั๊ม

ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดของระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

พลังงานไฟฟ้าที่ต้องการจากเซลล์แสงอาทิตย์หาได้จาก พลังงานที่ต้องการส่งน้ำต่อประสิทธิภาพทางพลังงานรายวันเฉลี่ยของชุดมอเตอร์/ปั๊ม โดยกำลังไฟฟ้าที่ออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 3 ประการ คือ

1. รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์
2. อุณหภูมิเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งก็จะขึ้นนอยู่กับบรรยากาศ และความเข้มของรังสีอาทิตย์
3. ค่าความต้านทานทางภาระไฟฟ้า จุดการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะอยู่บนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน กำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าสูงสุด ณ จุดกำลังสูงสุด

ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง เมื่อพลังงานรังสีอาทิตย์ตกกระทบลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าน้อยกว่าพิกัดกำลังไฟฟ้าที่สภาวะการทดสอบมาตรฐาน เนื่องจากเป็นผลของอุณหภูมิและค่าความต้านทานภาระทางไฟฟ้า ดังนั้นจึงควรมีการคำนวณหาขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงต้องมีการเผื่อให้มีขนาดที่เหมาะสมโดยการคูณกับแฟกเตอร์ โดยจะรวมถึงประสิทธิภาพที่ลดลงเนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้ใช้งานที่สภาวะมาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 2 หาขนาดของมอเตอร์

ขนาดของมอเตอร์ที่เลือกนั้นต้องสามารถทนต่อแรงดันสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ พิกัดกำลังไฟฟ้าของชุดเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมากกว่าหรือเท่ากับพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของมอเตอร์

ขั้นตอนที่ 3 การหาขนาดของปั๊มสูบน้ำ

กำลังงานของการส่งน้ำหาได้จากกำลังไฟฟ้าสูงสุดของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับประสิทธิภาพกำลังสูงสุดของมอเตอร์ปั๊ม ดังสมการที่ 3.5

$$P_h = W_D \eta m \qquad (3.5)$$

เมื่อ P_h = กำลังงานในการส่งน้ำสูงสุด, (W)

W_D = กำลังไฟฟ้าสูงสุดของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์, (W)

ηm = ประสิทธิภาพทางกำลังสูงสุดของชุดมอเตอร์ปั๊ม

หลังจากนั้นก็ทำการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยใช้สมการความสัมพันธ์ของกำลังงานในการส่งน้ำกับอัตราการไหลของน้ำและระยะเฮด ดังสมการที่ 3.6

$$P_h = \frac{\rho g Q_D H}{3600} \qquad (3.6)$$

เมื่อ Q_D = อัตราการไหลของน้ำสูงสุด, (m^3/hr)

P_h = กำลังงานในการส่งน้ำสูงสุด, (W)

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ, (1000 kg/m^3)

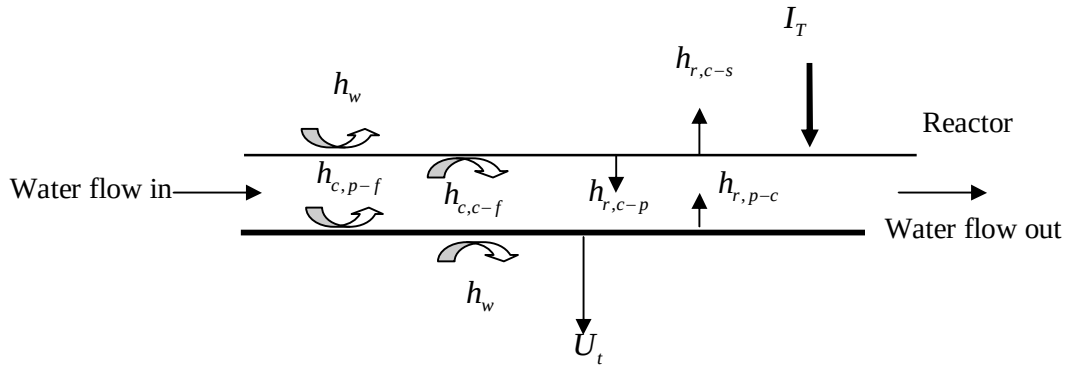
g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s^2)

H = ระยะเฮดรวม, (m)

ขั้นตอนที่ 4 หาขนาดของท่อ

คำนวณอัตราการไหลที่ได้แล้วนำไปหาขนาดของท่อโดยจะมีการกำหนดค่าของความสูญเสียเฮดในท่อต่อความยาวของท่อ (โดยทั่วไปจะสมมุติให้มีค่า 10% ของระยะเฮดสถิตย์)

3.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายระบบทำน้ำร้อน



รูปที่ 3.15 การสมดุลสมการความร้อนของรีแอคเตอร์

ความร้อนของกระจกด้านบนรีแอคเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลา Δt

= ความร้อนจากการพาความร้อนที่ได้จากน้ำในรีแอคเตอร์

+ ความร้อนจากการแผ่รังสีระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับกระจกด้านบนรีแอคเตอร์

+ ความร้อนที่สูญเสียไปจากการพาความร้อนเนื่องจากลม

+ ความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีให้กับท้องฟ้า
+ รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดไว้ด้วยแผ่นดูดกลืน

แทนค่าในแต่ละเทอมนำไปเขียนสมการได้ดังนี้

$$\rho_c \delta_c \Delta x W C_{c,p}\left(T_C + \frac{dT_c}{dt}\Delta t\right) - \rho_c \delta_c \Delta x W C_{c,p} T_c =$$

$$h_{c,f-c}\Delta x W\left(T_f - T_c\right)\Delta t + h_{r,p-c}\Delta x W\left(T_p - T_c\right)\Delta t$$
$$+h_w \Delta x W\left(T_{amb} - T_c\right)\Delta t + h_{r,c-s}\Delta x W\left(T_{sky} - T_c\right)\Delta t + \alpha_c I_T \Delta x W \Delta t \qquad (3.7)$$

นำมาจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$\rho_c \delta_c C_{p,c}\frac{dT_c}{dt} = h_{c,f-c}\left(T_f - T_c\right) + h_{r,p-c}\left(T_p - T_c\right) + h_w\left(T_{amb} - T_c\right) + h_{r,c-s}(T_{sky} - T_c) + \alpha_c I_T \qquad (3.8)$$

โดยที่

ρ_c คือ ความหนาแน่นของแผ่นปิดใส, kg/m^2
δ_c คือ ความหนาของแผ่นปิดใส, m
$C_{p,c}$ คือ ความจุความร้อนจำเพาะของแผ่นปิดใส, J/kg K
T_c คือ อุณหภูมิของแผ่นปิดใส, K
T_f คือ อุณหภูมิของน้ำภายในรีแอคเตอร์, K
T_p คือ อุณหภูมิของแผ่นดูดกลืนรังสี, K
T_{amb} คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, K
T_{sky} คือ อุณหภูมิท้องฟ้า, K
$h_{c,f-c}$ คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผ่นปิดใสกับน้ำในรีแอคเตอร์, W/m^2 K
$h_{r,p-c}$ คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับแผ่นปิดใส, W/m^2 K
$h_{r,c-s}$ คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างแผ่นปิดใสกับท้องฟ้า, W/m^2 K
h_w คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนเนื่องจากลม, W/m^2 K
α_c คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีของแผ่นปิดใส
I_T คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่เวลาใดๆ, W/m^2

สมการสมดุลพลังงานของอากาศภายในรีแอคเตอร์

จากสมการสมดุลพลังงาน $Q-\left(W_b+W_{other}\right)=\Delta U+\Delta KE+\Delta PE$ (3.9)

1. มีสมมุติฐานดังนี้
2. ระบบไม่มีการเคลื่อนที่
3. ระบบมีความดันคงที่
4. ไม่มีงานป้อนเข้าสู่ระบบ

จากสมมุติฐานนั้นสามารถนำมาจัดรูปสมการใหม่ได้ดังนี้

$$Q-W_b=\Delta U \tag{3.10}$$

$$Q=W_b+\Delta U=\Delta H=H_2-H_1=\dot{m}\left(h_2-h_1\right)=\dot{m}C_p\left(T_2-T_1\right) \tag{3.11}$$

โดยจะได้ความร้อนของอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลา Δt ในระยะ Δx

= ความร้อนที่ได้จากการพาความร้อนที่ได้จากแผ่นกระจกใส

+ ความร้อนจากการพาความร้อนที่ได้จากแผ่นดูดกลืนรังสี

แทนค่าในแต่ละเทอมโดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$DGW\left(C_{p,f}+C_{p,v}\right)\left[T_f+\frac{dT_f}{dx}\Delta x\Delta t\right]-DGW\left(C_{p,f}+C_{p,v}\right)T_f$$

$$=h_{c,c-f}\Delta xW\left(T_c-T_f\right)\Delta t+h_{c,p-f}\Delta W(T_p-T_f)\Delta t \tag{3.12}$$

โดยสมมุติฐานให้มวลของน้ำในอากาศมีค่าน้อยมาก ทำให้ $C_{p,v}\cong 0$

$$\dot{m}=DGW$$

สามารถนำมาจัดรูปสมการใหม่ได้ดังนี้

$$DGC_{p,f}\frac{dT_f}{dx}=h_{c,c-f}\left(T_c-T_f\right)+h_{c,p-f}\left(T_p-T_f\right) \tag{3.13}$$

โดยที่

D คือ ความหนาของอากาศภายในตัวทำอากาศร้อน, m

G คือ อัตราการไหลต่อพื้นที่ของอากาศภายในรีแอคเตอร์, kg/m^2 s

$C_{p,f}$ คือ ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศภายในรีแอคเตอร์, J/kg K

$h_{c,c-f}$ คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผ่นปิดใสกับน้ำในรีแอคเตอร์, W/m^2 K

$h_{c,p-f}$ คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับน้ำในรีแอคเตอร์, W/m^2 K

3.7.1 สมการสมดุลพลังงานของพื้นกระจกที่ดูดกลืนรังสี

ความร้อนของพื้นกระจกที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลา Δt

= ความร้อนจากการพาความร้อนไปสู่น้ำ

+ ความร้อนจากการแผ่รังสีระหว่างแผ่นปิดใสกับแผ่นดูดกลืนรังสี

+ ความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อนผ่านฉนวน

+ รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืน

แทนค่าแต่ละเทอมจะสามารถเขียนเป็นสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned}&\rho_p\delta_p\Delta xWC_{P,P}\left(T_p+\frac{dT_p}{dT}\Delta X\right)-\rho_p\delta_p\Delta xWC_{p,p}T_p\\&=h_{c,f-p}\Delta xW\left(T_f-T_p\right)\Delta t+h_{r,c-p}\Delta xW\left(T_c-T_p\right)\Delta t\\&+U_t\Delta xW\left(T_{amb}-T_p\right)\Delta t+\Delta xW\tau_c\alpha_pI_T\Delta t\end{aligned}\qquad(3.14)$$

จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$\rho_p\delta_pC_{p,p}\frac{dT_p}{dt}=h_{c,f-p}\left(T_f-T_p\right)+h_{r,c-p}\left(T_c-T_p\right)+U_t\left(T_{amb}-T_p\right)+\tau_c\alpha_pI_T\qquad(3.15)$$

โดยที่

ρ_p คือ ความหนาแน่นของแผ่นดูดกลืนรังสี, kg/m^2

δ_p คือ ความหนาของแผ่นดูดกลืนรังสี, m

$C_{p,p}$ คือ ความจุความร้อนจำเพาะของแผ่นดูดกลืนรังสี, J/kg K

$h_{c,f-p}$ คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับน้ำในรีแอคเตอร์, W/m^2 K

$h_{r,c-p}$ คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับแผ่นปิดใส, W/m^2 K

U_t คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนที่ฉนวนด้านล่าง, W/m^2 K

τ_c คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีของแผ่นปิดใส, W/m^2 K

α_p คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีของแผ่นดูดกลืนรังสี

- การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจากแผ่นปิดใสไปยังท้องฟ้าหาได้จากสมการ

$$h_{r,c-s}=\varepsilon_c\sigma\left(T_c^2+T_s^2\right)\left(T_c+T_s\right)\qquad(3.16)$$

โดยที่

ε_c คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของแผ่นปิดใส

σ คือ ค่าคงที่สเตฟานโบลต์มานน์ (Stefan-Boltzmann's constant)

โดยอุณหภูมิท้องฟ้าสามารถหาได้จาก $T_s = 0.552T_a^{1.5}$ (3.17)

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจากแผ่นดูดกลืนรังสีไปยังแผ่นปิดใสหาได้จาก

$$h_{r,p-c} = \frac{\sigma\left(T_p^2 + T_c^2\right)\left(T_p + T_c\right)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \tag{3.18}$$

โดยที่ ε_p คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของแผ่นดูดกลืน

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากแผ่นปิดใสไปยังอากาศแวดล้อม

$$h_w = 5.7 + 3.8V \tag{3.19}$$

โดยที่ V คือ ความเร็วลม, m/s

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากแผ่นปิดใสและแผ่นดูดกลืนรังสีไปยังน้ำภายในรีแอคเตอร์สำหรับแผ่นราบที่ด้านหนึ่งหุ้มฉนวนและอีกด้านหนึ่งมีอัตราความร้อนคงที่

$$Nu = Nu_\infty + \frac{a\left(\mathrm{Re}\,\mathrm{Pr}\,D_h / L\right)^m}{1 + b\left(\mathrm{Re}\,\mathrm{Pr}\,D_h / L\right)^n} \tag{3.20}$$

โดยค่าคงที่ a, b, m และ n ดูจากตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าคงที่ a, b, m และ n ที่ใช้ในสมการที่ 3.20

Pr	A	b	m	n
0.7	0.00190	0.00563	1.71	1.17
1.0	0.00041	0.00156	2.12	1.59
∞	0.00021	0.00060	2.24	1.77

*หมายเหตุ Nu_{∞} = 5.4

เมื่อ $$D_h = \frac{4WD}{2(W+D)} \tag{3.21}$$

เมื่อ Re คือ ค่า Reynolds number ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V D_h}{\mu} \tag{3.22}$$

โดยที่

D_h คือ ค่า hydraulic diameter, m

k คือ สภาพการนำความร้อนของอากาศ, W/m K

x คือ ระยะที่พิจารณา, m

W คือ ความกว้างของแผงรับรังสี, m

D คือ ความหนาของอากาศภายในตัวทำอากาศร้อน, m

V คือ ความเร็วของอากาศภายในตัวทำอากาศร้อน, m/s

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m^3

μ คือ Viscosity ของอากาศ, kg/ m s

สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านล่าง หาได้จากสมการ

$$U_b = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{X_{bi}}{k_{bi}} + \frac{1}{h_w}} \tag{3.23}$$

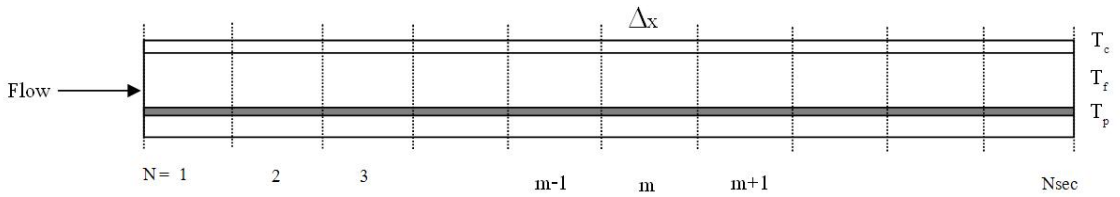
โดยที่

k_{bi} คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของฉนวน, W/m K

X_{pi} คือ ความหนาของแผ่นดูดกลืนรังสี, m

3.7.2 การหาผลเฉลยของสมการแบบจำลอง

การพิจารณาหาผลเฉลยของสมการที่ ด้วย Finite Difference Method โดยเริ่มพิจารณาการแบ่งตัวทำอากาศร้อนเป็นช่วงเล็กๆ ระยะห่างเท่ากับ Δx ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การแบ่งองค์ประกอบของตัวทำอากาศร้อนเป็นส่วนย่อย

จากสมการที่ (3.8) แก้สมการโดยใช้ Explicit Finite Different Method จะได้

$$\rho_c \delta_c C_{p,c} \frac{T_{c,m}^{i+1} - T_{c,m}^{i}}{\Delta t} = h_{c,f-c}\left(T_{f,m}^{i} - T_{c,m}^{i}\right) + h_{r,p-c}\left(T_{p,m}^{i} - T_{c,m}^{i}\right) + h_w\left(T_{a,m}^{i} - T_{c,m}^{i}\right) + h_{r,c-s}\left(T_{s,m}^{i} - T_{c,m}^{i}\right) + \alpha_c I_t^{i} \quad (3.24)$$

นำมาจัดรูปใหม่จะได้

$$T_{c,m}^{i+1} = \frac{\Delta t}{\rho_c \delta_c C_{p,c}}\left[\left(\frac{\rho_c \delta_c C_{p,c}}{\Delta t} - h_{c,f-c} - h_{r,p-c} - h_w - h_{r,c-s}\right)T_{c,m}^{i} + h_{c,c-f}T_{f,m}^{i} + h_{r,p-c}T_{p,m}^{i} + h_w T_{a.m}^{i} + h_{r,c-s}T_{s,m}^{i} + \alpha_c I_t^{i}\right] \quad (3.25)$$

จากสมการที่ (3.13) จะได้

พิจารณาที่ $\frac{dT_f}{dx}$ โดยใช้ Backward Difference คือ $y'_m = \frac{y_m - y_{m-1}}{h}$ (3.26)

โดย m คือ ตำแหน่งของ node ที่ m
h คือ ระยะห่างระหว่าง node

แก้สมการโดยใช้ Explicit Finite Different Method จะได้

$$DGC_{p,f}\frac{T^i_{f,m}-T^i_{f,m-1}}{\Delta x}=h_{c,c-f}\left(T^i_{c,m}-T^i_{f,m}\right)+h_{c,p-f}\left(T^i_{p,m}-T^i_{f,m}\right) \quad (3.27)$$

จัดรูปใหม่จะได้

$$T^i_{f,m}=\frac{1}{\left(\frac{DGC_{p,f}}{\Delta x}\right)}\left(\frac{DGC_{p,f}}{\Delta x}T^i_{f,m-1}+h_{c,c-f}T^i_{c,m}+h_{c,p-f}T^i_{p,m}\right) \quad (3.28)$$

จากสมการที่ (3.15) แก้สมการโดยใช้ Explicit Finite Different Method จะได้

$$\rho_p\delta_pC_{p,p}\frac{T^{i+1}_{p,m}-T^i_{p,m}}{\Delta t}=h_{c,f-p}\left(T^i_{f,m}-T^i_{p,m}\right)+h_{r,c-p}\left(T^i_{c,m}-T^i_{p,m}\right)+U_b\left(T^i_{a,m}-T^i_{b,m}\right)+\tau_c\alpha_pI^i_T \quad (3.29)$$

จัดรูปใหม่จะได้

$$T^{i+1}_{p,m}=\frac{\Delta t}{\rho_p\delta_pC_{p,p}}\left[\begin{array}{l}\left(\frac{\rho_p\delta_pC_{p,p}}{\Delta t}-h_{c,f-p}-h_{r,c-p}-U_b\right)T^i_{p,m}+h_{c,f-p}T^i_{f,m}\\+h_{r,c-p}T^i_{c,m}+U_bT^i_{a.m}+\tau_c\alpha_pI^i_t\end{array}\right] \quad (3.30)$$

จากสมการที่ (3.24), (3.27) และ (3.29) จะสามารถหาผลเฉลยของสมการได้แก่ ค่า T_c, T_f และ T_p ที่เวลา i+1 ในช่วงความยาวใดๆ ได้ เงื่อนไขตั้งต้นในการคำนวณ คือ ที่เวลาเริ่มต้น t=0 กำหนดให้แต่ละส่วนมีอุณหภูมิเท่ากับอากาศแวดล้อมและอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ตัวทำอากาศร้อนกับอุณหภูมิในตำแหน่ง N=1 มีค่าเท่ากัน