

บทที่ 4 ผลการทดลอง

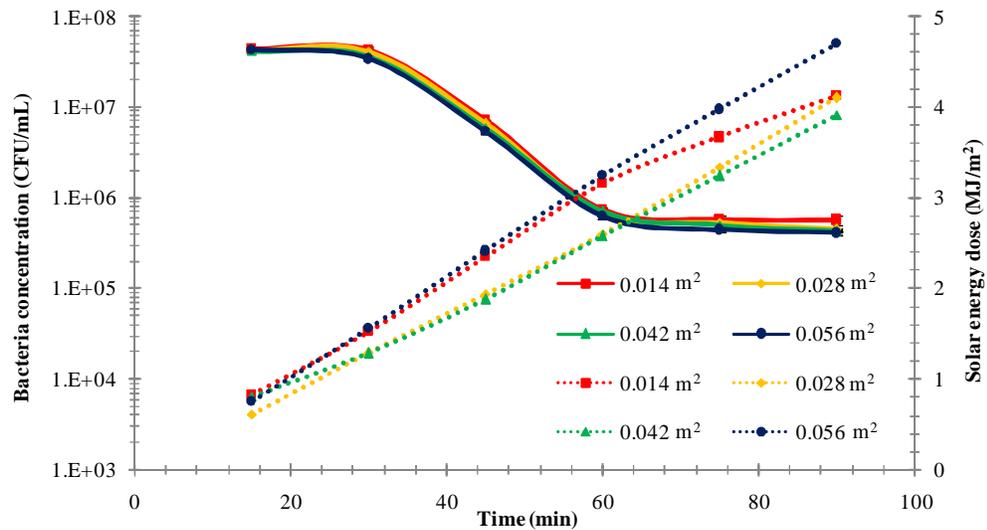
การทดลองการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียนี้ได้นำพลังงานรังสีอาทิตย์มาใช้ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย โดยได้แบ่งการวิเคราะห์หาวิธีที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุด โดยได้ประยุกต์ใช้พื้นที่สีดำในการดูดกลืนพลังงานรังสีอาทิตย์และ TiO_2 เพื่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลซิส การออกแบบการทดลองนั้นได้ออกแบบเป็นระบบการไหล ดังนั้นการทดลองนี้จึงได้ออกแบบการเติมอากาศให้กับน้ำเพื่อที่จะนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย การทดลองนี้ยังได้ทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำไปวิเคราะห์อุณหภูมิน้ำที่รีแอกเตอร์สามารถทำได้ เพื่อที่จะใช้ทำนายถึงอุณหภูมิที่ได้จากค่ารังสีอาทิตย์หรือขนาดของรีแอกเตอร์ที่แตกต่างกัน

4.1 การทดลองการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์

การทดลองนี้ได้ทำการแบ่งการวิเคราะห์ถึงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียออกเป็นหลายปัจจัยเพื่อจะได้นำผลการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดไปประยุกต์และการออกแบบสำหรับการสร้างอุปกรณ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย โดยการทดลองได้ทำการแยกวิเคราะห์ถึงค่าปริมาณพลังงานรังสีอาทิตย์และพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมที่พื้นที่ที่มีความแตกต่างและได้แยกทำการทดลองและวิเคราะห์ดังหัวข้อดังต่อไปนี้ โดยความเข้มข้นของแบคทีเรียในการทดลองนั้นมีค่าประมาณ 4.7×10^7 CFU/mL เพื่อทดลองตามเงื่อนไขต่างๆเป็นเวลา 90 นาที

4.1.1 ค่าปริมาณพลังงานรังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

การทดลองนี้ได้ทำการวัดค่ารังสีอาทิตย์ในหน่วยของ W/m^2 ภายในระยะเวลา 90 นาที และได้ทำการเปลี่ยนแปลงเป็นค่าปริมาณของรังสีอาทิตย์ได้ในช่วงเวลานั้นๆ ให้เป็น MJ/m^2 เพื่อที่จะได้ทราบถึงพลังงานรังสีอาทิตย์ที่บนรีแอกเตอร์ที่มีพื้นที่ต่างกัน ได้รับ เพื่อนำค่าพลังงานงานรังสีอาทิตย์ที่รีแอกเตอร์ได้รับไปวิเคราะห์ถึงการยับยั้งของเชื้อแบคทีเรีย



รูปที่ 4.1 ผลกระทบของพลังงานรังสีอาทิตย์ (เส้นประ) ต่อเชื้อแบคทีเรียที่ลดลง (เส้นทึบ)

จากการทดลองดังรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่ารีแอกเตอร์ที่มีพื้นผิวรับแสงขนาด 0.056 m^2 ได้รับปริมาณพลังงานรังสีอาทิตย์สูงสุดถึง 4.8 MJ/m^2 แต่การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าเชื้อแบคทีเรียลดลงเท่าๆ กับการทดลองอื่นๆ โดยขณะที่รีแอกเตอร์ที่มีพื้นผิวรับแสงขนาด 0.014 m^2 , 0.028 m^2 , 0.042 m^2 ได้รับปริมาณพลังงานรังสีอาทิตย์ประมาณ 4 MJ/m^2 แต่จากผลทดลองของทั้ง 4 กรณีนั้นไม่มีความแตกต่างของการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย โดยทั้ง 4 กรณีนั้นสามารถลดเชื้อแบคทีเรียได้ $2 \log \text{ CFU}$ เท่าๆ กัน ดังนั้นการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ที่รับพลังงานรังสีอาทิตย์มากกว่านั้นไม่สามารถลดเชื้อแบคทีเรียได้มากกว่า ซึ่งจากผลแสดงนี้นำไปวิเคราะห์ได้ว่าค่าพลังงานรังสีอาทิตย์เล็กน้อยนั้นก็เพียงพอต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในระบบการไหล ดังนั้นการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ผิวรีแอกเตอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ได้รับพลังงานรังสีอาทิตย์ไม่สามารถลดความเข้มข้นของแบคทีเรียได้ดีกว่าพื้นที่ผิวรีแอกเตอร์ที่มีขนาดเล็กกว่า จากผลการทดลองได้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เหตุผลแรกแสดงให้เห็นว่าจำนวนของโฟตอนเพียงเล็กน้อยก็สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้และอีกเหตุผลหนึ่งคือจำนวนโฟตอนที่มากกว่าไม่สามารถยับยั้งของเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าเนื่องจากการทดลองได้รับพลังงานรังสีอาทิตย์ไม่ต่อเนื่องในระบบการไหล ดังนั้นการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ที่มากกว่าเล็กน้อยไม่ได้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้มากกว่าในระบบการไหล ดังนั้นพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ $3.8 - 4.8 \text{ MJ/m}^2$ ระยะเวลา 90 นาทีที่ส่องแสงลงบนพื้นที่ 0.014 m^2 ไปจนถึง 0.056 m^2 นั้นสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้เท่าๆ กันที่ $2 \log \text{ CFU}$ เมื่อนำผลที่ได้นี้มาวิเคราะห์ถึงค่าพลังงานรังสีสะสมที่มีค่ามากกว่าแต่สามารถยับยั้งเชื้อได้เท่าๆ กัน ก็อาจเกิดจากพลังงานไม่สูงมากพอที่จะสามารถลด

ความเข้มข้นของแบคทีเรียมากกว่านี้ หรืออาจเกิดจากความเข้มข้นของแบคทีเรียในช่วงเริ่มต้นมีค่าสูงไป ทำให้พลังงานสะสมที่สูงกว่ายับยั้งเชื้อได้เท่ากับพลังงานที่น้อยกว่า

4.1.2 ค่าพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

ผลการทดลองของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยค่าพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมที่แตกต่างกัน โดยค่าพลังงานรังสีอาทิตย์ถูกวัดในหน่วยของค่าพลังงานรังสีอาทิตย์ต่อพื้นที่ผิว (W/m^2) และได้เปลี่ยนเป็นพื้นที่ผิวรีแอกเตอร์ที่ได้รับปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ (J/m^2) และพลังงานรังสีอาทิตย์ที่สะสมต่อหน่วย (kJ/L) ดังสมการที่ 4.1

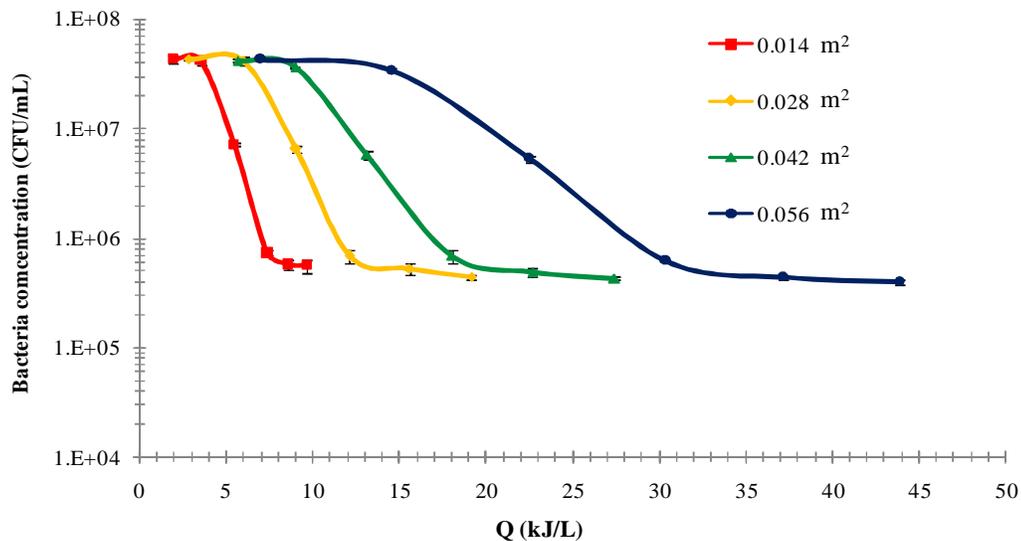
$$Q_n = \sum_n Q_{n-1} \cdot \frac{A}{Vt} \cdot \Delta t_n \quad (4.1)$$

Q_{n-1} และ Q_n คือ พลังงานรังสีอาทิตย์สะสมที่ได้รับ

Δt_n คือ ระยะเวลาระหว่างช่วงเวลาการทดลอง

A คือ พื้นที่ของพื้นที่ผิวที่รับรังสีอาทิตย์

Vt คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง

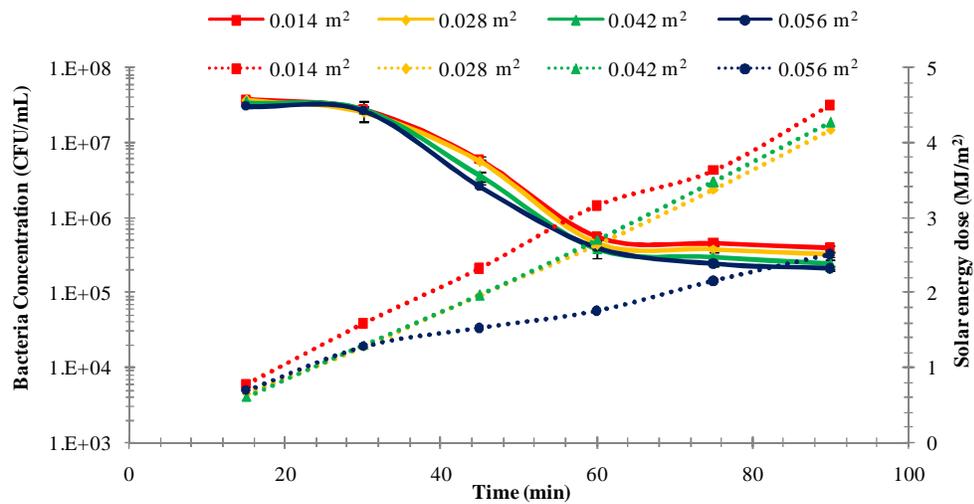


รูปที่ 4.2 ผลกระทบของพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมต่อเชื้อแบคทีเรีย

การผลการทดลองของพื้นที่ผิวรีแอกเตอร์ที่รับพลังงานรังสีอาทิตย์ทั้ง 4 กรณี ดังรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ที่เล็กกว่านั้นใช้พลังงานสะสมน้อยกว่าในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย การทดลองของรีแอกเตอร์พื้นผิวขนาด 0.014 m^2 สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ 2 logs CFU โดยรับพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมเพียง 10 kJ/L ขณะที่การทดลองรีแอกเตอร์พื้นที่รับรังสีขนาด 0.028 m^2 , 0.042 m^2 , 0.056 m^2 นั้นได้รับปริมาณรังสีอาทิตย์สะสมที่มากกว่าที่ 20 kJ/L , 28 kJ/L , 45 kJ/L ตามลำดับจะสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้เพียง 2 log CFU เท่านั้น ซึ่งสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้เท่าๆกัน ดังนั้นพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมที่ 10 kJ/L ก็เพียงพอต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ 2 logs CFU เพราะการทดลองนี้เป็นการทดลองที่มีระบบของการไหลในระบบ ซึ่งทำให้เชื้อแบคทีเรียได้รับรังสีอาทิตย์ที่ไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นเชื้อแบคทีเรียจะฟื้นในช่วงเวลาที่ไม่ได้รับรังสีอาทิตย์ ดังนั้นการทดลองนี้ได้นำไปสู่การออกแบบของรางรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลา และรีแอกเตอร์ที่มีขนาดเล็กกว่ามีประสิทธิภาพมากกว่าที่จะนำมาออกแบบระบบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ในราคาประหยัด ดังนั้นจากการทดลองนี้ทำให้เห็นว่าพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมเพียง 10 kJ/L นั้นก็สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ 2 logs CFU และพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมระหว่าง $10\text{-}45 \text{ kJ/L}$ ก็นั้นเป็นพลังงานที่เกินความจำเป็นสำหรับการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ 2 logs CFU ซึ่งผลการทดลองนี้ก็สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้ทำการทดลองกับระบบการไหลซึ่งก็พบว่าพื้นที่ที่เล็กกว่าจะมีประสิทธิภาพดีกว่าในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย [18, 19, 22]

4.1.3 ค่าปริมาณพลังงานรังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพื้นที่สีดำ

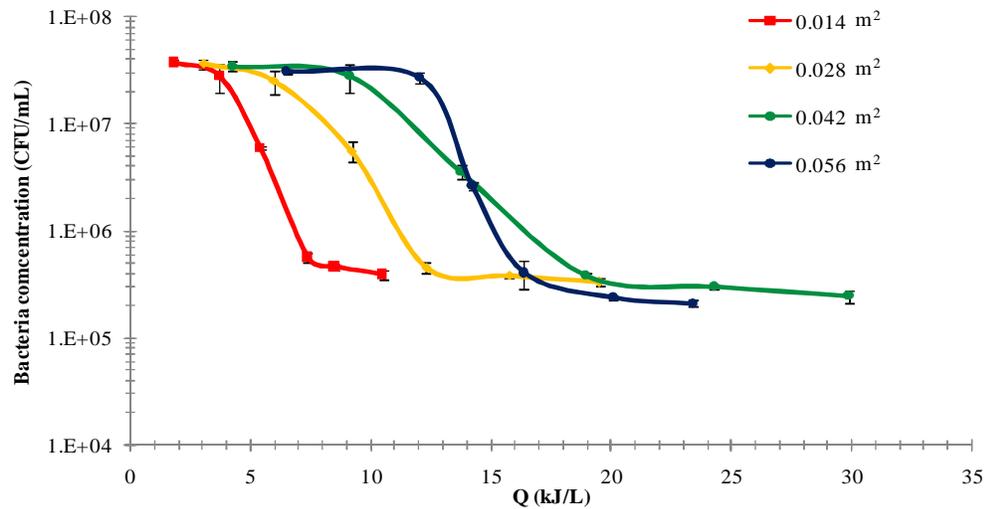
ในการทดลองนี้พื้นผิวสีดำได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการดูดซับ โฟตอนจากพลังงานรังสีอาทิตย์ เนื่องจากสีดำมีสมบัติไม่สะท้อนแสง โดยทุกกรณีของการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการยับยั้งแบคทีเรียลดลงแตกต่างกันเล็กน้อยใน 90 นาที ซึ่งการทดลองนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าพลังงานรังสีอาทิตย์ที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ในพื้นที่สีดำ



รูปที่ 4.3 ผลกระทบของพลังงานรังสีอาทิตย์ (เส้นประ) บนพื้นผิวดำต่อเชื้อแบคทีเรีย (เส้นทึบ)

จากรูปที่ 4.3 การทดลองที่รีแอกเตอร์พื้นผิวดำขนาด 0.056 m^2 ซึ่งมีพื้นที่มากที่สุดในการรับรังสีอาทิตย์ แต่การทดลองนี้ได้รับปริมาณพลังงานรังสีอาทิตย์เพียง 2.5 MJ/m^2 ใน 90 นาที ซึ่งสามารถลดเชื้อแบคทีเรียลง 2 logs CFU ซึ่งยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้มากที่สุด แต่รีแอกเตอร์พื้นผิวดำที่มีขนาด 0.014 m^2 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่น้อยที่สุดได้รับปริมาณพลังงานรังสีอาทิตย์สูงสุดถึง 4.5 MJ/m^2 ใน 90 นาที สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้น้อยที่สุด การทดลองนี้ทำให้เห็นว่าพื้นที่ที่เล็กกว่าก็สามารถดูดซับโฟตอนได้น้อยกว่าในการทำลายเซลล์แบคทีเรีย ส่วนรีแอกเตอร์พื้นผิวดำขนาด 0.042 m^2 และ 0.028 m^2 ได้รับปริมาณพลังงานรังสีอาทิตย์ใกล้เคียงกันที่ 4.4 MJ/m^2 แต่ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่กว่าในการรับพลังงานรังสีอาทิตย์สามารถยับยั้งเชื้อได้มากกว่าเล็กน้อย ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของพื้นผิวดำของรีแอกเตอร์มีประสิทธิภาพมากขึ้นเล็กน้อยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย การทดลองนี้ได้พิสูจน์ให้เห็นว่าพื้นผิวดำของรีแอกเตอร์มีผลต่อการดูดซับโฟตอนเพื่อเข้ามาทำลายเซลล์แบคทีเรีย ดังนั้นรีแอกเตอร์พื้นผิวดำสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ ซึ่งการทดลองนี้ทำให้เห็นว่าพลังงานรังสีอาทิตย์ที่มีค่าตั้งแต่ $2.5\text{-}4.4 \text{ MJ/m}^2$ ในระยะเวลา 90 นาทีนั้นสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้แตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งจะแตกต่างการยับยั้งแบคทีเรียด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์กับรีแอกเตอร์ที่ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้เท่าๆกัน ซึ่งการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียนี้เกิดจากพื้นผิวดำที่สามารถดูดพลังงานรังสีอาทิตย์มายับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

4.1.4 ค่าพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่รีแอกเตอร์มีพื้นผิวสีดำ การทดลองนี้ได้ทำการเปลี่ยนค่าพลังงานรังสีอาทิตย์ที่วัดได้เปลี่ยนเป็นพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมที่เกิดในรีแอกเตอร์สีดำที่มีพื้นที่รับพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ต่างกัน โดยนำพลังงานรังสีอาทิตย์ไปคำนวณจากสมการที่ 4.1 เพื่อนำไปวิเคราะห์ถึงพลังงานสะสมที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียลงได้



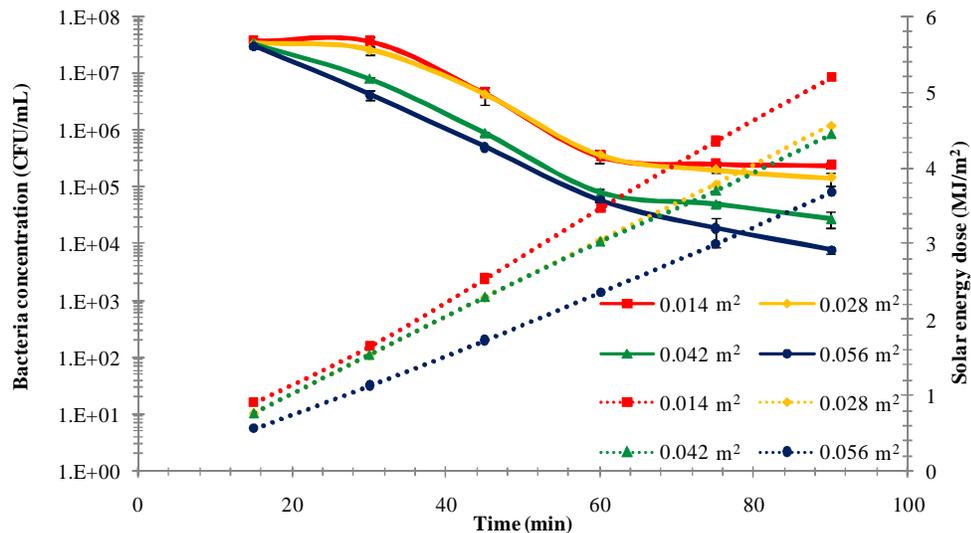
รูปที่ 4.4 ผลกระทบของพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมบนพื้นผิวสีดำต่อเชื้อแบคทีเรีย

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่ารีแอกเตอร์พื้นผิวดำขนาด 0.014 m^2 มีประสิทธิภาพสูงสุดในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เนื่องจากสามารถลดความเข้มข้นของแบคทีเรียได้เกือบ 2 logs CFU โดยรับพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมเพียง 11 kJ/L เท่านั้น ในขณะที่ของรีแอกเตอร์พื้นผิวดำขนาด 0.028 m^2 ได้รับแสงจากพลังงานรังสีอาทิตย์ที่สะสมถึง 14 kJ/L ถึงสามารถลดความเข้มข้นของแบคทีเรียเกือบ 2 logs CFU นอกจากนี้รีแอกเตอร์พื้นผิวดำขนาด 0.042 m^2 ได้รับพลังงานรังสีอาทิตย์สะสม 20 kJ/L ถึงสามารถลดเชื้อแบคทีเรียลงได้ 2 logs CFU จากการทดลองทั้ง 3 กรณีนี้แสดงให้เห็นว่ารีแอกเตอร์พื้นผิวดำที่มีพื้นที่มากกว่าจะต้องการพลังงานรังสีอาทิตย์ที่สะสมมากขึ้นในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียลง 2 logs CFU แต่อย่างไรก็ตาม รีแอกเตอร์พื้นผิวดำขนาด 0.056 m^2 สามารถลดความเข้มข้นของแบคทีเรียได้ 2 logs CFU โดยพลังงานแสงอาทิตย์สะสมเพียง 16 kJ/L ซึ่งรับพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมน้อยกว่ารีแอกเตอร์พื้นผิวดำขนาด 0.042 m^2 ที่ลดความเข้มข้นของแบคทีเรียได้ 2 logs CFU นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่ารีแอกเตอร์พื้นผิวดำขนาด 0.056 m^2 และมีประสิทธิภาพสูงสุดที่จะลดความเข้มข้นของเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในระบบของการไหล นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า ขนาดพื้นผิวดำรีแอกเตอร์ที่มากกว่ากับการรับพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมต่ำกว่าจะ

มีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของแบคทีเรียมากขึ้นในระบบการไหลต่อเนื่อง การทดลองนี้ทำให้เห็นการลดลงของเชื้อแบคทีเรียด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมที่มีปริมาณแตกต่างกัน และการทดลองยังทำให้เห็นว่าค่าพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมน้อยกว่าก็สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ดีกว่า ซึ่งก็สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่แสดงให้เป็นที่ที่เล็กกว่าสามารถยับยั้งได้ดีกว่า [18, 19, 22]

4.1.5 ค่าปริมาณพลังงานรังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพื้นที่ผิวเคลือบ TiO_2

การทดลองนี้ได้ประยุกต์ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ TiO_2 เพื่อพิสูจน์ให้เห็นว่าสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้เมื่อได้รับพลังงานรังสีอาทิตย์สำหรับการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียลงได้ซึ่งเรียกว่าการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลซิส [19, 20]



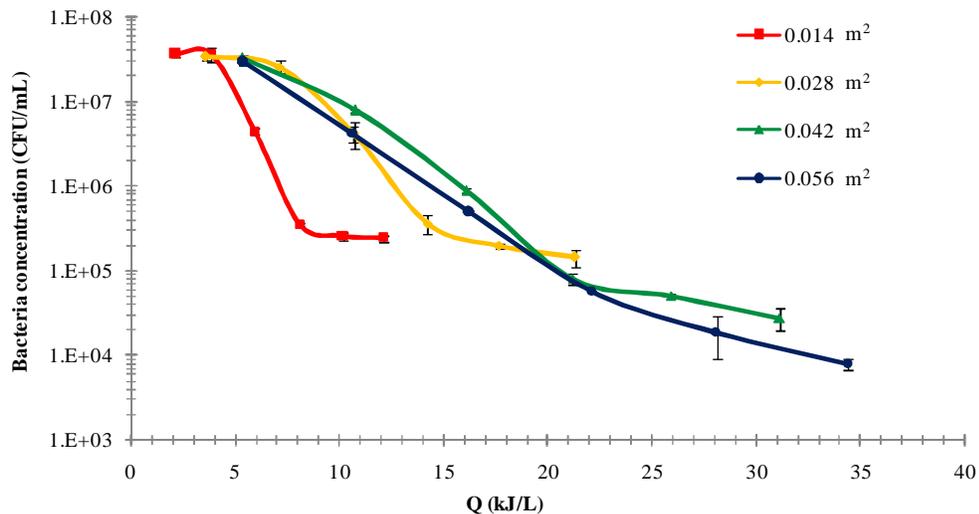
รูปที่ 4.5 ผลกระทบของพลังงานรังสีอาทิตย์ (เส้นประ) บนพื้นเคลือบ TiO_2 ต่อเชื้อแบคทีเรีย (เส้นทึบ)

การทดลองนี้ได้ออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยการเพิ่มพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ของ TiO_2 ในรีแอกเตอร์ ผลการศึกษาพบว่ารีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO_2 ขนาด 0.056 m^2 ได้รับพลังงานรังสีอาทิตย์ในระดับต่ำสุดเพียง 3.6 MJ/m^2 แต่การทดลองนี้มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียลงเกือบ 4 logs CFU เนื่องจากการทดลองนี้มีพื้นที่มากที่สุดในการรับโฟตอนมาทำลายแบคทีเรีย ในขณะที่รีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO_2 ขนาด 0.014 m^2 สามารถลดเชื้อแบคทีเรียลงได้ 2 logs CFU โดยที่รับปริมาณพลังงานรังสีอาทิตย์สูงสุด 5.2 MJ/m^2 ใน 90 นาที แต่การทดลองนี้ทำให้เห็นว่าพื้นที่ที่เล็กกว่าจะรับโฟตอนได้น้อยในการทำลายเซลล์แบคทีเรีย นอกจากนี้รีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบด้วย TiO_2 ขนาด 0.028 m^2 ได้รับพลังงานรังสีอาทิตย์ 4.5 MJ/m^2 ซึ่งมากกว่ารีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO_2 ขนาด

0.042 m² ซึ่งได้รับปริมาณพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ 4.3 MJ/m² แต่การทดลองแสดงให้เห็นรีแอกเตอร์ที่มีพื้นที่ผิวมากกว่าในการรับพลังงานรังสีอาทิตย์สามารถรับโฟตอนมาทำลายเซลล์แบคทีเรียได้ดีกว่า ดังรูปที่ 4.5 ดังนั้นพื้นผิวรีแอกเตอร์ที่เคลือบด้วย TiO₂ นั้นการเพิ่มขึ้นของพื้นที่รับพลังงานรังสีอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นสำหรับการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ดังนั้นการเพิ่มพื้นที่รับแสงด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลซิสนั้นจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในระบบการไหล ซึ่งผลการทดลองนี้ก็สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ว่าการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลซิสมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อได้รับพลังงานรังสีอาทิตย์มากขึ้น [20]

4.1.6 พลังงานรังสีอาทิตย์สะสมที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่เคลือบ TiO₂

การทดลองนี้ได้ทำการเปลี่ยนค่าพลังงานรังสีอาทิตย์ที่วัดได้ให้เป็นพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมที่เกิดในแฉะรีแอกเตอร์เพื่อวิเคราะห์ถึงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลซิส โดยการทดลองนี้ได้ใช้เวลา 90 นาที



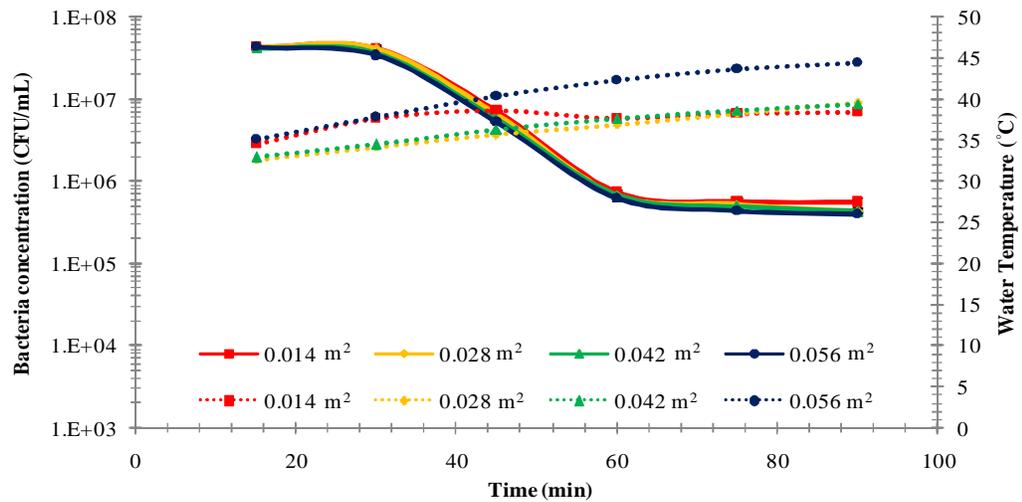
รูปที่ 4.6 ผลกระทบของพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมบนพื้นผิวเคลือบ TiO₂ ต่อเชื้อแบคทีเรีย

รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นรีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO₂ ขนาด 0.014 m² ได้รับพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมเพียง 12 kJ/L ก็สามารถลดความเข้มข้นของเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุดที่ 2 logs CFU การทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงจำนวนพื้นที่ที่น้อยที่สุดของการรับพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมที่มีปริมาณน้อยที่สามารถลดแบคทีเรียลงได้ แต่ก็ไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียลงได้มากกว่า 2 logs CFU ในขณะที่รีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบด้วย

TiO₂ ขนาด 0.028 m² ได้รับจากพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมสูงถึง 22 kJ/L ซึ่งมีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียมากกว่ารีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO₂ ขนาด 0.014 m² มากขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นผลการทดลองนี้แสดงถึงจำนวนโฟตอนที่ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย แต่การทดลองรีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO₂ ขนาด 0.042 m² สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียลงได้ 3 logs CFU ซึ่งได้รับพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมที่ 32 kJ/L ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่ารีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO₂ ขนาด 0.042 m² มีประสิทธิภาพในลดเชื้อแบคทีเรียมากขึ้นซึ่งสามารถลดเชื้อแบคทีเรียลงได้มากกว่ารีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO₂ ขนาด 0.028 m² และ 0.014 m² ตามลำดับ แตรรีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO₂ ขนาด 0.056 m² มีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของแบคทีเรียมากที่สุดจากการรับพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมที่ 35 kJ/L การทดลองนี้แสดงให้เห็นพื้นผิวรีแอกเตอร์ที่มากกว่าในรับโฟตอนที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลซิสได้ดีกว่าในระบบการไหล การทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่ารีแอกเตอร์ที่พื้นผิวเคลือบ TiO₂ ขนาด 0.056 m² ยังสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่ารีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO₂ ขนาด 0.042 m² เนื่องรีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO₂ ขนาด 0.056 m² สามารถรับโฟตอนมาทำลายเซลล์แบคทีเรียได้ด้วยความเข้มของพลังงานรังสีอาทิตย์ต่ำ ดังนั้นการทดลองนี้ได้นำไปสู่การออกแบบการยับยั้งเชื้อด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลซิสในระบบการไหลถึงพื้นที่ของการรับพลังงานรังสีอาทิตย์ ดังนั้นการรับพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมที่สูงกว่าก็จะสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้มากกว่า ซึ่งผลการทดลองก็สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ได้ทดลองถึงความเข้มรังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการยับยั้งแบคทีเรีย [20]

4.1.7 อุณหภูมิน้ำที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์

การทดลองนี้ได้วัดอุณหภูมิของน้ำในรีแอกเตอร์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจากปริมาณพลังงานรังสีอาทิตย์บนรีแอกเตอร์ โดยมีพื้นที่รับพลังงานรังสีอาทิตย์ที่แตกต่างกันเพื่อนำไปวิเคราะห์ถึงอุณหภูมิที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

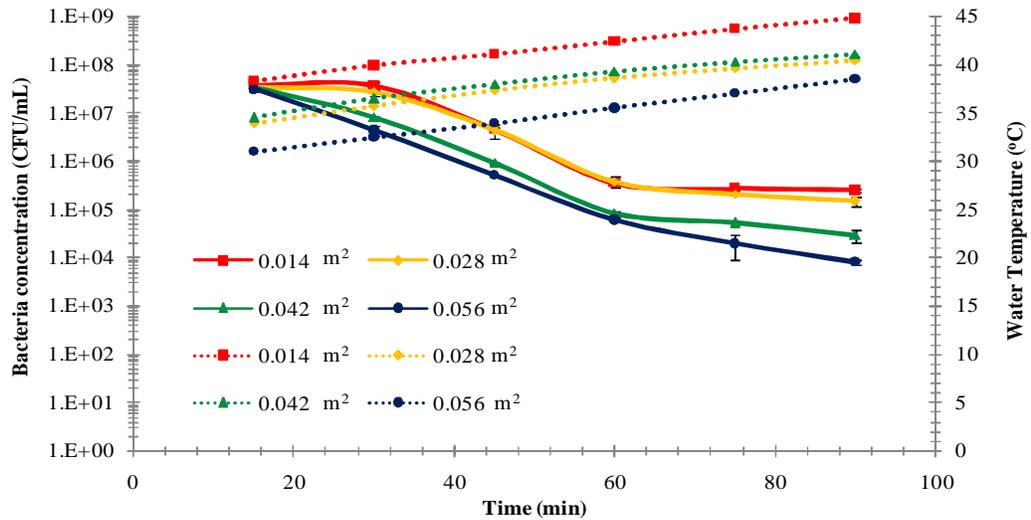


รูปที่ 4.7 ผลกระทบของอุณหภูมิน้ำโดยพลังงานรังสีอาทิคัล (เส้นประ) ต่อเชื้อแบคทีเรีย (เส้นทึบ)

ผลการทดลองในรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิน้ำที่สูงขึ้นจากการรับพลังงานรังสีอาทิคัล อุณหภูมิน้ำในการทดลองของรีแอกเตอร์ที่พื้นผิวขนาด 0.056 m^2 เพิ่มขึ้นสูงถึง 45°C เนื่องจากการทดลองนี้มีพื้นที่มากในการรับรังสีอาทิคัลมากที่สุด แต่การทดลองนี้ก็ไม่ได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ในขณะที่อุณหภูมิของน้ำในรีแอกเตอร์พื้นผิวขนาด 0.014 m^2 , 0.028 m^2 , 0.042 m^2 เพิ่มขึ้นที่ประมาณ 39°C แต่ผลการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียลดลงเท่ากันเกือบทุกกรณี ดังนั้นการทดลองที่พิสูจน์ให้เห็นว่าอุณหภูมิของน้ำไม่เกิน 45°C ไม่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียซึ่งก็สอดคล้อง อำนวยการก่อนหน้านี้ที่แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 45°C ไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย [23] ดังนั้นการออกแบบรีแอกเตอร์และรวบรวมแสงรูปประกอบพาราโบลาให้สามารถทำอุณหภูมิได้เกิน 45°C เพื่อนำไปยับยั้งเชื้อแบคทีเรียลงได้ และนำมาวิเคราะห์ถึงพลังงานรังสีอาทิคัลและความร้อนที่ได้ที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียลงได้

4.1.8 ค่าอุณหภูมิที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลติก

การทดลองนี้ได้พิจารณาถึงผลกระทบของอุณหภูมิน้ำต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยการเพิ่ม TiO_2 การทดลองได้มีการทดสอบจำนวนพื้นผิวรีแอกเตอร์ที่รับพลังงานรังสีอาทิคัลที่แตกต่างกัน โดยการวัดอุณหภูมิของน้ำ

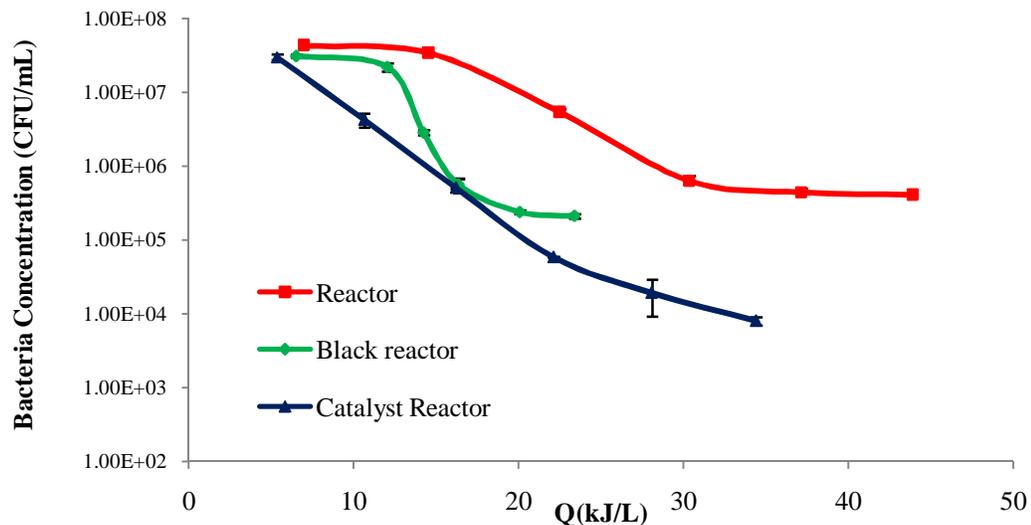


รูปที่ 4.8 ผลกระทบของอุณหภูมิน้ำด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลซิสต่อเชื้อแบคทีเรีย

ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.8 พบว่าอุณหภูมิน้ำในรีแอกเตอร์ที่มีพื้นผิวเคลือบ TiO_2 ขนาด 0.014 m^2 ได้เพิ่มขึ้นสูงถึง 45°C แต่การทดลองนี้สามารถยับยั้งความเข้มข้นของแบคทีเรียเพียง 2 logs CFU เพราะว่าการทดลองนี้มีพื้นผิวรีแอกเตอร์น้อยที่สุดในการรับพลังงานรังสีอาทิตย์ นอกจากนี้อุณหภูมิของน้ำในรีแอกเตอร์ที่มีพื้นผิวเคลือบ TiO_2 ขนาด 0.028 m^2 และ 0.042 m^2 เพิ่มขึ้นเกือบเท่าๆกันที่ประมาณ 40°C แต่รีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO_2 ขนาด 0.042 m^2 จะมีประสิทธิภาพมากกว่าในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ดังนั้นอุณหภูมิของน้ำที่ไม่เกิน 45°C ไม่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในกระบวนการโฟโตแคตาไลซิส นอกจากนี้เหตุผลที่จะสนับสนุนอีกอย่างก็คือการที่อุณหภูมิน้ำในรีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO_2 ขนาด 0.056 m^2 เพิ่มขึ้นถึง 37°C จากความเข้มพลังงานรังสีอาทิตย์ต่ำที่สุด แต่การทดลองนี้มีผลต่อการยับยั้งเชื้อมากที่สุดด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลซิส ดังนั้นอุณหภูมิน้ำที่ไม่เกิน 45°C ก็กับการเพิ่มของ TiO_2 ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียดังรูปที่ 4.8 ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่อุณหภูมิที่สูงเกินไม่เกิน $40\text{-}45^\circ\text{C}$ นั้นไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียลงได้ [23] ดังนั้นการออกแบบรีแอกเตอร์สำหรับการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียนั้นควรมีขนาดที่สามารถรับพลังงานรังสีอาทิตย์ที่สามารถทำให้อุณหภูมิสูงเกิน 45°C เพื่อศึกษาถึงอุณหภูมิน้ำที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียร่วมกับกระบวนการโฟโตแคตาไลซิส

4.1.9 การเปรียบเทียบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมกับรีแอกเตอร์ 3 ชนิด

การทดลองเป็นการเปรียบเทียบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยได้นำพลังงานรังสีอาทิตย์สะสมบนรีแอกเตอร์ทั้ง 3 ชนิดมาวิเคราะห์คุณสมบัติบนพื้นผิวรีแอกเตอร์ที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เพื่อนำไปออกแบบระบบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

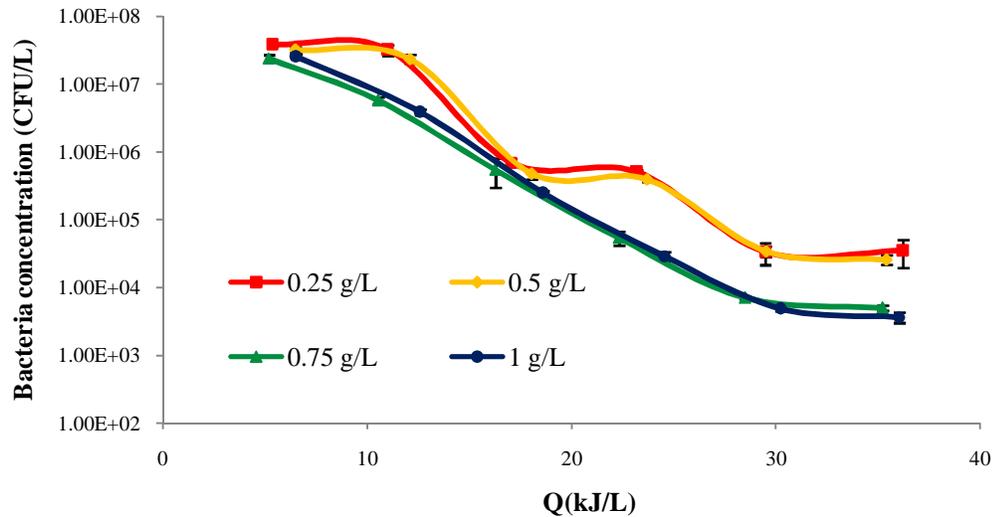


รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยรีแอกเตอร์ทั้ง 3 ชนิด

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.9 ของรีแอกเตอร์ทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นการทดลองที่ 4 รีแอกเตอร์เพื่อรับพลังงานรังสีอาทิตย์จากการทดลองทำให้เห็นวารีแอกเตอร์ที่เคลือบ TiO_2 นั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียลงได้ที่เกือบ 4 logs พลังงานรังสีอาทิตย์สะสม 35 kJ/L ขณะที่รีแอกเตอร์พื้นผิวสีดำสามารถลดเชื้อแบคทีเรียลงได้ 2 logs โดยใช้พลังงานรังสีอาทิตย์สะสมที่ 25 kJ/L ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียกว่ารีแอกเตอร์ที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียลงได้เกือบ 2 logs ที่พลังงานรังสีอาทิตย์สะสม 45 kJ/L จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่ารีแอกเตอร์ที่เคลือบพื้นผิวด้วย TiO_2 นั้นสามารถจะสามารถยับยั้งเชื้อได้มากที่สุดตั้งแต่เริ่มได้รับค่าพลังงานรังสีอาทิตย์สะสม ซึ่งก็เหมือนกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ทดลองให้เห็นว่าพลังงานรังสีอาทิตย์กับการผสม TiO_2 นั้นมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อมากกว่าพลังงานรังสีอาทิตย์เพียงอย่างเดียว [20, 24] การทดลองนี้ยังทำให้เห็นว่าพื้นที่ผิวเคลือบสีดำนั้นสามารถนำมาประยุกต์เพื่อใช้ในการดูดซับ โฟตอนในการยับยั้งแบคทีเรียด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์

4.1.10 ความเข้มข้น TiO_2 ต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์สะสม

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพความเข้มข้นของ TiO_2 ต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย โดยการทดลองนี้ได้ผสมความเข้มข้นของ TiO_2 ลงไปที่ปริมาณ 0.25 g/L, 0.5 g/L, 0.75 g/L, 1 g/L โดยทำการทดลองทั้ง 4 รีแอกเตอร์กับการรับพลังงานรังสีอาทิตย์สะสม



รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นของ TiO_2 ต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.10 ทำให้เห็นว่าความเข้มข้นของ TiO_2 ปริมาณ 0.25 g/L และ 0.5 g/L นั้นสามารถลดเชื้อแบคทีเรียลงมา 3 logs CFU/mL ซึ่งผลการทดลองนี้จะเห็นการลดลงของเชื้อแบคทีเรียจะมีการต่อต้านเป็นช่วงๆ โดยที่ไม่สามารถลดลงมาได้อย่างรวดเร็ว นั่นแสดงให้เห็นถึงจำนวน OH^\bullet เรดิคอล ที่เกิดขึ้นอาจไม่เพียงพอต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียลงได้มากกว่านี้ แต่การทดลองที่เพิ่มจำนวนความเข้มข้นของ TiO_2 ปริมาณ 0.75 g/L และ 1 g/L สามารถลดเชื้อแบคทีเรียลงได้ถึง 4 logs CFU ซึ่งการลดลงของเชื้อแบคทีเรียนั้นได้ลดลงอย่างรวดเร็วโดยไม่มีการต่อต้านของเซลล์แบคทีเรียจนสิ้นสุดการทดลอง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าความเข้มข้นที่มากกว่าในช่วง 0.75-1 g/L นั้นสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้มากกว่าความเข้มข้นของแบคทีเรียในช่วง 0.25-0.5 g/L ซึ่งการทดลองนี้ทำให้เห็นถึงความเข้มข้นของ TiO_2 ที่มากกว่าก็สามารถทำให้เกิด OH^\bullet เรดิคอลที่มากกว่าเพื่อยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย แต่อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ยังทำให้เห็นว่าความเข้มข้น TiO_2 ที่ปริมาณ 0.25-0.5 g/L สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้เท่าๆกัน และความเข้มข้นของ TiO_2 ที่ปริมาณ 0.75-1 g/L ก็สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้เท่าๆกัน ดังนั้นความเข้มข้นของ TiO_2 ที่มากกว่าไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้มากกว่าได้ในทุกๆค่าความเข้มข้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้มาจากการ

กลับคืนสู่สภาวะปกติของ TiO_2 ซึ่งก็สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ความเข้มข้นของ TiO_2 ที่มากกว่า แต่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียลงได้ที่มีความแตกต่างเท่าๆกัน [20]

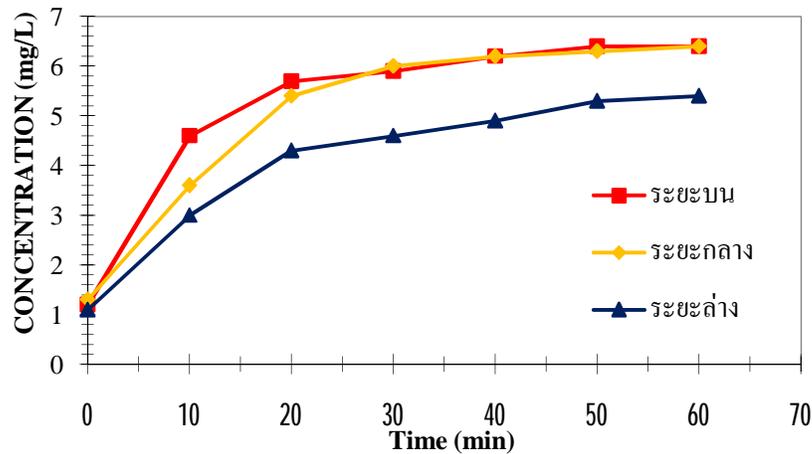
4.2 ผลของการเติมอากาศด้วยถาดเติมอากาศ

การทดลองนี้มีการทดลองอยู่ 3 กรณี เพื่อศึกษาการเติมอากาศในน้ำโดยการทดลองได้ทำการปรับเปลี่ยนระดับความสูงของระดับของถาดเติมอากาศถึงพื้นน้ำ ขนาดของรูเติมอากาศที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของออกซิเจน โดยได้ทำการแบ่งการทดลองออกได้ดังนี้

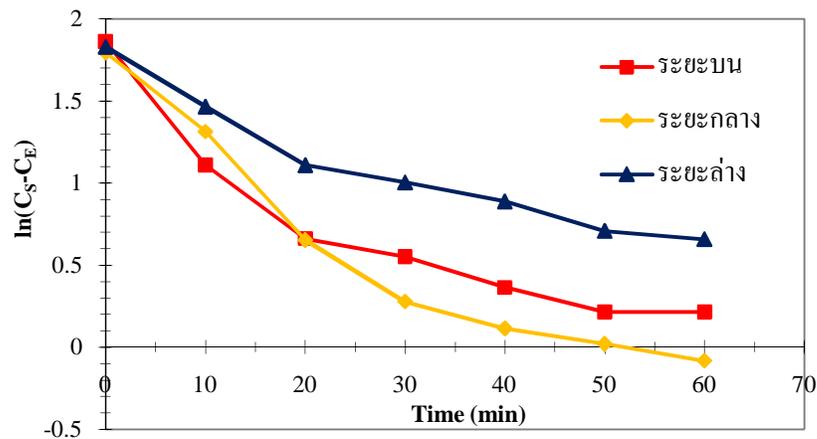
1. การทดลองเครื่องเติมอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร จำนวน 10 รู ในระดับที่แตกต่างกันอยู่ 3 ระดับ
2. การทดลองเครื่องเติมอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร จำนวน 20 รู ในระดับที่แตกต่างกันอยู่ 3 ระดับ
3. ทดลองจะเริ่มทดลองเครื่องเติมอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เป็น 10, 20 และ 30 มิลลิเมตรที่ระดับความสูงเดียวกัน

4.2.1 ผลการเติมอากาศด้วยถาดเติมอากาศของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู 10 มิลลิเมตร จำนวน 10 รู

การทดลองนี้เป็นการทดลองปริมาณการละลายของออกซิเจน โดยจะทำการทดลองที่ถาดเติมอากาศจำนวน 10 รู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ทำการทดลองที่ระดับความสูงจากผิวน้ำ 80, 160 และ 240 เซนติเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 ค่าความเข้มข้นออกซิเจนกับเวลาที่ความสูง 3 ระดับ เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร



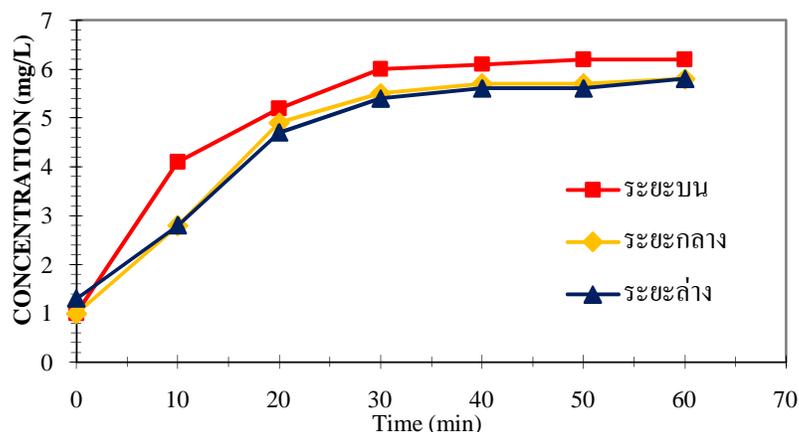
รูปที่ 4.12 ค่า $K_L a$ ที่หาได้จากความชันของกราฟที่ความสูง 3 ระดับ เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร จำนวน 20 รู ทุกๆ 10 นาที

จากการทดลองเมื่อทำการเปิดปั๊มน้ำปล่อยลงสู่เครื่องเติมอากาศ จากนั้นก็วัดปริมาณออกซิเจนทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก็จะพบได้ว่าปริมาณการละลายของออกซิเจนในน้ำนั้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยอัตราการเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำนั้นจะมีค่าแตกต่างกันดังกราฟรูปที่ 4.11 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเทียบกับเวลาของถาดเติมอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 10 มิลลิเมตร จำนวน 10 รู ที่ระดับความสูงแตกต่างกัน โดยจากกราฟจะเห็นได้ว่าถาดเติมอากาศระดับบนสุดเป็นถาดที่สามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้เร็วที่สุดในช่วง 10 นาทีแรกโดยจะเพิ่มขึ้นถึง 4.6 mg/L รองลงมาเป็นถาดเติมอากาศที่อยู่ชั้นกลางมีค่าปริมาณการละลายของออกซิเจนที่ 3.6 mg/L และชั้นล่างที่ 3 mg/L สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากระยะเวลาของน้ำที่สัมผัสกับอากาศจะมีระยะเวลาที่นานกว่าแต่หลังจากเติมอากาศ

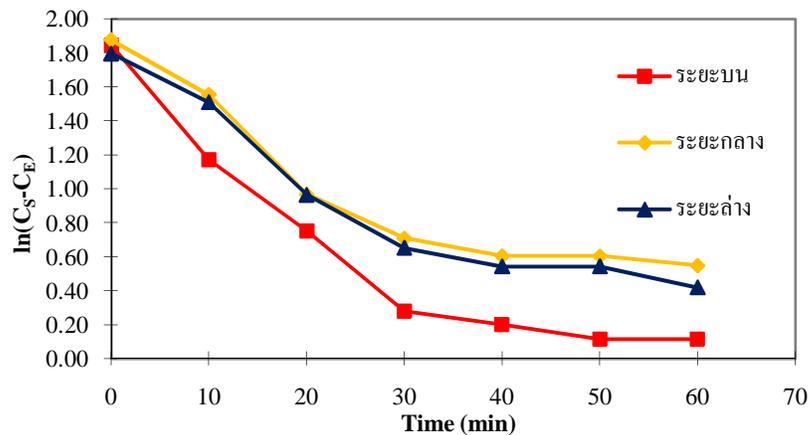
ระยะเวลาประมาณ 30 นาที ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำก็จะใกล้เคียงกัน ส่วนรูปที่ 4.12 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของความเข้มข้น ณ เวลาที่ทำการวัด ซึ่งอยู่ในกราฟในแนวแกน Y และแทนกราฟในแนวแกน X ด้วยเวลา เมื่อทำการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นของความสัมพันธ์ดังกล่าวในแต่ละชั่วโมงนั้นก็จะได้ความชันของกราฟนั่นก็คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของออกซิเจนในน้ำของทุกๆ 10 นาที เมื่อเรานำกราฟมาแสดงจะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์รวมการถ่ายเทออกซิเจนในช่วง 10 นาทีแรกนั้นจะมีค่าสูงที่สุดและจะมีค่าต่ำลงเรื่อยๆ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเข้าใกล้จุดอิ่มตัว จึงทำให้การถ่ายเทมวลก๊าซนั้นถ่ายเทได้ช้าลง จึงทำให้การเติมอากาศที่ระยะเวลานานๆ ทำให้ปริมาณการละลายของออกซิเจนนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เพราะฉะนั้นหลังจากการเติมออกซิเจน 30 นาที ควรหยุดสักระยะหนึ่งแล้วจึงค่อยเติมเว้นช่วงเป็นระยะ

4.2.2 ผลการเติมอากาศด้วยถาดเติมอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร จำนวน 20 รู

จากรูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเทียบกับเวลา โดยจะทำการเปิดน้ำเข้าเครื่องเติมอากาศที่มีจำนวน 20 รู มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร จากนั้นทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง



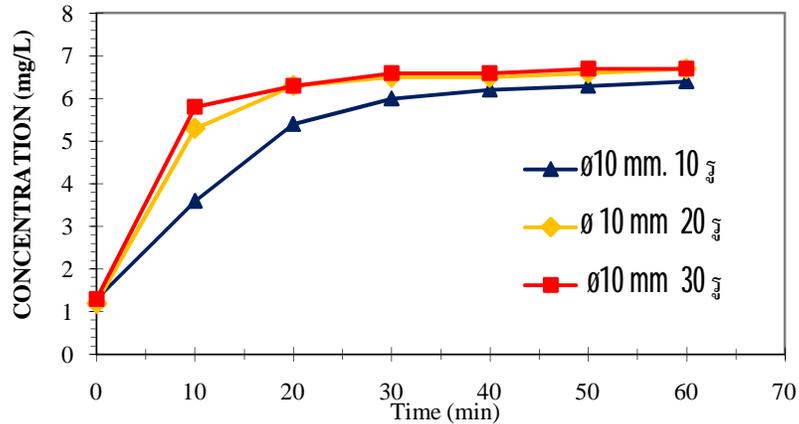
รูปที่ 4.13 ค่าความเข้มข้นออกซิเจนกับเวลาที่ความสูง 3 ระดับ เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร



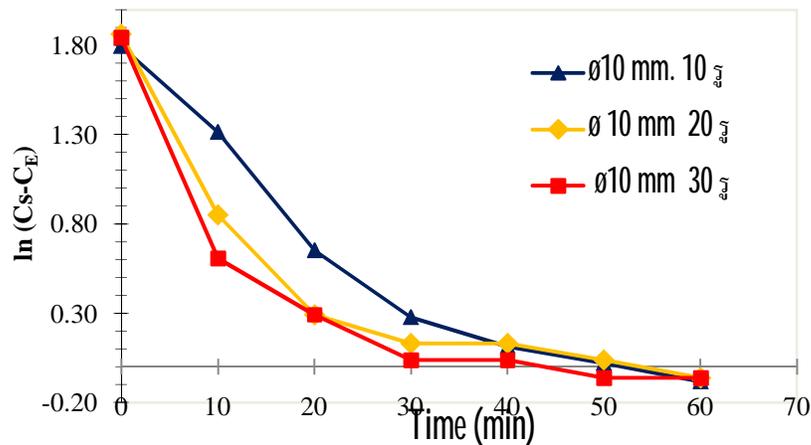
รูปที่ 4.14 ค่า K_La ที่หาได้จากความชันของกราฟที่ความสูง 3 ระดับ เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร จำนวน 20 รู ทุกๆ 20 นาที

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) นั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะภาคเติมอากาศชั้นบนสุดที่ให้อัตราการเติมอากาศที่ดีที่สุด ส่วนภาคเติมอากาศที่ระดับกลางและระดับล่างจะมีค่าปริมาณการละลายออกซิเจนที่ใกล้เคียงกันตั้งแต่ช่วงเวลาที่ 10 นาทีแรก จนถึงช่วงเวลา 10 นาทีสุดท้ายของการทดลอง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกๆ ต่อจากนั้นค่าปริมาณการละลายออกซิเจนก็จะเริ่มลดลงเรื่อยๆ จนค่าการละลายออกซิเจนเกือบเป็นเส้นตรง เมื่อวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมทุกๆ 10 นาทีของภาคเติมอากาศแต่ละชั้น ก็จะได้เห็นว่าในช่วง 10 นาทีแรก สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมจะมีค่าสูง ซึ่งสอดคล้องดังรูปที่ 4.14 สาเหตุที่ช่วง 10 นาทีแรกสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมสูงกว่าช่วงที่ 20 และ 30 นาที เนื่องจากความแตกต่างความเข้มข้นที่แตกต่างกันมากจึงทำให้เกิดการถ่ายเทออกซิเจนได้ดีในช่วงแรกๆ ส่วนช่วงเวลานาทีที่ 20 จนถึงช่วงเวลานาทีที่ 60 ปริมาณออกซิเจนก็จะเริ่มละลายได้น้อยลงเรื่อยๆ เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเข้าใกล้จุดอิ่มตัว และเมื่อถึงจุดอิ่มตัวออกซิเจนจะไม่สามารถละลายเข้าไปในน้ำได้อีกถึงแม้จะมีการเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเมื่อปริมาณออกซิเจนเข้าใกล้จุดอิ่มตัวปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะละลายได้ช้ามากเมื่อเทียบกับช่วงเวลาแรกๆ

4.2.3 ผลการเติมอากาศด้วยถาดเติมอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู 10 มิลลิเมตร จำนวน 10, 20 และ 30 รู



รูปที่ 4.15 ค่าความเข้มข้นกับเวลาที่ความสูงระดับเดียวกัน ของขนาดรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.16 ค่า $K_L a$ ที่หาได้จากความชันของกราฟเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร จำนวน 10, 20 และ 30 รู ทุกๆ 20 นาที

จากการทดลองที่ระดับเท่ากันแต่จะเพิ่มจำนวนรูของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 10 มิลลิเมตร โดยจะแบ่งเป็นจำนวน 10, 20 และ 30 รู ตามลำดับ โดยจะวัดผลทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และจากผลของการทดลองดังรูปที่ 4.15 พบว่าค่าของการเพิ่มออกซิเจนนั้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยถาดเติมอากาศที่มีจำนวน 30 รู นั้นจะเพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็วที่สุด โดยค่าปริมาณการละลายออกซิเจนในน้ำ (DO) สูงขึ้นจนถึง 6 mg/L ในระยะเวลาเพียง 12 นาที และรองลงมาก็จะเป็นถาดเติมอากาศที่มีจำนวน 20 รู ที่มีค่าปริมาณการละลายของออกซิเจนที่ 6 mg/L ที่ระยะเวลาประมาณ 15 นาที และถาดเติมอากาศที่มีจำนวน 10 รู ใช้เวลา

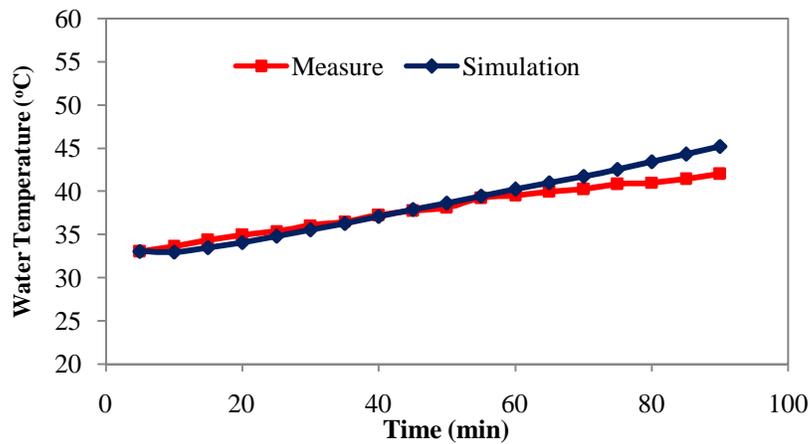
ประมาณ 30 นาทีที่ปริมาณการละลายออกซิเจนในน้ำ (DO) 6 mg/L แต่เมื่อทำการเติมอากาศต่อไปเรื่อยๆ จนค่าของปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำนั้นเกือบจะเป็นเส้นเดียวกัน เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเข้าใกล้จุดอิ่มตัวจึงทำให้การละลายของออกซิเจนเป็นไปได้ช้าลง ดังนั้นจำนวนรูที่ใช้ต้องขึ้นอยู่กับความต้องการปริมาณการละลายออกซิเจนและระยะเวลา จากรูปที่ 4.16 ก็จะเห็นได้ว่าถาดเติมอากาศที่มีจำนวน 30 รูนั้น มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายมวลก๊าซจะมีค่าเท่ากับถาดเติมอากาศที่มีจำนวน 20 รู ที่ระยะเวลา 20 นาที แต่ถาดเติมอากาศที่มีจำนวน 30 รูนั้นจะมีค่ามากกว่าในช่วง 10 นาทีแรก และหลังจากนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทก๊าซจะมีค่าใกล้เคียงกันที่ระยะเวลา 40 นาที ก็จะสัมพันธ์กับค่าการละลายออกซิเจนในน้ำที่จะมีค่าใกล้เคียงกันที่ระยะเวลา 40 นาที จำนวนรูที่เพิ่มขึ้นนั้นจะมีผลต่อการเพิ่มออกซิเจนในระยะเวลาช่วงสั้นๆ

4.3 การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

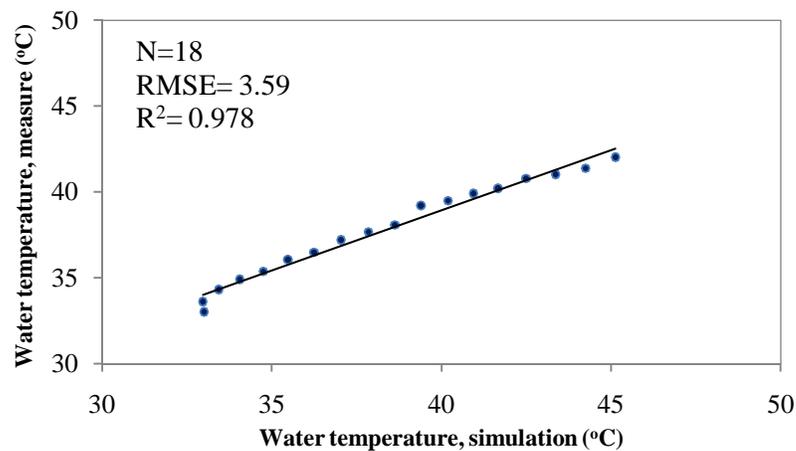
จากการศึกษาด้วยการทดลองเพื่อศึกษาถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อระบบต้องสร้างอุปกรณ์และใช้เวลาในการศึกษานาน ดังนั้นจึงทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ ได้แก่ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุณหภูมิน้ำ ซึ่งทำผลการทดลองของแบบจำลองก่อนนำไปใช้การยืนยันเชิงแบคทีเรีย

4.3.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำจากการวัดและค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรีแอกเตอร์

การทดสอบอุณหภูมิน้ำด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับน้ำขาออกจากรีแอกเตอร์ โดยใช้ข้อมูลของสถานะแวดล้อมคือ ค่ารังสีอาทิตย์ ความเร็วลม อุณหภูมิอากาศ นำไปคำนวณในสมการที่ 3.30 ซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้จากการวัดมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังแสดงในรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าอุณหภูมิน้ำสูงกว่าค่าอุณหภูมิน้ำจากการวัด ซึ่งในรูปที่ 4.18 พบว่าค่า R^2 อยู่ที่ 0.978 แสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความสอดคล้องกับค่าที่วัดและความแตกต่างในรูปของ RMSE ของอุณหภูมิน้ำขาออกจากรีแอกเตอร์นั้นมีค่าที่ 1.35 ซึ่งค่าแตกต่างของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นค่าที่ยอมรับได้และมีแนวโน้มที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการวัด ซึ่งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรีแอกเตอร์ที่ได้รับพลังงานรังสีอาทิตย์สามารถนำมาใช้อธิบายการทำงานจากระบบได้



รูปที่ 4.17 ค่าอุณหภูมิน้ำที่ได้ของรีแอกเตอร์จากการวัดและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลา

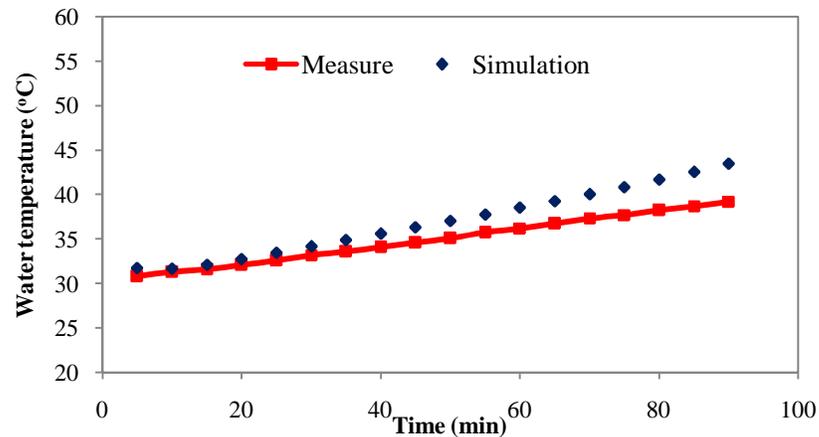


รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรีแอกเตอร์พื้นผิวกระจก

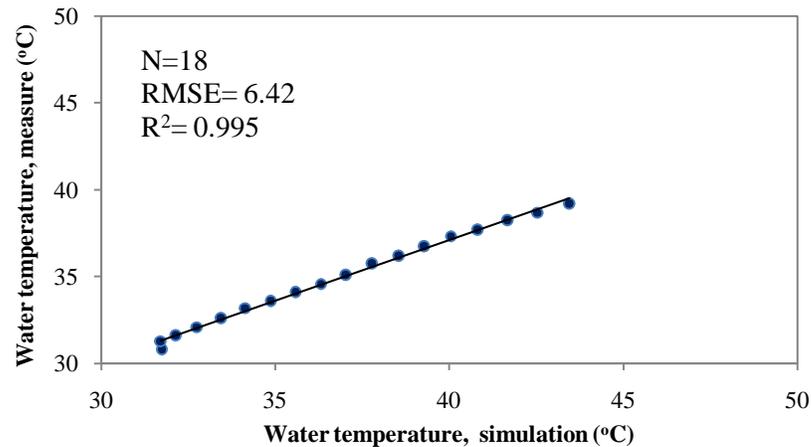
4.3.2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำจากการวัดและค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรีแอกเตอร์พื้นผิวดำ

การทดลองนี้ได้ทำการประยุกต์ใช้สีดำในการดูดกลืนค่าพลังงานรังสีอาทิตย์เพื่อทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในรีแอกเตอร์ การทดสอบอุณหภูมิน้ำด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับน้ำขาออกจากรีแอกเตอร์พื้นผิวสีดำโดยใช้ข้อมูลของสภาวะแวดล้อมคือ ค่ารังสีอาทิตย์ ความเร็วลม อุณหภูมิอากาศ ของวัน และเวลาที่ทำการทดลอง เมื่อนำค่าที่ได้จากการวัดมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังแสดงในรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าอุณหภูมิสูงกว่าค่าอุณหภูมิ

จากการวัด ซึ่งในรูปที่ 4.20 พบว่าค่า R^2 อยู่ที่ 0.995 แสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความสอดคล้องกับค่าที่วัดและความแตกต่างในรูปของ RMSE ของอุณหภูมิน้ำขาออกจะรีแอกเตอร์นั้นมีค่าที่ 2.24 ซึ่งค่าแตกต่างของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นค่าที่ยอมรับได้และมีแนวโน้มที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการวัด ซึ่งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรีแอกเตอร์พื้นผิวค่าที่รับพลังงานรังสีอาทิตย์สามารถนำมาใช้อธิบายการทำงานของระบบได้



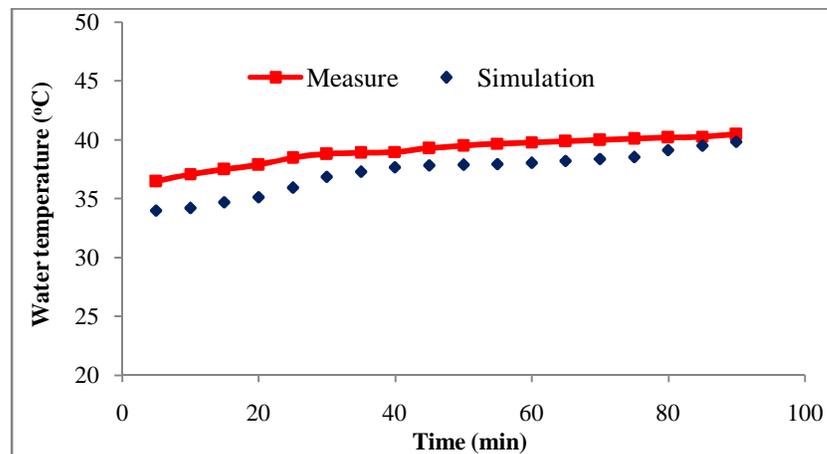
รูปที่ 4.19 ค่าอุณหภูมิน้ำที่ได้ของรีแอกเตอร์พื้นผิวค่าจากการวัดและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลา



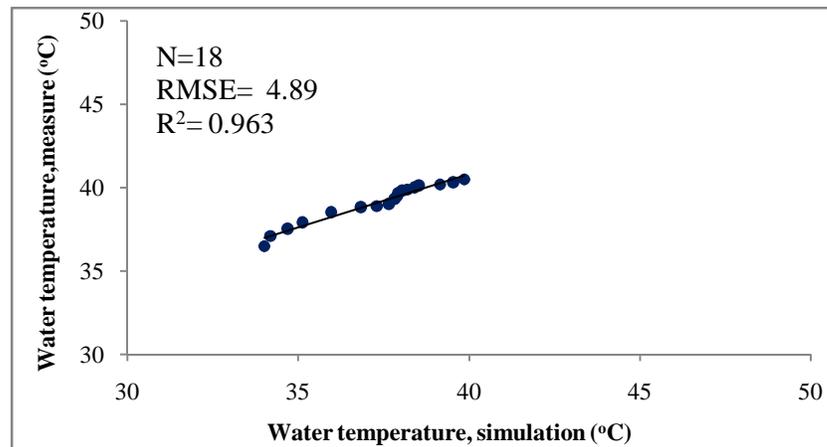
รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำของที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรีแอกเตอร์พื้นผิวค่า

4.3.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำจากการวัดและค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO_2

การทดลองนี้ได้ทำการเคลือบ TiO_2 ลงบนแผ่นสแตนเลสแล้วนำไปวางในรีแอกเตอร์เพื่อดูดกลืนค่าพลังงานรังสีอาทิตย์เพื่อทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในรีแอกเตอร์ การทดสอบอุณหภูมิน้ำด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับน้ำขาออกจากรีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO_2 โดยใช้ข้อมูลของสถานะแวดล้อมคือค่ารังสีอาทิตย์ ความเร็วลม อุณหภูมิอากาศ ของวันและเวลาที่ทำการทดลอง เมื่อนำค่าที่ได้จากการวัดมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังแสดงในรูปที่ 4.21 จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าอุณหภูมิน้ำต่ำกว่าค่าอุณหภูมิน้ำจากการวัด ซึ่งในรูปที่ 4.22 พบว่าค่า R^2 อยู่ที่ 0.963 แสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความสอดคล้องกับค่าที่วัดและความแตกต่างในรูปของ RMSE ของอุณหภูมิน้ำขาออกจากรีแอกเตอร์นั้นมีค่าที่ 4.89 % ซึ่งได้ค่าแตกต่างของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นค่าที่ยอมรับได้และมีแนวโน้มที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการวัด ซึ่งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO_2 ที่รับพลังงานรังสีอาทิตย์สามารถนำมาใช้อธิบายการทำงานของระบบได้



รูปที่ 4.21 ค่าอุณหภูมิน้ำที่ได้ของรีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO_2 จากการวัดและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลา



รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรีแอกเตอร์พื้นผิวเคลือบ TiO_2

จากการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ก็สามารถนำมาทำนายอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากรีแอกเตอร์ได้จึงสามารถนำไปสู่การออกแบบของรีแอกเตอร์เพื่อทำนายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ เนื่องจากอุณหภูมิที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียนั้นต้องมีค่าสูงเกินกว่า $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นเราสามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาคำนวณหาพื้นที่ที่รับแสงที่สามารถทำให้อุณหภูมิน้ำสูงเท่าที่ต้องการได้