

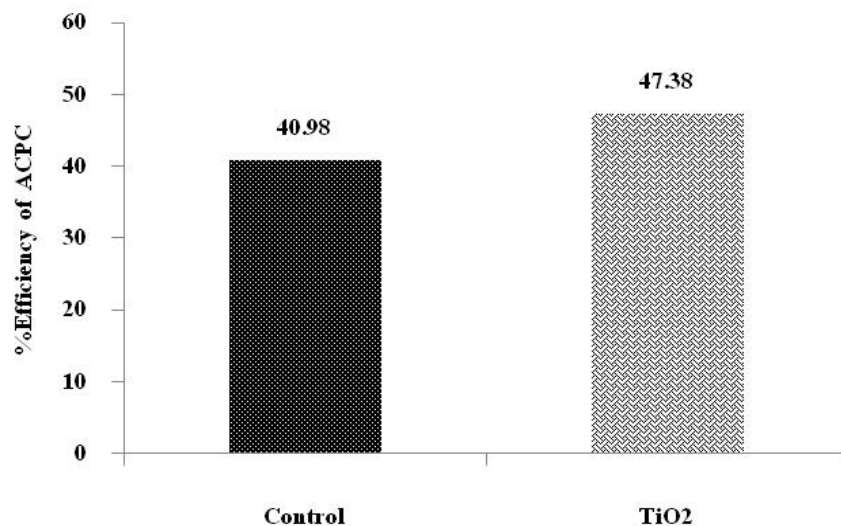
## บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดสอบตามที่ต้องการศึกษาในกรณีต่างๆ รวมทั้งการคำนวณจากสมการทางคณิตศาสตร์นั้นมีการนำผลการทดสอบต่างๆ มาวิเคราะห์ผล โดยแต่ละกรณีมีดังต่อไปนี้

### 4.1 การทดสอบประสิทธิภาพทางความร้อน

#### 4.1.1 ผลของการทดสอบประสิทธิภาพของตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ $\text{TiO}_2$ และเคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม ขนาดแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ทั้งสอง ( $0.22 \times 0.25 \text{ m}^2$ )

ในการทดสอบนี้มีการวางแผง ACPC ในแนวตะวันออก-ตะวันตก โดยให้แผงใหญ่วางหันผิวสะท้อนไปทางทิศใต้และแผงเล็กวางหันผิวสะท้อนไปทางทิศเหนือ แล้วทำการวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในบริเวณพื้นที่ที่ได้ทำการทดสอบ



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลของประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยทั้งวัน จากตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  และเคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม (Control) (วันที่ทำการทดสอบ 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2555)

พบว่า ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยทั้งวันที่ได้รับ โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ร่วมกับชุดทดสอบที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  มีค่าสูงกว่าชุดควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 4.1 มีค่าเท่ากับ 47.38% และ 40.98% ตามลำดับ นั้นแสดงว่า ชุดการทดสอบที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  สามารถสะสมพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ได้รับมีค่าค่อนข้างสูง เนื่องจากลักษณะพื้นผิวเคลือบของ  $\text{TiO}_2$  ที่มีลักษณะค่อนข้างขรุขระ อันเนื่องมาจากขั้นตอนการเคลือบแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ โดยก่อนการเคลือบต้องนำแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ใช้สแตนเลสนำไปขัดทรายบนพื้นผิวให้มีความขรุขระเพื่อทำให้อนุภาคผง  $\text{TiO}_2$  ยึดเกาะติดได้ดีมากขึ้น ส่งผลให้เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวที่เคลือบ  $\text{TiO}_2$  และจากนั้น  $\text{TiO}_2$  จะดูดกลืนพลังงานความร้อนเอาไว้แล้วเกิดการกระจายตัวของความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอ หลังจากนั้นจะมีการแผ่รังสีความร้อนออกมาทางด้านบนพื้นผิว ด้านล่างและด้านข้างของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ทำให้น้ำได้รับพลังงานความร้อนและอุณหภูมิสูงขึ้น ตามลำดับ รวมทั้งความหนาของ  $\text{TiO}_2$  ที่เคลือบบนพื้นผิวดูดกลืนรังสีอาทิตย์โดยในงานวิจัยนี้เคลือบ  $\text{TiO}_2$  หนา 250 nm ซึ่งความหนาของ  $\text{TiO}_2$  นี้ทำให้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (Photocatalytic) ที่ดี [40] นอกจากนี้ ปัจจัยหรือตัวแปรทางธรรมชาติมีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องกับกระบวนการทดสอบ อาทิเช่น ความเข้มรังสีอาทิตย์ ความเร็วลมและสภาพแวดล้อม เป็นต้น

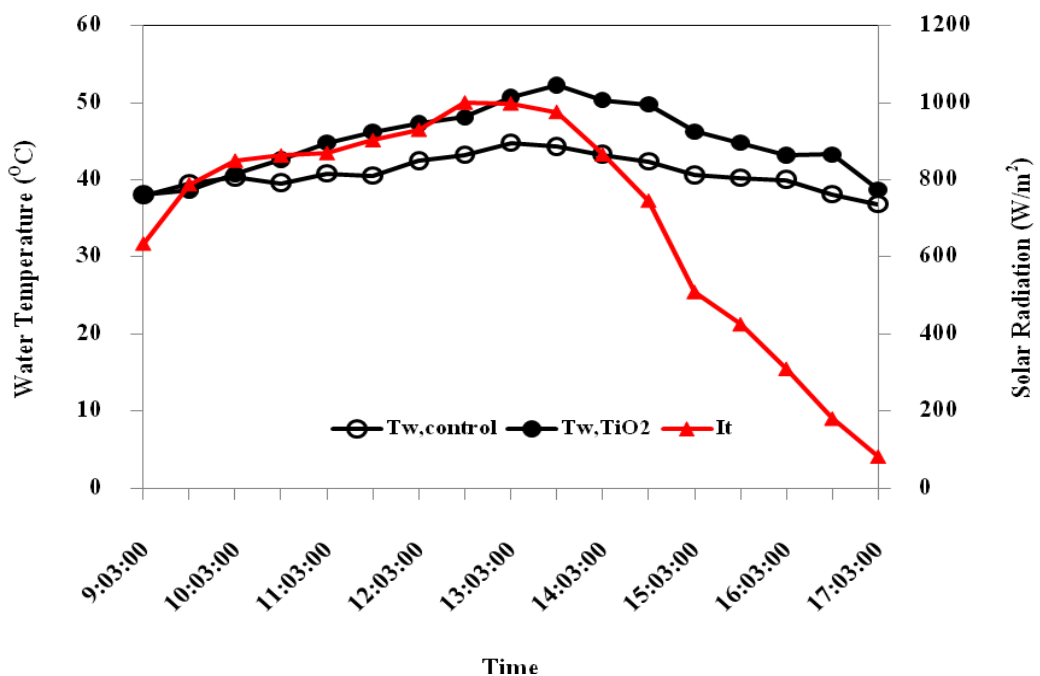
การที่ชุดการทดสอบมีแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบด้วย  $\text{TiO}_2$  จะสามารถสะสมพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ได้รับมีค่าค่อนข้างสูง ส่งผลทำให้อุณหภูมิน้ำในระบบที่ได้มีค่าสูงตามไปด้วย รวมทั้งยังสอดคล้องในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียที่อาศัยอุณหภูมิสูงในกระบวนการ การที่เชื้อแบคทีเรียหยุดการเจริญเติบโตได้นั้น เนื่องจาก  $\text{TiO}_2$  สารประกอบกึ่งตัวนำ (Semi-Conductor) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการย่อยสลายด้วยแสง (Photocatalytic) ได้ดี และจากผลการวิจัยส่วนมากได้รับการยืนยันว่า  $\text{TiO}_2$  ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพ โดยที่เมื่อ  $\text{TiO}_2$  ได้รับการกระตุ้นด้วยรังสีอาทิตย์ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นซูเปอร์ออกไซด์ไอออนและไฮดรอกซิลไอออน ซึ่งโมเลกุลของทั้ง 2 ตัวนี้ มีความสามารถในการทำปฏิกิริยาอย่างว่องไวเข้าไปทำลายผนังเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียให้ตายในที่สุด [30]

#### 4.1.2 ผลของการทดสอบเปรียบเทียบระบบทำน้ำร้อน พลังงานรังสีอาทิตย์โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ $\text{TiO}_2$ และเคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม

การทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำภายในระบบทำน้ำร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

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

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



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิน้ำในระบบรายชั่วโมง จากตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  และเคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม (Control) (วันที่ทำการทดสอบ 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2555)

จากการทดลอง การใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  และแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม (Control) พบว่า ในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นที่ 09.03-10.03 น. อุณหภูมิน้ำของทั้ง 2 ชุดทดสอบมีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.2 หลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป อุณหภูมิน้ำของชุดทดสอบที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  มีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่า โดยที่เวลา 13.33 น. อุณหภูมิน้ำมี

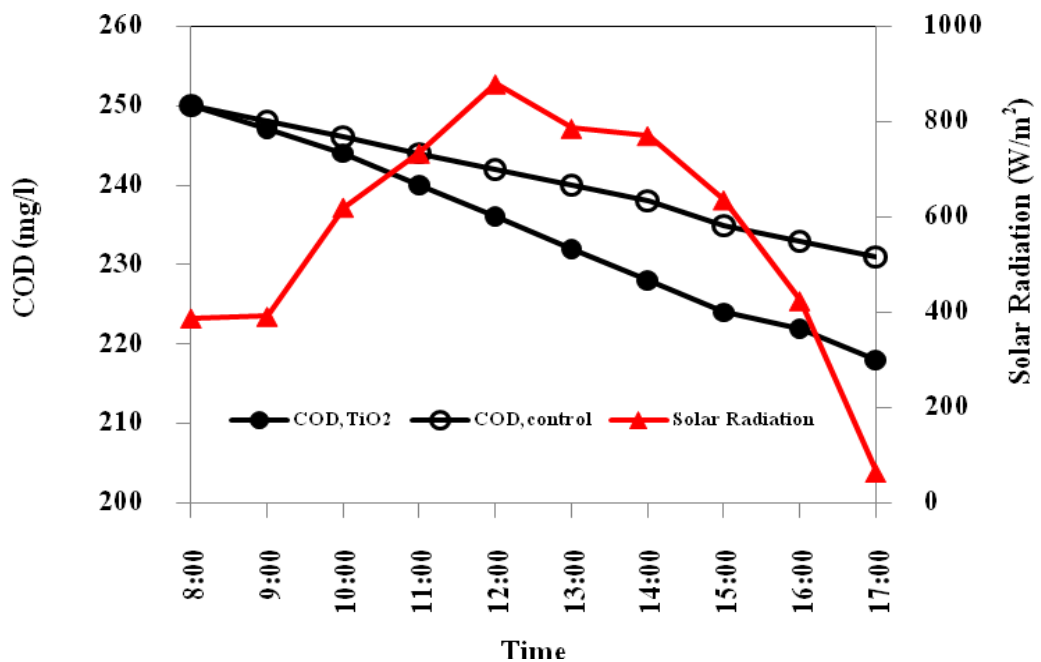
ค่าอุณหภูมิน้ำสูงสุดเท่ากับ  $52.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เท่ากับ  $975.6\text{ W/m}^2$  ซึ่งค่าอุณหภูมิน้ำของชุดทดสอบที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  นี้มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิน้ำชุดควบคุมอยู่  $1-8\text{ }^{\circ}\text{C}$

จากสาเหตุที่พื้นผิวเคลือบของ  $\text{TiO}_2$  ที่มีลักษณะค่อนข้างขรุขระ อันเนื่องมาจากขั้นตอนการเคลือบแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ โดยก่อนการเคลือบต้องนำแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ใช้สแตนเลสนำไปขัดทรายบนพื้นผิวให้มีความขรุขระเพื่อทำให้อนุภาคของ  $\text{TiO}_2$  ยึดเกาะติดได้ดีมากขึ้น ส่งผลให้เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวที่เคลือบ  $\text{TiO}_2$  และ  $\text{TiO}_2$  จะดูดกลืนพลังงานความร้อนเอาไว้แล้วเกิดการกระจายตัวของความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอ หลังจากนั้นจะมีการแผ่รังสีความร้อนออกมาทางด้านบนพื้นผิว ด้านล่างและด้านข้างของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ทำให้น้ำได้รับพลังงานความร้อนและอุณหภูมิสูงขึ้น ตามลำดับ รวมทั้งความหนาของ  $\text{TiO}_2$  ที่เคลือบบนพื้นผิวดูดกลืนรังสีอาทิตย์โดยในงานวิจัยนี้เคลือบ  $\text{TiO}_2$  หนา  $250\text{ nm}$  และโครงสร้างเฟสอนุภาคของ  $\text{TiO}_2$  ที่ทำการเคลือบเช่นกันซึ่งเฟสอานาเทสเป็นโครงสร้างที่สามารถดูดกลืนค่าพลังงานได้ในช่วง  $3.22\text{ eV}$  ได้เป็นอย่างดีทำให้สามารถดูดกลืนพลังงานความร้อนได้มาก และส่งผลให้อิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ถูกกระตุ้นจึงกระโดดขึ้นไปยังแถบนำไฟฟ้าเกิดหตุประจุและจะปลดปล่อยพลังงานออกมา

นอกจากนั้น อีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มอุณหภูมิน้ำในระบบคือ พลังงานความร้อน จากรังสีอาทิตย์ โดยมีการใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) เข้ามาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรวมรังสีอาทิตย์ให้ตกกระทบลงบนพื้นที่ทำการทดสอบตลอดทั้งวันซึ่งไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยนมุมการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ เมื่อนำพลังงานรังสีอาทิตย์มาใช้งานร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่เคลือบ  $\text{TiO}_2$  แล้วนั้นส่งผลให้สามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำในระบบให้มีค่าเพิ่มขึ้นและยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

## 4.2 การทดสอบยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสีย

4.2.1 ผลของการใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  และเคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม ต่อค่า COD (ขนาดแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ทั้งสองเท่ากับ  $0.22 \times 0.25 \text{ m}^2$ )



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลของค่า COD ต่อระยะเวลาทำการทดสอบและค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  และเคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม (Control) (วันที่ทำการทดลอง 23/11/2555)

จากรูปที่ 4.3 พบว่า ในชุดทดสอบที่ใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม มีค่า COD เริ่มต้นเท่ากับ 250 mg/l และเมื่อนำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียมาวิเคราะห์ ค่า COD ลดลงเหลือ 231 mg/l ซึ่งในขณะที่ ชุดการทดสอบที่ใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  นั้น มีค่า COD มีค่าลดลงถึง 218 mg/l เห็นได้ว่า ชุดทดสอบที่ใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  สามารถลดค่า COD ในน้ำเสียได้มากกว่าชุดควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับ ปริมาณเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียที่สามารถลดลงได้ ซึ่งชุดทดสอบที่ใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  สามารถลดปริมาณเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียได้มากกว่าชุดควบคุมที่ใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ สีดำด้าน

#### 4.2.2 ผลของการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสีย โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ $\text{TiO}_2$ และเคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม (Control)

จากการทดสอบของ Liu และคณะ [34] มีการใช้  $\text{TiO}_2/\text{AgTiO}_2$  เคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมด้วยวิธีโซลเจล มีการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงและไม่ใช้แสง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยใช้แสงและไม่ใช้แสงร่วม พบว่า เมื่อแผ่นเคลือบ  $\text{TiO}_2$  สัมผัสกับเชื้อเป็นเวลา 15 นาที สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ 60% และเมื่อใช้รังสีอัลตราไวโอเลตร่วมกับแผ่นเคลือบ  $\text{TiO}_2$  สามารถยับยั้งเชื้อได้ 93% และแบคทีเรียแกรมลบถูกทำลายมากกว่าแบคทีเรียแกรมบวก รวมทั้งจากการทดสอบที่มีการเคลือบและไม่เคลือบ  $\text{TiO}_2$  บนกระจก ซึ่งเคลือบด้วยวิธีรีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสเปคเตอรึง มีความหนา 300 nm โดยมีการฉายรังสีอัลตราไวโอเลต A ในช่วงความยาวคลื่น 365 nm เพื่อศึกษาความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย พบว่า เมื่อฉายรังสีอัลตราไวโอเลต A ผ่านไป 30 นาที เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียได้ถึง 8.23%-19.95% ดังนั้นเมื่อรังสีอัลตราไวโอเลตมีความเข้มรังสีเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้มากขึ้น และกระจกที่ไม่ได้เคลือบ  $\text{TiO}_2$  [8]

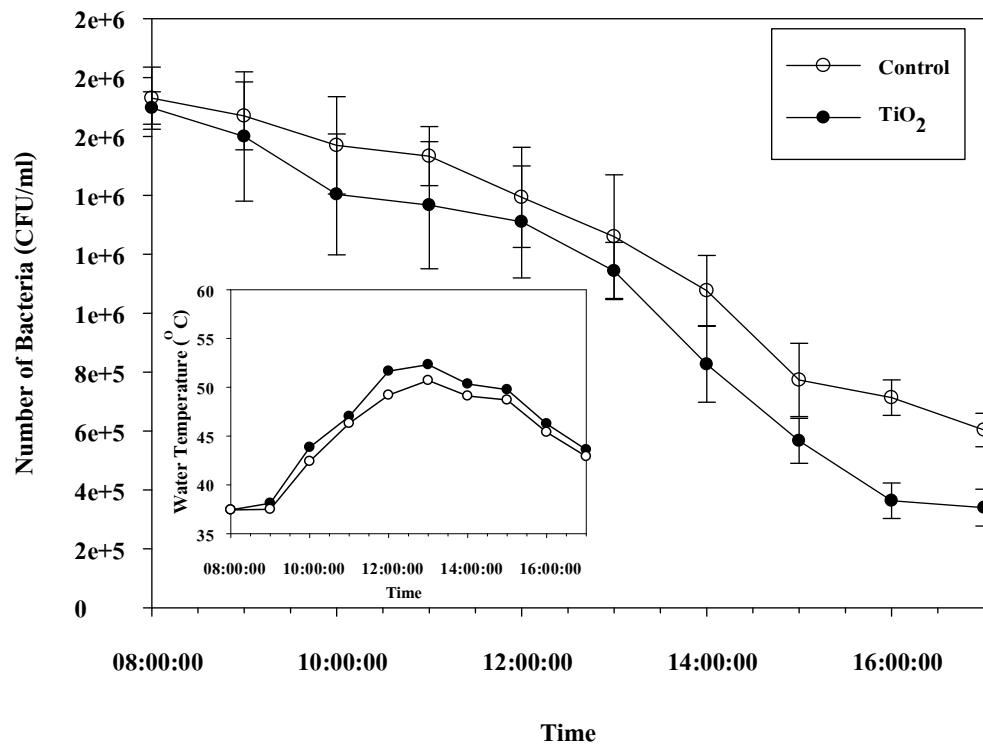
จากงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสีย โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่เคลือบด้วย  $\text{TiO}_2$  และเคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม พบว่า การใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่เคลือบด้วย  $\text{TiO}_2$  ต่อจำนวนของเชื้อแบคทีเรียที่ลดลงและการใช้แผ่นสแตนเลสเคลือบด้วยสีดำด้านแทน  $\text{TiO}_2$  เป็นชุดควบคุม พบว่า ที่เวลาเริ่มต้น 8.00 น. เชื้อแบคทีเรียมีจำนวนเริ่มต้นประมาณ  $1.70 \times 10^6$  CFU/ml และ  $1.73 \times 10^6$  CFU/ml ของชุดการทดลองและชุดควบคุม โดยในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นที่ 8.00 น. - 13.00 น. จำนวนของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียของทั้ง 2 การทดลอง มีค่าใกล้เคียงกัน หลังจากนั้น เชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียเริ่มลดลงและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่เวลา 16.00 น. เป็นต้นไป โดย ณ เวลานั้น อุณหภูมิของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่เคลือบด้วย  $\text{TiO}_2$  มีค่าเท่ากับ  $48.66^\circ\text{C}$  และอุณหภูมิของน้ำเสียมีค่าเท่ากับ  $46.25^\circ\text{C}$  และสิ้นสุดการทดลองเมื่อเวลา 17.00 น. จำนวนของเชื้อแบคทีเรียในการทดลองที่ใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  ลดลงจาก  $1.70 \times 10^6$  CFU/ml เป็น  $3.4 \times 10^5$  CFU/ml ซึ่งลดลงมากถึง 5 เท่า ในขณะที่ชุดควบคุมที่ไม่เคลือบ  $\text{TiO}_2$  สามารถลดจำนวนของเชื้อแบคทีเรียจากเดิม  $1.73 \times 10^6$  CFU/ml เป็น  $6.03 \times 10^5$  CFU/ml ซึ่งสามารถลดได้เพียง 3 เท่า ของชุดทดลองที่ใช้แผ่นเคลือบ  $\text{TiO}_2$  เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5

และเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียต่ออุณหภูมิน้ำเสียและระยะเวลา โดยชุดทดสอบ ใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  มีค่ามากกว่า ชุดทดสอบที่เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม มีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียร้อยละ 80 และ 65 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น ดังแสดงในตารางที่ 4.1

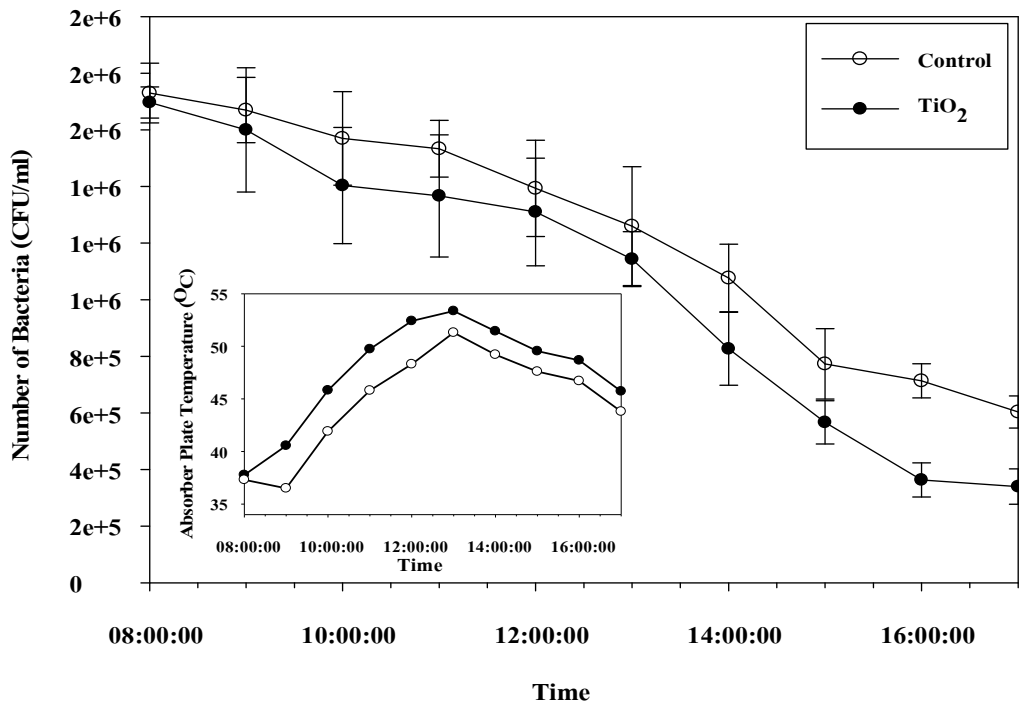
จากการทดสอบดังกล่าว จะเห็นว่า การใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบด้วย  $\text{TiO}_2$  สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียได้ เนื่องจาก  $\text{TiO}_2$  ที่เคลือบอยู่บนแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เมื่อถูกกระตุ้นด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบทำให้  $\text{TiO}_2$  เกิดการแตกตัวเป็นอิเล็กตรอน ( $e^-$ ) และโฮล (hole) รวมทั้งปลดปล่อยพลังงานออกมา ซึ่งค่าพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับช่วงค่าพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ได้รับ ส่งผลทำให้อุณหภูมิแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis) ย่อยสลายสารอินทรีย์พวกจุลินทรีย์ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ [8, 12] นอกจากนี้พลังงานความร้อนที่ได้รับจากรังสีอาทิตย์และการถ่ายโอนความร้อนที่ให้แก่ น้ำเสีย มีผลต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้โดยทำให้น้ำเสียที่บรรจุในกล่องอะคริลิกมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้น ผลของการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสโดยมี  $\text{TiO}_2$  เป็นตัวเร่งและผลของพลังงานความร้อนที่ถ่ายโอนความร้อนที่ให้แก่ น้ำเสีย รวมกันส่งผลให้สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียให้มีจำนวนลดลงได้

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสีย

Time		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
		AM	AM	AM	AM	AM	PM	PM	PM	PM	PM
Water Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	Control	37.4	37.5	42.4	46.3	49.2	50.7	49.2	48.7	45.4	42.9
	$\text{TiO}_2$	37.4	38.2	43.9	47	51.7	52.3	50.3	49.8	46.3	43.6
% Number of Bacteria	Control	0	3.47	9.25	11.6	19.6	27.1	37.7	55.3	58.8	65.1
	$\text{TiO}_2$	0	5.9	17.7	19.4	22.9	32.9	51.3	66.7	78.7	80



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของจำนวนเชื้อแบคทีเรีย ที่ลดลงต่อระยะเวลา และอุณหภูมิน้ำเสีย



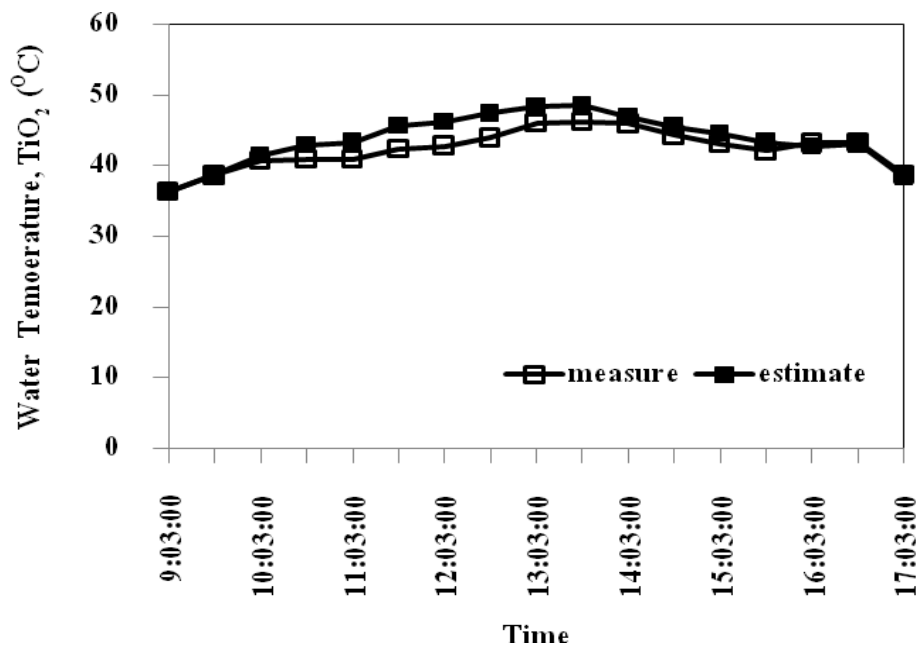
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์จำนวนเชื้อแบคทีเรีย ที่ลดลงต่อระยะเวลาและอุณหภูมิแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์

### 4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

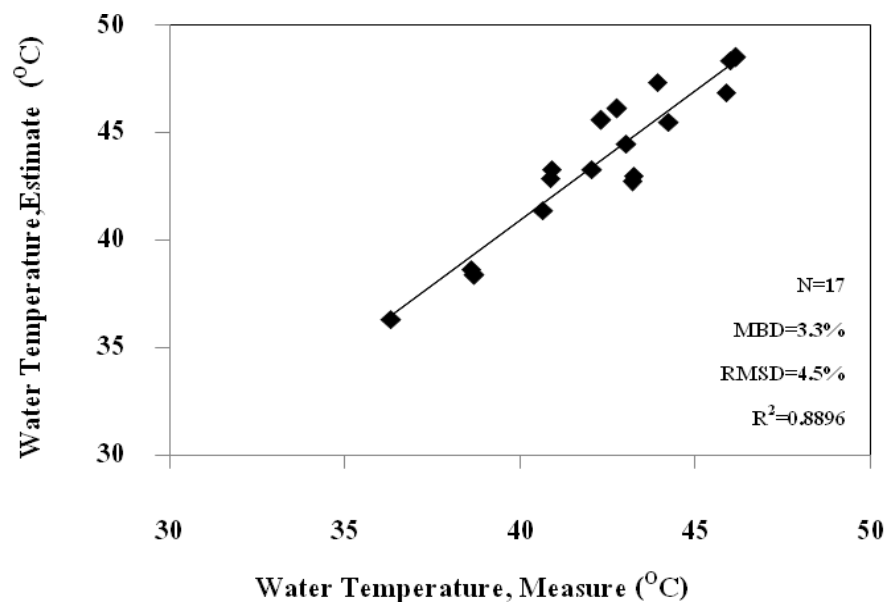
#### 4.3.1 ผลของการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุณหภูมิน้ำ โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม (Control)

จากการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิน้ำในระบบทำน้ำร้อน โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม (Control) ที่ได้จากการทดสอบและการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 พบว่า ค่าที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบ ซึ่งมีความแตกต่างตลอดทั้งวันอยู่ในช่วง  $0.0-4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  โดยมีค่าความผิดพลาดคลาดเคลื่อนประมาณ 2.5% ซึ่งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้มาจากระหว่างทำการทดสอบ ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบ การสูญเสียความร้อน อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และความเร็วลม รวมทั้งการบังเงาของเมฆ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา มีผลทำให้ค่าที่ได้มีความไม่แน่นอน โดยที่ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้คำนวณมีค่าคงที่ อาทิเช่น ค่าความเร็วลมและอัตราการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งในธรรมชาติค่าสมบัติต่างๆ เหล่านี้ มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จึงส่งผลให้ค่าที่ได้จากการคำนวณมีความแตกต่างจากผลการทดสอบ

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำ เมื่อแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม ระหว่างการทดสอบกับการคำนวณ ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าความสอดคล้องกับการทดสอบ โดยมีความแตกต่างในรูป Mean Square Difference (RMSD) มีค่า 7.9% และ mean Bias Difference (MBD) 7.4% และเมื่อพิจารณาถึงความแม่นยำของการคำนวณ พบว่า ผลความแม่นยำมีค่าเป็น 0.9066 ถือว่ามีความแม่นยำอย่างยิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิน้ำในระบบทำน้ำร้อน จากการทดสอบและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีย้อมสีดำด้านเป็นชุดควบคุม (Control) (วันที่ทำการทดสอบ 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2555)



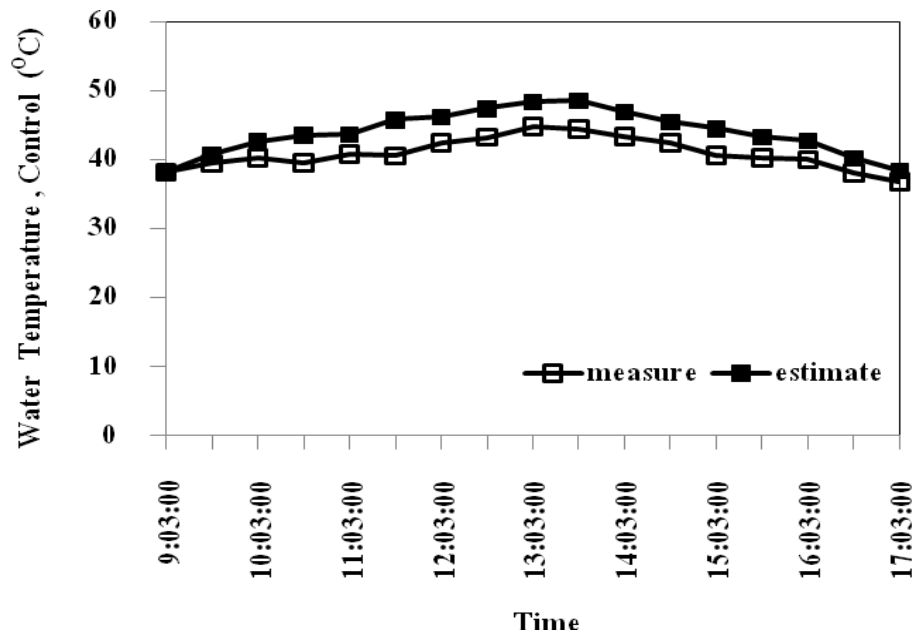
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลของความถูกต้อง จากการทดสอบและการคำนวณ ของอุณหภูมิน้ำในระบบทำน้ำร้อน โดยใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีย้อมสีดำด้านเป็นชุดควบคุม (Control) (วันที่ทำการทดสอบ 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2555)

### 4.3.2 ผลของการคำนวณอุณหภูมิในระบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ $\text{TiO}_2$

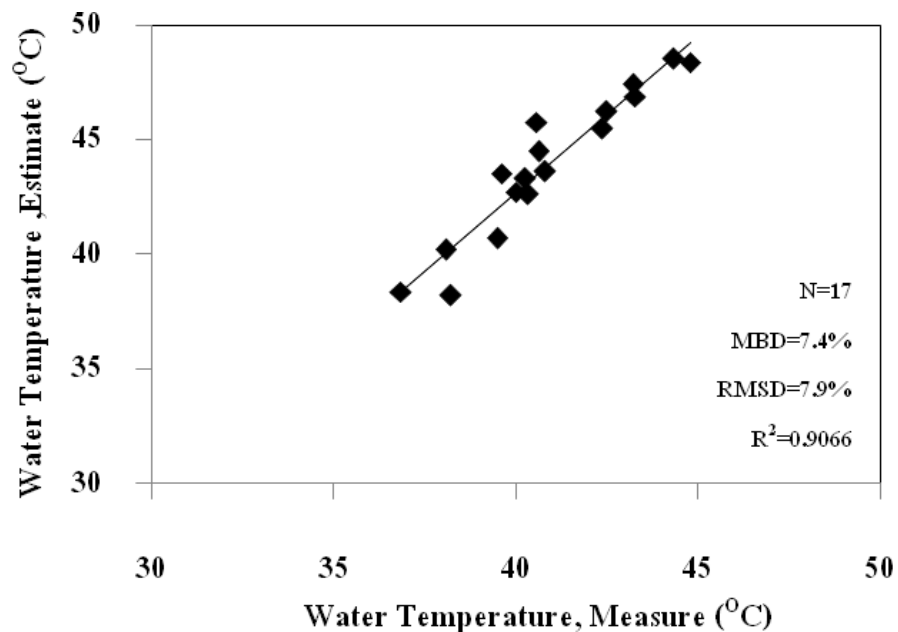
จากรูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิในระบ จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์ ACPC ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  ที่ได้จากการทดสอบและการคำนวณโดยมีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาคำนวณอุณหภูมิในระบสามารถนำมาใช้งานได้จริง และผลของอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณและการทดสอบมีค่าความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันตลอดทั้งวันอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 0.0-3.0 °C และมีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.0-3.3% ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้เกิดทั้งจากการคำนวณและการทดสอบ อันเนื่องมาจาก แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้นั้นไม่ได้อ้างอิงตัวแปรที่มีผลเชิงความร้อนเพียงอย่างเดียว ไม่ได้นำตัวแปรที่มีผลต่อสารประกอบไททานเนียมไดออกไซด์ มาพิจารณาในระบนี้ด้วย โดยตัวแปรหรือปัจจัยของ  $\text{TiO}_2$  ที่มีผลต่อระบที่ใช้ อาทิเช่น ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์และค่าการแผ่รังสีอาทิตย์ โครงสร้างของ  $\text{TiO}_2$  ที่นำมาเคลือบผิวดูดกลืนรังสีอาทิตย์นั้นมีอยู่ 2 โครงสร้างด้วยกันคือ โครงสร้างเฟสอนาเทซของ  $\text{TiO}_2$  ที่สามารถดูดกลืนพลังงานได้ในช่วง 3.22 eV และ โครงสร้างเฟสรูไทล์สามารถดูดกลืนพลังงานได้ในช่วง 3.02 eV เป็นต้น [12] ซึ่งผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นำค่าคงที่ทางกายภาพมาใช้ในการคำนวณ อาทิเช่น ค่าความเร็วลมและอัตราการถ่ายโอนความร้อนทั้งการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน รวมทั้งตัวแปรหรือปัจจัยที่มีผลทางกายภาพที่เกี่ยวข้องในการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา อาทิเช่น ปริมาณรังสีอาทิตย์ ความเร็วลม อุณหภูมิอากาศแวดล้อม การบังเงาของเมฆและการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม เป็นต้น

จากปัจจัยข้างต้น เหล่านี้มีผลต่อการคำนวณทางคณิตศาสตร์และการทดสอบ ทำให้ค่าอุณหภูมิที่สามารถคำนวณได้มีค่าความแตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในระบ ระหว่างการทดสอบกับการคำนวณ โดยมีการใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  พบว่า ค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าสอดคล้องกับการทดสอบ โดยมีความแตกต่างในรูปแบบ Mean Square Difference (RMSD) มีค่า 4.5% และ mean Bias Difference (MBD) 3.3% ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากชุดทดสอบที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  มีค่าอุณหภูมิที่ทดสอบได้มีค่ามากกว่าและมีการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมน้อยกว่า เพื่อพิจารณาถึงความแม่นยำของการคำนวณ พบว่า ผลความแม่นยำมีค่าเป็น 0.8896 ถือว่ามีความแม่นยำตรงอย่างยิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.9



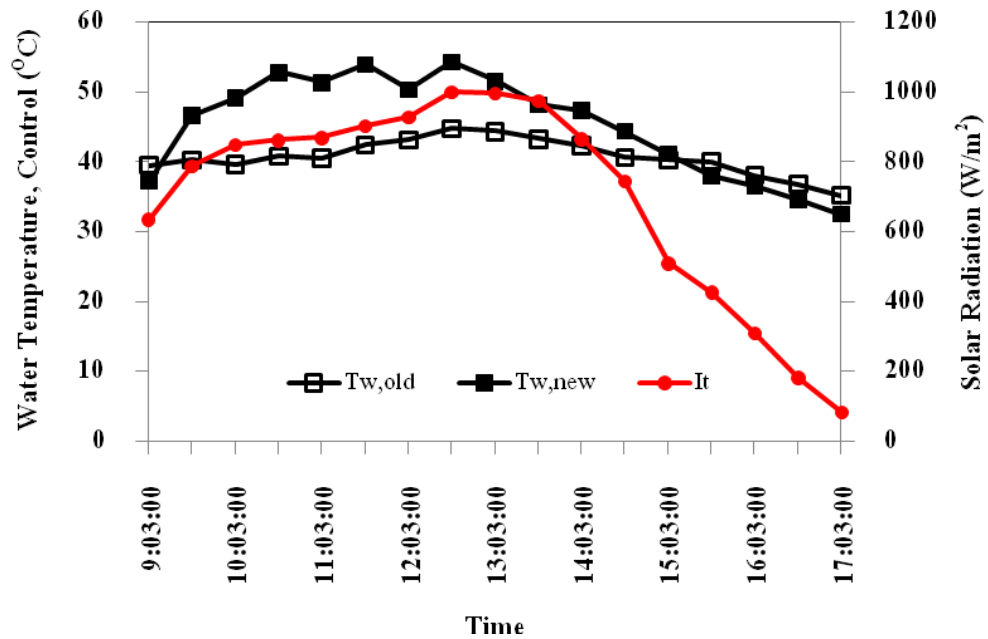
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิน้ำในระบบทำน้ำร้อน จากการทดสอบและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  (วันที่ทำการทดสอบ 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2555)



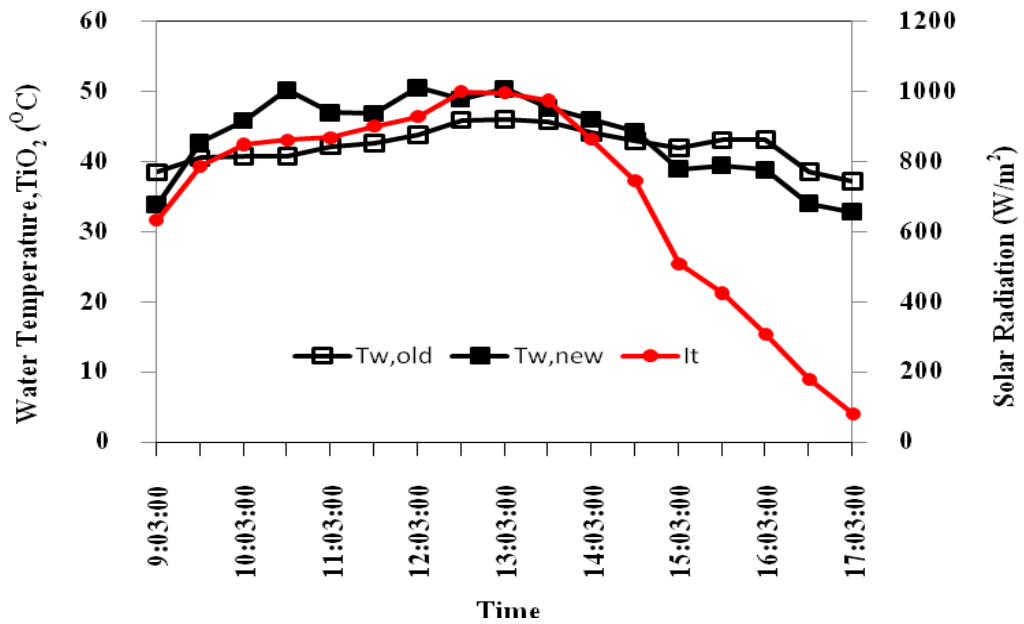
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบผลของความถูกต้อง จากการทดสอบและการคำนวณ ของอุณหภูมิน้ำในระบบทำน้ำร้อน โดยใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  (วันที่ทำการทดสอบ 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2555)

**4.3.3 ผลของการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาศึกษาต่อ เพื่อทำนายการเพิ่มอุณหภูมิ น้ำในระบบ เมื่อมีการปรับขนาดพื้นที่ของตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ( $1.7 \text{ m}^2$ ) และขนาดของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่เคลือบ  $\text{TiO}_2$  ( $2 \times 1.5 \text{ m}^2$ ) และชุดทดสอบที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม ( $2 \times 1.5 \text{ m}^2$ )**

เมื่อทำการปรับเปลี่ยนขนาดพื้นที่ของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ขนาดของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ โดยมีแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม (Control) และแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  กับขนาดพื้นที่เดิม ซึ่งขนาดพื้นที่ของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบ ACPC เท่ากับ  $1.7 \text{ m}^2$  ขนาดของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ทั้ง 2 ชุดทดสอบ เท่ากับ  $2 \times 1.5 \text{ m}^2$  และปริมาตรน้ำทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ  $1.87 \text{ m}^3$



**รูปที่ 4.10** การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิ น้ำในระบบทำน้ำร้อน เมื่อเพิ่มขนาดแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ( $T_{w,new}$ ) ( $2 \times 1.5 \text{ m}^2$ ) จากขนาดแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เดิม ( $T_{w,old}$ ) ( $0.22 \times 0.25 \text{ m}^2$ ) ของชุดทดสอบแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม (Control) (วันที่ทำการทดสอบ 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2555)



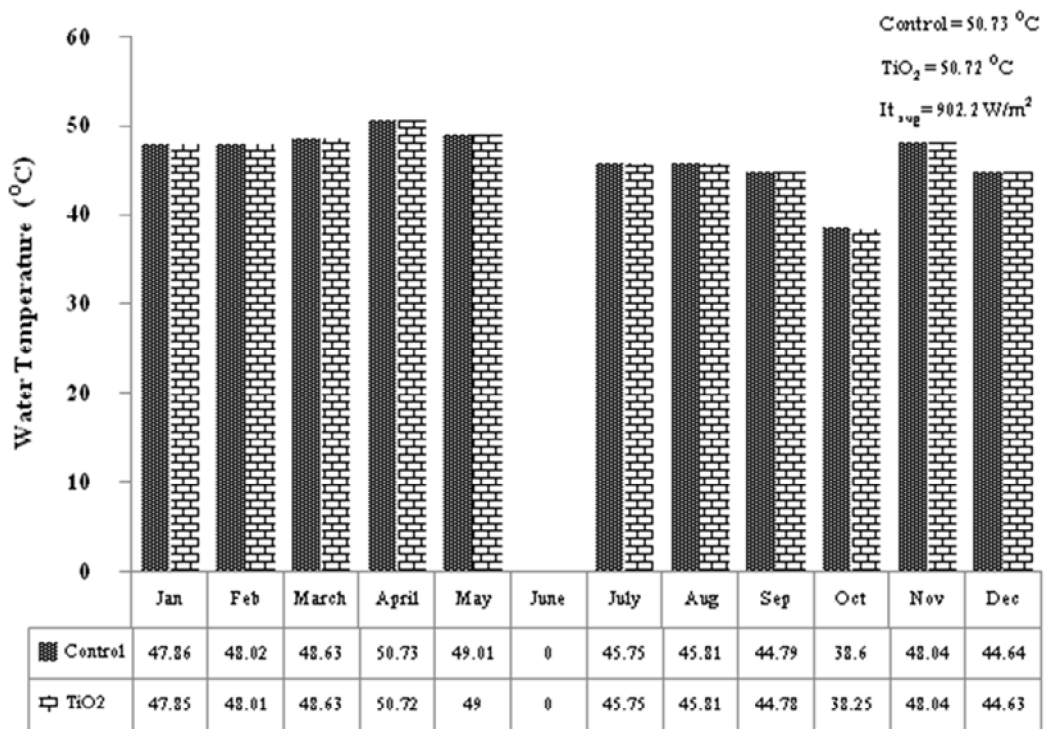
**รูปที่ 4.11** การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิน้ำในระบบทำน้ำร้อน เมื่อเพิ่มขนาดแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ( $T_{w,new}$ ) ( $2 \times 1.5 \text{ m}^2$ ) จากขนาดแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เดิม ( $T_{w,old}$ ) ( $0.22 \times 0.25 \text{ m}^2$ ) ของชุดทดสอบแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  (วันที่ทำการทดสอบ 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2555)

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 เมื่อทำการปรับเปลี่ยนขนาดของอุปกรณ์ทดสอบ อาทิเช่นตัวรับรังสีอาทิตย์ และแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ เป็นต้น ให้มีขนาดพื้นที่ใหญ่กว่าเดิม 1-2 เท่า พบว่า สามารถทำนายอุณหภูมิน้ำภายในระบบทำน้ำร้อน โดยใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  และแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม (Control) ให้มีอุณหภูมิน้ำภายในระบบเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม 2-10 °C โดยอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่ชุดทดสอบที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  เท่ากับ 50.6 °C มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ 929.4  $\text{W/m}^2$  ณ เวลา 12.03 น. และอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่ชุดทดสอบที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม (Control) เท่ากับ เท่ากับ 54 °C มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ 1000.0  $\text{W/m}^2$  ณ เวลา 12.33 น.

ดังนั้น เมื่อมีการเพิ่มขนาดของอุปกรณ์การทดสอบ ทำให้สามารถทำนายอุณหภูมิน้ำให้มีค่าสูงมากพอที่จะนำมาใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียได้ เนื่องจากการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียนี้ อาศัยกระบวนการเกิดปฏิกิริยาทางแสงด้วย  $\text{TiO}_2$  แล้วจึงต้องอาศัยพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์อีกด้วย

**4.3.4 ผลของการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาศึกษาต่อ เพื่อทำนายการเพิ่มอุณหภูมิ น้ำในระบบ แต่ละเดือนตลอดทั้งปีของตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC และขนาดของแผ่น ดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่เคลือบ TiO<sub>2</sub> และชุดทดสอบที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำ ด้านเป็นชุดควบคุม**

จากรูปที่ 4.12 เป็นการทำนายอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยของระบบทำน้ำร้อนในแต่ละเดือนตลอดทั้งปี โดยใช้ ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ TiO<sub>2</sub> และแผ่นดูดกลืนรังสี ออาทิตย์เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม (Control) ซึ่งขนาดพื้นที่ของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบ ACPC (0.7189 m) และขนาดของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่เคลือบ TiO<sub>2</sub> (0.22x0.25 m<sup>2</sup>) และชุดทดสอบที่มี แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม (0.22x0.25 m<sup>2</sup>) โดยในการเลือกวันที่นำมาใช้ ในการทำนายของแต่ละเดือนตลอดทั้งปีนั้น



**รูปที่ 4.12** การเปรียบเทียบผลของการทำนายอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในแต่ละเดือนตลอดทั้งปี โดยมีแผ่น ดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ TiO<sub>2</sub> (0.22x0.25 m<sup>2</sup>) และเคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม (Control) (0.22x0.25 m<sup>2</sup>)

พบว่า เดือนที่สามารถทำนายอุณหภูมิให้มีค่าสูงที่สุดคือ เมษายน ซึ่งอุณหภูมิที่ได้เท่ากับ  $50.73^{\circ}\text{C}$  สำหรับชุดทดสอบที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม และ  $50.72^{\circ}\text{C}$  สำหรับชุดทดสอบที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  ซึ่งในเดือนนี้มีค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ  $902 \text{ W/m}^2$  จากการสังเกตอุณหภูมิน้ำที่สามารถทำนายได้ของทั้ง 2 ชุดทดสอบ มีค่าใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากปัจจัยหรือตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อการใช้  $\text{TiO}_2$  เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการใช้แสงร่วม (Photocatalysts) ที่ไม่ได้อ้างอิงถึงในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ อาทิเช่น ค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และค่าการแผ่รังสีความร้อนของ  $\text{TiO}_2$  เมื่อได้มีการดูดกลืนพลังงานนั้นไว้ รวมถึงตัวแปรทางกายภาพที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการทดสอบและการคำนวณ อาทิ ค่าความเร็วลม ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์และค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม เป็นต้น

ดังนั้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการทำนายอุณหภูมิน้ำของระบบทำน้ำร้อน ในแต่ละเดือนตลอดทั้งปีมีประสิทธิภาพการทำงานได้จริง ทำให้ทราบว่า การทดสอบโดยใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบ ACPC ร่วมกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบ  $\text{TiO}_2$  และแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เคลือบสีดำด้านเป็นชุดควบคุม (Control) เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสีย สามารถทำการทดสอบได้ตลอดทั้งปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยธรรมชาติ อันเนื่องมาจากอุณหภูมิน้ำ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ และค่าความเร็วลม มีค่าสูง ที่จะทำการทดสอบได้