

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัยแบ่งได้เป็นส่วนๆ คือดังนี้ คือ

- ผลการเตรียมฟิล์ม การวิเคราะห์คุณลักษณะของฟิล์มเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์
- ผลการบำบัดน้ำเสียในชุมชน

ในการเตรียมฟิล์มจำเป็นต้องใช้สารโซลเจล ซึ่งได้จากการเตรียม จาก TTIP:IPP ซึ่งมีสัดส่วนดังต่อไปนี้ 1:5 1:10 1:15 และ 1:30 โดยปริมาตร ซึ่งในเบื้องต้นได้นำผงไทเทเนียมออกไซด์ที่ได้จาก โซลเจลมาเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ก่อนเลือกตัดสินใจใช้เงื่อนไขที่เหมาะสมนำไปเคลือบฟิล์ม ซึ่งพบว่า ในการเตรียมผงไทเทเนียมออกไซด์ พบว่าการอบผงไทเทเนียมออกไซด์ที่ได้ จากโซลเจล ที่อุณหภูมิ 300-700°C ขณะที่ระหว่าง 700-1000 °C จะได้ผลึกที่เป็นเฟสอนาเทสผสมกับรูไทล์ ในขณะที่อุณหภูมิ 1000-1200°C เป็นผลึกที่เป็นเฟสอนาเทสเพียงเฟสเดียว ที่จะได้ผง TiO_2 ที่เป็นเฟสอนาเทส ซึ่งจะเป็นเฟสของ TiO_2 ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีกว่าเฟสผสมระหว่าง รูไทล์กับ อนา เทส หรือเฟสรูไทล์เพียงอย่างเดียว โดยทุกอัตราส่วน TTIP:IPP มีโครงสร้างผลึกที่มีลักษณะใกล้เคียงกันที่อุณหภูมิแบบเดียวกัน ในเบื้องต้น ในการเคลือบฟิล์มจึงได้นำอัตราส่วน TTIP:IPP 1:10 นำมาเคลือบฟิล์ม ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่ทำให้ฟิล์มเคลือบมีความหนาที่เหมาะสมต่อการเคลือบหนึ่งรอบ เพราะ ที่อัตราส่วน 1:5 จะทำให้ฟิล์มมีความหนาต่อหนึ่งรอบมากซึ่งทำให้แรงยึดเกาะกันเองของฟิล์ม สูงกว่าการยึดเกาะของฟิล์มกับแผ่นรองเคลือบทำให้เกิดการหลุดลอกและแตกตัวของฟิล์มโดยง่าย

4.1 ฟิล์มเคลือบไทเทเนียมออกไซด์บนสแตนเลส

ฟิล์มเคลือบไทเทเนียมออกไซด์บนสแตนเลสด้วยอัตราส่วน TTIP:IPP 1:10 โดยปริมาตร โดยนำฟิล์มไปอบอ่อนที่อุณหภูมิ แตกต่างกันได้แก่ที่ 500 และ 700 °C ที่อัตราการจุ่มเคลือบที่ 0.12 cm/s

4.1.1 การศึกษาความเป็นผลึกของฟิล์มไทเทเนียมออกไซด์บนสแตนเลส

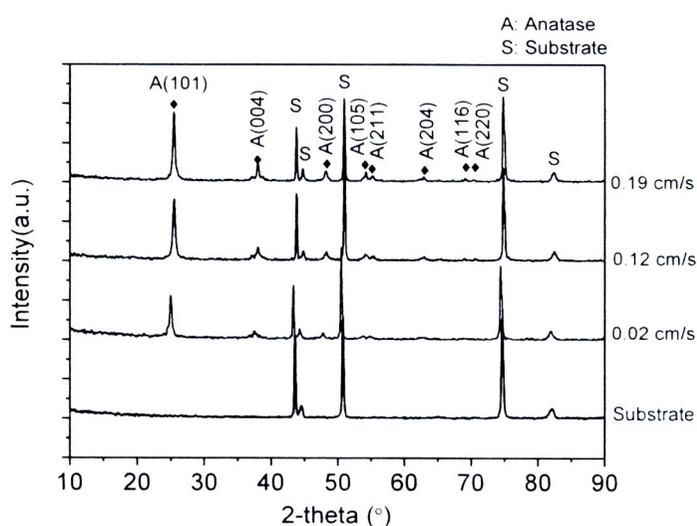
4.1.1.1 ผลของอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบและจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบต่อความเป็นผลึก

ในการศึกษาผลของอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบโดยเปลี่ยนค่าอัตราจุ่มเคลือบที่อัตราเร็ว 0.02 0.12 และ 0.19 cm/s โดยกำหนดอัตราส่วน TTIP:IPP ที่ 1:10 โดยปริมาตร และอุณหภูมิในการอบอ่อนกำหนดที่ 500 และ 700 °C ที่จำนวนรอบในการเคลือบ 5 10 และ 30 รอบ

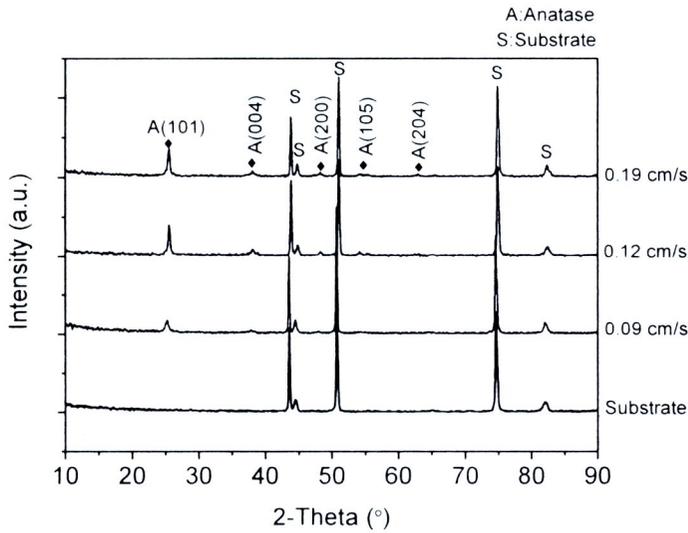
รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าฟิล์ม TiO_2 ที่เตรียมด้วยอัตราส่วน TTIP:IPP ที่ 1:10 โดยปริมาตร และอุณหภูมิในการอบอ่อนกำหนดที่ 500 °C จำนวนรอบในการเคลือบ 30 รอบ พบว่าที่อัตราเร็วในการเคลือบสูงขึ้น แสดงถึงความความเข้มผลึกมากขึ้นทั้งนี้เกิดจากที่อัตราเร็วในการเคลือบสูง ขึ้นทำให้ฟิล์มมีความหนามากขึ้น จึงตรวจสอบจำนวนผลึกได้มากขึ้น ฟิล์มที่ได้มีเป็นผลึกในเฟสอนาเทสทั้งหมดโดยมีระนาบหลักคือ A(101) และยังปรากฏระนาบอื่นๆดังต่อไปนี้ A(004) A(200) A(105) A(211) A(204) A(116) และ A(220)

โดยแต่ละระนาบปรากฏชัดเจนขึ้นเมื่ออัตราเร็วในการเคลือบสูงขึ้น รูปที่ 4.2 คือรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เงื่อนไขการเตรียมฟิล์มเหมือนกับ รูปที่ 4.1 แต่มีจำนวนรอบในการเคลือบ 10 รอบ ซึ่งจะเห็นว่าฟิล์มที่ได้ยังคงเป็น TiO_2 เฟสอนาเทส แต่มีความเข้มรังสีน้อยกว่า เนื่องจากตรวจสอบเจอผลึกน้อยกว่าเพราะฟิล์มที่ได้บางกว่า การเคลือบ 30 รอบ รูปที่ 4.3 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสี ที่จำนวนรอบในการเคลือบ 5 รอบ จะเห็นว่าฟิล์มที่ได้เป็นผลึก TiO_2 ในเฟสอนาเทส เหมือนกันแต่ระนาบที่แสดงให้เห็นมีเพียงระนาบ A(101) น่าจะเกิดจากฟิล์มค่อนข้างบาง

เมื่อนำความเข้มของการตรวจพบผลึกที่ระนาบหลัก A(101) มาเปรียบเทียบ กันที่อัตราเร็วในการจุ่มเคลือบต่างกันและจำนวนรอบในการจุ่มต่างกัน จะเห็นได้ว่า ที่จำนวนรอบในการจุ่มเคลือบเท่ากัน อัตราเร็ว

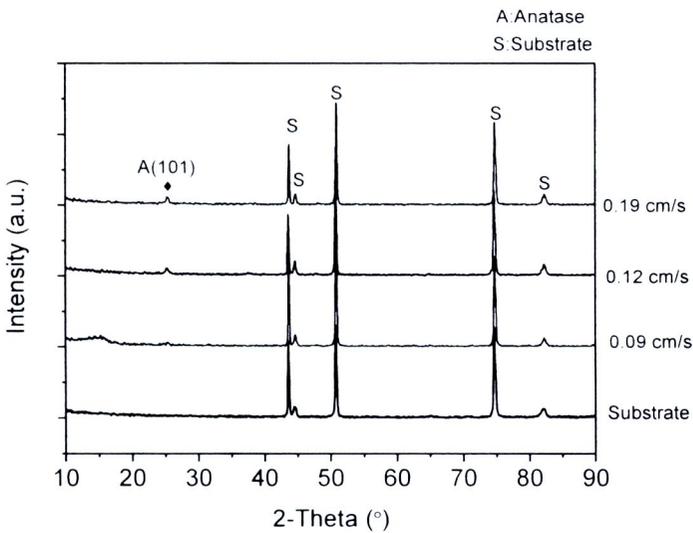


รูปที่ 4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนแผ่นรองเคลือบ (substrate) และฟิล์มบาง TiO_2 ที่อัตราการเคลือบต่างกัน คือ 0.02 0.12 และ 0.19 cm/s ที่จำนวนรอบในการเคลือบ 30 รอบ อุณหภูมิอบอ่อน 500°C อัตราส่วน TTIP:IPP ที่ 1:10

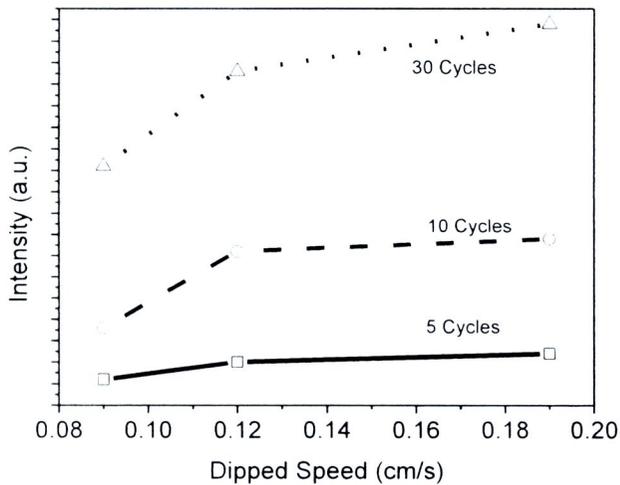


รูปที่ 4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนแผ่นรองเคลือบ (substrate) และฟิล์มบาง TiO_2 ที่อัตราการเคลือบต่างกัน คือ 0.02 0.12 และ 0.19 cm/s ที่จำนวนรอบในการเคลือบ 10 รอบ อุณหภูมิอบอ่อน $500^{\circ}C$ อัตราส่วน TTIP:IPP ที่ 1:10

ในการจุ่มเคลือบมากขึ้นผลึกที่ตรวจสอบได้มีจำนวนมากขึ้น แต่อัตราการเพิ่มของจำนวนผลึกนี้ลดลงเมื่ออัตราเร็วในการเคลือบสูงขึ้นแสดงดัง รูปที่ 4.4 ซึ่งจะเห็นว่า จากอัตราเร็ว 0.09 cm/s ถึง 0.12 cm/s ความชันของกราฟสูงกว่าความชันจากอัตราเร็ว 0.12 cm/s ถึง 0.19 cm/s ซึ่งมีลักษณะเหมือนทุกทั้ง 5 10 และ 30 รอบ



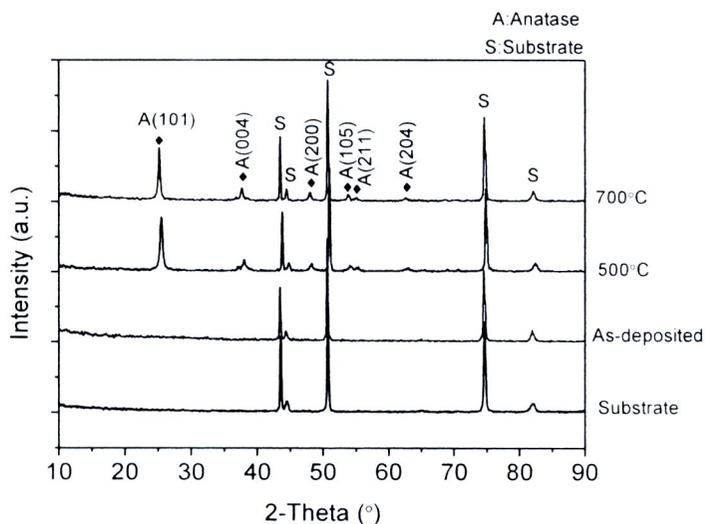
รูปที่ 4.3 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์แผ่นรองเคลือบ (substrate) และฟิล์มบาง TiO_2 ที่อัตราการเคลือบต่างกัน คือ 0.02 0.12 และ 0.19 cm/s ที่จำนวนรอบในการเคลือบ 5 รอบ อุณหภูมิอบอ่อน $500^{\circ}C$ อัตราส่วน TTIP:IPP ที่ 1:10



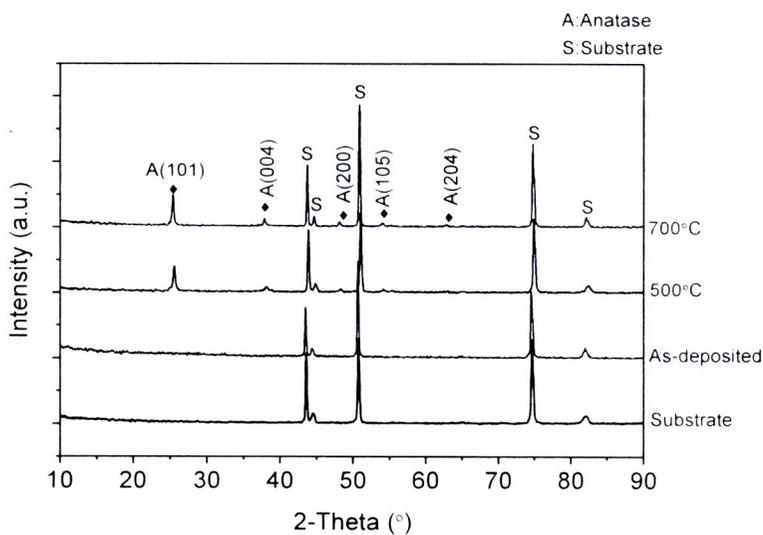
รูปที่ 4.4 ความเข้มของระนาบ A(101) ของฟิล์มบาง TiO_2 ที่อัตราการเคลือบต่างกัน คือ 0.02 0.12 และ 0.19 cm/s ที่จำนวนรอบในการเคลือบ 5 10 และ 30 รอบ อุณหภูมิอบอ่อน 500°C และอัตราส่วน TTIP:IPP ที่ 1:10

4.1.1.2 ผลของอุณหภูมิในการอบอ่อนต่อความเป็นผลึก

เพื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกา ครอบอ่อนโดยเปลี่ยนค่าอุณหภูมิที่ ไม่มีการอบอ่อน (As-deposited) 500 และ 700°C โดยอุณหภูมิที่มากกว่า 700°C ในการศึกษาเบื้องต้นพบว่า จะทำให้แผ่นสแตนเลสฟอร์มตัวเป็นสนิม ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้งานได้ เพื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบอ่อน โดยนำเงื่อนไขฟิล์มเคลือบที่ TTIP:IPP ที่ 1:10 จำนวนรอบในการเคลือบ 30 รอบ ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งจะเห็นว่าฟิล์มที่ไม่ได้ผ่านการอบอ่อน ฟิล์มที่มีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน (amorphous) แต่ยังคงแสดง โครงสร้างผลึกของแผ่น รองเคลือบที่รังสีเอ็กซ์ฟาลงไปถึง สำหรับฟิล์ม TiO_2 ที่เตรียมที่อุณหภูมิ 500 และ 700°C เป็นฟิล์มที่มีโครงสร้างอยู่ในเฟสอนาเทสทั้งคู่ ซึ่งมีลักษณะเดียวกันกับ รูปที่ 4.6 แต่ฟิล์มที่เคลือบด้วยจำนวนรอบ 30 รอบเป็นฟิล์มที่หนากว่าฟิล์มที่เคลือบด้วยจำนวนรอบในการเคลือบ 10 รอบ จึงทำให้ความเข้มรังสีในการตรวจเจอผลึกสูงกว่า อย่างไรก็ตามฟิล์มที่เตรียมโดยการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 700°C มีความเป็นผลึกสูงกว่าการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 500°C เล็กน้อย

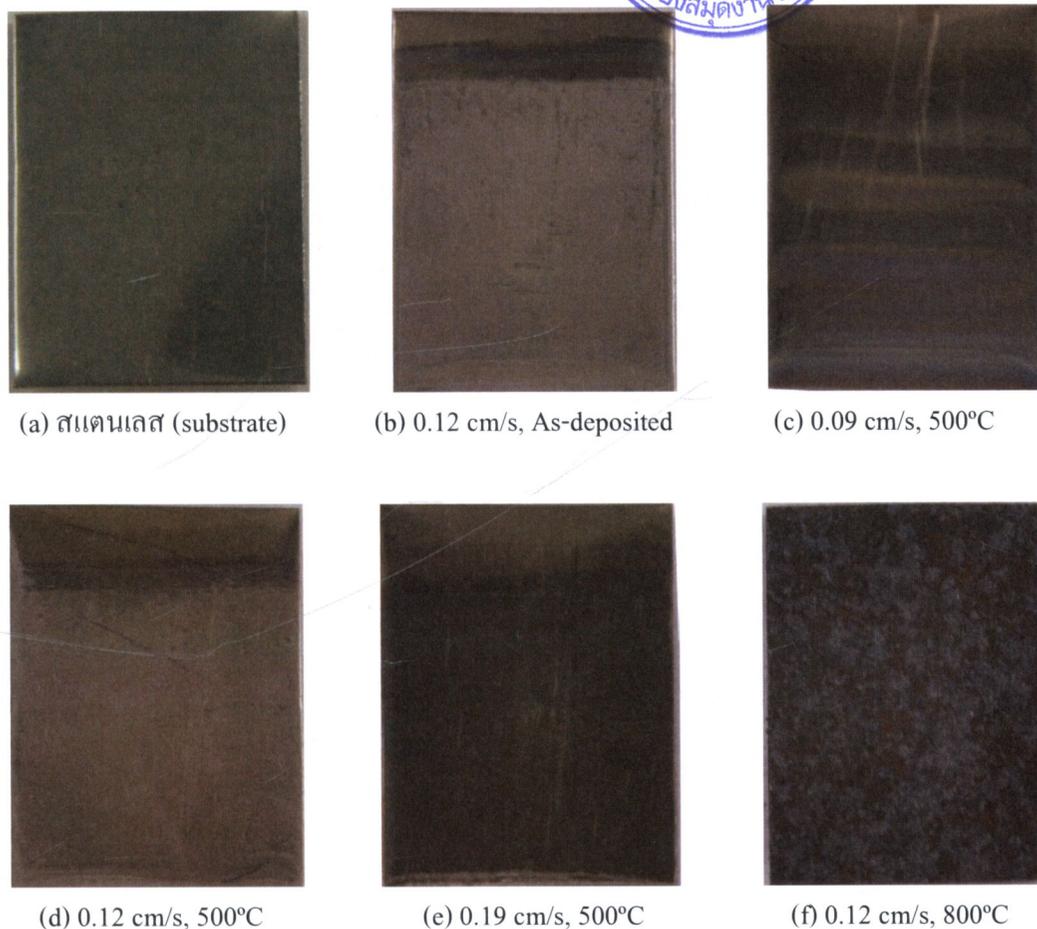


รูปที่ 4.5 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแผ่นรองเคลือบและฟิล์ม TiO_2 ที่เตรียมด้วยอุณหภูมิในการอบ
 อ่อนต่างกัน TTIP:IPP ที่ 1:10 จำนวนรอบในการเคลือบ 30 รอบ และอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบ
 0.12 cm/s



รูปที่ 4.6 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแผ่นรองเคลือบและฟิล์ม TiO_2 ที่เตรียมด้วยอุณหภูมิในการอบ
 อ่อนต่างกัน TTIP:IPP ที่ 1:10 จำนวนรอบในการเคลือบ 10 รอบ และอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบ
 0.12 cm/s

อย่างไรก็ตามเพื่อศึกษาพิจารณาว่าอัตราเร็วใดในการจุ่มเคลือบ และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการนำเมือ
 เคลือบเป็นฟิล์มที่ใช้สำหรับการทำ กังหันน้ำซึ่ง เมื่อพิจารณาภาพถ่ายของฟิล์มเคลือบเบื้องต้นบนสแตนเลส
 ที่นำมาศึกษาความเป็นผลึก แสดงภาพถ่ายฟิล์มดัง รูปที่ 4.7 (a) สแตนเลส หรือแผ่นรองเคลือบ



(a) สแตนเลส (substrate)

(b) 0.12 cm/s, As-deposited

(c) 0.09 cm/s, 500°C

(d) 0.12 cm/s, 500°C

(e) 0.19 cm/s, 500°C

(f) 0.12 cm/s, 800°C

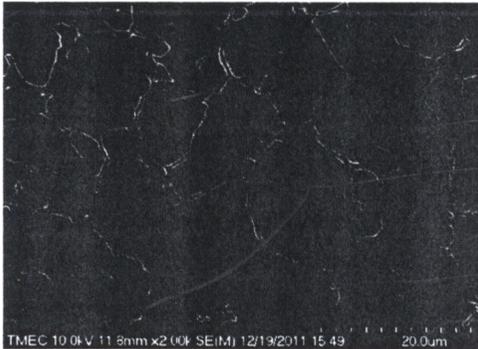
รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายแผ่นรองเคลือบ (Substrate) และ ฟิล์มเคลือบไทเทเนียมออกไซด์ ที่เงื่อนไขการเคลือบด้วยอัตราเร็วต่างๆ และอุณหภูมิต่างกัน โดยอัตราส่วนในการเคลือบ TTIP:IPP ที่ 1:10 จำนวนรอบในการเคลือบ 10 รอบ

รูปที่ 4.7 (b) แสดงฟิล์มเคลือบไทเทเนียมออกไซด์มาตรฐานที่ยังไม่ผ่านการอบอ่อน (c) (d) และ (e) คือ เป็นฟิล์มที่ผ่านการอบ 500°C ที่อัตราเร็วในการจุ่มเคลือบ 0.09 0.12 และ 0.19 cm/s ตามลำดับ จะเห็นว่าฟิล์มที่เคลือบที่อัตราเร็วในการจุ่ม 0.09 cm/s เคลือบฟิล์มไม่มีความสม่ำเสมอเนื่องจากอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบที่ช้าทำให้ออกไซด์จุ่มเคลือบสั้นจึงไม่สามารถเคลือบฟิล์มที่สม่ำเสมอได้ ในขณะที่ฟิล์ม 0.12 cm/s และ 0.19 cm/s เป็นอัตราเร็วที่เคลือบฟิล์มได้ค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่อย่างไรก็ตามฟิล์มเคลือบที่อัตราเร็ว 0.19 cm/s ทำให้ความหนาของฟิล์มต่อรอบค่อนข้างหนา ซึ่งง่ายต่อการแตกและหลุดลอกจึงไม่เหมาะสมในการนำฟิล์มมาเคลือบเช่นเดียวกัน

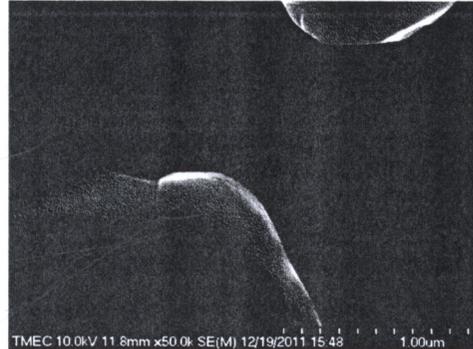
ดังนั้นอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบที่เหมาะสมคือ 0.12 cm/s อัตราส่วนในการเคลือบ TTIP:IPP ที่ 1:10 จำนวนรอบในการเคลือบคือ 30 รอบ และอุณหภูมิในการอบอ่อนคือ 500 และ 700 °C

4.1.2 ลักษณะพื้นผิวฟิล์ม (Surface Morphology)

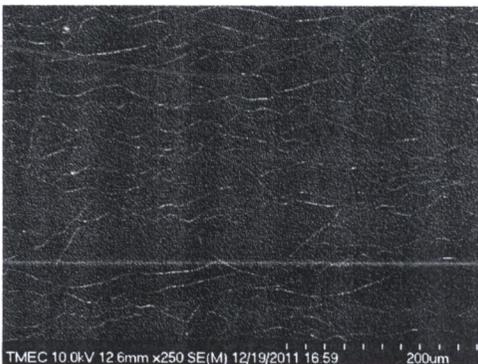
การพิจารณาพื้นผิวฟิล์มโดยถ่ายภาพโดยเทคนิค SEM และ AFM ของแผ่นรองเคลือบ และฟิล์ม TiO_2 ที่เคลือบด้วยอัตราการเคลือบ 0.12 cm/s TTIP:IPP ที่ 1:10 ที่จำนวนรอบ 30 รอบ



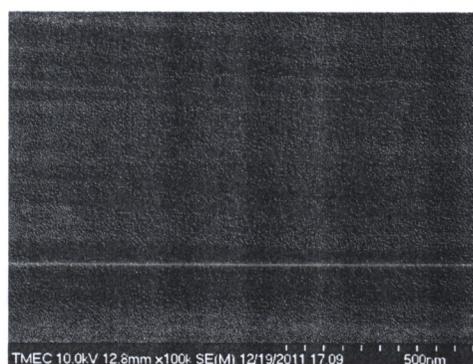
(a) สแตนเลส (Substrate) : x 2,000



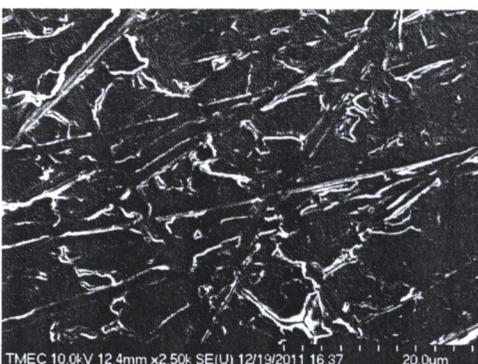
(b) สแตนเลส (Substrate) : x 50,000



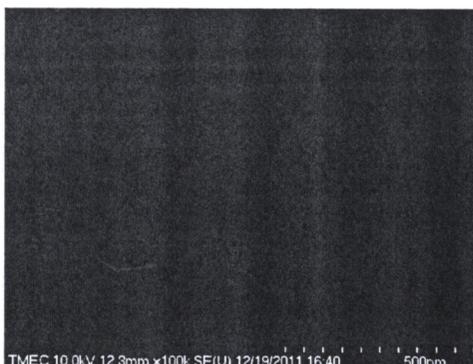
(c) ไทเทเนียมออกไซด์ : x 250 As-deposited



(d) ไทเทเนียมออกไซด์ : x 100,000 As-deposited



(e) TiO_2 : x 250 และ 500 °C



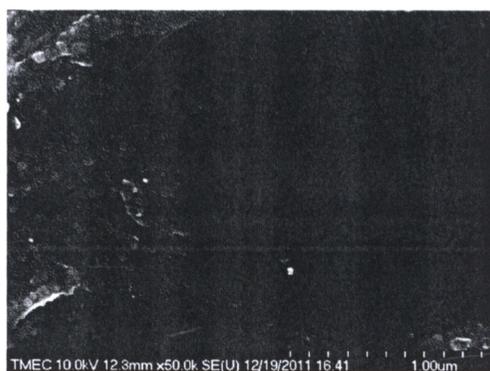
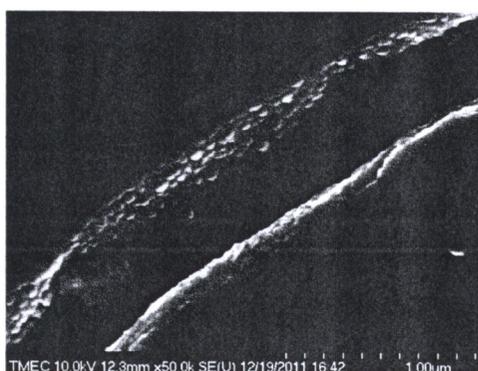
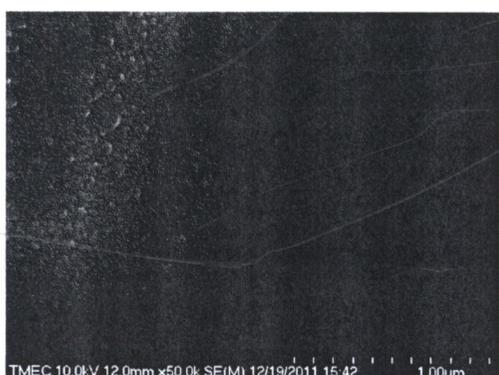
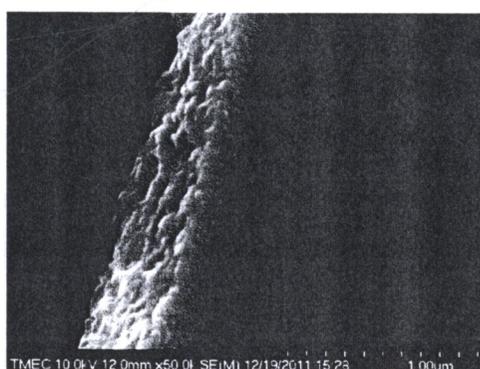
(f) TiO_2 : x 100,000 และ 500 °C

รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายโดยเทคนิค SEM ของแผ่นรองเคลือบ สแตนเลส (a) และ (b) ฟิล์มเคลือบไทเทเนียมออกไซด์ (c) และ (d) และฟิล์มเคลือบ TiO_2 (e) และ (f).

จากรูปที่ 4.8 (a) และ (b) ในที่นี้เป็นแผ่นสแตนเลส เกรด 304 ซึ่งมีไม่เป็นที่สนิมในสภาพสิ่งแวดล้อมปกติ และการอบอ่อนที่ 500 °C ตัวแผ่นก็ไม่ถูกกระตุ้นให้เกิดสนิม (a) แผ่นสแตนเลสที่กำลังขยาย 2,000 เท่า จากรูปจะเป็นได้ชัดเจนว่าพื้นผิวสแตนเลสที่นำมาเคลือบเป็นพื้นผิวที่ไม่มีความราบเรียบ มีรอย (trace) ยาวและสั้นตัดกัน จากการขัด ซึ่งมีลักษณะพื้นผิวที่กล่าวได้ว่าเป็นในลักษณะ ใยแมงมุม (web net) อย่างไรก็ตามสิ่งที่ปรากฏให้เห็นชัดอีกอย่างหนึ่งก็คือ ลักษณะขอบเกรนที่ปรากฏเป็นรอยต่อระหว่างขอบเกรนด้วยกันอย่างเห็นได้ชัดโดยขนาดของเกรน ไม่สม่ำเสมอโดยมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ ประมาณ 2-20 μm อย่างไรก็ตาม ผิวที่มีความขรุขระของวัสดุรองเคลือบ จะส่ง ผลต่อการยึดเกาะของฟิล์ม รูปที่ 4.8 (b) ที่กำลังขยาย 50,000 เท่าจะเห็นรอยต่อขอบเกรนซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้ผิววัสดุรองเคลือบไม่สม่ำเสมอออกเหนือจาก รอยการชุบซิงค์ที่เกิดจากการขัดผิวแผ่นรองเคลือบ

ฟิล์มไทเทเนียมออกไซด์ เคลือบลงบนสแตนเลส โดยไม่มีการอบอ่อน แสดงดัง รูปที่ 4.8 (c) และ (d) โดย รูปที่ 4.8 (c) เห็นได้อย่างชัดเจนว่าฟิล์มเคลือบปกคลุมแผ่นรองเคลือบตลอดบริเวณโดยจะมีลักษณะของฟิล์มราบเรียบเมื่อเทียบกับแผ่นรองเคลือบที่มีลักษณะผิวขรุขระ อย่างไรก็ตาม ฟิล์มที่เคลือบมีลักษณะของรอยแตก โดยมีขนาดของบริเวณที่แตก ไม่สม่ำเสมอ เป็นบริเวณเล็ก ใหญ่สลับกันไป ซึ่งมีขนาดความกว้างประมาณ 20-100 μm แต่แผ่นรอยแตกดังกล่าวยังมีการยึดเกาะบนแผ่นวัสดุรองเคลือบได้โดยไม่มี การหลุดร่อน ซึ่งรอยแตกดังกล่าวจะเกิดจากความเครียดบนตัวฟิล์ม ที่เคลือบลงบนวัสดุที่มีพื้นผิวใน ลักษณะใยแมงมุม (web net) มีรอยต่างๆ ที่ขัดสานกันอยู่ โดยมีความลึกของรอย แตกต่างกันไป อย่างไรก็ตาม เมื่อขยายภาพพื้นผิวลงไปทีบริเวณพื้นผิวที่ไม่มีรอยแตก ดัง รูปที่ 4.8 (d) พบว่าฟิล์มมีลักษณะค่อนข้างราบเรียบ และยังมีลักษณะสูงต่ำเป็นริ้วอยู่บ้างเนื่องเนื่องจากการเคลือบโดยจะเห็นว่า ฟิล์ม จับตัวกันแน่นไม่ มีรอยแตกและเป็นฟิล์มที่ไม่มีความพรุน

ฟิล์มเคลือบ TiO_2 ลงบนแผ่นสแตนเลสและหลังเคลือบฟิล์มจึงนำฟิล์มไปอบที่อุณหภูมิ 500 °C แสดงดังรูปที่ 4.8 (e) และ (f) ลักษณะของผิวฟิล์มแสดงดัง รูปที่ 4.8 จากรูปจะเห็นว่าที่กำลังขยายต่ำ คือ รูปที่ 4.8 (e) กำลังขยาย 250 เท่า ฟิล์มที่ได้มีการกระจายตัวทั่วบริเวณแผ่นวัสดุรองเคลือบ โดยฟิล์มกระจายตัวมี ลักษณะสูงต่ำตามลักษณะของแผ่นรองเคลือบที่ลักษณะเป็นรอยขัดสานกันทั่วบริเวณ และยังคงแสดงให้เห็นถึงลักษณะของผิวแผ่นวัสดุรองเคลือบได้อย่างชัดเจน แต่เมื่อ ขยายภาพลงไปทีพื้นผิว วดรงบริเวณการเคลือบของฟิล์ม แสดงดัง รูปที่ 4.8 (f) จะเห็นว่าฟิล์มมีลักษณะการจับตัวกันแน่นโดยจะเห็นลักษณะการก่อตัวเป็นเม็ดเกรน ลักษณะกลมโดยขนาดเกรนมีขนาดต่างกันบางเล็กน้อย แต่โดยรวมลักษณะรูปร่างของเกรน และขนาดของเกรนใกล้เคียงกัน โดยขนาดของเกรนอยู่ในช่วง 10-50 nm ซึ่งลักษณะเกรนที่เป็นปุ่มกลมๆ และขนาดค่อนข้างเล็กในระดับนาโนเมตร ส่งผลให้ได้พื้นผิวสัมผัส (surface area) สำหรับผิวที่ช่วยเร่งปฏิกิริยามีค่าค่อนข้างสูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงที่ดี อย่างไรก็ตามฟิล์ม TiO_2 บนสแตนเลส หลังการอบอ่อน มีแนวโน้มฟิล์มเคลือบที่ปรับพื้นผิวเคลือบไปตามแนว สูงต่ำ ตามรอยชุบซิงค์ที่ขัดสานกันของแผ่นสแตนเลสซึ่งเห็นได้ชัด จะมีฟิล์มที่วางตัวตามแนวร่องการชุบซิงค์ของแผ่นรองเคลือบด้วยเช่นกัน

(a) TiO_2 : x 50,000 และ 500 °C(b) TiO_2 : x 50,000 และ 500 °C(c) TiO_2 : x 50,000 และ 700 °C(d) TiO_2 : x 50,000 และ 700 °C

รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายโดยเทคนิค SEM ของฟิล์มเคลือบ TiO_2 ที่ด้วยอัตราการเคลือบ 0.12 cm/s TTIP:IPP ที่ 1:10 ที่จำนวนรอบ 30 รอบ ที่อุณหภูมิในการอบอ่อน คือ 500 และ 700 °C

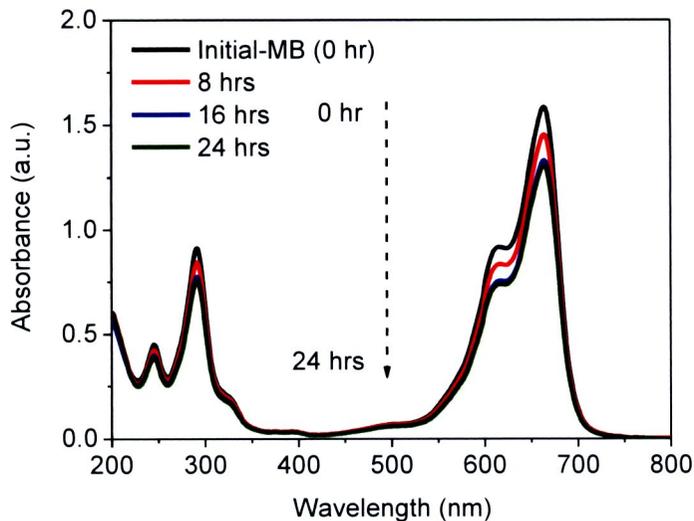
จากรูปที่ 4.9 แสดงภาพถ่ายโดยเทคนิค SEM ของฟิล์มเคลือบ TiO_2 ที่ด้วยอัตราการเคลือบ 0.12 cm/s TTIP:IPP ที่ 1:10 ที่จำนวนรอบ 30 รอบ ที่อุณหภูมิในการอบอ่อน คือ 500 และ 700 °C จะเห็นว่าฟิล์มที่อบอ่อนด้วยฟิล์ม อุณหภูมิ 500 °C เป็นฟิล์มที่มีเกรนขนาดเล็กและมีลักษณะค่อนข้างกลมเป็นปุ่ม และมีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ รูปที่ 4.9 (a) ในขณะที่ฟิล์มที่เคลือบด้วยอุณหภูมิที่ 700 °C มีเกรนขนาดเล็กและเป็นเหลี่ยม โดยขนาดมีขนาดแตกต่างกันแต่ไม่แตกต่างกันมากนัก รูปที่ 4.9 (b) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาฟิล์มที่ตำแหน่งรอยแตก ของร่องขูดขีดพบว่าฟิล์มเคลือบคลุมตลอดรอยขีด ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวทำให้ฟิล์มที่เตรียมได้มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาดังแสงต่างกัน ซึ่งพบว่าฟิล์มที่อบอ่อนที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเงื่อนไขของฟิล์มที่เหมาะสมในการนำไปเป็นเงื่อนไขในการเคลือบเป็นกั้นหน้าสำหรับการบำบัด ดินน้ำเสีย หรือนำไปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังแสง

4.1.3 ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง

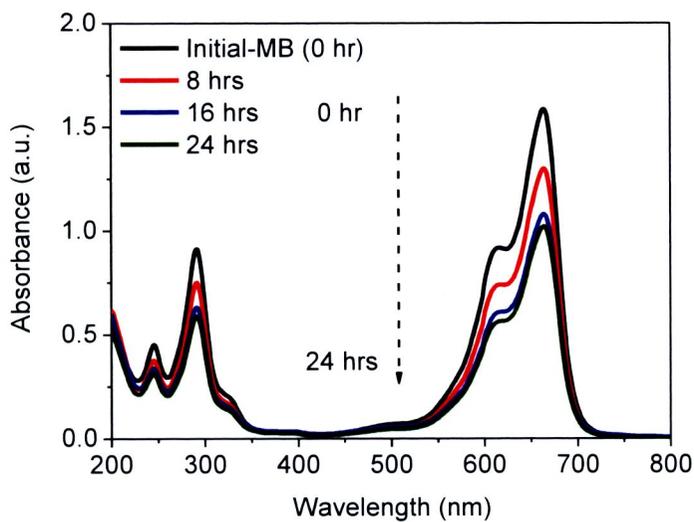
ในการศึกษาการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง ซึ่งทดสอบความสามารถของกังหันน้ำที่เคลือบด้วยฟิล์ม TiO_2 (Coated TiO_2 water wheel: CTWW) และไม่เคลือบด้วยฟิล์ม TiO_2 (Uncoated TiO_2 water wheel :UTWW) โดยการจางสีหรือย่อยสลายเมทิลีนบลู : MB โดยที่ให้ครึ่งหนึ่งของกังหันน้ำจุ่มในอ่างที่มี MB ความเข้มข้น 0.05 mmol/L การทดสอบทำภายใต้แสงอาทิตย์ที่เป็นเวลา 3 วัน จากเวลา 8.30-16.30 นาฬิกา ซึ่ง รวมเป็น 24 hrs. โดยทั้งสองอ่างจะใช้ถุงพลาสติกบางใส คลุมไว้เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ซึ่งจะทำให้ผลที่ได้คลาดเคลื่อนได้ โดยหลังจากผ่านการทดสอบการจางสีแล้วจะนำสารละลาย MB ไปตรวจวัดการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200-800 nm ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer

รูปที่ 4.10 (a) และ (b) แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ MB ที่ผ่านการจางสีด้วยกังหันน้ำที่ไม่เคลือบฟิล์ม TiO_2 และเคลือบฟิล์ม TiO_2 ตามลำดับ โดยรูปที่ 4.10 (a) เป็นสเปกตรัมการดูดกลืนของ MB ของกังหันน้ำที่ไม่ผ่านการเคลือบ TiO_2 ซึ่งเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปตรวจสอบวันละครั้ง คือ เวลาที่นำไปตรวจค่าการดูดกลืน ได้แก่ 8 16 และ 24 hrs ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเวลาในการจางสีมากขึ้น MB จะดูดกลืนแสงน้อยลง ซึ่งเกิดจากการจางสีเมื่อ MB อยู่ภายใต้แสงจากดวงอาทิตย์และกังหันน้ำที่มีอัตราเร็วในการหมุน 17 rev/min. เมื่อพิจารณาความยาวคลื่นที่ 664 nm ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลง อย่างชัดเจน โดยเมื่อเทียบกับ MB ที่ไม่ผ่านกระบวนการจางสี คิดเป็นประสิทธิภาพในการจางสี 17.8% โดยในขณะที่ รูปที่ 4.10 (b) เป็นสเปกตรัมการดูดกลืนของ MB ของกังหันน้ำที่ผ่านการเคลือบ TiO_2 และอบอ่อนที่ 500 °C ซึ่งจะเห็นว่าหลังจากผ่านกระบวนการจางสีแล้วเมื่อเทียบกับ MB ที่ไม่ผ่านกระบวนการจางสี คิดเป็นประสิทธิภาพในการจางสี 35.6%

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการจางสีของกังหันน้ำที่ไม่เคลือบฟิล์ม TiO_2 และเคลือบ TiO_2 ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันโดยพิจารณาที่ระยะเวลาในการจางสีที่เวลาต่างๆ พบว่า MB ผ่านการจางสีเป็นเวลา 24 hrs ประสิทธิภาพของกังหันที่เคลือบด้วย TiO_2 มีประสิทธิภาพสูงกว่ากังหันน้ำที่ไม่เคลือบ TiO_2 อยู่ 21.7% แสดงดังรูปที่ 4.11

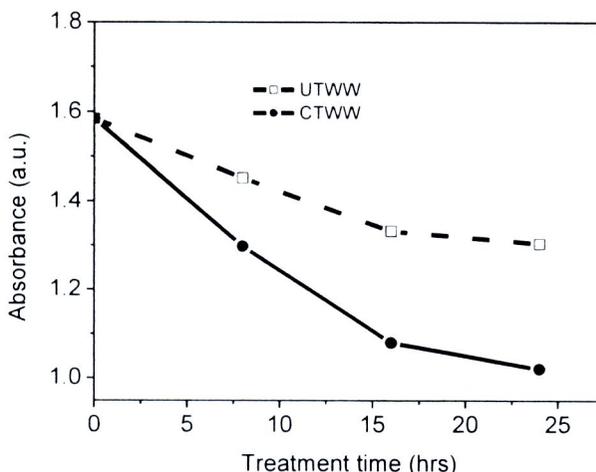


(a) การจางสีของ MB สำหรับกัณฑ์น้ำที่ไม่เคลือบ TiO₂: UTWW



(b) การจางสีของ MB สำหรับกัณฑ์น้ำที่เคลือบ TiO₂: CTWW

รูปที่ 4.10 สเปกตรัม การดูดกลืนของ MB ที่ผ่านกระบวนการจางสีภายใต้แสงอาทิตย์ และกัณฑ์น้ำที่อัตราเร็วรอบ 17 rev/min. (a) การจางสีของ MB สำหรับกัณฑ์น้ำที่ไม่เคลือบ TiO₂ และ (b) การจางสีของ MB สำหรับกัณฑ์น้ำที่เคลือบ TiO₂



รูปที่ 4.11 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาว 664 nm ของ MB ที่ผ่านกระบวนการจางสีภายใต้แสงอาทิตย์ที่เวลาต่างๆ ของกังหันน้ำที่ไม่ผ่านการเคลือบฟิล์ม TiO_2 : UTWW และกังหันน้ำที่ผ่านการเคลือบฟิล์ม TiO_2 : CTWW

4.2 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน

ในการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนได้มีการเก็บตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำเสียเบื้องต้น ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่าง จากน้ำเสียชุมชนในแหล่งต่างๆ ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 คลองแสนแสบบริเวณคลองบริเวณท่าเรือวัดสระเกษ

ตัวอย่างที่ 2 คลองบางไส้ไก่บริเวณหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

ตัวอย่างที่ 3 ท่อรวมจากร้านอาหารก่อนเข้าระบบบำบัดของมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

ในการเก็บน้ำเสียจาก ชุมชนจาก 3 แหล่งที่มาเพื่อต้องการตรวจสอบคุณลักษณะของน้ำเสียจากชุมชนในเบื้องต้น เพราะหลังจากเกิดน้ำท่วมปลายปี พ.ศ. 2554 น้ำเสียในคลองแสนแสบ บางส่วนถูกแทนที่ด้วยน้ำที่ไหลบ่าท่วมทำให้ต้องหาน้ำเสียจากชุมชนที่เหมาะสมใช้เป็นน้ำเสียตั้งต้นเพื่อใช้ในการบำบัด ซึ่งค่าลักษณะน้ำเสียที่ต้องทดสอบได้แก่ COD BOD TS TSS TDS FOG PO_4^{3-} และ TKN แสดงผลดัง ตารางที่ 4.1



ตารางที่ 4.1 ค่าคุณลักษณะน้ำเสียจากชุมชนในแหล่งต่างๆ

พารามิเตอร์ (mg/L)	คลองแสนแสบ	คลองบางลำไ้	มหาวิทยาลัย	ลักษณะน้ำเสีย ชุมชน*
COD	43.61	87.23	111.29	500
BOD	31.10	55.95	118.95	220
TS	322.00	265.00	561.50	720
TSS	15.33	24.66	18.66	220
TDS	306.66	290.00	542.50	500
FOG	4.00	2.66	3.00	100
PO ₄ ³⁻	0.49	1.09	1.82	8
TKN	4.60	14.70	75.50	40

* หมายเหตุ : ลักษณะน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นของสารมลพิษปานกลาง
ที่มา (กรมควบคุมมลพิษ, 2535)

จาก ตารางที่ 4.1 ผู้วิจัยศึกษาผลของ คุณลักษณะน้ำเสียแหล่งชุมชนต่างๆ ได้แก่ ปริมาณของ สารอินทรีย์ในน้ำ ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) และค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) ซึ่งแสดงถึงความสกปรกของน้ำ พบว่า น้ำเสียจากคลองแสนแสบมีค่า BOD เท่ากับ 31.10 mg/L ค่า COD เท่ากับ 43.61 mg/L ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัด น้ำเสียชุมชนจากกรมควบคุมมลพิษ พ.ศ. 2535 นั้นกำหนดให้ค่า BOD ไม่เกิน 20 mg/L ซึ่งค่าน้ำเสียจาก คลองแสนแสบนั้นมีค่าสูงกว่ามาตรฐานเพียง 20 mg/L เท่านั้น ซึ่งเมื่อปล่อยในให้น้ำเสียไหลไปตาม ระยะทางที่นานขึ้นสารอินทรีย์ในน้ำจะน้อยลงเนื่องจาก ระยะเวลา และจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ใน น้ำทำให้ค่าสารอินทรีย์ดังกล่าวผ่านมาตรฐานได้เองก่อนสู่มแม่่น้ำใหญ่ เมื่อพิจารณาน้ำเสีย จากท่อรวมน้ำจาก ร้านอาหาร ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด ของมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาจะมีปริมาณ BOD เท่ากับ 118.95 mg/L และ COD เท่ากับ 111.29 mg/L มีค่าความสกปรกของสารอินทรีย์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับ แหล่งกำเนิดน้ำเสียจากชุมชนทั้ง 3 แหล่ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกแหล่งน้ำเสียจากท่อรวมน้ำจากร้านอาหาร ก่อน เข้าสู่ระบบบำบัด ของมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาเป็นตัวแทนของน้ำเสียที่เกิดจาก ชุมชนมา ศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการกระตุ้นด้วยแสงของกั๊กัน น้ำที่เคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ เพื่อให้ผลการทดลองของประสิทธิภาพการบำบัดนั้นชัดเจน โดยในการทดลองน้ำเสียจาก จากท่อรวมน้ำจาก

ร้านอาหารก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดของมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยามาเติมในถังปฏิกรณ์ จำนวน 43 L นำมาฉายแสงยูวี Black light bulk ยี่ห้อ osram ความเข้มแสงยูวีเฉลี่ย 0.89 mW/cm^2 นำมาฉายแสงน้ำเสียชุมชนเพื่อกระตุ้นการทำงานของฟิล์ม TiO_2 บนก้นน้ำ เก็บตัวอย่างเมื่อครบ 24 hrs นำมาวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะน้ำเสียต่างๆ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน โดย CTWW กับ UTWW เมื่อผ่านการฉายแสงยูวี Black light bulk เป็นเวลา 24 hrs

พารามิเตอร์ (mg/L)	CTWW		UTWW	
	น้ำเข้าระบบ	น้ำผ่านการบำบัด	น้ำเข้าระบบ	น้ำผ่านการบำบัด
COD	144.64	103.68	130.56	118.40
BOD	57.5	1.5*	45.75	30.45
TS	527.00	443.50	506.33	489.33
TSS	32.00	15.33	44.67	12.67
TDS	495.00	427.50	461.66	460.00
pH	8.49	8.51	7.90	8.62
FOG	51.67	28.00	59.67	36.66
PO_4^{3-}	1.91	<น้อยมาก	1.89	2.01
TKN	59.9	29.00	37.50	28.10

ตารางที่ 4.2 ค่า COD เข้าระบบ 144.64 mg/L และ 118.40 mg/L ของระบบ 130.56 mg/L ค่า COD ผ่านการบำบัดโดย CTWW เท่ากับ 103.68 mg/L กับ UTWW เท่ากับ 118.40 mg/L ที่ฉายแสงยูวี Black light bulk เวลา 24 hrs จะเห็นได้ว่า CTWW มีความสามารถลดค่าได้ดีกว่า UTWW สำหรับที่ BOD ผ่านการบำบัดน้ำเสียโดย CTWW มีค่าต่ำมากนั้นน่าจะเกิดจากกระบวนการกระตุ้นด้วยแสงบนฟิล์ม TiO_2 ทำให้เกิดไอออนของอนุมูลอิสระออกซิเจน (O_2) จึงส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ตรวจวัดได้มีปริมาณที่มาก จึงส่งผลให้ค่า BOD ที่วิเคราะห์ได้น้ำต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับค่าฟอสเฟต (PO_4^{3-}) น้อยมากจนวิเคราะห์ไม่พบ เมื่อผ่านการบำบัดด้วย CTWW ซึ่งน้อยกว่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ระบุให้ ค่า PO_4^{3-} น้อยกว่า 2 mg/L ก่อนที่สู่อ่างลอย ในขณะที่เดียวกันน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วย UTWW เป็นเวลา 24 hrs นั้นยังไม่ผ่านมาตรฐาน และเมื่อพิจารณาค่าไนโตรเจน (TKN) และค่าของแข็งแขวนลอย (TSS) เมื่อผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการฉายแสงยูวียังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากชุมชนที่ระบุ นั้นยังไม่ผ่านมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำ แต่จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดทุก

คุณลักษณะน้ำเสียทุกค่าของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วย CCTW ดีกว่าการบำบัดด้วย UTWW ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.12 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพ และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน โดย CTWW กับ UTWW เมื่อผ่านการฉายแสงยูวี Black light bulk เวลา 24 hrs.

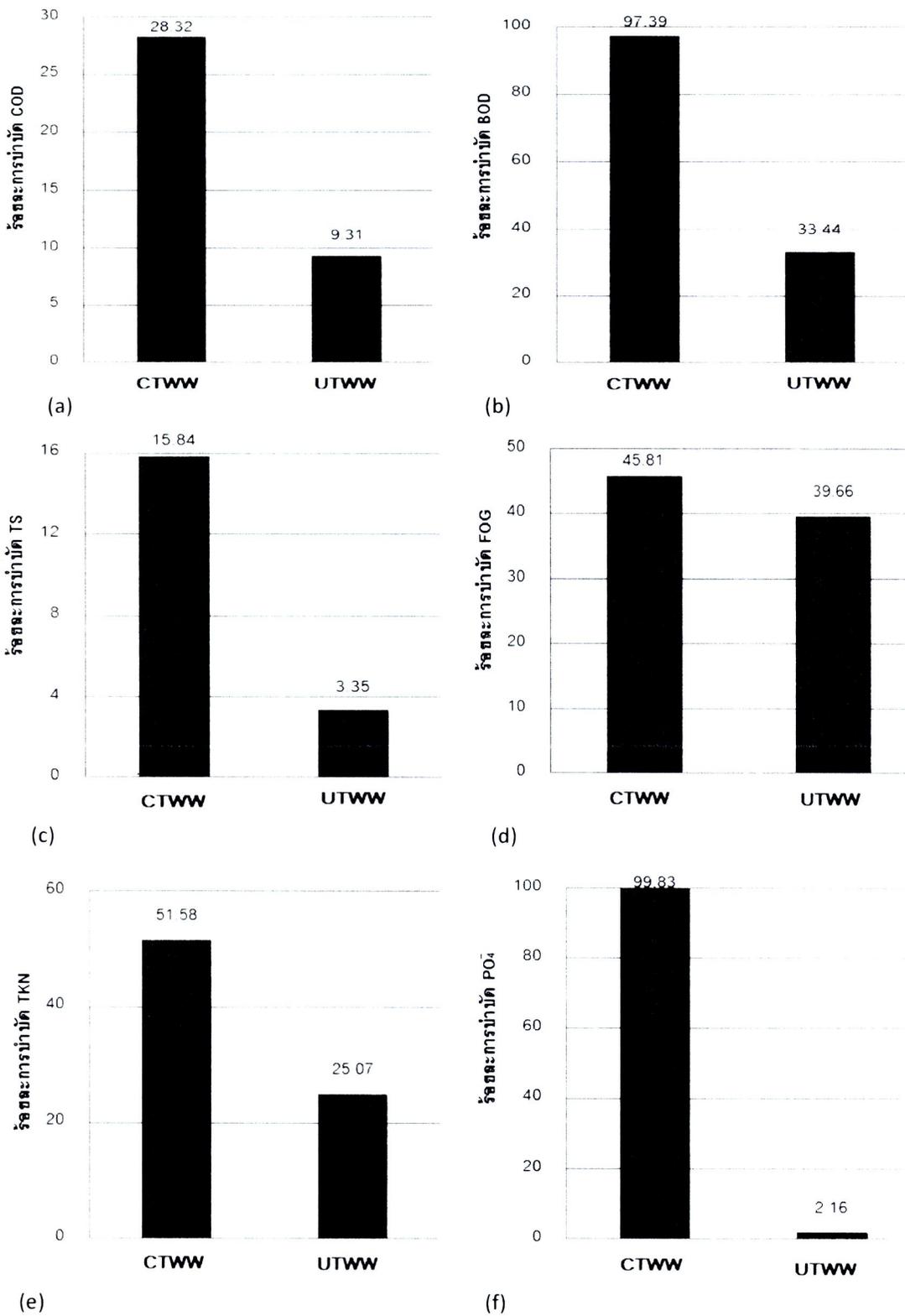
พารามิเตอร์ (mg/L)	ร้อยละประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย		
	CTWW	UTWW	% ความแตกต่าง
COD	28.32	9.31	101.04
BOD	97.39	33.44	97.76
TS	15.84	3.35	130.17
TSS	52.08	71.64	-31.62
TDS	13.64	0.36	189.71
FOG	45.80	39.66	14.37
PO ₄ ³⁻	93.17	2.16	190.94
TKN	51.58	25.07	69.17

เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังแสดงในตารางที่ 4.3 พิจารณาตามสมการพิจารณาได้ตามสมการที่ 4.1

$$\% \text{ ความแตกต่าง} = \frac{(X - Y)}{\left(\frac{X + Y}{2}\right)} \times 100 \quad (4.1)$$

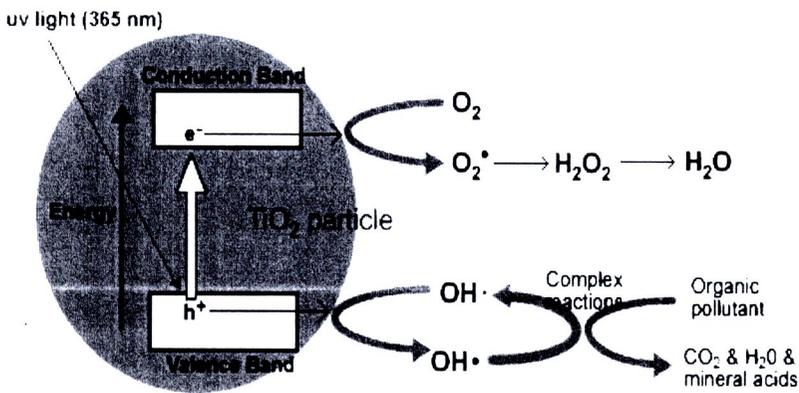
โดยที่ X คือ ร้อยละประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของ CTWW

Y คือ ร้อยละประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของ UTWW



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย โดย CTWW กับ UTWW เมื่อผ่านการฉายแสงยูวี Black light bulk เป็นเวลา 24 hrs.

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย โดย CTWW กับ UTWW เมื่อผ่านการฉายแสงยูวี Black light bulk เวลา 24 hrs. นั้นสามารถบ่งบอกได้ถึงความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของ CTWW กับ UTWW เมื่อผ่านการฉายแสงยูวี Black light bulk เวลา 24 hrs. จะเห็นได้ว่าร้อยละประสิทธิภาพในการบำบัด ค่า COD เท่ากับ 28.32 และ 9.31 ค่า BOD เท่ากับ 97.39 และ 39.44 ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids; TS) เท่ากับ 15.58 และ 25.08 ไขมัน (Fat Oil and Grease ; FOG) เท่ากับ 45.81 และ 39.66 ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (Total as N; TKN) เท่ากับ 51.58 และ 25.07 และฟอสเฟตทั้งหมด (Total as P; PO₄³⁻) เท่ากับ 99.83 และ 2.16 ตามลำดับ การที่ CTWW สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่า กังหันน้ำธรรมชาติ เกิดกระบวนการเร่งปฏิกิริยาโดยแสง (Photocatalysis Reaction) บนกังหันน้ำที่เคลือบฟิล์มไทเทเนียม ไดออกไซด์มีประสิทธิภาพการบำบัดได้ดีกว่า UTWW สามารถอธิบายดัง รูปที่ 4.13 การเกิดกระบวนการเร่งปฏิกิริยาโดยแสง (Photocatalysis Reaction)



รูปที่ 4.13 การเกิดกระบวนการเร่งปฏิกิริยาโดยแสง (Photocatalysis Reaction) [44]

รูปที่ 4.13 แสดงถึงปฏิกิริยาที่กระตุ้นด้วยแสงยูวีเกิดบนผิวหน้าของไบรด์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม TiO₂ ทำให้เกิดคู่ โฮล-อิเล็กตรอน ซึ่งไปดึงอิเล็กตรอนจากออกซิเจนแล้วเกิดการแตกตัวกับน้ำทำให้เกิดไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) และอาจจะเปลี่ยนรูปไปเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) จากไอออนของอนุมูลอิสระออกซิเจน (O₂⁻) โดยที่ออกซิเจนเป็นตัวที่เข้ารับแย่งรับอิเล็กตรอนจากอนุภาคสารกึ่งตัวนำ ดัง สมการที่ 4.1 (เสรีย์ คู่ประกาย , 2553)



ดังนั้น อิเล็กตรอนและโฮลจะมารวมกันโดยปราศจากผู้ให้อิเล็กตรอนหรือผู้รับดัง แสดงในสมการ ที่ 4.2



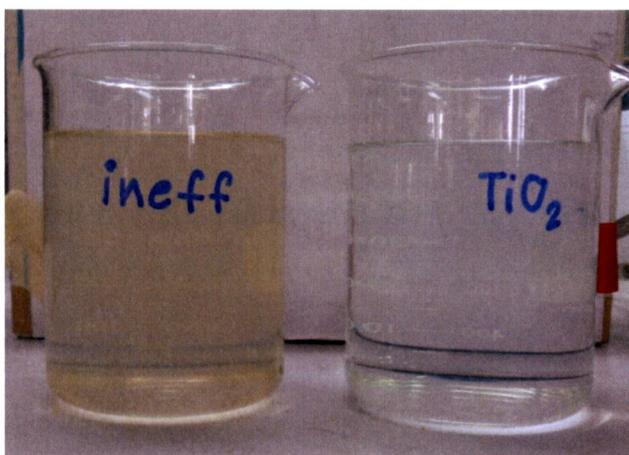
H_2O_2 สามารถเกิดได้จากการทำปฏิกิริยาของ O_2^- ดังสมการที่ 4.3-4.6



การดูดจับของ H_2O_2 เพื่อเข้าทำปฏิกิริยาทำให้ได้อนุมูลอิสระ HO^\bullet และมีการหมุนเวียนในการเข้าทำปฏิกิริยากับตัวเร่ง โมเลกุลของ OH^\bullet และ H_2O_2 เป็นสารออกซิไดซ์เอเจนต์สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ สมการที่ 4.7-4.9



โดยจะแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนของ CTWW กับ UTWW ดังรูปที่ 4.14 น้ำเสียชุมชนเริ่มต้นเทียบกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วย CCTW ที่ระยะเวลาฉายแสงที่ 2 วัน และรูปที่ 4.15 น้ำเสียชุมชนเริ่มต้นเทียบกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วย UTWW ที่ระยะเวลาฉายแสงที่ 2 วัน เช่นกัน



รูปที่ 4.14 น้ำเสียชุมชนเริ่มต้นเทียบกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วย CTWW ที่ระยะเวลาฉายแสงที่ 2 วัน

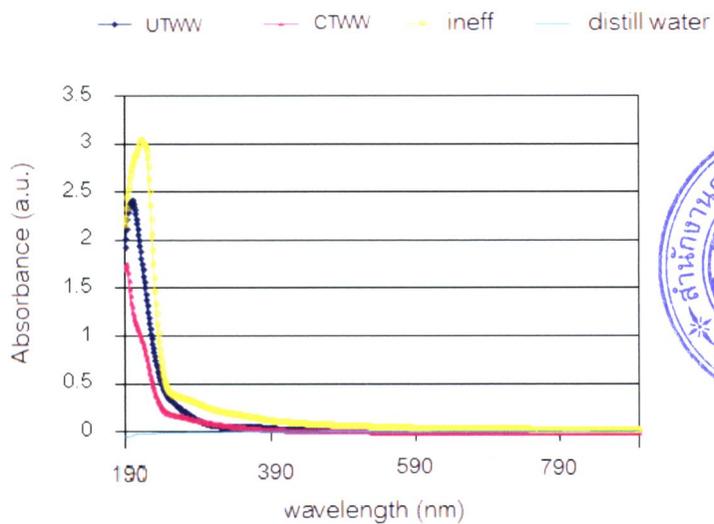
จากภาพจะเห็นได้ว่าน้ำเสียชุมชนเริ่มต้นจะมีลักษณะสีเหลืองขุ่น มีกลิ่นฉุนและมีตะกอนลอยอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยผ่านกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงโดยใช้ CCTW ที่ระยะเวลาฉายแสง 2 วันปรากฏว่าน้ำเสียชุมชนมีลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมคือ น้ำเสียชุมชนมีสีใสขึ้น ไม่มีกลิ่นและตะกอนลดน้อยลงอย่างเห็นได้ชัดเจน



รูปที่ 4.15 น้ำเสียชุมชนเริ่มต้นเทียบกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วย UTWW ที่ระยะเวลาฉายแสงที่ 2 วัน

ในขณะที่น้ำเสียชุมชนเริ่มต้นเทียบกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วย UTWW ที่ระยะเวลาฉายแสงที่ 2 วัน จะเห็นได้ว่าน้ำเสียชุมชนเริ่มต้นจะมีลักษณะคล้ายกัน ซึ่งเมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยผ่านกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงโดยใช้ UTWW ที่ระยะเวลาฉายแสง 2 วันปรากฏว่าน้ำเสียชุมชนมีลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมคือ น้ำเสียชุมชนมีสีใสนั้นน้อยกว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วย CTWW มีกลิ่นและตะกอนตกค้างอยู่เล็กน้อย ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการเร่งปฏิกิริยาโดยแสง (Photocatalysis Reaction) สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ได้ ซึ่งสามารถแสดงการลดลงของสีน้ำเสียชุมชนดัง รูปที่ 4.16 ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของน้ำเสียชุมชนเปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วย CTWW และ UTWW ที่ระยะเวลาฉายแสงที่ 2 วัน

ผลจากการนำน้ำเสียชุมชนเริ่มต้น (ineff) น้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดด้วย CTWW และ UTWW ที่ระยะเวลาฉายแสงที่ 2 วัน มาวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง จะเห็นได้ว่าน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดด้วย CTWW มีค่าการดูดกลืนคลื่นแสงได้น้อยที่สุดหรือมีความเข้มข้นสีของน้ำเสียชุมชนที่ลดลงมากที่สุด



รูปที่ 4.16 ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของน้ำเสียชุมชนเปรียบเทียบกับน้ำเสียผ่านการบำบัดด้วย CTWW UTWW และน้ำกลั่น ที่ระยะเวลาฉายแสงที่ 2 วัน