

บทที่ 4

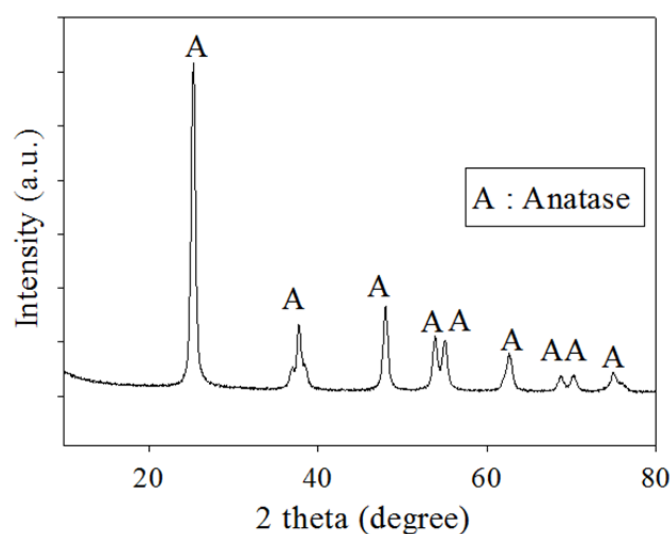
ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

ผลการศึกษาการกำจัดสีและซีไอดีในน้ำชะมูลฝอยโดยกระบวนการโฟโตคะตะไลติกร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ชนิดฟิล์มบาง สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังนี้

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2

4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก (Crystal Structure)

จากการศึกษาโครงสร้างผลึกโดยใช้ตัวอย่างของผงตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 เพื่อใช้สำหรับระบบชนิดและอัตราส่วนของผลึกอนาเทสและผลึกรูไทล์ ด้วยอุปกรณ์ X-ray Diffraction พบว่า รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะแสดงค่าสะท้อนกลับที่มุมตกกระทบ 2θ เท่ากับ 25.2° ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งรูปแบบการเลี้ยวเบนดังกล่าวเป็นรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส 100% เมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Mechiakha, *et al.* (2010) ที่มีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 พบว่า โครงสร้างผลึกของ TiO_2 ที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้มีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส เช่นเดียวกันกับการเตรียมโดยวิธีอื่นที่อุณหภูมิ $400 - 600^\circ\text{C}$ ซึ่งโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสที่เตรียมได้จะทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัลที่ผิวหน้าได้ง่าย ส่งผลให้เพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกกับสารอินทรีย์ สำหรับผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค X-ray Diffraction แสดงดังรูปที่ 4.1



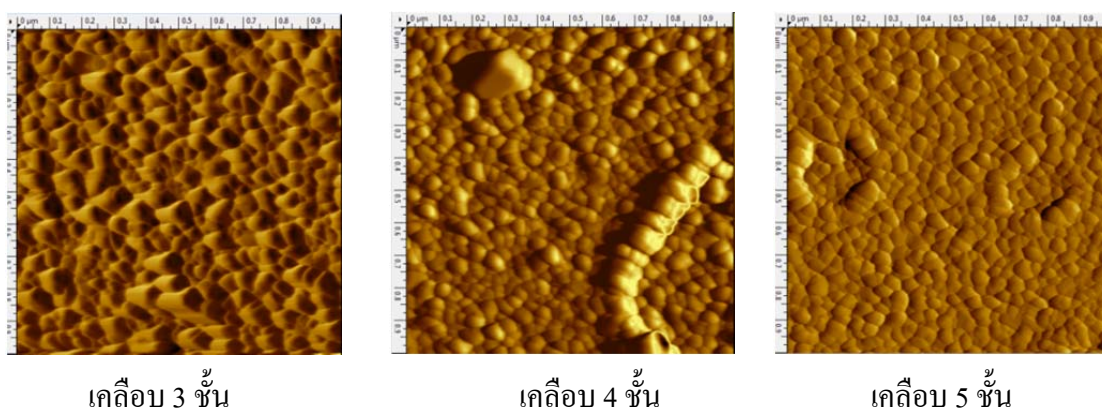
รูปที่ 4.1 การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของผง TiO_2

4.1.2 ผลการศึกษาหาขนาดความกว้างของแถบพลังงานของตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2

การวิเคราะห์หาขนาดความกว้างของแถบพลังงานของตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ชนิดฟิล์มบางที่เตรียมขึ้นโดยเคลือบบนตัวกลางที่เป็นแผ่นกระจก ซึ่งวิเคราะห์ได้จากอุปกรณ์ UV-Vis spectrometer แล้วนำไปคำนวณหาค่าความกว้างของแถบพลังงานของตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ซึ่งสามารถสรุปค่าความกว้างของแถบพลังงานของตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ที่เตรียมขึ้นมีค่าเท่ากับ 3.24 eV ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ชนิดฟิล์มบางที่เตรียมขึ้นมีความกว้างของแถบพลังงานเป็นไปตามที่ต้องการ

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและการกระจายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ได้แก่ พื้นที่ผิว ขนาดอนุภาค พื้นที่ผิว พื้นที่ผิวปรากฏ รวมทั้งการกระจายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ชนิดฟิล์มบางบนตัวกลางแผ่นกระจก โดยการวิเคราะห์พื้นที่ผิววิเคราะห์ได้โดยอุปกรณ์ Surface Area Analyzer ในส่วนของพื้นที่ผิว ขนาดอนุภาค และการกระจายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 บนตัวกลางแผ่นกระจก จากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมได้มาวิเคราะห์ด้วยอุปกรณ์ Atomic Force Microscopy (AFM) แสดงดังรูปที่ 4.2 นอกจากนี้การวิเคราะห์พื้นที่ผิวปรากฏจะวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมประยุกต์ Gwyddion Software



รูปที่ 4.2 ภาพถ่าย 2 มิติ ด้วยอุปกรณ์ AFM ของตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 บนแผ่นกระจก

จากภาพถ่าย 2 มิติ ด้วยอุปกรณ์ AFM ของตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ชนิดฟิล์มบางที่มีการเคลือบผิว 3 – 5 ชั้นบนตัวกลางแผ่นกระจก แสดงให้เห็นถึงลักษณะทางกายภาพ เช่น ขนาด การกระจายตัวของอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาและพื้นที่ผิวปรากฏของตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของ TiO_2 ชนิดฟิล์มบางในแต่ละชั้น

คุณสมบัติของพื้นผิว	เคลือบชั้น		
	3	4	5
ลักษณะของผลึก	อนาเทส		
ช่องว่างพลังงาน, (eV)	3.24		
ขนาดอนุภาค, (nm)	20-100	15-80	15-50
พื้นที่ผิวปรากฏ, ($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$)	1.09	1.08	1.09
น้ำหนักทั้งหมดของ TiO_2 บนพื้นผิว, ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	0.23	0.28	0.39
พื้นที่ผิวปรากฏทั้งหมดต่อน้ำหนักของ TiO_2 , ($\text{m}^2 \cdot \text{g}$)	4.47	3.86	2.79
พื้นที่ผิว BET, ($\text{m}^2 \cdot \text{g}$)	36.22		

จากการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวปรากฏของตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยโปรแกรม Gwyddion Software พบว่า พื้นที่ผิวปรากฏจะปรากฏเด่นชัดในตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ชนิดฟิล์มบางเคลือบ 3 ชั้น แต่เมื่อทำการเคลือบ TiO_2 ชนิดฟิล์มบางมากขึ้นกลับทำให้มีพื้นที่ผิวปรากฏลงน้อยลง เนื่องจากการเคลือบผิวด้วย TiO_2 บนตัวกลางที่จำนวนชั้นการเคลือบตั้งแต่ 3-5 ชั้น อนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาในชั้นบนสุดที่เกิดจากการเคลือบผิวในชั้นสุดท้ายจะเข้าไปแทรกตัวในช่องว่างเดิมที่เกิดขึ้นในชั้นก่อนหน้าที่จะมีการเคลือบผิวทำให้พื้นที่ผิวมีเต็มเต็มช่องว่างจนมีลักษณะที่เรียบขึ้น

4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำชะมูลฝอย

4.2.1 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีในถังปฏิกรณ์บำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยใช้ TiO_2 ชนิดฟิล์มบางด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก

โดยศึกษาการกำจัดสีในน้ำชะมูลฝอยโดยใช้ TiO_2 เคลือบ Petri Dish ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก โดยกำหนดความเข้มข้น ด้วยการเจือจางน้ำชะมูลฝอยทั้งหมด 4 ค่า คือ เจือจางน้ำชะมูลฝอยที่ 60, 40, 20 และ 10 เท่า ของน้ำชะมูลฝอยเดิมแล้วนำน้ำชะมูลฝอยที่เจือจางแล้วมาทำการกำจัดสีด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก ได้ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.3

จากรูปที่ 4.3 สามารถอธิบายได้ว่า การเจือจางน้ำชะมูลฝอยที่ 60 เท่า มีการกำจัดสีมากที่สุด รองลงมาคือ การเจือจางน้ำชะมูลฝอยที่ 40, 20 และ 10 เท่า ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 5.5

จากผลการทดลองสามารถวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดสีกับเวลา พบว่า การกำจัดสีในน้ำชะมูลฝอย โดยใช้ Petri Dish เคลือบ TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตคะตะไลติก พบว่า ค่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป

โดยเมื่อพิจารณาในช่วงแรก การเกิดปฏิกิริยาเป็นไปอย่างรวดเร็วโดยพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพ ของกราฟในช่วง 10-20 นาที มีค่าประสิทธิภาพในช่วงดังกล่าวสูง และเมื่อเวลาผ่านไปค่าประสิทธิภาพจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.4 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำชะมูลฝอยสูงสุดที่ 60, 40, 20 และ 10 เท่ามีค่าเท่ากับ 91.22, 51.72, 55.56 และ 16.22 % ตามลำดับ



(ก) เจือจางน้ำชะมูลฝอย 10 เท่า



(ข) เจือจางน้ำชะมูลฝอย 20 เท่า



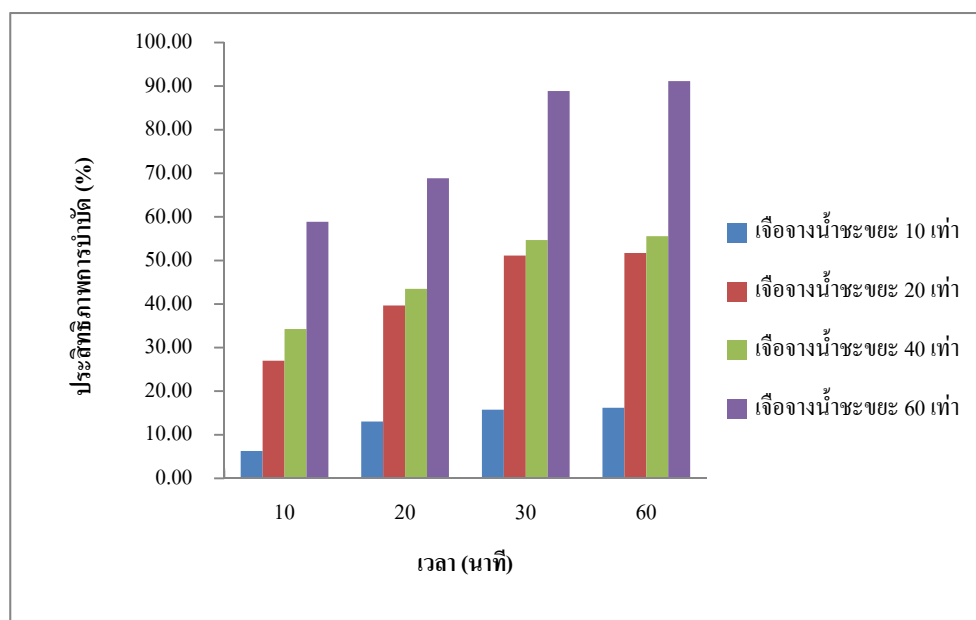
(ค) เจือจางน้ำชะมูลฝอย 30 เท่า



(ง) เจือจางน้ำชะมูลฝอย 60 เท่า

รูปที่ 4.3 ผลการกำจัดสีของน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ชนิดฟิล์มบางที่เวลา 0, 10, 20, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ

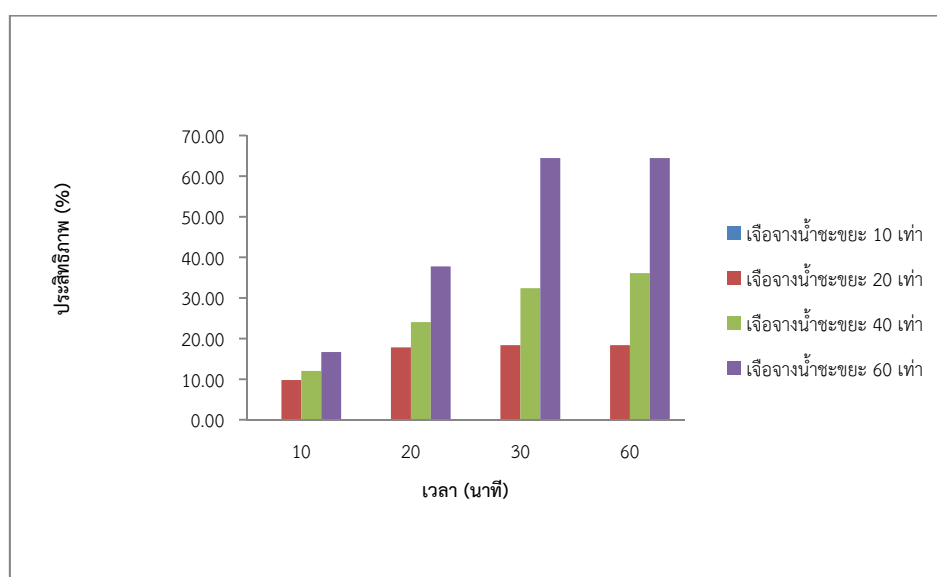
จากผลการทดลองสามารถอธิบายการเกิดปฏิกิริยาดำเนินการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกซึ่งจะเกิดได้ดีในช่วงแรก เนื่องจากกระบวนการโฟโตคะตะไลติกประกอบด้วย 2 ขั้นตอนได้แก่ การดูดซับและการเกิดโฟโตออกซิเดชัน ในขั้นตอนแรกจะเกิดได้นั้นขึ้นอยู่กับความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุล หรือคอลลอยด์ ซึ่งอยู่ในรูปของเหลวหรือแก๊สมาเกาะจับและติดบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งในที่นี้คือน้ำชะมูลฝอยจะถูกดูดซับบนผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ที่เคลือบอยู่บน Petri dish และในขั้นตอนที่ 2 เมื่อทำการฉายแสง UVA บนตัวเร่งปฏิกิริยา จะทำให้เกิดโฟโตออกซิเดชันอนุภาคของแสง (Photon) ซึ่งมีพลังงานเท่ากับหรือสูงกว่าช่องว่างพลังงาน และสร้างไฮดรอกซิลเรดิคอลลขึ้นมาโดยไฮดรอกซิลเรดิคอลมีประสิทธิภาพสำหรับกำจัดสียในน้ำชะมูลฝอยได้ และเมื่อพิจารณากลไกในการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับในช่วงแรกจะเกิดได้เร็ว เนื่องจากในช่วงแรกที่ผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เคลือบอยู่บน Petri dish ไม่มีอนุภาคใดๆ มาดูดซับที่ผิว ทำให้การเกิดกลไกการดูดซับจะเกิดได้เร็วซึ่งกลไกนี้เป็นกลไกหลักสำหรับการกำจัดสียหลังการนั้นจะเกิดโฟโตออกซิเดชันแต่การเกิดปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชันจะเกิดช้ากว่าการดูดซับ ทำให้ในช่วงเวลาผ่านไปปฏิกิริยาเกิดได้ช้าลง เนื่องจากอนุภาคในช่วงแรกที่ถูกดูดซับบนผิวหน้ายังย่อยสลายไม่หมด ทำให้อนุภาคที่เหลืออยู่ไม่สามารถดูดซับบนผิวหน้าตัวเร่งปฏิกิริยาได้



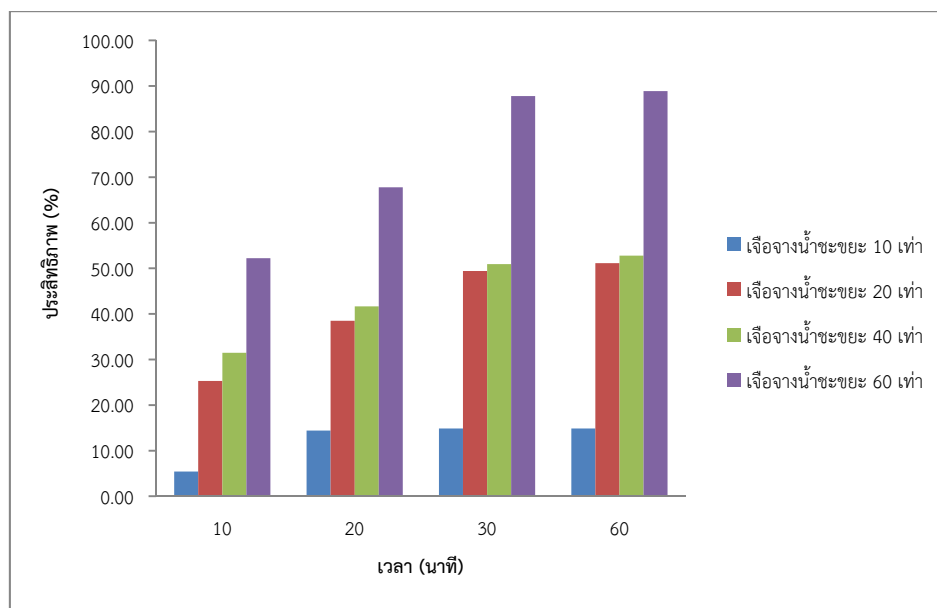
รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดสียของ TiO_2 ชนิดฟิล์มบาง

4.2.2 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีในถังปฏิกรณ์บำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยใช้ผง TiO_2 ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก

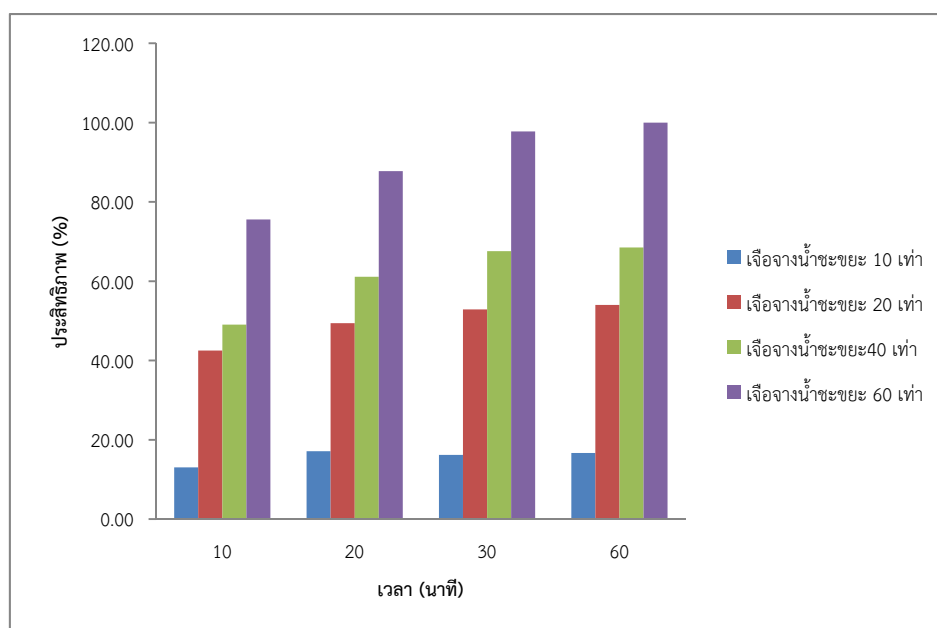
โดยศึกษาการกำจัดสีในน้ำชะมูลฝอยโดยใช้ TiO_2 ชนิดผงด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก โดยกำหนดความเข้มข้นสีด้วยการเจือจางน้ำชะมูลฝอยทั้งหมด 4 ค่า คือ เจือจางน้ำชะมูลฝอยที่ 60, 40, 20 และ 10 เท่า ตามลำดับ โดยน้ำชะมูลฝอยเดิมแล้วนำน้ำชะมูลฝอยที่เจือจางแล้วมาทำการกำจัดสีด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก และได้กำหนดปริมาณผง TiO_2 ที่ 50, 30 และ 10 mg เพื่อหาปริมาณผง TiO_2 ที่มีประสิทธิภาพการกำจัดสีได้เทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่ใช้ Petri Dish เคลือบ TiO_2 ผลการทดลองพบว่าปริมาณผง TiO_2 ที่ 50 mg สามารถกำจัดสีได้มากที่สุด รองลงมา คือ 30 และ 10 mg ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.5 - 4.7



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการกำจัดสี TiO_2 ชนิดผง 10 mg



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดสี TiO_2 ชนิดผง 30 mg



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดสี TiO_2 ชนิดผง 50 mg

จากผลการทดลองสามารถวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดสีกับเวลา พบว่า การกำจัดสีในน้ำชะมูลฝอย ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติกโดยใช้ TiO_2 ชนิดผงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ค่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป

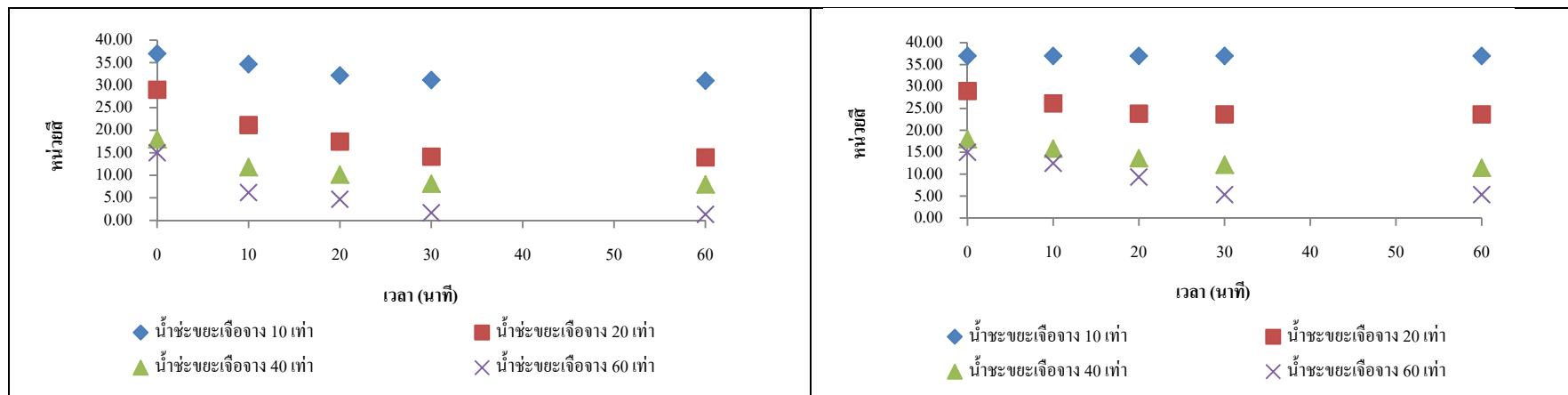
โดยเมื่อพิจารณาในช่วงแรก การเกิดปฏิกิริยาเป็นไปอย่างรวดเร็วโดยพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพ ของกราฟในช่วง 10-20 นาที มีค่าประสิทธิภาพในช่วงดังกล่าวสูง และเมื่อเวลาผ่านไปค่าประสิทธิภาพจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 5.9-4.11 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุดของน้ำชะมูลฝอยที่ 60, 40, 20 และ 10 เท่าโดยใช้ TiO_2 จำนวน 50 mg มีค่าเท่ากับ 100, 68.52, 54.02 และ 16.67% ตามลำดับ, โดยใช้ TiO_2 จำนวน 30 mg มีค่าเท่ากับ 88.89, 52.78, 51.15 และ 14.84% ตามลำดับ, โดยใช้ TiO_2 จำนวน 10 mg มีค่าเท่ากับ 64.44, 36.11, 18.39 และ 0% ตามลำดับ

จากผลการทดลองสามารถอธิบายการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกซึ่งจะเกิดได้ดีในช่วงแรก เนื่องจากกระบวนการโฟโตคะตะไลติก ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนได้แก่ การดูดซับและการเกิดโฟโตออกซิเดชัน ในขั้นตอนแรกจะเกิดได้นั้นขึ้นอยู่กับความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุล หรือคอลลอยด์ ซึ่งอยู่ในรูปของเหลวหรือแก๊สมาเกาะจับและติดบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งในที่นี้ คือ น้ำชะมูลฝอย จะถูกดูดซับบนผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ผง TiO_2 และในขั้นตอนที่ 2 เมื่อทำการฉายแสง UVA บนตัวเร่งปฏิกิริยา จะทำให้เกิดโฟโตออกซิเดชันอนุภาคของแสง (Photon) ซึ่งมีพลังงานเท่ากับหรือสูงกว่าช่องว่างพลังงานและสร้าง ไฮดรอกซิลเรดิคอลลขึ้นมาโดยไฮดรอกซิลเรดิคอลลมีประสิทธิภาพสำหรับกำจัดสีในน้ำชะมูลฝอยได้ และเมื่อพิจารณากลไกในการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับในช่วงแรกจะเกิดได้เร็ว เนื่องจากในช่วงแรกที่ผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ คือ ผง TiO_2 ไม่มีอนุภาคใดๆ มาดูดซับที่ผิว ทำให้การเกิดกลไกดูดซับจะเกิดได้เร็วซึ่งกลไกนี้เป็นกลไกหลักสำหรับการกำจัดสี หลังการนั้นจะเกิดโฟโตออกซิเดชัน แต่การเกิดปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชันจะเกิดช้ากว่าการดูดซับ ทำให้ในช่วงเวลาผ่านไปปฏิกิริยาเกิดได้ช้าลง เนื่องจากอนุภาคในช่วงแรกที่ถูกดูดซับบนผิวหน้ายังย่อยสลายไม่หมด ทำให้อนุภาคที่เหลืออยู่ไม่สามารถดูดซับบนผิวหน้าตัวเร่งปฏิกิริยาได้

4.2.3 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีในในถังปฏิกรณ์บำบัดน้ำชะมูลฝอย โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ชนิดผงและ TiO_2 ชนิดฟิล์มบางด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก

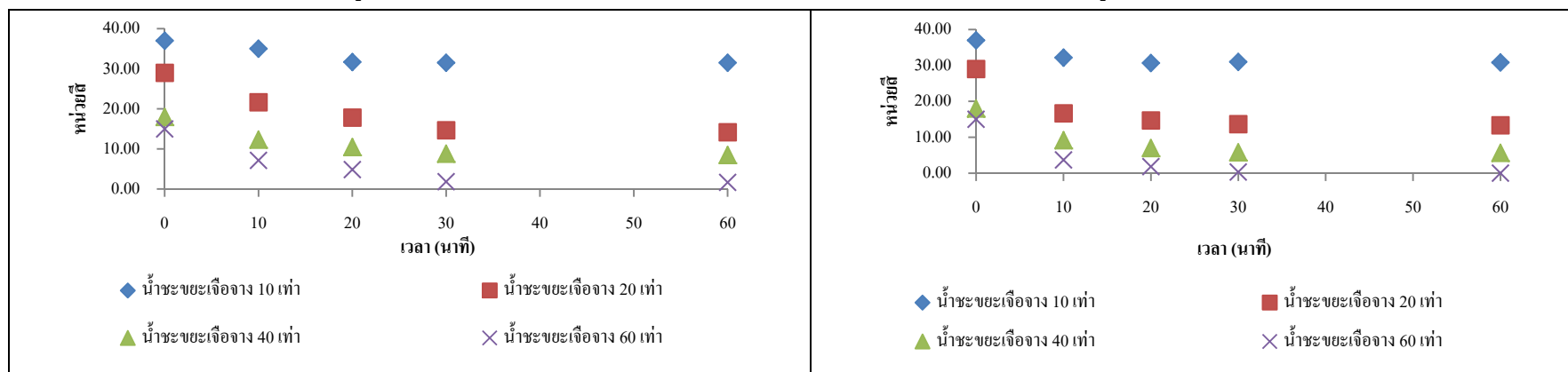
เนื่องจาก TiO_2 เคลือบบน Petri Dish นั้นมีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาได้มากกว่าการใช้ TiO_2 ชนิดผง ทำให้ TiO_2 ที่เคลือบบน Petri Dish มีการทำปฏิกิริยาได้ดีกว่าจึงกำจัดสีได้ดีกว่าการใช้ TiO_2 ชนิดผง ในปริมาณของ TiO_2 ที่เท่ากัน

ผลการทดลองพบว่าปริมาณผง TiO_2 ที่ 30 mg มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ใกล้เคียงกับการใช้ TiO_2 เคลือบบน Petri Dish ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำชะมูลฝอยที่ 60, 40, 20 และ 10 เท่ามีค่าเท่ากับ 88.89, 52.78, 51.15 และ 14.84% ตามลำดับโดยมีค่าใกล้เคียงกับค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำชะมูลฝอยของการใช้ TiO_2 เคลือบบน Petri Dish ดังนี้ ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำชะมูลฝอยที่ 60, 40, 20 และ 10 เท่ามีค่าเท่ากับ 91.22, 51.72, 55.56 และ 16.22 % ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกัน แสดงดังรูปที่ 4.9 – 4.12



TiO_2 ชนิดฟิล์มบาง

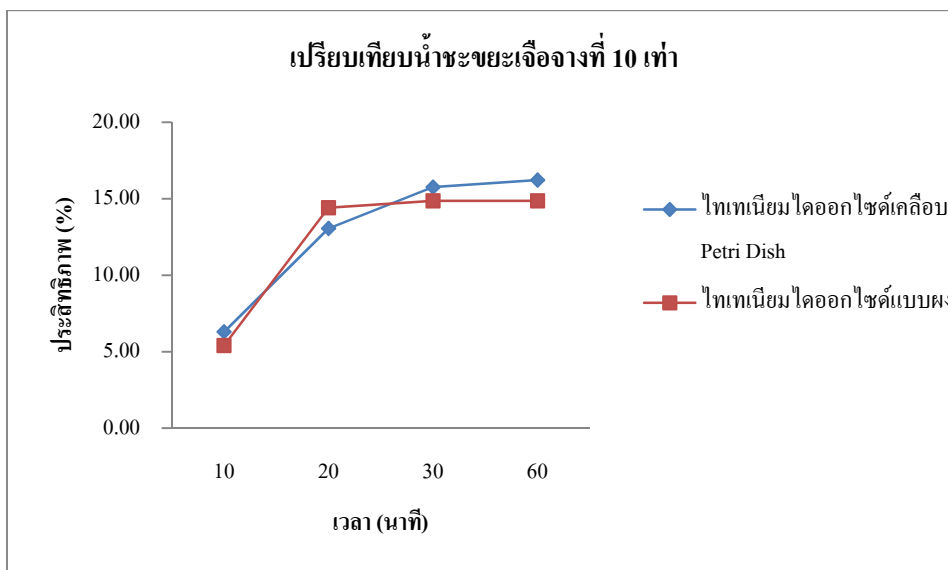
TiO_2 ชนิดผง ปริมาณ 10 mg



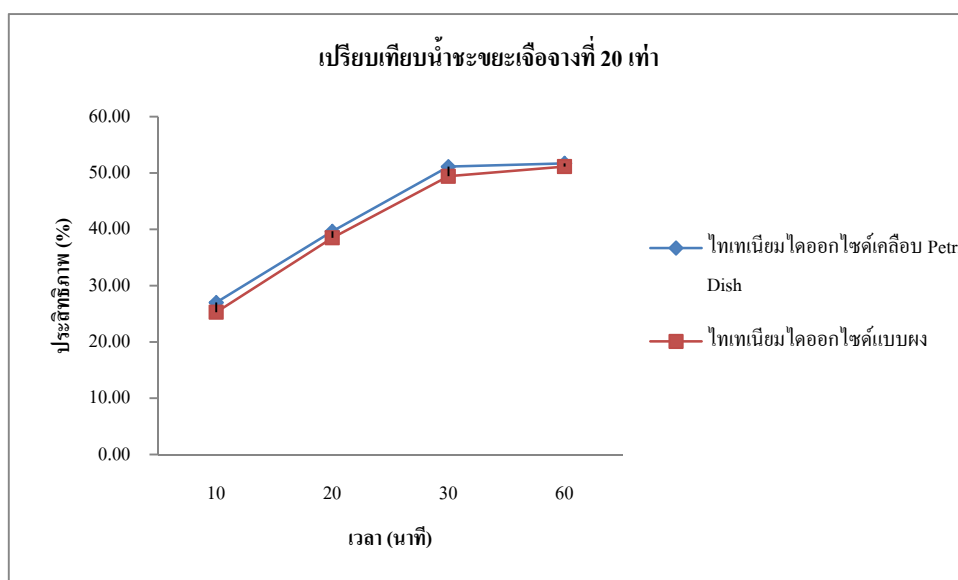
TiO_2 ชนิดผง ปริมาณ 30 mg

TiO_2 ชนิดผง ปริมาณ 50 mg

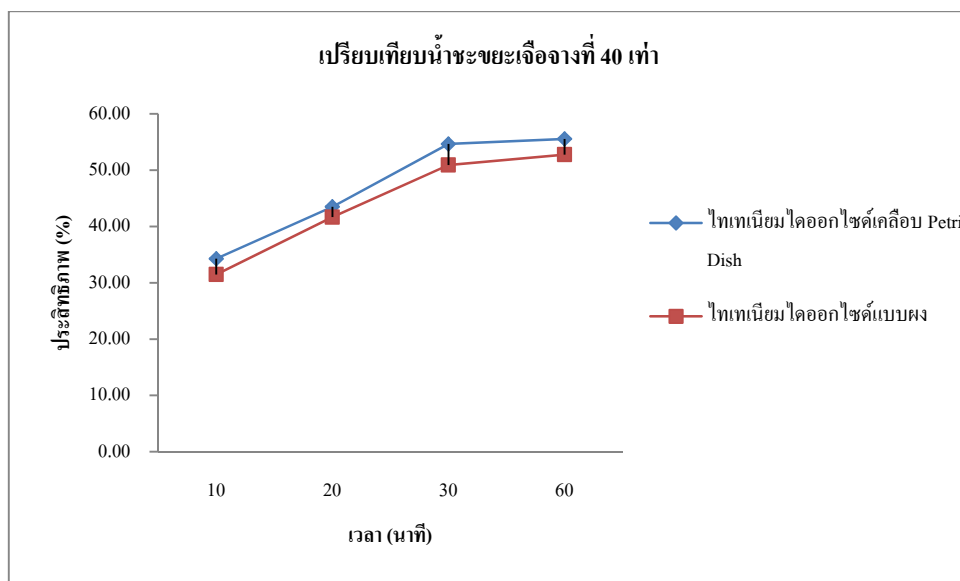
รูปที่ 4.8 ผลการกำจัดสีด้วย TiO_2 ชนิดฟิล์มบางและ TiO_2 ชนิดผงที่เวลาต่างๆ



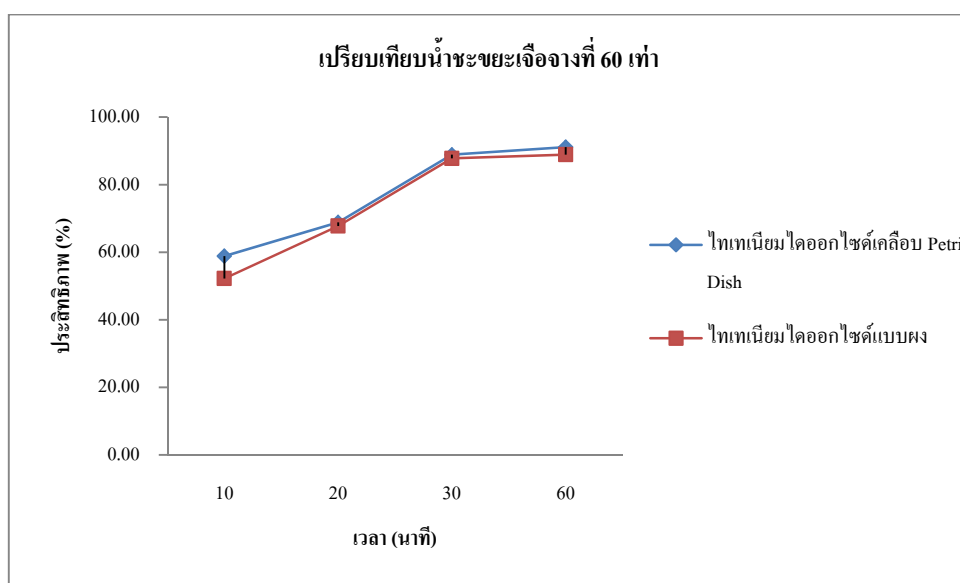
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีระหว่าง TiO_2 ชนิดฟิล์มบางกับ TiO_2 ชนิดผง



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีระหว่าง TiO_2 ชนิดฟิล์มบางกับ TiO_2 ชนิดผง



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีระหว่าง TiO_2 ชนิดฟิล์มบางกับ TiO_2 ชนิดผง



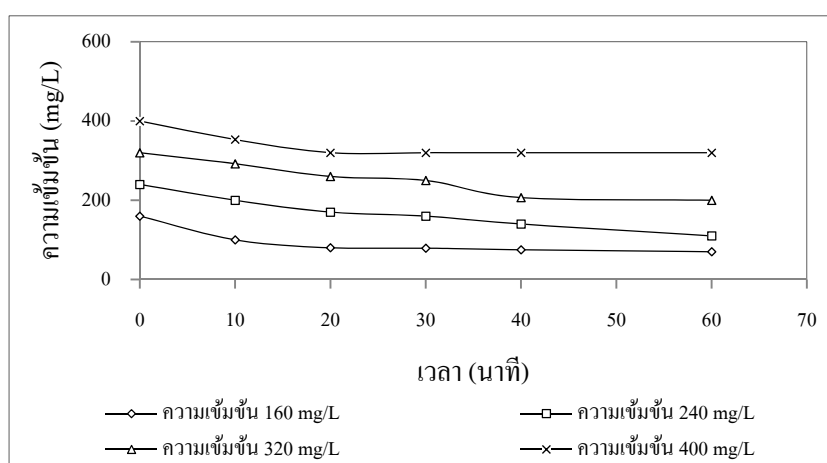
รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีระหว่าง TiO_2 ชนิดฟิล์มบางกับ TiO_2 ชนิดผง

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2

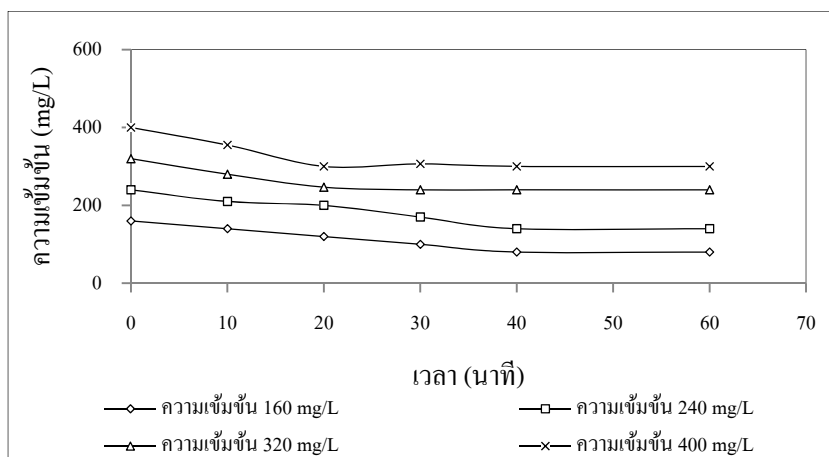
จากการศึกษาการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ TiO_2 ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นซีโอดีจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่เวลาต่างๆ โดยมีค่าความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 160, 240, 320 และ 400 mg/L ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.13 และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ที่เคลือบอยู่บน Petri Disk โดยมีจำนวนชั้นการเคลือบ 3 ชั้น, 4 ชั้น และ 5 ชั้น พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าเท่ากับ 43.75, 50 และ 56.25 % ตามลำดับ

4.4 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจากน้ำชะมูลฝอยด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2

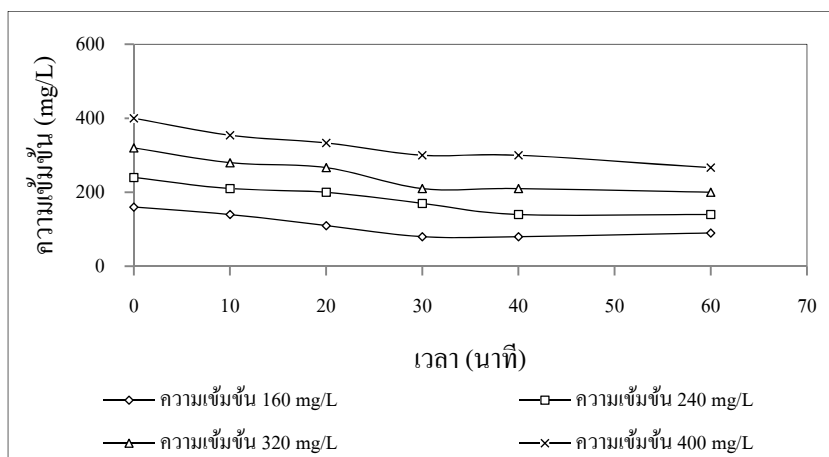
จากการศึกษาการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ TiO_2 ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก โดยคัดเลือก Petri Disk จากการทดลองในหัวข้อ 4.3 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุด คือ มีการเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาบน Petri Disk จำนวน 5 ชั้น พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นซีโอดีจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่เวลาต่างๆ โดยมีค่าความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 640, 1040, 2240 และ 3360 mg/L ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.14 และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ที่เคลือบอยู่บน Petri Disk โดยมีจำนวนชั้นการเคลือบ 5 ชั้น พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจากน้ำชะมูลฝอยมีค่าเท่ากับ 50.00 %



ก. TiO_2 ชนิดฟิล์มบางเคลือบ 5 ชั้น

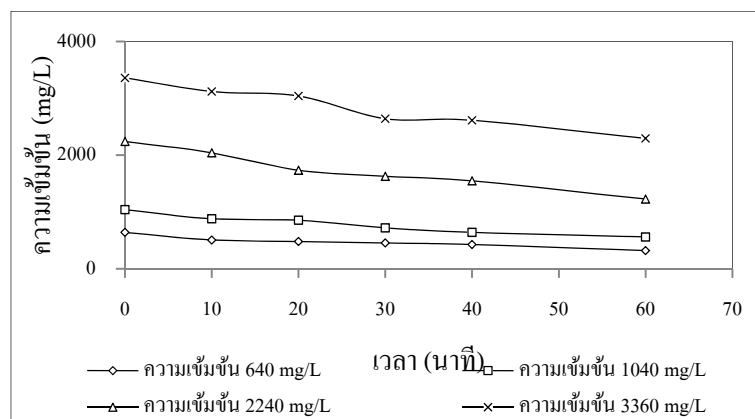


ข. TiO₂ ชนิดฟิล์มบางเคลือบ 4 ชั้น



ค. TiO₂ ชนิดฟิล์มบางเคลือบ 3 ชั้น

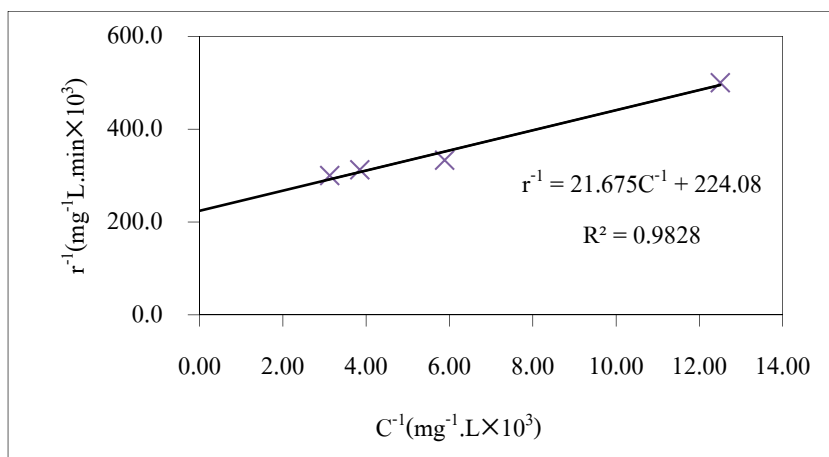
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นซีโอดีจากน้ำเสียสังเคราะห์กับเวลาของ
ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก (ก-ค)



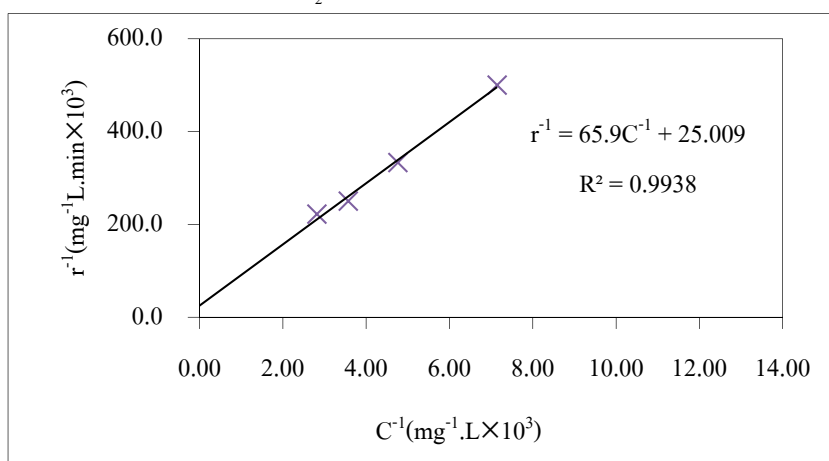
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นซีโอดีจากน้ำชะมูลฝอยกับเวลาของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกโดยใช้ TiO_2 ชนิดฟิล์มบางเคลือบ 5 ชั้น

4.5 การศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก

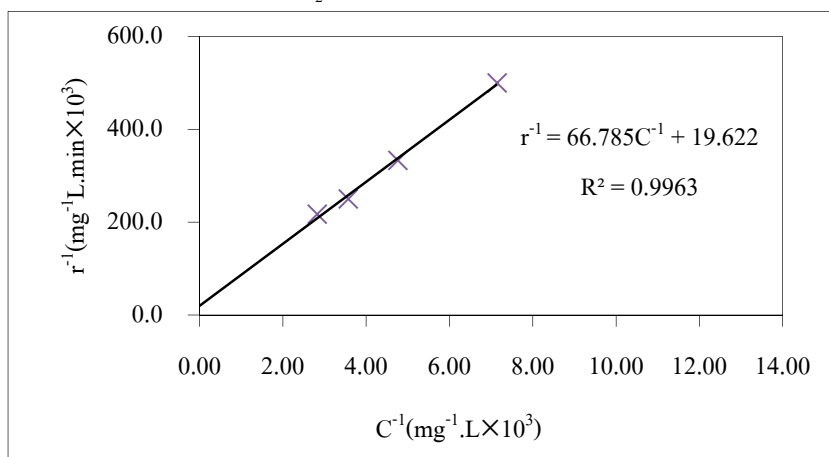
ผลการศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นประมาณ 365 nm และมีความเข้มแสง $1,000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ซึ่งผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของซีโอดีที่เวลาต่างๆ ระหว่างเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก แสดงดังภาพที่ 4.3 ผลการศึกษาดังกล่าวทำให้สามารถอธิบายจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกของสารอินทรีย์บนตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ที่เตรียมขึ้นได้



(ก) TiO₂ ชนิดฟิล์มบางเคลือบ 5 ชั้น

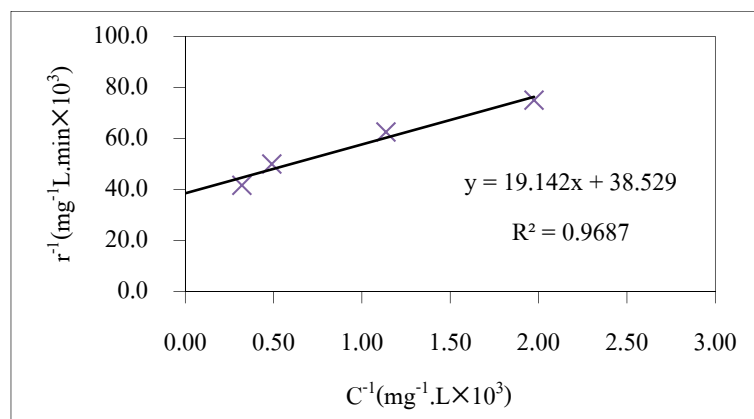


(ข) TiO₂ ชนิดฟิล์มบางเคลือบ 4 ชั้น



(ค) TiO₂ ชนิดฟิล์มบางเคลือบ 3 ชั้น

รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนกลับความเข้มข้นซีโอดีจากน้ำเสียสังเคราะห์ (C^{-1}) กับ ส่วนกลับอัตราการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก (r^{-1}) บนตัวเร่งปฏิกิริยา TiO₂ (ก-ค)



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนกลับความเข้มข้นซีโอดีจากน้ำชะมูลฝอย (C^{-1}) กับส่วนกลับอัตราการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก (r^{-1}) บนตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2

สำหรับการศึกษากลไกของปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชันเพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชันของสารอินทรีย์บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยค่าตัวแปรต่างๆ สามารถหาได้จากการทดลองและเมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยากับความเข้มข้นของซีโอดี และสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนกลับความเข้มข้นของซีโอดี (C^{-1}) กับ ส่วนกลับอัตราการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก (r^{-1}) บนตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ลักษณะต่างๆ จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถหาพารามิเตอร์ต่างๆของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกของน้ำเสียสังเคราะห์บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 เคลือบ 3 ชั้น, 4 ชั้น และ 5 ชั้น และปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกของน้ำชะมูลฝอยบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ตามสมการในรูปแบบของ L-H ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ L-H ของการกำจัดซีโอดีด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก

พารามิเตอร์ของ L-H	น้ำเสียสังเคราะห์			น้ำชะมูลฝอย
ชั้นของTiO ₂	3	4	5	5
ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	43.75	50.00	56.25	50.00
k (mg.L ⁻¹ .min ⁻¹)	50.96×10 ⁻³	39.99×10 ⁻³	4.46×10 ⁻³	2.59×10 ⁻²
K (L.mg ⁻¹)	0.29	0.38	10.34	2.01
kK (min ⁻¹)	0.014	0.015	0.046	0.052
พื้นที่ผิว (m ²)	0.01			
ความเข้มแสง (μW.cm ⁻²)	1,000			
อัตราการเกิดปฏิกิริยา (min ⁻¹ .μW ⁻¹)	1.4×10 ⁻²	1.5×10 ⁻²	4.6×10 ⁻²	5.2×10 ⁻²

จากผลการศึกษาจลนศาสตร์ของกระบวนการโฟโตคะตะไลติก ทำให้ทราบค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกจะมีค่าสูงในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากในช่วงแรกพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยายังสะอาดปราศจากสารอินทรีย์ที่มาดูดซับผิว ทำให้ปฏิกิริยาในช่วงแรก เมื่อมีการเติมสารอินทรีย์ลงใน Petri Dish แล้วนำเข้าไปในชุดทดลองจะเกิดปฏิกิริยาดูดซับผิวระหว่างสารอินทรีย์กับพื้นที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามเนื่องจากการศึกษาจลนศาสตร์ของกระบวนการดูดซับผิวในงานวิจัยนี้ ไม่สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น จึงได้มีการศึกษาจลนศาสตร์โดยใช้สมการในรูปแบบของ L-H เพื่อใช้ในการอธิบายกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ซึ่งค่าคงที่ต่างๆในสมการ L-H แสดงให้เห็นว่า เมื่อจำนวนชั้นของการเคลือบผิวเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณ TiO₂บนผิวดังกล่าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกเกิดได้ดีขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่าคงที่ของการดูดซับผิว (K) และอัตราการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกที่มีค่าเพิ่มขึ้น

4.6 การศึกษาเปรียบเทียบปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อมในการกำจัดซีโอดีในน้ำชะมูลฝอยเทียบกับกระบวนการอื่นๆ

เป็นการศึกษาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ กฤติกาและนพดล (2549) โดยพิจารณาราคา และค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยเปรียบเทียบกับกระบวนการโฟโตคะตะไลติกสำหรับงานวิจัยนี้ กับกระบวนการก่อกองด้วยสารส้ม และเพอร์ริคัลลอไรด์ รวมทั้งกระบวนการรวม

ตะกอนด้วยไฟฟ้า พบว่า การกำจัดน้ำชะมูลฝอยโดยพิจารณาค่าใช้จ่ายในส่วนของการใช้สารเคมี และค่าไฟฟ้า โดยเลือกค่าซีโอดีเริ่มต้นมีค่าประมาณ 2,000 mg/L และประสิทธิภาพการบำบัด ในช่วงที่ใกล้เคียงกันในการศึกษาเปรียบเทียบ พบว่า ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำชะขยะด้วย กระบวนการต่างๆ มีค่าดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำชะขยะด้วยกระบวนการต่างๆ

กระบวนการ	ค่าใช้จ่ายต่อหน่วย (บาท/m ³)
โฟโตคะตะไลติก	1,200
ก่อตะกอนด้วยสารส้ม	103.5
ก่อตะกอนด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์	134
รวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	86.0

จากข้อมูลเปรียบเทียบในตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยเมื่อเปรียบเทียบเฉพาะ ค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมีและค่าไฟฟ้า พบว่า ค่าใช้จ่ายของการบำบัดน้ำชะขยะด้วย กระบวนการโฟโตคะตะไลติกมีค่าสูงที่สุด แต่ถ้าพิจารณาเปรียบเทียบในส่วนของการพัฒนาระบบ ให้มีการรองรับปริมาณน้ำได้มากกว่าเดิม และใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้กำลังไฟต่ำกว่าหรือเป็น แหล่งกำเนิดแสงจากธรรมชาติ เช่นดวงอาทิตย์ อาจทำให้เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายโดยรวมของการใช้ กระบวนการดังกล่าวในการบำบัดน้ำชะขยะมีค่าดำเนินการต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งเมื่อ พิจารณาถึงการนำกลับมาใช้ได้ใหม่ของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ได้ 100% อาจทำให้ ประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการมากขึ้น