บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยเหล็กร้อยละ 0.5–7.0 โดยอะตอม และเจือทองแดงร้อยละ 0.5–5.0 โดยอะตอมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงในการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสีย ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงได้สังเคราะห์ด้วยวิธีซอล-เจลแบบดัดแปร แล้วเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดไดออกไซด์มีลักษณะเป็นสีขาวเนื้อเดียวกัน ส่วนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยเหล็กและทองแดงนั้นอนุภาคจะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลกับสีเขียว ตามลำดับ โดยที่สีจะเข้มขึ้นเมื่อเพื่อปริมาณการเจือสารในร้อยละที่เพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

1) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ ไทเทเนียมไดออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยเหล็กและทองแดง มีโครงสร้างเฟสเป็นเฟสผสมระหว่างอะนาเทสและรูไทล์ โดยที่ปริมาณของเฟสอะนาเทสเพิ่มขึ้นเมื่อเจือเหล็กและทองแดงในปริมาณร้อยละโดยอะตอมที่เพิ่มขึ้น และพบว่าขนาดผลึกอะนาเทสและรูไทล์มีขนาดเล็กลงเมื่อเพิ่มปริมาณการเจือด้วยเหล็กและทองแดง ปริมาตรหน่วยเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงอาจเนื่องมาจากอะตอมของเหล็กและทองแดงเข้าไปแทนที่ตำแหน่งของอะตอมไทเทเนียมในโครงสร้างของไทเทเนียมไดออกไซด์ เพราะว่าอะตอมของทองแดงและเหล็กนั้นมีรัสมีอิออนของอะตอมที่ใกล้เคียงกัน

2) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวีวิสดิฟฟิวส์รีเฟรกแทนสเปกโทรโฟโตเมทรี พบว่าการเจือด้วยเหล็กและทองแดงเข้าไปในไทเทเนียมไดออกไซด์นั้นสามารถช่วยให้มีการดูดกลืนแสงในช่วงของแสงวิสิเบิล และทำให้แถบช่องว่างพลังงานมีพลังงานที่ลดลงด้วย โดยที่ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยเหล็กร้อยละ 5.0 โดยอะตอมนั้นมีแถบช่องว่างพลังงานต่ำสุดประมาณ 2.56 eV และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยทองแดงร้อยละ 2.0 โดยอะตอมมีแถบช่องว่างพลังงานต่ำที่สุดประมาณ 2.82 eV

3) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET เพื่อหาพื้นที่ผิวจำเพาะ พบว่า ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยเหล็กมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 95–134 m^2/g และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือทองแดงมีพื้นที่ผิว 89.3–111 m^2/g ซึ่งมีพื้นที่ผิวสูงกว่าเทไทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์ที่มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 87.5 m^2/g การที่ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงนั้นมีพื้นที่ผิวสูงขึ้นแสดงให้เห็นว่าขนาดอนุภาคมีขนาดเล็กลง

4) การตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM และ TEM แสดงให้เห็นว่าอนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยเหล็กและทองแดง มีลักษณะคล้ายทรงกลม โดยขนาดอนุภาคเล็กลงเมื่อเพิ่มปริมาณการเจือด้วยเหล็กและทองแดง ขนาดของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยเหล็กมีขนาดอนุภาคระหว่าง 6–40 นาโนเมตร และขนาดของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยทองแดงมีขนาดอนุภาคระหว่าง 10–45 นาโนเมตร จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคของ EDS เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุที่ช่วยยืนยันได้ว่าเหล็กและทองแดงที่เจือเข้าไปในไทเทเนียมไดออกไซด์นั้นมีอยู่จริงในระบบ และพบว่าปริมาณเหล็กและทองแดงมีปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มประมาณการเจือเหล็กและทองแดงในปริมาณร้อยละโดยอะตอมที่เพิ่มขึ้นด้วยซึ่งผลมีความสอดคล้องกัน

5) การทดสอบการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงในการย่อยสลายกรดออกซาลิกและกรดฟอร์มิกภายใต้แสงวิสิเบิลเป็นเวลา 120 นาที ในกรณีตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยเหล็ก พบว่าการเจือด้วยเหล็กร้อยละ 5.0 โดยอะตอมมีประสิทธิภาพสูงสุด คือสามารถย่อยสลายกรดออกซาลิกและกรดฟอร์มิกได้ 77.0% และ 24.3% ตามลำดับ ส่วนในกรณีตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยทองแดง พบว่าการเจือด้วยทองแดงร้อยละ 2.0 โดยอะตอมมีประสิทธิภาพสูงสุด คือสามารถย่อยสลายกรดออกซาลิกและกรดฟอร์มิกได้ 38.1 % และ 17.8 % ตามลำดับ ซึ่งให้ประสิทธิภาพสูงกว่าไทเทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์และไทเทเนียมไดออกไซด์ทางการค้า (Degussa P25) โดยที่ไทเทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์ย่อยสลายกรดออกซาลิกและกรดฟอร์มิกได้ 16.1 % และ 9.80 % ตามลำดับ และไทเทเนียมไดออกไซด์ (Degussa P25) ย่อยสลายกรดออกซาลิกและกรดฟอร์มิกได้ 14.9 % และ 16.0 % ตามลำดับ

6) ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR แสดงให้เห็นว่า ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยเหล็กร้อยละ 5.0 โดยอะตอม เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะกับออกซาเลตและฟอร์เมต ทำให้สามารถสร้างอนุมูลอิสระซึ่งเป็นตัวออกซิแดนซ์ในปฏิกิริยาการเร่งด้วยแสงสำหรับย่อยสลายกรดออกซาลิกและกรดฟอร์มิกได้มากกว่าในกรณีของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยเหล็กร้อยละ 5.0 โดยอะตอม และไทเทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์ สังเกตได้จากการเกิดพีคที่มีความเข้มสูงในช่วงเลขคลื่น 1690–1080 cm^{-1} ดังนั้นจึงทำให้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายกรดออกซาลิกและกรดฟอร์มิกได้ดีที่สุด

การที่ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยเหล็กและทองแดงนั้นมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ภายใต้แสงวิสิเบิลได้สูงกว่าไทเทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์และไทเทเนียมไดออกไซด์ทางการค้า (Degussa P25) เนื่องจากการที่โลหะทรานซิชันที่เจือเข้าไปในไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยปริมาณที่เหมาะสมนั้นจะช่วยให้สมบัติทาง

กายภาพนั้นดีขึ้น เช่น ขนาดอนุภาคเล็กลง พื้นที่ผิวจำเพาะสูง ดูดกลืนแสงในช่วงของแสงวิสิเบิล และมีแถบช่องว่าพลังงานที่ต่ำ ซึ่งสมบัติที่ดีขึ้นเหล่านี้นั้นจะช่วยให้ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงนั้นดีขึ้นด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การทดสอบความสามารถการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงในการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ ควรทดสอบกับสารอื่นนอกเหนือจากกรดออกซาลิกและกรดฟอร์มิก เช่น กรดมาโลนิก กรดมาลาอิก ฟีนอล และสารย้อมชนิดต่างๆ เป็นต้น
2) วิเคราะห์เลขออกซิเดชันของเหล็กและทองแดงที่มีผลต่อความสามารถการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง โดยใช้เทคนิคเอกซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี (X-ray photoelectron microscopy, XPS)
3) วิเคราะห์ปริมาณเหล็กและทองแดงที่มีอยู่จริง โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบสอบชันสเปกโทรสโกปี (atomic absorption spectroscopy, AAS) และเทคนิคอินดักทีฟลีคับเปิ้ลพลาสมาแมสส์สเปกโตรเมทรี (inductively coupled plasma – mass spectrometry, ICP-MS)