บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของแอซีทิลอะซีโตนต่อไทเทเนียมไดออกไซด์และจำนวนรอบในการเคลือบต่อลักษณะและประสิทธิภาพในการขจัดฟีนอล

การยึดเกาะของไทเทเนียมไดออกไซด์บนพอลิเมทิลเมทาคริเลตขึ้นกับอัตราส่วนโดยโมลของแอซีทิลอะซีโตนต่อไทเทเนียมไดออกไซด์ (ACA/TiO_2) โดยการเพิ่ม ACA/TiO_2 ทำให้ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้มีความเรียบและเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นเนื่องจากแอซีทิลอะซีโตนช่วยเพิ่มความมีขั้วและการเกาะติดบนผิวของพอลิเมอร์ ส่วนจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์บนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตต่อปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์บนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลต พบว่าจำนวนรอบในการเคลือบ 1 และ 3 รอบ ส่งผลให้ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้มีความเรียบและเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการเคลือบเป็น 5 และ 10 รอบ ส่งผลให้ฟิล์มบางที่เตรียมได้มีรอยแตกและรูพรุนเกิดขึ้นบนผิวของฟิล์ม ทั้งนี้อาจเกิดจากการระเหยของตัวทำละลายและแอซีทิลอะซีโตน

ผลของอัตราส่วนโดยโมลของแอซีทิลอะซีโตนต่อไทเทเนียมไดออกไซด์และจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการขจัดฟีนอล พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของแอซีทิลอะซีโตนต่อไทเทเนียมไดออกไซด์ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการขจัดฟีนอลเพิ่มขึ้น อัตราส่วนโดยโมลของแอซีทิลอะซีโตนต่อไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 3.0 ให้ประสิทธิภาพในการขจัดฟีนอล 62.5% ทั้งนี้เนื่องมาจากแอซีทิลอะซีโตนช่วยเพิ่มความมีขั้วของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไปยังผิวของพอลิเมทิลเมทาคริเลตทำให้ไทเทเนียมเกาะติดบนผิวของพอลิเมทิลเมทาคริเลตมากขึ้น สำหรับผลของจำนวนรอบในการเคลือบสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์บนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ ACA/TiO_2 เท่ากับ 3.0 พบว่าจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบมากขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพในการขจัดฟีนอลเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์บนตัวรองรับมากขึ้นเมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น และพบว่าจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบเท่ากับ 5 รอบ มีประสิทธิภาพในการขจัดฟีนอลได้มากที่สุดถึง 68.5%

5.1.2 ผลของอุณหภูมิในการเผาไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการขจัดฟีนอล

รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของไทเทเนียมไดออกไซด์ก่อนและหลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิในช่วง 400-800 องศาเซลเซียส พบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ก่อนการเผาและหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400-800 องศาเซลเซียส มีโครงสร้างผลึกแบบผสมระหว่างสัณฐานแบบอนาเทสและรูไทล์ในอัตราส่วนที่แตกต่าง ส่วนระดับการสลายฟีนอลที่ 5 ชั่วโมง พบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ Degussa P-25 ประกอบด้วยสัณฐานแบบอนาเทส/รูไทล์เท่ากับ 70/30 โดยน้ำหนัก เมื่อเผาไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงถึง 700 องศาเซลเซียสทำให้สัณฐานแบบอนาเทสเปลี่ยนไปเป็นรูไทล์ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความว่องไวต่ำกว่าแบบอนาเทส โดยระดับการสลายฟีนอลของไทเทเนียมไดออกไซด์ลดลง 23.4% ภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

5.1.3 ผลของจำนวนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ต่ออัตราการสลายตัวของฟีนอล

ผลของจำนวนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตต่อค่าคงที่ปรากฏของอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง พบว่าอัตราการสลายฟีนอลเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนแผ่นเมทิลเมทาคริเลตที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์มากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นการเพิ่มจำนวน active sites ในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่าความหนาแน่นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อพื้นที่การฉายแสงมากขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพในการขจัดฟีนอลสูงขึ้น

5.1.4 ผลของค่าความเป็นกรด-เบสต่ออัตราการสลายตัวของฟีนอล

ผลของค่าความเป็นกรด-เบสต่อค่าคงที่ปรากฏของอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงของฟีนอล พบว่าเมื่อค่าความเป็นกรด-เบสสูงขึ้นช่วยเพิ่มอัตราการสลายฟีนอลสูงสุดในช่วงค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 5 เนื่องจากค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายเท่ากับ 5 ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีประจุเป็นบวก ขณะที่ฟีนอลแตกตัวแล้วจะมีประจุเป็นลบ สามารถถูกดูดซับบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดี ประสิทธิภาพการขจัดฟีนอลจึงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้บริเวณใกล้ผิวของ

อนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ มีค่าความหนาแน่นของอนุมูลไฮดรอกซิลมากที่สุดส่งผลให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงเกิดได้ดี

5.1.5 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลต่ออัตราการสลายตัวของฟีนอล

ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลต่อค่าคงที่ปรากฏของอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงของฟีนอล พบว่าอัตราการสลายฟีนอลลดลงเมื่อความเข้มข้นของฟีนอลเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการสลายตัวขึ้นอยู่กับอนุมูลไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาและความเป็นไปได้ของอนุมูลไฮดรอกซิลในการทำปฏิกิริยากับฟีนอล ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของฟีนอลในสารละลายมีค่าสูง ทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดฟีนอลของไทเทเนียมไดออกไซด์ลดลงเพราะฟีนอลจะเข้ามาดูดซับที่ผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ในปริมาณมาก ทำให้อนุมูลไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ลดลงและแสงไม่สามารถเข้าถึงผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์

5.1.6 ผลของกำลังของหลอดอัลตราไวโอเล็ตต่ออัตราการสลายตัวของฟีนอล

ผลของกำลังของหลอดอัลตราไวโอเล็ตต่ออัตราการสลายตัวฟีนอลด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิง พบว่าค่าคงที่ปรากฏของอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงในการกำจัดฟีนอลมีค่าเพิ่มขึ้นตามกำลังของหลอดอัลตราไวโอเล็ต เนื่องจากการเพิ่มกำลังของหลอดอัลตราไวโอเล็ตช่วยเพิ่มอนุมูลไฮดรอกซิลเหมือนกับการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ลดการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนกับหลุม จึงทำให้อัตราการสลายฟีนอลเพิ่มขึ้นที่กำลังของหลอดอัลตราไวโอเล็ตมากขึ้น

5.1.7 ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่ออัตราการสลายตัวของฟีนอล

ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อค่าคงที่ปรากฏของอัตราการสลายตัวของฟีนอลด้วยออกซิเดชันเชิงแสง พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จาก 0 ถึง 0.62 โมลาร์ เนื่อจากการปรับปรุงความว่องไวของไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในช่วงความเข้มข้นถึง 0.62 โมลาร์ ทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุมูลไฮดรอกซิลที่

ใช้ในการออกซิไดซ์และเกิดการรวมตัวกับอิเล็กตรอนในแถบการนำซึ่งเป็นลดการรวมตัวของอิเล็กตรอนกับหลุม ทำให้ปริมาณอนุมูลไฮดรอกซิลในระบบสูงขึ้น

5.1.8 ผลของอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนต่ออัตราการสลายตัวของฟีนอล

ผลของอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนต่อค่าคงที่ปรากฏของอัตราการสลายตัวของฟีนอลด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง พบว่าค่าคงที่ปรากฏของอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงในการสลายฟีนอลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของออกซิเจนเพิ่มขึ้น เนื่องจากการป้อนออกซิเจนเข้าไปในระบบเป็นการเพิ่มปริมาณโมเลกุลออกซิเจนซึ่งคาดว่าจะช่วยลดการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนกับหลุม ผลสุดท้ายจะเกิดเป็นอนุมูลไฮดรอกซิล ทำให้อัตราการสลายฟีนอลเพิ่มขึ้น

5.1.9 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่ออัตราการสลายตัวของฟีนอล

ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อค่าคงที่ปรากฏของอัตราการสลายตัวของฟีนอลด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง พบว่าค่าคงที่ปรากฏของอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงในการสลายฟีนอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น และค่าพลังงานกระตุ้นของระบบเท่ากับ 0.01 กิโลจูลต่อโมล แสดงว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงไม่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยในช่วง (20-80 องศาเซลเซียส) ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงอาจเกิดมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปยังออกซิเจนหรือในอีกแง่หนึ่ง คือ เกิดจากการคายซับอย่างรวดเร็วระหว่างตัวรองรับ (substrate) และตัวกลาง (intermediate) จากไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ดีที่อุณหภูมิสูง ทำให้มีพื้นที่ว่างในการทำปฏิกิริยามากขึ้นเป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงได้ดีขึ้น

5.1.10 การคำนวณทางสถิติโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลสองระดับ

ลำดับของปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการขจัดฟีนอลโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลสองระดับมีดังนี้ กำลังของหลอดอัลตราไวโอเล็ต > จำนวนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ > ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ > ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล ประสิทธิภาพในการขจัดฟีนอลเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มกำลังของหลอดอัลตราไว

โอเล็ต ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แต่เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลเพิ่มขึ้นกลับทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดฟีนอลลดลง

5.1.11 ภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง

จำนวนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์เท่ากับ 8 แผ่น ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลเท่ากับ 50 พีพีเอ็ม ความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 5 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 0.62 โมลาร์ กำลังของหลอดอัลตราไวโอเล็ตเท่ากับ 135 วัตต์ อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 200 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส มีอัตราการสลายฟีนอลได้สูงสุดถึง 7.2×10^{-3} นาที$^{-1}$ ซึ่งสามารถขจัดฟีนอลได้ 91.4%

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ได้สามารถประยุกต์ใช้ในการกำจัดอนุพันธ์ของฟีนอลิกตัวอื่นที่มีโครงสร้างโมเลกุลที่ซับซ้อนมากขึ้น

5.2.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในการขจัดฟีนอลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนพอลิเมทิลเมทาคริเลต โดยมีการขยายส่วนของเครื่องปฏิกรณ์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น