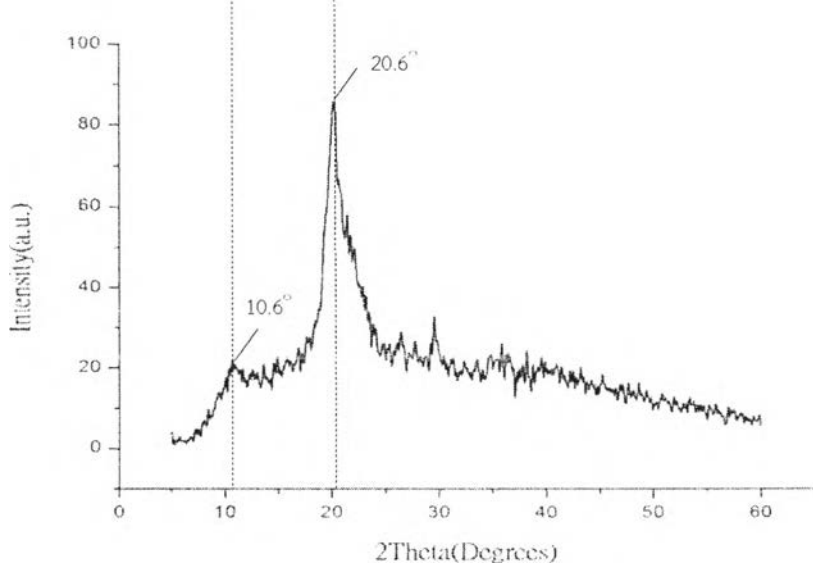
บทที่ 4
ผลและการอภิปรายผล

4.1 วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของวัสดุดูดซับชนิดต่างๆด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction)

4.1.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของวัสดุดูดซับไคโตซาน

โครงสร้างผลึกของวัสดุดูดซับไคโตซานที่วิเคราะห์ผ่านเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (XRD) ได้แสดงกราฟ XRD ของวัสดุดูดซับไคโตซานไว้ดังรูปที่ 4.1 จากการวิเคราะห์ XRD พบว่าปรากฏพีคหลักที่แสดงถึงความเป็นผลึกของไคโตซานอยู่ด้วยกัน 2 พีค คือ ที่ตำแหน่งประมาณ 10.6 และ 20.6 องศา โดยค่าที่ได้สอดคล้องกับค่าจริงจากงานวิจัยของ Guangyuan และคณะ ในหัวข้อวิจัยเรื่อง Degradation of covalently cross-linked carboxymethyl chitosan and its potential application for peripheral nerve regeneration [47] ซึ่งพบว่าพีคของไคโตซานที่แสดงความเป็นผลึก จะปรากฏพีคเด่นที่ตำแหน่งประมาณ 10 องศา และ 20 องศา ตามลำดับ โดยพีคที่ปรากฏที่ตำแหน่ง 10 องศา แสดงถึงโครงผลึกร่างตาข่ายของไคโตซานที่ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำ (hydrated crystal) ส่วนพีคที่ปรากฏที่ตำแหน่ง 20 องศานั้น แสดงถึงโครงผลึกร่างตาข่ายปกติของไคโตซาน (regular lattice) [48] และเมื่อคำนวณปริมาณความเป็นผลึกของไคโตซาน พบว่ามีร้อยละความเป็นผลึกและร้อยละความเป็นอสัณฐานอยู่ที่ 44.51 และ 55.49 ตามลำดับ

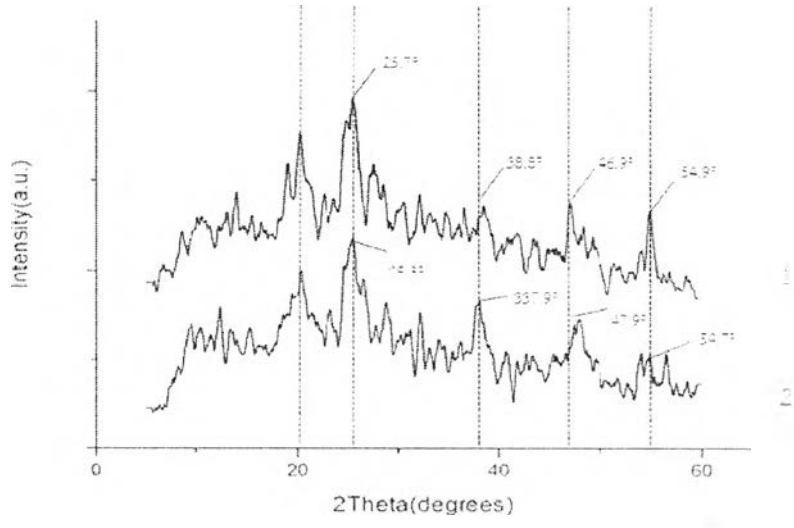


รูปที่ 4.1 กราฟ XRD ของวัสดุดูดซับไคโตซาน

4.1.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล

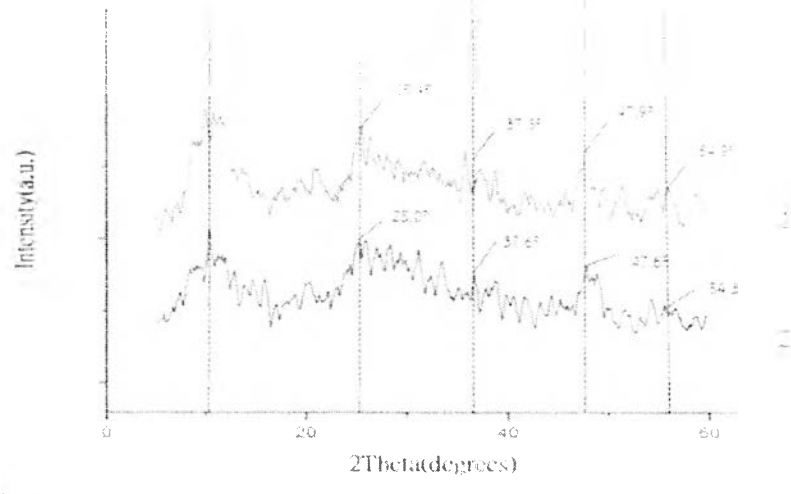
สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล จะเลือกที่ 20% ของความเข้มข้นไทเทเนียมเททระไอโซโพรพอกไซด์ (TIP) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการทำไทเทเนีย มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (XRD) โดยแบ่งเป็น 2 อัตราส่วน คือ ที่อัตราส่วนสารละลายไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 และที่อัตราส่วนสารละลายไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 60:40 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 ได้แสดงกราฟ XRD ของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล (80:20) และที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล (60:40) ทั้งที่ผ่านการบ่มและไม่ผ่านการบ่ม พบว่า ปรากฏพีคที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งของไทเทเนียที่มีผลึกแบบแอนาเทส คือที่ตำแหน่ง 25.3 37.9 47.9 และ 54.7 องศา ซึ่งแสดงถึงระนาบผลึก (101) (004) (200) (105) (211) ตามลำดับ ซึ่งตรงตามรูปแบบผลึกแอนาเทสของไทเทเนียตาม JCPDS หมายเลข 01-089-4921 แต่ลักษณะของพีคที่ปรากฏในวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล พบว่า เป็นพีคที่ไม่คมชัดและมีความสูงพีคไม่สูงมาก แสดงให้เห็นว่าวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล อาจมีไทเทเนียที่เป็นผลึกแอนาเทสในวัสดุเชิงประกอบอยู่บ้างแต่มีในปริมาณที่ไม่มากนัก ส่วนใหญ่เป็นอสัณฐาน เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วนการผสมไทเทเนียโซลที่แตกต่างกัน พบว่า ที่อัตราส่วนการผสมไคโตซานต่อไทเทเนียโซล (80:20) มีส่วนที่เป็นผลึกแอนาเทสของไทเทเนียมากกว่าที่อัตราส่วนการผสมไคโตซานต่อไทเทเนียโซล (60:40) เล็กน้อย สังเกตได้จากความเข้มของพีคที่ตำแหน่งที่แสดงถึงการมีอยู่ของผลึกแอนาเทสมีความเข้มของพีคสูงกว่าเล็กน้อย เมื่อเทียบกับที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล (60:40) และเมื่อทำการคำนวณปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล (80:20) ทั้งที่ไม่ผ่านการบ่มและผ่านการบ่ม พบว่ามีร้อยละความเป็นผลึกที่ 49.65 และ 46.95 ตามลำดับ และมีร้อยละความเป็นอสัณฐานที่ 50.35 และ 53.05 ตามลำดับ สำหรับในส่วนของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล (60:40) ทั้งที่ไม่ผ่านการบ่มและผ่านการบ่ม พบว่ามีความเป็นผลึกร้อยละ 32.04 และ 40.09 ตามลำดับ และมีความเป็นอสัณฐานร้อยละ 67.96 และ 59.91 ตามลำดับ วิธีการบ่มด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ไม่มีผลทำให้ไทเทเนียโซลที่อยู่ในวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล มีความแตกต่างจากวัสดุเชิงประกอบดังกล่าวที่ไม่ได้ทำการบ่ม เพราะลักษณะของพีคที่ปรากฏขึ้นในกราฟ XRD ทั้งในรูปที่ 4.2 และ 4.3 มีความคล้ายคลึงกันมาก

655335597



รูปที่ 4.2 กราฟ XRD ของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจลที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล (80:20) ที่ผ่านการบ่ม (1) และไม่ผ่านการบ่ม (2)

65553597

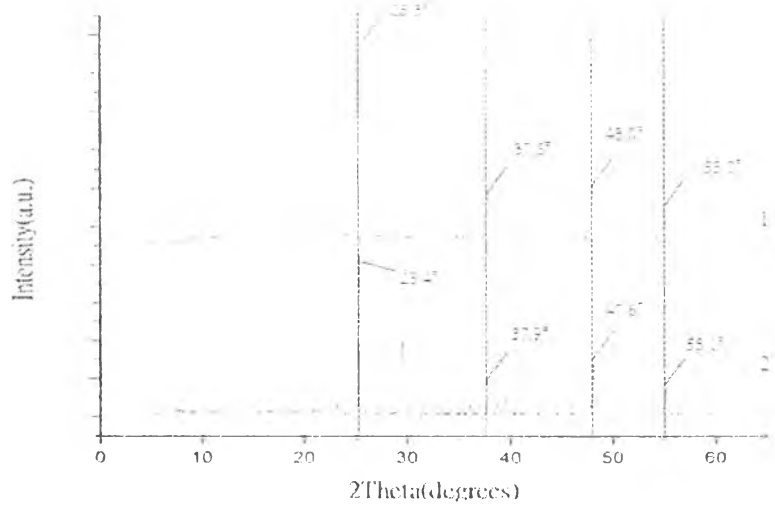


รูปที่ 4.3 กราฟ XRD ของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจลที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล (60:40) ที่ผ่านการบ่ม (1) และไม่ผ่านการบ่ม (2)

สำหรับการเตรียมวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ใช้ความเข้มข้นของ TIP 10% ไม่ได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างผลึก เพราะที่ปริมาณการใช้ TIP ที่ความเข้มข้น 20% ในวัสดุเชิงประกอบดังกล่าว ยังไม่สามารถปรากฏพีคที่คมชัดของความเป็นผลึกแอนาเทสของไทเทเนีย จึงไม่ได้ทำกราฟวิเคราะห์ที่ความเข้มข้นของ TIP ที่ 10% ของวัสดุเชิงประกอบดังกล่าว

4.1.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100

สำหรับในส่วนของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ได้เลือกที่ปริมาณผงไทเทเนียที่เทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (XRD) เพื่อจะได้เปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ความเข้มข้นเดียวกัน ซึ่งกราฟ XRD ของอัตราส่วนสารละลายไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 80:20 และที่อัตราส่วนสารละลายไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 60:40 ได้แสดงในรูปที่ 4.4 ผลของกราฟ XRD พบว่าปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 25.3 37.8 48.0 และ 55.0 องศา สำหรับอัตราส่วนสารละลายไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 80:20 และปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 25.4 37.9 47.6 และ 55.1 องศา สำหรับอัตราส่วนสารละลายไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 60:40 ตามลำดับ ซึ่งพีคดังกล่าวที่เกิดขึ้นในวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า มีค่าสอดคล้องกับพีคที่เกิดขึ้นในไทเทเนียที่มีผลึกแอนาเทสตาม JCPDS หมายเลข 01-089-492 ที่ตำแหน่ง 25.35 37.84 48.14 และ 55.18 องศา ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุเชิงประกอบดังกล่าวนี้มีปริมาณไทเทเนียที่เป็นผลึกแอนาเทสอยู่ในโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบค่อนข้างมาก ส่วนพีคของไคโตซานในวัสดุเชิงประกอบดังกล่าว มีความเข้มพีคค่อนข้างต่ำมากแทบไม่สามารถมองเห็นได้ เนื่องจากถูกพีคเด่นของไทเทเนียที่มีความเข้มสูงกลบทับพีคที่ตำแหน่งประมาณ 10 องศา และ 20 องศาของไคโตซาน



รูปที่ 4.4 กราฟ XRD ของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย (80:20) (1) และที่อัตราส่วน (60:40) (2)

เมื่อทำการคำนวณปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วน 80:20 และ 60:40 พบว่า มีความเป็นผลึกร้อยละ 59.00 และ 82.32 ตามลำดับ และมีความเป็นอสัณฐานร้อยละ 41.00 และ 17.68 ตามลำดับ แต่ปัญหาการเตรียมวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า พบว่า การเติมผงไทเทเนียลงในสารละลายไคโตซาน มีผลทำให้ความหนืดของสารละลายผสมเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น

55553597

วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 60:40 จึงมีการกระจายตัวของผงไทเทเนียในสารละลายผสมไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากสารละลายมีความหนืดค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 80:20 และเมื่อเปรียบเทียบวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจลกับวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า พบว่า วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจลไม่พบปัญหาดังกล่าว เมื่อสังเกตจากกราฟ XRD พบว่า พีคที่ปรากฏในกราฟ XRD ของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า มีความชัดของพีคที่มากกว่าพีคที่ปรากฏอยู่ในกราฟ XRD ของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล แสดงให้เห็นว่าวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า มีความเป็นผลึกแอนาเทสของไทเทเนียที่มากกว่าในวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล

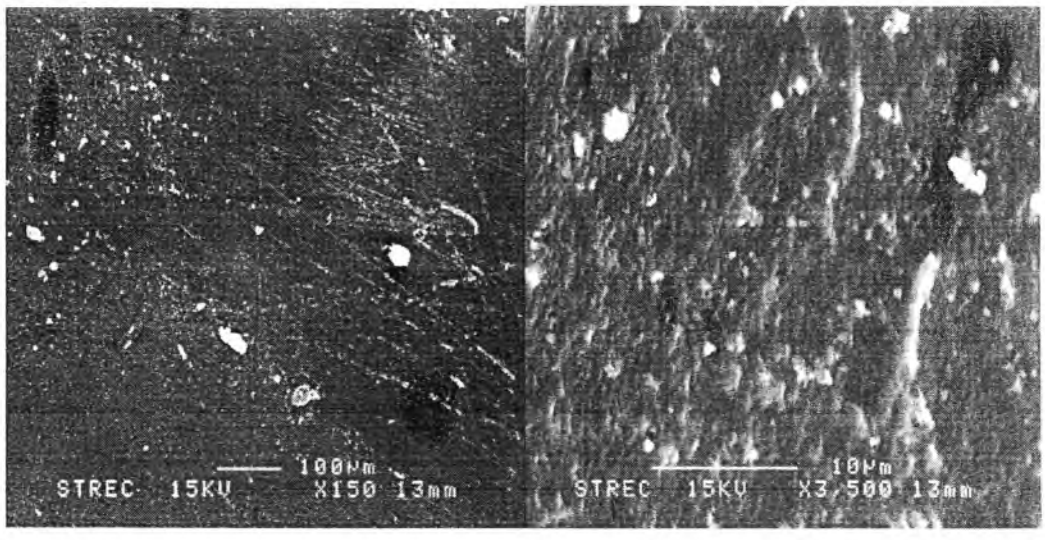
4.2 ศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา (morphology) ของวัสดุดูดซับชนิดต่างๆด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

ในการศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของวัสดุดูดซับชนิดต่างๆ จะทำการวิเคราะห์ที่สองบริเวณ คือ บริเวณพื้นผิวภายนอกของวัสดุดูดซับ และบริเวณพื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุดูดซับชนิดต่างๆ โดยทำที่กำลังขยาย 150 เท่าและ 3500 เท่า

655535597

4.2.1 ผลการศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของวัสดุดูดซับไคโตซาน

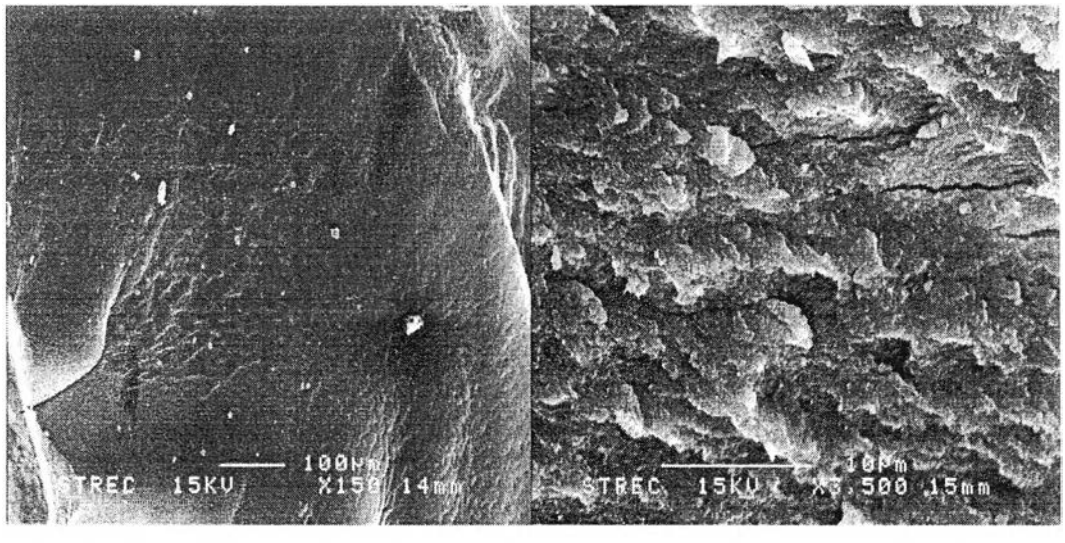
จากผลการศึกษาบริเวณพื้นผิวภายนอกและพื้นผิวภาคตัดขวางของเม็ดวัสดุดูดซับไคโตซานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 150 เท่า และที่กำลังขยาย 3500 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่า วัสดุดูดซับไคโตซานมีลักษณะพื้นผิวภายนอกค่อนข้างเรียบ แต่เมื่อสังเกตบริเวณพื้นผิวภายในจากการตัดขวางของเม็ดวัสดุดูดซับ พบว่า มีลักษณะขรุขระมากขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะผลจากการตัดวัสดุดูดซับด้วยใบมีดคม ซึ่งอาจจะทำให้เกิดร่องรอยเนื่องจากการตัด เพราะวัสดุดูดซับไคโตซานที่ใช้มีลักษณะค่อนข้างเหนียวและตัดค่อนข้างยาก



(1) (2)

รูปที่ 4.5 พื้นผิวภายนอกของวัสดุดูดซับไคโตซานที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และที่กำลังขยาย 3500 เท่า (2)

65553597



(1) (2)

รูปที่ 4.6 พื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุดูดซับไคโตซานที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และที่กำลังขยาย 3500 เท่า (2)

4.2.2 ผลการศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล

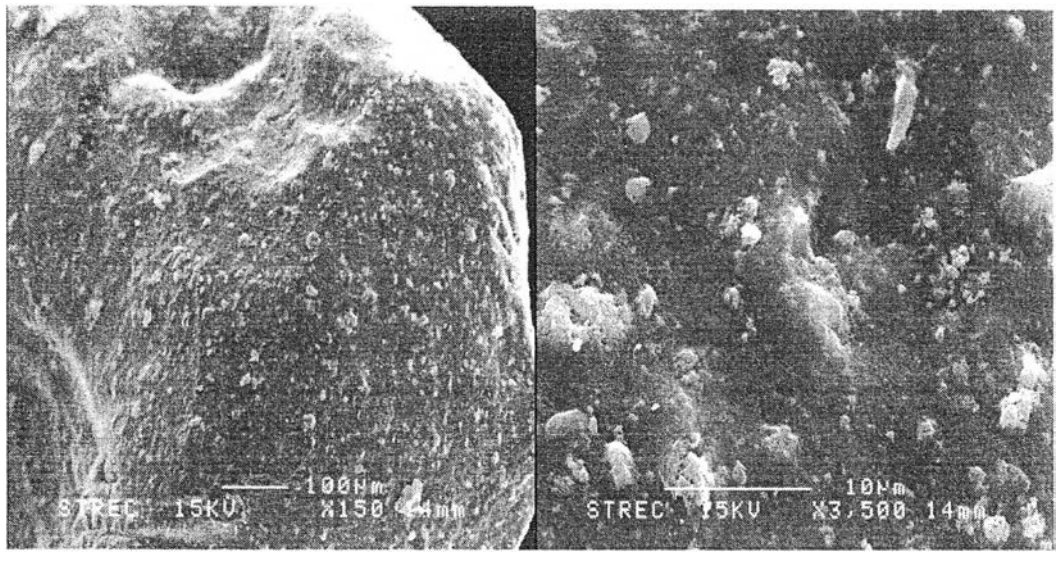
ในการศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล จะทำการศึกษาที่สองความเข้มข้น คือ ที่ 10% และที่ 20% ของไทเทเนียมเททระ-ไอโซโพรพอกไซด์ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไทเทเนีย และจะทำที่สองอัตราส่วนคือ ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนีย 80:20 และที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนีย 60:40 ซึ่งวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่นำมาศึกษาประกอบด้วย

1) วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนีย ที่อัตราส่วน 80:20 ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP
2) วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนีย ที่อัตราส่วน 60:40)ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP
3) วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนีย ที่อัตราส่วน 80:20 ที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP
4) วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนีย ที่อัตราส่วน 60:40 ที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP

ดังแสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.7 ถึง 4.14 ตามลำดับ

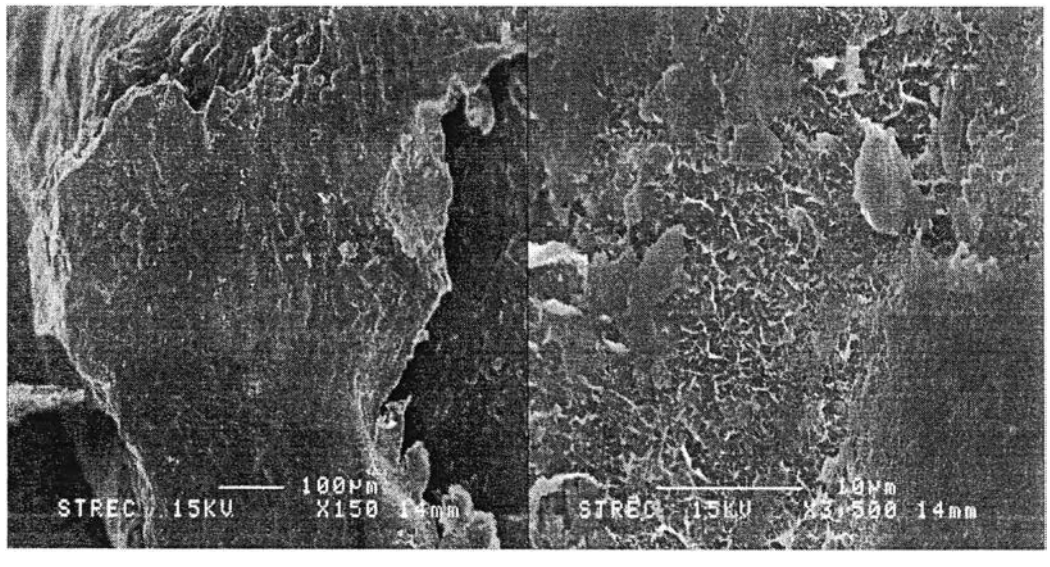
จากการศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล พบว่า พื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล มีลักษณะที่ขรุขระเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุดูดตัวซับไคโตซานที่ไม่มีไทเทเนีย และพื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบดังกล่าวจะมีความขรุขระเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการใช้ปริมาณและความเข้มข้นของ TIP เพิ่มสูงขึ้นในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบ และพบว่าที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 60:40 นั้น จะเห็นการรวมกลุ่มของอนุภาคไทเทเนียเป็นบางจุด ซึ่งมีการกระจายตัวของอนุภาคไทเทเนียได้ไม่ดีนักเมื่อเทียบกับที่อัตราส่วนอื่น ส่วนพื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบดังกล่าว พบว่า พื้นผิวภายในจากการตัดขวางมีลักษณะค่อนขรุขระและมีรอยแตกเล็กน้อยเนื่องจากการตัดวัสดุเชิงประกอบด้วยใบมีด เพราะวัสดุเชิงประกอบที่สังเคราะห์ได้ มีลักษณะค่อนข้างแข็งและเปราะ และที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 60:40 จะเห็นการแทรกตัวของอนุภาคไทเทเนียภายในวัสดุเชิงประกอบแต่มีปริมาณที่น้อยมาก ส่วนที่อัตราส่วนและความเข้มข้นอื่นๆไม่พบการกระจายตัวของอนุภาคไทเทเนีย แสดงให้เห็นว่าเม็ดวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล มีการกระจายตัวของอนุภาคไทเทเนียทั้งที่บริเวณที่ผิวภายนอกของไคโตซาน และมีการแทรกตัวของอนุภาคไทเทเนียอยู่ภายในเม็ดวัสดุเชิงประกอบด้วยเช่นกัน

655535597



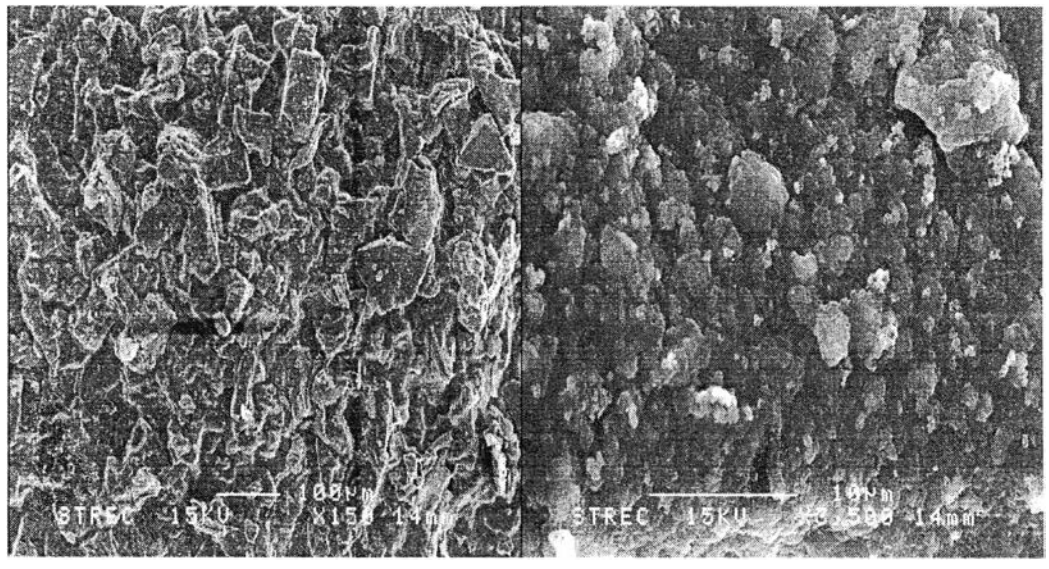
(1) (2)

รูปที่ 4.7 พื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจลที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)



(1) (2)

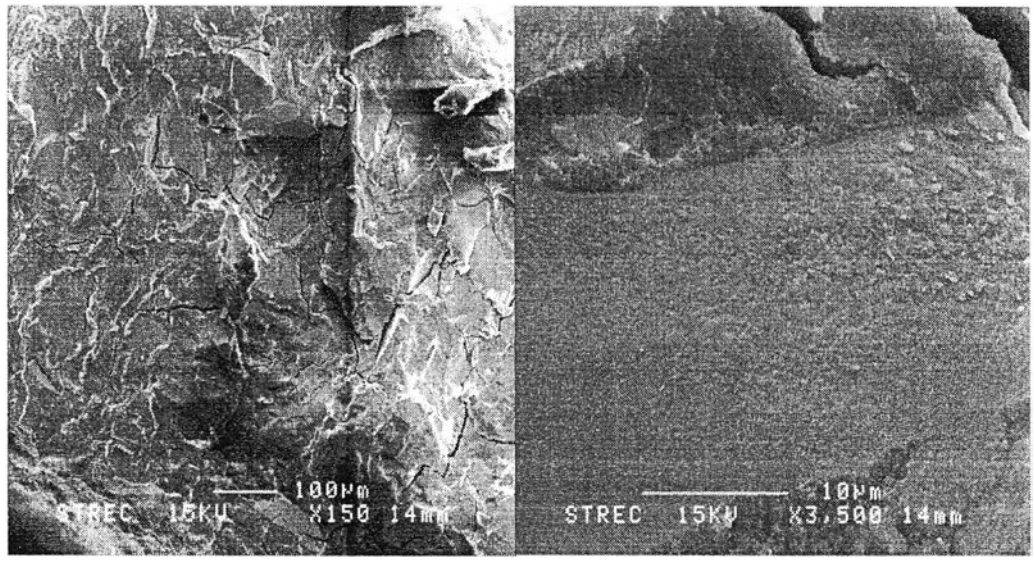
รูปที่ 4.8 พื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)



(1) (2)

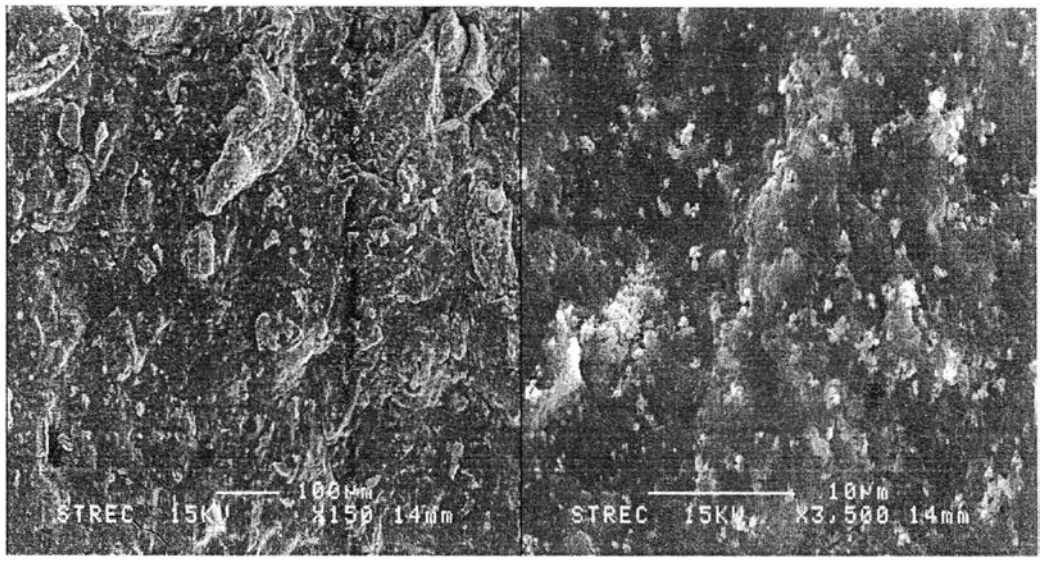
รูปที่ 4.9 พื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจลที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนีย 60:40 ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)

655535597



(1) (2)

รูปที่ 4.10 พื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่อัตราสวนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 60:40 ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เทา (1) และ 3500 เท่า (2)

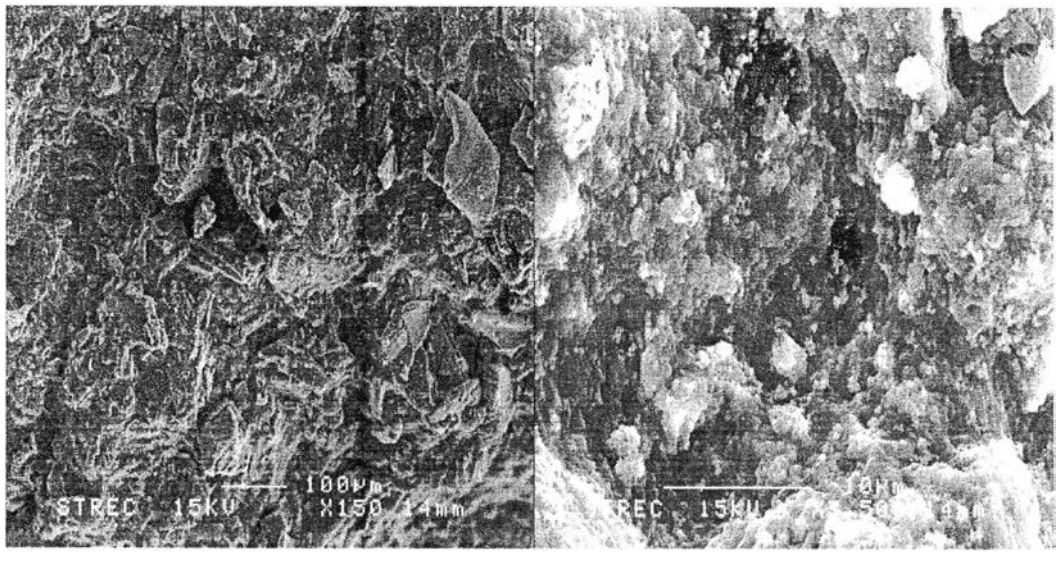


(1) (2)

รูปที่ 4.11 พื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจลที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 ที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)

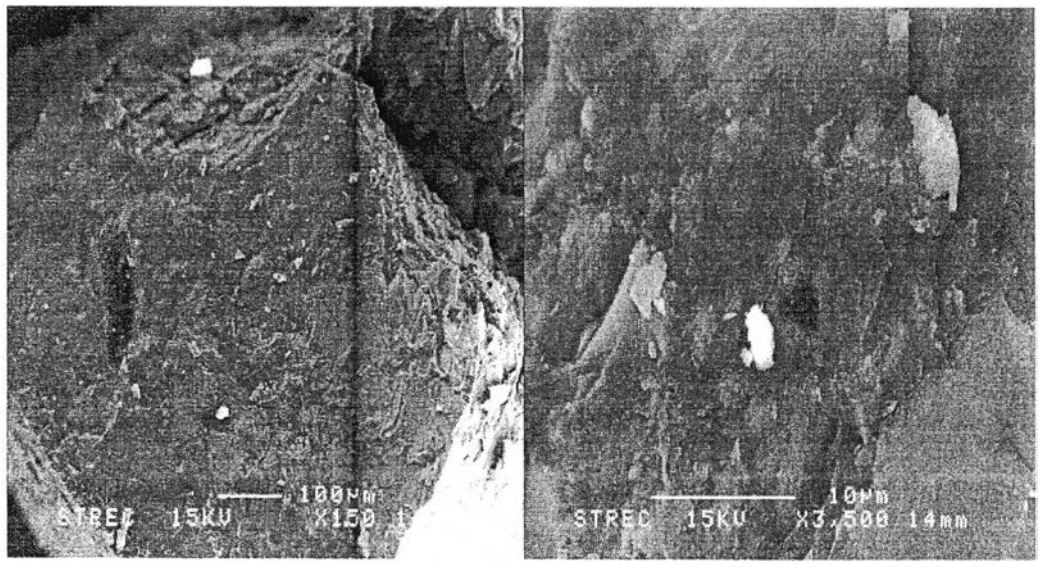
(1) (2)

รูปที่ 4.12 พื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 ที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)



(1) (2)

รูปที่ 4.13 พื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจลที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 60:40 ที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)



(1) (2)

รูปที่ 4.14 พื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 60:40 ที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)

4.2.3 ผลการศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100

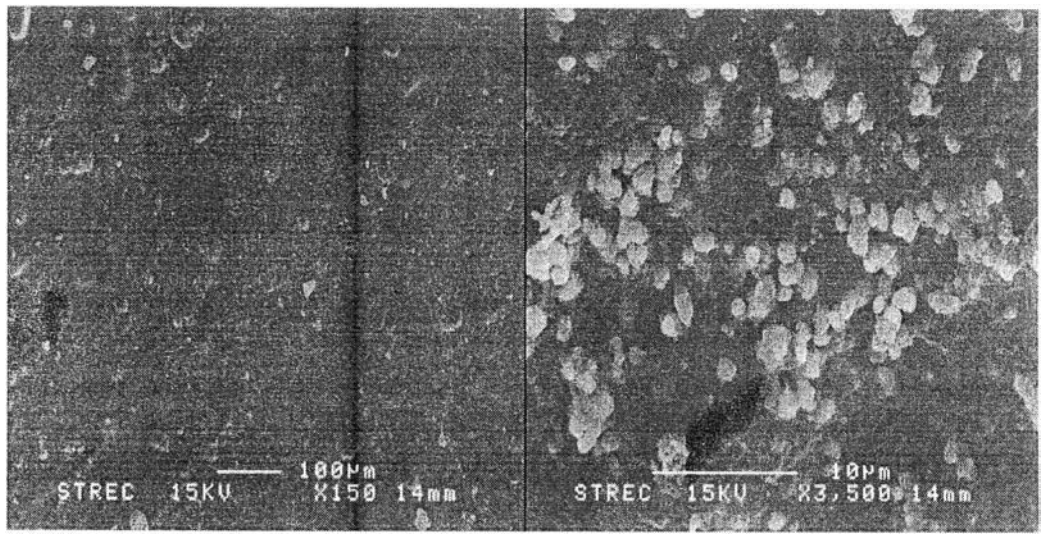
ในการศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 นั้น จะทำที่อัตราส่วนและความเข้มข้นของไทเทเนียเช่นเดียวกันกับในการศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ซึ่งวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่นำมาศึกษาประกอบด้วย

1) วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนีย 80:20 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP
2) วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนีย 60:40 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP
3) วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนีย 80:20 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP
4) วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนีย 60:40 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP

ดังแสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.15 ถึง 4.22 ตามลำดับ

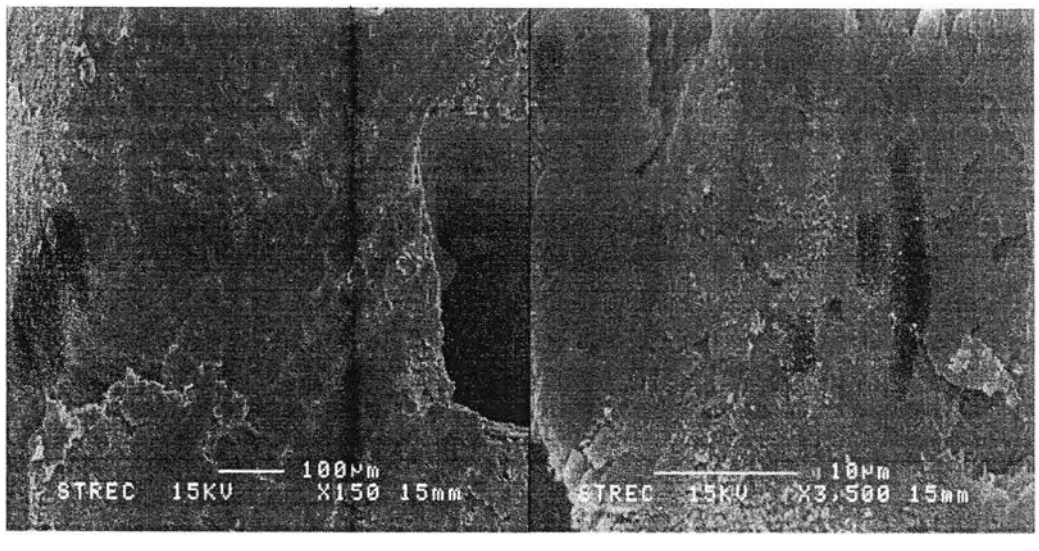
65535597

เมื่อเปลี่ยนมาใช้ผงไทเทเนียเชิงการค้า A100 ในการผสมทำเป็นวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนีย พบว่า วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า มีลักษณะพื้นผิวภายนอกที่ขรุขระเช่นกัน แต่รอยขรุขระที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็ก และจะเห็นอนุภาคไทเทเนียที่กระจายอยู่บนพื้นผิวภายนอกค่อนข้างชัดเจน ดังแสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.15 4.17 4.19 และ 4.21 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากรอยขรุขระที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล และเมื่อสังเกตบริเวณพื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ดังแสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.16 4.18 4.20 และ 4.22 พบว่า เห็นการแทรกตัวของอนุภาคไทเทเนียอยู่ภายในเนื้อไคโตซานเป็นกลุ่มๆ โดยที่ปริมาณผงไทเทเนียที่เทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 60:40 จะเห็นกลุ่มของอนุภาคไทเทเนียที่รวมตัวกันอย่างชัดเจน และมีปริมาณมากในบริเวณพื้นผิวภายใน ส่วนอนุภาคไทเทเนียในบริเวณพื้นผิวภายในที่มีผงไทเทเนียที่เทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP พบว่ามีการแทรกตัวของอนุภาคไทเทเนียในบริเวณพื้นผิวภายในน้อยมาก อาจเป็นเพราะผงไทเทเนียเชิงการค้าที่ผสมในวัสดุเชิงประกอบที่อัตราส่วนดังกล่าวค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับปริมาณไทเทเนียเชิงการค้าที่อัตราส่วนอื่นๆของวัสดุเชิงประกอบนี้



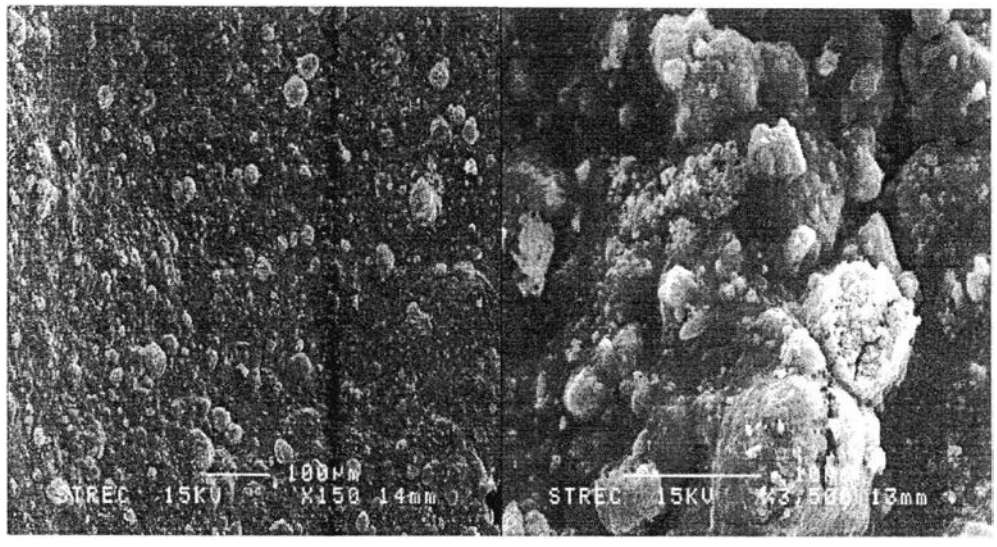
(1) (2)

รูปที่ 4.15 พื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 80:20 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)



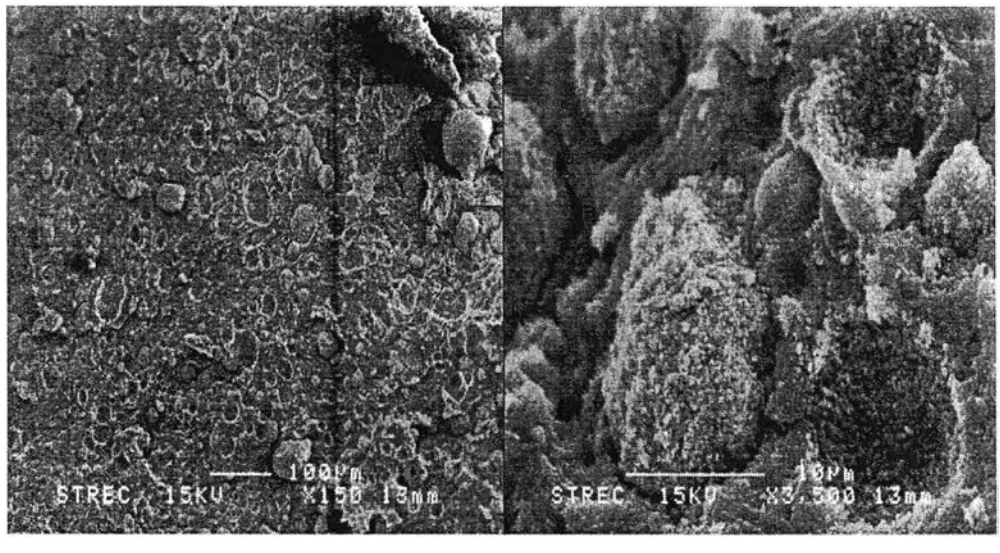
(1) (2)

รูปที่ 4.16 พื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 80:20 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)



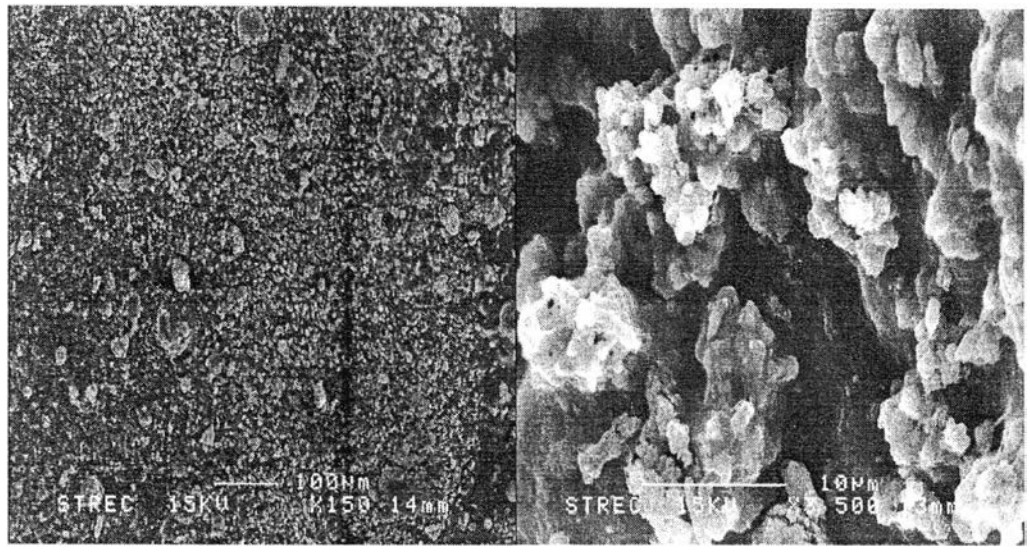
(1) (2)

รูปที่ 4.17 พื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 60:40 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)



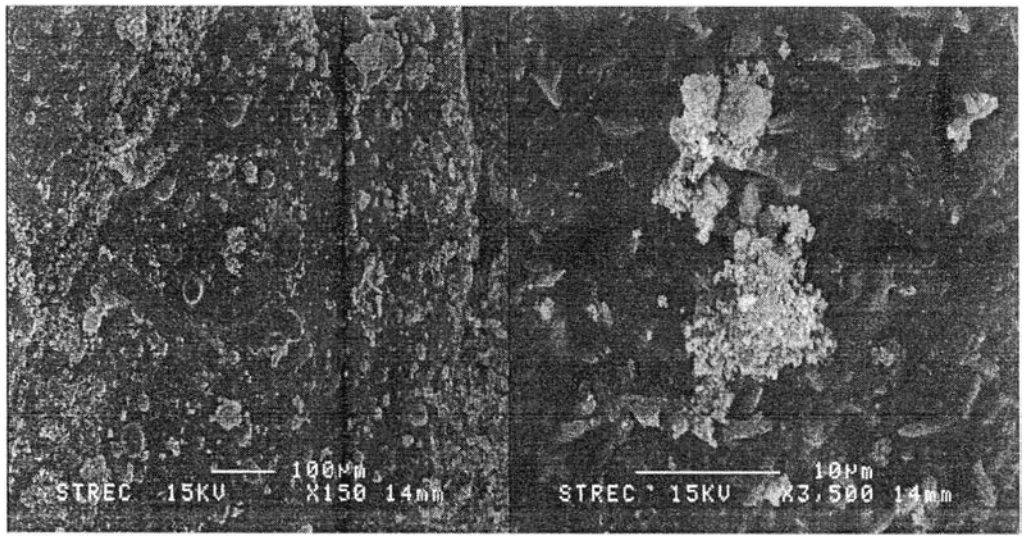
(1) (2)

รูปที่ 4.18 พื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 60:40 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)



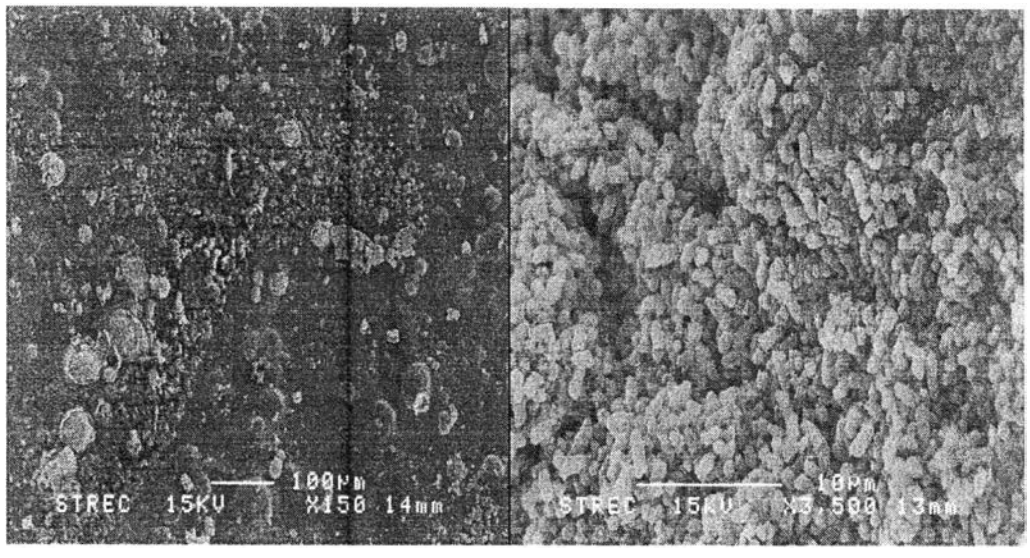
(1) (2)

รูปที่ 4.19 พื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 80:20 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)



(1) (2)

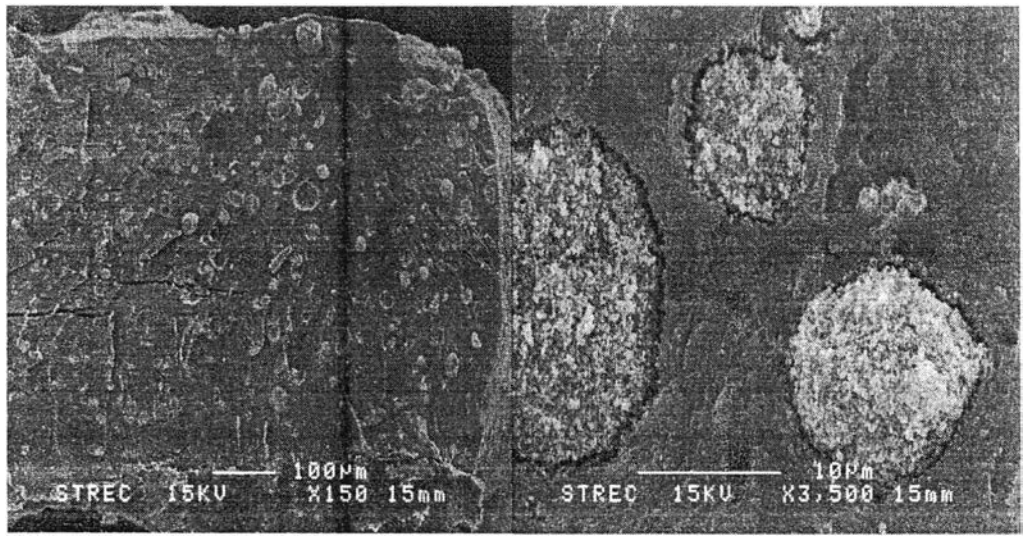
รูปที่ 4.20 พื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 80:20 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)



(1) (2)

รูปที่ 4.21 พื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 60:40 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)

655535597



(1) (2)

รูปที 4.22 พื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 60:40 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)

4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟของวัสดุดูดซับประเภทต่างๆ

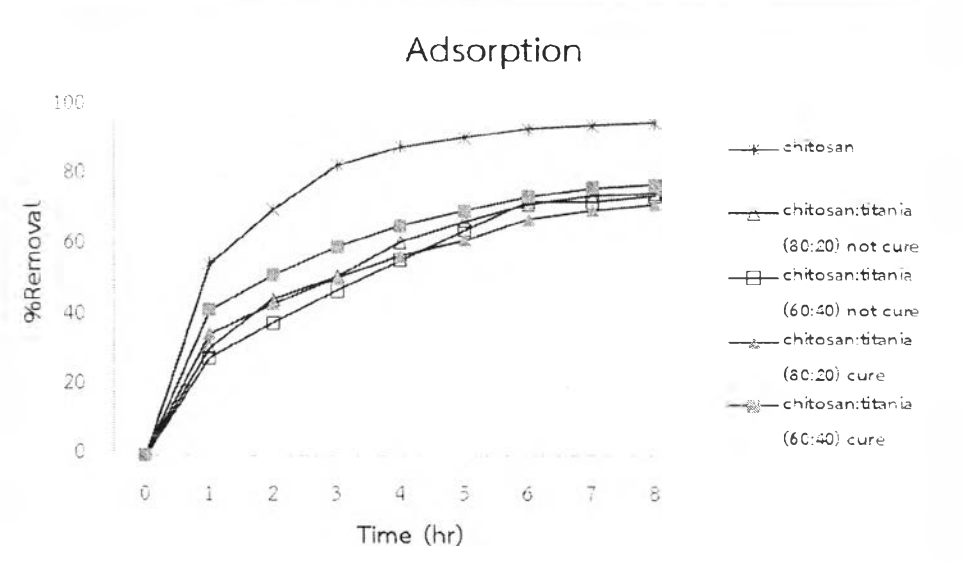
ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟภายใต้ภาวะที่มีแสงยูวี โดยวัดจากความเข้มข้นของสีย้อมที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS spectrophotometer) ของวัสดุดูดซับที่แตกต่างกัน 3 ประเภท คือ วัสดุดูดซับไคโตซาน วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล และวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100

4.3.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้น 10% และ 20% ของ TIP เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน

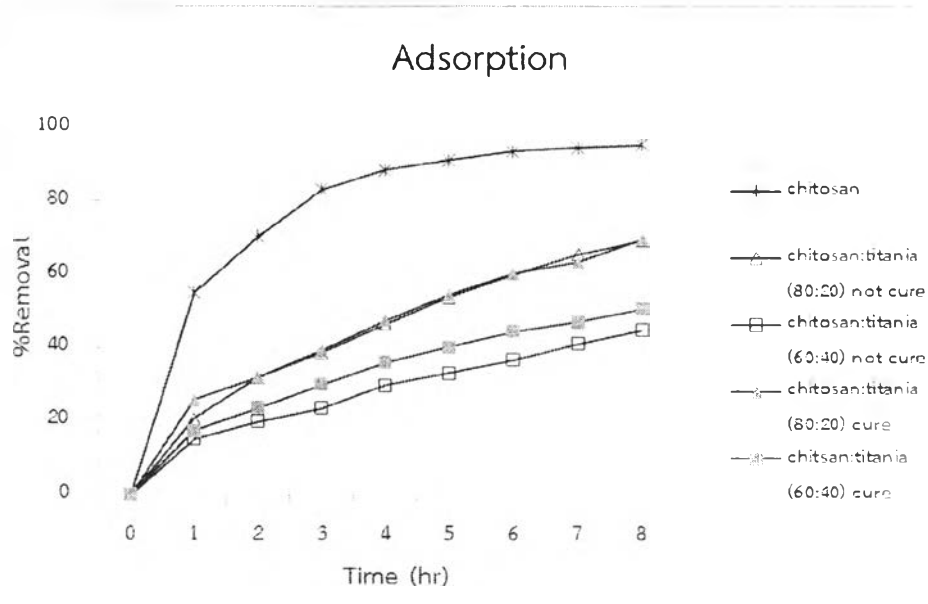
เหตุผลการเตรียมวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียมาเป็นวัสดุดูดซับสีย้อม ก็คาดหวังว่าไทเทเนียในวัสดุเชิงประกอบดังกล่าวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม โดยอาศัยความเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง (photocatalytic) ของไทเทเนีย ในการช่วยสลายสีย้อมที่ถูกดูดซับเข้ามา และหลังจากการสลายตัวของสีย้อมก็อาจจะช่วยเพิ่มเนื้อที่การดูดซับสีย้อมกลับเข้ามาในวัสดุเชิงประกอบดังกล่าว แต่จากผลการศึกษาการดูดซับสีย้อมของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ทั้งที่ความเข้มข้น 10% และที่ 20% ของ TIP ทั้งที่ผ่านการบ่มและไม่ผ่านการบ่มของเม็ดวัสดุเชิงประกอบดังกล่าว กลับมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมที่ด้อยกว่า เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของวัสดุดูดซับไคโตซาน ซึ่งผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมดังที่แสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.23 และ 4.24 ซึ่งสรุปได้ว่า วัสดุดูดซับไคโตซานมีประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมหรือการกำจัดสีย้อมได้มากถึง 95% ในขณะที่วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโคซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 และ 60:40 พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเพียง 75% และ 74.2% สำหรับที่ไม่ผ่านการบ่ม และที่ 71.9% และ 77.6% สำหรับที่ผ่านการบ่ม ตามลำดับ ส่วนที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 และ 60:40 พบว่า มีประสิทธิภาพในกำจัดสีย้อมเพียง 69.3% และ 44.9% สำหรับที่ไม่ผ่านการบ่ม และที่ 69.6% และ 50.7% สำหรับที่ผ่านการบ่ม ตามลำดับ จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า วัสดุดูดซับไคโตซานมีประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมที่สูงกว่าของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ทั้งนี้เป็นเพราะสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานที่ประกอบด้วยหมู่ $-NH_3^+$ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดึงดูดกับโมเลกุลของสีย้อมที่เป็นประจุลบได้ดี [49] เป็นกลไกการดูดซับสีย้อมของวัสดุดูดซับไคโตซานมากกว่าบทบาทของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมหรือการกำจัดสีย้อมที่ด้อยกว่า โดยมีเหตุผล 2 ประเด็นด้วยกัน คือ ปริมาณไคโตซานในวัสดุเชิงประกอบดังกล่าวน้อยลง และอีกประเด็น คือ อนุภาคไทเทเนียที่เกิดขึ้นในวัสดุเชิงประกอบดังกล่าวเป็นผลึกของแอนาเทสที่ไม่สมบูรณ์ จึงมีผลทำให้ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์เกิดได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ มีผลทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของวัสดุเชิงประกอบดังกล่าวด้อยลงมากกว่าประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของวัสดุดูดซับไคโตซาน แต่เมื่อเปรียบเทียบวัสดุเชิงประกอบ

ไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่เตรียมโดยใช้ TIP ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันระหว่าง 10% และ 20% พบว่า เม็ดวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจลที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้น 10% ของ TIP ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมหรือการกำจัดสีย้อมประมาณ 77% ซึ่งดีกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุเชิงประกอบดังกล่าวที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้น 20% ของ TIP ซึ่งมีประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมประมาณ 69% ที่เป็นเช่นนี้เพราะ ความเข้มข้นของ TIP ที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคไทเทเนีย ทำให้อนุภาคไทเทเนียที่เกิดขึ้นมีการเกาะกลุ่มกันในวัสดุเชิงประกอบ ซึ่งจะพบว่า อนุภาคไทเทเนียที่เตรียมโดยการใช้ความเข้มข้นที่ 10% ของ TIP มีการกระจายตัวที่ดีกว่าของการกระจายของอนุภาคไทเทเนียที่เตรียมโดยการใช้ความเข้มข้นที่ 20% ของ TIP แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมทั้งที่อัตราส่วนผสมของไคโตซานต่อไทเทเนีย 60:40 และ 80:20 ของความเข้มข้น 10% ของ TIP ดีกว่าทุกอัตราส่วนที่ผสมจากการเตรียมโดยใช้ความเข้มข้นที่ 20% ของ TIP นอกจากนี้อนุภาคของไทเทเนียในวัสดุเชิงประกอบดังกล่าว ไม่ได้เกิดเป็นผลึกของไทเทเนียที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงที่ดี แต่กลับกลายเป็นตัวขัดขวางไคโตซานในการดูดซับสีย้อมในวัสดุเชิงประกอบดังกล่าว จึงมีผลทำให้เมื่อเตรียมวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ใช้ความเข้มข้นของ TIP ที่สูงมีประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมหรือการกำจัดสีย้อมที่ลดลง เมื่อเทียบกับวัสดุเชิงประกอบดังกล่าวที่เตรียมด้วยการใช้ความเข้มข้นของ TIP ที่น้อยกว่า ส่วนผลของการบ่มที่อุณหภูมิสูง พบว่า ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงผลึกแอนาเทสของไทเทเนียในวัสดุเชิงประกอบดังกล่าว จึงไม่ได้แสดงผลของประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมที่แตกต่างกันมากนัก

655535597



รูปที่ 4.23 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 และ 60:40 ทั้งที่ผ่านการบ่มและไม่ผ่านการบ่ม เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน

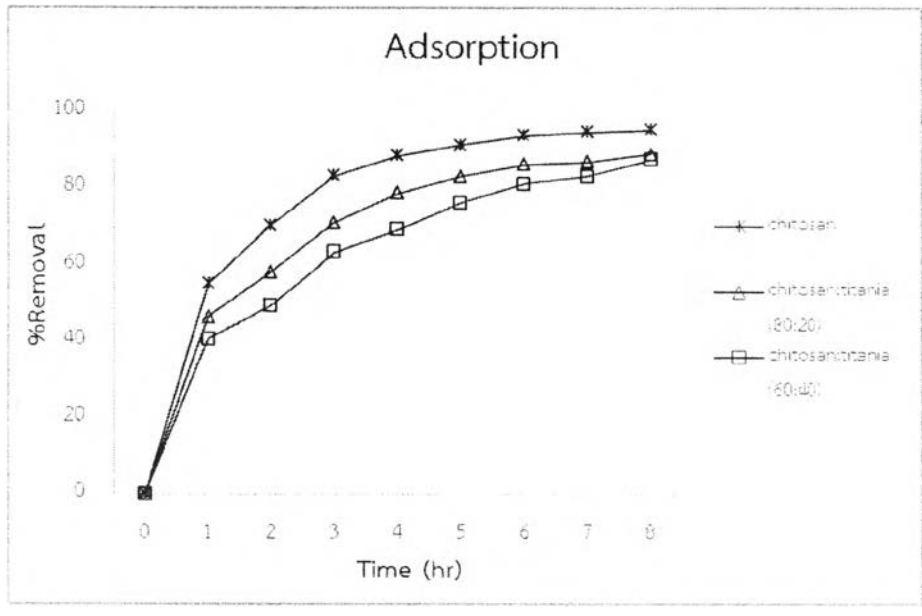


รูปที่ 4.24 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 และ 60:40 ทั้งที่ผ่านการบ่มและไม่ผ่านการบ่ม เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน

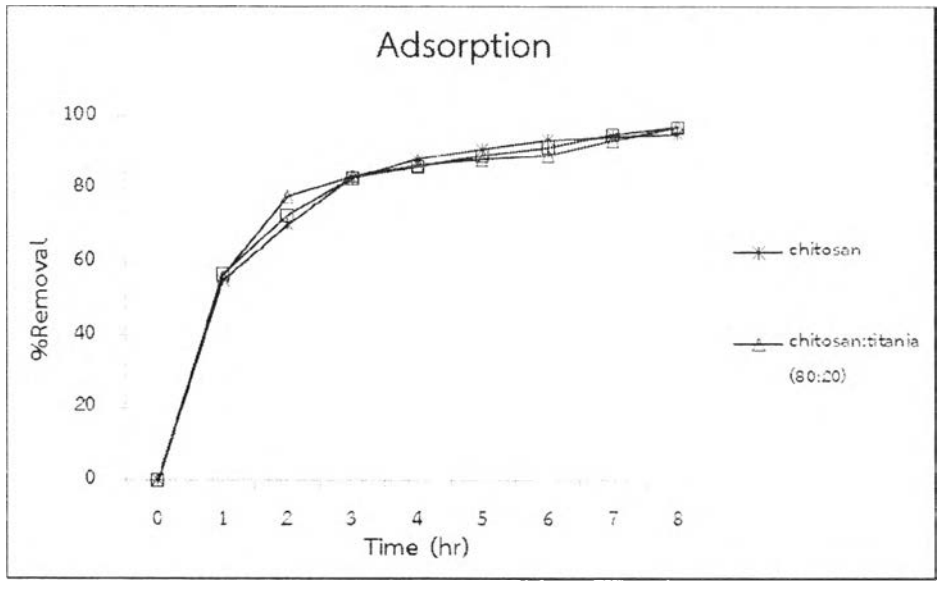
65553597

4.3.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน

เหตุผลที่เลือกไทเทเนียเชิงการค้าที่เป็นผลึกแอนาเทส 100% ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้าเพื่อศึกษาว่า ถ้าใช้ไทเทเนียที่มีผลึกเป็นแอนาเทสแล้วในวัสดุเชิงประกอบจะมีประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมหรือการกำจัดสีย้อมเป็นอย่างไร จากผลการทดลองพบว่า วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้าที่ใช้ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP มีประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมได้มากถึง 97% ส่วนวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า ที่เตรียมโดยใช้ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP มีประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมที่ 80% เทียบกับประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของวัสดุดูดซับไคโตซานที่ 95% ซึ่งปริมาณผงไทเทเนียที่ใช้ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมของวัสดุเชิงประกอบ โดยปริมาณผงไทเทเนียที่เทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ซึ่งมีปริมาณไทเทเนียมากกว่า จะมีความสามารถในการดูดซับสีย้อมได้ดีกว่า เมื่อเทียบกับปริมาณผงไทเทเนียที่เทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ซึ่งมีปริมาณไทเทเนียน้อยกว่า และจากผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่า การใช้ไทเทเนียที่มีความเป็นผลึกของแอนาเทสที่สมบูรณ์ในวัสดุเชิงประกอบมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมที่ดีกว่ามากเทียบกับการใช้ไทเทเนียที่มีผลึกไม่สมบูรณ์ในวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนีย



รูปที่ 4.25 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนียเชิงการค้า 80:20 และ 60:40 เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน



รูปที่ 4.26 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนียเชิงการค้า 80:20 และ 60:40 เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน

4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟซ้ำของวัสดุดูดซับประเภทต่างๆ

การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟซ้ำของวัสดุดูดซับประเภทต่างๆจะทำที่ภาวะเดียวกันกับการดูดซับในครั้งแรก คือ ภายใต้ภาวะที่มีแสงยูวี และใช้สารละลายสีย้อมในปริมาณที่เท่ากัน โดยจะทำการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีย้อมซ้ำของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ประเภท คือ วัสดุดูดซับไคโตซาน วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล และวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100

ผลของประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟซ้ำที่แสดงในรูปที่ 4.27 ถึง 4.30 ของทั้งวัสดุดูดซับไคโตซาน วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล และวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 พบว่า วัสดุดูดซับทั้ง 3 ประเภทมีความสามารถในการดูดซับสีย้อมซ้ำได้ และลำดับประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมซ้ำของวัสดุดูดซับประเภทต่างๆ มีแนวโน้มที่เหมือนลำดับเดิม เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการดูดซับในครั้งแรก คือ

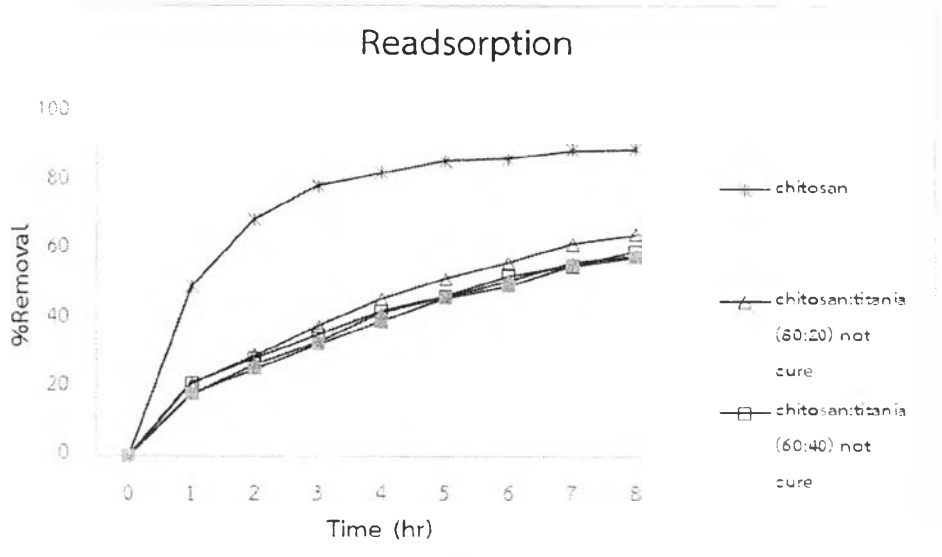
1. วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่ใช้ปริมาณไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนียเชิงการค้า 80:20 มีความสามารถในการกำจัดสีย้อมซ้ำได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุดูดซับอื่นๆ โดยสามารถกำจัดสีย้อมซ้ำได้สูงสุดประมาณ 90.5%
2. วัสดุดูดซับไคโตซาน ซึ่งมีความสามารถในการกำจัดสีย้อมซ้ำได้สูงสุดประมาณ 89.7%
3. วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่ใช้ปริมาณไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนียเชิงการค้า 60:40 มีความสามารถในกำจัดสีย้อมซ้ำได้สูงสุดประมาณ 83.2%
4. วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 มีความสามารถในการกำจัดสีย้อมซ้ำได้สูงสุดประมาณ 64.7%
5. และสุดท้ายคือ วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 ซึ่งมีความสามารถในการกำจัดสีย้อมซ้ำได้สูงสุดประมาณ 57.9%

แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่ใช้ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนียเชิงการค้า 60:40 กลับมีร้อยละการกำจัดสีย้อมซ้ำได้ต่ำกว่าวัสดุดูดซับไคโตซาน ซึ่งแตกต่างจากการดูดซับสีย้อมในครั้งแรก โดยมีความสามารถในการกำจัดสีย้อมซ้ำได้เพียงประมาณ 76% ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากการกระจายตัวที่ไม่ดีของอนุภาคไทเทเนีย ทำให้การเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของไทเทเนียในการสลายตัวของสีย้อมเกิดได้ไม่ดีพอ

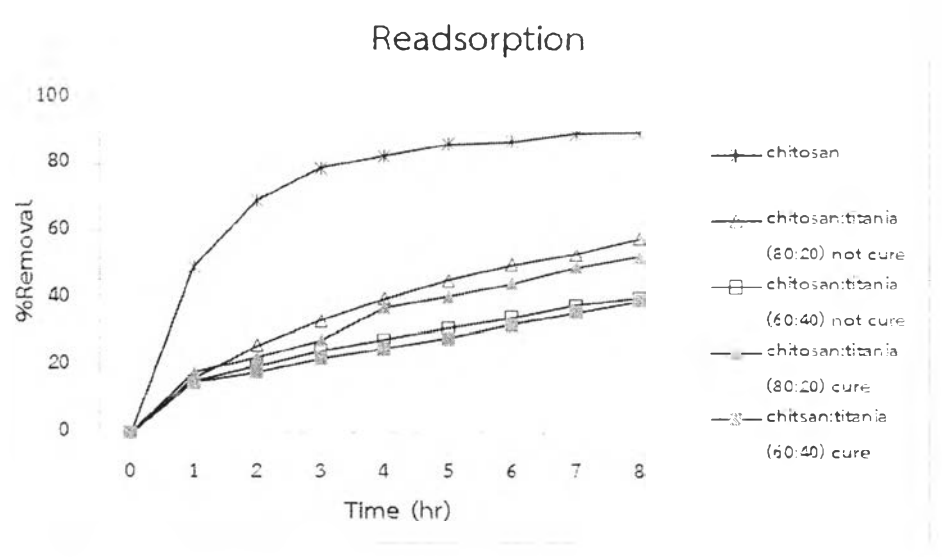
ผลจากการศึกษาในส่วนนี้ ทำให้พบว่าวัสดุดูดซับไคโตซานมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมซ้ำได้ แต่เนื่องจากเหตุผลใดนั้นต้องศึกษาเพิ่มเติม ทั้งนี้เพราะภาวะของอัตราส่วนระหว่างปริมาณวัสดุดูดซับไคโตซานและปริมาตรของสีย้อมที่ใช้อาจจะยังไม่เป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่วัสดุดูดซับไคโตซานได้แสดงประสิทธิภาพได้ 100% ซึ่งต้องศึกษาในส่วนนี้เพิ่มเติมให้แน่ใจว่า

65535597

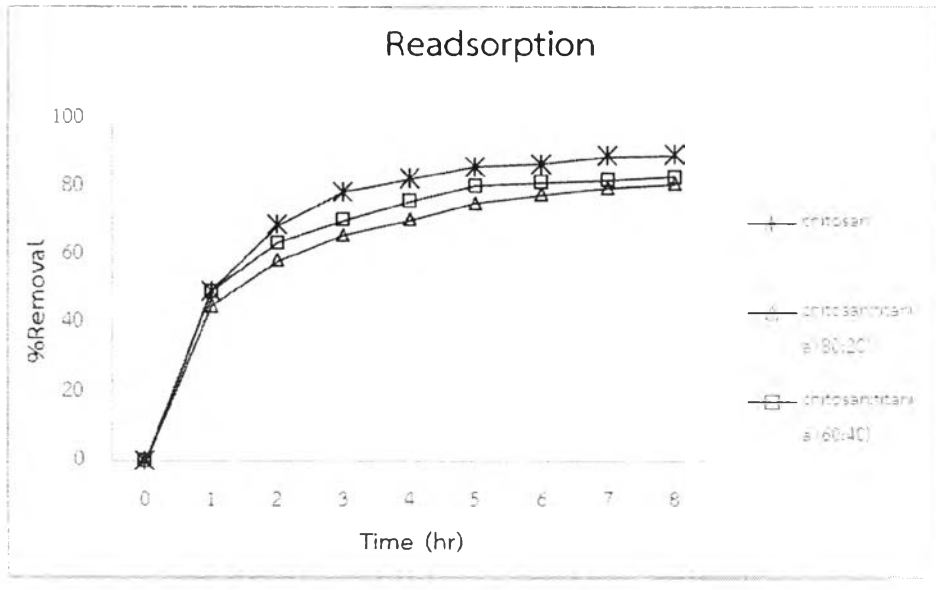
วัสดุดูดซับได้แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมแล้วอย่างเต็มที่ แล้วจึงค่อยนำมาหาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมซ้ำอีกครั้ง เพื่อศึกษากลไกการดูดซับสีย้อมซ้ำของวัสดุดูดซับไคโตซาน



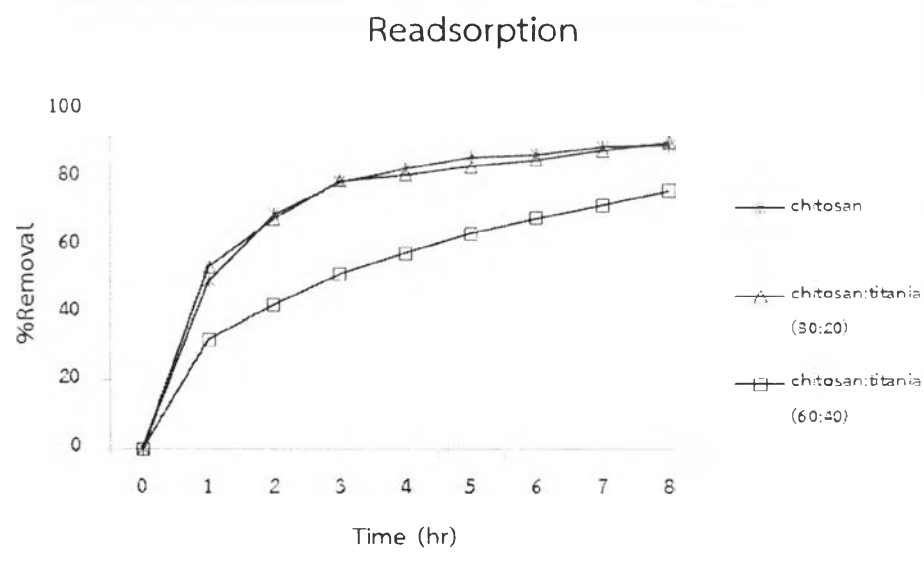
รูปที่ 4.27 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมซ้ำของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 และ 60:40 ทั้งที่ผ่านการบ่มและไม่ผ่านการบ่ม เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน



รูปที่ 4.28 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมซ้ำของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 และ 60:40 ทั้งที่ผ่านการบ่มและไม่ผ่านการบ่ม เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน



รูปที่ 4.29 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมซ้ำของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนียเชิงการค้า 80:20 และ 60:40 เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน



รูปที่ 4.30 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมซ้ำของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนียเชิงการค้า 80:20 และ 60:40 เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน

ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมซ้ำของทั้งวัสดุดูดซับไคโตซาน และวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียที่มีผลึกของไทเทเนียแบบแอนาเทสที่สมบูรณ์ต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม เพราะข้อมูลที่มีอยู่ยังไม่สามารถตอบได้ถึงประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงของไทเทเนีย ที่อาจจะมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมซ้ำได้ เพราะวัสดุดูดซับไคโตซาน แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมซ้ำได้เช่นกัน ทั้งๆที่วัสดุดูดซับไคโตซานไม่ควรมีประสิทธิภาพในการดูดซับเช่นนั้น เพราะฉะนั้นควรศึกษาเพิ่มเติมในการหาภาวะที่เหมาะสมของอัตราส่วนวัสดุดูดซับไคโตซานกับปริมาตรของสีย้อมเพื่อให้แน่ใจว่าวัสดุดูดซับไคโตซานใช้ประสิทธิภาพการดูดซับในครั้งแรกแล้วเต็มที่

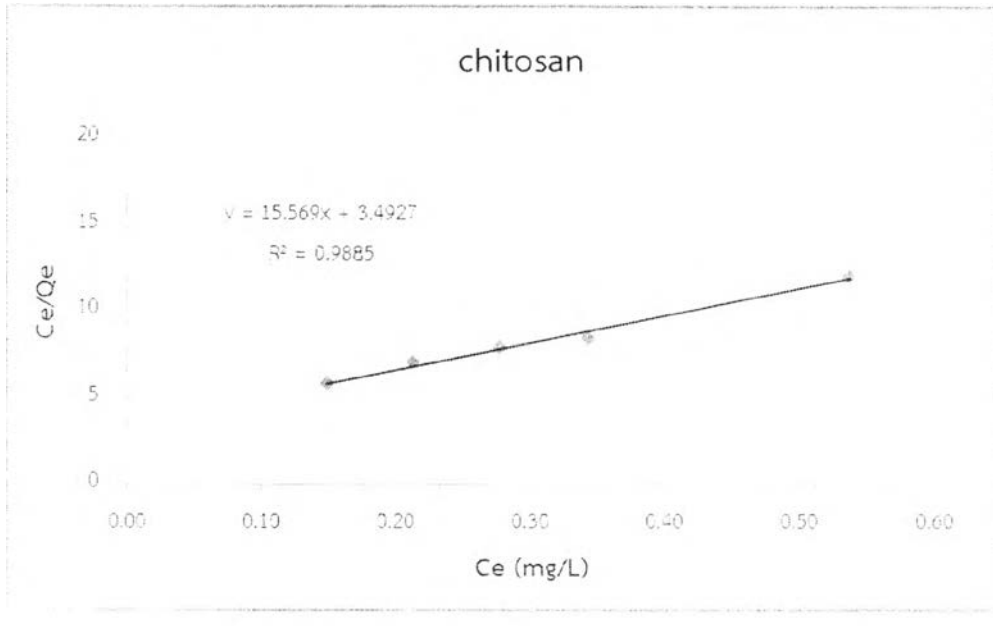
4.5 ผลการศึกษาไอโซเทิร์มในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟของวัสดุดูดซับประเภทต่างๆ

ในการศึกษาไอโซเทิร์มการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟ จะทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟเป็น 50 60 70 80 และ 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยใช้สารละลายสีย้อมปริมาตร 10 มิลลิลิตรต่อวัสดุดูดซับ 2 กรัม และใช้เวลาในการดูดซับทั้งหมด 8 ชั่วโมง โดยวัสดุดูดซับที่นำมาศึกษาจะเลือกจากวัสดุดูดซับที่มีการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟได้ดีที่สุดของวัสดุดูดซับในแต่ละประเภท ซึ่งประกอบด้วยดังนี้

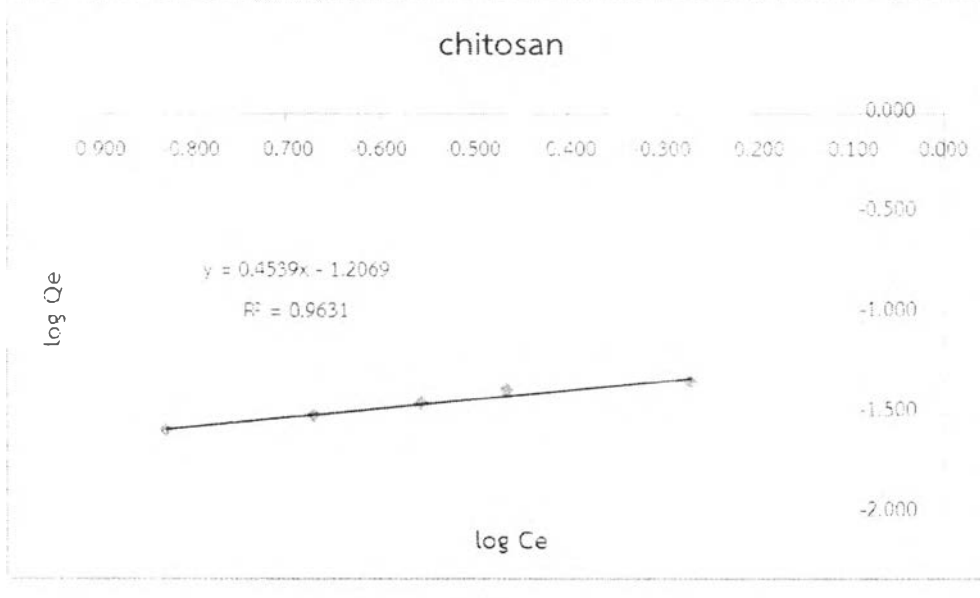
1. วัสดุดูดซับไคโตซาน
2. วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 ที่ไม่ผ่านการบ่ม แทนด้วยสัญลักษณ์ 10%TIP(80:20)
3. วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 ที่ไม่ผ่านการบ่ม แทนด้วยสัญลักษณ์ 20%TIP(80:20)
4. วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนียเชิงการค้า 80:20 แทนด้วยสัญลักษณ์ 10%TiO_2(80:20)
5. วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนียเชิงการค้า 80:20 แทนด้วยสัญลักษณ์ 20%TiO_2(80:20)

ผลจากการวิเคราะห์ระบบการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟของวัสดุดูดซับประเภทต่างๆ โดยอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษารูปแบบสมการการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดลิช แสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.31 ถึง 4.35 ตามลำดับ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) (correlation coefficient) ที่ได้จะเป็นตัวบอกว่าวัสดุดูดซับแต่ละประเภทว่ามีความสอดคล้องกับไอโซเทิร์มชนิดใดมากที่สุด โดยจากรูปที่ 4.31 ถึง 4.35 ตามสมการของแลงเมียร์ สามารถคำนวณหาปริมาณของสารที่ถูกดูดซับสูงสุด (Q_m) และค่าคงที่ของแลงเมียร์ (K_l) และในส่วนของสมการฟรุนดลิชสามารถคำนวณหาค่าคงที่ของฟรุนดลิช (K_f) และค่าคงที่สมดุลในการดูดซับ (n) ของวัสดุดูดซับแต่ละประเภท ซึ่งค่าที่ได้แสดง

เอาไว้ดังตารางที่ 4.1

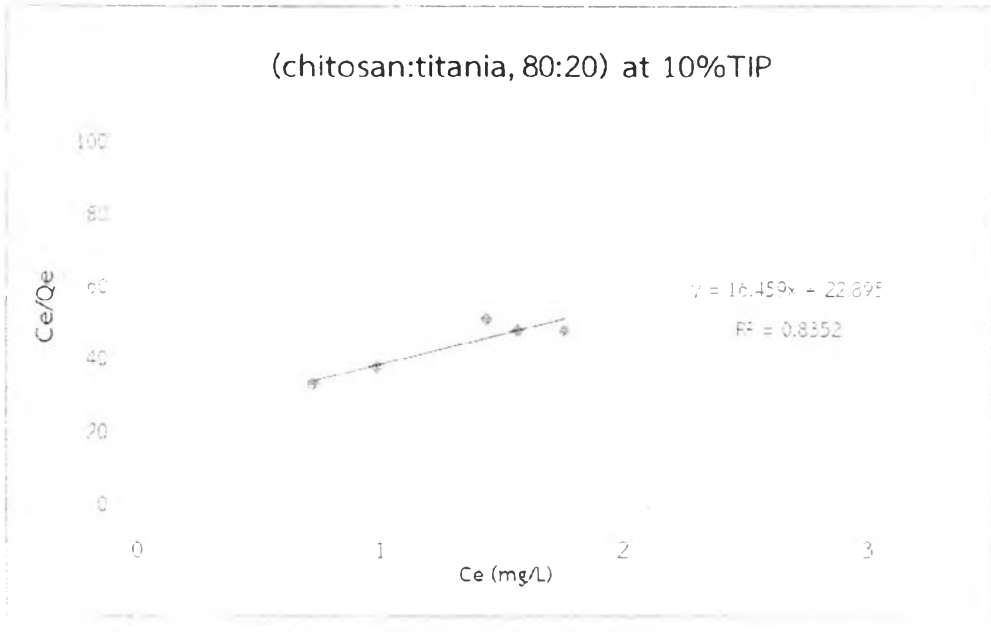


(1)

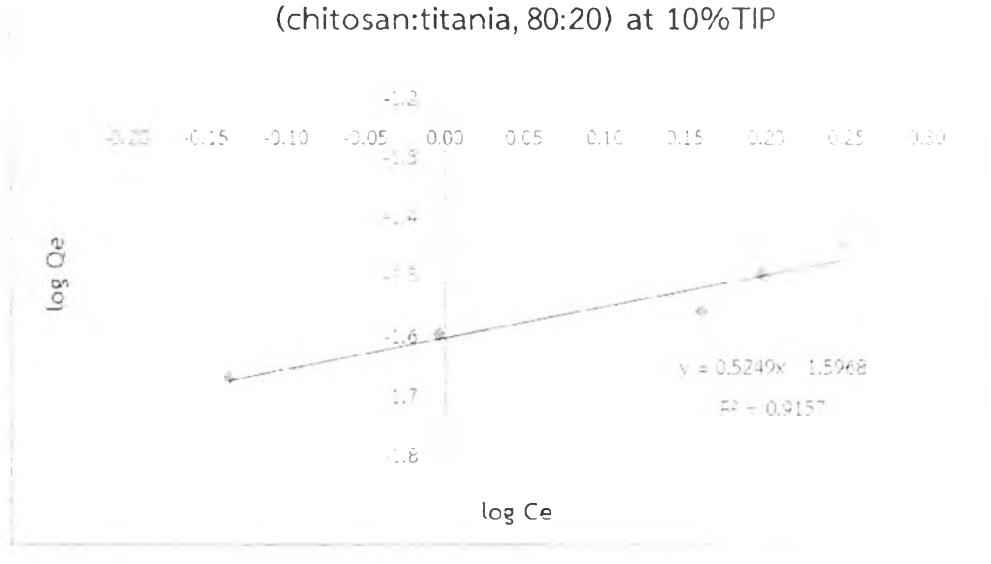


(2)

รูปที่ 4.31 สมการการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟเรด 35 ด้วยเม็ดวัสดุดูดซับไคโตซานตามสมการของแลงเมียร์ (1) และตามสมการของฟรุนดลิช (2)

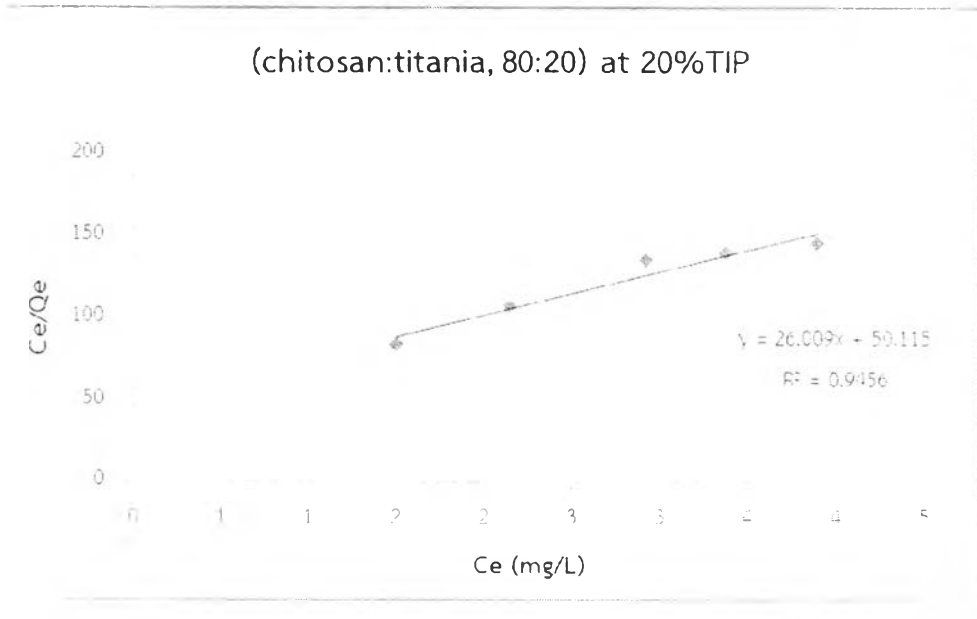


(1)

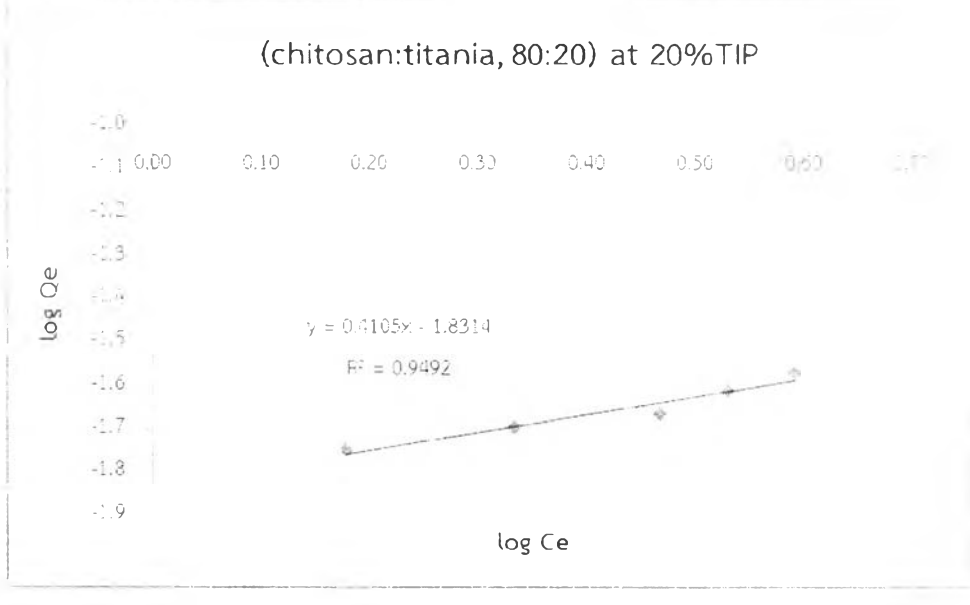


(2)

รูปที่ 4.32 สมการการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟเรด 35 ด้วยเม็ดวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 ตามสมการของแลงเมียร์ (1) และตามสมการของฟรุนดลิช (2)



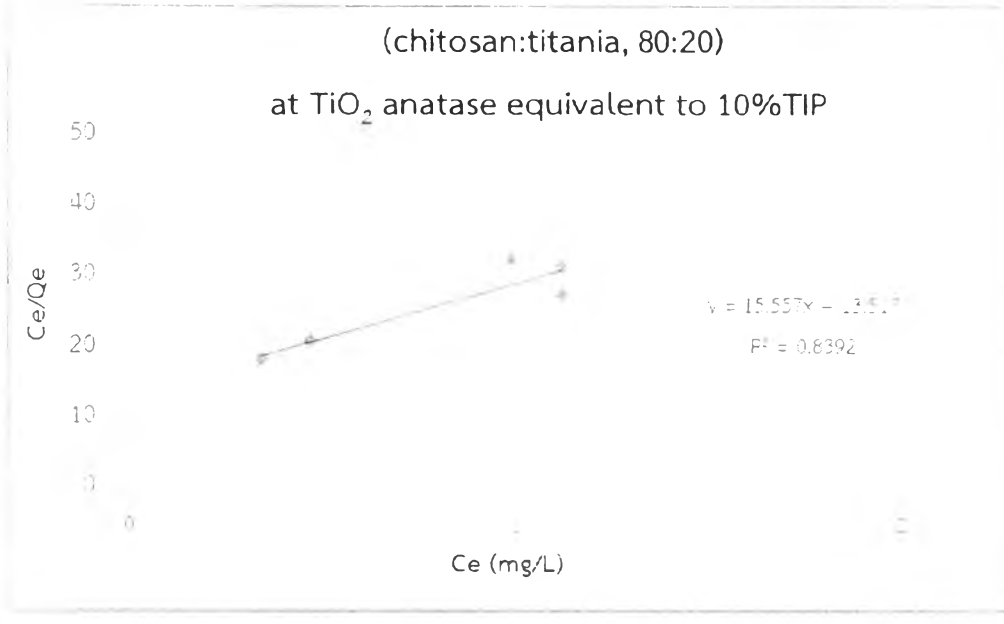
(1)



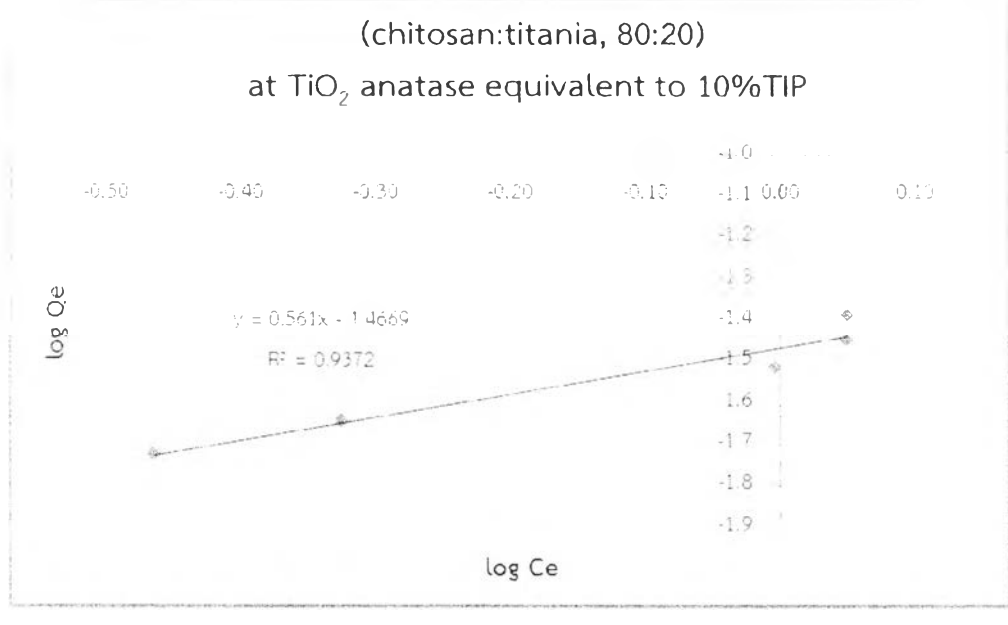
(2)

รูปที่ 4.33 สมการการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟเรด 35 ด้วยเม็ดวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 ตามสมการของแลงเมียร์ (1) และตามสมการของฟรุนดลิช (2)

เลขหมู่ วิท 2556
เลขทะเบียน 7192
วันเดือนปี 16 ธ.ค. 2560

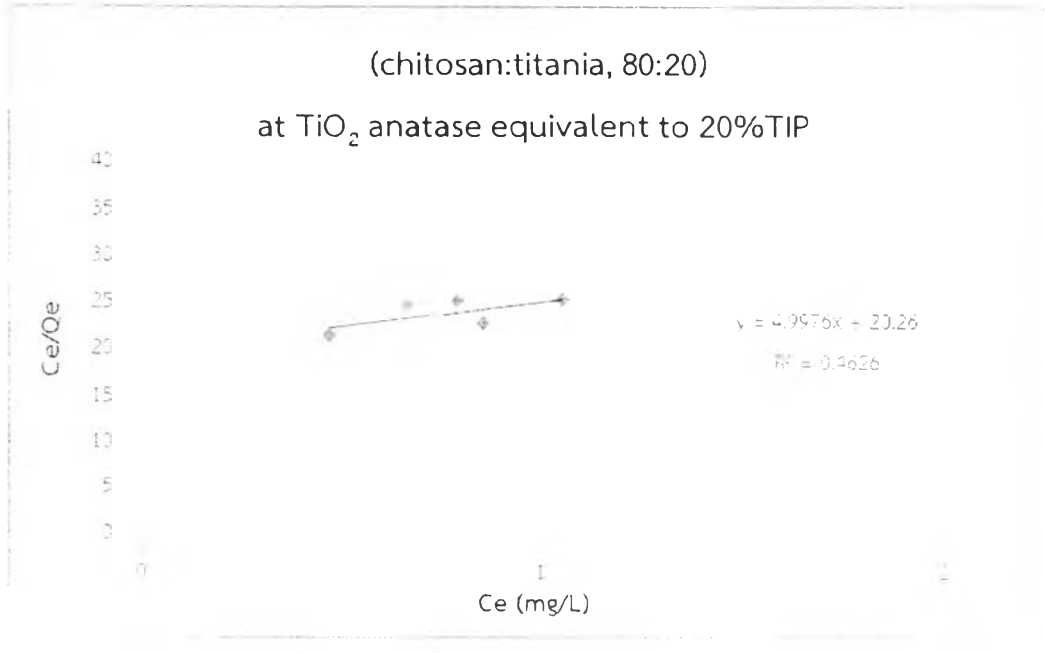


(1)

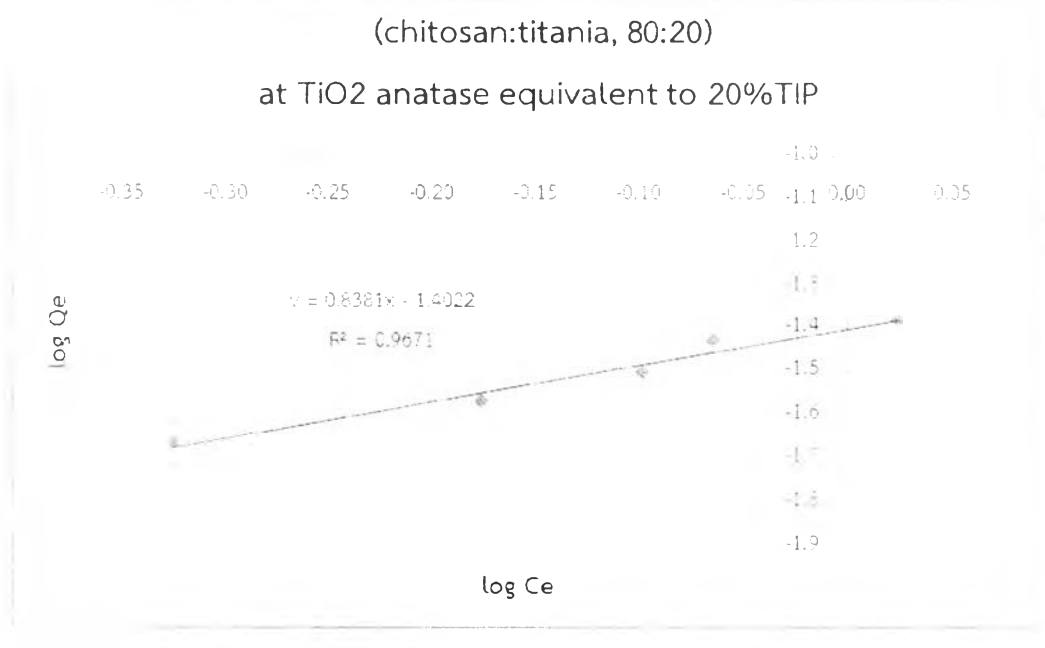


(2)

รูปที่ 4.34 สมการการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟเรด 35 ด้วยเม็ดวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนียเชิงการค้า 80:20 ตามสมการของแลงเมียร์ (1) และตามสมการของฟรุนดลิช (2)



(1)



(2)

รูปที่ 4.35 สมการการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟเรด 35 ด้วยเม็ดวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนียเชิงการค้า 80:20 ตามสมการของแลงเมียร์ (1) และตามสมการของฟรุนดลิช (2)

ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่ของสมการแลงเมียร์และฟรุนดลิชจากการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟด้วยวัสดุดูดซับประเภทต่างๆ

วัสดุดูดซับ	สมการของแลงเมียร์ $C_e/Q_e = C_e/Q_m + 1/K_L Q_m$			สมการฟรุนดลิช $\log Q_e = \log K_f + (1/n)\log C_e$		
	Q_m (mg/g)	K_L	R^2	K_f	1/n	R^2
เม็ดวัสดุดูดซับไคโตซาน	0.0642	0.018	0.989	0.062	0.454	0.963
วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียที่ 10%TIP (80:20)	0.0608	0.003	0.835	0.025	0.525	0.916
วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียที่ 20%TIP (80:20)	0.0384	0.001	0.946	0.015	0.411	0.949
วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่า 10%TIP (80:20)	0.0643	0.005	0.877	0.034	0.561	0.937
วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่า 20%TIP (80:20)	0.2001	0.010	0.463	0.040	0.838	0.967

การศึกษาไอโซเทิร์มของการดูดซับเพื่อใช้เป็นตัวแทนในการอธิบายกลไกการดูดซับของสีย้อมทีภาวะสมดุล โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ เทียบกับความเข้มข้นของสารละลายที่เหลืออยู่ที่ภาวะสมดุล ที่อุณหภูมิคงที่หนึ่งๆ [50] โดยมีค่า R^2 เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเบี่ยงเบนจากทฤษฎี หากค่า R^2 ที่ได้มีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่ามีความเป็นไปตามทฤษฎีนั้นๆ ซึ่งจากข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า ทั้งไอโซเทิร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และไอโซเทิร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช สามารถอธิบายการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟของวัสดุดูดซับไคโตซานได้เป็นอย่างดี เนื่องจากค่า R^2 ที่ได้มีความใกล้เคียงกันทั้งสองไอโซเทิร์ม คือ 0.989 และ 0.963 ตามลำดับ และค่า R^2 ที่ได้ยังมีค่าใกล้เคียง 1 นั่นคือ การดูดซับสีย้อมในวัสดุดูดซับไคโตซานสามารถเกิดได้ทั้งแบบชั้นเดียว (monolayer) และแบบหลายชั้น (multilayer) เนื่องจากโมเลกุลของไคโตซานมีทั้งหมู่แอมิโนที่สามารถแตกตัวให้โปรตอนไปอยู่ในรูปของ $-NH_3^+$ ได้ จึงมีผลทำให้ไคโตซานมีประจุบวกและสามารถเกิดแรงดึงดูดทางเคมีกับโมเลกุลสีย้อมได้ นอกจากนี้ไคโตซานยังมีความเป็น

รูพรุนจึงช่วยให้เกิดแรงดึงดูดทางกายภาพกับโมเลกุลสีย้อมได้ [5] ส่วนวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนีย ซึ่งเป็นวัสดุดูดซับเชิงประกอบที่ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ จึงมีลักษณะการดูดซับแบบฟรุนดลิช จากผลการคำนวณ พบว่า เม็ดวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า ที่เตรียมโดยใช้ผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% และ 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 80:20 ได้ค่า R^2 ในสมการ ฟรุนดลิชที่สูงกว่าค่า R^2 ในสมการแลงเมียร์ แสดงให้เห็นว่า เม็ดวัสดุดูดซับเชิงประกอบประเภทนี้แสดงการดูดซับแบบฟรุนดลิชมากกว่าแบบแลงเมียร์ ส่วนเม็ดวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจลให้ผลการดูดซับที่สอดคล้องทั้งแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดลิช เพราะค่า R^2 ใกล้เคียงกัน ซึ่งคล้ายคลึงกับวัสดุดูดซับไคโตซาน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะไทเทเนียจากวิธีโซลเจลที่เกิดขึ้นในวัสดุดูดซับเชิงประกอบนี้ ยังไม่ได้แสดงความเป็นผลึกแอนาเทสที่สมบูรณ์เหมือนกับการใช้ไทเทเนียเชิงการค้า ทำให้เม็ดวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจลจึงไปใกล้เคียงกับวัสดุดูดซับไคโตซานที่มีรูปแบบสมการการดูดซับสีย้อมแบบแลงเมียร์

55533597