การใช้วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไททาเนียเป็นตัวดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟ

ห้องสมุดคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาฯ
FACULTY OF SCIENCE LIBRARY
CHULALONGKORN UNIVERSITY

นางสาวปรางศิริ มณีนวล

655535597

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5472017323

UTILIZATION OF CHITOSAN/TITANIA COMPOSITES AS REACTIVE DYE ADSORBENT

Miss Prangsiri Maneenoun

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and
Textile Technology
Department of Materials Science
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2013
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไททาเนียเป็นตัวดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟ
โดย	นางสาวปรางศิริ มณีนวล
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ประณัฐ โพธิยะราช)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิรีรัตน์ จารุจินดา)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพัตรา จินาวัฒน์)

ปรางศิริ มณีนวล : การใช้วัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไททาเนียเป็นตัวดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟ. (UTILIZATION OF CHITOSAN/TITANIA COMPOSITES AS REACTIVE DYE ADSORBENT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์, 101 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเพื่อกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟเรด 35 ของวัสดุดูดซับที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ วัสดุดูดซับไคโตซาน และวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียที่แตกต่างกันสองชนิด ซึ่งไทเทเนียที่ใช้ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียได้มาจากวิธีโซลเจล และการใช้ผงไทเทเนียเชิงการค้า A100 จากผลของประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของวัสดุดูดซับทั้งสามชนิด สรุปได้ว่า เม็ดวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียที่ประกอบด้วยผงไทเทเนียเชิงการค้า มีประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟได้มากสุดถึง 97% ซึ่งมากกว่าของเม็ดวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียที่เตรียมได้จากวิธีโซลเจล ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟประมาณ 77% ทั้งนี้เพราะผงไทเทเนียเชิงการค้าที่ผสมในวัสดุเชิงประกอบแสดงความเป็นผลึกแอนาเทสที่สูงกว่าผลึกแอนาเทสที่มีอยู่ในวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียที่เตรียมจากวิธีโซลเจล ซึ่งความเป็นผลึกแอนาเทสของไทเทเนียที่อยู่ในวัสดุเชิงประกอบช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟให้กับวัสดุเชิงประกอบ ส่วนวัสดุดูดซับไคโตซานมีประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมได้มากถึง 95% เนื่องจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตระหว่างไคโตซานและสีย้อมรีแอกทีฟ นอกจากนี้วัสดุดูดซับทั้ง 3 ประเภท มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมซ้ำได้ แต่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมช้ากว่าประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมครั้งแรกของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ประเภท ผลการศึกษาไอโซเทิร์มการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ประเภท สรุปได้ว่า วัสดุดูดซับไคโตซาน และวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล มีไอโซเทิร์มการดูดซับสีย้อมที่สอดคล้องทั้งกับสมการแบบแลงเมียร์และสมการแบบฟรุนดลิช ส่วนวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 มีไอโซเทิร์มการดูดซับสีย้อมที่สอดคล้องกับสมการแบบฟรุนดลิชมากกว่า

655535597

ภาควิชา	วัสดุศาสตร์	ลายมือชื่อนิสิต ....
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....
ปีการศึกษา	2556	

5472017323 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEYWORDS: REACTIVE RED DYE / CHITOSAN / TITANIA / CHITOSAN/TITANIA COMPOSITE / ADSORBENT

PRANGSIRI MANEENOUN: UTILIZATION OF CHITOSAN/TITANIA COMPOSITES AS REACTIVE DYE ADSORBENT. ADVISOR: ASST. PROF. SIRIWAN KITTINAOVARAT, Ph.D., 101 pp.

This study was to investigate the dye adsorption ability for removal of the reactive red 35 dye of three different adsorbent beads consisting of pure chitosan and two different chitosan/titania composite beads. Titania used for preparing the chitosan/titania composite beads was obtained from the sol-gel method or from the commercial titania powder A100. According to the results of dye adsorption abilities of three different adsorbents, it could be concluded that the chitosan/titania composite beads containing commercial titania powder had the adsorption abilities for removal of the reactive red dye solution up to 97%, which was much better than that of the chitosan/titania composite beads containing titania obtained from the sol-gel method which had the adsorption abilities around 77%. This was because the commercial titania powder contained in the chitosan/titania composite beads showed higher content of crystalline anatase than that of titania obtained from the sol-gel method in the composite beads. The crystallinity of anatase enhanced the dye adsorption ability of the composite beads. Pure chitosan adsorbent showed a good dye adsorption ability up to 95% due to the electrostatic interactions between chitosan and the reactive red dye. It was also found that three different adsorbent beads could be reused for the second time. However, the re-adsorption ability of each adsorbent bead was less than the first one. From the result of adsorption isotherms, it could be concluded that the adsorption isotherm of pure chitosan beads or chitosan/titania composite beads containing titania obtained from the sol-gel method followed both Langmuir and Freundlich models. While the adsorption isotherm of chitosan/titania composite beads containing commercial titania tended to follow Freundlich model.

Department:	Materials Science	Student's Signature	....
Field of Study:	Applied Polymer Scienc(and Textile Technology	Advisor's Signature	....
Academic Year:	2013		

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตามวัตถุประสงค์ เนื่องจากข้าพเจ้าได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ ความช่วยเหลือ แนวทางในการแก้ปัญหา การแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ และความดูแลเอาใจใส่ จากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ เป็นอย่างดี

ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณคณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรีรัตน์ จารุจินดา และรองศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา จินาวัฒน์ (กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก) ที่สละเวลาสำหรับการสอบและให้คำแนะนำทางด้านวิชาการ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวัสดุศาสตร์ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และการอบรมสั่งสอนแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ หน่วยงานต่างๆ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ วัตถุดิบ และสถานที่สำหรับการทำงานวิจัย ดังนี้

655535597

1. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับการสนับสนุนทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต ในการทำงานวิจัย

2. บริษัทบรรวัชรไบโอไลน์ และบริษัท วี.พี.ซี กรุ๊ป จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบในการทำงานวิจัย

3. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนเครื่องมือ และสถานที่ในการทำงานวิจัย รวมถึงขอขอบคุณเพื่อนๆ ทั้งรุ่นพี่และรุ่นน้อง ที่คอยให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือทั้งแรงกายและใจในการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุนแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ฉ

สารบัญ .... ช

สารบัญตาราง .... ฎ

สารบัญรูป .... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 โครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอ 3

2.1.1 อุตสาหกรรมต้นน้ำ 3

2.1.2 อุตสาหกรรมกลางน้ำ 3

2.1.3 อุตสาหกรรมปลายน้ำ 4

2.3 สีย้อม (Dyes) 8

2.4 สมบัติของสีย้อมแต่ละชนิด 9

2.4.1 สีย้อมรีแอกทีฟ (reactive dyes) 9

2.4.2 สีย้อมไดเร็กท์ (direct dyes) 10

2.4.3 สีย้อมแอซิด (acid dyes) 10

2.4.4 สีย้อมเบสิก (basic dyes) 10

2.4.5 สีย้อมดิสเพิร์ส (disperse dyes) 11

2.4.6 สีย้อมแวต (vat dyes) 11

2.4.7 สีย้อมซัลเฟอร์ (sulfur dyes) 11

2.5.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย 12

2.6.1 การกำจัดสีย้อมด้วยเทคโนโลยีทางเคมี (chemical techology) 15

655535597

หน้า

2.6.2 การกำจัดสีย้อมด้วยเทคโนโลยีทางชีวภาพ (biological technology) 15
2.6.3 การกำจัดสีย้อมด้วยเทคโนโลยีทางกายภาพ (physical technology) 16
2.6.3.2.2) ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ 17
2.7 ไอโซเทิร์มการดูดซับ (adsorption isotherm) [21, 23] 19
2.7.1 สมการแลงเมียร์ (langmuir isotherm) 19
2.7.2 สมการฟรุนดิชไอโซเทิร์ม (freundlich isotherm) 20
2.8.1 ลักษณะทั่วไปของไคโตซาน 20
2.10 ไทเทเนีย (titanium dioxide, TiO_2) 24
2.10.1 โครงสร้างผลึกและสมบัติ 25
2.10.3 การสังเคราะห์ไทเทเนีย 27
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29
2.11.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของสีย้อมโดยการใช้ไทเทเนีย 29
2.11.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับสีย้อมโดยการใช้ไคโตซาน 30
2.11.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับสีย้อมโดยการใช้วัสดุเชิงประกอบ 31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 32
3.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 32
3.1.1 วัตถุดิบ 32
3.1.2 สารเคมี 32
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 33
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ 33
3.4 การดำเนินงานวิจัย 35
3.4.1 การเตรียมเม็ดวัสดุดูดซับไคโตซาน 35
3.4.2 การเตรียมไทเทเนียโซลจากวิธีโซลเจล 36
3.4.3 การเตรียมเม็ดวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล 36
3.4.4 การเตรียมเม็ดวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้าA100 37
3.4.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟของวัสดุดูดซับประเภทต่างๆ 38
3.4.5.1) เตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟ 38

6555535597

หน้า

3.4.5.2) ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟของเม็ดวัสดุดูดซับประเภทต่างๆ 39

3.4.5.3) ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟซ้ำของวัสดุดูดซับแต่ละประเภท ในภาวะที่มีแสงยูวี 41

3.4.6 ศึกษาไอโซเทิร์มการดูดซับสีย้อมของวัสดุดูดซับประเภทต่างๆ 41

บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผล 43

4.1 วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของวัสดุดูดซับชนิดต่างๆด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) 43

4.1.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของวัสดุดูดซับไคโตซาน 43

4.1.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล 44

4.1.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 46

4.2 ศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา (morphology) ของวัสดุดูดซับชนิดต่างๆด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) 47

4.2.1 ผลการศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของวัสดุดูดซับไคโตซาน 47

4.2.2 ผลการศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล 49

4.2.3 ผลการศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 54

4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟของวัสดุดูดซับประเภทต่างๆ 59

4.3.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟของวัสดุเชิงประกอบ ไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้น 10% และ 20% ของ TIP เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน 59

4.3.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟของวัสดุเชิงประกอบ ไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน 61

4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟซ้ำของวัสดุดูดซับประเภทต่างๆ 63

4.5 ผลการศึกษาไอโซเทิร์มในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟของวัสดุดูดซับประเภทต่างๆ 66

บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 74

5.1 สรุปผลงานวิจัย 74

6555535597

หน้า

5.2 ข้อเสนอแนะ 75
รายการอ้างอิง 76
ภาคผนวก 80
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 101

6553597

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 น้ำเสียที่ได้จากแต่ละขั้นตอนของอุตสาหกรรมสิ่งทอ 5
ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการย้อมสี 7
ตารางที่ 2.3 ระดับการติดแน่นของสีย้อมต่างๆและการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม 7
ตารางที่ 2.4 แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างสีย้อมธรรมชาติและสีย้อมสังเคราะห์ 8
ตารางที่ 2.5 ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับเชิงกายภาพและการดูดซับเชิงเคมี 17
ตารางที่ 2.6 สมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์ในเฟสผลึกต่างๆ 25
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนการผสมระหว่างสารละลายไคโตซานต่อสารละลายไทเทเนียโซล 36
ตารางที่ 3.2 ปริมาณไทเทเนียเชิงการค้าที่นำมาใช้ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบที่เทียบกับ
ไทเทเนีย ที่ได้มาจากวิธีโซลเจล 37
ตารางที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร
ที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟ 38
ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่ของสมการแลงเมียร์และฟรุนดลิชจากการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟด้วย
วัสดุดูดซับประเภทต่างๆ 72

655535597

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคติน 21
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน 22
รูปที่ 2.3 เฟสของผลึกไทเทเนีย 25
รูปที่ 2.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงไทเทเนีย 27
รูปที่ 3.1 โครงสร้างทางเคมีของ Reactive Red 35 32
รูปที่ 3.2 เครื่องทดสอบเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน รุ่น D8 ADVANCE, BRUKER 33
รูปที่ 3.3 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น SPECCORD S100 34
รูปที่ 3.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM-6400, JEOL 35
รูปที่ 3.5 กราฟความเข้มข้นมาตรฐานของสีย้อมรีแอกทีฟเรด 35 39
รูปที่ 4.1 กราฟ XRD ของวัสดุดูดซับไคโตซาน 43
รูปที่ 4.2 กราฟ XRD ของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวีธีโซลเจลที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล (80:20) ที่ผ่านการบ่ม (1) และไม่ผ่านการบ่ม (2) 45
รูปที่ 4.3 กราฟ XRD ของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวีธีโซลเจลที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล (60:40) ที่ผ่านการบ่ม (1) และไม่ผ่านการบ่ม (2) 45
รูปที่ 4.4 กราฟ XRD ของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย (80:20) (1) และที่อัตราส่วน (60:40) (2) 46
รูปที่ 4.5 พื้นผิวภายนอกของวัสดุดูดซับไคโตซานที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และที่กำลังขยาย 3500 เท่า (2) 48
รูปที่ 4.6 พื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุดูดซับไคโตซานที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และที่กำลังขยาย 3500 เท่า (2) 48
รูปที่ 4.7 พื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจลที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2) 50
รูปที่ 4.8 พื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจลที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2) 50
รูปที่ 4.9 พื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจลที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนีย 60:40 ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2) 51

655535597

หน้า

รูปที่ 4.10 พื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 60:40 ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)...... 51
รูปที่ 4.11 พื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจลที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 ที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)...... 52
รูปที่ 4.12 พื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 ที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)...... 52
รูปที่ 4.13 พื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจลที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 60:40 ที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)...... 53
รูปที่ 4.14 พื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 60:40 ที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)...... 53
รูปที่ 4.15 พื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 80:20 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)...... 55
รูปที่ 4.16 พื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 80:20 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)...... 55
รูปที่ 4.17 พื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 60:40 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)...... 56
รูปที่ 4.18 พื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 60:40 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2)...... 56

655535597

หน้า

รูปที่ 4.19 พื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 80:20 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2) 57
รูปที่ 4.20 พื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 80:20 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2) 57
รูปที่ 4.21 พื้นผิวภายนอกของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 60:40 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2) 58
รูปที่ 4.22 พื้นผิวภายในจากการตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนีย 60:40 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่กำลังขยาย 150 เท่า (1) และ 3500 เท่า (2) 58
รูปที่ 4.23 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 และ 60:40 ทั้งที่ผ่านการบ่มและไม่ผ่านการบ่ม เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน ... 60
รูปที่ 4.24 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 และ 60:40 ทั้งที่ผ่านการบ่มและไม่ผ่านการบ่ม เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน ... 61
รูปที่ 4.25 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนียเชิงการค้า 80:20 และ 60:40 เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน 62
รูปที่ 4.26 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนียเชิงการค้า 80:20 และ 60:40 เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน 62
รูปที่ 4.27 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมซ้ำของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 และ 60:40 ทั้งที่ผ่านการบ่มและไม่ผ่านการบ่ม เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน ... 64

655535597

หน้า

รูปที่ 4.28 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมซ้ำของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 และ 60:40 ทั้งที่ผ่านการบ่มและไม่ผ่านการบ่ม เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน ... 64
รูปที่ 4.29 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมซ้ำของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนียเชิงการค้า 80:20 และ 60:40 เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน ... 65
รูปที่ 4.30 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมซ้ำของวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนียเชิงการค้า 80:20 และ 60:40 เทียบกับวัสดุดูดซับไคโตซาน ... 65
รูปที่ 4.31 สมการการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟเรด 35 ด้วยเม็ดวัสดุดูดซับไคโตซานตามสมการของแลงเมียร์ (1) และตามสมการของฟรุนดลิช (2) ... 67
รูปที่ 4.32 สมการการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟเรด 35 ด้วยเม็ดวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 ตามสมการของแลงเมียร์ (1) และตามสมการของฟรุนดลิช (2) ... 68
รูปที่ 4.33 สมการการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟเรด 35 ด้วยเม็ดวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียด้วยวิธีโซลเจล ที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อไทเทเนียโซล 80:20 ตามสมการของแลงเมียร์ (1) และตามสมการของฟรุนดลิช (2) ... 69
รูปที่ 4.34 สมการการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟเรด 35 ด้วยเม็ดวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 10% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนียเชิงการค้า 80:20 ตามสมการของแลงเมียร์ (1) และตามสมการของฟรุนดลิช (2) ... 70
รูปที่ 4.35 สมการการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟเรด 35 ด้วยเม็ดวัสดุเชิงประกอบไคโตซาน/ไทเทเนียเชิงการค้า A100 ที่ปริมาณผงไทเทเนียเทียบเท่ากับไทเทเนียที่ความเข้มข้น 20% ของ TIP ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อผงไทเทเนียเชิงการค้า 80:20 ตามสมการของแลงเมียร์ (1) และตามสมการของฟรุนดลิช (2) ... 71

6555335597