การใช้พอลิเมอร์ของแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด และพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

นายวิวัฒน์ จิรประเสริฐกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546
ISBN 974-17-4791-8
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATIONS OF CASSAVA STARCH GRAFT POLY(ACRYLIC ACID) AND POLY[(ACRYLIC ACID)-CO-ACRYLAMIDE] FOR WASTEWATER TREATMENT OF TEXTILE INDUSTRY

Mr. Wiwat Jiraprasertkul

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science (Inter-Department)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2003

ISBN 974-17-4791-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้พอลิเมอร์ของแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด และพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ
โดย	นายวิวัฒน์ จิรประเสริฐกุล
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.สุดา เกียรติกำจรวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.วนิดา จีนศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กีระนันทน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.สุดา เกียรติกำจรวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.วนิดา จีนศาสตร์)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิวัฒน์ จิรประเสริฐกุล : การใช้พอลิเมอร์ของแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด และพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ. (APPLICATIONS OF CASSAVA STARCH GRAFT POLY(ACRYLIC ACID) AND POLY[(ACRYLIC ACID)-CO-ACRYLAMIDE] FOR WASTEWATER TREATMENT OF TEXTILE INDUSTRY) อ.ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.สุดา เกียรติกำจรวงศ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รองศาสตราจารย์ ดร.วนิดา จีนศาสตร์ 145 หน้า. ISBN 974-17-4791-8

ได้ศึกษาการใช้พอลิเมอร์ของแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด และพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยนำพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด มาทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟตเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้น 6 ชนิด จากนั้นนำสารประกอบเชิงซ้อนที่ได้ไปบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ประเภทสีย้อมไดเร็กต์ และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยเปรียบเทียบกับอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟต

ผลการศึกษาพบว่า สารประกอบเชิงซ้อนที่ได้จากการสังเคราะห์ระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟต มีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 0.4 ± 0.1 ถึง 8.4 ± 2.2 กรัม/กรัม สารประกอบเชิงซ้อนที่ได้จากการสังเคราะห์ระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดกับอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟต มีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 1.2 ± 0.7 ถึง 6.8 ± 0.5 กรัม/กรัม โดยสารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้เกิดจากพันธะทางเคมีระหว่างไอออนของโลหะกับหมู่คาร์บอกซิลิกแอซิดหรือหมู่เอไมด์ เมื่อนำไปบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งใช้สีไดเร็กต์โทนสีน้ำเงินเพียง 1 ชนิด มีความเข้มสี 50 มก./ล. ที่พีเอช 7 พบว่า สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:2 มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ โดยปริมาณสารประกอบเชิงซ้อน 500 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถลดค่าสีได้ 88% ลดซีโอดีได้ 55% และมีพีเอชภายหลังการบำบัดประมาณ 12 อย่างไรก็ตามเมื่อนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ พบว่า การใช้สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:2 ปริมาณ 500 มก./ล. ที่พีเอช 7 สามารถลดซีโอดีได้ 4.2% ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอประกอบด้วยสีย้อม 3 ชนิด และมีการใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีลดลง

ภาควิชา	สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต วิวัฒน์ จิรประเสริฐกุล
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา สุดา เกียรติกำจรวงศ์
ปีการศึกษา	2546	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม วนิดา จีนศาสตร์

4389099320: MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEY WORD: CASSAVA STARCH / ACRYLIC ACID / ACRYLAMIDE / TEXTILE WASTEWATER / COAGULATION

WIWAT JIRAPRASERTKUL: APPLICATIONS OF CASSAVA STARCH GRAFT POLY(ACRYLIC ACID) AND POLY[(ACRYLIC ACID)-CO-ACRYLAMIDE] FOR WASTEWATER TREATMENT OF TEXTILE INDUSTRY. THESIS ADVISOR: PROF. SUDA KIATKAMJORNWONG,Ph.D. THESIS COADVISOR: ASSOC. PROF. WANIDA JINSART,Ph.D., 145 pp. ISBN 974-17-4791-8.

Application of cassava starch graft poly(acrylic acid) and poly[(acrylic acid)-co-acrylamind] for wastewater from textile industry was studied. The two polymers were complexed with aluminium sulfate, calcium hydroxide, and ferric sulfate to give 6 types of complex compound. These complex compounds were used for treating the direct dye synthetic wastewater and textile industry wastewater which were compared with aluminium sulfate, calcium hydroxide, and ferric sulfate.

The results were found as follows. The complexes of poly[(acrylic acid)-co-acrylamide] with aluminium sulfate, calcium hydroxide, and ferric sulfate have the water absorption in the range from 0.4 ± 0.1 to 8.4 ± 2.2 g/g. The complexes of cassava starch graft poly(acrylic acid) with aluminium sulfate, calcium hydroxide, and ferric sulfate have the water absorption in the range from 1.2 ± 0.7 to 6.8 ± 0.5 g/g as a result of chemical bonding between the cation with the carboxylate or amide group. When they were used for the synthetic wastewater treatment in which only one blue-shade direct dye with a color concentration of 50 mg/l at pH 7 was prepared. We found that the complex of poly[(acrylic acid)-co-acrylamind] with calcium hydroxide at a ratio of 1:2 is the most effective condition for wastewater treatment. The polymer complex concentration of 500 mg/l could reduce the color concentration by 88%, and the COD by 55% with the pH after treatment of 12. However, when it was used for the textile industry wastewater treatment, at the same condition, it could only reduce the COD by 4.2%. Because the textile wastewater contained three types of direct dye in the presence of sodium chloride as a dyeing aid, which reduced the complex efficiency in removing color and reducing COD

Inter-department of Environmental Science — Student's signature Wiwat Jiraprasertkul
Field of study Environmental Science — Advisor's signature Suda Kiatkamjornwong
Academic year 2003 — Co-advisor's signature Wanida Jinsart

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สุดา เกียรติกำจรวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.วนิดา จีนศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดหาสถานที่เพื่อใช้ในการวิจัย ตลอดจนให้ความดูแลเอาใจใส่ คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ในการวิจัย รวมถึงช่วยตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสมบูรณ์ และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าพร้อมกับให้ข้อคิดเห็น และคำแนะนำต่าง ๆ ที่ช่วยทำให้การปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กราบขอบพระคุณ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมที่ให้โอกาสในการศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ตลอดทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้กับผู้วิจัย และพี่อิ๋วที่คอยให้ความดูแล ช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

กราบขอบพระคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ และภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไปที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ ห้องปฏิบัติการ สารเคมีและอุปกรณ์ในการวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านจากทั้ง 2 ภาควิชา ที่คอยอำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัย

กราบขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย และมูลนิธิชิน โสภณพนิช ที่ได้มอบทุนอุดหนุนการวิจัยบางส่วนในครั้งนี้

กราบขอบพระคุณ บริษัทไดสตาร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล และตัวอย่างสี

กราบขอบพระคุณ บริษัท นันยางการทออุตสาหกรรม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล และเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ที่ให้ความเป็นมิตร กำลังใจ และน้ำใจในการช่วยเหลือซึ่งกันและกัน อีกทั้งเพื่อนและพี่น้องบนชั้น 7 ณ ห้องปฏิบัติการพอลิเมอร์ที่ให้ความช่วยเหลือ และคอยถามไถ่สารทุกข์สุกดิบ

ท้ายที่สุด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนทั้งเงินทุน แรงกายและแรงใจ รวมถึงน้อง ๆ ที่คอยเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 สมมติฐานของการวิจัย 3

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ความรู้เกี่ยวกับอุตสาหกรรมฟอกย้อม 5

2.2 สีย้อมและการจำแนกสีย้อม 7

2.3 ภาวะมลพิษที่เกิดจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ 13

2.4 กระบวนการตกตะกอนทางเคมี หรือโคแอกกูเลชัน 19

2.5 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ 34

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 35

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 42

3.1 สถานที่ทำการวิจัย 42

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ 42

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 วิธีการวิจัย 44
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล 57
4.1 การสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิเมอร์สังเคราะห์กับสารตกตะกอนอนินทรีย์ 57
4.2 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ 87
4.3 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ 108
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 111
5.1 สรุปผลการวิจัย 111
5.2 ข้อเสนอแนะ 115
รายการอ้างอิง 116
ภาคผนวก 120
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ 121
ภาคผนวก ข อินฟราเรดเสปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิเมอร์กับสารตกตะกอนอนินทรีย์ 127
ภาคผนวก ค บทความทางวิชาการเรื่องพอลิเมอร์กับชีวิตประจำวันที่ได้เผยแพร่จากบางส่วนของวิทยานิพนธ์นี้ 138
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 145

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 กลุ่มอะตอมออกโซโครม 9

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณสีย้อมชนิดต่าง ๆ ที่ติดมากับน้ำเสีย 15

ตารางที่ 2.3 แสดงสารเคมีที่พบในน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ 16

ตารางที่ 2.4 ลักษณะสมบัติโดยทั่วไปที่พบในน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม 18

ตารางที่ 2.5 พอลิเมอร์ที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ 32

ตารางที่ 2.6 ลักษณะน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด ในช่วงเดือนมกราคม ถึง มีนาคม พ.ศ. 2547 34

ตารางที่ 4.1 ค่าการดูดซึมน้ำของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟต 59

ตารางที่ 4.2 ค่าการดูดซึมน้ำของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดกับอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเฟร์ริกซัลเฟต 62

ตารางที่ 4.3 FT-IR ของพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) และสารประกอบเชิงซ้อน 64

ตารางที่ 4.4 FT-IR ของแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด และสารประกอบเชิงซ้อน 65

ตารางที่ 4.5 ปริมาณและองค์ประกอบในพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) 81

ตารางที่ 4.6 ปริมาณและองค์ประกอบในสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับอะลูมิเนียมซัลเฟต 82

ตารางที่ 4.7 ปริมาณและองค์ประกอบในสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์)กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 82

ตารางที่ 4.8 ปริมาณและองค์ประกอบในสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับเฟร์ริกซัลเฟต 83

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.9 ปริมาณและองค์ประกอบในแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด..... 84

ตารางที่ 4.10 ปริมาณและองค์ประกอบในสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลัง กราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดกับอะลูมิเนียมซัลเฟต..... 85

ตารางที่4.11 ปริมาณและองค์ประกอบในสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลัง กราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์..... 85

ตารางที่ 4.12 ปริมาณและองค์ประกอบในสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลัง กราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดกับเฟร์ริกซัลเฟต..... 86

ตารางที่ 4.13 แสดงเปอร์เซ็นต์การลดสีและซีโอดี..... 109

ตารางที่ ก.1 เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีเมื่อใช้สีไดเร็กท์เริ่มต้น 49.1-51.0 mg/l..... 121

ตารางที่ ก.2 เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีเมื่อใช้สีไดเร็กท์เริ่มต้น 50.1-51.0 mg/l..... 122

ตารางที่ ก.3 ค่าพีเอชภายหลังการบำบัดด้วยสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง พอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์)กับสารตกตะกอนอนินทรีย์..... 123

ตารางที่ ก.4 ค่าพีเอชภายหลังการบำบัดด้วยสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง แป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิก แอซิดกับสารตกตะกอนอนินทรีย์..... 124

ตารางที่ ก.5 เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีเมื่อใช้สีไดเร็กท์เริ่มต้น 48.3-50.2 mg/l..... 125

ตารางที่ ก.6 ค่าพีเอชภายหลังการบำบัดด้วยสารตกตะกอนอนินทรีย์..... 125

ตารางที่ ก.7 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี โดยสีไดเร็กท์มีซีโอดีเริ่มต้น 28.5 mg/l..... 126

ตารางที่ ก.8 ปริมาณโลหะที่อยู่ในน้ำเสียภายหลังการบำบัด..... 126

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่าง ๆ 21

รูปที่ 2.2 ผลของการเติมอิออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์ 22

รูปที่ 2.3 กลไกของการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ แบบต่อเชื่อมด้วยพอลิเมอร์ 25

รูปที่ 2.4 โครงสร้างของแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด 31

รูปที่ 2.5 โครงสร้างของพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) 31

รูปที่ 4.1 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับอะลูมิเนียมซัลเฟต 57

รูปที่ 4.2 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 58

รูปที่ 4.3 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับเฟร์ริกซัลเฟต 58

รูปที่ 4.4 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด กับอะลูมิเนียมซัลเฟต 60

รูปที่ 4.5 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 61

รูปที่ 4.6 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด กับเฟร์ริกซัลเฟต 61

รูปที่ 4.7 SEM ของพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์)กำลังขยาย 20 เท่า 66

รูปที่ 4.8 SEM ของพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์)ที่กำลังขยาย 500 เท่า 66

รูปที่ 4.9 SEM ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับอะลูมิเนียมซัลเฟต ที่อัตราส่วน 1:1 กำลังขยาย 20 เท่า 67

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.10 SEM ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับอะลูมิเนียมซัลเฟต ที่อัตราส่วน 1:1 กำลังขยาย 500 เท่า 67

รูปที่ 4.11 SEM ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 กำลังขยาย 20 เท่า 68

รูปที่ 4.12 SEM ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราส่วน 1:1 กำลังขยาย 500 เท่า 68

รูปที่ 4.13 SEM ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) เฟร์ริกซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:1 กำลังขยาย 20 เท่า 69

รูปที่ 4.14 SEM ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) เฟร์ริกซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:1 กำลังขยาย 500 เท่า 69

รูปที่ 4.15 SEM ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์ พอลิอะคริลิกแอซิดที่กำลังขยาย 20 เท่า 70

รูปที่ 4.16 SEM ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์ พอลิอะคริลิกแอซิดที่กำลังขยาย 500 เท่า 71

รูปที่ 4.17 SEM ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์ พอลิอะคริลิกแอซิดกับอะลูมิเนียมซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:1 กำลังขยาย 20 เท่า 71

รูปที่ 4.18 SEM ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์ พอลิอะคริลิกแอซิดกับอะลูมิเนียมซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:1 กำลังขยาย 500 เท่า 72

รูปที่ 4.19 SEM ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์ พอลิอะคริลิกแอซิดกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 กำลังขยาย 20 เท่า 72

รูปที่ 4.20 SEM ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์ พอลิอะคริลิกแอซิดกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 กำลังขยาย 500 เท่า 73

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.21 SEM ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดกับเฟร์ริกซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:1 กำลังขยาย 20 เท่า 73

รูปที่ 4.22 SEM ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดกับเฟร์ริกซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:1 กำลังขยาย 500 เท่า 74

รูปที่ 4.23 Mapping ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับอะลูมิเนียมซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:1 75

รูปที่ 4.24 Mapping ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 76

รูปที่ 4.25 Mapping ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับเฟร์ริกซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:1 77

รูปที่ 4.26 Mapping ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดกับอะลูมิเนียมซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:1 78

รูปที่ 4.27 Mapping ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 79

รูปที่ 4.28 Mapping ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิดกับเฟร์ริกซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:1 80

รูปที่ 4.29 เปอร์เซ็นต์การลดสีโดยใช้สารประกอบเชิงซ้อนชนิดต่าง ๆ 88

รูปที่ 4.30 ค่าพีเอชภายหลังการบำบัดโดยใช้สารประกอบเชิงซ้อนชนิดต่าง ๆ 89

รูปที่ 4.31 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับอะลูมิเนียมซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:1 ภายหลังการบำบัด 90

รูปที่ 4.32 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับอะลูมิเนียมซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:2 ภายหลังการบำบัด 91

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.33 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:0.5 ภายหลังการบำบัด 91

รูปที่ 4.34 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 ภายหลังการบำบัด 92

รูปที่ 4.35 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:2 ภายหลังการบำบัด 92

รูปที่ 4.36 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับอะลูมิเนียมซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:1 ภายหลังการบำบัด ที่กำลังขยาย 320 เท่า 93

รูปที่ 4.37 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับอะลูมิเนียมซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:2 ภายหลังการบำบัด ที่กำลังขยาย 320 เท่า 93

รูปที่ 4.38 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:0.5 ภายหลังการบำบัด ที่กำลังขยาย 320 เท่า 94

รูปที่ 4.39 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 ภายหลังการบำบัด ที่กำลังขยาย 320 เท่า 94

รูปที่ 4.40 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:2 ภายหลังการบำบัด ที่กำลังขยาย 320 เท่า 95

รูปที่ 4.41 เปอร์เซ็นต์การลดสีโดยใช้สารประกอบเชิงซ้อนชนิดต่าง ๆ 96

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.42 ค่าพีเอชภายหลังการบำบัดโดยใช้สารประกอบเชิงซ้อนชนิดต่าง ๆ 97

รูปที่ 4.43 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด
กับอะลูมิเนียมซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:1 ภายหลังการบำบัด 99

รูปที่ 4.44 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด
กับอะลูมิเนียมซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:2 ภายหลังการบำบัด 99

รูปที่ 4.45 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด
กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 ภายหลังการบำบัด 100

รูปที่ 4.46 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด
กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:2 ภายหลังการบำบัด 100

รูปที่ 4.47 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด
กับเฟอริกซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:2 ภายหลังการบำบัด 101

รูปที่ 4.48 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด
กับอะลูมิเนียมซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:1 ภายหลังการบำบัด
ที่กำลังขยาย 320 เท่า 101

รูปที่ 4.49 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด
กับอะลูมิเนียมซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:2 ภายหลังการบำบัด
ที่กำลังขยาย 320 เท่า 102

รูปที่ 4.50 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด
กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 ภายหลังการบำบัด
ที่กำลังขยาย 320 เท่า 102

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.51 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:2 ภายหลังการบำบัดที่กำลังขยาย 320 เท่า 103

รูปที่ 4.52 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิกแอซิด กับเฟร์ริกซัลเฟตที่อัตราส่วน 1:2 ภายหลังการบำบัดที่กำลังขยาย 320 เท่า 103

รูปที่ 4.53 เปอร์เซ็นต์การลดสีโดยใช้สารตกตะกอนอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เฟร์ริกซัลเฟต 104

รูปที่ 4.54 พีเอชภายหลังการบำบัดโดยใช้สารตกตะกอนอะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เฟร์ริกซัลเฟต 105

รูปที่ 4.55 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีโดยใช้สารตกตะกอนชนิดต่าง ๆ 107

รูปที่ 4.56 ปริมาณโลหะที่เหลือในน้ำภายหลังการบำบัดโดยใช้สารตกตะกอน 108

รูปที่ ข.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) 127

รูปที่ ข.2 อินฟราเรดเสปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับอะลูมิเนียมซัลเฟต 128

รูปที่ ข.3 อินฟราเรดเสปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 129

รูปที่ ข.4 อินฟราเรดเสปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิ(อะคริลิกแอซิด-โค-อะคริลาไมด์) กับเฟร์ริกซัลเฟต 130

รูปที่ ข.5 อินฟราเรดเสปกตรัมของแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิก แอซิด 131

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ข.6 อินฟราเรดเสปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง
แป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิก แอซิดกับอะลูมิเนียมซัลเฟต 132
รูปที่ ข.7 อินฟราเรดเสปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง
แป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิก แอซิดกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 133
รูปที่ ข.8 อินฟราเรดเสปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง
พอลิแป้งมันสำปะหลังกราฟต์พอลิอะคริลิก แอซิดกับเฟร์ริกซัลเฟต 134
รูปที่ ข.9 อะลูมิเนียมซัลเฟต 135
รูปที่ ข.10 อินฟราเรดเสปกตรัมของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 136
รูปที่ ข.11 อินฟราเรดเสปกตรัมของเฟร์ริกซัลเฟต 137

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย