

การใช้สารดูดซับที่ผลิตจากเปลือกมันสำปะหลัง ในการกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม



นางสาวกฤษฎา ชินสุวรรณพานิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-5970-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

USING ADSORBENT PRODUCED FROM CASSAVA PEEL FOR COLOR
REMOVAL FROM TEXTILE DYEING WASTEWATER

Miss Kirana Chinsuwanpanich

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 2004

ISBN 974-17-5970-3

กีรณา ชินสุวรรณพานิช : การใช้สารดูดซับที่ผลิตจากเปลือกมันสำปะหลัง ในการกำจัดสีย้อม จากน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม. (USING ADSORBENT PRODUCED FROM CASSAVA PEEL FOR COLOR REMOVAL FROM TEXTILE DYEING WASTEWATER) อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ อรทัย ขวาลภาฤทธิ์, 130 หน้า. ISBN 974-17-5970-3

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้สารดูดซับที่ผลิตจากเปลือกมันสำปะหลังในการกำจัดสีย้อมรี แอวกทีฟโทนสีแดง สารดูดซับที่ใช้ในการวิจัยมีวิธีการเตรียมต่างกัน 3 แบบ คือ 1) เผาเปลือกมัน สำปะหลังให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 500°C เวลา 1 ชม 2) กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก ที่ อุณหภูมิ 350°C เวลา 3 ชม แช่ในสารละลาย NaHCO_3 และ 3) กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก ที่อุณหภูมิ 350°C เวลา 3 ชม และล้างด้วยน้ำร้อน ศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ สารดูดซับ ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สารดูดซับกำจัดสีย้อมรีแอวกทีฟ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมใน การดูดติดผิว โดยเปลี่ยนแปลงค่า พีเอช เวลาสัมผัส ปริมาณของสารดูดซับ และเพื่อหาประสิทธิภาพ ในการดูดติดผิวของสารดูดซับ โดยทำการทดสอบไอโซเทอมของสารดูดซับ และทำการทดลอง แบบต่อเนื่องในถังดูดติดผิวแบบคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ทำการป้อนน้ำเสีย แบบไหลลง ที่มีชั้นสารดูดซับ 0.3 เมตร และมีเวลาสัมผัสถึงเปล่า 10, 20 และ 30 นาที ตามลำดับ

จากการทดลองการเตรียมสารดูดซับจากเปลือกมันสำปะหลังโดยการกระตุ้นด้วยสารละลาย กรดฟอสฟอริก สภาวะที่เหมาะสมคือ ที่อุณหภูมิ 350°C เวลา 3 ชั่วโมง ล้างสารละลายกรดด้วยน้ำร้อน ได้ผลิตเม็ดสารดูดซับ 34.18% และสารดูดซับที่ได้มีสมบัติ คือ ร้อยละของเถ้า 4.8 ค่าการดูดซับ ไอโอดีน คือ 473 mg/g พื้นที่ผิว 354.99 m^2/g และปริมาตรโพรง 0.2552 cm^3/g จากผลการทดลอง แบบแบดซ์พบว่า ที่ pH 3 ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมได้ดีที่สุด คือ 94% จากการทดสอบไอโซเทอม การดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ และฟรุนดลิช พบว่าการดูดติดผิวของสารดูดซับสามารถอธิบายได้ด้วย รูปแบบไอโซเทอมทั้ง 2 แบบ ที่ค่า r^2 ใกล้เคียงกันคือ 0.9297 และ 0.9408 ตามลำดับ และ ความสามารถในการดูดซับสีคือ 270.27 mg/g จากการทดลองแบบต่อเนื่อง สามารถกำจัดสีย้อมใน น้ำเสียก่อนเบรคทูล์จ สภาวะที่เหมาะสมของสีรีแอวกทีฟแดงที่เวลาสัมผัส 30 นาที เท่ากับ 1150 ปริมาตร เบด

สาขาวิชา..... วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต..... กีรณา โพนง.....
 ปีการศึกษา..... 2547..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... อรทัย ขวาลภาฤทธิ์.....

4589055920 : MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : ADSORBENT / ADSORPTION / COLOR REMOVAL / REACTIVE DYE / EQUILIBRIUM ISOTHERM / CASSAVA PEEL

KIRANA CHINSUWANPANICH : USING ADSORBENT PRODUCED FROM CASSAVA PEEL FOR COLOR REMOVAL FROM TEXTILE DYEING WASTEWATER. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, 130 pp. ISBN 974-17-5970-3

The objective of this research was to study the feasibility of using adsorbent produced from cassava peel for color removal. Adsorbent used in this study were prepared by 3 different conditions such as : 1) burn at 500°C, 1 hr ; 2) activated by H₃PO₄ at 350°C, 3 hr followed by NaHCO₃ washing and 3) activated by H₃PO₄ at 350°C, 3 hr followed by hot water washing : Physical and Chemical Characteristics of three adsorbents were determine. Each adsorbent were tested with synthetic wastewater contained reactive dye (C.I.Reactive 180) to find the optimum condition of color removal efficiency condition varied in this experiment were pH, contact time and reactive dye concentration. Then isotherm test was conducted with the best color removal efficiency adsorbent. Finally, The continuous studies of adsorption used down – flow 2.54 cm. diameter column with 0.3 m. adsorbent height and empty bed contact time (EBCT) of 10, 20 and 30 minites.

From the experimental results, the optimum conditions for adsorbent obtained were activated by H₃PO₄ at 350°C for 3 hr follow by hot water washing. The characteristics of adsorbent in this study yielded 34.18%. Result from adsorbent property analysis showed ash, iodine adsorption, surface area and pore specific volume were equal to 4.8%, 473 mg/g, 354.99 m²/g and 0.2552 cm³/g respectively. From batch studies, The highest color removal efficiency was achieved at 94% at pH 3. From adsorption isotherm test can explain by Langmuir isotherm and Frundlich isotherm at r² equal 0.9297 and 0.9408 respectively. Adsorption capacities is equal to 270.27 mg/g. From continuous studies, the loading and average efficiency of color removal are 1150 bed volume

Field of study Environmental Science Student's signature Kirana C.
 Academic year 2004 Advisor's signature Orathai Chavalparit

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของ รองศาสตราจารย์ อรรถัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้ความรู้และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิจิตตานต์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว ที่ได้สละเวลาอันมีค่ายิ่งเพื่อเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาเคมีเทคนิค และภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ และห้องปฏิบัติการวิจัย และโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังนันทบุรีสุรกิจสำหรับเปลือกมันสำปะหลังที่ใช้ในงานวิจัย

ขอบคุณ พี่ๆ และเพื่อนๆ ทุกคน สำหรับคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และกำลังใจที่มีให้เสมอตลอดการทำวิทยานิพนธ์

ขอบคุณ คุณประพันธ์ พิกุลทอง สำหรับความช่วยเหลือในงานทดลองวิจัย คำแนะนำในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ และกำลังใจที่มีให้เสมอมา

ขอบคุณ บริณ เพื่อนรัก สำหรับทุกสิ่งทุกอย่างที่มีให้เสมอ ทั้งกำลังใจและกำลังใจในทุกๆ ด้าน ขอขอบคุณมาก

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา สำหรับกำลังใจและทุนทรัพย์ในการศึกษามาโดยตลอด รวมทั้ง เจ้เปิ้ล น้องไนท์ น้องเน ที่เป็นกำลังใจให้เสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ

บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กระบวนการฟอกย้อม.....	4
2.2 สีย้อม.....	7
2.3 น้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม.....	15
2.4 กระบวนการบำบัดสีในน้ำเสีย.....	17
2.5 กระบวนการดูดติดผิว.....	18
2.6 อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง.....	38
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	38
3. แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย.....	42
3.1 แผนการทดลอง.....	42
3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	54
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	54
3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	55

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	56
4.1 ผลการเตรียมสารดูดซับจากเปลือกมันสำปะหลัง.....	56
4.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สารดูดซับที่ผลิตจากเปลือกมันสำปะหลัง ในการกำจัดสีย้อม.....	62
4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมของสารดูดซับแบบที่ 3.....	68
4.4 ผลการทดลองการดูดติดผิวแบบต่อเนื่องโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบคอลัมน์.....	82
4.5 การประมาณค่าใช้จ่ายในการผลิตสารดูดซับจากเปลือกมันสำปะหลัง.....	93
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	94
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	94
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	96
รายการอ้างอิง.....	97
ภาคผนวก.....	101
ภาคผนวก ก.....	102
ภาคผนวก ข.....	110
ภาคผนวก ค.....	113
ภาคผนวก ง.....	116
ภาคผนวก จ.....	125
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	130

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1	การจำแนกสีย้อมตามโครงสร้างเคมี..... 10
2.2	การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน..... 11
2.3	ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์การกระจายของลักษณะโครงสร้างของกลุ่มโครโมฟอร์ ในสีรีแอทีฟแบ่งตามโทนสีต่างๆ..... 14
2.4	ลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมแบ่งตามผลิตภัณฑ์..... 16
2.5	คุณสมบัติบางประการของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ประเภท..... 23
3.1	วิธีการเตรียมสารดูดซับ 3 แบบ..... 44
4.1	คุณสมบัติของสารดูดซับจากเปลือกมันสำปะหลัง..... 57
4.2	เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของสารดูดซับจากเปลือกมันสำปะหลังกับถ่านอื่นๆ..... 60
4.3	ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของสารดูดซับ 3 ชนิด..... 63
4.4	ผลการทดสอบการดูดติดผิวสีย้อมบนสารดูดซับจากเปลือกมันสำปะหลัง..... 78
4.5	ค่าคงที่การดูดติดผิวในไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์และฟรุนดลิช ของสีรีแอทีฟด้วยสารดูดซับจากเปลือกมันสำปะหลัง..... 81
4.6	การทดสอบแบบต่อเนื่องด้วยถังดูดติดผิวแบบคอลัมน์..... 83
4.7	ผลการทดลองการกำจัดสีย้อมรีแอทีฟในถังดูดติดผิวแบบคอลัมน์..... 91
ก-1	น้ำหนักประมาณของตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ค่าไอโอดีน..... 106
ก-2	ผลการหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของสารดูดซับแบบที่ 1..... 107
ก-3	ผลการหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของสารดูดซับแบบที่ 2..... 108
ก-4	ผลการหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของสารดูดซับแบบที่ 3..... 109
ข-1	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน..... 111
ค-1	ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดสีย้อมรีแอทีฟ ด้วยสารดูดซับจากเปลือก มันสำปะหลังแบบที่ 1..... 114
ค-2	ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดสีย้อมรีแอทีฟ ด้วยสารดูดซับจากเปลือก มันสำปะหลังแบบที่ 2..... 114
ค-3	ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดสีย้อมรีแอทีฟ ด้วยสารดูดซับจากเปลือก มันสำปะหลังแบบที่ 3..... 115

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ง-1 ผลการทดสอบพีเอชที่เหมาะสมของสารดูดซับแบบที่ 3 ที่ปริมาณ 0.5 กรัมต่อลิตร.....	117
ง-2 ผลการทดสอบพีเอชที่เหมาะสมของสารดูดซับแบบที่ 3 ที่ปริมาณ 1 กรัมต่อลิตร.....	117
ง-3 ผลการทดสอบพีเอชที่เหมาะสมของสารดูดซับแบบที่ 3 ที่ปริมาณ 2 กรัมต่อลิตร.....	117
ง-4 ผลการทดสอบพีเอชที่เหมาะสมของสารดูดซับแบบที่ 3 ที่ปริมาณ 3 กรัมต่อลิตร.....	118
ง-5 ผลการทดสอบพีเอชที่เหมาะสมของสารดูดซับแบบที่ 3 ที่ปริมาณ 4 กรัมต่อลิตร.....	118
ง-6 ผลการทดสอบพีเอชที่เหมาะสมของสารดูดซับแบบที่ 3 ที่ปริมาณ 5 กรัมต่อลิตร.....	118
ง-7 ผลการทดสอบเวลาสัมผัสน้ำที่เหมาะสมของสารดูดซับแบบที่ 3 ที่ปริมาณ 0.5 กรัมต่อลิตร.....	119
ง-8 ผลการทดสอบเวลาสัมผัสน้ำที่เหมาะสมของสารดูดซับแบบที่ 3 ที่ปริมาณ 1 กรัมต่อลิตร.....	120
ง-9 ผลการทดสอบเวลาสัมผัสน้ำที่เหมาะสมของสารดูดซับแบบที่ 3 ที่ปริมาณ 2 กรัมต่อลิตร.....	121
ง-10 ผลการทดสอบเวลาสัมผัสน้ำที่เหมาะสมของสารดูดซับแบบที่ 3 ที่ปริมาณ 3 กรัมต่อลิตร.....	122
ง-11 ผลการทดสอบเวลาสัมผัสน้ำที่เหมาะสมของสารดูดซับแบบที่ 3 ที่ปริมาณ 4 กรัมต่อลิตร.....	123
ง-12 ผลการทดสอบเวลาสัมผัสน้ำที่เหมาะสมของสารดูดซับแบบที่ 3 ที่ปริมาณ 5 กรัมต่อลิตร.....	124
จ-1 ผลการทดสอบแบบต่อเนื่องของสารดูดซับแบบที่ 3 ในการกำจัดสีย้อมที่เวลาสัมผัสดังกล่าว 10 นาที.....	126
จ-2 ผลการทดสอบแบบต่อเนื่องของสารดูดซับแบบที่ 3 ในการกำจัดสีย้อมที่เวลาสัมผัสดังกล่าว 20 นาที.....	127
จ-3 ผลการทดสอบแบบต่อเนื่องของสารดูดซับแบบที่ 3 ในการกำจัดสีย้อมที่เวลาสัมผัสดังกล่าว 30 นาที.....	128

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1	กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อม..... 5
2.2	การกระจายโมเลกุลระหว่างของเหลวและพื้นผิวของแข็ง..... 19
2.3	ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์..... 20
2.4	รูปตัดแสดงถึงโพรงหรือช่องว่างภายในถ่านกัมมันต์..... 22
2.5	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพื้นฐาน..... 29
2.6	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์..... 30
2.7	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบเบท..... 32
2.8	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช..... 33
2.9	ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ในถังดูดติดผิวแบบแท่ง..... 34
2.10	เขตการถ่ายเทมวลในถังดูดติดผิวแบบแท่ง..... 36
2.11	เขตการถ่ายเทมวลของอัตราการไหลที่ต่างกัน..... 36
2.12	แสดงเส้นโค้งเบรคทลูจีในถังดูดติดผิวแบบแท่ง..... 37
3.1	เปลือกมันสำปะหลังแห้งก่อนนำมาเตรียมสารดูดซับ..... 43
3.2	แผนผังแสดงขั้นตอนการเตรียมสารดูดซับ 3 แบบ..... 45
3.3	การศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของสารดูดซับที่เตรียมสำหรับงานวิจัย... 47
3.4	แผนผังการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับสีเบื้องต้นของสารดูดซับ..... 48
3.5	แผนภาพการหาพีเอชที่เหมาะสม..... 50
3.6	แผนภาพการทดสอบแบบแบตช์เพื่อหาปริมาณสารดูดซับและเวลาอิ่มตัวที่เหมาะสม..... 51
3.7	ถังดูดติดผิวที่ใช้ในการทดสอบแบบต่อเนื่อง..... 53
3.8	โครงสร้างของสีย้อมรีแอกทีฟโทนสีแดง..... 54
4.1	ลักษณะของสารดูดซับที่ผลิตจากเปลือกมันสำปะหลัง..... 57
4.2	ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกรรมวิธีการเตรียมสารดูดซับ 3 แบบ..... 58
4.3	ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของสารดูดซับจากกรรมวิธีการเตรียมสารดูดซับ 3 แบบ..... 59
4.4	แสดงลักษณะพื้นผิวของสารดูดซับแบบที่ 1..... 61
4.5	แสดงลักษณะพื้นผิวของสารดูดซับแบบที่ 2..... 62

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.6	แสดงลักษณะพื้นผิวของสารดูดซับแบบที่ 3..... 62
4.7	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารดูดซับ 3 แบบ..... 64
4.8	เปรียบเทียบความเข้มข้นสีในน้ำเสียที่ผ่านการกำจัดด้วยสารดูดซับ 3 แบบ..... 64
4.9	พีเอชของน้ำเสียจากการดูดติดผิวด้วยสารดูดซับ 3 แบบ..... 65
4.10	น้ำเสียภายหลังการกำจัดด้วยสารดูดซับแบบที่ 1..... 66
4.11	น้ำเสียภายหลังการกำจัดด้วยสารดูดซับแบบที่ 2..... 67
4.12	น้ำเสียภายหลังการกำจัดด้วยสารดูดซับแบบที่ 3..... 67
4.13	เปรียบเทียบพีเอชของน้ำเสียก่อนและหลังการเติมสารดูดซับ..... 68
4.14	ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารดูดซับที่ปริมาณ 0.5 กรัมต่อลิตร. 69
4.15	ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารดูดซับที่ปริมาณ 1 กรัมต่อลิตร.... 70
4.16	ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารดูดซับที่ปริมาณ 2 กรัมต่อลิตร.... 70
4.17	ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารดูดซับที่ปริมาณ 3 กรัมต่อลิตร.... 71
4.18	ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารดูดซับที่ปริมาณ 4 กรัมต่อลิตร.... 71
4.19	ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารดูดซับที่ปริมาณ 4 กรัมต่อลิตร.... 72
4.20	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีกับปริมาณสารดูดซับต่างๆ ที่มีค่าพีเอชต่างกัน.. 72
4.21	ความหนาแน่นของการดูดติดผิวสีของสารดูดซับที่พีเอชต่างๆ ในปริมาณต่างๆ.... 73
4.22	ผลของเวลาสัมผัสของการดูดติดผิวสารดูดซับที่ปริมาณต่างๆ..... 74
4.23	ประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ระยะเวลาต่างๆ..... 75
4.24	สมดุลการดูดติดผิวของสีของรีแอกทีฟบนสารดูดซับจากเปลือกมันสำปะหลัง..... 79
4.25	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของสารดูดซับแบบแลงมัวร์..... 80
4.26	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของสารดูดซับแบบฟรุนดลิช..... 80
4.27	แสดงคอลัมน์ที่ใช้ในการทดสอบการดูดติดผิวแบบต่อเนื่อง..... 84
4.28	เส้นโค้งเบรคทูร์จ์ของถังดูดติดผิวแบบแท่งในการกำจัดสีของน้ำที่เวลากัก 10 นาที..... 85
4.29	ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟแบบต่อเนื่องที่ระยะเวลาสัมผัสถึงเปล่า 10 นาที..... 86
4.30	ลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการกำจัดสีแบบต่อเนื่องที่เวลาสัมผัสถึงเปล่า 10 นาที.....86
4.31	เส้นโค้งเบรคทูร์จ์ของถังดูดติดผิวแบบแท่งในการกำจัดสีของน้ำที่เวลากัก 20 นาที..... 87
4.32	ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟแบบต่อเนื่องที่ระยะเวลาสัมผัสถึงเปล่า 20 นาที88

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.33	ลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการกำจัดสีแบบต่อเนื่องที่เวลาสัมผัสถึงเปล่า 20 นาที.....88
4.34	เส้นโค้งเบรคทอร์จ์ของถังดูดติดผิวแบบแห้งในการกำจัดสีย้อมที่เวลากัก 30 นาที..... 89
4.35	ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟแบบต่อเนื่องที่ระยะเวลาสัมผัสถึงเปล่า 30 นาที.....90
4.36	ลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการกำจัดสีแบบต่อเนื่องที่เวลาสัมผัสถึงเปล่า 30 นาที.....90
4.37	ลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการกำจัดสีแบบต่อเนื่องที่เวลาสัมผัสถึงเปล่า 30 นาที.....91
ก-1	ไอโอดีนนัมเบอร์ของสารดูดซับแบบที่ 1.....107
ก-2	ไอโอดีนนัมเบอร์ของสารดูดซับแบบที่ 2.....108
ก-3	ไอโอดีนนัมเบอร์ของสารดูดซับแบบที่ 3..... 109
ข-1	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน..... 111
ข-2	ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมรีแอกทีฟ..... 112