การศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูด้วยเปลือกกล้วยโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะและเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

BATCH AND FIXED BED COLUMN STUDIES FOR THE ADSORPTION OF METHYLENE BLUE BY BANANA PEELS

นางสาวมณฑลี ชัชวาลย์ รหัส 52365121

นางสาวรจิตรา ทันตาเร็ว รหัส 52365169

นายสาโรจน์ คำบรรลือ รหัส 52364895

25 ม.ค. 57

1655013-4

2556

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2556

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูด้วยเปลือกกล้วยโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะและเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

ผู้ดำเนินโครงงาน

นางสาวมณฑลี	ชัชวาลย์	รหัส 52365121
นางสาวรจิตรา	ทันตาเร็ว	รหัส 52365169
นายสาโรจน์	คำบรรลือ	รหัส 53364895

ที่ปรึกษาโครงงาน ดร.ภมรรัตน์ จันธรรม

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2556

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ดร.ภมรรัตน์ จันธรรม)

.....กรรมการ

(ดร.นพวรรณ โม้ทอง)

.....กรรมการ

(ดร.อิศราวุธ ประเสริฐสังข์)

.....กรรมการ

(ดร.นิคม กลมเกลี้ยง)

.....กรรมการ

(อาจารย์อาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูด้วยเปลือกกล้วยโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะและเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวมณฑลี	ชัชวาลย์	รหัส 52365121
	นางสาวรจิตรา	ทันตาเร็ว	รหัส 52365169
	นายสาโรจน์	คำบรรลือ	รหัส 53364895
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.ภมรรัตน์	จันธรรม	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2556		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูด้วยเปลือกกล้วยโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะและเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งภายในสภาวะต่างๆ โดยปัจจัยในการศึกษาได้แก่ ชนิดของเปลือกกล้วย ขนาดของเปลือกกล้วย เวลาที่ใช้ในการศึกษา ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม ปริมาณของเปลือกกล้วย ความเร็วรอบในการปั่นกวน ปริมาณสารละลายสีย้อม ความเป็นกรดด่างของสารละลาย อัตราการไหลของสารละลายสีย้อม และความสูงของตัวดูดซับ เป็นต้น โดยจะทดสอบความสามารถในการดูดซับด้วยเครื่อง ยูวี วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer) ในขั้นต้นจะทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะเพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุดมาทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งต่อไป

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูด้วยเปลือกกล้วยในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ พบว่าเปลือกกล้วยน้ำว้ามีความสามารถในการดูดซับสีย้อมที่ดีกว่าเปลือกกล้วยหักมุก ขนาดของเปลือกกล้วยที่เหมาะสมต่อการดูดซับ คือ ขนาด 12 Mesh เวลาของเปลือกกล้วยที่ดูดซับสีย้อมอิ่มตัวเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และพบว่าค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายสีย้อมไม่มีผลต่อการดูดซับของเปลือกกล้วยจากการศึกษาสภาวะต่างๆ ในการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะแล้วทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวจึงนำมาใช้ในการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง การทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งได้ทำการศึกษาที่สภาวะต่างๆ เช่น ความสูงของตัวดูดซับ

และการออกแบบการบรรจุตัวดูดซับลงในคอลัมน์ เป็นต้น จากผลการทดลองพบว่า ในระหว่างการทดลองได้เกิดการอัดตัวของเปลือกกล้วยทำให้อัตราการไหลของสารละลายสีย้อมไม่คงที่ จึงทำการออกแบบการบรรจุเปลือกกล้วยลงในคอลัมน์ใหม่โดยการบรรจุเปลือกกล้วยสลับกับเส้นใยแก้วและให้สารละลายสีย้อมไหลผ่านตัวดูดซับจากด้านล่างสู่ด้านบนของคอลัมน์ การแก้ไขปัญหาการอัดตัวของเปลือกกล้วยเบื้องต้นด้วยวิธีดังกล่าวก็ยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาการอัดตัวของตัวดูดซับจึงไม่สามารถศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งได้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของ ดร.ภมรรัตน์ จันธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานในการให้ความรู้ คำปรึกษาและข้อแนะนำเกี่ยวกับการค้นหาข้อมูลและแนวทางการวิเคราะห์ต่างๆ ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดีเยี่ยม และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงยิ่ง

และขอขอบพระคุณ ดร.นพวรรณ โม้ทอง ดร.อิศราวุธ ประเสริฐสังข์ ดร.นิคม กลมเกลี้ยง และอาจารย์อาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์ ที่กรุณาสละเวลาเป็นอาจารย์สอบโครงงาน พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงงานนี้

นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิศวกรรมอุตสาหการทุกท่านที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงงาน อีกทั้งยังคอยแนะนำการใช้อุปกรณ์และเครื่องมืออย่างถูกต้อง ตลอดการดำเนินโครงงานจนสำเร็จการศึกษา

ผู้ดำเนินโครงงาน

นางสาวมณฑลี ชัชวาลย์

นางสาวรจิตรา ทันตาเร็ว

นายสาโรจน์ คำบรรลือ

ธันวาคม 2556

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อ.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ง
สารบัญ.....จ
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญรูป.....ซ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2
1.3 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน.....2
1.4 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน.....3
1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน.....3
1.6 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน.....4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....5
2.1 การดูดซับ.....5
2.2 สีย้อม.....7
2.3 สีย้อมเมทิลลีนบลู (Methylene Blue Dye (MB)).....10
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....11
2.5 เครื่องปฏิกรณ์.....13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน....17

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี....17

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง....17

3.3 วิธีการทดลอง....19

3.3 เครื่องมือการทดลอง....20

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์....21

4.1 การดูดซับสีย้อมในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ....21

4.2 การดูดซับสีย้อมในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง....31

4.3 จลนพลศาสตร์เคมี....37

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ....41

5.1 สรุปผลการทดลอง....41

5.2 ข้อเสนอแนะ....42

เอกสารอ้างอิง....43

ภาคผนวก ก....46

ภาคผนวก ข....48

ภาคผนวก ค....52

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 4

2.1 การจำแนกประเภทสีย้อม 8

2.2 คุณสมบัติ Methylene Blue 10

2.3 สมบัติการดูดกลืนแสง 11

4.1 แสดงจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ MB ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่ง และ สอง 39

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 กระบวนการเกิด Methylene Blue....10

2.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch Reactor)....13

2.3 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง....14

3.1 วิธีดำเนินการทดลอง....18

4.1 ผลของการดูดซับของชนิดเปลือกกล้วยต่อการดูดซับ MB ระหว่างเปลือกกล้วยหักมุกและเปลือกกล้วยน้ำว้า ที่น้ำหนัก 20 กรัม ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร....22

4.2 เปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหักมุกปั่นกวนกับน้ำกลั่น....22

4.3 ค่าการดูดซับเปลือกกล้วยน้ำว้ากับน้ำกลั่น....23

4.4 ภาพ SEM ของเปลือกกล้วยน้ำว้า....23

4.5 การดูดซับ MB เปลือกกล้วยน้ำว้าขนาด 50 20 12 Mesh....25

4.6 การดูดซับ MB ด้วยเปลือกกล้วยน้ำว้าปริมาณ 1 กรัม 2 กรัม และ 3 กรัม....26

4.7 การดูดซับ MB ด้วยเปลือกกล้วยน้ำว้าความเข้มข้น 3 7 10 มิลลิกรัมต่อลิตร....27

4.8 ผลของการดูดซับของเปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหักมุก pH=3....28

4.9 ผลของการดูดซับของเปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหักมุก pH=7....28

4.10 ผลของการดูดซับของเปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหักมุก pH=9....29

4.11 เปรียบเทียบการดูดซับสีย้อมของเปลือกกล้วยน้ำว้าค่า pH=3 pH=7 และ pH=10....29

4.12 เปรียบเทียบการดูดซับสีย้อมของเปลือกกล้วยหักมุกค่า pH=3 pH=7 และ pH=10....30

4.13 ตัวอย่างสารละลายสีย้อม ณ เวลาต่างๆ....31

4.14 ตัวอย่างสารละลายสีย้อม ณ เวลาต่างๆ....32

4.15 ตัวอย่างสารละลายสีย้อม ณ เวลาต่างๆ....33

4.16 ตัวอย่างสารละลายสีย้อม ณ เวลาต่างๆ....34

4.17 ความสูงของตัวดูดซับ 1 เซนติเมตร....35

4.18 ความสูงของตัวดูดซับ 3 เซนติเมตร....35

4.19 ความสูงของตัวดูดซับ 15 เซนติเมตร....35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.20 ภาพแสดงกระบวนการดูดซับแบบเบตช์ 36

4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่ถูกดูดซับสารละลาย MB จากเปลือกกล้วยน้ำว้า 38

4.22 กราฟแสดงปฏิกิริยาอันดับศูนย์เขียนกราฟระหว่าง C_t กับ t 38

4.23 กราฟแสดงปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเขียนกราฟระหว่าง ln (C_t/C_0) กับ t 39

4.24 กราฟแสดงปฏิกิริยาอันดับสองเขียนกราฟระหว่าง $1/C_t$ กับ t 39

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

สีย้อม (Dyestuffs) คือ สารมีสีที่ละลายน้ำได้ หรืออาจทำให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำเวลาใช้มักจะถูกดูดซึมเข้าไปในวัสดุที่ถูกย้อม ประโยชน์ที่สำคัญที่สุดของสีย้อมก็ คือ การให้สีแก่วัสดุสิ่งทอ สีย้อมที่ดีควรมีลักษณะต่างๆ ดังนี้ มีความเข้มของสีสูง ละลายน้ำได้หรือเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ มีแรงดึงดูดหรือมีแรงยึดติดกับเส้นใย คงทนต่อการซักและการใช้งาน คงทนต่อกระบวนการผลิตขั้นต่อมาให้ความปลอดภัย มีความสะดวกในการใช้งานและมีราคาเหมาะสมอย่างไรก็ตามการนำสีย้อมไปใช้งานในอุตสาหกรรมย่อมจะมีน้ำทิ้งปนเปื้อนสีย้อมออกมา

จากกระบวนการผลิตการกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมสิ่งทอเริ่มได้รับความสนใจช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาไม่เพียงเพราะความเป็นพิษแต่ปัญหาส่วนใหญ่มาจากการทำให้ทัศนะวิสัยไม่ดี สำหรับการบำบัดแบบเดิมไม่สามารถกำจัดรูปแบบของสีย้อมได้หมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสีย้อมที่เกิดจากปฏิกิริยาอันเป็นผลมาจากการละลายที่สูงและมีการย่อยสลายทางชีวภาพต่ำ [1] สีย้อมรีแอกทีฟจะมีโมเลกุลสีที่มีความโดดเด่นใช้ในการย้อมเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งมักจะเป็นพันธะคู่ไนโตรเจน (N=N พันธะ-อะโซ) สีย้อมของสีเอโซเกิดระหว่าง พันธะอะโซและโครโมฟอร์ ที่เกี่ยวข้องสีย้อมจะถูกดูดซึมก่อนลงเซลลูโลสและจากนั้นทำปฏิกิริยากับเส้นใย ส่วนปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นโดยการก่อตัวเป็นพันธะโควาเลนต์ซึ่งเกิดระหว่างโมเลกุลของสีย้อมและเส้นใย [2] การเกิดพันธะแบบนี้จะทำให้เส้นใยทนทานต่อสภาพการใช้งานที่ผิดปกติได้มากขึ้น ทั้งทางกายภาพและทางเคมีปฏิกิริยาในระบบของสีย้อมจะเกิดปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกซิไอออนบนพื้นผิวเซลลูโลส แต่ไฮดรอกซีไอออนที่พบในบ่อสีย้อมเกิดจากสีย้อมที่เป็นด่างทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นเซลลูโลส ผลอัตราร้อยละของสีย้อมไม่สามารถที่จะทำปฏิกิริยากับเส้นใยประมาณ 10 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ของสีย้อมที่จะลงสู่น้ำทิ้งซึ่งมีปริมาณที่สูงมาก [3]

การกำจัดสีย้อมมีหลายวิธี เช่น การย่อยสลายโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับแสง (Photo Catalyst Degradation) (Ahed H. Zyoud et al, 2010) ในปัจจุบันการดูดซับเป็นวิธีหนึ่งที่นำมาใช้ได้กับการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากมีต้นทุนที่ต่ำเพราะมีวัสดุอุปกรณ์ราคาไม่แพงและยังใช้พลังงานน้อยตัวดูดซับบางชนิดที่ผ่านการใช้งานแล้วสามารถล้างและนำกลับมาใช้ในระบบใหม่ได้ (Regenerate) ตัวดูดซับที่ใช้อาจจะเป็นตัวดูดซับที่ได้จากธรรมชาติหรือตัวดูดซับทางพาณิชย์ก็ได้ ตัวดูดซับทางธรรมชาตินั้นมีหลายชนิด เช่น แกลบ ขานอ้อย เป็นต้น ตัวดูดซับจากธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพที่จะนำไปใช้

ในการบำบัดน้ำเสียได้ เช่น เถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อย เป็นต้น ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร นอกจากนี้วัสดุธรรมชาติบางชนิดยังสามารถนำมาสังเคราะห์เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพได้ เช่น ถ่านคาร์บอนกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่สังเคราะห์จากกะลามะพร้าว เป็นต้น [4]

ดังนั้นโครงงานวิจัยนี้มุ่งเน้นสู่การศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมสิ่งทอที่มีสีย้อมและสารเคมีต่างๆ ที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าวโดยกระบวนการการดูดซับ (Adsorption) โดยใช้ตัวดูดซับทางธรรมชาติซึ่งสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น คือ เปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหักมุก การนำเปลือกกล้วยทั้งสองชนิดมาใช้เป็นตัวดูดซับนั้นเป็นทางเลือกอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยในการลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียดังกล่าวและยังเป็นการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือวัสดุทางธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกด้วย

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการใช้วัสดุจากธรรมชาติซึ่งได้แก่ เปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหักมุกเพื่อดูดซับสีย้อมชนิดสีเมทิลลีนบลู โดยจะศึกษาถึงปัจจัยและตัวแปรที่มีผลกระทบต่อกระบวนการการดูดซับในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะและนอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการดูดซับดังกล่าวในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งเพื่อการนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อศึกษาถึงกระบวนการดูดซับ (Adsorption) ของสีย้อมเมทิลลีนบลู (Methylene Blue Dye (MB)) จากน้ำโดยใช้เปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหักมุกเป็นตัวดูดซับ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะและเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

1.3 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch Reactor)

1.3.1.1 ตัวแปรต้นที่ใช้ในการศึกษา

ก. ขนาดของเปลือกกล้วย 12 20 และ 50 Mesh

ข. เวลาในการดูดซับสีย้อมในช่วง 0 ถึง 6 ชั่วโมง

ค. ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม 3 7 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ง. ปริมาณเปลือกกล้วย (Adsorbent Dose) 1 ถึง 3 กรัม

จ. ความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายสีย้อม pH 3 7 และ 9

ฉ. ชนิดของเปลือกกล้วย กล้วยน้ำว้าและกล้วยหักมุก

1.3.1.3 ตัวแปรควบคุม

ก. ความเร็วรอบในการปั่นกวน 150 รอบต่อนาที

ข. ปริมาตรสารละลายสีย้อม 250 มิลลิลิตร

ค. อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการดูดซับ ณ อุณหภูมิห้อง

1.3.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed-Bed Reactor)

1.3.2.1 ตัวแปรต้นที่ใช้ในการศึกษา

ก. ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม 3 7 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข. ความสูงของตัวดูดซับ 3 9 และ 15 เซนติเมตร

1.3.2.2 ตัวแปรตาม

ก. ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูของเปลือกกล้วยในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

1.3.2.3 ตัวแปรควบคุม

ก. ความสูงของคอลัมน์ 30 เซนติเมตร

ข. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์ 1 เซนติเมตร

ค. อัตราการไหลของน้ำควบคุมโดยกำลังของปั๊มขนาด 8 ถึง 9 W (SONIC, AP 1200 MODEL)

ง. ขนาดของเปลือกกล้วย 12 Mesh

จ. เปลือกกล้วยน้ำว้า

1.4 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่เดือน เมษายน พ.ศ. 2556 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2556

1.6 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ในการดำเนินโครงงานการศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูด้วยเปลือกกล้วยโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะและเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งมีขั้นตอนการดำเนินการ 7 ขั้นตอนในช่วงเวลา ตั้งแต่เดือน เมษายน ถึง ธันวาคม ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

	การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา								
		เม.ย.	พ.ย.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1.6.1	วางแผนการดำเนินงาน	←	→							
1.6.2	ศึกษาค้นคว้าข้อมูลในการทำโครงงาน	←	—	→						
1.6.3	หาแหล่งวัตถุดิบและเครื่องมือเพื่อทดลอง			←	→					
1.6.4	ทำการทดลอง					←	→			
1.6.5	วิเคราะห์ผลการทดลอง						←	→		
1.6.6	สรุปผลการทดลอง							←	→	
1.6.7	ทำรูปเล่มรายงาน								←	→

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นกระบวนการแยกชนิดหนึ่ง โดยบางส่วนของเฟสของเหลวจะถูกดึงดูดไปยังพื้นผิวของตัวดูดซับที่เป็นของแข็งผ่านพันธะทางกายภาพหรือพันธะเคมีที่ทำให้ตัวดูดซับเกิดการหลุดออกจากเฟสที่เป็นของเหลว อีกทั้งกระบวนการดูดซับมักจะเกิดขึ้นในชั้นสัมผัสของพื้นที่สองส่วนระหว่างชั้นพื้นผิวของตัวดูดซับ (มักจะเรียกว่าผิวตัวดูดซับ) และพื้นที่การดูดซับซึ่งสามารถเพิ่มการดูดซับได้ [5]

การดูดซับเป็นการถ่ายโอนสารจากก๊าซหรือของเหลวมายังของแข็งหรือของเหลว การดูดติดผิวเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะติดต่อกันดังนี้

ระยะที่ 1 Diffusion เป็นระยะที่โมเลกุลของสิ่งสกปรก (Adsorbate) ในน้ำจะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของตัวดูดซับ

ระยะที่ 2 Intraparticle Diffusion เป็นระยะที่โมเลกุลของสิ่งสกปรกจะฟุ้งกระจายเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

ระยะที่ 3 Adsorption เป็นระยะที่เกิดการดูดติดผิวในรูพรุนระหว่างสิ่งสกปรกและพื้นผิวของตัวดูดซับการดูดติดผิวในระยะที่ 3 อาจจะดูดติดผิวด้วยแรงทางกายภาพหรือทางเคมีหรือทั้งสองชนิดพร้อมกัน ในกระบวนการกำจัดน้ำเสียการดูดซับจะพิจารณาเฉพาะการเกาะติดด้วยแรงทางกายภาพมากกว่าทางเคมี [6]

การดูดซับจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างตัวดูดซับที่มีผิวสะอาดกับสารละลายของสารที่ต้องการดูดซับน้ำหนักของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนัก (W) จะขึ้นกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ (T) ความดัน (P) พลังงานที่เกี่ยวข้อง (E) ระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับสารดูดซับดังความสัมพันธ์

$$W = f(P, T, E) \qquad (2.1)$$

แต่โดยปกติแล้วการดูดซับจะวัดที่อุณหภูมิคงที่ดังนั้นความสัมพันธ์ข้างต้นอาจเขียนได้ใหม่ดังนี้

$$W = f(P, E) \qquad (2.2)$$

การดูดซับของถ่านที่มีปฏิกิริยาถ้าเป็นการดูดซับก๊าซจะเป็นไปตามความสัมพันธ์ของแลงเมียร์ (Langmuir Equation) หรือบรุนนาวเอร์-เอมเมท-เทลเลอร์ (Brunauer-Emmett-Teller Equation) แต่ถ้าเป็นการดูดซับสารละลายจะเป็นไปตามความสัมพันธ์ของแลงเมียร์และฟรอยด์ลิช (Freundich Equation)

โดยที่อุณหภูมิและความดันหนึ่งๆ นั้นตัวดูดซับจะดูดซับสารได้ในปริมาณที่แน่นอนค่าหนึ่งเท่านั้น สำหรับค่าพลังงานที่เกี่ยวข้องจะแปรเปลี่ยนได้ตามสมบัติของสารดูดซับสารที่ถูกดูดซับและระยะเวลาของการดูดซับด้วย

จากการศึกษาของแลงเมียร์ซึ่งเป็นการศึกษาการดูดซับแบบชั้นเดียวบนผิวของแข็งเนื้อเดียว พบว่าสามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับก๊าซได้ดังสมการ

$$\frac{P}{Y} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \qquad (2.3)$$

เมื่อ Y คือ น้ำหนักเป็นกรัมของสารที่ถูกดูดซับไว้โดยสารดูดซับหนัก 1 กรัม

P คือ ความดันย่อยของก๊าซ

a, b คือ ค่าคงที่

สำหรับการดูดซับของสารละลายจะแสดงความสัมพันธ์

$$\frac{C}{Y} = \frac{1}{kW_m} + \frac{C}{W_m} \qquad (2.4)$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ

K คือ ค่าคงที่

W_m คือ จำนวนของตัวถูกดูดซับที่คลุมผิวแบบชั้นเดียว

ถ้าเป็นการดูดซับแบบหลายชั้นจะแสดงความสัมพันธ์โดย บรุนนาวเอร์-เอมเมท-เทลเลอร์ ซึ่งประยุกต์มาจากความสัมพันธ์ของแลงเมียร์

$$\frac{P}{V}(P_0 - P) = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C-1)P}{V_m C P_0} \qquad (2.5)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรที่ดูดซับ

V_m คือ ปริมาตรที่ดูดซับเพื่อให้เกิดเป็นชั้นเดียวที่อิ่มตัว

P คือ ความดันที่ตัวถูกดูดซับอยู่ในสมดุล

P_o คือ ความดันที่ทำให้ตัวถูกดูดซับอิ่มตัวด้วยไอ

ในการดูดซับสารละลายนั้นฟลอยด์ลิชได้ทำการศึกษาปรากฏการณ์การดูดซับแสดงความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\frac{X}{m} = \frac{kC_1}{n} \qquad (2.6)$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย

$\frac{X}{m}$ คือ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับไว้บนสารดูดซับหนัก 1 กรัม

K, n คือ ค่าคงที่ซึ่งจะเป็นค่าเฉพาะสำหรับสารที่ถูกดูดซับกับสารดูดซับที่อุณหภูมิหนึ่งๆ เท่านั้น

2.2 สีย้อม

โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลสีย้อมประกอบด้วย 3 ส่วน [7] คือ พันธะคู่สลับ (Conjugated Double Bonds) หมู่ปฏิกิริยาที่เรียกว่า โครโมฟอร์ (Chromophore) ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงในช่วงที่มองเห็นได้เป็นหมู่ปฏิกิริยาที่ไม่อิ่มตัวมีหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนหมู่ปฏิกิริยาที่เรียกว่า ออโซโครม (Auxochromes) เป็นหมู่ปฏิกิริยาที่อิ่มตัวที่มีอิเล็กตรอนซึ่งมักไม่เกิดพันธะเชื่อมอยู่กับพันธะคู่สลับและให้คุณสมบัติในการละลายน้ำรวมทั้งการรวมตัวเกิดเป็นพันธะกับเส้นใยและมีผลต่อความเข้มสีของโครโมฟอร์ทั้งโครโมฟอร์และออโซโครมต่างเชื่อมอยู่กับพันธะคู่สลับทั้ง 3 ส่วนนี้เรียกรวมกันว่า โครโมเจน (Chromogen)

สีย้อมที่นำมาใช้ในการย้อมมีอยู่มากมายหลายชนิด การที่จะนำสีย้อมใดๆ มาใช้ในการย้อมให้ได้ผลดีนั้น ขึ้นอยู่กับความสามารถในการรวมตัวของสีย้อมกับเส้นใย ซึ่งต้องมีมากกว่าการรวมตัวของสีย้อมกับน้ำ โดยสามารถทำให้เกิดสภาวะนี้ขึ้นได้ เมื่อโมเลกุลของสีย้อมมีหมู่อะตอมซึ่งถูกจัดให้เรียงตัวกันในลักษณะที่จะทำให้เกิดการดูดติด (Substativity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะ (Bond) ยึดกันแน่น อาจกล่าวได้ว่าแรงกระทำหรือพันธะที่ทำให้สีดูดติดกับเส้นใยได้ คือ พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond) แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van Der Waals' Forces) แรงไอออน (Ionic Forces) พันธะโควาเลนท์

(Covalent Bond) แรงเหล่านี้มักจะไม่ทำหน้าที่เพียงลำพังการดูดติดกันระหว่างโมเลกุลของสีย้อมกับโมเลกุลของเส้นใยอย่างน้อยจะต้องประกอบไปด้วยแรง 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งก็อาจเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกัน สำหรับแรงยึดติดทางเคมีที่จะทำให้เกิดการยึดติดได้ดีที่สุด คือ พันธะโควาเลนท์ การยึดติดของโมเลกุลสีย้อมกับโมเลกุลของเส้นใย นอกจากเกิดจากแรงกระทำหรือพันธะแล้วรูปร่างและขนาดของสีก็มีผลต่อการยึดติดหรือมีผลกระทบต่อการย้อมอย่างมากด้วย เช่น ถ้าโมเลกุลของสีย้อมยิ่งเล็กและยาวเท่าไร ก็จะผ่านช่องว่างเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้นเท่านั้น อันจะทำให้การติดสีดีขึ้น หรือถ้าโมเลกุลของสีย้อมมีลักษณะแบนและมีความกว้างมากกว่าความยาวมากๆ จะทำให้การติดสีมีความคงทนสูงมากขึ้น เป็นต้น

การจำแนกชนิดของสีย้อมมีหลายระบบด้วยกัน เช่น จำแนกตามแหล่งกำเนิดตามกลุ่มเคมีภายในโครงสร้างหรือการใช้งาน ระบบที่ใช้กันมากในปัจจุบัน เป็นระบบที่ใช้ในดัชนีสี (Color Index) ที่แบ่งตามการใช้งาน ดังตารางที่ 2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 การจำแนกประเภทสีย้อม

ประเภทสีย้อม	สมบัติกายภาพและเคมี	เส้นใยที่เหมาะสมกับสี
สีแอซิด (Acid Dye)	ประจุลบละลายน้ำได้ดีสีติดไม่แน่น	ไนลอนขนสัตว์
สีเมทัลคอมแพล็ก (Metal Complex Dye)	ประจุลบละลายน้ำได้น้อยสีติดแน่น	ไนลอนขนสัตว์
สีย้อมไดเรกซ์ (Direct Dye)	ประจุลบละลายน้ำได้ดีสีติดไม่แน่น	ฝ้ายวิสคอส
สีดิสเพอร์ส (Disperse Dye)	ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อย กระจายเป็นอนุภาคคอลลอยด์สีติดแน่น	โพลีเอสเทอร์ไนลอนอะครีลิก เซลลูโลสอะเซเทค
สีรีแอคทีฟ (Reactive Dye)	ประจุลบละลายน้ำได้ดีสีติดไม่แน่น	ฝ้ายวิสคอสขนสัตว์

2.2.1 สารช่วยย้อม

สารช่วยย้อมเป็นสารเคมีที่ใส่ลงไปในขบวนการย้อม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมให้มีการดูดติดสีได้มากขึ้นสม่ำเสมอขึ้นและทำให้สีที่ติดเส้นใยแล้วมีความคงทนมากขึ้น สารช่วยย้อมมีหลายชนิดแต่ที่สำคัญสามารถจัดแบ่งออกได้เป็น 7 ประเภทด้วยกัน คือ

2.2.1.1 กรด ใช้สำหรับย้อมเส้นใยโปรตีนและไนล่อน เช่น กรดซัลฟิวริก กรดแอซิติก เป็นต้น

2.2.1.2 ด่าง ใช้สำหรับย้อมใยเซลลูโลส เช่น โซดาไฟ โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไบ-คาร์บอเนต เป็นต้น

2.2.1.3 เกลือ ใช้ในการย้อมเส้นใยเซลลูโลสทุกชนิด เช่น โซเดียมคลอไรด์ โซเดียม-ซัลเฟต เป็นต้น

2.2.1.4 สารช่วยให้สีสม่ำเสมอ ใช้กับสีแวตดิสเพอสและสีแอสิดบางชนิด

2.2.1.5 สารนำ (Carriers) ใช้เมื่อย้อมเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด

2.2.1.6 สารละลายอินทรีย์ จะใช้เมื่อย้อมขนสัตว์และใยสังเคราะห์บางชนิด

2.2.1.7 สารรีดิวซิ่ง ใช้สำหรับรีดิวส์สีบางชนิดเพื่อใช้ในการดูดซึมเข้าไปในเส้นใย เช่น โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ โซเดียมซัลไฟต์ เป็นต้น

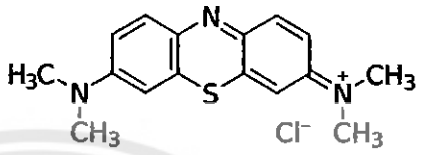
แต่ละประเภทของสารช่วยย้อมจะแบ่งออกเป็นชนิดสารเคมีต่างๆ อีกมากมายในการย้อมเส้นใยแต่ละลักษณะด้วยสีย้อมต่างชนิด จำเป็นต้องเลือกสารช่วยย้อมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมให้ดีขึ้นแตกต่างกันไป ทำให้น้ำเสียหรือน้ำทิ้งที่ปล่อยออกมาจากขบวนการย้อมแตกต่างกันตามไปด้วย

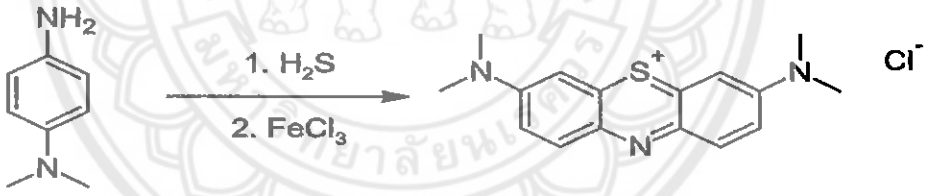
สีย้อมทุกชนิดจะมีส่วนประกอบที่เป็นพิษย่อยสลายตามธรรมชาติได้ยากและการที่สีย้อมปนเปื้อนไปยังแหล่งน้ำจะส่งผลให้การสังเคราะห์แสงของแพลงตอนและพืชน้ำลดลงทำให้ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศน์โดยตรง ดังนั้นน้ำทิ้งที่จะปล่อยสู่แหล่งน้ำควรได้รับการบำบัดเสียก่อน โดยทั่วไปการกำจัดสีย้อมจากโรงงานอุตสาหกรรมจะใช้วิธีทางเคมีและทางชีวภาพเช่นการใช้โอโซน (Ozone Treatment) [24] การแลกเปลี่ยนอิออน (Ion Exchange) [25] การกรองด้วยแผ่น-เยื่อ (Membrane Filtration) [26] และการตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation) [27] วิธีการดังกล่าวยังมีข้อเสีย คือ มีสารเคมีที่เป็นพิษเกิดขึ้นในปริมาณมาก [8]

2.3 สีย้อมเมทิลลีนบลู (Methylene Blue Dye (MB))

Methylene Blue เกิดจาก 4-Aminodimethylaniline กับไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายในกรดไฮโดรคลอลิกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับเฟอร์ริกคลอไรด์จะได้ดังรูปที่ 2.1 [9] และคุณสมบัติของเมลทิลลีนบลู ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติ Methylene Blue

สูตรโครงสร้าง	 3,7-Bis (Dimethylamino)-Phenothiazin-5-lum Chloride
สูตรโครงโมเลกุล	$C_{16}H_{18}N_3SCl$
น้ำหนักโมเลกุล	319.85 กรัมต่อโมล
จุดหลอมเหลว	100-110 องศาเซลเซียส (With Decomposition)



รูปที่ 2.1 กระบวนการเกิด Methylene Blue [9]

2.3.1 คุณสมบัติการดูดกลืน

Methylene Blue เป็นสีย้อมประจุบวกที่มีศักยภาพสูงสุดกับการดูดซึมของแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 600 ถึง 670 นาโนเมตร ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ลักษณะของการดูดซึมขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ รวมถึงโปรตอนการดูดซับกับวัสดุอื่นๆ และ Metachromasy การก่อตัวของ Dimers และมวลขั้นสูงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและปฏิกิริยาอื่นๆ [10]

ตารางที่ 2.3 สมบัติการดูดกลืนแสง

Species	Absorption Peak	Extinction Coefficient (dm^3/mole·cm)
MB^+ (Solution)	664	95000
MBH^{2+} (Solution)	741	76000
$(MB^+)_2$ (Solution)	605	132000
$(MB^+)_3$ (Solution)	580	110000
MB^+ (Adsorbed On Clay)	673	116000
MBH^{2+} (Adsorbed On Clay)	763	86000
$(MB^+)_2$ (Adsorbed On Clay)	596	80000
$(MB^+)_3$ (Adsorbed On Clay)	570	114000

2.4 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการดูดซับ

โดยทั่วไปกระบวนการดูดซับอาจจะจัดเป็นการดูดซับทางกายภาพหรือทางเคมีขึ้นอยู่กับลักษณะของแรงที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างปัจจัย ทางกายภาพและทางเคมีที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการการดูดซับเหล่านี้ได้แก่ [6, 11]

2.4.1 พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน

พื้นที่ผิวเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับในการดูดซับนั้น คือ ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม พื้นที่ผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับไม่เพียงพอที่จะอธิบายความสามารถในการดูดซับได้ดี โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เพราะถ้าขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปในรูพรุนของโมเลกุลของตัวดูดซับได้ การดูดซับก็จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของโมเลกุลของตัวดูดซับได้ ความสามารถในการดูดซับจะต่ำลง [12]

2.4.2 ขนาดของตัวดูดซับ

ในกรณีที่โมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับไม่มีรูพรุนนั้นพื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดลดลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้าโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมีรูพรุนมากๆ พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะไม่ขึ้นกับขนาดของตัวดูดซับ [12]

2.4.3 ความมีขั้ว (Polarity) ของโมเลกุล

ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อความมีขั้วเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มความมีขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น [12]

2.4.4 ความเป็นกรดด่างของสารละลาย

การที่ pH ของสารละลายมีค่าต่ำกว่า pH_{ZPC} (pH Of Zero Point Of The Charge) บนพื้นผิวของตัวดูดซับจะแสดงประจุบวกของ H^+ และการที่ pH ของสารละลายมีค่ามากกว่า pH_{ZPC} บนพื้นผิวของตัวดูดซับจะแสดงประจุลบของ OH^- [4, 6, 10, 22, 23] โดยตัวดูดซับที่ประจุบวกบนพื้นผิวจะสามารถดึงดูดโมเลกุลของสารที่ประจุลบได้ดี ดังนั้นการดูดซับสีย้อมกรดจึงเกิดได้ดีในสารละลายที่มี pH ต่ำและเมื่อเพิ่ม pH ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะมีแนวโน้มที่ลดลง ในขณะที่ตัวดูดซับสีย้อมประเภทสีย้อมเบสจะเกิดได้ดีในสารละลายที่มี pH สูง เนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างประจุลบบนพื้นผิวของตัวดูดซับและประจุบวกบนโมเลกุลของสีย้อมและการลด pH ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะมีแนวโน้มลดลง

Bestani และคณะ [15] ทำการทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลูซึ่งเป็นสีย้อมเบสบนตัวดูดซับ Salsola Vermiclara ซึ่งเป็นพืชในทะเลทราย โดยมีสารละลายที่มี pH ระหว่าง 6 ถึง 8 พบว่าการเพิ่ม pH ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น

2.4.5 อุณหภูมิ

กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการคายความร้อน (Exothermic Process) ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจึงทำให้การดูดซับมีแนวโน้มเกิดได้ลดลงแต่การดูดซับในของเหลวนั้นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีค่าน้อยมากเนื่องจากของเหลวมีค่าความจุความร้อนสูงแต่การทดลองของ Dogan และคณะ [13] พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่ง Dogan และคณะได้อธิบายผลจากการทดลองว่าการเพิ่มอุณหภูมิทำให้การเกิดการกระตุ้นหมู่ฟังก์ชัน เช่น หมู่แอล-

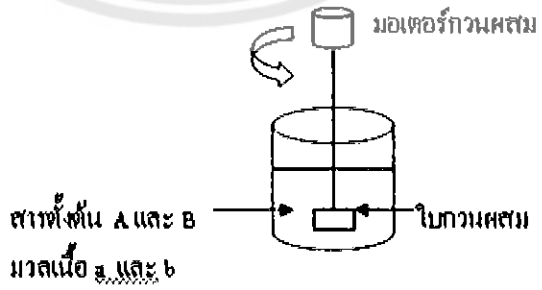
กอฮอลิก (Alcoholic) คาร์บอนิกลิก (Carbonylic) และฟีนอลิก (Phenolic) ซึ่งจะอยู่บนพื้นผิวของการดูดซับทำให้เกิดแรงดึงดูดกันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) บนตัวดูดซับกับประจุบวกบนโมเลกุลของ สีย้อมบางชนิดนอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลมีค่าเพิ่มขึ้นจึงทำให้ปริมาณการดูดซับจำเพาะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น [12]

2.5 เครื่องปฏิกรณ์

เครื่องปฏิกรณ์เป็นปัจจัยที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งที่ควรให้ความสำคัญเพราะในการศึกษาชนิดของถังปฏิกรณ์ควรให้ตรงกับจุดประสงค์ที่จะใช้งาน โดยในโครงงานนี้ได้ศึกษากระบวนการดูดซับในเครื่องปฏิกรณ์ 2 ชนิด ดังนี้

2.5.1 เครื่องปฏิกิริยาแบบกะ (Batch Reactor)

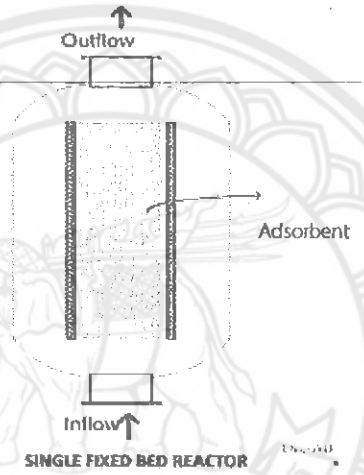
เป็นถังกวนผสมสารเคมีที่ในโรงงานอุตสาหกรรมหลายโรงงานอุตสาหกรรมใช้เป็นถังปฏิกิริยาพื้นฐานในกระบวนการผลิตเพื่อใช้ผลิตสินค้าหรือผลิตผลิตภัณฑ์หลักการทำงานเบื้องต้นของถังปฏิกิริยาเคมี คือ การนำสารตั้งต้นนำเข้า (Reactants หรือ Feed) ใส่เข้าไปในถังปฏิกิริยาเคมีในปริมาณที่คำนวณไว้แล้วให้มีการกวนผสม (Mixing) ให้เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นอย่างสมบูรณ์สำหรับในกระบวนการดูดซับนั้นมักใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะในการหาปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการการดูดซับ เนื่องจากสามารถดำเนินการได้ง่ายในส่วนการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมนั้นส่วนมากจะดำเนินการในถังปฏิกรณ์ต่อเนื่องชนิดเบดนิ่ง



รูปที่ 2.2 เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบกะ (Batch Reactor)

2.5.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed Bed Reactor)

ถังปฏิกรณ์ชนิดนี้มีการออกแบบอย่างง่ายให้มีการบรรจุวัตถุดิบภายในเครื่องแบบคงที่ ดังนั้น วัตถุดิบจะไม่มีการเคลื่อนที่เลยถังปฏิกรณ์นี้เป็นแบบที่ง่ายที่สุดจึงนิยมใช้กันมากในระดับห้องปฏิบัติการเนื่องจากในการทดสอบไม่จำเป็นต้องใช้วัตถุดิบปริมาณมากนักลักษณะการทำงานของระบบจะเป็นแบบกึ่งต่อเนื่องหรือทีละเทเท่านั้นซึ่งเมื่อวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่ถังเกิดปฏิกิริยาจนเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้วก็ต้องทำการเปิดฝาถังปฏิกรณ์เพื่อนำผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งออกจากถังแล้วป้อนวัตถุดิบชุดใหม่ลงไปถังปฏิกรณ์ชนิดนี้



รูปที่ 2.3 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 1997 Mamdouh M และคณะ ได้ศึกษาการกำจัดสีพื้นฐานของสีย้อม (สีเหลือง สีแดง และ สีน้ำเงิน) ของสารละลายโดยการดูดซับสีย้อมดังกล่าวบนอนุภาคของผลลูกปาล์มขนาด 300 ไมโครเมตร การดูดซับสีย้อมเป็นไปตามโมเดลของ Isotherms Langmuir Freundlich และ Redlich-Peterson จากผลการทดลองพบว่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดของอนุภาคผลปาล์มมีค่าการดูดซับสีเหลืองสีแดงและดูดซับสีน้ำเงินได้ 327 180 และ 92 มิลลิกรัมของสีย้อมต่อกรัมของตัวดูดซับตามลำดับ [14]

ในปี ค.ศ. 2006 K. Santhy และคณะ ได้ศึกษาตัวดูดซับที่ได้จากแก่นมะพร้าวนำมาดูดซับสีย้อมในอุตสาหกรรมสิ่งทอ จากการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะแสดงให้เห็นว่าการดูดซับสีย้อมเพิ่มขึ้นกับเวลาที่เพิ่มขึ้นในระบบที่มี pH เป็นกรด การดูดซับของสีย้อม พบว่าเป็นไปตามรูปแบบ

การดูดซับของ Freundlich การศึกษาชี้ให้เห็นว่าพลังงานจลน์ของการดูดซับและค่าคงที่อัตรา Lagergren ของสีย้อมอยู่ในช่วง 1.77×10^{-2} ถึง 2.69×10^{-2} ต่อนาที ทดลองในระบบคอลัมน์โดยใช้แบบฟอร์มเม็ดคาร์บอน (ที่ได้รับจากการรวมตัวกันกับโพลีไวนิลอะซีเตท) แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อลดอัตราการไหล [16]

ในปี ค.ศ. 2008 Emad N. El Qada และคณะ ได้ศึกษาการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของชนิดของตัวดูดซับที่ผลิตโดยใช้ไอน้ำ โดยใช้วิธีทดลองการดูดซับในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะของสีย้อมพื้นฐาน (เมทิลีนบลู สีแดง และสีเหลือง) ถ่านดังกล่าวถูกนำมาใช้เป็นตัวดูดซับและความสามารถในการดูดซับสูงสุดถูกกำหนดรูปแบบการดูดซับเป็นโมเดลของ Langmuir Freundlich และ Redlich-Peterson ถูกนำมาใช้ในการจำลองข้อมูลสมดุลที่พารามิเตอร์การทดลองที่แตกต่างกัน (pH และขนาดอนุภาคดูดซับ) พบว่าถ่านที่ผลิตจากถ่านหินนิวซีแลนด์และทำการกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำมีความสามารถในการดูดซับของสีย้อม MB BR และ BY ไปยังตัวดูดซับที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ MB<BR<BY [17]

ในปี ค.ศ. 2009 K. Vijayaraghavan และคณะ ได้ศึกษาการกำจัดสีย้อม Complex Remazol โดยใช้ขี้เลื่อยและถ่านหิน (ถ่านกัมมันต์) สำหรับสารละลาย pH ที่เป็นด่างจะไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ ซึ่งค่า pH จะอยู่ในช่วง 2 ถึง 10.7 ตามโมเดลของ Langmuirm ค่าการดูดซับสูงสุดของขี้เลื่อยเป็น 415.4 510.3 368.5 และ 453.0 มิลลิกรัมต่อกรัม ของ Reactive Black 5 (RB5) Reactive Orange 16 (RO16) Remazol Brilliant Blue R (RBBR) และ Remazol Brilliant Violet 5R (RBV) ตามลำดับ ซึ่งตรงกันข้ามกับ ถ่านหิน ที่ลดลงเล็กน้อย 150.8 197.4 178.3 และ 201.1 มิลลิกรัมต่อกรัม ของ RB5 RO16 RBBR และ RBV ตามลำดับ ในกรณีของน้ำทิ้ง สีย้อม ขี้เลื่อยแสดงประสิทธิภาพการลดสีจาก 100 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้เงื่อนไขค่า pH โดยไม่ได้ทำการปรับสภาพที่ 10.7 เทียบกับ 52 เปอร์เซ็นต์ ของถ่านหิน [18]

ในปี ค.ศ. 2009 M. Dogan และคณะ ได้ศึกษาการเคลื่อนไหวของสีย้อมเมทิลีนบลู (MB) บนเปลือกเฮเซลนัทเนื่องจากความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมค่าความเป็นกรดด่างความแข็งแรงไอออนิก ขนาดของอนุภาคและอุณหภูมิที่ผ่านการตรวจสอบแล้ว อัตราการเคลื่อนไหว การขนส่งหรือกระบวนการเคลื่อนไหวของการดูดซับและการแพร่กระจายอนุภาคถูกอธิบายโดยการใช้ First-Order Lagergren และ Pseudo-Second-Order ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนไหวแสดงให้เห็นว่าจากรูปแบบการเคลื่อนไหวเป็นแบบ Pseudo-Second-Order การดูดซับอุณหภูมิจะสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลีนบลู พบว่าพลังงานกระตุ้นในการดูดซับมีค่า 45.6 กิโลจูลต่อโมล

ค่าของปัจจัยต่างๆ ในการใช้งาน เช่น พลังงานอิสระของกิปส์ (ΔG) เอนทัลปี (ΔH) และเอนโทรปี (ΔS) คิดเป็น 83.4 42.9 และ -133.5 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ [19]

ในปี ค.ศ. 2009 P. Xue และคณะ ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์ Treated Basic Oxygen Furnace Slag (BOF Slag) ที่ประสบความสำเร็จในการกำจัดสีย้อมสังเคราะห์สามชนิด คือ รีแอคทีฟบลู 19 (RB19) รีแอคทีฟแบล็ค 5 (RB5) และรีแอคทีฟเรด 120 (RR120) โดยการดูดซับสารละลายสีย้อมโดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับเช่นค่าความเป็นกรดด่างเวลาอุณหภูมิและความแรงของอิออน พบว่าการดูดซึมสีย้อมจะมีค่าสูงสุดเมื่อ pH 2.0 และความสามารถในการดูดซึม RB5 RB19 และ RR120 ที่มีความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 500 โมลต่อลิตร เป็น 7,660 และ 55 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งเป็นไปตามแบบจำลองของ Langmuir และ Redlich-Peterson ใช้ในการอธิบายถึงความสมดุลของการดูดซับนอกจากนั้นแบบจำลอง First-Order และ Elovich และ Intra-Particle Diffusion ได้ถูกนำมาใช้เพื่ออธิบายถึงกลไกการดูดซับของสีย้อมอีกด้วย [20]

ในปี ค.ศ. 2011 D.K. Mahmoud และคณะ ได้ศึกษาตัวดูดซับ (H-KFC) ที่เตรียมจากถ่านเส้นใยปอแก้วโดยการใช้กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ การใช้กรดเพื่อทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นส่งผลให้การดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลู (MB) เพิ่มขึ้นด้วย ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเบื้องต้นปริมาณตัวดูดซับ ค่า pH และอุณหภูมิ โดยพบว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม 50 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ pH 8.5 มีการดูดซับ MB ได้สูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากการวิเคราะห์ที่จุดสมดุลของข้อมูลที่ใช้แบบจำลอง Langmuir Freundlich และ Temkin Isotherm พบว่าการใช้แบบจำลอง Langmuir Isotherm ให้ผลจุดสมดุลของข้อมูลดีที่สุด เมื่อนำข้อมูลทางจลศาสตร์มาวิเคราะห์ด้วยสมการ Pseudo-First-Order และ สมการ Pseudo-Second-Order การแพร่ในระยะ Intraparticle แสดงให้เห็นว่าสามขั้นตอนของการแพร่ในระยะ Intraparticle การดูดซับไม่ได้มีแค่ขั้นตอนเดียว การศึกษาทางเทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับพบว่าการดูดซับเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนและเกิดขึ้นได้เองที่อุณหภูมิสูง [21]

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 เปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหักมุก

3.1.2 สีย้อม Methylene Blue Dye (MB)

3.1.3 น้ำกลั่น

3.1.4 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3.1.5 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl)

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร

3.2.2 บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร

3.2.3 ปั๊มน้ำ

3.2.4 สายยาง

3.2.5 จุกยาง

3.2.6 เส้นใยแก้วและลูกบอลแก้ว

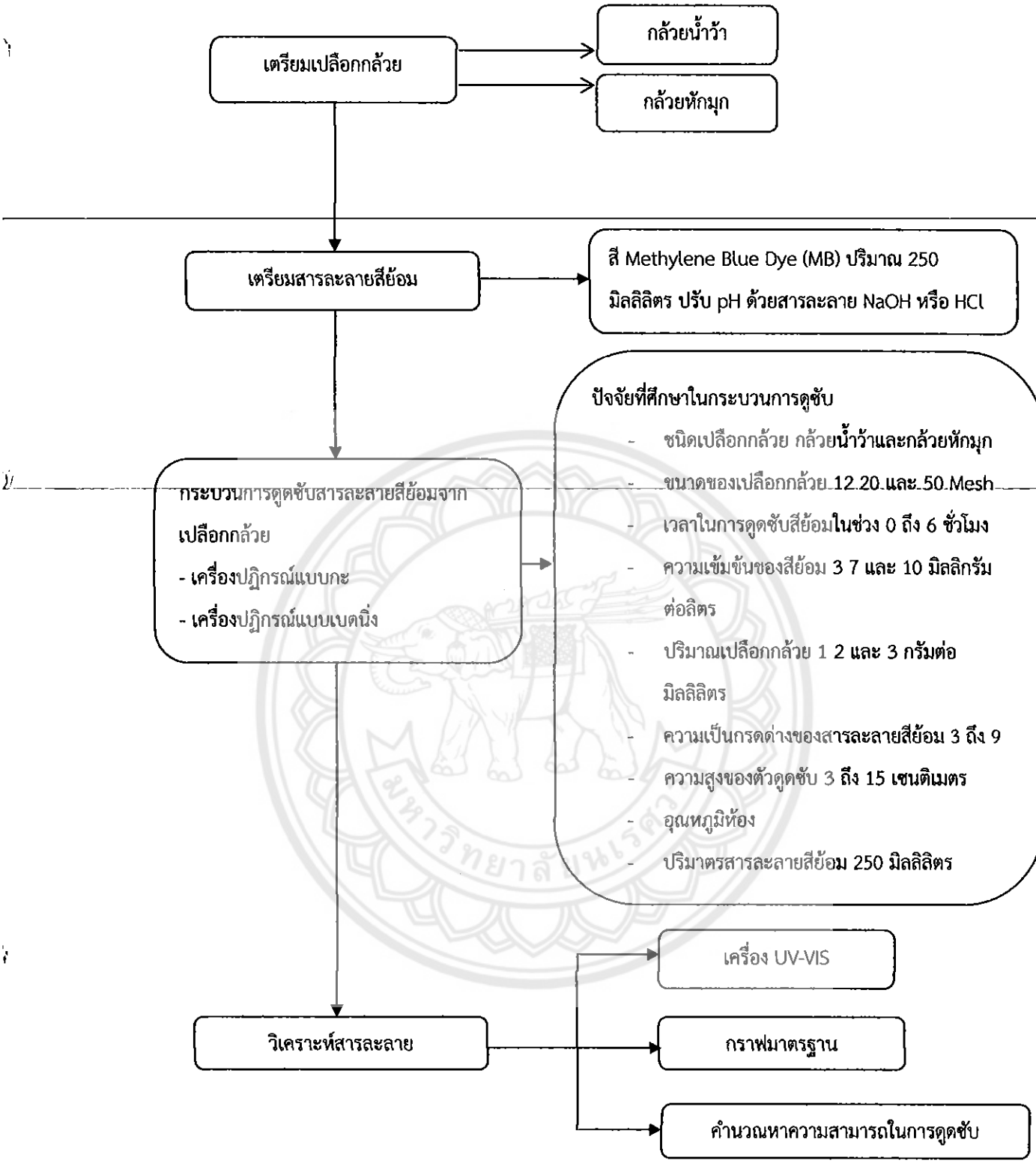
3.2.7 เครื่องปั่นกวน

3.2.8 เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน (Sieve Shaker)

3.2.9 เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

3.2.10 เครื่อง pH มิเตอร์

3.2.11 ถังปฏิกรณ์แบบกะและถังปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง



รูปที่ 3.1 วิธีดำเนินการทดลอง

3.3 วิธีการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการดูดซับสีย้อมจากเปลือกกล้วยมีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

3.3.1 การเตรียมเปลือกกล้วย

นำกล้วยน้ำว้าหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปล้างน้ำสะอาดจากนั้นตากแดดให้แห้ง เมื่อแห้งแล้วเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดละเอียดในเครื่องบดและไปร่อนผ่านตะแกรงขนาดตามที่ต้องการเก็บในถุงพลาสติกและควบคุมความชื้นเพื่อป้องกันการขึ้นรา ทำวิธีการเดียวกันนี้กับกล้วยหักมุก

3.3.2 การเตรียมสารละลายสีย้อม

เตรียมสารละลายสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 3 7 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ด้วย HCl และ NaOH ให้อยู่ในช่วง 3 7 และ 9

3.3.3 กระบวนการดูดซับสีย้อมจากเปลือกกล้วย

นำสารละลายสีย้อมในช่วง 3 7 และ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใส่ถังปฏิกรณ์แบบกะใส่เปลือกกล้วยขนาดที่เตรียมไว้ (1 ถึง 3 กรัม) ที่อุณหภูมิห้อง ใช้ความเร็วรอบในการปั่นกวน 150 รอบต่อนาที ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือ ขนาดของเปลือกกล้วย เวลาในการดูดซับสีย้อมในช่วง 0 ถึง 6 ชั่วโมง ความเข้มข้นของสีย้อมปริมาณเปลือกกล้วยและชนิดเปลือกกล้วย

3.3.4 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม

เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer และคำนวณหาปริมาณที่เหลือของสีย้อมจากกราฟมาตรฐานเตรียมสารละลายมาตรฐานสีย้อมโดยใช้ความเข้มข้นในช่วง 1 ถึง 50 มิลลิกรัมต่อลิตร นำสารละลายมาตรฐานสีย้อมที่ได้จากการเตรียมไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเมททิลีนบลูจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 664 นาโนเมตร จากนั้นสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และจากการทดลองนำสารละลายที่ได้จากการทดลองนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่นเดียวกันจากนั้นนำค่าที่วัดได้มาคำนวณความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือโดยสามารถคิดเป็นร้อยละการดูดซับได้จากสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณของการดูดซับ (\%)} = \frac{\text{ความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือ}}{\text{ความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้น}} \times 100 \qquad (3.1)$$

3.4 เครื่องมือการทดลอง

3.4.1 UV-VIS Spectrophotometer

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์สารโดยใช้หลักการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิล ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190 ถึง 1000 นาโนเมตร ของสารเคมีนั้น ได้แก่ สารอินทรีย์ (Organic Compound) สารประกอบเชิงซ้อน (Complex Compound) หรือสารอนินทรีย์ (Inorganic Compound) โดยนำสารตัวอย่างใสในเซลควอร์ตซ์ (Quart) แล้ววางในบริเวณใกล้แหล่งกำเนิดแสง สารตัวอย่างจะดูดกลืนรังสี หรือแสงบางส่วนไว้ แสงที่ไม่ดูดกลืนจะผ่านออกมายังเครื่องวัดแสง (Photomultiplier Tube) เครื่องวัดแสงจะทำการวัดปริมาณแสงที่ออกมาโดยการหักล้างกับปริมาณของแสงก่อนดูดกลืน จากนั้นจะทำการประมวลผลเป็น Curve หรือสเปกตรัม ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และค่าความยาวคลื่น

3.4.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

โดยหลักการของ SEM แล้วภายในคอลัมน์ (Column) ของเครื่องจะเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron Gun) ซึ่งทำหน้าที่ปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา (Primary Electron) จะควบคุมจำนวนอิเล็กตรอนนั้นด้วยศักย์ไฟฟ้าสูงๆ (High Voltage) และใช้เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Lens) โฟกัสให้อิเล็กตรอนนั้นตกกระทบชิ้นงาน และเมื่ออิเล็กตรอนตกกระทบชิ้นงานจะเกิดอันตรกริยา (Interaction) ได้สัญญาณแบบต่างๆ เช่น สัญญาณจากอิเล็กตรอนในชิ้นงานที่หลุดออกมา (Secondary Electron) อิเล็กตรอนที่กระดอนกลับ (Backscattered Electron) หรือ X - Ray สัญญาณแต่ละชนิดจะถูกจับโดย Detector และแปลผลเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าและแปลเป็นภาพในที่สุด

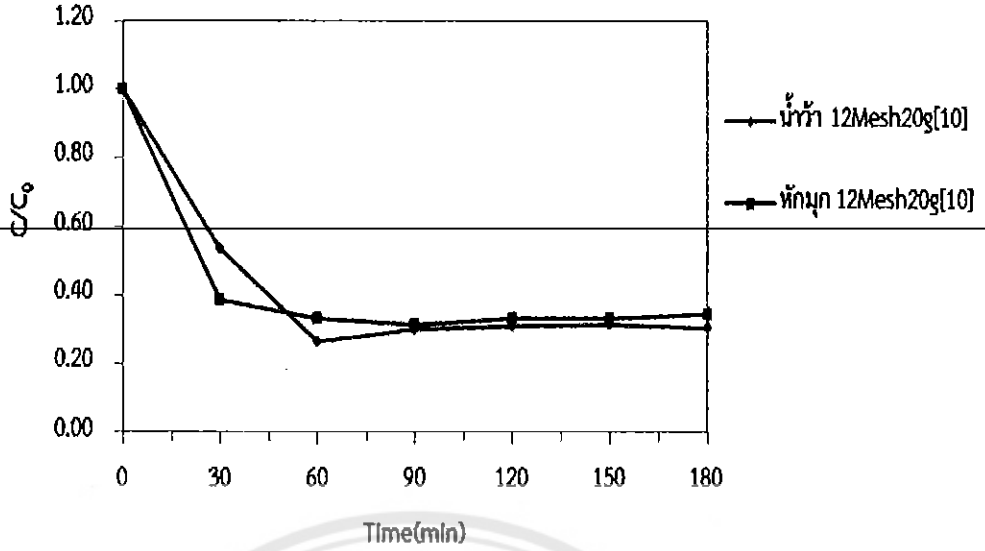
บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 การดูดซับสีย้อมในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

ตัวแปรที่ศึกษาหรือปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับสีย้อม Methylene Blue (MB) เช่น ชนิดของเปลือกกล้วย ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลู ปริมาณเปลือกกล้วย ขนาดของเปลือกกล้วย ความเป็นกรดด่างของสารละลายสีย้อม ซึ่งตัวแปรควบคุมคือ ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง ปริมาตรสรละลาย 250 มิลลิลิตร เวลาในการดูดซับของสีย้อม 3 ชั่วโมง โดยจะสามารถอธิบายปัจจัยเหล่านี้ได้จากผลการทดลองดังนี้

4.1.1 ชนิดของเปลือกกล้วย

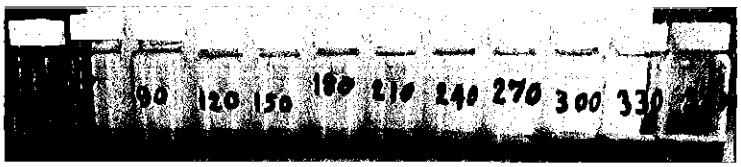
จากผลการทดลองผลกระทบที่เกิดขึ้นของชนิดเปลือกกล้วยต่อการดูดซับสีย้อมเมทิล-ลีนบลูในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ได้ศึกษาการดูดซับเปลือกกล้วย 2 ชนิด คือ เปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหักมุก ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลลีนบลูเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 250 มิลลิลิตรโดยใช้ปริมาณเปลือกกล้วย 20 กรัม จากผลการทดลองพบว่าในช่วงเวลาที่ 0 ถึง 30 นาที เปลือกกล้วยหักมุกมีการดูดซับได้ดีกว่าเปลือกกล้วยน้ำว้าโดยสามารถดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูได้ถึงร้อยละ 62 แต่เปลือกกล้วยน้ำว้าดูดซับได้เพียงร้อยละ 47 แต่หลังจากนาทีที่ 30 เปลือกกล้วยหักมุกจะมีการดูดซับน้อยลงจนเข้าสู่สมดุลและที่สมดุลพบว่าความสามารถในการดูดซับของเปลือกกล้วยหักมุกสามารถดูดซับได้ร้อยละ 68 อย่างไรก็ตามเปลือกกล้วยน้ำว้ายังสามารถดูดซับได้อย่างต่อเนื่องจนถึงนาทีที่ 60 แล้วจึงเริ่มเข้าสู่สมดุลที่สมดุลของเปลือกกล้วยน้ำว้าสามารถดูดซับได้ร้อยละ 71 ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การดูดซับของสีย้อมเมทิลลีนบลูระหว่างเปลือกกล้วยหักมุกและเปลือกกล้วยน้ำว้า ขนาด 12 Mesh ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 20 กรัม ณ อุณหภูมิห้อง

ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าเปลือกกล้วยน้ำว้ามีการดูดซับเมทิลลีนบลูได้ดีกว่าเปลือกกล้วยหักมุกทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพบสารสีเหลืองเข้มปนออกมากับน้ำตัวอย่างของเปลือกกล้วยหักมุกมากกว่าของเปลือกกล้วยน้ำว้า ดังแสดงในรูปที่ 4.2

กล้วยหักมุก

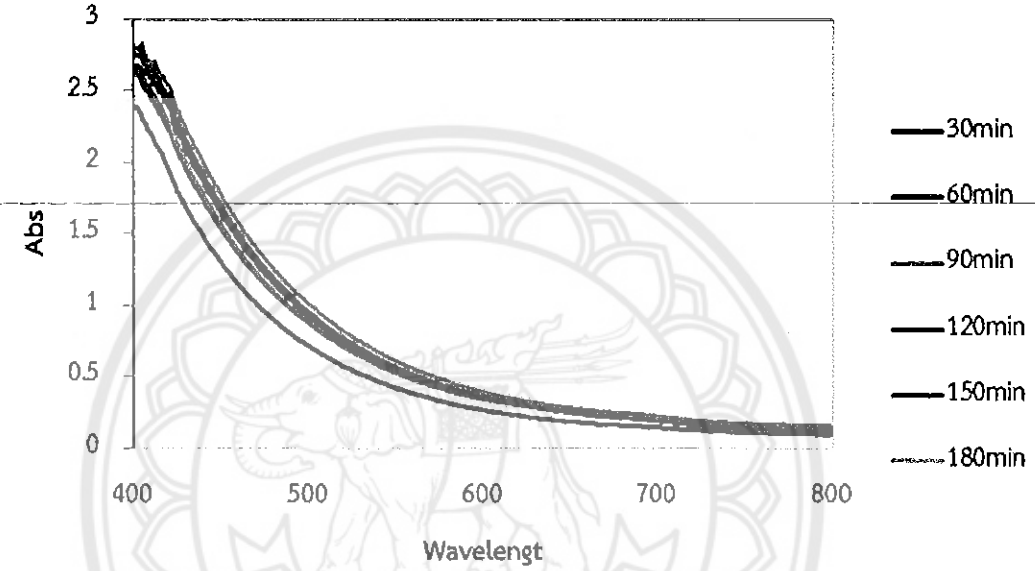


กล้วยน้ำว้า

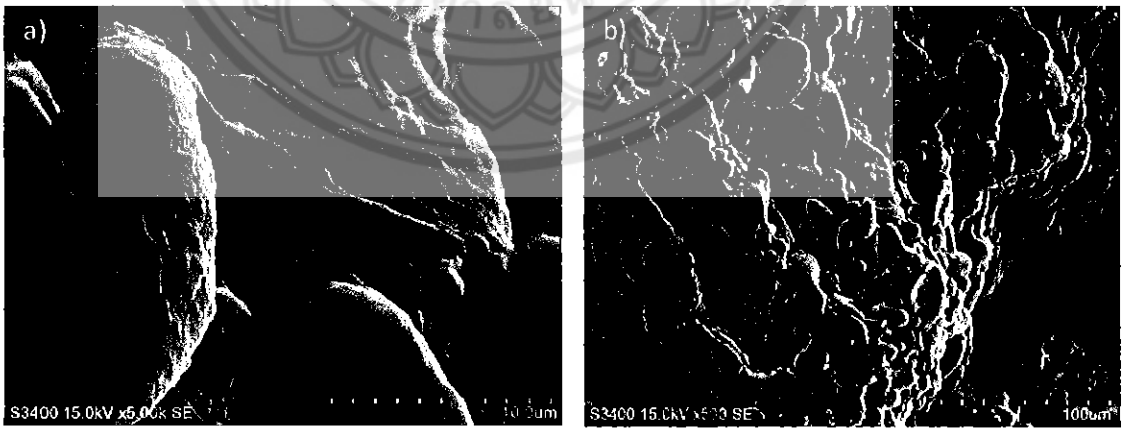
รูปที่ 4.2 เปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหักมุกปั่นกวนกับน้ำกลั่น

จึงสันนิษฐานว่าสารสีเหลืองอาจเป็นยางกล้วย จากนั้นได้ทำการทดลองนำเปลือกกล้วยน้ำว้ากับเปลือกกล้วยหักมุกไปปั่นกับน้ำกลั่นพบว่าเปลือกกล้วยหักมุกมีสารสีเหลืองออกมามากกว่าเปลือกกล้วยน้ำว้าจึงสามารถสรุปได้ว่ายางที่ติดบนเปลือกกล้วยหลุดออกมาและทำให้ขัดขวาง

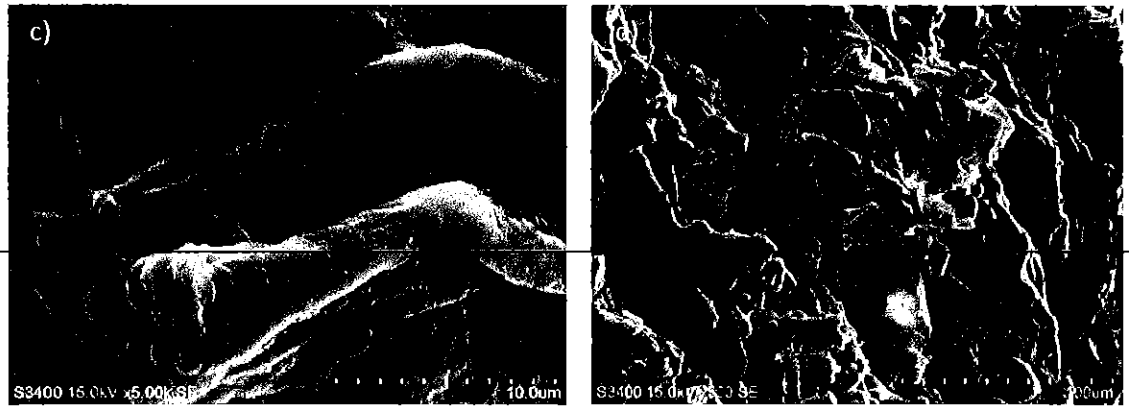
การดูดซับของเปลือกกล้วยหรือสีย้อมหลุดออกมาด้วยกับยางของเปลือกกล้วยที่หลุดออกมา เนื่องจากเราไม่ได้ทำการเผาเปลือกกล้วยที่อุณหภูมิสูง และได้ทำการตรวจสอบการดูดซับด้วยแสงของสารสีเหลืองที่พบในช่วง 664 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงของการดูดซับของสีย้อมเมทิลลีนบลูแล้ว พบว่าไม่มีการดูดซับที่ความยาวคลื่นดังกล่าว ดังนั้น ค่าการดูดซับที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร จึงเป็นค่าการดูดซับของสีย้อมเมทิลลีนบลูเพียงชนิดเดียว ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 รูปตัวอย่างค่าการดูดซับเปลือกกล้วยน้ำว้ากับน้ำกลั่น



รูปที่ 4.4 รูป SEM ของเปลือกกล้วยน้ำว้า a) กำลังขยาย 5000 เท่า b) กำลังขยาย 500 เท่า



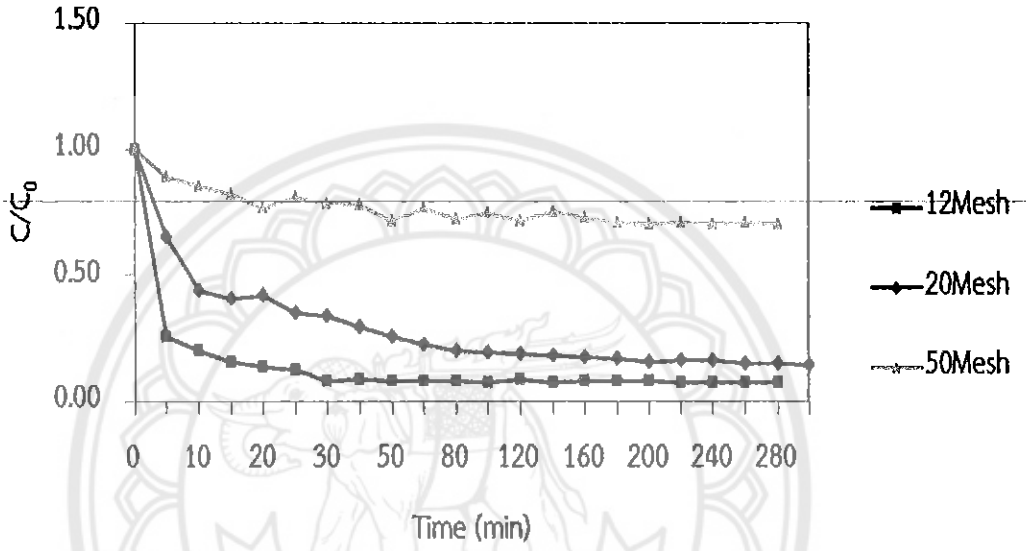
รูปที่ 4.4 (ต่อ) รูป SEM ของเปลือกกล้วยหักมุก c) กำลังขยาย 5000 เท่า d) กำลังขยาย 500 เท่า

จากรูปที่ 4.4 แสดงโครงสร้างภายในเปลือกกล้วยน้ำว้าและแสดงโครงสร้างภายในเปลือกกล้วยหักมุกจะเห็นได้ว่าเปลือกกล้วยน้ำว้าลักษณะภายในขรุขระไม่ราบเรียบมากกว่าเปลือกกล้วยหักมุกที่มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ จึงสามารถสรุปได้ว่าเปลือกกล้วยน้ำว้ามีความสามารถที่จะดูดซับสีย้อมได้ดีกว่าเปลือกกล้วยหักมุก

4.1.2 ขนาดของเปลือกกล้วย

การทดลองผลกระทบที่เกิดขึ้นจากขนาดของเปลือกกล้วยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ซึ่งเปลือกกล้วยที่เราใช้คือเปลือกกล้วยน้ำว้า และขนาดของเปลือกกล้วยที่ใช้ในการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลู คือ 50 Mesh (300 ไมโครเมตร) 20 Mesh (850 ไมโครเมตร) และ 12 Mesh (1.70 มิลลิเมตร) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิล-ลีนบลูเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณของเปลือกกล้วยคือ 3 กรัม จากการทดลองพบว่าเปลือกกล้วยขนาด 12 Mesh ในช่วงเวลา 20 นาทีแรกสามารถดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูได้ร้อยละ 85 หลังจากนาทีที่ 30 แล้วจึงเริ่มเข้าสู่สมดุลและที่สมดุลพบว่าความสามารถในการดูดซับของเปลือกกล้วยขนาด 12 Mesh มีค่าเท่ากับร้อยละ 91 เปลือกกล้วยขนาด 20 Mesh ในช่วงเวลา 20 นาทีแรกสามารถดูดซับสีย้อมได้ร้อยละ 58 และเข้าสู่สมดุลนาทีที่ 80 และที่สมดุลพบว่าความสามารถในการดูดซับของเปลือกกล้วยขนาด 20 Mesh มีค่าเท่ากับร้อยละ 80 และเปลือกกล้วยขนาด 50 Mesh ในช่วงเวลา 20 นาทีแรกสามารถดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูได้ร้อยละ 24 และหลังจากนาทีที่ 160 การดูดซับก็เข้าสู่สมดุลและที่สมดุลพบว่าความสามารถในการดูดซับของเปลือกกล้วยขนาด 50 Mesh มีค่าเท่ากับร้อยละ 29 จะเห็นได้ว่าเปลือกกล้วยขนาด 12 Mesh สามารถดูดซับเมทิลลีนบลูได้มากที่สุดร้อยละ 91 เนื่องจากเปลือกกล้วยขนาด 50 Mesh มียางออกมามากสุดและยางนี้มาขัดขวาง

การดูดซับสีย้อมของเปลือกกล้วยและยางที่หลุดออกมาอาจจะทำให้สีย้อมที่ติดกับเปลือกกล้วยหลุดออกมาด้วยจึงทำให้เปลือกกล้วยขนาด 50 Mesh มีความสามารถในการดูดซับน้อยกว่าเปลือกกล้วยขนาด 20 Mesh และ 12 Mesh ตามลำดับเปลือกกล้วยขนาด 12 Mesh มียางหลุดออกมาน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ดังนั้นการทดลองนี้เราจึงเลือกเปลือกกล้วยขนาด 12 Mesh มาใช้ในการทำการทดลอง

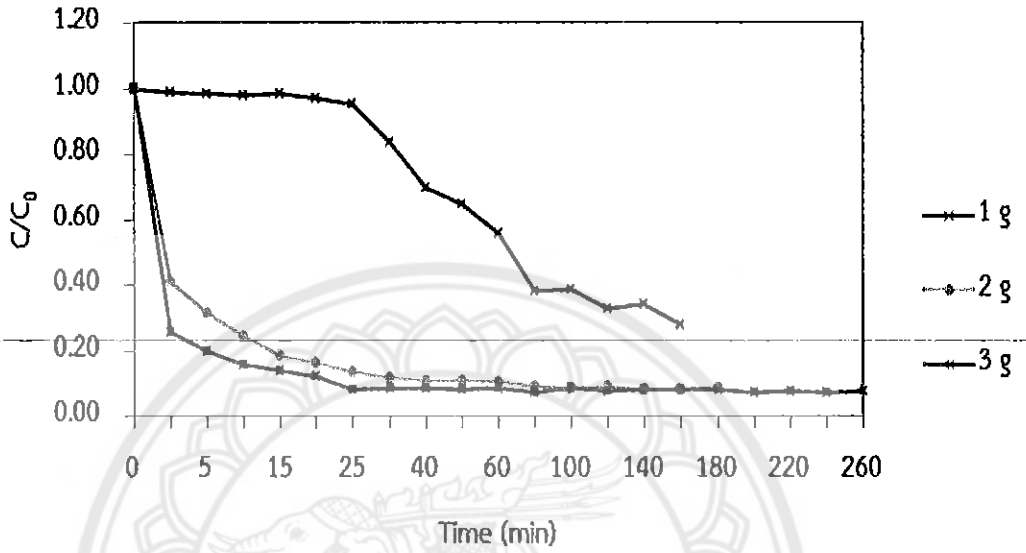


รูปที่ 4.5 การดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูด้วยเปลือกกล้วยน้ำว้าขนาด 50 20 และ 12 Mesh ปริมาณ 3 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ณ อุณหภูมิห้อง

4.1.3 ปริมาณเปลือกกล้วย

การทดลองผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปริมาณของเปลือกกล้วยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ซึ่งได้ศึกษาการดูดซับของเปลือกกล้วยน้ำว้าปริมาณ 1 2 และ 3 กรัม ขนาดเปลือกกล้วย 12 Mesh จากการทดลอง พบว่าในช่วง 15 นาทีแรก เปลือกกล้วยปริมาณ 1 กรัม สามารถดูดซับสีย้อม MB ได้ร้อยละ 2 และเริ่มมีการดูดซับมากขึ้นหลังจากนาทีที่ 25 เปลือกกล้วยปริมาณ 2 กรัม ในช่วง 15 นาทีแรกสามารถดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูได้ร้อยละ 81 และหลังจากนาทีที่ 40 เข้าสู่สมดุลและสามารถดูดซับสีย้อมได้ร้อยละ 88 และเปลือกกล้วย 3 กรัมในช่วงเวลา 15 นาทีแรกสามารถดูดซับสีย้อมได้ร้อยละ 85 และเริ่มเข้าสู่สมดุลนาทีที่ 25 เปลือกกล้วยสามารถดูดซับได้ร้อยละ 91 ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าที่เปลือกกล้วยขนาดเดียวกัน เปลือกกล้วยที่มีปริมาณมากจะสามารถดูดซับได้ดีกว่าเปลือกกล้วยที่ปริมาณน้อย เนื่องจากมีการเพิ่มปริมาณของตัวดูดซับเป็นการเพิ่มพื้นที่

ผิวสัมผัสระหว่างสารละลายสีย้อมกับตัวดูดซับ ทำให้มีพื้นที่ผิวในการจับกับสีย้อมได้มากขึ้น เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของตัวดูดซับมากกระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นเร็วและยังเป็นการเพิ่มความ สามารถการดูดซับสีย้อมอีกด้วย

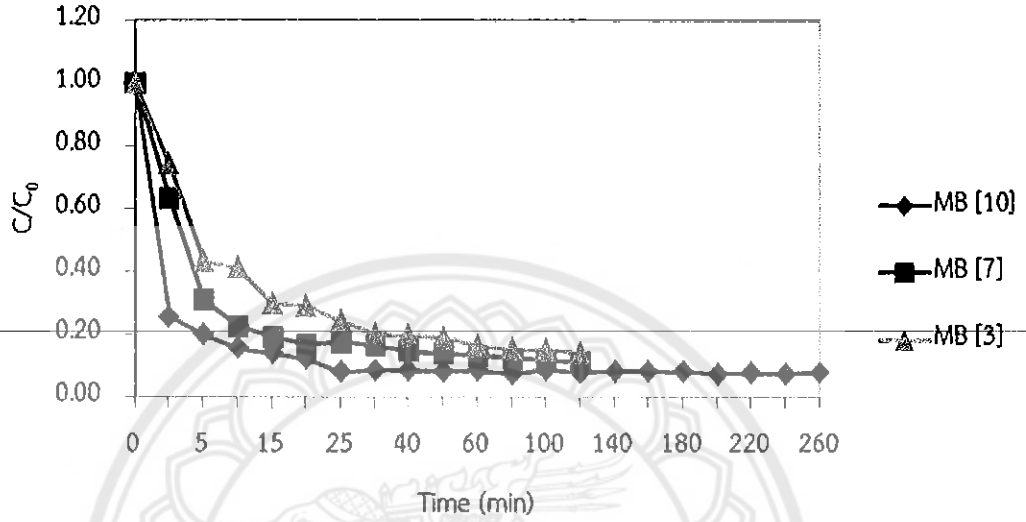


รูปที่ 4.6 การดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูด้วยเปลือกกล้วยน้ำว้าปริมาณ 1 2 และ 3 กรัม ขนาด 12 Mesh ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ณ อุณหภูมิห้อง

4.1.4 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลู (Methylene Blue)

การทดลองผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเมทิล-ลีนบลูในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ซึ่งได้ศึกษาที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลลีนบลูเท่ากับ 3 7 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวดูดซับที่ใช้ คือ เปลือกกล้วยน้ำว้าขนาด 12 Mesh จากการทดลองพบว่าในช่วงเวลา 5 นาทีแรก ความเข้มข้นเริ่มต้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงไปร้อยละ 56 และลดลงเรื่อยๆ จนเข้าสู่สมดุล ณ ที่สมดุลสามารถดูดซับได้ร้อยละ 84 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงเวลา 5 นาทีแรก สามารถดูดซับได้ร้อยละ 68 และหลังจากนาทีที่ 60 ความเข้มข้นลดน้อยลงจนเข้าสู่สมดุล ณ ที่สมดุลสามารถดูดซับได้ลดลงไปร้อยละ 87 และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วง 5 นาทีแรก สามารถดูดซับได้ร้อยละ 79 และหลังจากนาทีที่ 25 ความเข้มข้นลดลงจนเข้าสู่สมดุล ณ ที่สมดุลสามารถดูดซับได้ร้อยละ 91 แสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถดูดซับได้มากที่สุด รองลงมาเป็นความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 3 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ดังนั้นที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้นปริมาณการดูดซับจำเพาะที่สมดุลจะเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของสารละลายที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณ

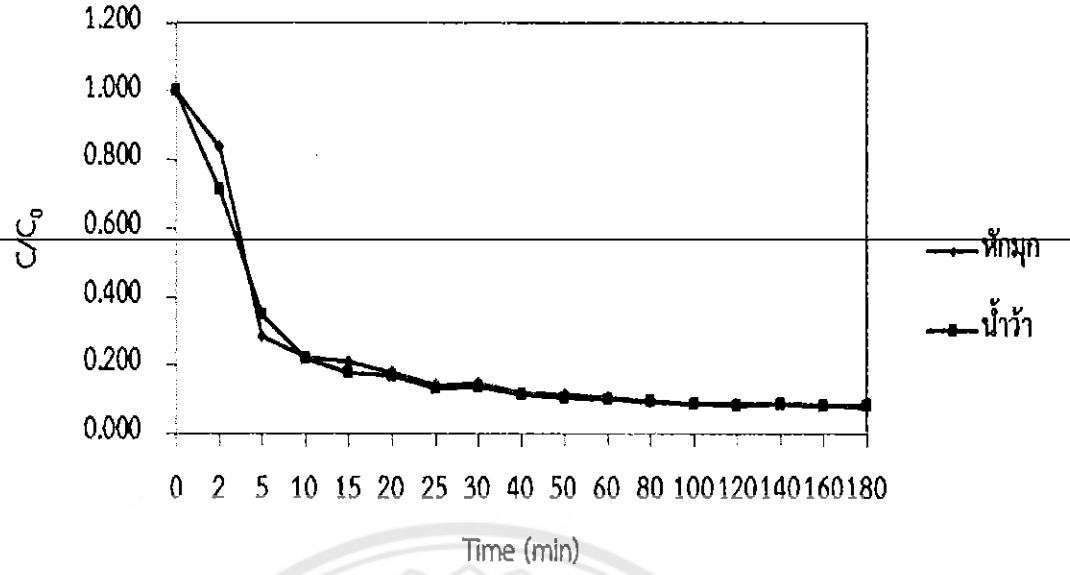
การดูดซับจำเพาะที่สมดุลเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเป็นการเพิ่มแรงขับดันให้เกิดการถ่ายเทมวลซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างปริมาณของสีย้อมบนตัวดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายทำให้ปริมาณการดูดซับที่สมดุลของตัวดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้น



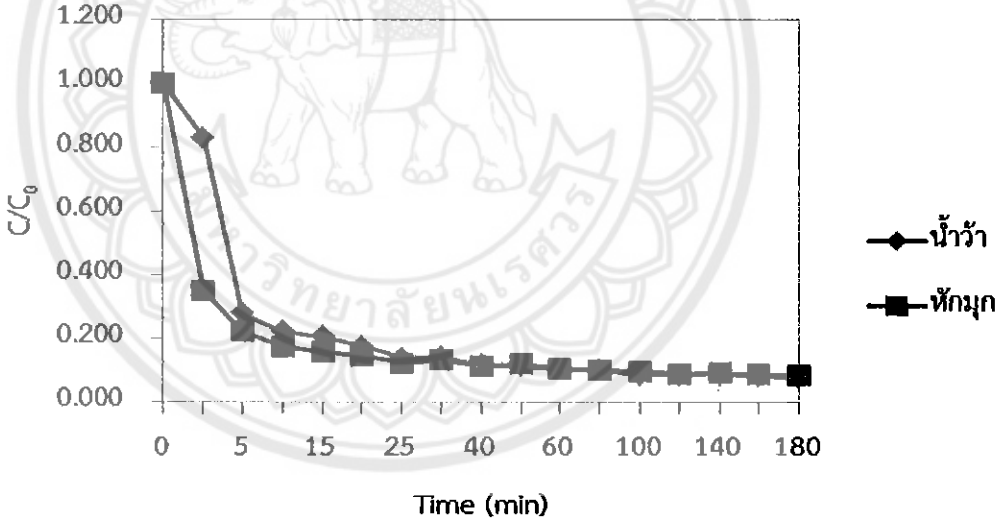
รูปที่ 4.7 ผลความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลลีนบลูของเปลือกกล้วยน้ำว้า **ขนาด** 12 Mesh ปริมาณ 3 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 3 7 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร **ณ อุณหภูมิห้อง**

4.1.5 ความเป็นกรดด่างของสีย้อมเมทิลลีนบลู (Methylene Blue)

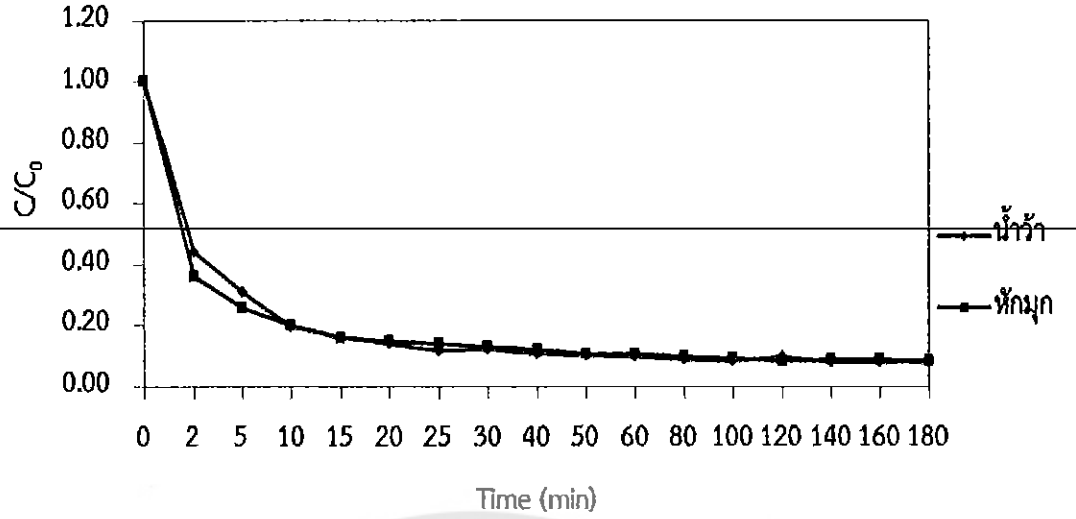
การศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากค่าความเป็นกรดด่างของสีย้อมเมทิลลีนบลูที่ pH=3 pH=7 และ pH=9 ที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับของเปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหักมุกที่ขนาด 12 Mesh ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลลีนบลูเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณเปลือกกล้วย 3 กรัม



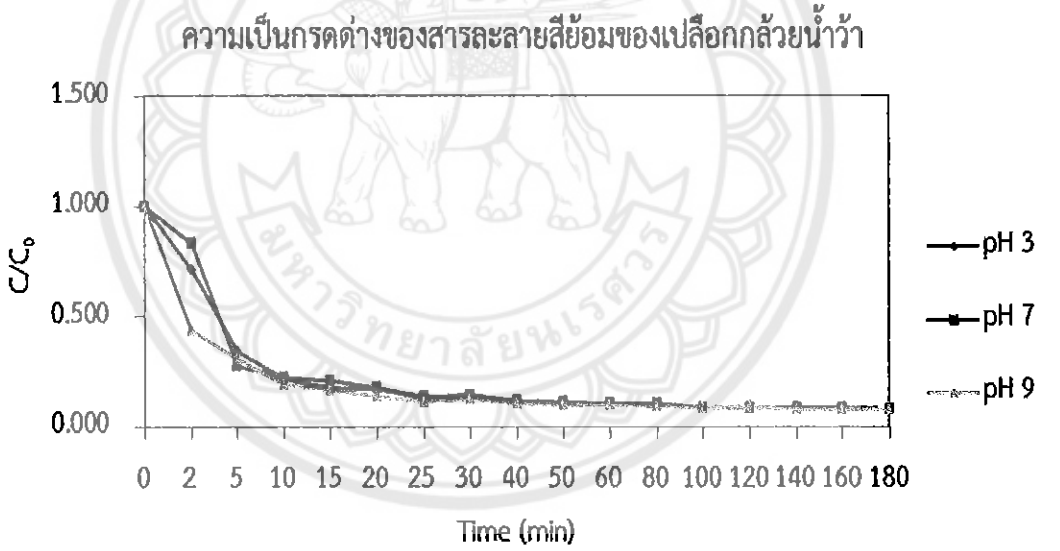
รูปที่ 4.8 ผลของการดูดซับของเปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหักมุก ขนาด 12 Mesh ปริมาณ 3 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH=3 ณ อุณหภูมิห้อง



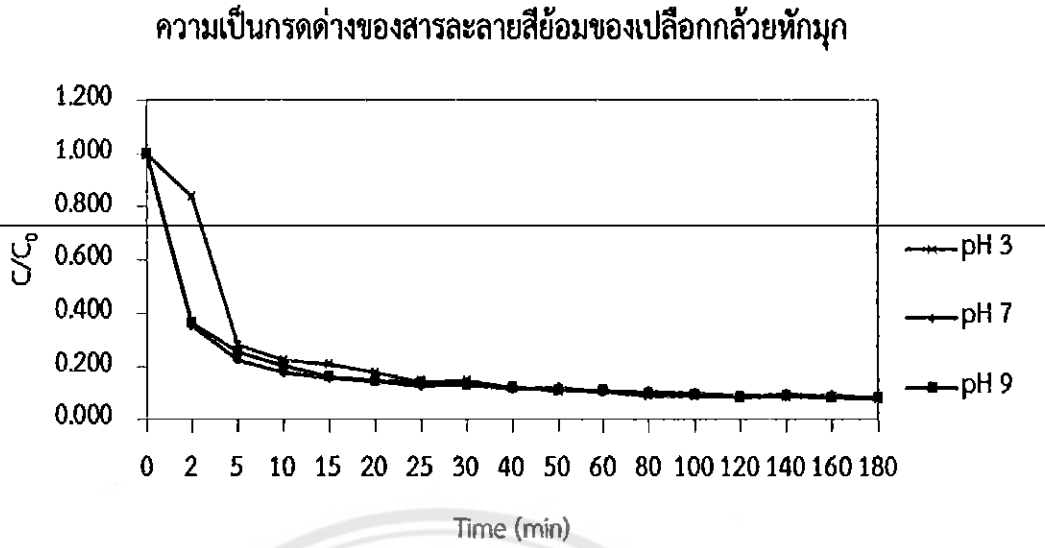
รูปที่ 4.9 ผลของการดูดซับของเปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหักมุก ขนาด 12 Mesh ปริมาณ 3 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH=7 ณ อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 4.10 ผลของการดูดซับของเปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหักมุกขนาด 12 Mesh ปริมาณ 3 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH=9 ณ อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบการดูดซับสีย้อมของเปลือกกล้วยน้ำว้าสารละลายสีย้อมที่ pH=3 pH=7 และ pH=9 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ขนาด 12 Mesh ปริมาณ 3 กรัม ณ อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบการดูดซับสีย้อมของเปลือกกล้วยหักมุกสารละลาย**สีย้อมที่** pH=3 pH=7 และ pH=9 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร **ขนาด** 12 Mesh ปริมาณ 3 กรัม ณ อุณหภูมิห้อง

ผลของการดูดซับของเปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหักมุก **ขนาดของเปลือกกล้วย** 12 Mesh ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลลีนบลูเท่ากับ 10 มิลลิกรัม**ต่อลิตร จากรูปที่** 4.8 **ถึง** 4.12 พบว่าเปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหักมุกที่ pH=9 ในช่วง**เวลาที่** 5 **นาทีแรก มีความสา**มารถในดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูได้มากกว่าที่ pH=3 และ pH=7 แต่**ที่** pH=3 pH=7 **และ** pH=9 **จะ**เริ่มเข้าสู่สมดุลพร้อมกันในนาทีที่ 25 ดังนั้น ค่าความเป็นกรดด่างของ**สารละลายสีย้อมจะมีผลต่อ**การดูดซับสีย้อมในช่วง 5 นาทีแรก

การดูดซับสีย้อมกรดเกิดได้ดีในสารละลายที่มี pH ต่ำและเมื่อเพิ่ม pH **ทำให้ปริมาณการดูดซับมีแนวโน้มที่ลดลงในขณะที่ตัวดูดซับสีย้อมประเภทสีย้อมเบสจะเกิดได้ดีในสารละลายที่มี** pH สูงเนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างประจุลบบนพื้นผิวของตัวดูดซับและประจุบวกบนโมเลกุลของสีย้อมและการลด pH ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะมีแนวโน้มลดลงและเนื่องจากสีย้อมเมทิลีนบลูเป็นสีย้อมที่เป็นเบส เมื่อเพิ่มค่า pH จึงทำให้มีปริมาณการดูดซับได้ดี และเมื่อลดค่า pH จะทำให้ปริมาณการดูดซับมีแนวโน้มลดลง

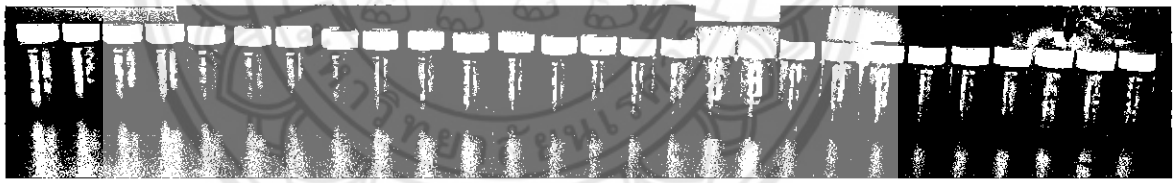
4.2 การดูดซับสีย้อมในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

ตัวแปรที่ศึกษาหรือปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลู เช่น ชนิดของเปลือกกล้วยซึ่งจะใช้เปลือกกล้วยที่ได้จากการเลือกจากการศึกษาในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ คือ เปลือกกล้วยน้ำว้า ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเมทิลลีนบลูเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ความสูงของเปลือกกล้วยที่ใช้ในการทำการทดลองที่ความสูง 3 9 และ 15 เซนติเมตร ขนาดของเปลือกกล้วยที่ใช้ขนาด 12 Mesh ซึ่งตัวแปรควบคุม คือ ความสูงของคอลัมน์ 30 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์ 1 เซนติเมตร ณ อุณหภูมิห้องโดยจะสามารถอธิบายปัจจัยเหล่านี้ได้จากผลการทดลองดังนี้

4.2.1 ความสูงของตัวดูดซับ

4.2.1.1 ความสูงของตัวดูดซับ 3 เซนติเมตร

ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลลีนบลูเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ขนาดของเปลือกกล้วย 12 Mesh โดยเก็บตัวอย่างสารละลายสีย้อมเป็นปริมาตร 3 มิลลิลิตรและเก็บทุกๆ 30 วินาทีเป็นเวลา 12 นาทีและหลังจากนั้นจะเก็บตัวอย่างสารละลายสีย้อมทุกๆ 1 ชั่วโมง รวมเวลาในการทดลอง 3 ชั่วโมง ผลการทดลองเป็นรูปที่ 4.13



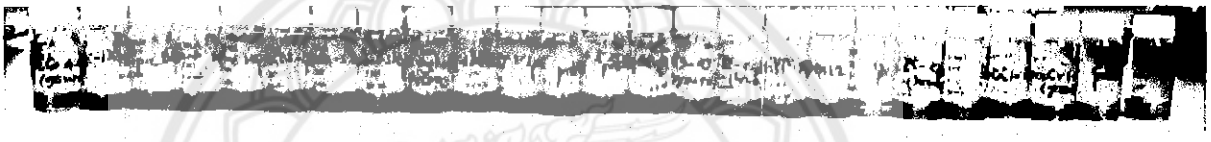
รูปที่ 4.13 ตัวอย่างสารละลายสีย้อม ณ เวลาต่างๆ

จากรูปพบว่าจากการเก็บตัวอย่างในขวดแรก คือ ในช่วงที่สารละลายสีย้อมผ่านตัวดูดซับครั้งแรกสีย้อมจะถูกดูดซับไปด้วยตัวดูดซับปริมาณหนึ่งสังเกตได้จากสีของสารละลายจะเปลี่ยนไป หลังจากเวลาผ่านไป 30 วินาที สารละลายสีย้อมยังมีสีฟ้าซึ่งเป็นสีปกติของสารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลูและสีจะค่อยๆ ลดความเข้มลงแต่ระยะเวลาในการทำการทดลอง 3 ชั่วโมง ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ได้จากการทดลองแบบกะเป็นระยะเวลาที่ตัวดูดซับอิ่มตัวแล้ว ไม่สามารถทำให้สารละลายสีย้อมถูกดูดซับไปได้หมด จากภาพเราจะเห็นว่าสารละลายสีย้อมจากการเก็บตัวอย่างจะเรียงลำดับความเข้มของสีจากมากไปน้อยทั้งนี้อาจเกิดจากเปลือกกล้วยยุ่ยทำให้เกิดการอัดตัวกันทำให้อัตราการไหลของสีย้อมลดลง ทำให้เวลาที่สีย้อมไหลผ่านตัวดูดซับมีมากขึ้นจึงทำให้มีการดูดซับได้เยอะขึ้นจึงทำให้สีย้อมลดลงและใสในที่สุด ซึ่งขัดแย้งกับทฤษฎีที่ว่า ในครั้งแรกของการดูดซับตัวอย่างสีย้อมที่เก็บ

ควรมีสีที่อ่อนที่สุดหรือมีสีใสของน้ำกลั่นและค่อยๆ เพิ่มความเข้มขึ้นจนเท่ากับสีของสารละลายสีย้อมเริ่มต้น อันเนื่องมาจากความสามารถของตัวดูดซับจะต้องเสื่อมสภาพตามระยะเวลาการใช้งาน เมื่อเวลาผ่านไปจึงทำให้สีย้อมหลุดออกมากับน้ำที่ไหลผ่าน

4.2.1.2 ความสูงของตัวดูดซับ 9 เซนติเมตร

ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลลีนบลูเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ขนาดของเปลือกกล้วย 12 Mesh โดยเก็บตัวอย่างสารละลายสีย้อมเป็นปริมาตร 3 มิลลิลิตรและเก็บทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลา 12 นาที หลังจากนั้นจะเก็บตัวอย่างสารละลายสีย้อมทุกๆ 1 ชั่วโมง รวมเวลาในการทดลอง 3 ชั่วโมง ผลการทดลองเป็นรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ตัวอย่างสารละลายสีย้อม ณ เวลาต่างๆ

จากรูปพบว่าจากการเก็บตัวอย่างในขวดแรก คือ ในช่วงที่สารละลายสีย้อมผ่านตัวดูดซับครั้งแรกสีย้อมจะถูกดูดซับไปด้วยตัวดูดซับปริมาณหนึ่งสังเกตได้จากสีของสารละลายจะเปลี่ยนไป หลังจากเวลาผ่านไป 30 วินาที สารละลายย้อมยังมีสีฟ้าซึ่งเป็นสีปกติของสารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลูและสีจะค่อยๆ ลดความเข้มลงแต่ระยะเวลาในการทำการทดลอง 3 ชั่วโมง ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ได้จากการทดลองแบบกะเป็นระยะเวลาที่ตัวดูดซับอิ่มตัวแล้ว ไม่สามารถทำให้สารละลายสีย้อมถูกดูดซับไปได้หมด จากภาพจะเห็นว่า สารละลายสีย้อมจากการเก็บตัวอย่างจะเรียงลำดับความเข้มของสีจากมากไปน้อย ซึ่งขัดแย้งกับทฤษฎีที่ว่า ในครั้งแรกของการดูดซับตัวอย่างสีย้อมที่เก็บควรมีสีที่อ่อนที่สุดหรือมีสีใสของน้ำกลั่นและค่อยๆ เพิ่มความเข้มขึ้นจนเท่ากับสีของสารละลายสีย้อมเริ่มต้น อันเนื่องมาจากความสามารถของตัวดูดซับจะต้องเสื่อมสภาพตามระยะเวลาการใช้งานเมื่อเวลาผ่านไปจึงทำให้สีย้อมหลุดออกมากับน้ำที่ไหลผ่านเสื่อมสภาพตามระยะเวลาการใช้งานเมื่อเวลาผ่านไปจึงทำให้สีย้อมหลุดออกมากับน้ำที่ไหลผ่าน ทั้งนี้อาจเกิดจากเปลือกกล้วยเปลือยทำให้เกิดการอัดตัวกันทำให้อัตราการไหลของสีย้อมลดลง ทำให้เวลาที่สีย้อมไหลผ่านตัวดูดซับมีมากขึ้นจึงทำให้มีการดูดซับได้เยอะขึ้นจึงทำให้สีย้อมลดลงและใสในที่สุด และจากการทดลอง พบว่าที่ความสูงของตัวดูดซับเท่ากับ 9 เซนติเมตร จะทำให้สารละลายสีย้อมถูกดูดซับได้ดีกว่าที่ 3 เซนติเมตร เปรียบเทียบได้จากระยะเวลาที่เท่ากันสีของสารละลายต่างกันโดยที่ความสูง 9 เซนติเมตร จะมีสีที่อ่อนกว่าที่ 3 เซนติเมตร

4.2.1.3 ความสูงของตัวดูดซับ 15 เซนติเมตร

ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลลีนบลูเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ขนาดของเปลือกกล้วย 12 Mesh โดยเก็บตัวอย่างสารละลายสีย้อมเป็นปริมาตร 3 มิลลิลิตรและเก็บทุกๆ 30 วินาทีเป็นเวลา 12 นาที หลังจากนั้นจะเก็บตัวอย่างสารละลายสีย้อมทุกๆ 1 ชั่วโมง รวมเวลาในการทดลอง 3 ชั่วโมง ผลการทดลองเป็นรูปที่ 4.15

รูปที่ 4.15 ตัวอย่างสารละลายสีย้อม ณ เวลาต่างๆ

จากรูปพบว่าจากการเก็บตัวอย่างในขวดแรก คือ ในช่วงที่สารละลายสีย้อมผ่านตัวดูดซับครั้งแรกสีย้อมจะถูกดูดซับไปด้วยตัวดูดซับปริมาณหนึ่งสังเกตได้จากสีของสารละลายจะเปลี่ยนไป หลังจากเวลาผ่านไป 30 วินาที สารละลายย้อมยังมีสีฟ้าซึ่งเป็นสีปกติของสารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลูและสีจะค่อยๆ ลดความเข้มลงแต่ระยะเวลาในการทำการทดลอง 3 ชั่วโมง ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ได้จากการทดลองแบบกะเป็นระยะเวลาที่ตัวดูดซับอิ่มตัวแล้ว ไม่สามารถทำให้สารละลายสีย้อมถูกดูดซับไปได้หมด จากภาพเราจะเห็นว่า สารละลายสีย้อมจากการเก็บตัวอย่างจะเรียงลำดับความเข้มของสีจากมากไปน้อย ซึ่งขัดแย้งกับทฤษฎีที่ว่า ในครั้งแรกของการดูดซับตัวอย่างสีย้อมที่เก็บควรมีสีที่อ่อนที่สุดหรือมีสีใสของน้ำกลั่นและค่อยๆ เพิ่มความเข้มขึ้นจนเท่ากับสีของสารละลายสีย้อมเริ่มต้น อันเนื่องมาจากความสามารถของตัวดูดซับจะต้องเสื่อมสภาพตามระยะเวลาการใช้งานเมื่อเวลาผ่านไปจึงทำให้สีย้อมหลุดออกมากับน้ำที่ไหลผ่านเสื่อมสภาพตามระยะเวลาการใช้งานเมื่อเวลาผ่านไปจึงทำให้สีย้อมหลุดออกมากับน้ำที่ไหลผ่าน ทั้งนี้อาจเกิดจากเปลือกกล้วยยุ่ยทำให้เกิดการอัดตัวกันทำให้อัตราการไหลของสีย้อมลดลง ทำให้เวลาที่สีย้อมไหลผ่านตัวดูดซับมีมากขึ้นจึงทำให้มีการดูดซับได้เยอะขึ้นจึงทำให้สีย้อมลดลงละใสในที่สุดและจากการทดลองพบว่าที่ความสูงของตัวดูดซับเท่ากับ 15 เซนติเมตร จะทำให้สารละลายสีย้อมถูกดูดซับได้ดีกว่าที่ 9 และ 3 เซนติเมตร เปรียบเทียบได้จากระยะเวลาที่เท่ากันสีของสารละลายต่างกันโดยที่ความสูง 15 เซนติเมตร จะมีสีที่อ่อนกว่าที่ 9 และ 3 เซนติเมตร

4.2.2 เวลาการอิ่มตัวของตัวดูดซับ

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นผู้ทำการทดลองได้ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งเพื่อหาเวลาที่ตัวดูดซับอิ่มตัวโดยทำการทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลลีนบลูเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ขนาดของเปลือกกล้วย 12 Mesh และความสูงของตัวดูดซับ 15 เซนติเมตร เช่นเดิม และเพิ่มเวลาในการเก็บตัวอย่างโดยเก็บตัวอย่างสารละลายสีย้อมเป็นปริมาตร 3 มิลลิลิตร และเก็บทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลา 12 นาที หลังจากนั้นจะเก็บตัวอย่างสารละลายสีย้อมทุกๆ 1 ชั่วโมง และ 5 ชั่วโมง รวมเวลาในผู้ทำการทดลอง 11 ชั่วโมง ผลการทดลองเป็นรูปที่ 4.16

รูปที่ 4.16 ตัวอย่างสารละลายสีย้อม ณ เวลาต่างๆ

จากรูปพบว่าจากการเก็บตัวอย่างในขวดแรก คือ ในช่วงที่สารละลายสีย้อมผ่านตัวดูดซับครั้งแรกสีย้อมจะถูกดูดซับไปด้วยตัวดูดซับปริมาณหนึ่งสังเกตได้จากสีของสารละลายจะเปลี่ยนไปหลังจากเวลาผ่านไปที่ 30 วินาที สารละลายย้อมยังมีสีฟ้าซึ่งเป็นสีปกติของสารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลูและสีจะค่อยๆ ลดความเข้มลงแต่ระยะเวลาในการทำการทดลอง 3 ชั่วโมง ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ได้จากการทดลองแบบกะเป็นระยะเวลาที่ตัวดูดซับอิ่มตัวแล้วและเพื่อหาความสามารถในการดูดซับสารละลายสีย้อมของตัวดูดซับจึงเพิ่มระยะเวลาในการทดลองเป็น 11 ชั่วโมง ผลปรากฏว่า ตัวดูดซับสามารถทำให้สารละลายสีย้อมถูกดูดซับไปได้หมดแต่ไม่ปรากฏถึงการเสื่อมสภาพของการดูดซับได้เนื่องจากไม่มีการหลุดของสีย้อมออกจากตัวดูดซับจากภาพเราจะเห็นว่า สารละลายสีย้อมจากการเก็บตัวอย่างจะเรียงลำดับความเข้มของสีจากมากไปน้อย ซึ่งขัดแย้งกับทฤษฎีที่ว่า ในครั้งแรกของการดูดซับตัวอย่างสีย้อมที่เก็บควรมีสีที่อ่อนที่สุดหรือมีสีใสของน้ำกลั่นและค่อยๆ เพิ่มความเข้มขึ้นจนเท่ากับสีของสารละลายสีย้อมเริ่มต้น อันเนื่องมาจากความสามารถของตัวดูดซับจะต้องเสื่อมสภาพตามระยะเวลาการใช้งานเมื่อเวลาผ่านไปจึงทำให้สีย้อมหลุดออกมากับน้ำที่ไหลผ่านเสื่อมสภาพตามระยะเวลาการใช้งานเมื่อเวลาผ่านไปจึงทำให้สีย้อมหลุดออกมากับน้ำที่ไหลผ่าน ทั้งนี้อาจเกิดจากเปลือกกล้วยยุ่ยทำให้เกิดการอัดตัวกันทำให้อัตราการไหลของสีย้อมลดลง ทำให้เวลาที่สีย้อมไหลผ่านตัวดูดซับมีมากขึ้นจึงทำให้มีการดูดซับได้เยอะขึ้นจึงทำให้สีย้อมลดลงละใสในที่สุด และจากการทดลองพบว่าที่ความสูงของตัวดูดซับเท่ากับ 15 เซนติเมตร จะทำให้สารละลายสีย้อมถูกดูดซับได้ดีกว่าที่ 9 และ 3 เซนติเมตร เปรียบเทียบได้จากระยะเวลาที่เท่ากันสีของสารละลายต่างกันโดยที่ความสูง

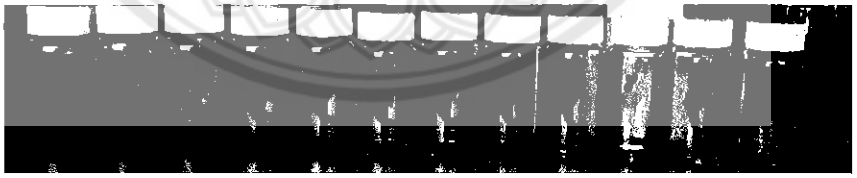
15 เซนติเมตร จะมีสีที่อ่อนกว่าที่ 9 และ 3 เซนติเมตร ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองในครั้งแรกที่สภาวะเดียวกัน

4.2.3 ออกแบบบรรจุตัวดูดซับ

เพื่อแก้ไขปัญหาการอัดตัวของตัวดูดซับซึ่งส่งผลต่ออัตราการไหลของสีย้อมที่ลดลงจึงทำการออกแบบการบรรจุตัวดูดซับใหม่โดยการบรรจุเปลือกกล้วยสลับกับเส้นใยแก้ว โดยความสูงของตัวดูดซับเท่ากับ 1 3 และ 15 เซนติเมตร โดยสภาวะที่ใช้ในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลูเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ขนาดของเปลือกกล้วย 12 Mesh ที่อุณหภูมิห้องใช้เวลาในการทดลองทั้งหมด 3 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.17 ถึง 4.19

รูปที่ 4.17 ความสูงของตัวดูดซับ 1 เซนติเมตร

รูปที่ 4.18 ความสูงของตัวดูดซับ 3 เซนติเมตร



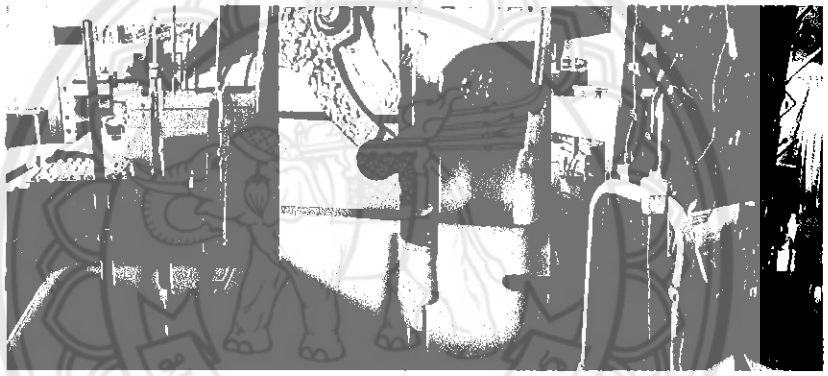
รูปที่ 4.19 ความสูงของตัวดูดซับ 15 เซนติเมตร

จากรูปเป็นตัวอย่างสารละลายสีย้อมที่เก็บได้จากการออกแบบการบรรจุตัวดูดซับโดยการบรรจุเปลือกกล้วยสลับกับเส้นใยแก้ว ที่ความสูงของตัวดูดซับเท่ากับ 1 3 และ 15 เซนติเมตร ตามลำดับ ผลที่ได้ คือ ที่ความสูงของตัวดูดซับ 1 และ 3 เซนติเมตร พบว่ามีแนวโน้มในทางเดียวกัน คือ สีของสารละลายสีย้อมลดลงตามลำดับแต่ระยะเวลาของการทดลองทั้งหมด 3 ชั่วโมง ไม่สามารถหาความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับได้และอัตราการไหลของสารละลายสีย้อมลดน้อยลง สังเกตได้จากปริมาตรของสารละลายในแต่ละขวดที่เก็บในเวลาที่เท่ากัน แต่ที่ความสูงของตัวดูดซับ

15 เซนติเมตร สีของสารละลายสีย้อมจะลดลงจากสีฟ้าจนกระทั่งใส แต่อัตราการไหลของสารละลายสีย้อมลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ดูจากกการเก็บตัวอย่างสารละลายสีย้อมที่เวลาเท่าๆ กันปริมาตรที่เก็บได้จะลดลงจากช่วงแรก

4.2.4 การออกแบบทิศทางการไหลของสารละลายสีย้อมในกระบวนการดูดซับแบบเบดนิ่ง

จากการออกแบบการบรรจุตัวดูดซับทั้งหมดข้างต้นไม่สามารถแก้ไขปัญหาการลดลงของอัตราการไหลของสีย้อมได้ จึงทดลองโดยการเปลี่ยนทิศทางการไหลของสารละลายสีย้อม โดยป้อนจากด้านล่างของคอลัมน์เพื่อช่วยในการลดการอัดตัวของตัวดูดซับและในการบรรจุตัวดูดซับจะทำการอัดให้แน่น



รูปที่ 4.20 ภาพแสดงทิศทางการไหลของสารละลายสีย้อมในกระบวนการดูดซับแบบเบดนิ่ง

จากรูปที่ 4.20 เป็นรูปแสดงการไหลสารละลายสีย้อมจากด้านล่างของคอลัมน์ที่ความสูงของตัวดูดซับ 3 เซนติเมตร โดยบรรจุตัวดูดซับสลับกับเส้นใยแก้ว พบว่าสารละลายสีย้อมเมื่อผ่านตัวดูดซับแล้วจะใสทันทีและเมื่อทำการการทดลองโดยปล่อยให้ไหลผ่านไปเรื่อยๆ พบว่ายังคงมีสีที่ใสเช่นเดิม แต่ที่เวลาใดๆ ไม่มีตัวอย่างสารละลายสีย้อมของเมทิลลีนบลูจะกลับมาเช่นเดิมและอัตราการไหลของสารละลายสีย้อมไม่คงที่โดยจะลดลงเรื่อยๆ จนไม่สามารถไหลผ่านตัวดูดซับได้

ดังนั้นจากการทดลองในส่วนของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งทั้งหมดรวมทั้งการออกแบบการแก้ไขปัญหาการลดลงของอัตราการไหลของสารละลายสีย้อมอันเนื่องมาจากการอัดตัวของตัวดูดซับไม่มีทางใดในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ในขอบเขตของโครงงานนี้ การทดลองในแบบคอลัมน์จึงไม่สามารถทำการทดลองต่อไปได้ซึ่งแนวทางในการแก้ไขได้เสนอแนะไว้ในบทต่อไป

4.3 จลนพลศาสตร์เคมี

ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูด้วยเปลือกกล้วยน้ำว้า ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลลีนบลูเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ขนาด 12 Mesh ปริมาณ 3 กรัม คำนวณโดยใช้กฎอัตรา ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero Order) ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First Order) และปฏิกิริยาอันดับสอง (Second Order) ซึ่งเป็นค่าความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยากับค่าคงที่และความเข้มข้นของสารตั้งต้น ดังแสดงในสมการที่ 4.1 ถึง 4.3 และ รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นที่ถูกดูดซับสารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลูจากเปลือกกล้วยน้ำว้า

สมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์

$$C_t = C_0 - k_0 t \qquad (4.1)$$

สมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

$$\ln C_t = \ln C_0 - k_1 t \qquad (4.2)$$

สมการปฏิกิริยาอันดับสอง

$$1/C_t = 1/C_0 + k_2 t \qquad (4.3)$$

โดย k_0 คือ ค่าคงที่จลนพลศาสตร์อันดับศูนย์

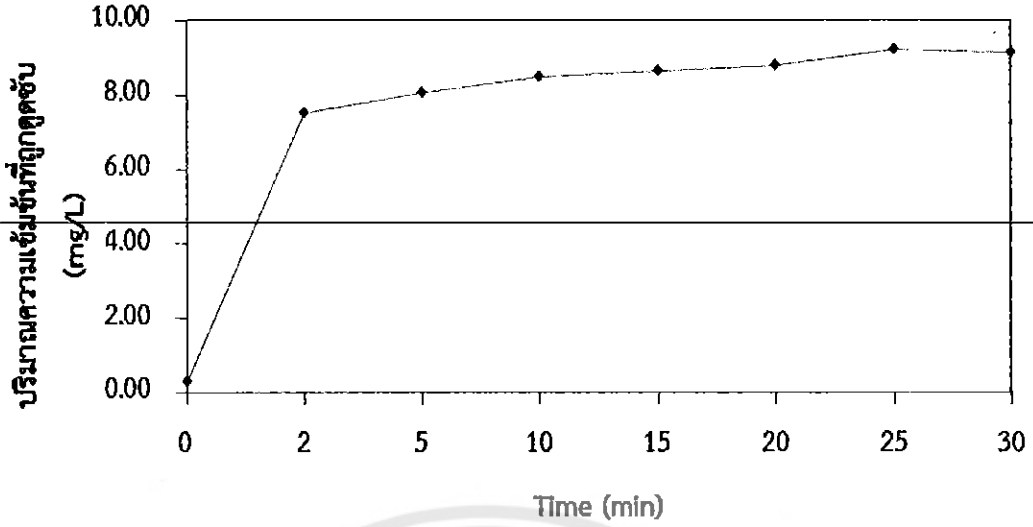
k_1 คือ ค่าคงที่จลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง

k_2 คือ ค่าคงที่จลนพลศาสตร์อันดับสอง

C_0 คือ ความเข้มข้นสารละลาย MB ณ เวลาเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

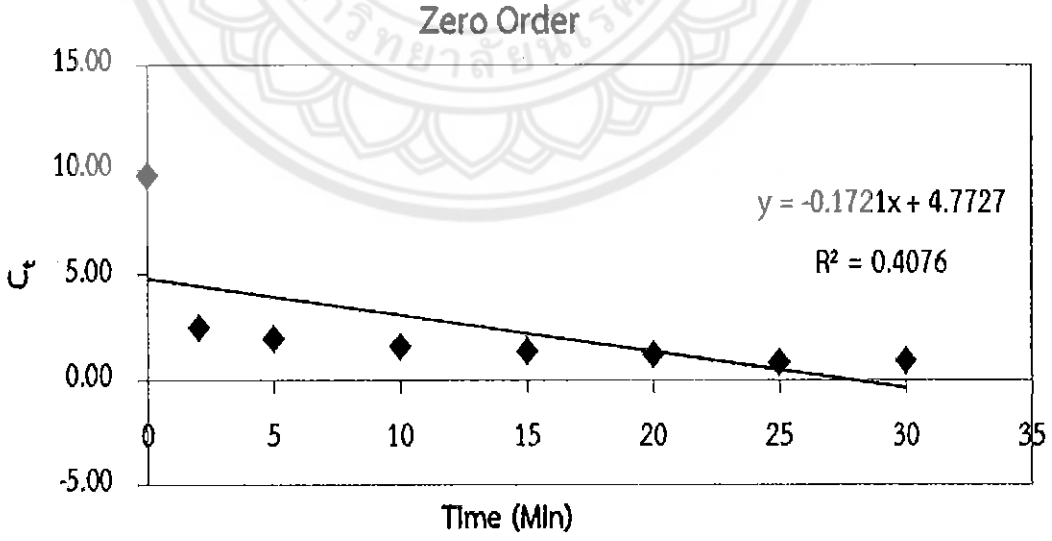
C_t คือ ความเข้มข้นสารละลาย MB ณ เวลา t ใดๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

t คือ เวลา (นาที)

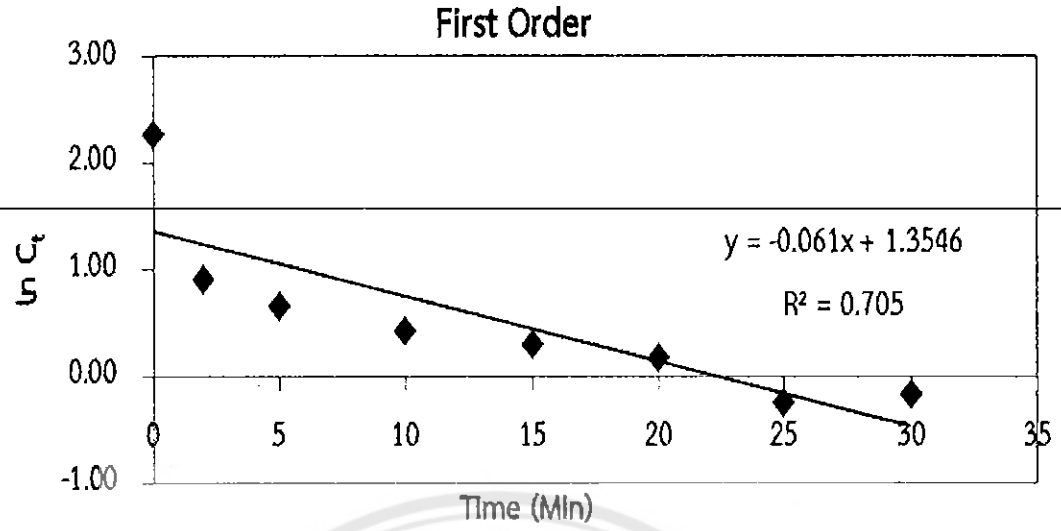


รูปที่ 4.21 ปริมาณที่ถูกดูดซับสารละลายเมทิลลีนบลูจากเปลือกกล้วยน้ำว้า ขนาด 12 Mesh ปริมาณ 3 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ณ อุณหภูมิห้อง

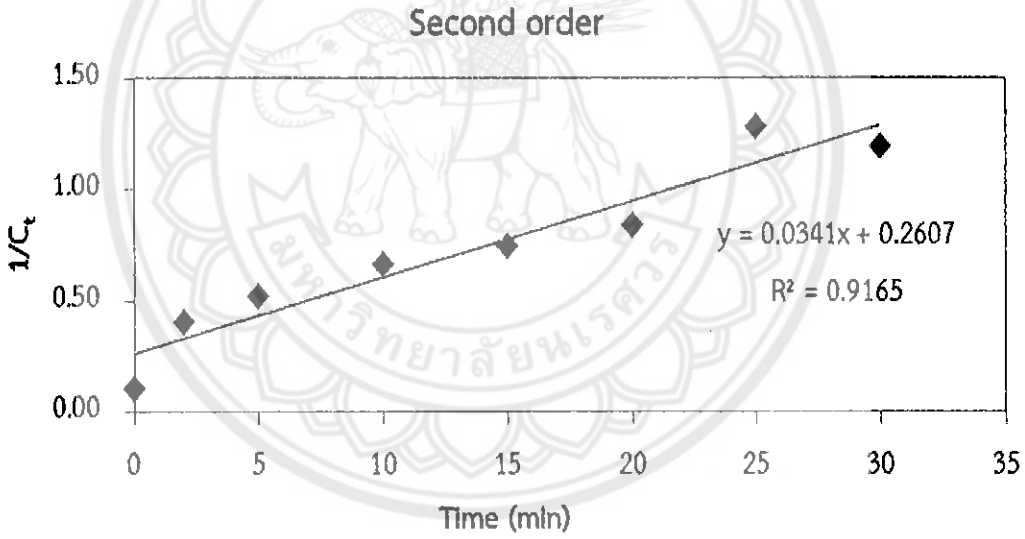
จากการเปรียบเทียบจลนพลศาสตร์การดูดซับสารละลายเมทิลลีนบลู อธิบายถึงความเข้มข้นของสารละลายเมทิลลีนบลูมีค่าเท่าใด ณ เวลาต่างๆ โดยคำนวณได้จากสมการที่ 4.1 ถึง 4.3 สามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.22 ถึง 4.24



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงปฏิกิริยาอันดับศูนย์เขียนกราฟระหว่าง C_t กับ t



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเขียนกราฟระหว่าง ln (C_t/C_0) กับ t



รูป 4.24 กราฟแสดงปฏิกิริยาอันดับสองเขียนกราฟระหว่าง $1/C_t$ กับ t

ตารางที่ 4.1 แสดงจลนพลศาสตร์ของการดูดซับสีย้อม MB ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์หนึ่งและสอง

	Zero Order		First Order		Second Order	
	K_0	R^2	K_1	R^2	K_2	R^2
น้ำว้า	*0.1721*	*0.4076*	*0.061*	*0.705*	*0.0341*	*0.9165*

จากรูปที่ 4.22 ถึง 4.24 และ ตารางที่ 4.1 พบว่าการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูด้วยเปลือกกล้วยน้ำว้า ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลลีนบลูเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ขนาดเปลือกกล้วยที่ใช้ 12 Mesh ปริมาณเปลือกกล้วย 3 กรัม ที่เวลา 0 ถึง 30 นาที ซึ่งเป็นเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลมีค่าความเป็นไปได้ในจลนพลศาสตร์ปฏิกิริยาอันดับสองมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9165 และค่าคงที่อัตราเร็ว (K_2) เท่ากับ 0.0341 สามารถสรุปได้ว่า ณ เวลาเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับสารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลูเพิ่มมากขึ้น จนเข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่งสมดุลจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการดูดซับและการคายการดูดซับเท่ากันทำให้ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับจะเท่ากับความเข้มข้นในสารดูดซับ

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาถึงการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูด้วยเปลือกกล้วยโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะและเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง โดยศึกษาในปัจจัยต่างๆ ดังนี้ ชนิดของเปลือกกล้วย ขนาดของเปลือกกล้วย เวลาที่ใช้ในการศึกษา ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม ปริมาณของเปลือกกล้วย ความเร็วรอบในการปั่นกวน ปริมาณสารละลายสีย้อม ความเป็นกรดด่างของสารละลาย อัตราการไหลของสารละลายสีย้อม และความสูงของตัวดูดซับ ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลการทดลองสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

ผลการดูดซับเมทิลลีนบลูด้วยเปลือกกล้วย พบว่าเปลือกกล้วยน้ำว้ามีประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีกว่าเปลือกกล้วยหักมุก ขนาดของเปลือกกล้วย 12 Mesh ปริมาณของเปลือกกล้วยที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 3 กรัม ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลูเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายสีย้อมไม่มีผลต่อการดูดซับของตัวดูดซับและนำสภาวะต่างๆ เหล่านี้ไปใช้ในการทดลองในแบบเบดนิ่งต่อไป

5.1.2 การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

สรุปผลการทดลองเมื่อให้ความสูงของเปลือกกล้วยน้ำว้าซึ่งใช้เป็นตัวดูดซับในคอลัมน์สูง 3 9 และ 15 เซนติเมตร พบว่าไม่สามารถทำการทดลองได้เนื่องจากในทุกๆ ความสูงของตัวดูดซับเมื่อมีการไหลผ่านของสารละลายสีย้อมจะเกิดการอัดตัวของตัวดูดซับทำให้อัตราการไหลของสารละลายสีย้อมไม่คงที่จึงทำการออกแบบการบรรจุเปลือกกล้วยลงในคอลัมน์ใหม่เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการบรรจุเปลือกกล้วย 0.5 มิลลิเมตร สลับกับการบรรจุเส้นใยแก้ว 0.5 มิลลิเมตร เพื่อช่วยลดการอัดตัวของตัวดูดซับแต่การแก้ไขปัญหาดังกล่าวยังไม่สามารถทำได้เนื่องจากอัตราการไหลของสารละลายสีย้อมยังลดลงเช่นเดิม จึงทำการเปลี่ยนทิศทางการไหลผ่านของสารละลายสีย้อมเข้าสู่คอลัมน์เพื่อต้านการอัดตัวของตัวดูดซับ ผลปรากฏว่าเมื่อสารละลายสีย้อมไหลผ่านตัวดูดซับสีของสารละลายสีย้อมจะใสทันทีแต่ไม่มีการหลุดของโมเลกุลของสารละลายสีย้อมออกมาทำให้ไม่สามารถหาประสิทธิภาพของ

ตัวดูดซับได้และเมื่อเวลาผ่านไปก็ยังเกิดการอัดตัวของตัวดูดซับเช่นเดิมสังเกตได้จากปริมาตรของสารละลายที่เก็บในช่วงระยะเวลาที่เท่าๆ กันจะเกิดการลดลงอย่างชัดเจน จากการแก้ไขปัญหาทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า ไม่สามารถทำการทดลองในแบบคอลัมน์ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาการอัดตัวของตัวดูดซับนิ่งในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งและการหลุดของยางที่ติดอยู่ที่ผิวของเปลือกกล้วยการแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่ไม่สามารถแก้ไขได้ อาจเนื่องมาจากเปลือกกล้วยที่ใช้ในการทำการทดลองไม่ได้ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงภายใต้ก๊าซไฮโดบรรยากาศไนโตรเจนเพื่อเปลี่ยนเซลลูโลสให้เป็นคาร์บอนจึงเกิดปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นทำให้การทดลองไม่ประสบความสำเร็จในการทดลองครั้งต่อไปจึงมีข้อเสนอแนะให้ทำการเผาเปลือกกล้วยก่อนนำไปใช้เป็นตัวดูดซับ

เอกสารอ้างอิง

[1] P. Cooper. (1993). Removing Colour from Dyehouse Wastewaters a Critical Review of Technology available. **JSDC.** 109, pp. 97–100.

[2] Y. Al-Degs, M.A.M. Khraisheh, S.J. Allen, M.N. Ahmad. (2000). Effect of Carbon Surface Chemistry on the Removal of Reactive Dyes from Textile Effluents. **Water Res.** pp. 349.

[3] R. Easton, P. Cooper. (1995). Colour in Dyehouse Effluent, Society of Dyers and Colourists. **The Alden Press.** Oxford. pp. 9–21.

[4] I.A.W. Tan, A.L. Ahmad, and B.H. Hameed, J. Hazard. Mater. (2008). Adsorption of Basic Dye on High-Surface-Area Activated Carbon Prepared from Coconut Husk: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies. **Chemical Engineering Journal.** Vol.154, pp. 337-346.

[5] W.L. Mc Cabe, J.C. Smith, P. Harriot. (1985). **Unit Operations of Chemical Engineering, 4th ed.** Mc Graw-Hill Book CO. New York.

[6] S.D. Faust, O.M. Aly. (1998). Chemistry of Water Treatment, 2nd ed. **Ann Arbor Press,** Inc, Michigan.

[7] **นครินทร์ แพรชาย. (2549). การกำจัดสีย้อมผ้าจากน้ำล้างสีย้อมผ้าโดยการใช้แกลบที่ปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[8] T. Shen. (1995). Industrial Pollution Prevention. **Spring-Verlag,** Berlin.

[9] L. Michaelis, M. P. Schubert, S. Granick. (1940). Semiquinone Radicals of The Thiazines. J. Am. **Chem. Soc.** 62 (1), pp. 204–211.

[10] J. Cenens and R. A. Schoonheydt. (1988). Visible Spectroscopy of Methylene Blue on Hectorite, Lapponite B, and Barasym in Aqueous Suspension. **Clay and Clay Minerals.** 36 (3), pp. 214–224.

[11] B. Smith, T. Koonce, S. Hudson. (1993). Decolorizing Dye Wastewater Using Chitosan. Am. **Dyestuff Rep.** 82, pp. 18–36.

[12] โกวิทย์ปิยะมังคลา และคณะ. (2551). **จลนศาสตร์การดูดซับโครเมียม (VI) จากโรงงานชุบโลหะโดยใช้ไคโตซานเรซิน.** วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 18(1), 16-25.

[13] Mehmet Dogan, HarunAbak, and MahirAlkan, J. Hazard. Mater. (2009). **Conceptual Design of Chemical Processes.** Mc Graw-Hill Book CO. New York.

[14] Mamdouh M. Nassar and Yehia H. Magdy. (1997). Removal of Different Basic Dyes from Aqueous Solutions by Adsorption on Palm-Fruit Bunch Particles. **Chemical Engineering Journal.** 66, pp. 223-226.

[15] B. Bestani, N. Benderdouche, B. Benstaali, M. Belhakem, and A. Addou. (2008). Bioresour. **Technol**. Vol. 99, pp. 8441-8444.

[16] K. Santhy, P. Selvapathy. (2006). Removal of Reactive Dyes from Wastewater by Adsorption on Coir Pith Activated Carbon. **Bioresource Technology.** 97, pp. 1329–1336.

[17] Emad N. El Qada, Stephen J. Allen, Gavin M. Walker. (2008). Adsorption of Basic Dyes from Aqueous Solution onto Activated Carbons. **Chemical Engineering Journal.** 135, pp. 174–184.

[18] K. Vijayaraghavan, Sung Wook Won, Yeoung-Sang Yun. (2009). Treatment of Complex Remazol Dye Effluent using Sawdust and Coal-Basedactivated Carbons. **Journal of Hazardous Materials.** 167, pp. 790–796.

[19] M. Dogan et al. (2009). Adsorption of Methylene Blue onto Hazelnut Shell: Kinetics, Mechanism and Activation Parameters. Journal **of Hazardous Materials.** 164, pp. 172-181.

[20] Y. Xue et al. (2009). Adsorption Removal of Reactive Dyes from Aqueous Solution by Modified Basic Oxygen Furnace Slag. Isotherm and kinetic study, **Chemical Engineering Journal.** 147, pp. 272-279.

[21] D.K. Mahmoud et al. (2012). Batch Adsorption of Basic Dye Using Acid Treated Kenaffibre Char. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies, **Chemical Engineering Journal.** 181- 182, pp. 449-457.

[22] P.K. Malik. (2003). Dyes Pigments. Vol. 56, pp. 239-249.

[23] Yahya S. Al-Degs, Musa I. El-Barghouthi, Amjad H. El-Sheikh, and Gavin M. Walker. (2008). **Dyes Pigments.** Vol. 77, pp. 16-23.

[24] Jonas Margot, Cornelia Kienle, Anoys Magnet, Mirco Weil d, Luca Rossi, Luiz Felippe de Alencastro, et al. (2013). Treatment of Micropollutants in Municipal Wastewater: Ozone or Powdered Activated Carbon. **Science of the Total Environment**. 461–462, pp. 480–498.

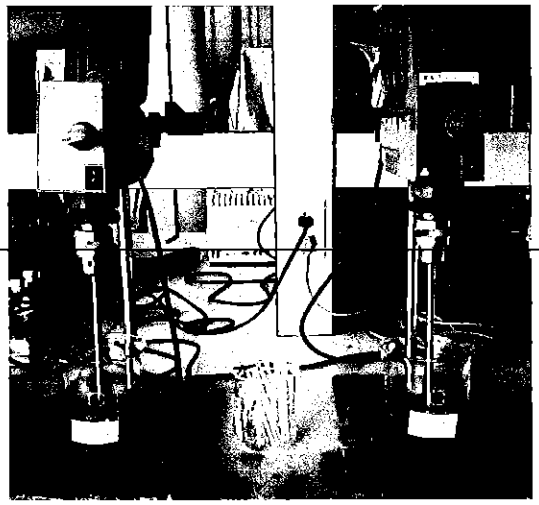
[25] Katrina A. Indarawis, Treavor H. Boyer. (2013). Superposition of Anion and Cation Exchange for Removal of Natural Waterions. **Separation and Purification Technology.** 118, pp. 112–119.

[26] Yalei Zhang, Yangying Zhao, Huaqiang Chu, Xuefei Zhou. (2014). BingzhiDong, Dewatering of Chlorella Pyrenoidosa using Diatomite Dynamicmembrane: Filtration Performance, Membrane Fouling and Cake Behavior. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**. 113, pp. 458–466.

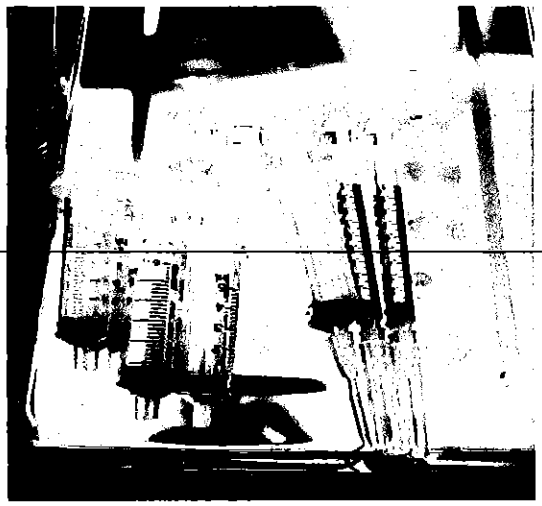
[27] Akshaya Kumar Verma, Rajesh Roshan Dash, PuspenduBhunia. (2012). A Review on Chemical Coagulation/Flocculation Technologies for Removal of Colour from Textile Wastewaters. **Journal of Environmental Management.** 93, pp. 154-168.

ภาคผนวก ก

อุปกรณ์ในการทดลอง



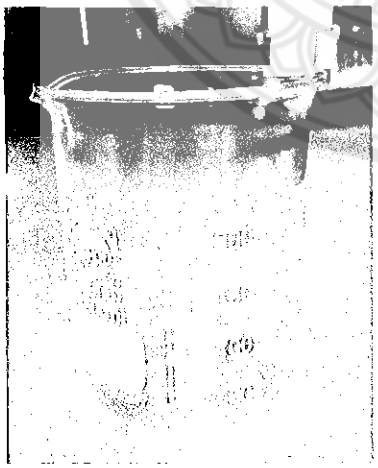
รูปที่ ก.1 เครื่องปั่นกวน



รูปที่ ก.2 Syringe ขนาด 5 และ 1 มิลลิลิตร

รูปที่ ก.3 เครื่องวัด pH Meter

รูปที่ ก.4 ขวดวัดปริมาตร 1000 และ 250 มิลลิลิตร

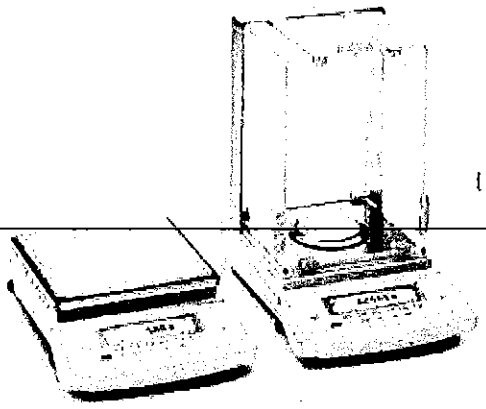


รูปที่ ก.5 บีกเกอร์ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร

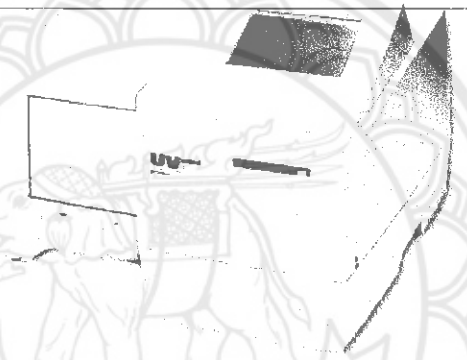
รูปที่ ก.6 หลอดทดลอง

ภาคผนวก ข

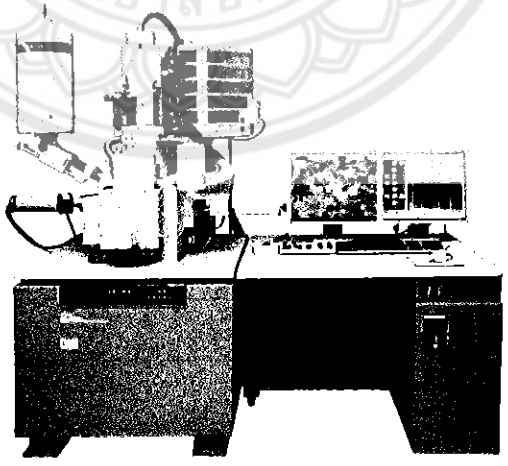
เครื่องมือและวิธีการทดลอง



เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง

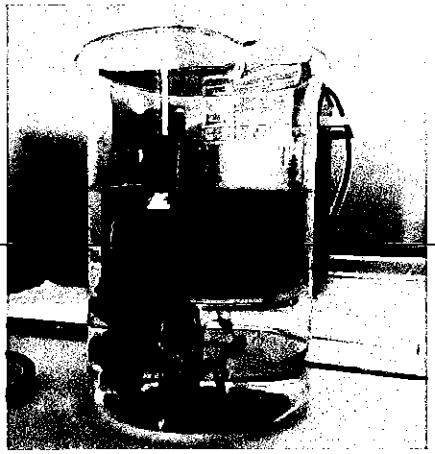


เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

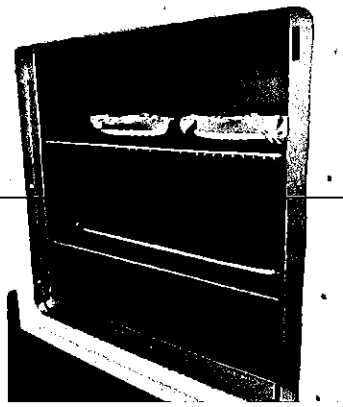


เครื่อง SEM

รูปที่ ข.1 รูปเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



สารละลายสีย้อม Methylene Blue

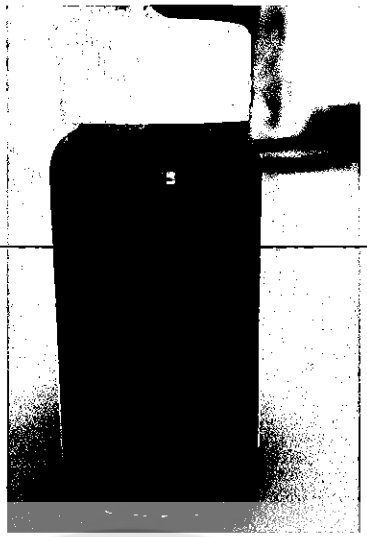


ล้างเปลือกกล้วย อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง

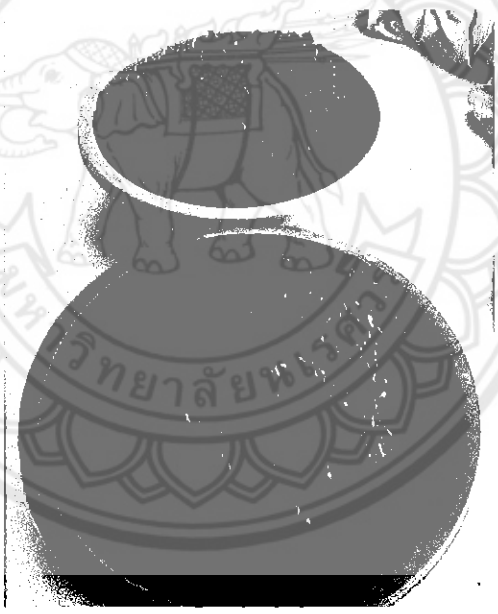
ปั่นกวนสารละลายสีย้อม Methylene Blue กับเปลือกกล้วย ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที

ตัวอย่างที่เก็บสารละลายสีย้อม ณ เวลาต่างๆ

รูปที่ ข.2 รูปแสดงตัวอย่างขั้นตอนกระบวนการดูดซับ



สารละลายสีย้อม Methylene Blue



เปลือกกล้วยหักมุกและเปลือกกล้วยน้ำว้า

รูปที่ ข.3 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

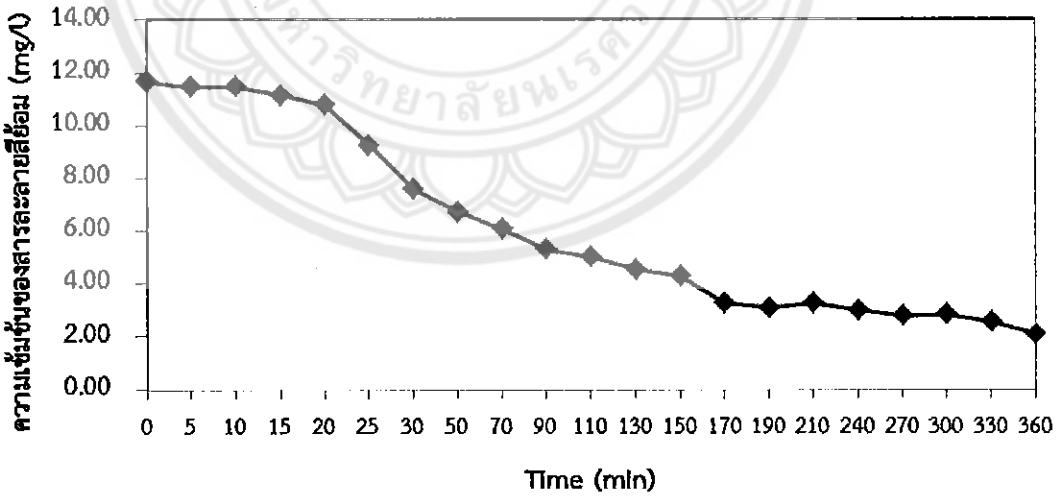
ภาคผนวก ค

ผลการทดลองข้อมูลดิบ

ภาคผนวก ค เปลือกกล้วยน้ำว้า ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้นเริ่มต้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตาราง ค.1 ปริมาณ 1 กรัม

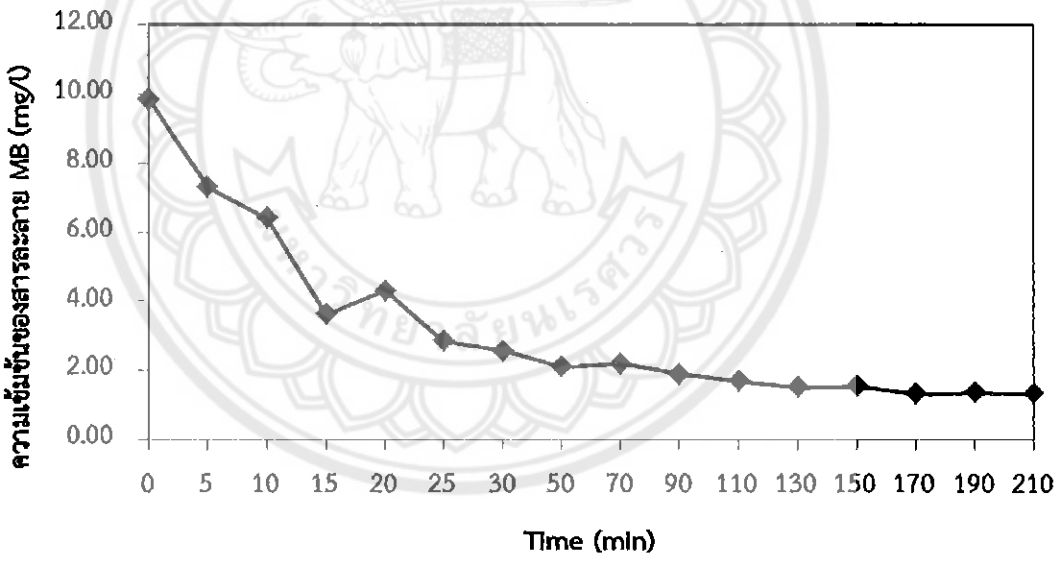
Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0	Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0
0	1.99852	11.60	1.00	130	0.7107	4.49	0.39
5	1.96691	11.43	0.99	150	0.6609	4.21	0.36
10	1.96545	11.42	0.98	170	0.4771	3.20	0.28
15	1.90663	11.10	0.96	190	0.4486	3.04	0.26
20	1.84074	10.73	0.93	210	0.4780	3.20	0.28
25	1.56674	9.22	0.79	240	0.4290	2.93	0.25
30	1.25918	7.52	0.65	270	0.3911	2.72	0.23
50	1.10796	6.68	0.58	300	0.3966	2.75	0.24
70	0.989303	6.03	0.52	330	0.3462	2.47	0.21
90	0.848563	5.25	0.45	360	0.2619	2.01	0.17
110	0.794729	4.95	0.43				



รูปที่ ค.1 เปลือกกล้วยน้ำว้า ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 1 กรัม

ตาราง ค.2 ปริมาณ 2 กรัม

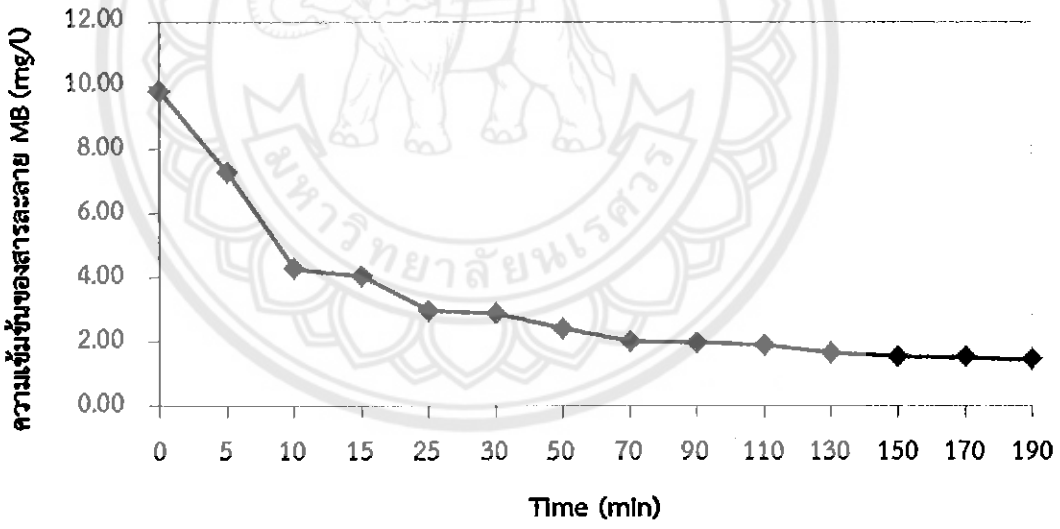
Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0	Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0
0	1.66711	9.77	1.00	70	0.2838	2.13	0.22
5	1.21072	7.25	0.74	90	0.2302	1.83	0.19
10	1.04745	6.35	0.65	110	0.1944	1.64	0.17
15	0.542103	3.56	0.36	130	0.1589	1.44	0.15
20	0.667619	4.25	0.43	150	0.1676	1.49	0.15
25	0.401524	2.78	0.28	170	0.1260	1.26	0.13
30	0.352837	2.51	0.26	190	0.1323	1.29	0.13
50	0.266329	2.03	0.21	210	0.1250	1.25	0.13



รูปที่ ค.2 เปลือกกล้วยน้ำว้า ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 2 กรัม

ตาราง ค.3 ปริมาณ 3 กรัม

TIme (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0	Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0
0	1.6612	9.74	1.00	70	0.2527	1.96	0.20
5	1.20845	7.24	0.74	90	0.2433	1.91	0.20
10	0.663316	4.23	0.43	110	0.2316	1.84	0.19
15	0.623542	4.01	0.41	130	0.1854	1.59	0.16
25	0.425562	2.91	0.30	150	0.1665	1.48	0.15
30	0.412476	2.84	0.29	170	0.1628	1.46	0.15
50	0.324998	2.36	0.24	190	0.1460	1.37	0.14

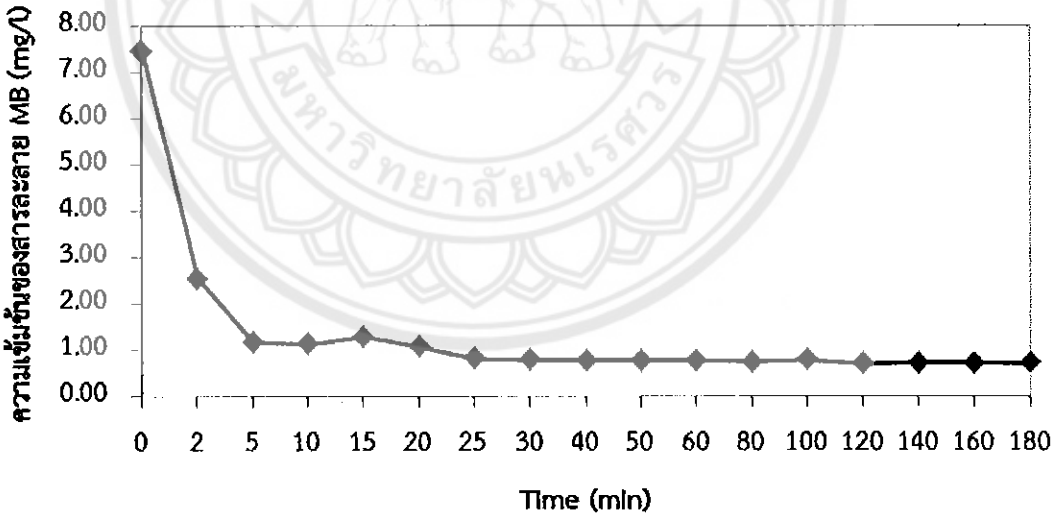


รูปที่ ค.3 เปลือกกล้วยน้ำว้า ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 3 กรัม

ภาคผนวก ค เปลือกกล้วยน้ำว้า ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้นเริ่มต้น 7 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตาราง ค.4 ปริมาณ 1 กรัม

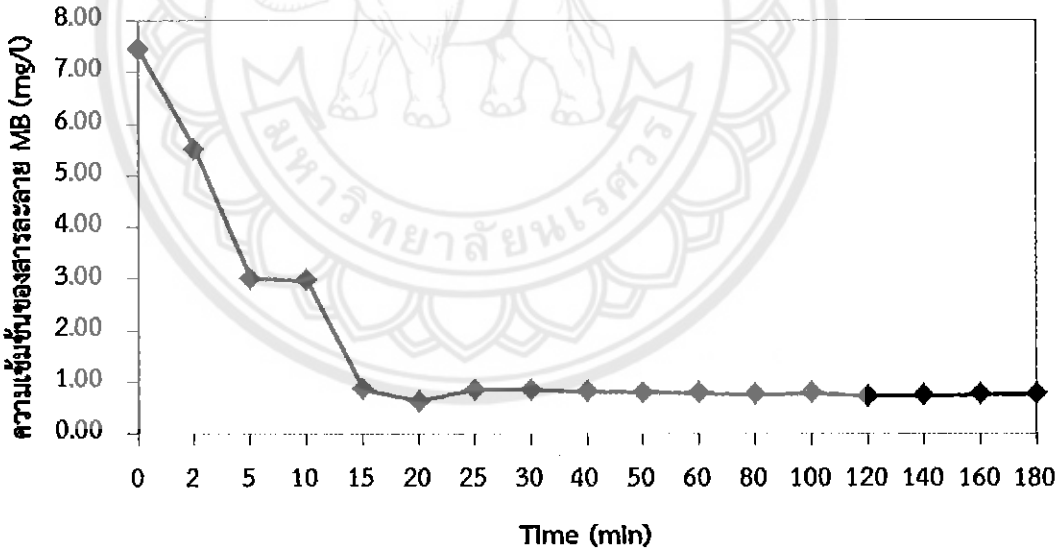
Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0	Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0
0	1.23526	7.39	1.00	50	0.0253	0.70	0.09
2	0.347727	2.48	0.34	60	0.0252	0.70	0.09
5	0.099288	1.11	0.15	80	0.0203	0.67	0.09
10	0.090615	1.06	0.14	100	0.0270	0.71	0.10
15	0.119047	1.22	0.16	120	0.0131	0.63	0.09
20	0.079719	1.00	0.14	140	0.0153	0.65	0.09
25	0.032669	0.74	0.10	160	0.0143	0.64	0.09
30	0.027888	0.72	0.10	180	0.0137	0.64	0.09
40	0.025716	0.70	0.10				



รูปที่ ค.4 เปลือกกล้วยน้ำว้า ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้น 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 1 กรัม

ตาราง ค.5 ปริมาณ 2 กรัม

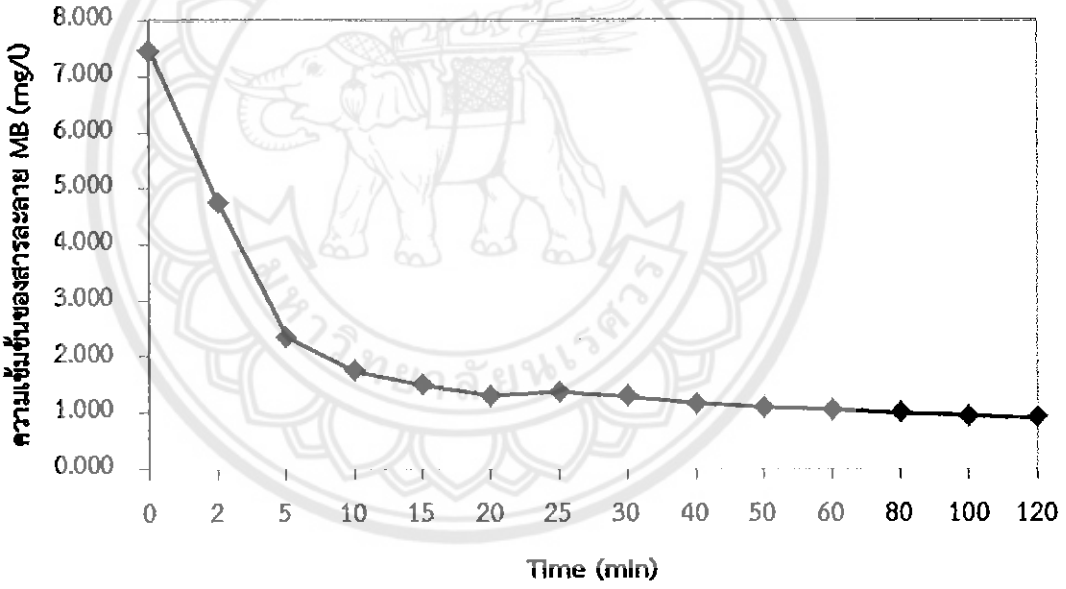
Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0	Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0
0	1.23526	7.39	1.00	50	0.029	0.73	0.10
2	0.885253	5.45	0.74	60	0.0295	0.72	0.10
5	0.430777	2.94	0.40	80	0.0237	0.69	0.09
10	0.42373	2.90	0.39	100	0.0287	0.72	0.10
15	0.041861	0.79	0.11	120	0.017	0.66	0.09
25	0.040942	0.79	0.11	140	0.0196	0.67	0.09
30	0.039682	0.78	0.11	160	0.0231	0.69	0.09
40	0.033317	0.75	0.10	180	0.0249	0.70	0.09



รูปที่ ค.5 เปลือกกล้วยน้ำว้า ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้น 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 2 กรัม

ตาราง ค.6 ปริมาณ 3 กรัม

Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0	Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0
0	1.23526	7.386	1.00	30	0.1186	1.217	0.16
2	0.747241	4.690	0.64	40	0.0962	1.093	0.15
5	0.311617	2.283	0.31	50	0.08486	1.030	0.14
10	0.201561	1.675	0.23	60	0.0766	0.985	0.13
15	0.156039	1.423	0.19	80	0.0652	0.922	0.12
20	0.122303	1.237	0.17	100	0.0557	0.869	0.12
25	0.133604	1.299	0.18	120	0.0485	0.829	0.11

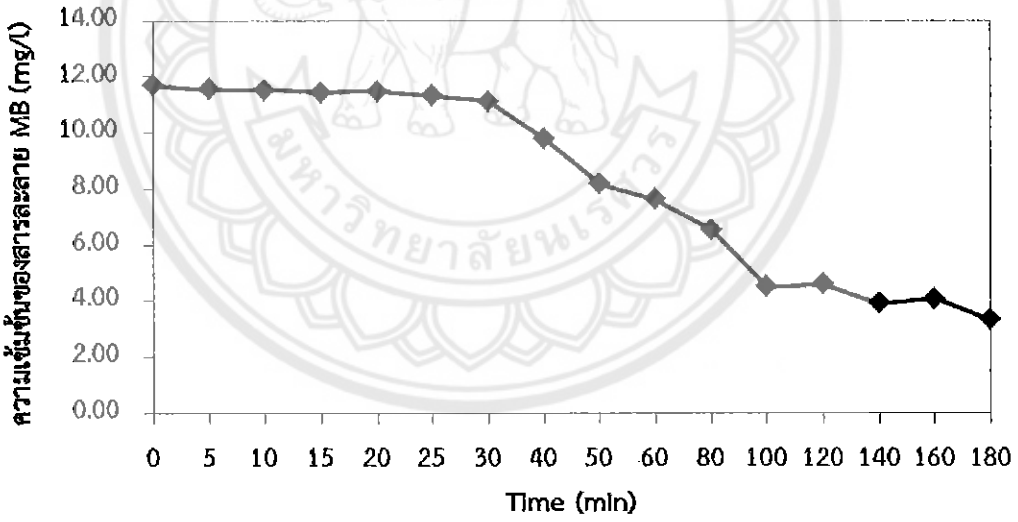


รูปที่ ค.6 เปลือกกล้วยน้ำว้า ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้น 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 3 กรัม

ภาคผนวก ค เปลือกกล้วยน้ำว้า ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตาราง ค.7 ปริมาณ 1 กรัม

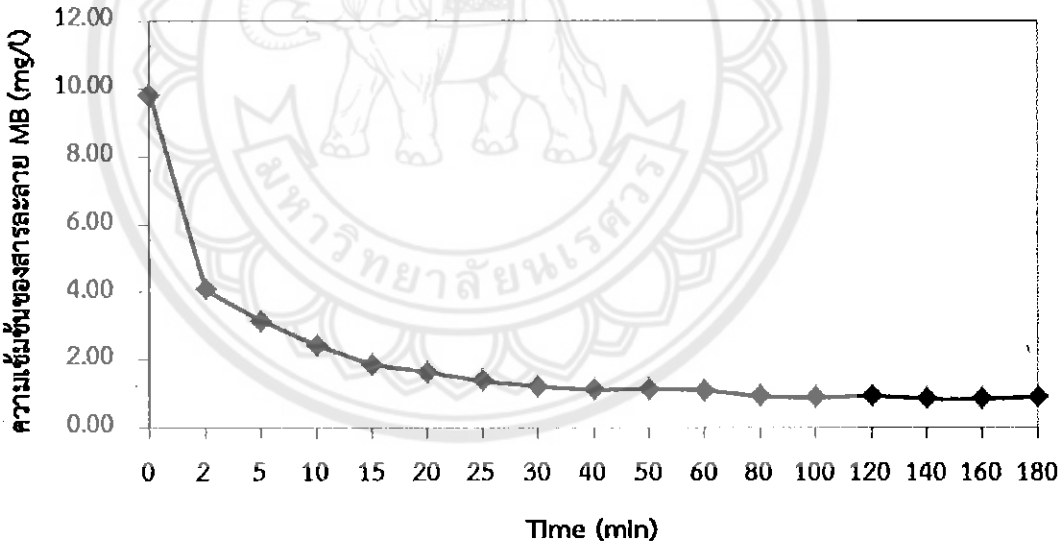
Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0	Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0
0	2.00	11.62	1.00	50	1.36	8.09	0.70
5	1.98	11.50	0.99	60	1.26	7.54	0.65
10	1.97	11.46	0.99	80	1.07	6.46	0.56
15	1.96	11.38	0.98	100	0.70	4.44	0.38
20	1.97	11.42	0.98	120	0.72	4.51	0.39
25	1.94	11.26	0.97	140	0.59	3.83	0.33
30	1.90	11.05	0.95	160	0.62	3.99	0.34
40	1.66	9.72	0.84				



รูปที่ ค.7 เปลือกกล้วยน้ำว้า ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้น 10มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 1 กรัม

ตาราง ค.8 ปริมาณ 2 กรัม

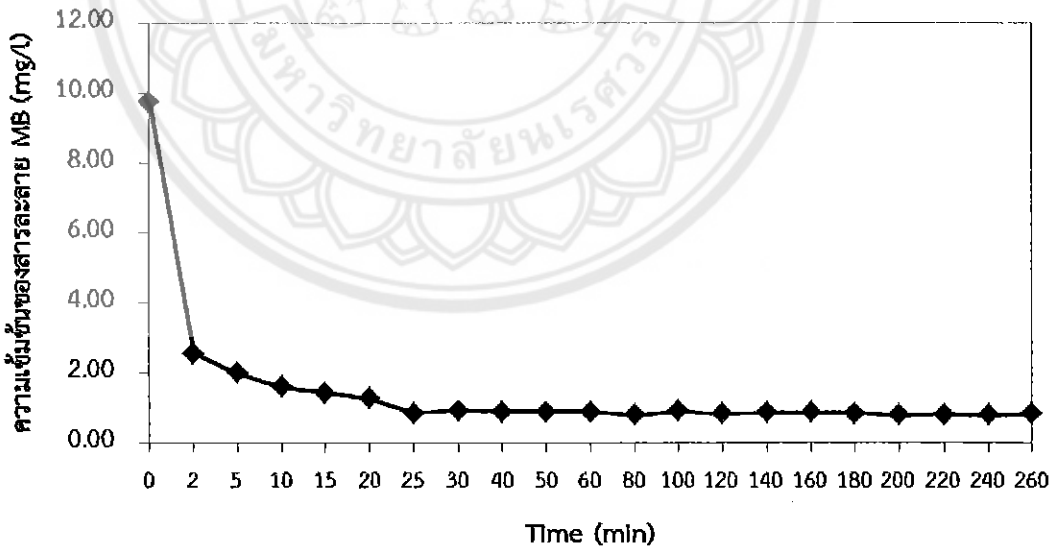
Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0	Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0
0	1.6612	9.74	1.00	50	0.0914	1.07	0.11
2	0.623178	4.00	0.41	60	0.0849	1.03	0.11
5	0.455236	3.08	0.32	80	0.0542	0.86	0.09
10	0.32514	2.36	0.24	100	0.0496	0.84	0.09
15	0.221659	1.79	0.18	120	0.0601	0.89	0.09
20	0.18112	1.56	0.16	140	0.0420	0.79	0.08
25	0.136787	1.32	0.14	160	0.0417	0.79	0.08
30	0.107623	1.16	0.12	180	0.0523	0.85	0.09
40	0.090414	1.06	0.11				



รูปที่ ค.8 เปลือกกล้วยน้ำว้า ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้น 10มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 2 กรัม

ตาราง ค.9 ปริมาณ 3 กรัม

Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0	Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0
0	1.65112	9.68	1.00	80	0.029	0.72	0.07
2	0.349038	2.49	0.26	100	0.0494	0.83	0.09
5	0.246824	1.92	0.20	120	0.0356	0.76	0.08
10	0.173771	1.52	0.16	140	0.0427	0.80	0.08
15	0.142012	1.35	0.14	160	0.0410	0.79	0.08
20	0.114044	1.19	0.12	180	0.0394	0.78	0.08
25	0.039568	0.78	0.08	200	0.0289	0.72	0.07
30	0.050136	0.84	0.09	220	0.0326	0.74	0.08
40	0.046413	0.82	0.08	240	0.0286	0.72	0.07
50	0.043517	0.80	0.08	260	0.034	0.75	0.08
60	0.046284	0.82	0.08				

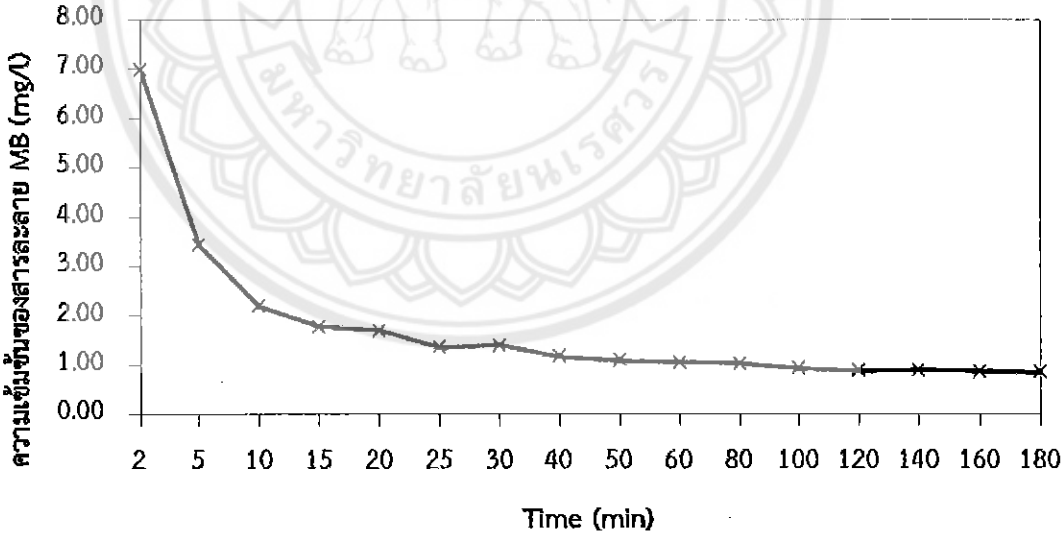


รูปที่ ค.9 เปลือกกล้วยน้ำว้า ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้น 10มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 3 กรัม

ภาคผนวก ค pH=3 ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 3 กรัม

ตาราง ค.10 กล้วยน้ำว้า

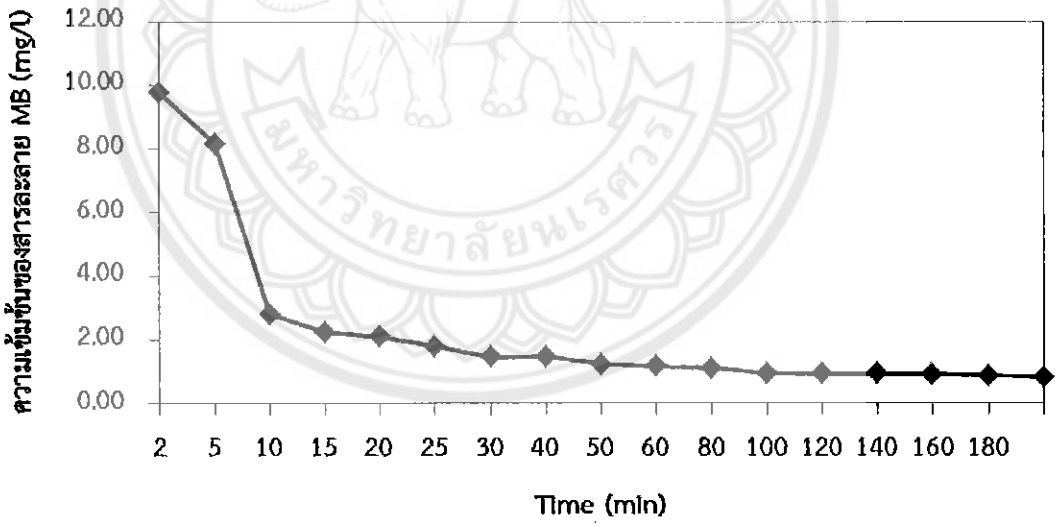
Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0	Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0
0	1.65112	9.68	1.000	50	0.0840	1.03	0.106
2	1.15188	6.93	0.715	60	0.075	0.98	0.101
5	0.503677	3.34	0.345	80	0.0701	0.95	0.098
10	0.282114	2.12	0.219	100	0.0537	0.86	0.089
15	0.207533	1.71	0.176	120	0.0435	0.80	0.083
20	0.193043	1.63	0.168	140	0.0470	0.82	0.085
25	0.131705	1.29	0.133	160	0.0422	0.79	0.082
30	0.139441	1.33	0.138	180	0.0405	0.79	0.081
40	0.097632	1.10	0.114				



รูปที่ ค.10 เปลือกกล้วยน้ำว้า ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH=3 ปริมาณ 3 กรัม

ตาราง ค.11 กล้วยหักมุก

Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0	Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0
0	1.65112	9.68	1.000	50	0.0977	1.10	0.114
2	1.36512	8.10	0.837	60	0.0861	1.04	0.107
5	0.392466	2.73	0.282	80	0.0584	0.88	0.091
10	0.291665	2.17	0.224	100	0.0544	0.86	0.089
15	0.265927	2.03	0.210	120	0.0536	0.86	0.089
20	0.20964	1.72	0.178	140	0.0518	0.85	0.088
25	0.147309	1.38	0.142	160	0.0439	0.80	0.083
30	0.151175	1.40	0.144	180	0.0355	0.76	0.078
40	0.109545	1.17	0.121				

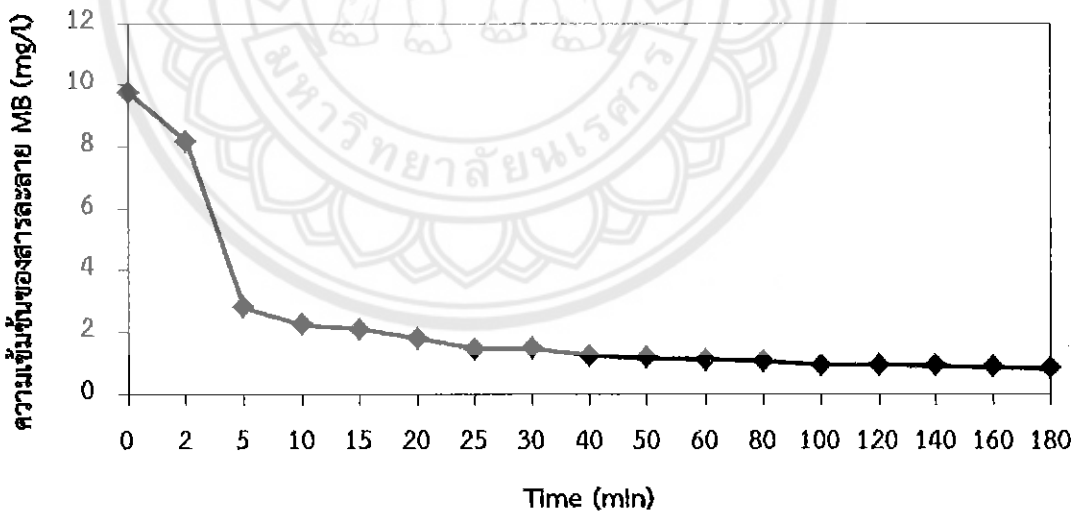


รูปที่ ค.11 เปลือกกล้วยหักมุก ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH=3 ปริมาณ 3 กรัม

ภาคผนวก ค pH=7 ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 3 กรัม

ตาราง ค.12 กล้วยน้ำว้า

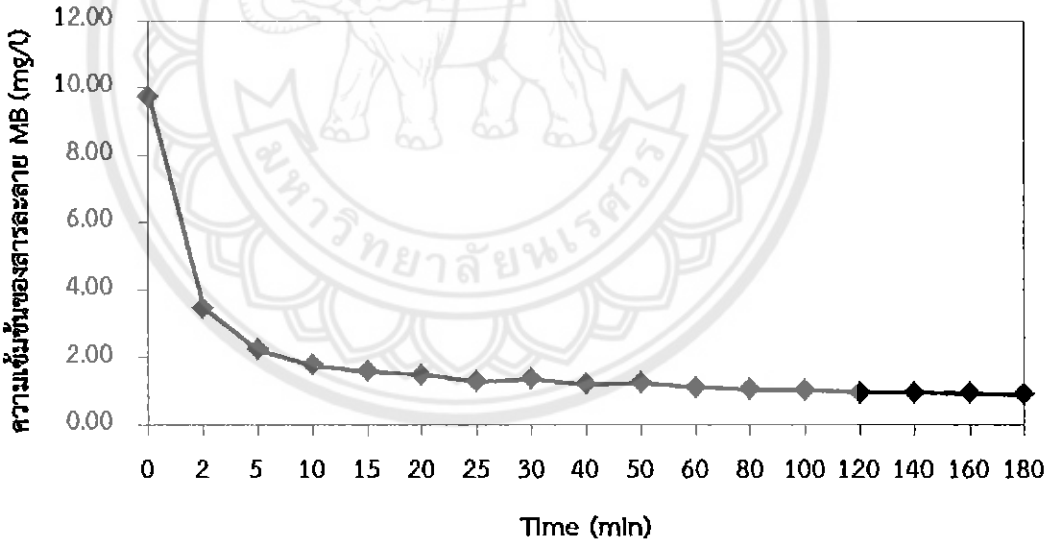
Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0	Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0
0	1.65112	9.683536	1.000	50	0.0977	1.101531	0.113
2	1.36512	8.103425	0.831	60	0.0861	1.037545	0.106
5	0.392466	2.729646	0.280	80	0.0783	0.99422	0.102
10	0.291665	2.172735	0.223	100	0.0544	0.862411	0.088
15	0.265927	2.030536	0.208	120	0.0536	0.857635	0.088
20	0.20964	1.719558	0.176	140	0.0518	0.847681	0.087
25	0.147309	1.375188	0.141	160	0.0439	0.803936	0.082
30	0.151175	1.396547	0.143	180	0.0355	0.757614	0.078
40	0.109545	1.166547	0.120				



รูปที่ ค.12 เปลือกกล้วยน้ำว้า ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH=7 ปริมาณ 3 กรัม

ตาราง ค.13 กล้วยหักมุก

Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0	Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0
0	1.65112	9.68	1.000	50	0.1109	1.17	0.121
2	0.51477	3.41	0.352	60	0.086	1.04	0.107
5	0.290726	2.17	0.224	80	0.0779	0.99	0.102
10	0.207565	1.71	0.176	100	0.0730	0.97	0.100
15	0.174466	1.53	0.158	120	0.0588	0.89	0.092
20	0.15671	1.43	0.147	140	0.0606	0.90	0.093
25	0.117055	1.21	0.125	160	0.0569	0.88	0.090
30	0.133068	1.30	0.134	180	0.0483	0.83	0.086
40	0.103178	1.13	0.117				

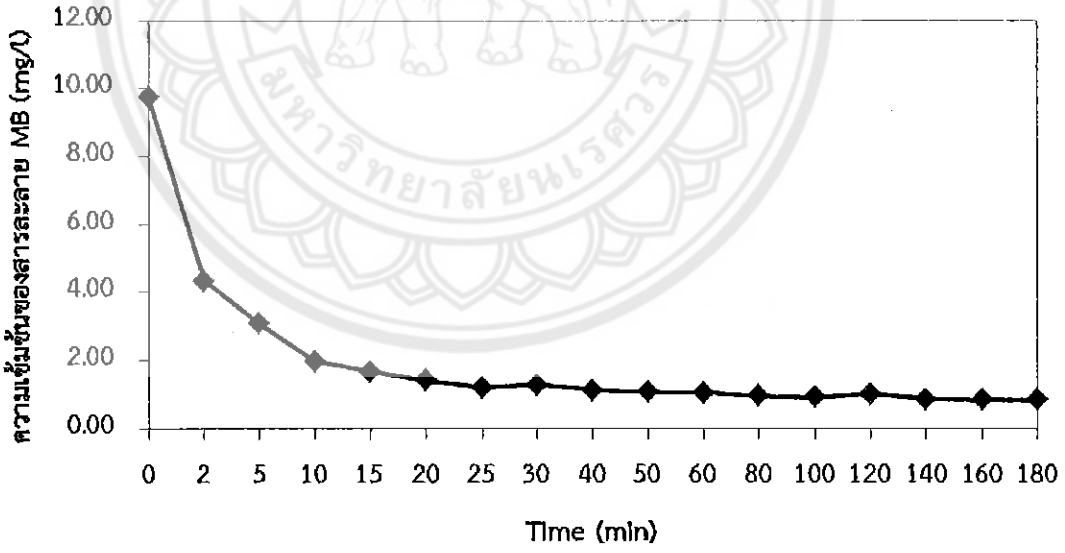


รูปที่ ค.13 เปลือกกล้วยหักมุก ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH=7 ปริมาณ 3 กรัม

ภาคผนวก ค pH=9 ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 3 กรัม

ตาราง ค.14 กล้วยน้ำว้า

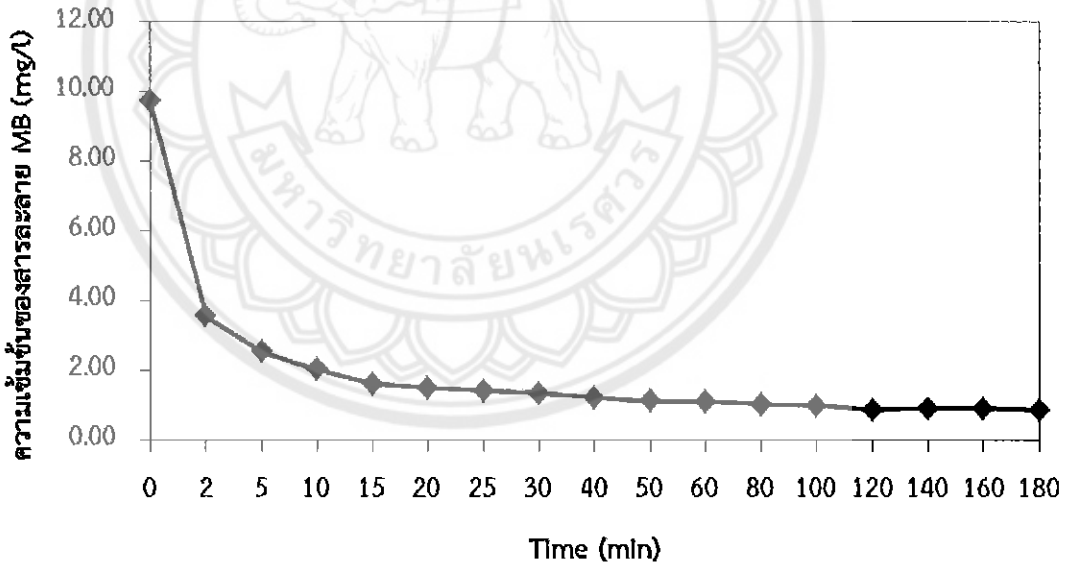
Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0	Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0
0	1.65112	9.68	1.00	50	0.0743	0.97	0.10
2	0.667937	4.25	0.44	60	0.0707	0.95	0.10
5	0.441582	3.00	0.31	80	0.0538	0.86	0.09
10	0.239267	1.88	0.19	100	0.0474	0.82	0.09
15	0.183999	1.58	0.16	120	0.0651	0.92	0.10
20	0.140771	1.34	0.14	140	0.0376	0.77	0.08
25	0.099915	1.11	0.12	160	0.0335	0.75	0.08
30	0.113617	1.19	0.12	180	0.0336	0.75	0.08
40	0.085556	1.03	0.11				



รูปที่ ค.14 เปลือกกล้วยน้ำว้า ขนาด 12 Mesh ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH=9 ปริมาณ 3 กรัม

ตาราง ค.15 กล้วยหักมุก

Time (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0	TIme (นาที)	ABS	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิลิตรต่อลิตร)	C/C_0
0	1.65112	9.68	1.00	50	0.0891	1.05	0.11
2	0.531886	3.50	0.36	60	0.0865	1.04	0.11
5	0.346434	2.48	0.26	80	0.0715	0.96	0.10
10	0.254158	1.97	0.20	100	0.0629	0.91	0.09
15	0.178967	1.55	0.16	120	0.0436	0.80	0.08
20	0.158044	1.43	0.15	140	0.0516	0.85	0.09
25	0.141356	1.34	0.14	160	0.0493	0.83	0.09
30	0.128768	1.27	0.13	180	0.0413	0.79	0.08
40	0.107433	1.15	0.12				



รูปที่ ค.15 เปลือกกล้วยหักมุกขนาด 12 Mesh ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH=9 ปริมาณ 3 กรัม

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาวมณฑลี ชัชวาลย์

ภูมิลำเนา 3/891 ต. ศิลา อ. เมือง จ. ขอนแก่น

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย จ. ขอนแก่น
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 5 สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: gift_ka_o15@hotmail.com

ชื่อ นางสาวรจิตรา ทันตาเร็ว

ภูมิลำเนา 254 ต. หนองอ้อ อ. ศรีสัชนาลัย จ. สุโขทัย

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสวรรค์อนันต์-วิทยา จ. สุโขทัย
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 5 สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: rockiiiz_333@hotmail.com

ชื่อ นายสาโรจน์ คำบรรลือ

ภูมิลำเนา 51 ต. หนองหลวง อ. ลานกระบือ จ. กำแพงเพชร

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนลานกระบือวิทยา จ. กำแพงเพชร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Pungnoy_@hotmail.com