

เอกสารวิชาเขตฯ
ห้ามนำออกจากห้องสมุด
ใช้เฉพาะ ชั้น 5 เท่านั้น



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การใช้วัสดุแปรรูปทางเกษตรและประมงเพื่อกำจัดสี
ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

The Use of Modified Materials from Agriculture and Fishery
for Dyes Removal in Textile Wastewater

RMUTK - CARIT



3 2000 00095682 3

โดย นางสาวบุญศรี คู่สุขธรรม

กันยายน พ.ศ. 2549



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การใช้วัสดุแปรรูปทางการเกษตรและประมงเพื่อกำจัดสี
ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

The Use of Modified Materials from Agriculture and Fishery
for Dyes Removal in Textile Wastewater



โดย นางสาวบุญศรี คู่สุพรรณม

กันยายน พ.ศ. 2549

RMUTK - CARIT



3 2000 00095682 3

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

๒๕๖.16๒

๒๕๖๓

๒.๑

โครงการ

๐๖๖
๑๖/๑๑/๕๖

การใช้วัสดุแปรรูปทางการเกษตรและประมงเพื่อกำจัดสี
ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

The Use of Modified Materials from Agriculture and Fishery
for Dyes Removal in Textile Wastewater

คณะผู้วิจัย

สังกัด

นางสาวบุญศรี คู่สุขธรรม

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

กรุงเทพ

นายสมชาย อุดร

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

กรุงเทพ

สนับสนุนโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย
งบประมาณ 2549

ประจำปี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้วัสดุแปรรูปทางการเกษตรและประมงเพื่อกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ สีถูกกำจัดโดยใช้ไคโทซานร่วมกับสารแอนไอออนชนิดต่างๆ 3 ชนิด คือ คาร์ราจีแนน แอลจีเนต และโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต โดยเติมสารละลายเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซาน หรือ สารละลายไคโทซานในกรดแอสติกในน้ำทิ้ง จากนั้น จึงเติมสารละลายของแอนไอออนลงไป โดยใช้ไคโทซานและสารละลายแอนไอออนในอัตราส่วนต่างๆ กัน

ผลจากการศึกษาพบว่า การใช้สารละลายไคโทซานร่วมกับคาร์ราจีแนนให้ผลการกำจัดสารสีที่ดีเมื่อใช้อัตราส่วนเท่ากับ 0.8 : 0.2 (โดยปริมาตร) สำหรับสารสีชนิดสีน้ำเงินและสีเหลืองตามลำดับ ส่วนสารสีชนิดสีแดงให้ผลการกำจัดที่ดีเมื่อใช้อัตราส่วนเท่ากับ 0.4 : 1.6 (โดยปริมาตร) นอกจากนี้ การใช้สารละลายไคโทซานร่วมกับโซเดียมแอลจีเนต และสารละลายไคโทซานร่วมกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตให้ผลการกำจัดสีที่ดีเมื่อใช้อัตราส่วนเท่ากับ 0.8 : 1.2 (โดยปริมาตร) เช่นกัน การกำจัดสารสีด้วยสารแอนไอออนทั้ง 3 ชนิด ให้ผลการกำจัดสารสีสูงที่สุดโดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงมากกว่าร้อยละ 90 แต่การจัดสีรีแอกทีฟและสีแอซิดในสภาวะที่เป็นต่างจะขึ้นอยู่กับไคโทซานเท่านั้น

ABSTRACT

This research studied of using modified materials from agriculture and fishery for removal of dyes in textile wastewater. Dyes was removed by chitosan with three anionic substances such as carragenan, sodium alginate and sodium dodecylsulfate. The chitosan salt solution or chitosan in acetic acid solution was added into the wastewater. And then, the anionic solution was added in it. The ratio between chitosan and anionic solution were varied.

The results showed that the best ratio between chitosan in acetic acid solution and carragenan was 0.8 : 1.2 (v/v) for blue and yellow pigments. For red pigment, the 0.4 : 0.6 (v/v) ratio gave a good result. In addition, the use of chitosan in acetic acid solution with sodium alginate and chitosan in acetic acid solution with sodium dodecylsulfate at 0.8 : 1.2, also showed a good removal of pigments. The removal of pigments with three anionic substances gave the maximum decreasing of the absorbance more than 90%. But the removal of reactive and acid dyes in alkaline condition depended on only the chitosan.

สารบัญเรื่อง

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)

สารบัญเรื่อง

สารบัญตาราง

สารบัญภาพประกอบ

บทที่ 1 บทนำ

1

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำวิจัย

1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4

2.1 ไคโทซาน

4

2.1.1 กระบวนการผลิตไคโทซาน

4

2.1.2 โครงสร้างของไคโทซาน

4

2.1.3 สมบัติของไคตินและไคโทซาน

5

2.2 แอลจีเนต

7

2.2.1 กระบวนการผลิตแอลจีเนต

7

2.2.2 โครงสร้างทางเคมีของกรดแอลจินิก

7

2.2.3 สมบัติของแอลจีเนต

9

2.2.4 ประโยชน์ของแอลจีเนต

9

2.3 คาร์ราจีแนน

11

2.3.1 โครงสร้างทางเคมีของคาร์ราจีแนน

11

2.3.2 สมบัติของคาร์ราจีแนน

12

2.3.3 ประโยชน์ของคาร์ราจีแนน

12

2.4 สารลดแรงตึงผิว

12

2.4.1 ประเภทของสารลดแรงตึงผิว

12

2.4.2 โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

13

2.4.2.1 การสังเคราะห์โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

13

2.4.2.2 การใช้งาน

13

2.5 พอลิอิเล็กโทรไลต์

14

2.6 การกำจัดสีโดยวิธีการจับตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation)

15

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	18
3.1 สารเคมี	18
3.2 การเตรียมเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซาน	18
3.2.1 การเตรียมแอลจิเนต	18
3.2.2 การเตรียมคาร์ราจีแนน	18
3.2.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมโตะเตคซิลลัลเฟต	19
3.2.4 การเตรียมน้ำทิ้ง	19
3.3 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสี	19
3.3.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างโคโทซาน แอลจิเนต คาร์ราจีแนน และโซเดียมโตะเตคซิลลัลเฟต	19
3.3.2 การศึกษาการกำจัดสีในน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นต่างๆ	20
3.4 การศึกษาการกำจัดสีรีแอกทีฟและสีแอซิด	21
3.5 การศึกษาการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม	21
3.6 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบเชิงซ้อนด้วย เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	22
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	23
4.1 การกำจัดสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและคาร์ราจีแนน	23
4.2 การกำจัดสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและแอลจิเนต	26
4.3.การกำจัดสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและ โซเดียมโตะเตคซิลลัลเฟต	29
4.4 การกำจัดสีด้วยโคโทซานในกรดแอซิดิกและคาร์ราจีแนน	31
4.5 การกำจัดสีด้วยโคโทซานในกรดแอซิดิกและแอลจิเนต	34
4.6 การกำจัดสีด้วยโคโทซานในกรดแอซิดิกและโซเดียมโตะเตคซิลลัลเฟต	38
4.7 การเปรียบเทียบการกำจัดสีโดยใช้สารชนิดต่าง ๆ	41
4.8 การกำจัดสีในน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ	43
4.9 การกำจัดสีรีแอกทีฟ	45
4.10 การกำจัดแอซิด	46
4.11 การศึกษาการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม	46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	50
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก ก	55
ภาคผนวก ข	58
ภาคผนวก ค	62

ภาคผนวก ง	66
ภาคผนวก จ	70
ภาคผนวก ฉ	74
ภาคผนวก ช	78
ภาคผนวก ซ	82
ภาคผนวก ฌ	86
ภาคผนวก ญ	90
ภาคผนวก ณ	94
ภาคผนวก น	101
ภาคผนวก บ	104
ประวัติผู้วิจัย	109

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ปริมาณสีย้อมที่เหลือทิ้งจากการย้อมด้วยสีชนิดต่างๆ	1
2.1	ปริมาณการใช้แอลจินेटในอุตสาหกรรมต่างๆ	9
2.2	การดูดซับโลหะหนักของแอลจินेट	10
2.3	ชนิดของตัวตกตะกอนแบบพอลิเมอร์	16
2.4	ร้อยละของปริมาณสีที่เหลือจากการกำจัดโดยใช้พอลิ(ไดแอลลิวไคเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์) ร่วมกับแอนไอออนชนิดต่างๆ	17
3.1	อัตราส่วนต่างๆระหว่างสารละลายเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและสารละลายคาร์ราจีแนนที่ใช้ในการกำจัดสีในน้ำทิ้ง	20
4.1	ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม	47

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
2.1	ขั้นตอนการผลิตโคโทซาน 4
2.2	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคทิน และโคโทซาน 5
2.3	กระบวนการผลิตแอลจินेट 7
2.4	โครงสร้างของกรดแมนนูโรนิคและกลูโรนิค 8
2.5	พอลิเมอร์ของกรดกลูโรนิคแบบจีบลิค 8
2.6	พอลิเมอร์ของกรดแมนนูโรนิคแบบเอ็มบลิค 8
2.7	ร้อยละของการดูดซับสีเบสิกโดยใช้แอลจินेटร่วมกับ ถ่านกัมมันต์ในปริมาณ 1 กรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิและ ความเข้มข้นของสีต่างๆกัน 10
2.8	โครงสร้างของคาร์ราจีแนนชนิดต่างๆ 11
2.9	การกำจัดซิงค์คลอไรด์ในน้ำทิ้งด้วยโซเดียมโตะเตคซิลซัลเฟต 14
2.10	การดูดซับโลหะหนักของพอลิเมอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยา ระหว่างแอลจินेटและโคโทซาน 15
4.1	การกำจัดสารสีชนิดสีแดงด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซาน 23 และคาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่าง ๆ
4.2	การกำจัดสารสีชนิดสีน้ำเงินด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซาน 23 และคาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่าง ๆ
4.3	การกำจัดสารสีชนิดสีเหลืองด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซาน 24 และคาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่าง ๆ
4.4	เปรียบเทียบการกำจัดสารสีชนิดต่าง ๆ ด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ ของโคโทซานและคาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่าง ๆ 000 24
4.5	การกำจัดสารสีชนิดสีแดงด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซาน 26 และแอลจินेटที่อัตราส่วนต่าง ๆ
4.6	การกำจัดสารสีชนิดสีน้ำเงินด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซาน 27 และแอลจินेटที่อัตราส่วนต่าง ๆ
4.7	การกำจัดสารสีชนิดสีเหลืองด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซาน 27 และแอลจินेटที่อัตราส่วนต่าง ๆ
4.8	เปรียบเทียบการกำจัดสารสีชนิดต่าง ๆ ด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ ของโคโทซานและแอลจินेटที่อัตราส่วนต่าง ๆ 28

ภาพประกอบที่	หน้า
4.9	การกำจัดสารสีชนิดสีแดงด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซาน และโซเดียมโตเดคซิลซัลเฟตที่อัตราส่วนต่าง ๆ 29
4.10	การกำจัดสารสีชนิดสีน้ำเงินด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของ โคโทซานและโซเดียมโตเดคซิลซัลเฟตที่อัตราส่วนต่าง ๆ 29
4.11	การกำจัดสารสีชนิดสีเหลืองด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของ โคโทซานและโซเดียมโตเดคซิลซัลเฟตที่อัตราส่วนต่าง ๆ 30
4.12	เปรียบเทียบการกำจัดสารสีชนิดต่าง ๆ ด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ ของโคโทซานและโซเดียมโตเดคซิลซัลเฟตที่อัตราส่วนต่าง ๆ 30
4.13	การกำจัดสารสีชนิดสีแดงด้วยโคโทซานในกรดแอสติกและ คาร์ราจินที่อัตราส่วนต่าง ๆ 31
4.14	การกำจัดสารสีชนิดสีน้ำเงินด้วยโคโทซานในกรดแอสติกและ คาร์ราจินที่อัตราส่วนต่าง ๆ 32
4.15	การกำจัดสารสีชนิดสีเหลืองด้วยโคโทซานในกรดแอสติกและ คาร์ราจินที่อัตราส่วนต่าง ๆ 32
4.16	เปรียบเทียบการกำจัดสารสีชนิดต่าง ๆ ด้วยโคโทซานใน กรดแอสติกและคาร์ราจินที่อัตราส่วนต่าง ๆ 33
4.17	การกำจัดสารสีชนิดสีแดงด้วยโคโทซานในกรดแอสติกและ แอลจินेटที่อัตราส่วนต่าง ๆ 35
4.18	การกำจัดสารสีชนิดสีน้ำเงินด้วยโคโทซานในกรดแอสติกและ แอลจินेटที่อัตราส่วนต่าง ๆ 35
4.19	การกำจัดสารสีชนิดสีเหลืองด้วยโคโทซานในกรดแอสติกและ แอลจินेटที่อัตราส่วนต่าง ๆ 36
4.20	เปรียบเทียบการกำจัดสารสีชนิดต่าง ๆ ด้วยโคโทซานใน กรดแอสติกและแอลจินेटที่อัตราส่วนต่าง ๆ 36
4.21	การกำจัดสารสีชนิดสีแดงด้วยโคโทซานในกรดแอสติกและ โซเดียมโตเดคซิลซัลเฟตที่อัตราส่วนต่าง ๆ 38
4.22	การกำจัดสารสีชนิดสีน้ำเงินด้วยโคโทซานในกรดแอสติกและ โซเดียมโตเดคซิลซัลเฟตที่อัตราส่วนต่าง ๆ 39
4.23	การกำจัดสารสีชนิดสีเหลืองด้วยโคโทซานในกรดแอสติกและ โซเดียมโตเดคซิลซัลเฟตที่อัตราส่วนต่าง ๆ 39
4.24	เปรียบเทียบการกำจัดสารสีชนิดต่าง ๆ ด้วยโคโทซาน ในกรดแอสติกและโซเดียมโตเดคซิลซัลเฟตที่อัตราส่วนต่าง ๆ 40

ภาพประกอบที่	หน้า
4.25	การกำจัดการสืษณดสืแดงดวยสารชนดตาง ๑ 41
4.26	การกำจัดการสืษณดสืน้าเงินดวยสารชนดตาง ๑ 42
4.27	การกำจัดการสืษณดสืเลื่องดวยสารชนดตาง ๑ 42
4.28	การกำจัดการสืษณดสืแดงท่ม่ความแ่มชนดาง ๑ ดยไ้ 43
	เกล่ไอโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับแอลจินต
	และเกล่ไอโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับ
	โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตท่อัตราส่วนเท่ากับ 0.8 : 1.2
4.29	การกำจัดการสืษณดสืน้าเงินท่ม่ความแ่มชนดาง ๑ ดยไ้ 44
	เกล่ไอโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับแอลจินต
	และเกล่ไอโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับ
	โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตท่อัตราส่วนเท่ากับ 0.8 : 1.2
4.30	การกำจัดการสืษณดสืเลื่องท่ม่ความแ่มชนดาง ๑ ดยไ้ 44
	เกล่ไอโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับแอลจินต
	และเกล่ไอโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับ
	โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตท่อัตราส่วนเท่ากับ 0.8 : 1.2
4.31	ค่าการดูดกลืนแสงท่ลดลงของการกำจัดสืร่แอกท่ฟ 45
4.32	ค่าการดูดกลืนแสงท่ลดลงของการกำจัดสืร่แอกท่ฟ 46
4.33	ค่าการดูดกลืนแสงท่ลดลงของการกำจัดสืร่ในน้าท้งจากโรงงาน 47
	อุตสาหกรรม ดยเก็บดวอยางน้าท้ง
	วันท่ 26 เมษายน พ.ศ. 2549
4.34	ค่าการดูดกลืนแสงท่ลดลงของการกำจัดสารสืร่ในน้าท้งจากโรงงาน 48
	อุตสาหกรรม ดยเก็บดวอยางน้าท้ง
	วันท่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2549
4.35	ค่าการดูดกลืนแสงท่ลดลงของการกำจัดสารสืร่ในน้าท้งจากโรงงาน 48
	อุตสาหกรรม ดยเก็บดวอยางน้าท้ง
	วันท่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2549
4.36	ค่าการดูดกลืนแสงท่ลดลงของการกำจัดสารสืร่ในน้าท้งจากโรงงาน 49
	อุตสาหกรรม ดยเก็บดวอยางน้าท้ง
	วันท่ 16 พฤษภาคม พ.ศ. 2549

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำวิจัย

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ การส่งออกสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มไทยในปี 2546 มีมูลค่าทั้งสิ้น 227,383 ล้านบาท เมื่อเทียบกับปี 2545 ซึ่งมีมูลค่าเพียง 220,580 ล้านบาท มูลค่าการส่งออกสิ่งทอติดอันดับ 1 ใน 6 ของสินค้าส่งออกที่มีปริมาณสูงสุด (กระทรวงพาณิชย์ 2547 : ม.ป.ล.) นอกจากนี้ปัจจุบันรัฐบาลมีนโยบายที่จะให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางผู้ผลิตสิ่งทอคุณภาพสูง ซึ่งเชื่อมโยงกับยุทธศาสตร์ด้านแฟชั่น โดยรัฐบาลใช้งบประมาณ 1,800 ล้านบาทในการยกระดับประเทศไทยให้เป็นศูนย์กลางแฟชั่น (เฉลิมชัย ศิรินนทวิทยา 2547 : 5) แต่อย่างไรก็ตามยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศในการผลิตสินค้าคุณภาพจะต้องมีมาตรฐานการผลิตที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

อุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมฟอกย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ มีการใช้น้ำในปริมาณสูง ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนใหญ่เกิดจากการทิ้งน้ำเสีย น้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอจะปนเปื้อนด้วยสีย้อม สีย้อม และสารเคมีต่างๆที่เหลือจากกระบวนการผลิต ปริมาณสีย้อมที่เหลือทิ้งจากกระบวนการย้อมด้วยสีชนิดต่างๆ แสดงดังในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ปริมาณสีย้อมที่เหลือทิ้งจากการย้อมด้วยสีชนิดต่างๆ (Smith 1986 : 15-21)

ประเภทของสีย้อม	ร้อยละของสีในน้ำเสีย
สีไ้เร็กท์	5-30
สีซัลเฟอร์	30-40
สีวัต	5-20
สีอะโซอิก	5-10
สีรีแอกทีฟ	20-50
สีแอซิด	7-20
สีเบสิก	2-5
สีดีสเปอร์ส	8-20

สีที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมสามารถเห็นได้ง่าย ปริมาณสีที่ปล่อยลงสู่น้ำและสังเกตเห็นได้ คือ 0.1-1.0 มิลลิกรัม/ลิตร (อังคณา ตูลย์ไตรรัตน์ 1997 : 34) ดังนั้นสีที่มีอยู่ในน้ำแม้ปริมาณเพียงเล็กน้อยจะทำให้เป็นที่รังเกียจของผู้พบเห็น กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานประกอบกิจการสิ่งทอ โดยสีที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจะต้องไม่เป็นที่รังเกียจ (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม 2542 : 2) สีย้อม และสีย้อม เป็นสารที่ยากต่อการสลายตัวทางชีวภาพ (Crini 2003 : 193) จึงก่อให้เกิดมลพิษในน้ำ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อมนุษย์ และเป็น

การทำลายระบบนิเวศน์ น้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ จึงต้องผ่าน การบำบัดก่อนที่จะปล่อยน้ำนั้นออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ เพื่อเป็นการป้องกันการปนเปื้อนกับ น้ำชั้นพื้นผิวและน้ำในชั้นดินต่างๆ

วิธีที่นิยมใช้ในการกำจัดสีในน้ำทิ้ง คือ การตกตะกอนด้วยสารเคมี เช่น การใช้ อะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ปูนขาว) หรือการใช้เกลือของเหล็ก เช่น เฟอร์ริลซัลเฟต เฟอร์ริกคลอไรด์ (อังคณา ตูลย์ไทรรัตน์ 1998 : 35) การตกตะกอน โดยวิธีนี้จะทำให้เกิดสลัดจ์ (sludge) ที่ยากต่อการกำจัด การใช้ตัวตกตะกอนแบบพอลิเมอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพอลิเมอร์ชีวภาพ (biopolymer) ที่ได้จากการแปรรูปสินค้าประมงและเกษตร เป็นแนวทางที่น่าสนใจ เนื่องจากพอลิเมอร์ชีวภาพสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (biodegradable) จึงปลอดภัยในการใช้งานและไม่เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม โดยในงานวิจัยนี้ จะใช้ไคโทซาน ซึ่งผลิตได้จากเปลือกกุ้ง ปู หรือแกนหมึก ร่วมกับแอลจินेटและคาร์ราจีแนน ซึ่งสกัดได้จากสาหร่ายสีน้ำตาลและสาหร่ายสีแดง ตามลำดับ พอลิเมอร์ชีวภาพเหล่านี้สกัด ได้จากวัตถุดิบที่มีอยู่แล้วภายในประเทศ จึงเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์ และเพิ่มมูลค่าให้กับขยะเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมประมง โดยนำมาแปรรูปเป็นไคโทซานเพื่อใช้ ในการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการใช้ไคโทซานร่วมกับคาร์ราจีแนน อัลจินेट และโซเดียมโตะเดคซิล-ซัลเฟต ในการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีในการใช้ไคโทซานร่วมกับคาร์ราจีแนน ไคโทซาน ร่วมกับอัลจินेट และไคโทซานร่วมกับโซเดียมโตะเดคซิลซัลเฟต

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

การวิจัยนี้ทำการศึกษาการใช้วัสดุแปรรูปทางการเกษตรและประมงเพื่อกำจัดสีในน้ำทิ้ง จากอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยมีขอบเขตการวิจัย ดังนี้

1. วัสดุแปรรูปที่ใช้ในการวิจัยนี้ มีดังนี้
 - 1.1 วัสดุแปรรูปทางการเกษตรที่ใช้ศึกษา คือ แอลจินेट และคาร์ราจีแนน
 - 1.2 วัสดุแปรรูปทางการประมงที่ใช้ศึกษา คือ ไคโทซาน
2. ศึกษาการเตรียมไคโทซานเพื่อนำมาใช้ในการกำจัดสี โดยเตรียมให้อยู่ในรูปเกลือ ไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซาน และไคโทซานในกรดแอสซิดิก
3. ศึกษาการกำจัดสีในน้ำทิ้งดังนี้
 - 3.1 น้ำทิ้งที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ
 - 3.2 น้ำทิ้งที่สูดตัวอย่างจากโรงงานอุตสาหกรรมจริง

4. ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารสีในน้ำทิ้ง โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ดังนี้

4.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการใช้สารตกตะกอนร่วมกันในการกำจัดสี ดังนี้

1. เกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโโทซานร่วมกับคาร์ราจินแนน
2. เกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโโทซานร่วมกับแอลจินเนต
3. เกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโโทซานร่วมกับโซเดียมโตะเคซิลซัลเฟต
4. โคโโทซานในกรดแอสติคร่วมกับคาร์ราจินแนน
5. โคโโทซานในกรดแอสติคร่วมกับแอลจินเนต
6. โคโโทซานในกรดแอสติคร่วมกับโซเดียมโตะเคซิลซัลเฟต

4.2 ศึกษาการกำจัดสารสีในน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นต่างๆ

5. ศึกษาการกำจัดสีรีแอกทีฟ โดยใช้สารต่าง ๆ ดังนี้

1. โคโโทซานในกรดแอสติคร่วมกับคาร์ราจินแนน
2. โคโโทซานในกรดแอสติคร่วมกับแอลจินเนต
3. โคโโทซานในกรดแอสติคร่วมกับโซเดียมโตะเคซิลซัลเฟต

6. ศึกษาการกำจัดสีแอสติค โดยใช้สารต่าง ๆ ดังนี้

1. โคโโทซานในกรดแอสติคร่วมกับคาร์ราจินแนน
2. โคโโทซานในกรดแอสติคร่วมกับแอลจินเนต
3. โคโโทซานในกรดแอสติคร่วมกับโซเดียมโตะเคซิลซัลเฟต

7. ศึกษาการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้สารต่างๆ ดังนี้

1. โคโโทซานในกรดแอสติคร่วมกับคาร์ราจินแนน
2. โคโโทซานในกรดแอสติคร่วมกับแอลจินเนต
3. โคโโทซานในกรดแอสติคร่วมกับโซเดียมโตะเคซิลซัลเฟต

8. ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบเชิงซ้อนด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. การศึกษาวิจัยจะเป็นแนวทางการแก้ปัญหาเพื่อกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้วัสดุแปรรูปจากการเกษตรและประมง

2. ผลจากการวิจัยทำให้เลือกใช้วัสดุแปรรูปได้เหมาะสม เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุด

3. เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมประมง และเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า

4. ทำให้ได้วิธีการกำจัดสีในน้ำทิ้งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

บทที่ 2

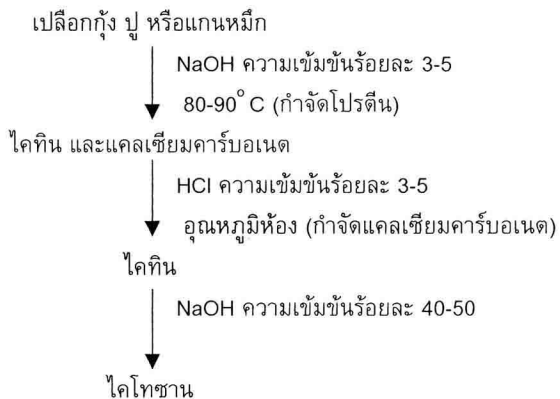
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไคโทซาน

2.1.1 กระบวนการผลิตไคโทซาน

อุตสาหกรรมประมงที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ คือ อุตสาหกรรมการเลี้ยงกุ้ง ในปี 2546 มีผลผลิต 0.330 ล้านตัน โดยมีปริมาณบริโภคภายในประเทศ 0.033 ล้านตัน ปริมาณที่เหลือจะเป็นสินค้าส่งออก โดยประเทศไทยส่งออกกุ้งไปยังสหรัฐอเมริกาเป็นมูลค่าประมาณ 900 ล้านเหรียญสหรัฐต่อปี (กระทรวงพาณิชย์ 2547 : ม.ป.ล.) กากของเสียที่เหลือจากอุตสาหกรรมดังกล่าว คือ เปลือกกุ้ง สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไคติน และอนุพันธ์ของไคติน คือ ไคโทซาน นอกจากนี้ไคตินอาจสกัดได้จากกระดองปู และแกนหมึก

ในเปลือกกุ้ง และปู มีไคตินเป็นองค์ประกอบร้อยละ 20-25 และมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบร้อยละ 70 ไคตินสกัดออกจากเปลือกกุ้งและปู โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตออกไปด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) จึงจะได้ไคตินที่บริสุทธิ์ ไคตินเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาดีแอซิติลเลชันได้ไคโทซาน ขั้นตอนการผลิตแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.1 (Austrian 1981 : 749-753)

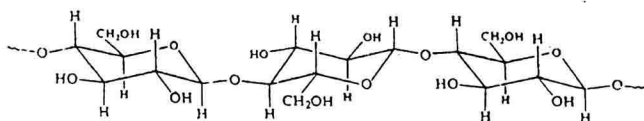


ภาพประกอบที่ 2.1 ขั้นตอนการผลิตไคโทซาน

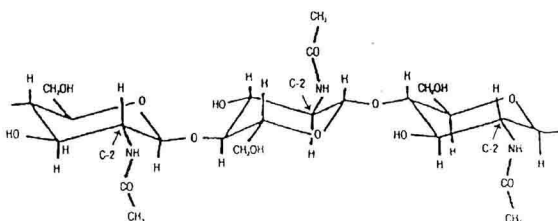
2.1.2 โครงสร้างของไคโทซาน

ไคโทซานได้จากการทำปฏิกิริยาดีแอซิติลเลชันไคตินด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะเปลี่ยนหมู่แอซิติลในไคตินเป็นหมู่อะมิโนในไคโทซาน ไคโทซานมีโครงสร้างทางเคมีคล้ายคลึงกับเซลลูโลส ไคโทซานประกอบด้วยหมู่อะมิโนที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 2 และหมู่

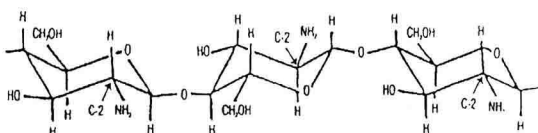
ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่งที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคติน และไคโทซาน แสดงดังในภาพประกอบที่ 2.2



เซลลูโลส



ไคติน



ไคโทซาน

ภาพประกอบที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคติน และไคโทซาน (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ม.ป.ป. : 1/3)

2.1.3 สมบัติของไคตินและไคโทซาน

ไคตินบริสุทธิ์มีสีขาว ไม่ละลายน้ำ กรดอ่อน ด่างอ่อน ต่างแก่ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ แต่ละลายในกรดฟอร์มิก กรดซัลฟิวริกเข้มข้น และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Cornard 1965 : 86)

โคโทซานไม่ละลายน้ำ ต่างและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มีพีเอชน้อยกว่า 6 กรดแอสติกและกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายโคโทซาน (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ม.ป.ป. : 1/3) โคโทซานที่อยู่ในรูปเกล็ดของกรดหลายชนิดละลายน้ำได้ ยกเว้นเกล็ดซัลเฟตและเกล็ดซัลไฟท์ (Filar and Wirick 1978 : 169-181)

โคโทซานเป็นตัวยึดตะกอนและตัวตกตะกอน (flocculent and coagulating agent) ที่ดี เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีมีหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวก และจับกับสารที่มีประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อม พอลิเมอร์ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ม.ป.ป. : 1/3) ปัจจุบันได้มีการค้นคว้าและใช้ประโยชน์จากโคโทซานมากมาย

การตกตะกอนสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปไข่โดยใช้โคโทซานปริมาณ 100-200 มิลลิกรัม/ลิตร ร่วมกับพอลิเมอร์ที่มีประจุลบ (ชื่อทางการค้า Betz 1130) ปริมาณ 2-20 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าการใช้โคโทซานปริมาณ 150 มิลลิกรัม/ลิตร ร่วมกับพอลิเมอร์ประจุลบปริมาณ 10 มิลลิกรัม/ลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนนาน 1 ชั่วโมง โดยพีเอชของน้ำมีค่า 6.7-7.1 สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยและซีโอดีได้ร้อยละ 72 และ 76 ตามลำดับ (Bough 1975 : 1904-1912)

จอห์นสัน และ กาลแลนเจอร์ (Johnson and Gallanger 1984 : 970-976) ใช้โคโทซานเพื่อตกตะกอนของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากการผลิตปู ปลาซาลมอน และกุ้งแช่แข็ง พบว่าปริมาณโคโทซานที่เหมาะสม คือ 30 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถลดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 98 ในน้ำทิ้งสามชนิด โดยให้ผลใกล้เคียงกับการใช้เฟอริกซัลเฟตปริมาณ 50 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสามารถลดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 93, 98, และ 98 ตามลำดับ

โน และ เมเยอร์ (No and Meyers 1989 : 580-583) ได้ใช้โคโทซานจากก้างเพื่อตกตะกอนสารประกอบอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากการแปรรูปสัตว์น้ำ พบว่าการใช้โคโทซาน 150 มิลลิกรัม/ลิตร ที่พีเอช 6 ให้ผลใกล้เคียงกับการใช้โคโทซานทางการค้า และให้ผลดีกว่าพอลิเมอร์ 5 ชนิด ที่ผลิตในทางการค้า

โครงสร้างทางเคมีของโคโทซานประกอบด้วยหมู่อะมิโน จึงสามารถเกิดแรงดึงดูดระหว่างโคโทซานและโมเลกุลของสี จากการศึกษาพบว่าการใช้โคโทซานในการดูดซับสีย้อมนิยมเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลาย โดยใช้กรดแอสติกเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากหมู่อะมิโนของโคโทซานจะถูกเปลี่ยนเป็น $-NH_3^+$ จึงสามารถดูดซับสีย้อมที่มีประจุลบได้ โดยอาศัยแรงดึงดูดระหว่างประจุ (Kumar 2003 : 1-27)

โคโทซานจะมีลักษณะเป็นเจลในสารละลายที่มีพีเอชต่ำกว่า 5.5 การใช้โคโทซานในสภาวะที่เป็นกรดทำให้การกำจัดสีย้อมหรือโลหะหนักในน้ำทิ้งมีประสิทธิภาพลดลง เนื่องจากโคโทซานจะละลายได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด (Guibel et.al. 1998 : 1454-1463)

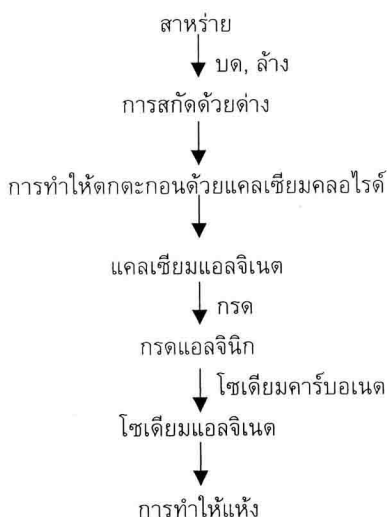
การกำจัดสีแอมิดและสีรีแอคทีฟโดยใช้โคโทซานที่ทำให้เกิดการเชื่อมขวาง (cross-linked) โดยสารเชื่อมขวางต่างๆ พบว่า โคโทซานที่ผ่านการเชื่อมขวางสามารถดูดซับสีแอมิดได้

ในปริมาณ 1,200-1,700 กรัม/กิโลกรัม ในสารละลายที่มีพีเอชระหว่าง 3.4 (Yoshida and Okamoto 1993 : 2267-2272) เติร์ยมไคโทซานโดยทำให้เกิดการเชื่อมขวางด้วยอีพิกโลโรไฮดริน ซึ่งสามารถดูดซับสีที่สกัดได้ในปริมาณ 1,600-1,900 กรัม/กิโลกรัม ในสารละลายกรดที่มีพีเอช 3

2.2 แอลจิเนต

2.2.1 กระบวนการผลิตแอลจิเนต (Roberts 1995 : 3)

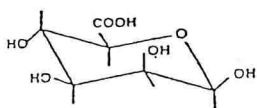
สาหร่ายทะเลเป็นทรัพยากรธรรมชาติทางทะเลที่สำคัญ เพราะเป็นแหล่งผลิตและเริ่มต้นของระบบนิเวศในน้ำ ใช้เป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์ แอลจิน (algin) หรือแอลจิเนต เป็นสิ่งที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล กระบวนการผลิตแอลจิเนตแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.3



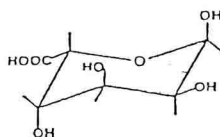
ภาพประกอบที่ 2.3 กระบวนการผลิตแอลจิเนต

2.2.2 โครงสร้างทางเคมีของกรดแอลจินิก (McHugh 1987 : 51-96)

แอลจิเนตเป็นเกลือของกรดแอลจินิก ประกอบด้วยกรดแมนนูโรนิก (manuronic acid) และกลูโรนิก (guluronic acid) โครงสร้างทางเคมีแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.4



กรดแมนนูโรนิก

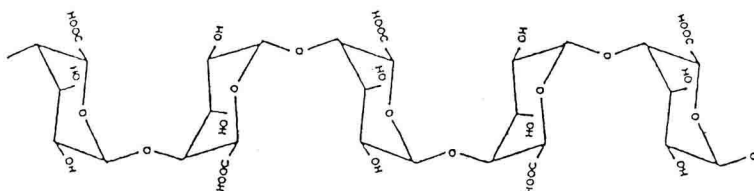


กรดกลูโรนิก

ภาพประกอบที่ 2.4 โครงสร้างของกรดแมนนูโรนิกและกลูโรนิก

พอลิเมอร์ของกรดแอลจินิกเกิดโดยการเชื่อมต่อของมอนอเมอร์ที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 4 โดยสายโซ่พอลิเมอร์ที่สร้างขึ้นมี 3 ชนิด คือ

1. จีบล็อก (G blocks) ซึ่งประกอบด้วยกรดกลูโรนิกเพียงอย่างเดียว สายโซ่พอลิเมอร์มีลักษณะคดไปมาแบบฟันเลื่อยดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.5



ภาพประกอบที่ 2.5 พอลิเมอร์ของกรดกลูโรนิกแบบจีบล็อก

2. เอ็มบล็อก (M blocks) ซึ่งประกอบด้วยกรดแมนนูโรนิกเพียงเดียว สายโซ่พอลิเมอร์เป็นแบบเส้นตรงดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.6



ภาพประกอบที่ 2.6 พอลิเมอร์ของกรดแมนนูโรนิกแบบเอ็มบล็อก

3. เอ็มจีบล็อก (MG blocks) ซึ่งประกอบด้วยกรดแมนนูโรนิกและกรดกลูโรนิก อัตราส่วนของกรดแมนนูโรนิกและกรดกลูโรนิก (M/G ratio) ในแอลจินेटที่มีผลต่อสมบัติของ แอลจินेट สำหรับที่มีอัตราส่วนของกรดแมนนูโรนิกและกรดกลูโรนิกต่ำ จะให้แอลจินेटที่มี คุณภาพดี เกิดเจลที่มีความแข็งแรงสูง

2.2.3 สมบัติของแอลจินेट (Roberts 1995 : 3)

โซเดียมแอลจินेटละลายน้ำได้ สารละลายมีความหนืดสูง เคลือบเคลือบของแอลจินेट ไม่ละลายน้ำ เนื่องจากเกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมไอออนกับสายโซ่พอลิเมอร์ของ จีบล็อกในแอลจินेट ช่องว่างระหว่างสายโซ่ของจีบล็อกจะเกิดการจับกับแคลเซียมไอออน ความแข็งแรงของเจลขึ้นอยู่กับปริมาณของจีบล็อกในแอลจินेट และความเข้มข้นของแคลเซียม ไอออน

2.2.4 ประโยชน์ของแอลจินेट (McHugh 1987 : 51-96)

แอลจินेटสามารถใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

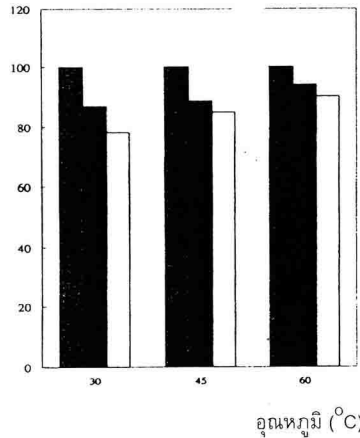
ตารางที่ 2.1 ปริมาณการใช้แอลจินेटในอุตสาหกรรมต่างๆ

ชนิดของอุตสาหกรรม	ร้อยละของปริมาณการใช้แอลจินेट
อุตสาหกรรมสิ่งทอ	50
อุตสาหกรรมอาหาร	30
อุตสาหกรรมกระดาษ	5
อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์	5
เภสัชกรรม	5
อื่นๆ	5

อุตสาหกรรมสิ่งทอมีการใช้แอลจินेटเป็นสารลงแป้งในเส้นด้าย เพื่อให้เส้นด้ายแข็งแรง ป้องกันการขาดของเส้นด้ายในระหว่างการทอ ใช้ในงานพิมพ์โดยทำหน้าที่เป็นสารทำข้น (thickening agent) การใช้แอลจินेटในอุตสาหกรรมอาหารใช้เป็นสารทำข้น สารทำให้เกิด อิมัลชัน (emulsifying agent) และสารทำให้เกิดความเสถียร (stabilizing agent)

การใช้แอลจินेटร่วมกับถ่านกัมมันต์ (activated carbon) มีการนำมาใช้ในการดูดซับ สีเบสิก โดยนำถ่านกัมมันต์ความเข้มข้นร้อยละ 1 ผสมกับสารละลายโซเดียมแอลจินेट ความเข้มข้นร้อยละ 2 และนำมาหยดลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.05 โมล/ ลิตร (Annadurai 2002 : 191-198) ผลึกภัณฑ์ที่ได้มีถ่านกัมมันต์กระจายตัวอยู่ในเม็ดของ แอลจินेट ผลการดูดซับสีเบสิกที่พีเอช 7 แสดงดังในภาพประกอบที่ 2.7 การใช้แอลจินेट ร่วมกับถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับสีเบสิกได้ดี และการดูดซับสีมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิ เพิ่มขึ้น

ร้อยละของปริมาณสีที่ถูกดูดซับ



ภาพประกอบที่ 2.7 ร้อยละของการดูดซับสีเบสิกโดยใช้แอลจิเนตร่วมกับถ่านกัมมันต์ในปริมาณ 1 กรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิและความเข้มข้นของสีต่างกัน



100 มิลลิกรัม/ลิตร



200 มิลลิกรัม/ลิตร



300 มิลลิกรัม/ลิตร

โซเดียมแอลจิเนตและกัวกัม (guar gum) นำมาใช้เป็นสารทำชันในการพิมพ์สีรีแอกทีฟบนผ้าที่ผลิตจากเส้นใยวิสโคสเรยอน การใช้โซเดียมแอลจิเนตเป็นสารทำชันในการพิมพ์ร่วมกับการใช้สารเติมแต่ง (additive) ที่เป็นสารลดแรงตึงผิวในกลุ่มเอทิลีนออกไซด์ ทำให้ผ้าที่ได้จากการพิมพ์มีผิวสัมผัสที่อ่อนนุ่มมากกว่าการใช้กัวกัม (Schnerder 2003 : 714)

แอลจิเนตมีสมบัติในการจับโลหะหนัก (Thomas 2003 : 4311-4330) ผลการศึกษาแสดงดังในตารางที่ 2.2 การดูดซับโลหะหนักของแอลจิเนตเกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นองค์ประกอบในแอลจิเนตกับไอออนของโลหะหนัก

ตารางที่ 2.2 การดูดซับโลหะหนักของแอลจิเนต

ชนิดของโลหะ	ค่าพีเอชของสารละลาย	ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับ (โมล/ลิตร)
Au	2.5	0.12
Cd	4.9	1.91
Co	4.0	1.70
Ni	3.5	0.69
Pb	3.5	1.31

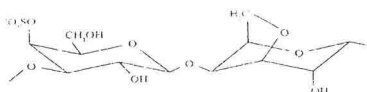
2.3 คาร์ราจีแนน

2.3.1 โครงสร้างทางเคมีของคาร์ราจีแนน (Oven 1996 : 211-216)

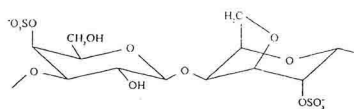
คาร์ราจีแนนสกัดได้จากสาหร่ายสีแดงด้วยด่างอ่อน (Guhard et.al. 1997 : 389) คาร์ราจีแนนเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ โครงสร้างประกอบด้วยเกลียวซัลเฟตของกาแลคแทนซัลเฟตที่เป็นองค์ประกอบในคาร์ราจีแนนมีปริมาณร้อยละ 15-40 โครงสร้างที่สำคัญของคาร์ราจีแนนมี 3 ชนิด คือ

1. แคปปา-คาร์ราจีแนน (kappa-carrageenan ; K- carrageenan) หรือ คาร์ราจีโนส 4'-ซัลเฟต ประกอบด้วยหมู่ซัลเฟต 1 หมู่ต่อกาแลคโทส จำนวน 2 หน่วย
2. ไอโอตา-คาร์ราจีแนน (iota-carrageenan ; I- carrageenan) หรือ คาร์ราจีโนส 2,4'-ไดซัลเฟต ประกอบด้วยหมู่ซัลเฟต 2 หมู่ต่อกาแลคโทส จำนวน 2 หน่วย
3. แลมดา-คาร์ราจีแนน (lambad- carrageenan ; λ - carrageenan) หรือ คาร์ราจีแนน 2,6,2'-ไตรซัลเฟต ประกอบด้วยหมู่ซัลเฟต 3 หมู่ต่อกาแลคโทส จำนวน 2 หน่วย

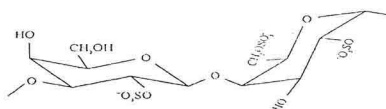
ความหนาแน่นของประจุจะลดลงเรียงตามลำดับดังนี้ คือ แลมดา-คาร์ราจีแนน, ไอโอตา-คาร์ราจีแนน, และแคปปา-คาร์ราจีแนน โครงสร้างสำคัญที่พบในคาร์ราจีแนนแต่ละประเภท แสดงดังในภาพประกอบที่ 2.8



แคปปา-คาร์ราจีแนน



ไอโอตา-คาร์ราจีแนน



แลมดา-คาร์ราจีแนน

ภาพประกอบที่ 2.8 โครงสร้างของคาร์ราจีแนนชนิดต่างๆ

2.3.2 สมบัติของคาร์ราจีแนน (Oven 1996 : 211-216)

คาร์ราจีแนนเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติชอบน้ำ ละลายน้ำได้ให้สารละลายที่มีลักษณะเหนียวหนืด หมู่ซัลเฟตที่เป็นองค์ประกอบในคาร์ราจีแนนถูกออกซิไดซ์ได้ จึงทำให้โมเลกุลมีประจุลบ

2.3.3 ประโยชน์ของคาร์ราจีแนน (MacArtain 2003 : 395)

คาร์ราจีแนนมีการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร การแพทย์ และเภสัชวิทยา และเทคโนโลยีชีวภาพ ใช้เป็นสารทำข้น (thickening agent) และสารที่ทำให้เกิดความเสถียร (stabilizing agent)

2.4 สารลดแรงตึงผิว

2.4.1 ประเภทของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. สารลดแรงตึงผิวชนิดแอนไอออนิก (anionic surfactants) สารลดแรงตึงผิวชนิดนี้จะให้ประจุลบเมื่ออยู่ในสารละลาย โดยทั่วไปเป็นประจุลบของหมู่ซัลโฟเนต ($-\text{SO}_3^-$) หมู่ซัลเฟต ($-\text{OSO}_3^-$) หรือหมู่คาร์บอเนต ($-\text{CO}_2^-$) ตัวอย่างการแตกตัวของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มซัลโฟเนตปฏิกิริยาเกิดขึ้น ดังนี้



2. สารลดแรงตึงผิวชนิดแคตไอออนิก (cationic surfactant) สารลดแรงตึงผิวกลุ่มนี้แตกตัวให้ประจุบวกเมื่ออยู่ในสารละลาย สารลดแรงตึงผิวกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นอนุพันธ์ของควอเทอร์นารีแอมโมเนียม สารลดแรงตึงผิวกลุ่มนี้ส่วนใหญ่มีการใช้งานเป็นสารปรับนุ่ม (softeners) ปฏิกิริยาการแตกตัวเกิดขึ้น ดังนี้



3. สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (nonionic surfactants) สารลดแรงตึงผิวกลุ่มนี้ประกอบด้วยหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic groups) โดยไม่เกิดการแตกตัวให้ประจุเมื่ออยู่ในสารละลาย สารลดแรงตึงผิวทางการค้าที่สำคัญ คือ พอลิอีเทอร์ ซึ่งได้มาจากเอทิลีนออกไซด์ ซึ่งมีปริมาณการใช้งานประมาณ 1 ใน 3 ของสารลดแรงตึงผิวทั้งหมด

2.4.2 โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

2.4.2.1 การสังเคราะห์โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดแอนไอออนิกกลุ่มซัลเฟต โดยมีโครงสร้างทางเคมี ดังนี้ (Swisher 1987 : 31-37)



โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต เป็นสารลดแรงตึงผิวกลุ่มอัลคิลซัลเฟต การสังเคราะห์อัลคิลซัลเฟต เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์กับกรดซัลฟิวริก จากนั้นเมื่อทำปฏิกิริยากับ NaCO_3 จะได้ผลิตภัณฑ์ของอัลคิลซัลเฟต ปฏิกิริยาทั่วไปเกิดขึ้น ดังนี้



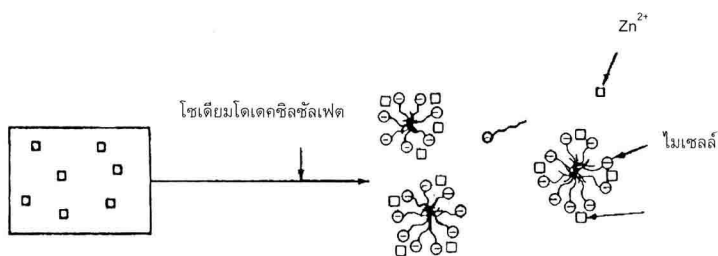
ในการสังเคราะห์โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต ปฏิกิริยาเกิดขึ้น ดังนี้



2.4.2.2 การใช้งาน

โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต มีลักษณะเป็นผงสีขาวหรือครีม ใช้เป็นสารช่วยลดแรงตึงผิวของสารละลาย ใช้เป็นสารช่วยเปียก (wetting agent) หรือผสมในผงซักฟอก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การใช้งานในอุตสาหกรรมสิ่งทอนำมาใช้เป็นสารซักล้างวัสดุสิ่งทอ และใช้เป็นสารช่วยการกระจายตัวของสีย้อมในน้ำ (Porter 1991 : 69 - 73)

นอกจากนี้ มีการศึกษาโดยใช้โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตเป็นสารลดแรงตึงผิวเพื่อกำจัด Zn^{2+} จากน้ำทิ้ง โดยกลไกการกำจัด Zn^{2+} เกิดขึ้นโดยไมเซลล์ของโซเดียม-โดเดคซิลซัลเฟต ซึ่งมีประจุลบจึงจับกับ Zn^{2+} ที่มีประจุบวกได้ดี ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.9 ผลจากการศึกษาพบว่า Zn^{2+} ถูกกำจัดออกไปมากกว่าร้อยละ 99 (Wasan, Ginn and Shah 1988 : 95 - 97)



ภาพประกอบที่ 2.9 การกำจัดซิงค์คลอไรด์ในน้ำทิ้งด้วยโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

□ = Zn^{2+}

—○ = โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

2.5 พอลิเล็กโทรไลต์

พอลิเล็กโทรไลต์เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ (macromolecule) โดยมีหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุเป็นจำนวนมาก หรือทำให้เกิดประจุได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม สารโมเลกุลใหญ่เหล่านี้ อาจเป็นพอลิแคทไอออน หรือพอลิแอนไอออน ขึ้นอยู่กับชนิดของหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบ (Fatma 2003 : 346-351)

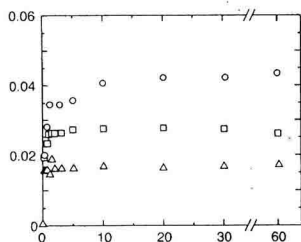
แพทมา (Fatma 2003 : 346-351) ศึกษาการเตรียมพอลิเล็กโทรไลต์เชิงซ้อน (polyelectrolyte complex) ระหว่างไคโทซานและแอลจินेटที่มีพีเอชต่างๆ ผลจากการศึกษาพบว่าที่พีเอชต่ำกว่า 3.6 จะไม่พบหมู่ $-\text{COO}^-$ ในแอลจินेट และที่พีเอชสูงกว่า 6.3 จะไม่พบหมู่ $-\text{NH}_3^+$ ในไคโทซาน ดังนั้นการเกิดพอลิเล็กโทรไลต์เชิงซ้อนระหว่างไคโทซานและแอลจินेट จึงไม่เกิดขึ้นที่พีเอชต่ำกว่า 3.6 และสูงกว่า 6.3

การเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างไคโทซานและแอลจินेटมีการศึกษาโดยการเตรียมให้อยู่ในรูปแบบเม็ด ซึ่งนำมาใช้ในการปลดปล่อยยา (drug release) สภาวะที่เหมาะสมกับการเตรียม คือ พีเอช 5.4 โดยหมู่คาร์บอกซิลบนสายโซ่พอลิเมอร์ของแอลจินेटแตกตัวให้อิออนที่มีประจุลบ จึงทำปฏิกิริยากับไคโทซานได้ดี

ริมา (Rima et al 2003 : 37-47) ศึกษาการใช้แอลจินेटและแคทไอออนิกพอลิเมอร์กลุ่มควอเทอร์นารีแอมโมเนียม (quaternary ammonium) ที่เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์เพื่อดูดซับสีดีสเพอร์สที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าภายหลังจากการดูดซับมีสีเหลืออยู่ปริมาณร้อยละ 4 ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสี คือ อัตราส่วนระหว่างพอลิแคทไอออนและพอลิแอนไอออน

การทำปฏิกิริยาระหว่างแอลจิเนตและไคโทซานโดยใช้กลูทาร์ลดีไฮด์ (glutaraldehyde) เป็นสารเชื่อมขวาง มีการศึกษาโดยเตรียมให้อยู่ในรูปแบบเม็ด อนุภาคที่เตรียมได้มีสมบัติในการดูดซับโลหะหนักหลายชนิด คือ Cu (II), Co (II), และ Cd (II) ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.10 (Gotoh 2004 : 135-140)

ปริมาณการดูดซับ (มิลลิโมล/กรัม)



เวลา (นาที)

ภาพประกอบ 2.10 การดูดซับโลหะหนักของพอลิเมอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างแอลจิเนตและไคโทซาน ; o = Cu (II), Δ = Co(II), และ □ = Cd (II)

การดูดซับโลหะหนักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และถึงจุดสมดุล (equilibrium) ภายในเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 25°C การดูดซับโลหะหนักของอนุภาคพอลิเล็กโทรไลต์เชิงซ้อนระหว่างแอลจิเนตและไคโทซาน เกิดจากการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไฮโดรเจนไอออนของหมู่คาร์บอกซิลในแอลจิเนต ส่วนหมู่อะมิโนของไคโทซานในอนุภาคของพอลิเล็กโทรไลต์จะทำหน้าที่พวงเมตริกซ์ของอนุภาคไว้ โดยเกิดปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลของแอลจิเนต และเกิดการเชื่อมขวางกับหมู่แอลดีไฮด์ในกลูทาร์ลดีไฮด์ที่เป็นสารเชื่อมขวาง

การเกิดพอลิเล็กโทรไลต์เชิงซ้อนระหว่างไคโทซานและคาร์ราจีแนน เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างประจุของหมู่ซัลโฟเนตที่เป็นองค์ประกอบในคาร์ราจีแนน กับหมู่อะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในไคโทซาน ดังนั้นค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายจึงมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา (Mitsumata et.al. 2003 : 7103-7111)

2.6 การกำจัดสีโดยวิธีการจับตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation)

น้ำเสียจากการฟอกย้อมมีแหล่งกำเนิดในทุกขั้นตอนของการฟอกย้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนการย้อม ซึ่งทำให้น้ำทิ้งปนเปื้อนด้วยสีย้อม ส่วนสารสี (pigment) ซึ่งใช้ในแต่ละขั้นตอนการพิมพ์ มีความสามารถในการละลายน้ำและในตัวทำละลายอินทรีย์ต่ำ แต่สารสีที่อยู่ในรูปอิมัลชันจะละลายน้ำ สารสีเป็นสีที่ไม่จัดว่าก่อมะเร็งในมนุษย์ (อังคณา ดุลย์ไตรรัตน์ 1997 : 33-34) แต่ถ้าปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้งจำเป็นต้องมีการบำบัด

วิธีที่นิยมใช้ในการกำจัดสีในน้ำทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ คือ วิธีการจับตะกอนด้วยสารเคมี ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม 2542 : 5-18)

1. การเติมสารเคมีที่เป็นสารสร้างตะกอน (coagulant) ลงไปในน้ำทั้ง
2. การกวนอย่างช้าๆ เพื่อให้เกิดสภาพรวมตะกอน (flocculation) การเกาะกันระหว่างตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กๆ กับสารสร้างตะกอน จะทำให้ได้ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ จนสามารถตกตะกอนได้

สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนมีหลายชนิด ดังนี้ (นฤมล ศิริทวงธรรม : 48-54)

1. ตัวตกตะกอนอนินทรีย์ การใช้เกลืออนินทรีย์จะต้องควบคุมพีเอชในน้ำทั้ง จึงจะทำให้เกิดการตกตะกอนของอนุภาคในน้ำทั้ง ตัวตกตะกอนที่นิยมใช้ คือ อะลูมิเนียมซัลเฟต เพอร์ริช-ซัลเฟต เพอร์ริกคลอไรด์ และเพอร์ริกซัลเฟต

2. ตัวตกตะกอนแบบพอลิเมอร์ ตัวตกตะกอนแบบนี้มีประสิทธิภาพในการจับตะกอนที่ติขนาดของตะกอนที่ได้จากการใช้ตัวตกตะกอนแบบพอลิเมอร์จะมีขนาดใหญ่ การเจริญเติบโตของตะกอนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ใช้เวลาในการบำบัดน้ำเสียลดลง ตัวตกตะกอนแบบพอลิเมอร์แสดงดังในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ชนิดของตัวตกตะกอนแบบพอลิเมอร์

ชนิดของพอลิเมอร์	ตัวอย่างพอลิเมอร์
พอลิเมอร์ธรรมชาติ	เจลาติน เซลลูโลส แป้ง
พอลิเมอร์สังเคราะห์	พอลิอะคริลาไมด์ พอลิเอทิลีนออกไซด์

การกำจัดสีดีสเพอร์ส สีวัด และสีซัลเฟอร์ ด้วยวิธีการตกตะกอนโดยใช้สารส้ม ปูนขาว และ เพอร์ริกซัลเฟต ที่มีความเข้มข้น 300-600 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 75-90 โดยสารส้ม ทำให้ตะกอนเป็นปุย และตกตะกอนได้เร็วกว่าสารตกตะกอนชนิดอื่น (Halliday 1986 : 78-84)

เคนเนดี (Kennedy 1991 : 26-29) รายงานการปรับปรุงกระบวนการบำบัดน้ำทั้งที่ปนเปื้อนด้วยสีย้อมในโรงงานทอเส้นด้ายสังเคราะห์ ที่ใช้ดีสเพอร์ส สีเบสิก และสีไดเรกต์ โดยใช้ระบบบำบัดแบบตะกอนแรง โดยมีระยะเวลาเก็บกัก 4 วัน การทดลองได้ใช้ระบบการตกตะกอนด้วยสารเคมี และการลอยตัว ผลการตกตะกอนพบว่าการใช้สารอินทรีย์พอลิเมอร์ในการตกตะกอน ทำให้เกิดตะกอนน้อยกว่าการใช้สารอนินทรีย์พอลิเมอร์ โดยการใช้สารอินทรีย์พอลิเมอร์เกิดตะกอนน้อยกว่าร้อยละ 1 ของน้ำเสีย ในขณะที่การใช้สารอนินทรีย์พอลิเมอร์มีตะกอนเกิดขึ้นร้อยละ 3

ริมา (Rima 2003 : 37-47) ศึกษาการใช้พอลิ (ไดแอลลิวไโดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์) ร่วมกับแอนไอออนชนิดต่างๆ ในการดูดซับสีดีสเพอร์ส สีแอซิด และสีเบสิก ที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร ผลการทดลองแสดงดังในตารางที่ 2.4 การเกิดแรงดึงดูดระหว่างควอเตอร์นารีแอมโมเนียมกับสีย้อมเกิดขึ้นในสารละลายสี และการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างควอเตอร์นารีแอมโมเนียมร่วมกับแอนไอออนชนิดต่างๆ ทำให้เกิดการตกตะกอน

ตารางที่ 2.4 ร้อยละของปริมาณสีที่เหลือจากการกำจัดโดยใช้พอลิ(ไดแอลลิวไโดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์) ร่วมกับแอนไอออนชนิดต่างๆ

ชนิดของสี	ชนิดของแอนไอออน	ร้อยละของปริมาณสีที่เหลือ ภายหลังจากการกำจัด
สีดีสเพอร์ส	2,2'-เมทิลีน-บีส (6-แนพธาซีนซัลโฟนิกแอซิด)	4
	คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	5
	โพแทสเซียมปาล์มมิเตด	0
สีแอซิด	2,2'-เมทิลีน-บีส (6-แนพธาซีนซัลโฟนิกแอซิด)	25
	คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	3
สีเบสิก	2,2'-เมทิลีน-บีส (6-แนพธาซีนซัลโฟนิกแอซิด)	35

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี

1. กรดแอสซิดิก
2. กรดไฮโดรคลอริก
3. คาร์ราจีแนน
4. ไคโทซาน
5. โซเดียมคลอไรด์
6. โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต
6. สารสี
7. สีย้อมฟลูออเรสเซนต์
8. ซีแอซิด
9. แอลจีเนต

3.2 การเตรียมเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซาน

วิธีการทดลอง

1. ชั่งไคโทซาน 1 กรัม ละลายในสารละลายกรดแอสซิดิกเข้มข้น 0.1 โมล/ลิตร จำนวน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. หยดกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น จนได้ตะกอนขาวของไคโทซานไฮโดรคลอไรด์ โดยสมบูรณ์ และกรองตะกอนด้วยกระดาษกรองโดยใช้เครื่องดูดสุญญากาศ
3. ล้างตะกอนด้วยน้ำ จนปราศจากกรด และทำให้แห้ง
4. นำตะกอนที่ได้มาละลายน้ำ และเตรียมเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 วัดค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลาย และบันทึกผลการทดลอง

3.2.1 การเตรียมแอลจีเนต

ชั่งแอลจีเนต 1 กรัม ละลายในน้ำที่อุณหภูมิ 60°C และกวนอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 30 นาที และปรับปริมาตรให้ครบ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.2.2 การเตรียมคาร์ราจีแนน

ชั่งคาร์ราจีแนน 0.5 กรัม ละลายในน้ำที่อุณหภูมิ 60°C และกวนอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 30 นาที และปรับปริมาตรให้ครบ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.2.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมโอดีเคซิลซัลเฟต

ซังโซเดียมโอดีเคซิลซัลเฟต 1 กรัม ละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้อง และกวนอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 30 นาที และปรับปริมาตรให้ครบ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.2.4 การเตรียมน้ำทิ้ง

น้ำทิ้งที่ทำการศึกษาในการวิจัยนี้มาจาก 2 แหล่ง คือ น้ำทิ้งที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ โดยนำสารสีแต่ละชนิด (สีแดง สีนํ้าเงิน และสีเหลือง) ละลายในน้ำกลั่น กวนอย่างสม่ำเสมอ และเตรียมเป็นสารละลายตามที่กำหนด และน้ำทิ้งที่สูมตัวอย่างจากโรงงานอุตสาหกรรม

3.3 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารสี

3.3.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างโคโทซาน แอลจีเนต คาร์ราจีแนน และโซเดียมโอดีเคซิลซัลเฟต

วิธีการทดลอง

1. นำน้ำทิ้งของสารสี (สีแดง สีนํ้าเงิน และสีเหลือง) ที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตร จำนวน 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. เปิดเครื่องกวน โดยกวนเร็วที่ความเร็ว 100 รอบ/นาที แล้วเติมสารละลายเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 ลงไปในน้ำทิ้ง ใช้เวลาในการกวนเร็ว 1 นาที
3. ปรับเครื่องกวนให้มีความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที จากนั้นเติมสารละลายคาร์ราจีแนน ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ลงไป และกวนช้าเป็นเวลา 30 นาที
4. หยุดเครื่องกวน และตั้งบีกเกอร์ทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. ทำการวิเคราะห์น้ำ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดของสารสีในน้ำ ที่ผ่านการบำบัด โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectronic 20 Genesys) (ภาคผนวก ก)
6. ศึกษาอัตราส่วนต่างๆระหว่างสารละลายเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานร่วมกับสารละลายคาร์ราจีแนนที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำทิ้ง โดยใช้อัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนต่างๆระหว่างสารละลายเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและสารละลายคาร์ราจินที่ใช้ในการกำจัดสารสีในน้ำทิ้ง

ปริมาณของสารละลายเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซาน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณของสารละลายคาร์ราจิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
2.0	0
1.6	0.4
1.2	0.8
0.8	1.2
0.4	1.6
0	2.0

7. ทำการทดลองซ้ำเช่นเดียวกันกับข้อ 1- ข้อ 6 โดยใช้สารละลายต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

7.1 สารละลายเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานร่วมกับสารละลายแอลจินेट

7.2 สารละลายเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานร่วมกับโซเดียมโดเดคซิล

ซัลเฟต

7.3 โคโทซานในกรดแอสติคร่วมกับสารละลายคาร์ราจิน

7.4 โคโทซานในกรดแอสติคร่วมกับสารละลายแอลจินेट

7.5 โคโทซานในกรดแอสติคร่วมกับสารละลายโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

8. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีจากการใช้สารตกตะกอนชนิดต่างๆ เพื่อเลือกชนิดของสารตกตะกอน และอัตราส่วนที่เหมาะสมในการกำจัดสีในขั้นต่อไป

3.3.2 การศึกษาการกำจัดสารสีในน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ

วิธีการทดลอง

1. นำน้ำทิ้งของสารสีแต่ละชนิด (สีแดง สีเหลือง และสีน้ำเงิน) ที่มีความเข้มข้น 140-240 มิลลิกรัม/ลิตร จำนวน 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2. เติมสารละลายเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานลงไปน้ำทิ้ง จากนั้นเปิดเครื่องกวน โดยกวนเร็วที่ความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้น เติมสารละลายแอลจินेटและกวนช้าที่ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานกับสารละลายแอลจินेट เท่ากับ 0.8 : 1.2

3. หยุดเครื่องกวน และตั้งบีกเกอร์ทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4. ทำการวิเคราะห์น้ำ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดของสารสีในน้ำที่ผ่านการบำบัด โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 - ข้อ 4 แต่ใช้สารละลายเกลือไฮโดรคลอไรด์ของ

ไคโทซานร่วมกับสารละลายโซเดียมไดเตคซิลซัลเฟต ในอัตราส่วนเท่ากับ 0.8 : 1.2 แทน

3.4 การศึกษาการกำจัดสีรีแอกทีฟและสีแอซิด

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายสีรีแอกทีฟ (สีแดง) ที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตร โดยนำสีรีแอกทีฟละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 1 กรัม/ลิตร
2. นำน้ำทิ้งจากสารละลายสีรีแอกทีฟจำนวน 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสารละลายไคโทซานในกรดแอซิดิกและสารละลายคาร์ราจินแนนลงในอัตราส่วน 0.8 : 1.2 โดยกวนเร็วและกวนช้าตามลำดับ
3. ทำการวิเคราะห์น้ำ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดของสีในน้ำที่ผ่านการบำบัด โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
4. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 - ข้อ 4 แต่ใช้สารละลายไคโทซานในกรดแอซิดิกร่วมกับสารละลายแอลจิเนต และสารละลายไคโทซานในกรดแอซิดิกร่วมกับสารละลายโซเดียมไดเตคซิลซัลเฟต ในอัตราส่วนเท่ากับ 0.8 : 1.2 แทน
5. ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนชนิดของสีเป็นสีแอซิด

3.5 การศึกษาการกำจัดสารสีในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้จากการสูมตัวอย่างน้ำทิ้งจาก บริษัท สตาร์ เทคโนโลยีคอล อินดัสเทรียล จำกัด โดยสูมมาทำการศึกษาจำนวน 4 ครั้ง และกำจัดสารสีโดยใช้สารต่างๆ ดังนี้

1. ไคโทซานในกรดแอซิดิกร่วมกับสารละลายคาร์ราจินแนน
2. ไคโทซานในกรดแอซิดิกร่วมกับสารละลายแอลจิเนต
3. ไคโทซานในกรดแอซิดิกร่วมกับสารละลายโซเดียมไดเตคซิลซัลเฟต

วิธีการทดลอง

1. นำน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. เติมสารละลายไคโทซานในกรดแอซิดิกลงในน้ำทิ้ง จากนั้นเปิดเครื่องกวน โดยกวนเร็วที่ความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้น เติมสารละลายคาร์ราจินแนนและกวนช้าที่ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายไคโทซานในกรดแอซิดิกร่วมกับสารละลายคาร์ราจินแนน เท่ากับ 0.8 : 1.2
3. หยุดเครื่องกวน และตั้งบีกเกอร์ทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. ทำการวิเคราะห์น้ำ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดของสารสีในน้ำที่ผ่านการบำบัด โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 - ข้อ 4 แต่ใช้สารละลายไคโทซานในกรดแอสซิดิกร่วมกับ สารละลายแอลจินेट และสารละลายไคโทซานในกรดแอสซิดิกร่วมกับสารละลายโซเดียม โดเดคซิลซัลเฟต ในอัตราส่วนเท่ากับ 0.8 : 1.2 แทน

3.6 การตรวจสอบหุ้มน้ำฟุ้งกักกันของสารประกอบเชิงซ้อนด้วยเครื่องอินฟราเรด - สเปกโทรสโกปี

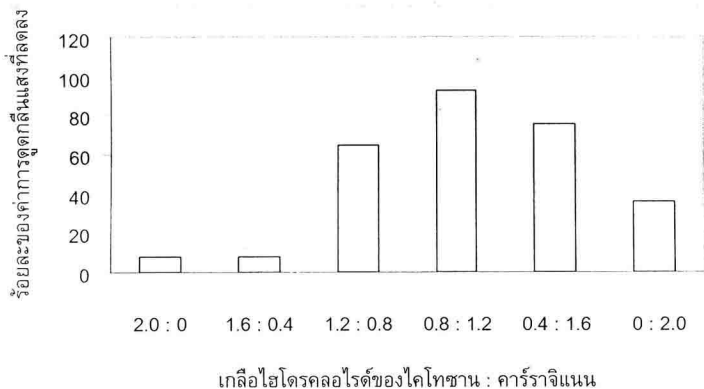
ตรวจสอบหุ้มน้ำฟุ้งกักกันของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง ไคโทซานในกรดแอสซิดิกร่วมกับสารละลายคาร์ราจีแนน ไคโทซานในกรดแอสซิดิกร่วมกับ สารละลายแอลจินेट และไคโทซานในกรดแอสซิดิกร่วมกับสารละลายโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต ที่อัตราส่วน 1.6 : 0.4 และ 0.8 : 1.2 และตรวจสอบหุ้มน้ำฟุ้งกักกันของสารประกอบเชิงซ้อน ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายเกลียวไฮโดรคอลลอยด์ของไคโทซานร่วมกับ สารละลายคาร์ราจีแนน สารละลายเกลียวไฮโดรคอลลอยด์ของไคโทซานร่วมกับสารละลาย แอลจินेट สารละลายเกลียวไฮโดรคอลลอยด์ของไคโทซานร่วมกับสารละลายโซเดียมโดเดคซิล-ซัลเฟต ที่อัตราส่วน 0.8 : 1.2 โดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

บทที่ 4

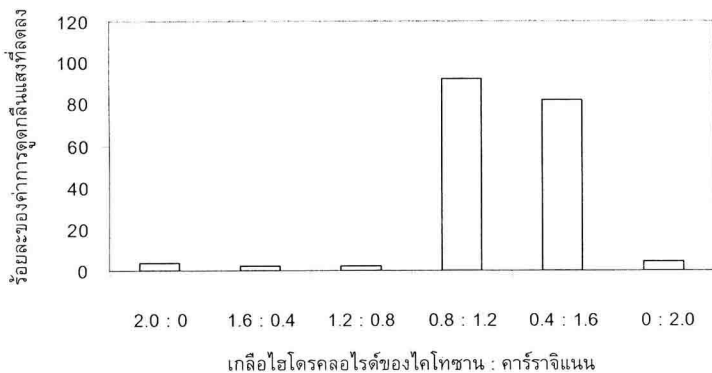
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การกำจัดสารสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนน

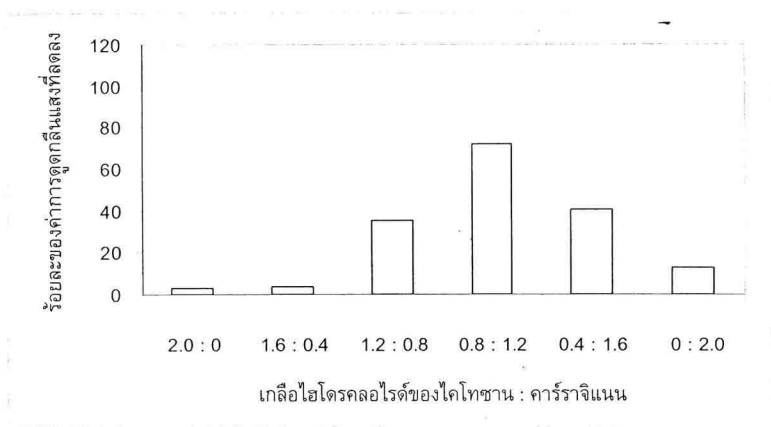
การกำจัดสารสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนนศึกษาโดยการกำจัดสารสีที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.02 โดยใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนนที่ อัตราส่วน 2.0 : 0 - 0 : 2.0 ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.1-4.4 และภาคผนวก ข



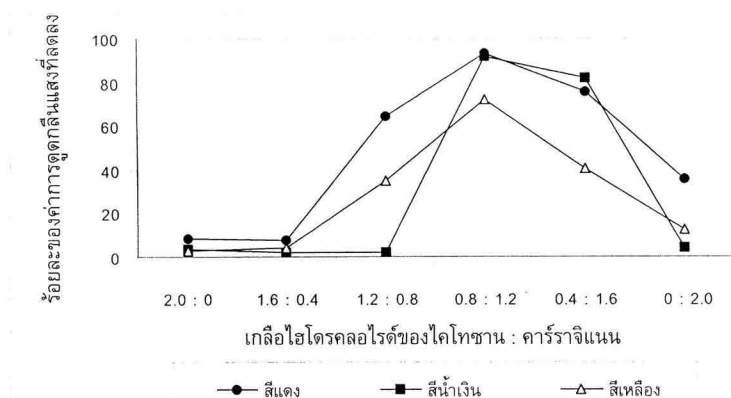
ภาพประกอบที่ 4.1 การกำจัดสารสีชนิดสีแดงด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.2 การกำจัดสารสีชนิดสีน้ำเงินด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.3 การกำจัดสารสีชนิดสีเหลืองด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่าง ๆ

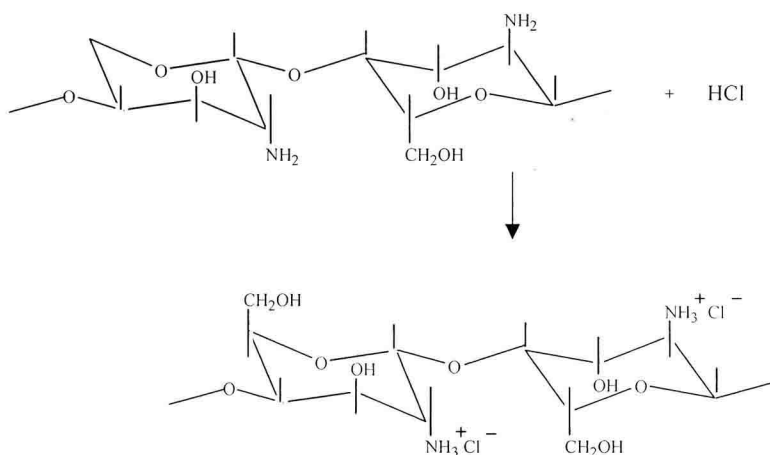


ภาพประกอบที่ 4.4 เปรียบเทียบการกำจัดสารสีชนิดต่าง ๆ ด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่าง ๆ

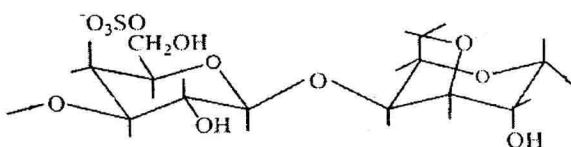
ผลจากการศึกษาพบว่า การกำจัดสารสีโดยใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนน กำจัดได้เมื่อใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนนในอัตราส่วนระหว่าง 1.2 : 0.8 - 0 : 2.0 สำหรับสารสีชนิดสีแดงและสีเหลือง ตามลำดับ และอัตราส่วน 0.8 :

1.2 - 0.4 : 1.6 สำหรับสีน้ำเงิน การกำจัดสารสีชนิดต่าง ๆ ให้ผลดีที่สุดเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนนเท่ากับ 0.8 : 1.2 โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 92.8 91.89 และ 72.07 สำหรับสีแดง สีน้ำเงิน และสีเหลือง ตามลำดับ

การกำจัดสารสีโดยใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนนสามารถอธิบายได้ ดังนี้ คือ เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไคโทซานกับกรดไฮโดรคลอริก ปฏิกิริยาเกิดขึ้น ดังนี้



คาร์ราจีแนน มีโครงสร้างทางเคมีดังนี้



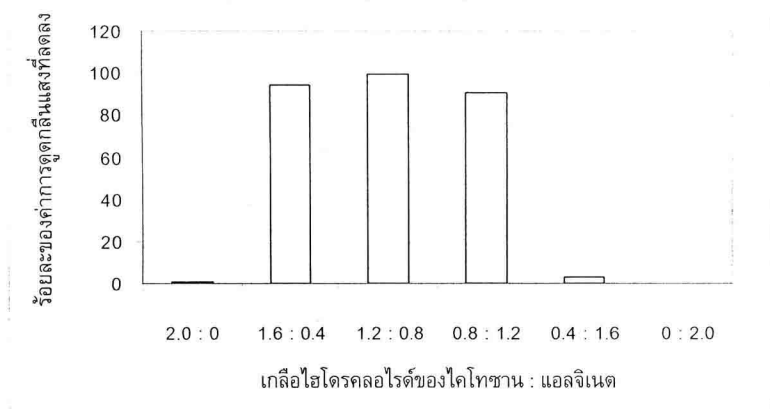
เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานเป็นพอลิแคตไอออน แต่คาร์ราจีแนนเมื่อละลายน้ำจะเป็นพอลิแอนไอออน การทำปฏิกิริยาของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้ทำให้เกิดพอลิอิเล็กโทรไลต์เชิงซ้อน (polyelectrolyte complex) โดยซากิยามา และคณะ รายงานว่า การผสมสารละลายพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้เข้าด้วยกันจะเกิดการรวมเป็นกลุ่มก้อน (aggregate) ทันที (Sakiyama et al. 1993 : 2021 - 2025)

ในการกำจัดสารสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนน จะมีการเติมเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานลงในสารสี จึงเกิดอันตรกิริยา (interaction) ซึ่งกันและกัน

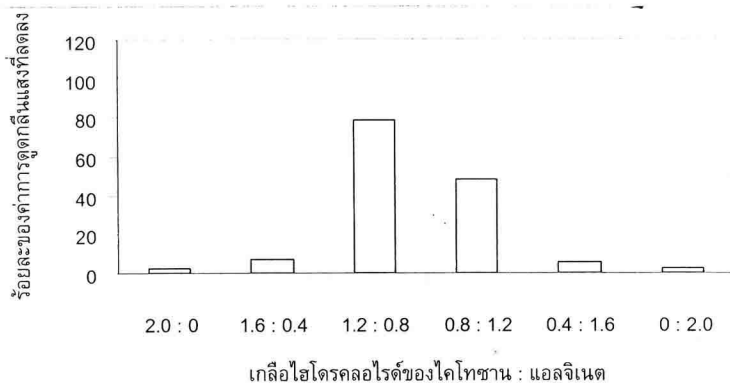
จากนั้นจึงเติมคาร์ราจีแนนลงไป จึงทำให้เกิดสารเชิงซ้อนระหว่างพอลิเมอร์ที่มีประจุต่างชนิดกัน พร้อมกับเกิดการตกตะกอนของสารสี ซีไมเทเทียน และคณะ (Zemaitaitienė et al. 2003 : 37 - 47) รายงานว่าการกำจัดสีย้อมโดยใช้แคตไอออนิกพอลิเมอร์ร่วมกับสารช่วยทางสิ่งทอชนิด แอนไอออนทำให้เกิดการตกตะกอนเป็นสารเชิงซ้อนของสารสามชนิด (triple complex precipitation) โดยกลไกที่สตีลเพอร์สซึ่งเป็นสีย้อมชนิดไม่มีประจุจับกับสารเชิงซ้อน ยังไม่มีข้อมูลอธิบายได้อย่างชัดเจน ดังนั้น การใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทะซานร่วมกับคาร์ราจีแนนสามารถกำจัดสารสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอได้ โดยอัตราส่วนระหว่างเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทะซานและคาร์ราจีแนนที่ใช้สามารถกำจัดสารสีได้มีอัตราส่วนอยู่ในช่วงกว้าง

4.2 การกำจัดสารสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทะซานและแอลจินेट

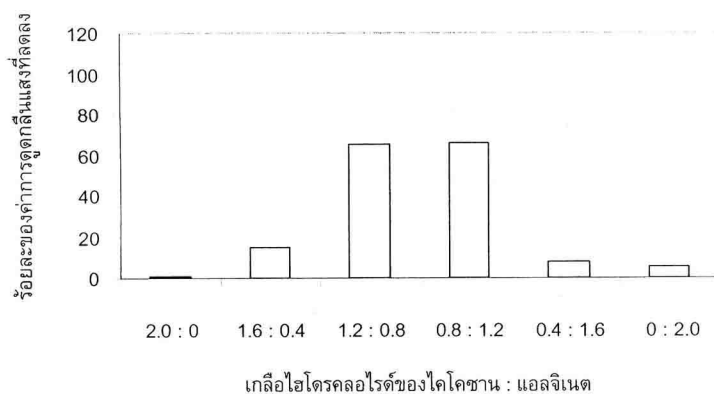
การกำจัดสารสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทะซานและแอลจินेटศึกษาโดยการกำจัดสารสีที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.02 โดยใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทะซานและแอลจินेटที่อัตราส่วน 2.0 : 0 - 0 : 2.0 ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.5-4.8 และภาคผนวก ค



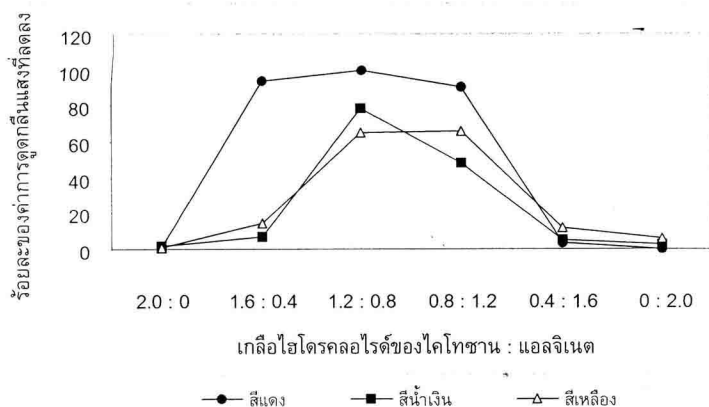
ภาพประกอบที่ 4.5 การกำจัดสารสีชนิดสีแดงด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทะซานและแอลจินेटที่อัตราส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.6 การกำจัดสารสีชนิดสีน้ำเงินด้วยเกลียวไฮโดรคลอไรด์ของไคโคซาน และแอลจีเนตที่อัตราส่วนต่าง ๆ



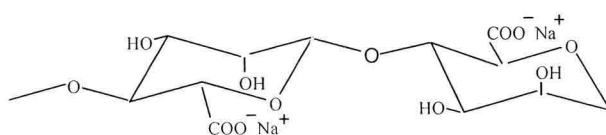
ภาพประกอบที่ 4.7 การกำจัดสารสีชนิดสีเหลืองด้วยเกลียวไฮโดรคลอไรด์ของไคโคซาน และแอลจีเนตที่อัตราส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.8 เปรียบเทียบการจัดสารสีชนิดต่าง ๆ ด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและแอลจีเนตที่อัตราส่วนต่าง ๆ

ผลจากการศึกษาพบว่า การจัดสารสีชนิดสีแดงทำได้เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและแอลจีเนตเท่ากับ 1.6 : 0.4 - 0.8 : 1.2 ส่วนการจัดสารสีชนิดสีน้ำเงินและสีเหลือง ทำได้เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและแอลจีเนตเท่ากับ 1.2 : 0.4 - 0.8 : 1.2 แต่การจัดสารสีทั้งสามชนิดให้ผลดีที่สุดเมื่อใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและแอลจีเนตในอัตราส่วน 1.2 : 0.8 โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 99.75 78.45 และ 64.88 สำหรับสารสีชนิดสีแดง สีน้ำเงิน และสีเหลืองตามลำดับ

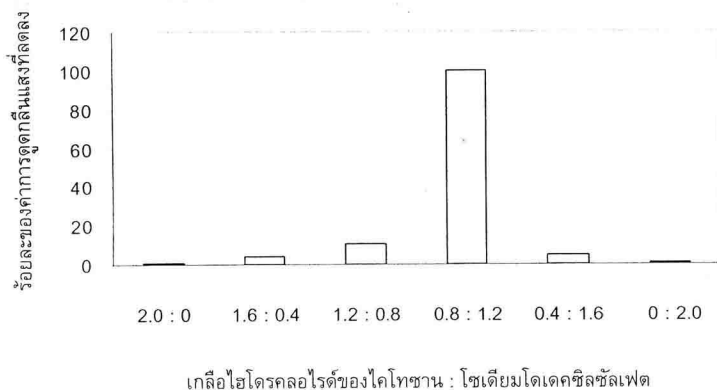
การจัดสารสีโดยใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานร่วมกับแอลจีเนต สามารถอธิบายได้ ดังนี้ คือ แอลจีเนตเมื่อละลายน้ำจะเกิดการแตกตัว ดังนี้



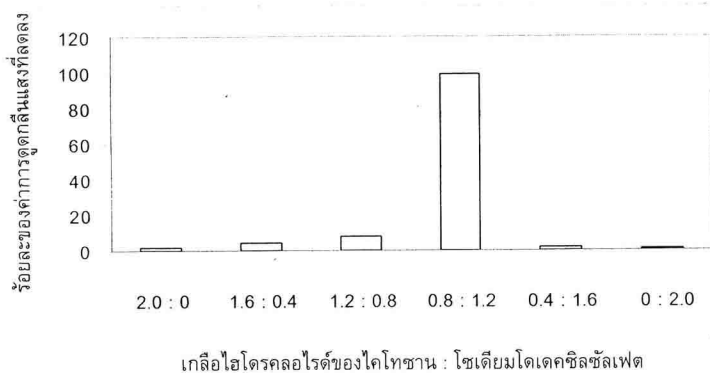
หมู่ $-\text{COO}^-$ ของแอลจีเนตเมื่อทำปฏิกิริยากับหมู่ $-\text{NH}_3^+$ ของเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานทำให้เกิดพอลิอิเล็กโทรไลต์เชิงซ้อน (Simsek-Ege, Bond and Stringer 2003 : 346-351) สารสีจึงถูกกักจับในขณะที่เกิดสารเชิงซ้อนของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด ดังนั้น การใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานร่วมกับแอลจีเนต จึงสามารถกักจับสารสีในน้ำทั้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอได้

4.3 การกำจัดสารสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและโซเดียมโตะเคคซิลลัลเฟต

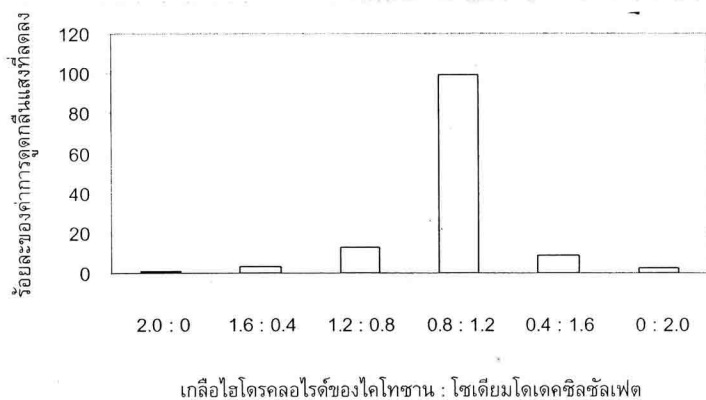
การกำจัดสารสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและโซเดียมโตะเคคซิลลัลเฟต ศึกษาโดยการกำจัดสารสีที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.02 โดยใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซาน และโซเดียมโตะเคคซิลลัลเฟตที่อัตราส่วน 2.0 : 0 - 0 : 2.0 ผลการศึกษาแสดงดังใน ภาพประกอบที่ 4.9-4.12 และภาคผนวก



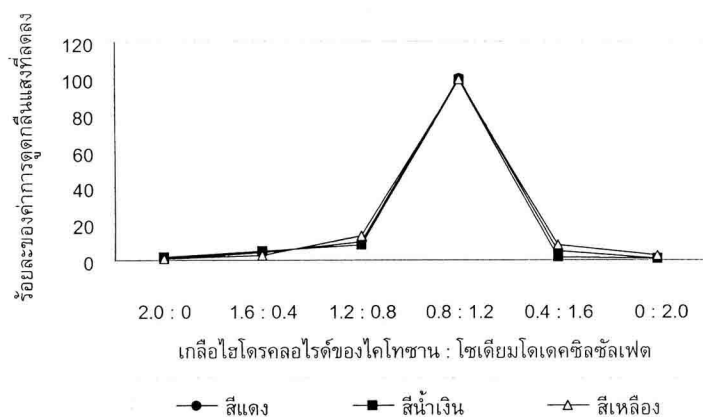
ภาพประกอบที่ 4.9 การกำจัดสารสีชนิดสีแดงด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและโซเดียมโตะเคคซิลลัลเฟตที่อัตราส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.10 การกำจัดสารสีชนิดสีน้ำเงินด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและโซเดียมโตะเคคซิลลัลเฟตที่อัตราส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.11 การกำจัดสารพิษในดินด้วยเกลียวไฮโดรคลอไรด์ของโคโคซานและโซเดียมโตนีคัลซัลเฟตที่อัตราส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.12 เปรียบเทียบการกำจัดสารพิษในดินต่าง ๆ ด้วยเกลียวไฮโดรคลอไรด์ของโคโคซานและโซเดียมโตนีคัลซัลเฟตที่อัตราส่วนต่าง ๆ

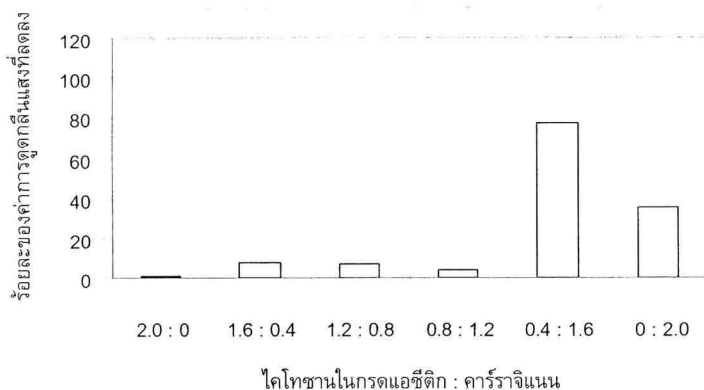
ผลจากการศึกษาพบว่า การกำจัดสารสีโดยใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต ให้ผลการกำจัดสารสีสูงสุดเมื่อใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตในอัตราส่วน 0.8 : 1.2 โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 99.82 99.43 และ 99.03 สำหรับสีแดง สีนํ้าเงิน และสีเหลือง ตามลำดับ

การกำจัดสารสีสามารถอธิบายได้ดังนี้ โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตมีโครงสร้างทางเคมีดังนี้ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_2\text{OSO}_3\text{Na}$ หมู่ $-\text{OSO}_3^-$ ของโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต เมื่อทำปฏิกิริยากับหมู่ $-\text{NH}_3^+$ ของไคโทซานจะเกิดพอลิอิเล็กโทรไลต์เชิงซ้อน ในการกำจัดสารสี สีจะถูกทำให้ตกตะกอนในระหว่างการเกิดสารเชิงซ้อนของพอลิเมอร์

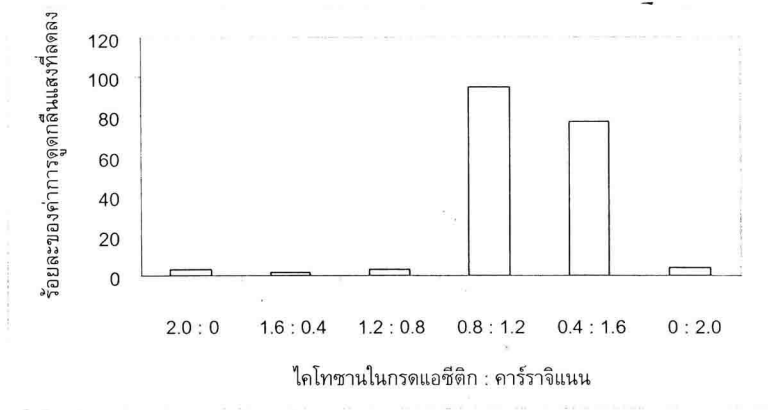
การกำจัดสารสีโดยใช้โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตเป็นแอนไอออนมีความแตกต่างจากการใช้แอนไอออนที่เป็นพอลิเมอร์ (คาร์ราจีแนน และแอลจีเนต) เนื่องจากคาร์ราจีแนนและแอลจีเนตเป็นพอลิแอนไอออน จึงกำจัดสีได้เป็นอัตราส่วนกว้าง แต่การกำจัดสารสีโดยใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต มีช่วงของอัตราส่วนที่ใช้ในการกำจัดสีแคบกว่าการใช้แอนไอออนที่เป็นพอลิแอนไอออน ดังนั้น การใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต จึงสามารถกำจัดสารสีได้

4.4 การกำจัดสารสีด้วยไคโทซานในกรดแอซิดิกและคาร์ราจีแนน

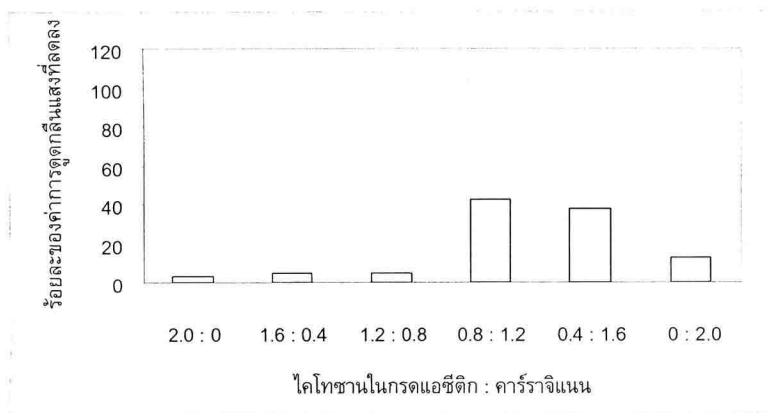
การกำจัดสารสีด้วยไคโทซานในกรดแอซิดิกและคาร์ราจีแนนศึกษาโดยการกำจัดสารสีที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.02 โดยใช้ไคโทซานในกรดแอซิดิกและคาร์ราจีแนนที่อัตราส่วน 2.0 : 0 - 0 : 2.0 ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.13-4.16 และภาคผนวก จ



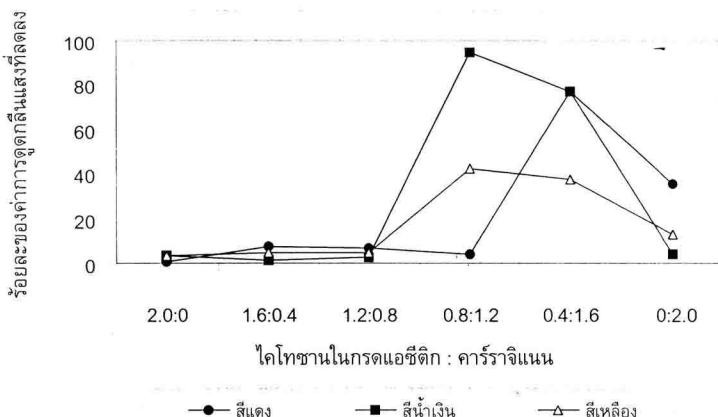
ภาพประกอบที่ 4.13 การกำจัดสารสีชนิดสีแดงด้วยไคโทซานในกรดแอซิดิกและคาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.14 การกำจัตสารสัชนดสีน้ำเงินด้วยโคโชนานในกรตแอซติกและ
คาร์ราจันนที่อัตราส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.15 การกำจัตสารสัชนดสีเหลืองด้วยโคโชนานในกรตแอซติกและ
คาร์ราจันนที่อัตราส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.16 เปรียบเทียบการกำจัดสารสีชนิดต่าง ๆ ด้วยไคโทซานในกรดแอสซิดิกและคาร์ราจินที่อัตราส่วนต่าง ๆ

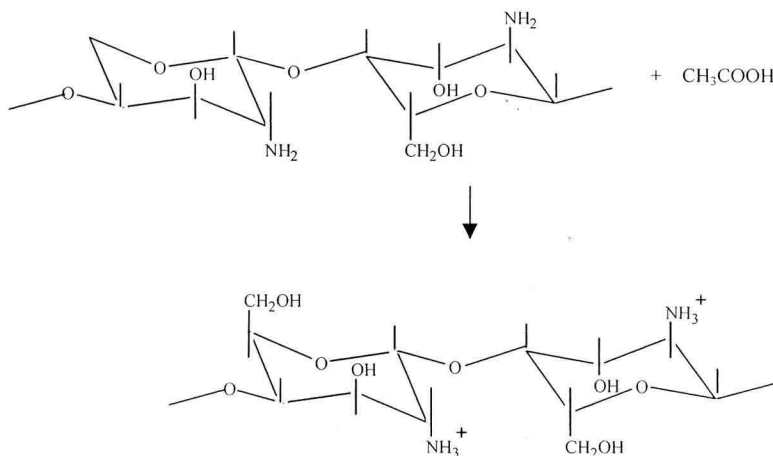
ผลจากการศึกษาพบว่า การใช้ไคโทซานในกรดแอสซิดิกร่วมกับคาร์ราจินในอัตราส่วนระหว่าง 0.8 : 1.2 - 0 : 2.0 สามารถกำจัดสารสีได้ โดยอัตราส่วนที่ดีที่สุดสำหรับการกำจัดสารสีชนิดสีน้ำเงินและสีเหลือง คือ อัตราส่วน เท่ากับ 0.8 : 1.2 โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 94.59 และ 42.46 สำหรับสีน้ำเงินและสีเหลือง ตามลำดับ ส่วนอัตราส่วนที่ดีที่สุดสำหรับการกำจัดสารสีชนิดสีแดง คือ 0.4 : 1.6 โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 77.01

จากการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไคโทซานในกรดแอสซิดิกกับคาร์ราจินในอัตราส่วน 1.6 : 0.4 และ 0.8 : 1.2 (ภาพประกอบที่ 1 ภาคผนวก ก) ผลการศึกษาพบว่า ไคโทซานปรากฏสเปกตรัมของหมู่ $-NH_2$ และหมู่ $-OH$ ที่บริเวณ 3084.23 - 2880.57 cm^{-1} และปรากฏสเปกตรัมของหมู่ $-NH$ ที่บริเวณ 1581.58 - 1672.98 cm^{-1} ส่วนคาร์ราจินปรากฏสเปกตรัมของหมู่ $-OH$ ที่บริเวณ 3180.36 cm^{-1} และปรากฏสเปกตรัมของหมู่ $-SO_4^{2-}$ ที่บริเวณ 1413.89 cm^{-1}

เมื่อไคโทซานในกรดแอสซิดิกทำปฏิกิริยากับคาร์ราจินพบว่า ปรากฏสเปกตรัมของหมู่ $-NH_3^+$ ที่บริเวณ 1509.50 - 1603.59 cm^{-1} ซึ่งไม่พบในไคโทซานและคาร์ราจิน นอกจากนี้ ความเข้มของสเปกตรัมของหมู่ $-SO_4^{2-}$ ที่บริเวณ 1411.38 - 1412.09 cm^{-1} ลดลง แสดงว่าหมู่ $-SO_4^{2-}$ ในคาร์ราจินทำปฏิกิริยากับหมู่ $-NH_3^+$ ของไคโทซาน

เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไคโทซานในกรดแอสซิดิกกับคาร์ราจิน และเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานกับคาร์ราจิน (ภาพประกอบที่ 2 ภาคผนวก ก) ผลจากการศึกษาพบว่า สเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนที่ได้ไม่แตกต่างกัน ดังนั้น แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นในลักษณะทำนองเดียวกัน

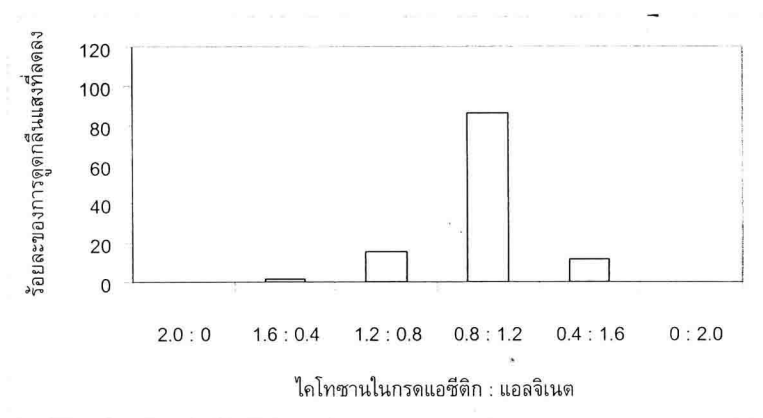
การกำจัดสารสีโดยใช้ไคโทซานในกรดแอสติคร่วมกับคาร์ราจีแนนสามารถอธิบายได้ดังนี้ ไคโทซานเมื่อละลายในกรดแอสติค หมู่อะมิโนในไคโทซานจะถูกโปรตอนไนต์ ปฏิกิริยาเกิดขึ้น ดังนี้



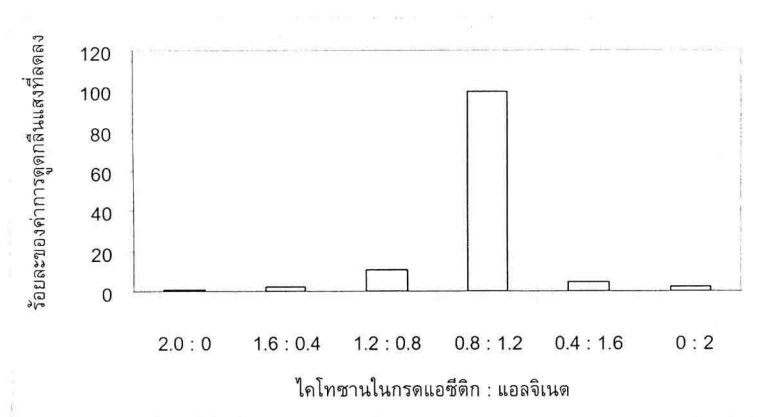
ในสภาวะที่เป็นกรดหมู่ซัลโฟเนตของคาร์ราจีแนนยังมีประจุเป็นลบ (Sakayama et al. 1993 : 2021 - 2025) หมู่ NH_3^+ ของไคโทซานจึงทำปฏิกิริยากับหมู่ OSO_3^- ของคาร์ราจีแนนเกิดพอลิอิเล็กโทรไลต์เชิงซ้อน การกำจัดสารสีโดยใช้ไคโทซานในกรดแอสติคร่วมกับคาร์ราจีแนนจึงเกิดเป็นสารเชิงซ้อนของสารทั้งสามชนิด คือ ไคโทซานในกรดแอสติค คาร์ราจีแนน และสารสี ซึ่งเกิดขึ้นในทำนองเดียวกันกับการกำจัดสารสีโดยใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับคาร์ราจีแนน ดังนั้น การใช้ไคโทซานในกรดแอสติคร่วมกับคาร์ราจีแนนจึงสามารถกำจัดสารสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอได้

4.5 การกำจัดสารสีด้วยไคโทซานในกรดแอสติคและแอลจิเนต

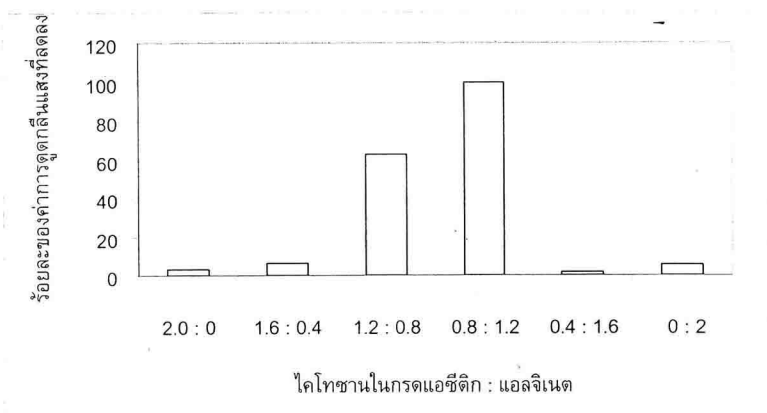
การกำจัดสารสีด้วยไคโทซานในกรดแอสติคและแอลจิเนตศึกษาโดยการกำจัดสารสีที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.02 โดยใช้ไคโทซานในกรดแอสติคและแอลจิเนตที่อัตราส่วน 2.0 : 0 - 0 : 2.0 ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.17-4.20 และภาคผนวก จ



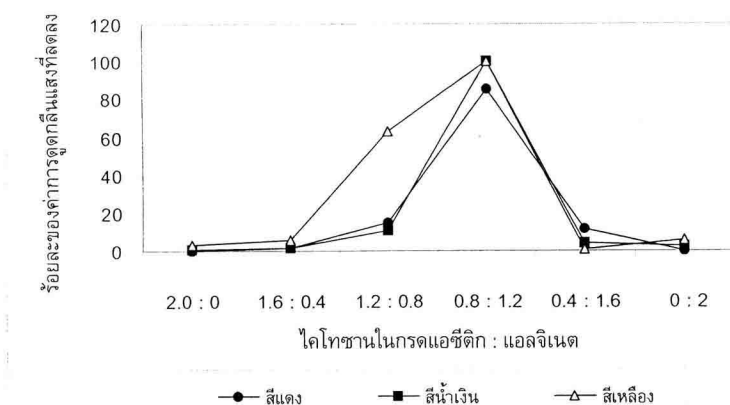
ภาพประกอบที่ 4.17 การทำจัดสารสีชนิดสีแดงด้วยไคโทซานในกรดแอสซิติคและแอลจีเน็ต ที่อัตราส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.18 การทำจัดสารสีชนิดสีน้ำเงินด้วยไคโทซานในกรดแอสซิติคและแอลจีเน็ต ที่อัตราส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.19 การกำจัดสารสีชนิดสีเหลืองด้วยโคโคโทซานในกรดแอซิดิกและแอลจินเนตที่อัตราส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.20 เปรียบเทียบการกำจัดสารสีชนิดต่าง ๆ ด้วยโคโคโทซานในกรดแอซิดิกและแอลจินเนตที่อัตราส่วนต่าง ๆ

ผลจากการศึกษาพบว่า การกำจัดสารสีโดยใช้โคโคโทซานในกรดแอซิดิกร่วมกับแอลจินเนตในอัตราส่วนต่าง ๆ ให้ผลการกำจัดสารสีได้เมื่อใช้โคโคโทซานในกรดแอซิดิกร่วมกับแอลจินเนตในอัตราส่วนระหว่าง 1.2 : 0.8 - 0.8 : 1.2 แต่การกำจัดสารสีให้ผลดีที่สุดเมื่อใช้อัตราส่วน

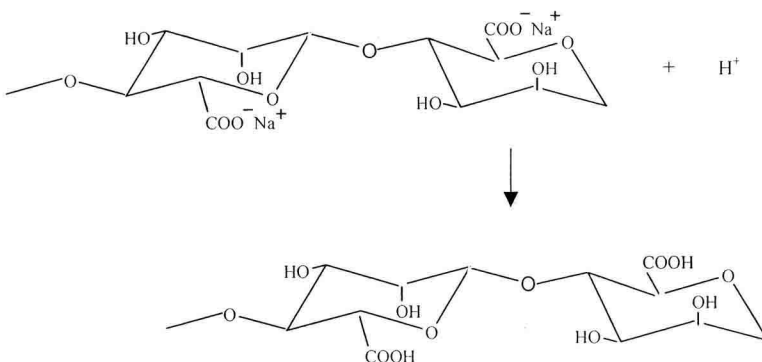
ระหว่างไคโทซานในกรดแอสซิดิกร่วมกับแอลจินเตเท่ากับ 0.8 : 1.2 โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 85.65 99.78 และ 99.89 สำหรับสีแดง สีนํ้าเงิน และสีเหลือง ตามลำดับ

จากการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไคโทซานในกรดแอสซิดิกกับแอลจินเตในอัตราส่วน 1.6 : 0.4 และ 0.8 : 1.2 (ภาพประกอบที่ 3 ภาคผนวก ก) ผลจากการศึกษาพบว่า ในแอลจินเตปรากฏสเปกตรัมของหมู่ -COO^- ที่บริเวณ 1603.14 cm^{-1} และ 1415.78 cm^{-1} ปรากฏสเปกตรัมของ -O แถบยืด (stretching) ที่บริเวณ 1139.50 cm^{-1} และปรากฏสเปกตรัมของหมู่ -OH ที่บริเวณ 3222.57 cm^{-1}

เมื่อไคโทซานในกรดแอสซิดิกทำปฏิกิริยากับแอลจินเตที่อัตราส่วน 1.6 : 0.4 จะปรากฏสเปกตรัมของหมู่ -NH_3^+ ที่บริเวณ 1516.05 cm^{-1} ซึ่งไม่พบในไคโทซานและแอลจินเต เมื่อไคโทซานในกรดแอสซิดิกทำปฏิกิริยากับแอลจินเตที่อัตราส่วน 0.8 : 1.2 พบว่าความเข้มของสเปกตรัมของหมู่ -NH_3^+ ที่บริเวณ 1539.05 cm^{-1} ลดลง และปรากฏเป็นไหล่ฟิค แสดงว่าไคโทซานในกรดแอสซิดิกทำปฏิกิริยากับแอลจินเตได้เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของแอลจินเตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ พบว่าสเปกตรัมของ -O แถบยืด ของแอลจินเตที่บริเวณ 1139.50 cm^{-1} ลดลง แสดงว่า หมู่ -COO^- ในแอลจินเตทำปฏิกิริยากับหมู่ -NH_3^+ ของไคโทซาน การทำปฏิกิริยาระหว่างไคโทซานในกรดแอสซิดิกและแอลจินเตยังคงปรากฏสเปกตรัมที่บริเวณ $1600.18\text{-}1600.87 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งแสดงว่าหมู่ -COO^- ในแอลจินเตถูกโปรตอนเนตในสภาวะที่เป็นกรด (สารละลายกรดแอสซิดิกความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เป็นตัวทำละลายไคโทซาน)

เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไคโทซานในกรดแอสซิดิกกับแอลจินเต และการทำปฏิกิริยาระหว่างเกลียวไฮโดรคอลลอยด์ของไคโทซานกับแอลจินเต (ภาพประกอบที่ 4 ภาคผนวก ก) พบว่าสเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไม่แตกต่างกัน แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นในลักษณะทำนองเดียวกัน

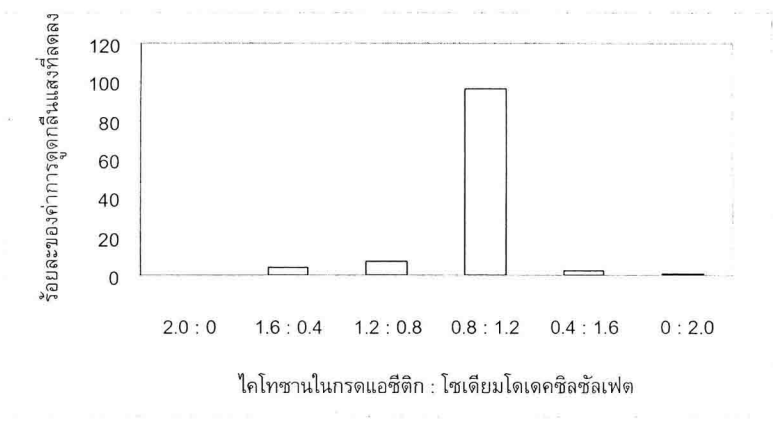
การกำจัดสารสีโดยใช้ไคโทซานในกรดแอสซิดิกร่วมกับแอลจินเต สามารถอธิบายได้ดังนี้ แอลจินเตเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดจะเกิดปฏิกิริยา ดังนี้



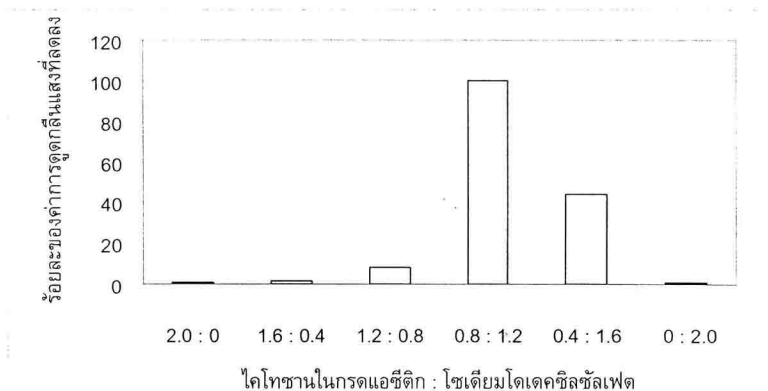
หมู่ -COO^- ของแอลจินेटจะถูกโปรตอนเนต ทำให้ปริมาณแอนไอออนที่เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ -NH_3^+ ของไคโทซานลดลง จึงพบว่าการกำจัดสารสีได้ผลดีเมื่อใช้แอลจินेटในปริมาณสูง ๆ เพื่อเกิดเป็นสารเชิงซ้อนร่วมกับไคโทซาน ดังนั้น การใช้ไคโทซานในกรดแอสติคร่วมกับแอลจินेट จึงสามารถกำจัดสารสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอได้

4.6 การกำจัดสารสีด้วยไคโทซานในกรดแอสติคและโซเดียมโตะเดคซิลซัลเฟต

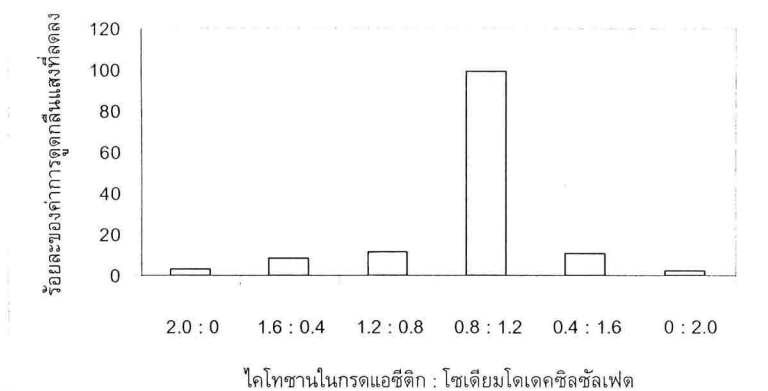
การกำจัดสารสีด้วยไคโทซานในกรดแอสติคและโซเดียมโตะเดคซิลซัลเฟตศึกษาโดยการกำจัดสารสีที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.02 โดยใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและโซเดียมโตะเดคซิลซัลเฟตที่อัตราส่วน 2.00 : 0 - 0 : 2.0 ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.21-4.24 และภาคผนวก ข



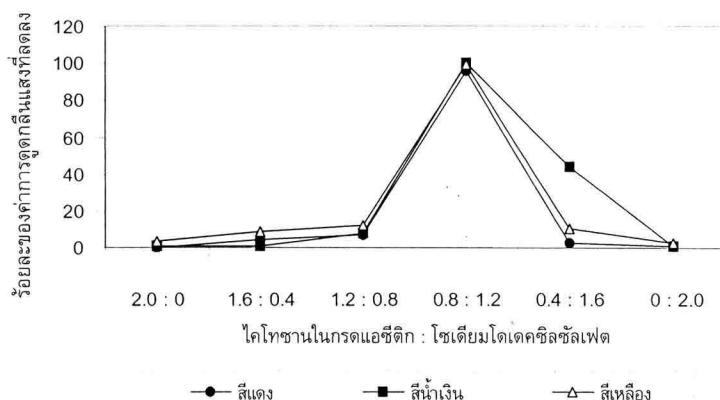
ภาพประกอบที่ 4.21 การกำจัดสารสีชนิดสีแดงด้วยไคโทซานในกรดแอสติคและโซเดียมโตะเดคซิลซัลเฟตที่อัตราส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.22 การกำจัดสารสีชนิดสีน้ำเงินด้วยโคโทซานในกรดแอซติกและโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตที่อัตราส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.23 การกำจัดสารสีชนิดสีเหลืองด้วยโคโทซานในกรดแอซติกและโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตที่อัตราส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.24 เปรียบเทียบการกำจัดสารสีชนิดต่าง ๆ ด้วยโคโทซานในกรดแอซติกและโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตที่อัตราส่วนต่าง ๆ

ผลจากการศึกษาพบว่า การกำจัดสารสีโดยใช้โคโทซานในกรดแอซติกร่วมกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตให้ผลการกำจัดสารสีดีที่สุดเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างโคโทซานในกรดแอซติกและโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตเท่ากับ 0.8 : 1.2 โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 96.00 99.96 และ 99.57 สำหรับสีแดง สีเหลือง และสีน้ำเงิน ตามลำดับ

จากการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตพบว่า ปรากฏสเปกตรัมของหมู่ $-SO_4^{2-}$ ที่บริเวณ 1467.95 ซม^{-1} (ภาพประกอบ 5 ภาคผนวก ก) การทำปฏิกิริยาระหว่างโคโทซานในกรดแอซติกกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต ปรากฏสเปกตรัมของหมู่ $-NH_3^+$ ที่บริเวณ $1603.03 - 1603.14 \text{ ซม}^{-1}$ ซึ่งไม่พบในโคโทซานและโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต เมื่อโคโทซานในกรดแอซติกทำปฏิกิริยากับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตในอัตราส่วน 1.6 : 0.4 จะปรากฏสเปกตรัมของหมู่ $-NH$ ของโคโทซานที่บริเวณ $1515.03-1519.82 \text{ ซม}^{-1}$ แต่เมื่ออัตราส่วนของโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตเพิ่มขึ้น ความเข้มของสเปกตรัมลดลง ซึ่งแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโคโทซานกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต นอกจากนี้ ในสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นยังคงปรากฏสเปกตรัมของหมู่ $-SO_4^{2-}$ ที่บริเวณ $1468.38-1469.4 \text{ ซม}^{-1}$ และเมื่ออัตราส่วนของโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตเพิ่มขึ้น ความเข้มของสเปกตรัมในบริเวณดังกล่าวจะเพิ่มขึ้น แสดงว่ามีโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตเหลืออยู่หลังจากการทำปฏิกิริยากับโคโทซานในกรดแอซติก

เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโคโทซานในกรดแอซติกกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต และเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

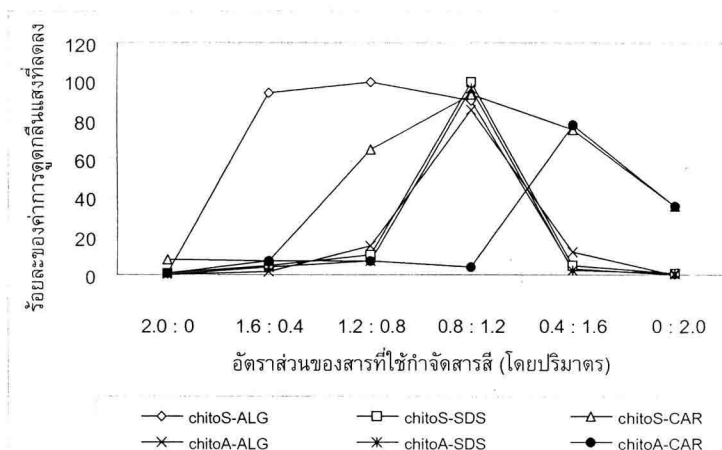
(ภาพประกอบที่ 6 ภาคผนวก ฏ) ผลการศึกษาพบว่า สเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นไม่แตกต่างกัน แสดงว่าการเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นในลักษณะทำนองเดียวกัน

การกำจัดสารสีโดยใช้ไคโทซานในกรดแอซิดิกร่วมกับโซเดียมโอดีเดคซิลซัลเฟตเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่ $-NH_3^+$ ของไคโทซานกับหมู่ $-OSO_3^-$ ของโซเดียมโอดีเดคซิลซัลเฟต ซึ่งเกิดขึ้นในทำนองเดียวกันกับการกำจัดสีโดยใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับโซเดียมโอดีเดคซิลซัลเฟต โดยโซเดียมโอดีเดคซิลซัลเฟตยังคงมีประจุลบถึงแม้ว่าจะอยู่ในสารละลายกรด เนื่องจากโซเดียมโอดีเดคซิลซัลเฟตเป็นเกลือโซเดียมของกรดซัลโฟนิก ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของสารในกลุ่มกรดซัลโฟนิกที่มีความเป็นกรด (acidity) สูงมาก (Zemaitaitiene et al. 2002 : 42) ดังนั้น การใช้ไคโทซานในกรดแอซิดิกร่วมกับโซเดียมโอดีเดคซิลซัลเฟตจึงสามารถกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอได้

4.7 การเปรียบเทียบการกำจัดสารสีโดยใช้สารชนิดต่าง ๆ

การกำจัดสารสีโดยใช้สารชนิดต่าง ๆ คือ เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซาน ไคโทซานในกรดแอซิดิก คาร์ราจีแนน แอลจีเนต และโซเดียมโอดีเดคซิลซัลเฟต แสดงดังในภาพประกอบที่

4.25-4.27



ภาพประกอบที่ 4.25 การกำจัดสารสีชนิดสีแดงด้วยสารชนิดต่าง ๆ

chitoS-ALG = เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานกับแอลจีเนต

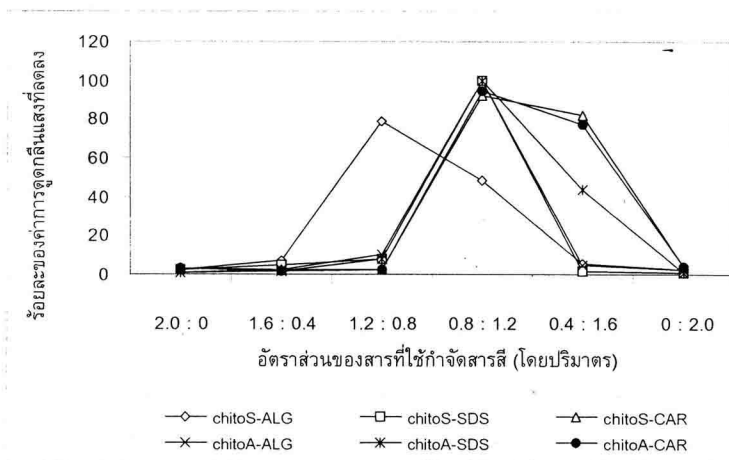
chitoA-ALG = ไคโทซานในกรดแอซิดิกกับแอลจีเนต

chitoS-SDS = เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานกับโซเดียมโอดีเดคซิลซัลเฟต

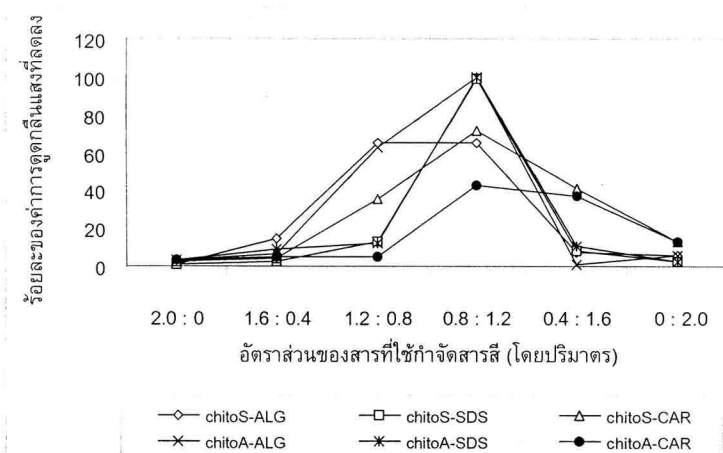
chitoA-SDS = ไคโทซานในกรดแอซิดิกกับโซเดียมโอดีเดคซิลซัลเฟต

chitoS-CAR = เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานกับคาร์ราจีแนน

chitoA-CAR = ไคโทซานในกรดแอซิดิกกับคาร์ราจีแนน



ภาพประกอบที่ 4.26 การกำจัดสารสีชนิดสีน้ำเงินด้วยสารชนิดต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.27 การกำจัดสารสีชนิดสีเหลืองด้วยสารชนิดต่าง ๆ

chitoS-ALG = เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานกับแอลจินเนต

chitoA-ALG = ไคโทซานในกรดแอซิดติกกับแอลจินเนต

chitoS-SDS = เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานกับโซเดียมโตนเตคซิลซัลเฟต

chitoA-SDS = ไคโทซานในกรดแอซิดติกกับโซเดียมโตนเตคซิลซัลเฟต

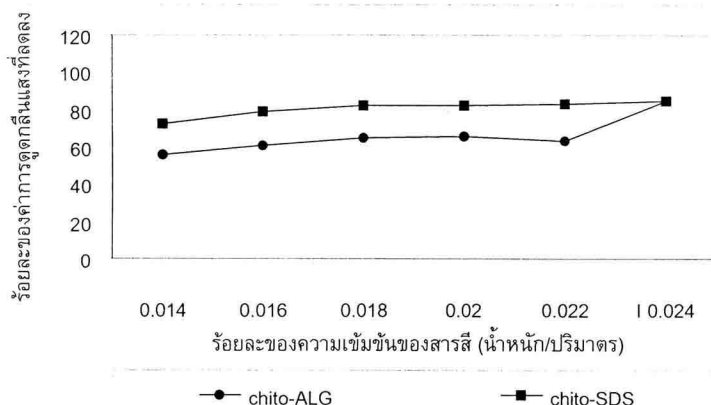
chitoS-CAR = เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานกับคาร์ราจีแนน

chitoA-CAR = ไคโทซานในกรดแอซิดติกกับคาร์ราจีแนน

ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่ออัตราส่วนของแอนไอออนเพิ่มขึ้น การกำจัดสารสีจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปริมาณแอนไอออนเพิ่มขึ้นจะเกิดพอลิอิเล็กโทรไลต์เชิงซ้อนกับหมู่ $^{-}\text{NH}_3^{+}$ ของไคโทซานเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออัตราส่วนของแอนไอออนเพิ่มขึ้นมากกว่า 1.2 อัตราส่วนของแคตไอออนลดลง การเกิดสารเชิงซ้อนเพื่อให้เกิดการตกตะกอนของสารสีลดลง นอกจากนี้ การใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต ให้ผลการกำจัดที่ดีที่สุด แต่อัตราส่วนที่ใช้ในการกำจัดสารสีมีค่าจำเพาะ ดังนั้น ชนิด และอัตราส่วนระหว่างแคตไอออนและแอนไอออนจึงมีผลต่อการกำจัดสี ในการวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารสีได้เลือกใช้การกำจัดสารสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับแอลจินेट และเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตที่อัตราส่วนเท่ากับ 0.8 : 1.2

4.8 การกำจัดสารสีในน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ

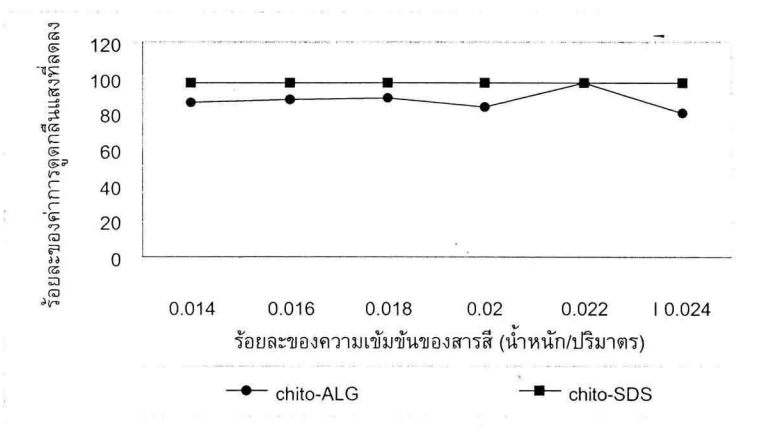
การกำจัดสารสีในน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ศึกษาโดยเตรียมสารสีที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.014 - 0.024 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และกำจัดสารสีโดยใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับแอลจินेट และเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตที่อัตราส่วนเท่ากับ 0.8 : 1.2 ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.28-4.30



ภาพประกอบที่ 4.28 การกำจัดสารสีชนิดสีแดงที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ โดยใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับแอลจินेट และเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตที่อัตราส่วนเท่ากับ 0.8 : 1.2

chito-ALG = เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานกับแอลจินेट

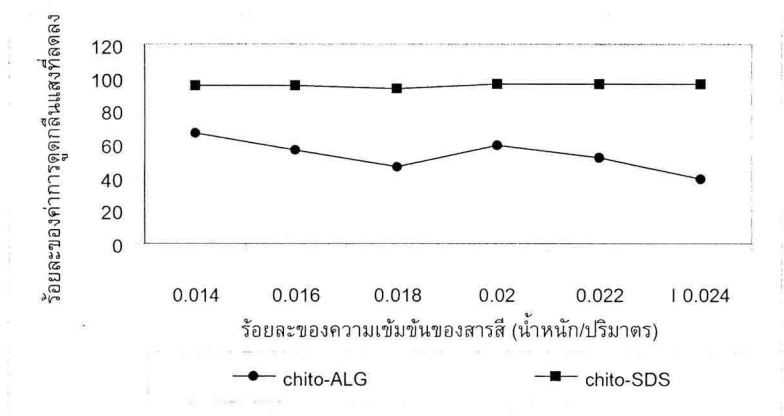
chito-SDS = เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต



ภาพประกอบที่ 4.29 การกำจัดสารสีชนิดสีน้ำเงินที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ โดยใช้เกลื่อไฮโดรคอลลอยด์ของไคโทซานร่วมกับแอลจินเนต และเกลื่อไฮโดรคอลลอยด์ของไคโทซานร่วมกับโซเดียมโตนีคซิลลัสเฟตที่อัตราส่วนเท่ากับ 0.8 : 1.2

chito-ALG = เกลื่อไฮโดรคอลลอยด์ของไคโทซานกับแอลจินเนต

chito-SDS = เกลื่อไฮโดรคอลลอยด์ของไคโทซานกับโซเดียมโตนีคซิลลัสเฟต



ภาพประกอบที่ 4.30 การกำจัดสารสีชนิดสีเหลืองที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ โดยใช้เกลื่อไฮโดรคอลลอยด์ของไคโทซานร่วมกับแอลจินเนต และเกลื่อไฮโดรคอลลอยด์ของไคโทซานร่วมกับโซเดียมโตนีคซิลลัสเฟตที่อัตราส่วนเท่ากับ 0.8 : 1.2

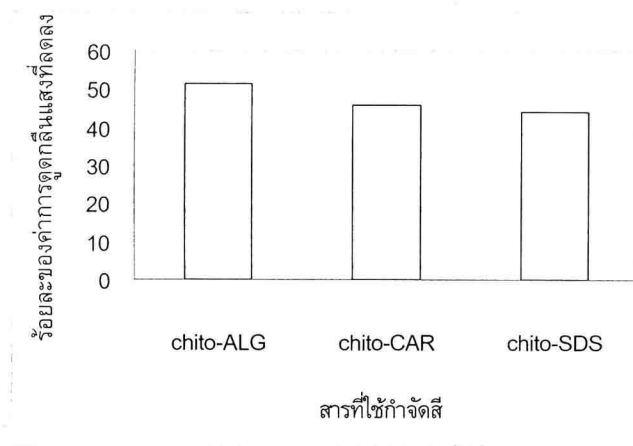
chito-ALG = เกลื่อไฮโดรคอลลอยด์ของไคโทซานกับแอลจินเนต

chito-SDS = เกลื่อไฮโดรคอลลอยด์ของไคโทซานกับโซเดียมโตนีคซิลลัสเฟต

ผลจากการศึกษาพบว่า การกำจัดสารสีโดยใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับแอลจินेट และเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับโซเดียมโตะเดคซิลซัลเฟต มีแนวโน้มของการกำจัดสารสีค่อนข้างคงที่ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของสีจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การกำจัดสารสีโดยใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับแอนไอออนชนิดต่าง ๆ ที่อัตราส่วน 0.8 : 1.2 พบว่า การใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับโซเดียมโตะเดคซิลซัลเฟตให้ผลการกำจัดดีกว่าการใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับแอลจินेट

4.9 การกำจัดสีรีแอกทีฟ

น้ำทิ้งจากสีรีแอกทีฟที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการจะเตรียมให้เหมือนกับน้ำทิ้งจริงจากระบบอุตสาหกรรม โดยละลายสีรีแอกทีฟในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้ให้น้ำทิ้งมีสภาพเป็นเบส ผลการกำจัดสีแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.31



ภาพประกอบที่ 4.31 ค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงของการกำจัดสีรีแอกทีฟ

chitoA-ALG = ไคโทซานในกรดแอซิดติกกับแอลจินेट

chitoA-SDS = ไคโทซานในกรดแอซิดติกกับโซเดียมโตะเดคซิลซัลเฟต

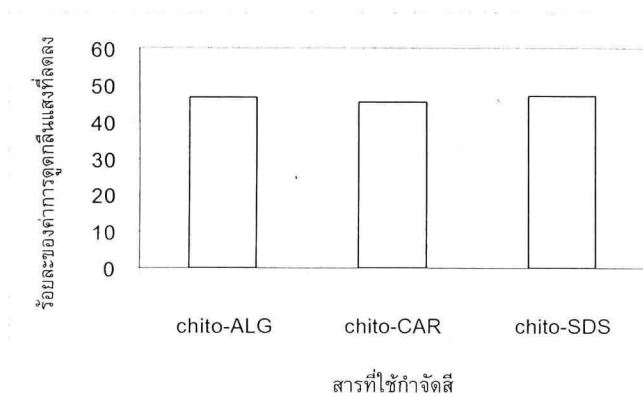
chitoA-CAR = ไคโทซานในกรดแอซิดติกกับคาร์ราจีแนน

ผลจากการศึกษาพบว่า การกำจัดสีรีแอกทีฟโดยใช้สารละลายไคโทซานในกรดแอซิดติก ร่วมกับสารแอนไอออนชนิดต่าง ๆ สามารถกำจัดสีรีแอกทีฟได้โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 44.30 - 51.40 การกำจัดสีรีแอกทีฟมีปริมาณสีที่ถูกกำจัดน้อยกว่าสารสี เนื่องจากไคโทซานเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นเบสจะเกิดการตกตะกอน จึงไม่เกิดสารเชิงซ้อนร่วมกับ

สารแอนไอออนชนิดต่างๆที่ใช้ในการกำจัดสี ดังนั้น สีรีแอกทีฟจึงถูกดูดซับโดยไคโทซานเพียงอย่างเดียว

4.10 การกำจัดสีแอสิต

การกำจัดสีแอสิตโดยใช้ไคโทซานในกรดแอสิตกร่วมกับสารแอนไอออนชนิดต่างๆแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.32



ภาพประกอบที่ 4.32 ค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงของการกำจัดสีรีแอกทีฟ

chitoA-ALG = ไคโทซานในกรดแอสิตกับแอลจินเนต

chitoA-SDS = ไคโทซานในกรดแอสิตกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

chitoA-CAR = ไคโทซานในกรดแอสิตกับคาร์ราจีแนน

ผลจากการศึกษาพบว่า การกำจัดสีแอสิตมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 44.10 - 46.48 เมื่อใช้ไคโทซานร่วมกับสารแอนไอออนชนิดต่าง ๆ การกำจัดสีแอสิตมีปริมาณสีลดลงค่อนข้างต่ำ เนื่องจากไคโทซานเกิดการตกตะกอนในสภาวะที่เป็นเบส ดังนั้น สีแอสิตจึงถูกดูดซับด้วยไคโทซานเพียงอย่างเดียว สารแอนไอออนชนิดต่างๆที่เติมลงไปจึงไม่สามารถเกิดสารเชิงซ้อนร่วมกับไคโทซานได้

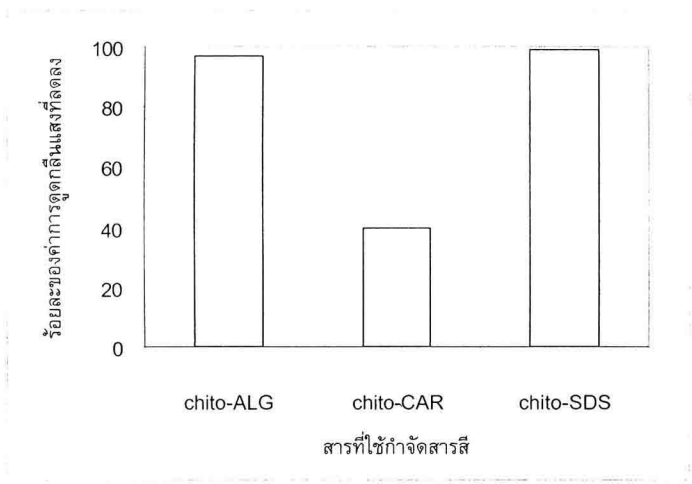
4.11 การศึกษาการกำจัดสารสีในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้จากการสูมตัวอย่างน้ำทิ้งจากบริษัทสตาร์เทค เคมีคอล อินดัสเทรียล จำกัด โดยสูมมาทำการศึกษาจำนวน 4 ครั้ง และตกตะกอนน้ำทิ้งจากโรงงานด้วยไคโทซานในกรดแอสิตกร่วมกับคาร์ราจีแนน แอลจินเนต และโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต โดยใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายไคโทซานความเข้มข้นร้อยละ 1 : สารละลาย

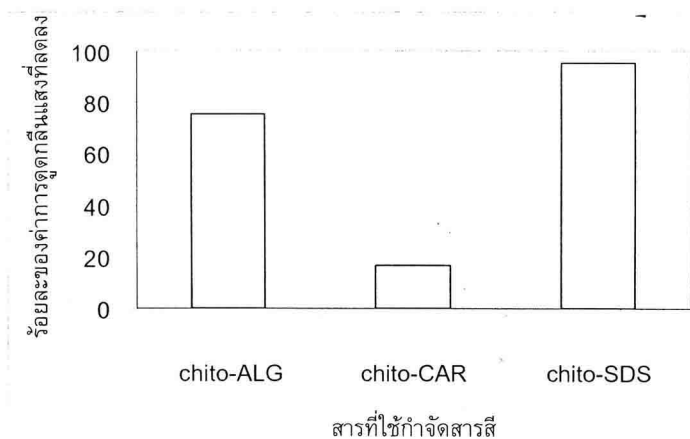
แอนไอออนความเข้มข้นร้อยละ 1 เท่ากับ 0.8 : 1.2 (โดยปริมาตร) ผลการศึกษาปรากฏดังในตารางที่ 4.1 และภาพประกอบที่ 4.33-4.36

ตารางที่ 4.1 ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ครั้งที่เก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง	ค่าความเป็นกรด-เบส
1	6.85
2	8.13
3	8.00
4	6.79



ภาพประกอบที่ 4.33 ค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงของการกำจัดสารสีในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมครั้งที่ 1

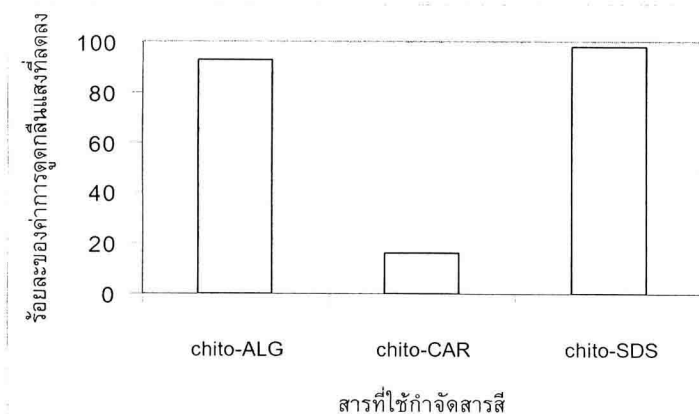


ภาพประกอบที่ 4.34 ค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงของการกำจัดสารสีในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมครั้งที่ 2

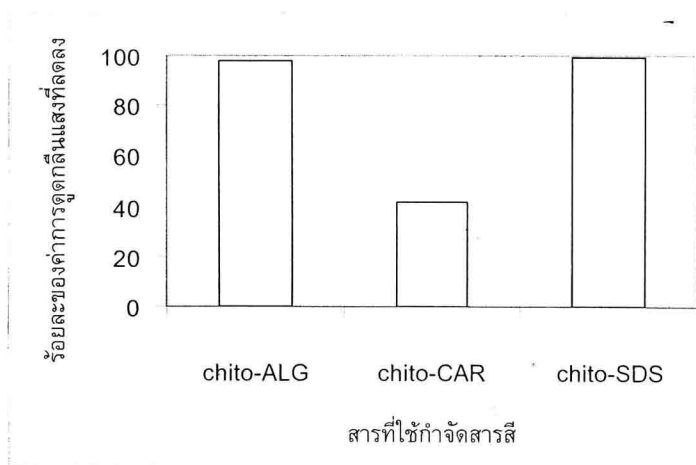
chitoA-ALG = ไคโทซานในกรดแอซิดกับแอลจินเนต

chitoA-SDS = ไคโทซานในกรดแอซิดกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

chitoA-CAR = ไคโทซานในกรดแอซิดกับคาร์ราจีแนน



ภาพประกอบที่ 4.35 ค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงของการกำจัดสารสีในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมครั้งที่ 3



ภาพประกอบที่ 4.36 ค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงของการกำจัดสารสีในน้ำทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรมครั้งที่ 3

chitoA-ALG = ไคโทซานในกรดแอสซิดิกกับแอลจินเนต

chitoA-SDS = ไคโทซานในกรดแอสซิดิกกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

chitoA-CAR = ไคโทซานในกรดแอสซิดิกกับคาร์ราจีแนน

ผลจากการศึกษาพบว่า การใช้ไคโทซานร่วมกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตกำจัดสารสีในน้ำทั้งได้ดีที่สุด โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 95.69-99.30 การใช้ไคโทซานร่วมกับคาร์ราจีแนนกำจัดสารสีในน้ำทั้งได้น้อยที่สุด โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 16.13-41.49 ส่วนการใช้ไคโทซานร่วมกับแอลจินเนตกำจัดสารสีในน้ำทั้งทำให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 75.44-97.75

การใช้ไคโทซานร่วมกับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตกำจัดสารสีในน้ำทั้งได้ดี เนื่องจากโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตมีโมเลกุลขนาดเล็ก จึงเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ $-NH_3^+$ ของไคโทซานได้ดี ถึงแม้ว่าใน 1 โมเลกุลของโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตจะมีหมู่ $-SO_4^{2-}$ เพียง 1 หมู่

การใช้ไคโทซานร่วมกับคาร์ราจีแนนกำจัดสารสีในน้ำทั้งได้น้อยที่สุด เนื่องจากคาร์ราจีแนนเกิดดีพอลิเมอร์เชนได้ง่ายในสารละลายกรด และใน 1 โมเลกุลของเซลโลไบโอสของคาร์ราจีแนนประกอบด้วยหมู่ $-SO_4^{2-}$ 1 หมู่ จึงทำปฏิกิริยากับหมู่ $-NH_3^+$ ของไคโทซานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับแอลจินเนต ซึ่งมีหมู่ $-COO^-$ จำนวน 2 หมู่ ต่อ 1 โมเลกุลของเซลโลไบโอส

ดังนั้น การกำจัดสารสีในน้ำทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรมสามารถกำจัดได้โดยใช้วัสดุแปรรูปทางการเกษตรและการประมง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการจัดสีโดยใช้วัสดุแปรรูปทางการเกษตรและประมง สามารถสรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

1. การกำจัดสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนนให้ผลดีที่สุดเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนนเท่ากับ 0.8 : 1.2 โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 92.8 91.89 และ 72.07 สำหรับสีแดง สีนํ้าเงิน และสีเหลือง ตามลำดับ

2. การกำจัดสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและแอลจินเตให้ผลดีที่สุดเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนนเท่ากับ 1.2 : 0.8 โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 99.75 78.45 และ 64.88 สำหรับสีแดง สีนํ้าเงิน และสีเหลือง ตามลำดับ

3. การกำจัดสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและโซเดียมโตะเดคซิลซัลเฟตให้ผลดีที่สุดเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนนเท่ากับ 0.8 : 1.2 โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 99.82 99.43 และ 99.03 สำหรับสีแดง สีนํ้าเงิน และสีเหลือง ตามลำดับ และมีช่วงของอัตราส่วนที่ใช้ในการกำจัดสีแคบกว่าการใช้แอนไอออนที่เป็นพอลิแอนไอออน

4. การกำจัดสีด้วยไคโทซานในกรดแอสติกและคาร์ราจีแนนให้ผลดีที่สุดเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างไคโทซานในกรดแอสติกและคาร์ราจีแนนเท่ากับ 0.8 : 1.2 โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 94.59 42.46 สำหรับสีนํ้าเงิน และสีเหลือง ตามลำดับ และอัตราส่วน 0.4 : 1.6 สำหรับสีแดง โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 77.01

5. การกำจัดสีด้วยไคโทซานในกรดแอสติกและแอลจินเตให้ผลดีที่สุดเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างไคโทซานในกรดแอสติกและแอลจินเตเท่ากับ 0.8 : 1.2 โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 85.65 99.78 และ 99.89 สำหรับสีแดง สีนํ้าเงิน และสีเหลือง ตามลำดับ

6. การกำจัดสีด้วยไคโทซานในกรดแอสติกและโซเดียมโตะเดคซิลซัลเฟตให้ผลดีที่สุดเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างไคโทซานในกรดแอสติกและโซเดียมโตะเดคซิลซัลเฟตเท่ากับ 0.8 : 1.2 โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 96.00 99.96 และ 99.57 สำหรับสีแดง สีนํ้าเงิน และสีเหลือง ตามลำดับ

7. การเปรียบเทียบการจัดสีโดยใช้สารชนิดต่าง ๆ การใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานร่วมกับโซเดียมโตะเดคซิลซัลเฟตให้ผลการกำจัดสีดีที่สุด แต่อัตราส่วนที่ใช้ในการกำจัดสีมีค่าจำเพาะ ดังนั้น ชนิดและอัตราส่วนระหว่างแคตไอออนและแอนไอออนจึงมีผลต่อการกำจัดสี

8. การกำจัดสารสีในน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ สีถูกกำจัดในปริมาณมากกว่าร้อยละ 90 เมื่อใช้เกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทะซานร่วมกับโซเดียมโตเดคซิลซัลเฟต และการกำจัดสีค่อนข้างคงที่ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของสีจะเพิ่มขึ้น

9. การกำจัดสีรีแอกทีฟและสีแอซิดในน้ำทิ้งที่มีสภาวะเป็นเบส สีจะถูกกำจัดโดยโคโทะซาน แต่จะไม่เกิดสารเชิงซ้อนร่วมกับการรีจันเน แอลจีเนต และโซเดียมโตเดคซิลซัลเฟต

10. การกำจัดสารสีในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม การใช้สารละลายโคโทะซานในกรดแอซิดกร่วมกับโซเดียมโตเดคซิลซัลเฟต ให้ผลการกำจัดที่ดีที่สุด โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 95.69-99.30

11. การใช้วัสดุแปรรูปทางการเกษตรและประมงสามารถกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอได้

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีต่อการกำจัดสี เช่น กรด ต่าง เกลือ สารลดแรงตึงผิว
2. ศึกษาราคาค่าต้นทุนของการกำจัดสีโดยใช้วัสดุแปรรูปทางการเกษตรและประมง

ประโยชน์ในการประยุกต์ผลงานวิจัย

ผลจากการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอได้

เอกสารอ้างอิง

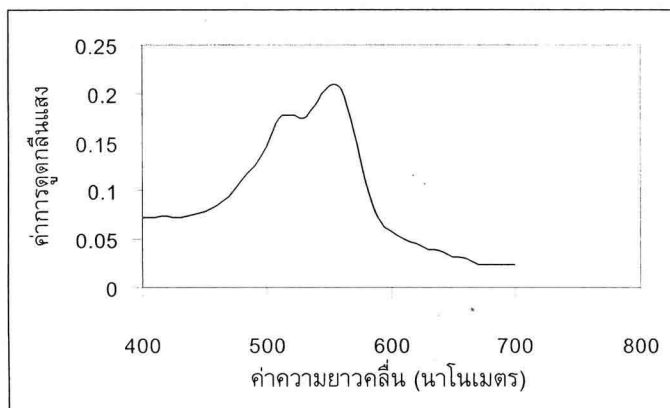
1. กระทรวงพาณิชย์. **ภาวะสินค้ากัก.** [สื่ออิเล็กทรอนิกส์]. กรุงเทพฯ : [http:// www.moc.go.th](http://www.moc.go.th) [29 มีนาคม 2547].
2. _____. สถานการณ์การส่งออกและนำเข้าสิ่งทอไทย. [สื่ออิเล็กทรอนิกส์]. กรุงเทพฯ : [http:// www.moc.go.th](http://www.moc.go.th) [29 มีนาคม 2547].
3. เฉลิมชัย ศิรินันโทภยา. "สร้างแบรนด์แฟชั่นให้เปรี้ยงปร้าง อินเทอร์เน็ตแต่อย่าทิ้งจุดยืน"
กรุงเทพธุรกิจ (16 กุมภาพันธ์ 2547) : 5.
4. นฤมล ศิริทรงธรรม. "เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม" **Colourway** 8 (1996) : 48-54.
5. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์. **การประยุกต์ใช้ไคติน-ไคโตซาน.** กรุงเทพฯ : ม.ป.ท., ม.ป.ป.
6. _____. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไคติน-ไคโตซาน.** กรุงเทพฯ : ม.ป.ท., ม.ป.ป.
7. สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. **คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกย้อม.** กรุงเทพฯ : ม.ป.ท.
8. อังคณา ดุสยไธรัตน์. "การกำจัดสีจากน้ำทิ้งในโรงงานโดยใช้ UV / H₂O₂." **Colourway**. 19 (November-December 1998) : 35.
9. _____. "สุขภาพและสิ่งแวดล้อมกับการใช้สีอินทรีย์" **Colourway**. 12 (March-April 1997) : 33-34
10. Annadurai, G., Ruey-Shin Juand and Duu-Jond Lee. "Factorial Design Analysis for Adsorption of Dye on Activated Carbon Bleads Incorporated with Calcium"
Advance in Environmental Research. 6 (2002) : 191-198.
11. Austin, P.R. et al. "Chitin : New Facts of Research" **Science**. 212 (1981) : 749-753.
12. Bough, W. A. " Coagulation with Chitosan-an Aid to Recovery of By-Product from Egg Breaking Wastes." **Poultry Science**. 54 (1975) : 1904-1912.
13. Chiou, M. S. and Li, H. Y. "Adsorption Behavior of Reactive dye in Aqueous Solution on Chemical Cross-linked Chitosan Beads" **Chemosphere** 50 (2003) : 1095-1105.
14. Conard, J. "Chitins" **Encyclopedia of Polymer Science and Technology : Plastics, Resins, Rubber, Fibers**. Volume 3. United State of America : John Wiley & Sons, 1965.
15. Domze, J. G. and Roberts,G. A. F. "Evaluation of Infrared Spectroscopic Techniques for Analysing Chitosan." **Makromolecule Chemie**. 186 (1985) : 1671-1677.

16. Fatma, A. et.al. "Polyelectrolyte Complex Formation Between Alginate and Chitosan as a Function of pH" **Journal of Applied Polymer Science**. 88 (2003) : 346-351.
17. Filar, L. J. and Wirick, M. G. "Bulk and Solution Properties of Chitosan" **Proceeding of the First International Conference of Chitin / Chitosan**. MIT Sea Grant Program, Cambridge. 169-181.
18. Gerhard, A., De Ruiter and Rudolph, B. "Carrageenan Biotechnology" **Trend in Feed Science & Technology**. 8 (December 1997) : 389.
19. Gotoh, T., Matsushima. K. and Kikuchi, K. "Preparation of Alginate-Chitosan Hybrid Gel Beads and Adsorption of Divalent Metal Ions" **Chemosphere** 55 (2004) : 135-140.
20. Crini, G. "Studies on Adsorption of Dyes on Beta-Cyclodextrin Polymer" **Bioresource Technology**. 90 (2003) : 193.
21. Guibal, E., Milet, C. and Tobin, J. M. "Metal-Anion Sorption by Chitosan Beads : Equilibrium and Kinetic Studies" **Industrial Engineering Chemical Research**. 37 (1998) : 1454-1463.
22. Hallidays, P. J. and Beszedita, S. "Color Removal from Textile Mill Wastewater" **Canadian Textile Journal** 2 (1986) : 78-84.
23. Johnson, R. A. and Gallanger, S. M. "Use of Coagulation to Treat Seafood Processing Wastewater" **J.WPCF**. 8 (1984) : 970-976.
24. Kennedy, M. "Electrochemical Wastewater Treatment Technology for Textiles" **American Dyestuff Reporter** 5 (1991) : 26-29.
25. Kumar, M. N. "A Review of Chitin and Chitosan Application." **Reaction Functional Polymer** 46 (2000) : 1-27.
26. MacArtain, P., Jacquir, J. C. and Dawson, K. A. Physical Characteristics of Calcium Induced K-Carrageenan Networks. **Carbohydrate Polymers**. 53 (2003) : 395.
27. McHugh, D. J. **Production and Utilization of Products from Commercial Seaweeds**. Food and Agriculture Organization of United State Nations, Rome : 1987.
28. Mitsumata, T. et. al. "pH - Response of Chitosan, K- Carrageenan, Carboxymethyl Cellulose Sodium Salt Complex Hydrogels" **Polymer** 44 (2003) : 7103-7111.
29. No, H. K. and Meyers, S. P. "Crawfish Chitosan as a Coagulation in Recovery of Organic Compounds from Seafood Processing Streams" **Journal of Agriculture of Food Chemistry**. 37 (1989) : 580-583.

30. Oven, R. F. **Food Chemistry**. New York : Marcel Dekker Inc., 1996.
31. Porter, M.R. **Handbook of Surfactants**. 2 nd ed. New York : Blackie & Son 1991.
32. Rima, J. Z. et. al. "The Role of Anionic Substance in Removal of Textile Dyes from Solution Using Cationic Flocculant" **Colloids and Surfaces** 214 (2003) : 37-47.
33. Robert, J. H. **The Development of Sodium Alginate as a Textile Print Thickener**. London : Kelo International, 1995.
34. Sakiyama, T. et al. "Preparation of a Polyelectrolyte Complex Gel from Chitosan and K-Carragenan and Its pH-Sensitive Swelling" **Journal of Applied Polymer Science**. 50 (1993) : 2021 - 2025.
35. Schneider, R. and Soctar-Turk, S. "Good Quality Printing with Reactive Dyes Using Guar Gum and Biodegradable Additive" **Dyes and Pigments**. 57 (2003) : 7-14.
36. Smith, B. **Identification and Reduction of Pollution Sources in Textile Wet Processing**. North Carolina Department of Natural Resources and Community Development. North carolina : Raleigh, 1986.
37. Simsek-Ege, F.A., Bond, G. and Stringer, J. "Polyelectrolyte Complex Formation between Alginate and Chitosan as a Function of pH" **Journal of Applied Polymer Science**. 88 (2003) : 346 - 351.
38. Swisher, R.D. **Surfactant Biodegradation**. 2 nd ed. New York : Marcel Dekker, 1987.
39. Thomas, A. D., Voleskey, B. and Mucci, A. "A Review of the Biochemistry of Heavy Metal Biosorption by Brown Algae" **Water Research**. 37 (2003) : 4319-4330.
40. Wasan, D.T., Ginn, M.E. and Shah, D.O. **Surfactants in Chemical/Process Engineering : Surfactant Science Series**. Volume 28. New York : Marcel Dekker, 1988.
41. Yoshida, H., Okamoto, A. and Kataoka, T. " Adsorption of Acid dye on Cross-linked Chitosan Fibers : Equilibria." **Chemical Engineering**. 48 (1993) : 2267-2272.
42. Zemaitaitiene, R.J., Zlobaite, E. and Klimaviciute, R. "The Role of Anionic Substances in Removal of Textile Dyes from Solutions Using Cationic Flocculant" **Colloids and Surfaces A : Physicochemical Engineering Aspects**. 214, (2003) : 37 - 47.

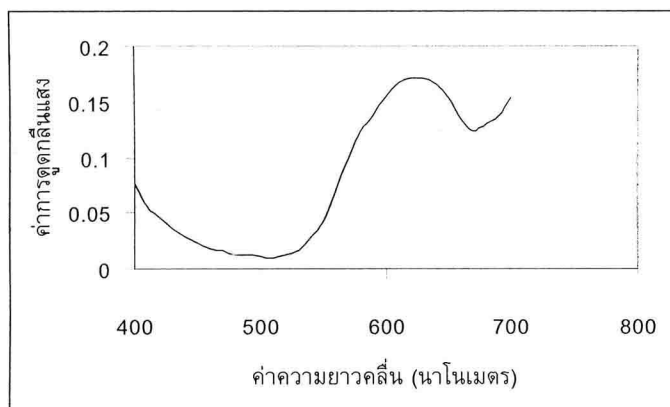
ภาคผนวก ก
ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของสารสี

1. ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของสารสีชนิดสีแดง



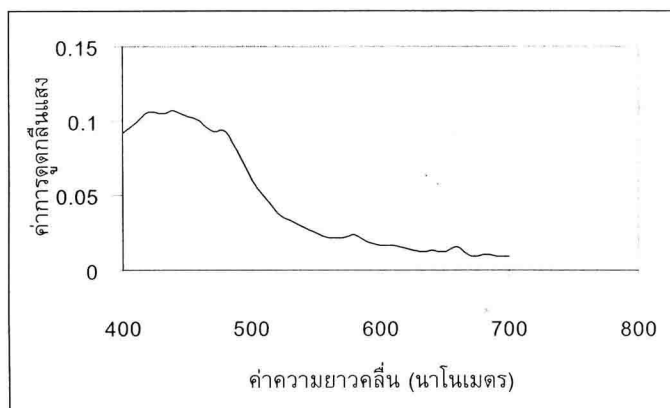
ภาพประกอบที่ 1 ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของสารสีชนิดสีแดง

2. ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของสารสีชนิดสีน้ำเงิน



ภาพประกอบที่ 2 ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของสารสีชนิดสีน้ำเงิน

3. ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของสารสีชนิดสีเหลือง



ภาพประกอบที่ 3 ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของสารสีชนิดสีเหลือง

ภาคผนวก ข

การกำจัดสารสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและคาร์ราจีแนน

1. สารสีชนิดสีแดง

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.334	0.336	0.336	0.335

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากกำจัดด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนน

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoS : CAR	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.0:0	0.307	0.308	0.310	0.308
1.6:0.4	0.308	0.307	0.314	0.310
1.2:0.8	0.119	0.119	0.118	0.119
0.8:1.2	0.024	0.024	0.024	0.024
0.4:1.6	0.083	0.083	0.084	0.083
0:2.0	0.216	0.216	0.216	0.216

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoS : CAR	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
2.0:0	8.06
1.6:0.4	7.46
1.2:0.8	64.48
0.8:1.2	92.80
0.4:1.6	75.22
0:2.0	35.52

2. สารสีชนิดสีน้ำเงิน

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.148	0.148	0.149	0.148

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากกำจัดด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนน

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoS : CAR	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.0:0	0.143	0.143	0.143	0.143
1.6:0.4	0.145	0.144	0.145	0.145
1.2:0.8	0.144	0.145	0.145	0.14
0.8:1.2	0.012	0.012	0.012	0.012
0.4:1.6	0.027	0.026	0.028	0.027
0:2.0	0.142	0.142	0.142	0.142

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoS : CAR	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
2.0:0	3.38
1.6:0.4	2.03
1.2:0.8	2.03
0.8:1.2	91.89
0.4:1.6	81.76
0:2.0	4.05

3. สารสีชนิดสีเหลือง

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.178	0.179	0.180	0.179

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากกำจัดด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและคาร์ราจีแนน

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoS : CAR	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.0:0	0.174	0.174	0.174	0.174
1.6:0.4	0.172	0.172	0.172	0.172
1.2:0.8	0.116	0.116	0.117	0.116
0.8:1.2	0.050	0.050	0.050	0.050
0.4:1.6	0.106	0.106	0.106	0.106
0:2.0	0.156	0.156	0.156	0.156

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoS : CAR	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
2.0:0	2.79
1.6:0.4	3.91
1.2:0.8	35.20
0.8:1.2	72.07
0.4:1.6	40.78
0:2.0	12.85

ภาคผนวก ค

การกำจัดสารสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและแอลจินेट

1. สารสีชนิดสีแดง

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.851	2.851	2.851	2.851

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากกำจัดด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและแอลจินेट

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoS : ALG	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.0:0	2.831	2.831	2.831	2.831
1.6:0.4	0.171	0.171	0.171	0.171
1.2:0.8	0.007	0.007	0.007	0.007
0.8:1.2	0.277	0.277	0.277	0.277
0.4:1.6	2.758	2.758	2.758	2.758
0:2.0	2.764	2.764	2.764	2.764

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoS : ALG	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
2.0:0	0.59
1.6:0.4	94.00
1.2:0.8	99.75
0.8:1.2	90.28
0.4:1.6	3.26
0:2.0	3.05

2. สารสีชนิดสีน้ำเงิน

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.283	2.283	2.283	2.283

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากการกำจัดด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและแอลจินเนต

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoS : ALG	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.0:0	2.236	2.236	2.236	2.236
1.6:0.4	2.111	2.145	2.117	2.124
1.2:0.8	0.496	0.486	0.494	0.492
0.8:1.2	1.124	1.199	1.202	1.175
0.4:1.6	2.158	2.162	2.163	2.161
0:2.0	2.208	2.216	2.226	2.217

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoS : ALG	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
2.0:0	2.06
1.6:0.4	6.96
1.2:0.8	78.45
0.8:1.2	48.53
0.4:1.6	5.34
0:2.0	2.89

3. สารสีชนิดสีเหลือง

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.931	0.931	0.931	0.931

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากกำจัดด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและแอลจินेट

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoS : ALG	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.0:0	0.924	0.924	0.924	0.924
1.6:0.4	0.790	0.797	0.798	0.795
1.2:0.8	0.327	0.327	0.327	0.327
0.8:1.2	0.320	0.320	0.320	0.320
0.4:1.6	0.838	0.871	0.872	0.860
0:2.0	0.821	0.825	0.817	0.821

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoS : ALG	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
2.0:0	0.75
1.6:0.4	14.61
1.2:0.8	64.88
0.8:1.2	65.63
0.4:1.6	7.63
0:2.0	11.82

ภาคผนวก ง

การกำจัดสารสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและโซเดียมโตนีคซิลลเฟต

1. สารสีชนิดสีแดง

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.851	2.851	2.851	2.851

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากกำจัดด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoS : SDS	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.0:0	2.833	2.834	2.835	2.834
1.6:0.4	2.722	2.728	2.730	2.727
1.2:0.8	2.553	2.565	2.561	2.560
0.8:1.2	0.005	0.006	0.005	0.005
0.4:1.6	2.708	2.711	2.715	2.711
0:2.0	2.824	2.829	2.833	2.830

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoS : SDS	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
2.0:0	0.59
1.6:0.4	4.35
1.2:0.8	10.21
0.8:1.2	99.82
0.4:1.6	4.91
0:2.0	0.74

2. สารสีชนิดสีน้ำเงิน

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.283	2.283	2.283	2.283

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีหลังจากกำจัดด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและโซเดียมไดอะซอลซัลเฟต

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoS : SDS	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.0:0	2.235	2.238	2.236	2.236
1.6:0.4	2.178	2.174	2.178	2.177
1.2:0.8	2.090	2.099	2.102	2.097
0.8:1.2	0.013	0.013	0.014	0.013
0.4:1.6	2.249	2.251	2.218	2.239
0:2.0	2.268	2.268	2.268	2.268

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoS : SDS	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
2.0:0	2.06
1.6:0.4	4.64
1.2:0.8	8.15
0.8:1.2	99.43
0.4:1.6	1.93
0:2.0	0.66

3. สารสีชนิดสีเหลือง

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.931	0.931	0.931	0.931

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากกำจัดด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและโซเดียมโตะเดคซิลซัลเฟต

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoS : SDS	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.0:0	0.923	0.929	0.919	0.924
1.6:0.4	0.905	0.903	0.906	0.905
1.2:0.8	0.809	0.810	0.809	0.809
0.8:1.2	0.009	0.008	0.009	0.009
0.4:1.6	0.847	0.854	0.858	0.853
0:2.0	0.905	0.905	0.910	0.907

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoS : SDS	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
2.0:0	0.75
1.6:0.4	2.79
1.2:0.8	13.10
0.8:1.2	99.03
0.4:1.6	8.38
0:2.0	2.58

ภาคผนวก จ

การกำจัดสารสีด้วยไคโทซานในกรดแอสติกและแอลจิเนต

1. สารสีชนิดสีแดง

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.851	2.851	2.851	2.851

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากการกำจัดด้วยโคโทซานในกรดแอสซิดิกและแอลจิเนต

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoA : ALG	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.0:0	2.840	2.841	2.844	2.842
1.6:0.4	2.794	2.798	2.805	2.799
1.2:0.8	2.408	2.416	2.424	2.416
0.8:1.2	0.408	0.409	0.411	0.409
0.4:1.6	2.512	2.521	2.523	2.519
0:2.0	2.846	2.850	2.850	2.849

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoA : ALG	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
2.0:0	0.32
1.6:0.4	1.82
1.2:0.8	15.26
0.8:1.2	85.65
0.4:1.6	11.65
0:2.0	0.07

2. สารสีชนิดสีน้ำเงิน

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.283	2.283	2.283	2.283

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีหลังจากกำจัดด้วยโคโทซานในกรดแอสซิดิกและแอลกอฮอล์

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoA : ALG	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.0:0	2.238	2.287	2.282	2.269
1.6:0.4	2.223	2.262	2.228	2.238
1.2:0.8	2.035	2.045	2.054	2.045
0.8:1.2	0.005	0.005	0.004	0.005
0.4:1.6	2.180	2.185	2.180	2.182
0:2.0	2.229	2.230	2.236	2.232

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoA : ALG	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
2.0:0	0.61
1.6:0.4	1.97
1.2:0.8	10.42
0.8:1.2	99.78
0.4:1.6	4.42
0:2.0	2.23

3. สารสีชนิดสีเหลือง

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.931	0.931	0.931	0.931

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากกำจัดด้วยโคโทซานในกรดแอสซิดิกและแอลกอฮอล์

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoA : ALG	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.0:0	0.931	0.931	0.931	0.931
1.6:0.4	0.870	0.874	0.877	0.874
1.2:0.8	0.347	0.348	0.350	0.348
0.8:1.2	0.001	0.001	0.001	0.001
0.4:1.6	0.917	0.920	0.922	0.920
0:2.0	0.851	0.887	0.897	0.878

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoA : ALG	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
2.0:0	3.33
1.6:0.4	6.12
1.2:0.8	62.62
0.8:1.2	99.89
0.4:1.6	1.18
0:2.0	5.69

ภาคผนวก จ

การจัดสารสีด้วยโคโทซานในกรดแอสติกและคาราจีแนน

1. สารสีชนิดสีแดง

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.334	0.336	0.336	0.335

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากกำจัดด้วยไคโทซานในกรดแอสซิดิกและคาร์างิแนน

อัตราส่วนระหว่าง ChitoA : CAR	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.0:0	0.333	0.332	0.332	0.332
1.6:0.4	0.313	0.309	0.308	0.310
1.2:0.8	0.307	0.309	0.321	0.312
0.8:1.2	0.325	0.318	0.319	0.324
0.4:1.6	0.076	0.076	0.078	0.077
0:2.0	0.213	0.214	0.221	0.216

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

อัตราส่วนระหว่าง ChitoA : CAR	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
2.0:0	0.90
1.6:0.4	7.46
1.2:0.8	6.87
0.8:1.2	4.18
0.4:1.6	77.01
0:2.0	35.52

2. สารสีชนิดสีน้ำเงิน

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.148	0.148	0.149	0.148

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากกำจัดด้วยไคโทซานในกรดแอสซิดิก และคาร์ราจีแนน

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoA : CAR	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.0:0	0.142	0.143	0.143	0.143
1.6:0.4	0.146	0.146	0.146	0.146
1.2:0.8	0.144	0.145	0.144	0.144
0.8:1.2	0.009	0.008	0.008	0.008
0.4:1.6	0.153	0.152	0.154	0.153
0:2.0	0.142	0.142	0.142	0.142

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoA : CAR	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
2.0:0	3.38
1.6:0.4	1.35
1.2:0.8	2.70
0.8:1.2	94.59
0.4:1.6	77.03
0:2.0	4.05

3. สารสีชนิดสีเหลือง

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.178	0.179	0.180	0.179

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากกำจัดด้วยไคโทซานในกรดแอสซิดิก และการจาง

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoA : CAR	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.0:0	0.173	0.173	0.173	0.173
1.6:0.4	0.171	0.171	0.171	0.171
1.2:0.8	0.170	0.170	0.170	0.170
0.8:1.2	0.101	0.104	0.105	0.103
0.4:1.6	0.112	0.113	0.126	0.112
0:2.0	0.154	0.157	0.158	0.156

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoA : CAR	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
2.0:0	3.36
1.6:0.4	4.47
1.2:0.8	5.03
0.8:1.2	42.46
0.4:1.6	37.43
0:2.0	12.85

ภาคผนวก ข

การกำจัดสารสีด้วยไคโทซานของกรดแอซีติกและโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

1. สารสีชนิดสีแดง

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.851	2.851	2.851	2.851

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากกำจัดด้วยไคโทซานในกรดแอสซิดิก และโซเดียมไดเตคซิลซัลเฟต

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoA : SDS	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.0:0	2.842	2.842	2.842	2.842
1.6:0.4	2.719	2.722	2.776	2.739
1.2:0.8	2.642	2.645	2.647	2.645
0.8:1.2	0.111	0.115	0.115	0.114
0.4:1.6	2.764	2.756	2.809	2.776
0:2.0	2.825	2.821	2.826	2.824

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoA : SDS	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
2.0:0	0.32
1.6:0.4	3.93
1.2:0.8	7.23
0.8:1.2	96.00
0.4:1.6	2.63
0:2.0	0.95

2. สารสีชนิดสีน้ำเงิน

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.283	2.283	2.283	2.283

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีหลังจากกำจัดด้วยไคโทซานในกรดแอสซิดิก และโซเดียมไดเตคซิลซัลเฟต

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoA : SDS	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.0:0	2.269	2.269	2.269	2.269
1.6:0.4	2.239	2.243	2.286	2.256
1.2:0.8	2.040	2.145	2.127	2.104
0.8:1.2	0.001	0.001	0.001	0.001
0.4:1.6	1.234	1.301	1.306	1.280
0:2.0	2.252	2.256	2.295	2.268

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoA : SDS	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
2.0:0	0.61
1.6:0.4	1.18
1.2:0.8	7.84
0.8:1.2	99.96
0.4:1.6	43.93
0:2.0	0.66

3. สารสีชนิดสีเหลือง

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.931	0.931	0.931	0.931

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีหลังจากกำจัดด้วยไคโทซานในกรดแอสซิดิก และโซเดียมโตะเคคซิลซัลเฟต

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoA : SDS	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.0:0	0.900	0.900	0.900	0.900
1.6:0.4	0.850	0.850	0.850	0.850
1.2:0.8	0.820	0.820	0.820	0.820
0.8:1.2	0.006	0.004	0.003	0.004
0.4:1.6	0.829	0.831	0.838	0.833
0:2.0	0.907	0.907	0.907	0.907

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

อัตราส่วน ระหว่าง ChitoA : SDS	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
2.0:0	3.33
1.6:0.4	8.70
1.2:0.8	11.92
0.8:1.2	99.57
0.4:1.6	10.53
0:2.0	2.58

ภาคผนวก ข

อิทธิพลของความเข้มข้นของสารสีชนิดสีแดงที่มีต่อการกำจัดสารสี

1. การกำจัดสารสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและโซเดียมโอดีเคซิลซัลเฟต

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นของสารสีชนิดสีแดง

ร้อยละของ ค่าความเข้มข้น เริ่มต้นของ สารสี	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.014	3.046	3.057	3.050	3.051
0.016	3.164	3.167	3.165	3.165
0.018	3.301	3.302	3.308	3.304
0.020	3.370	3.372	3.372	3.371
0.022	3.409	3.409	3.409	3.409
0.024	3.432	3.433	3.431	3.432

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากกำจัดด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและโซเดียมโอดีเคซิลซัลเฟต

ร้อยละของ ค่าความเข้มข้น เริ่มต้นของ สารสี	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.014	0.086	0.085	0.086	0.086
0.016	0.091	0.093	0.095	0.093
0.018	0.100	0.101	0.102	0.101
0.020	0.088	0.093	0.104	0.095
0.022	0.090	0.097	0.102	0.096
0.024	0.084	0.087	0.088	0.086

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

ร้อยละของค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารสี	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
0.014	97.18
0.016	97.06
0.018	96.94
0.020	97.18
0.022	97.18
0.024	97.49

2. การกำจัดสารสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและแอลจินेट

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีหลังจากกำจัดด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและแอลจินेट

ร้อยละของ ค่าความเข้มข้น เริ่มต้นของ สารสี	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.014	0.411	0.414	0.413	0.413
0.016	0.375	0.371	0.370	0.372
0.018	0.376	0.381	0.385	0.381
0.020	0.554	0.559	0.559	0.557
0.022	0.084	0.084	0.084	0.084
0.024	0.679	0.682	0.687	0.683

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

ร้อยละของค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารสี	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
0.014	86.46
0.016	88.25
0.018	88.47
0.020	83.48
0.022	97.53
0.024	80.10

ภาคผนวก ฅ

อิทธิพลของความเข้มข้นของสารสีชนิดสีน้ำเงินที่มีต่อการกำจัดสารสี

1. การกำจัดสารสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและโซเดียมโอดีเคซิลซัลเฟต

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นของสารสีชนิดสีน้ำเงิน

ร้อยละของ ค่าความเข้มข้น เริ่มต้นของ สารสี	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.014	2.092	2.114	2.101	2.102
0.016	2.441	2.451	2.453	2.448
0.018	2.694	2.706	2.701	2.700
0.020	2.839	2.843	2.848	2.843
0.022	3.025	3.023	3.025	3.024
0.024	3.178	3.175	3.180	3.178

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากการกำจัดด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานและโซเดียมโอดีเคซิลซัลเฟต

ร้อยละของ ค่าความเข้มข้น เริ่มต้นของ สารสี	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.014	0.105	0.112	0.121	0.109
0.016	0.119	0.122	0.120	0.120
0.018	0.168	0.179	0.182	0.176
0.020	0.106	0.122	0.121	0.116
0.022	0.120	0.121	0.120	0.120
0.024	0.118	0.121	0.122	0.120

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

ร้อยละของค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารสี	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
0.014	94.81
0.016	95.10
0.018	93.48
0.020	95.92
0.022	96.03
0.024	96.22

2. การกำจัดสารสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและแอลจินेट

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีหลังจากกำจัดด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและแอลจินेट

ร้อยละของ ค่าความเข้มข้น เริ่มต้นของ สารสี	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.014	0.710	0.713	0.713	0.712
0.016	1.065	1.070	1.070	1.068
0.018	1.409	1.475	1.450	1.445
0.020	1.167	1.170	1.163	1.167
0.022	1.442	1.450	1.461	1.451
0.024	1.941	1.954	1.955	1.950

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

ร้อยละของค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารสี	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
0.014	66.13
0.016	56.37
0.018	46.48
0.020	58.95
0.022	52.02
0.024	38.64

ภาคผนวก ญ

อิทธิพลของความเข้มข้นของสารสีชนิดสีเหลืองที่มีต่อการกำจัดสารสี

1. การกำจัดสารสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและโซเดียมโตะเคซิลซัลเฟต

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นของสารสีชนิดสีเหลือง

ร้อยละของ ค่าความเข้มข้น เริ่มต้นของ สารสี	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.014	0.623	0.625	0.626	0.625
0.016	0.734	0.736	0.736	0.735
0.018	0.796	0.801	0.801	0.799
0.020	0.779	0.782	0.784	0.782
0.022	0.868	0.870	0.875	0.871
0.024	0.951	0.961	0.962	0.958

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากกำจัดด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและโซเดียมโตะเคซิลซัลเฟต

ร้อยละของ ค่าความเข้มข้น เริ่มต้นของ สารสี	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.014	0.174	0.175	0.174	0.174
0.016	0.152	0.155	0.157	0.155
0.018	0.144	0.143	0.143	0.143
0.020	0.140	0.145	0.141	0.142
0.022	0.145	0.148	0.150	0.148
0.024	0.144	0.143	0.145	0.144

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

ร้อยละของค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารสี	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
0.014	72.16
0.016	78.85
0.018	82.10
0.020	81.84
0.022	83.01
0.024	84.97

2. การกำจัดสารสีด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและแอลจินेट

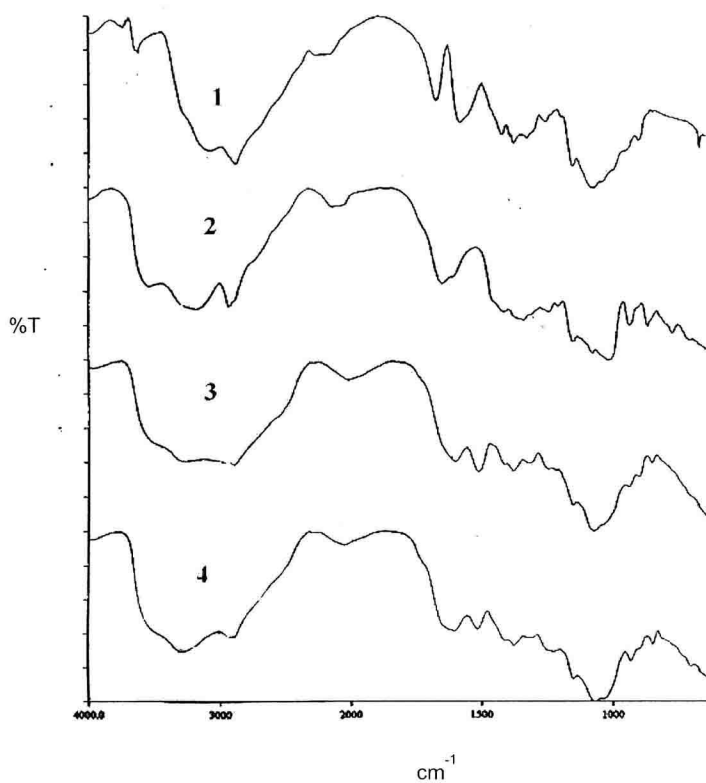
ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีหลังจากกำจัดด้วยเกลือไฮโดรคลอไรด์ของโคโทซานและแอลจินेट

ร้อยละของค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารสี	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.014	0.275	0.274	0.274	0.274
0.016	0.289	0.290	0.290	0.290
0.018	0.282	0.282	0.282	0.282
0.020	0.269	0.270	0.273	0.270
0.022	0.318	0.321	0.325	0.321
0.024	0.146	0.146	0.145	0.146

ตารางที่ 3 ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

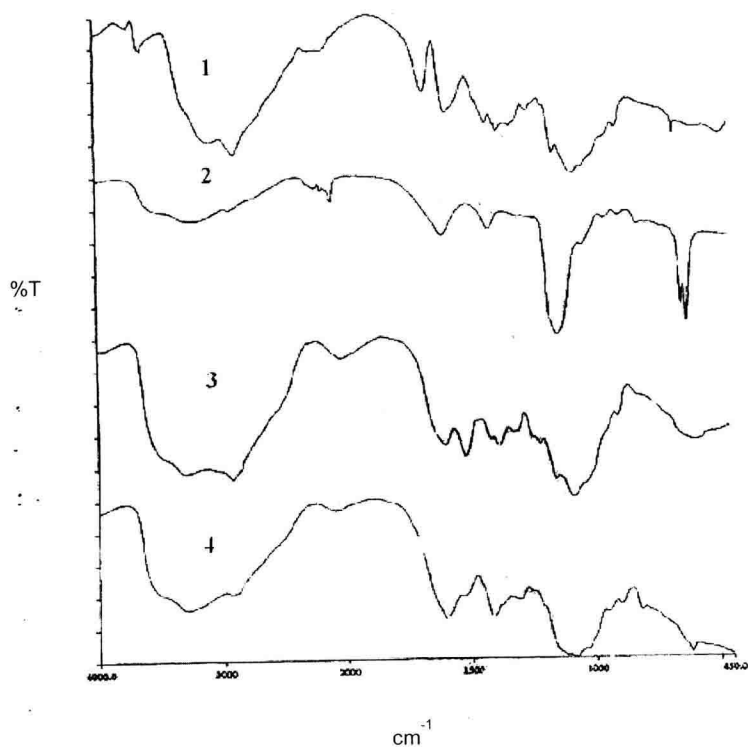
ร้อยละของค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารสี	ร้อยละของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง
0.014	56.16
0.016	60.54
0.018	64.71
0.020	65.47
0.022	63.15
0.024	84.76

ภาคผนวก ก
อินฟราเรดสเปกตรัม



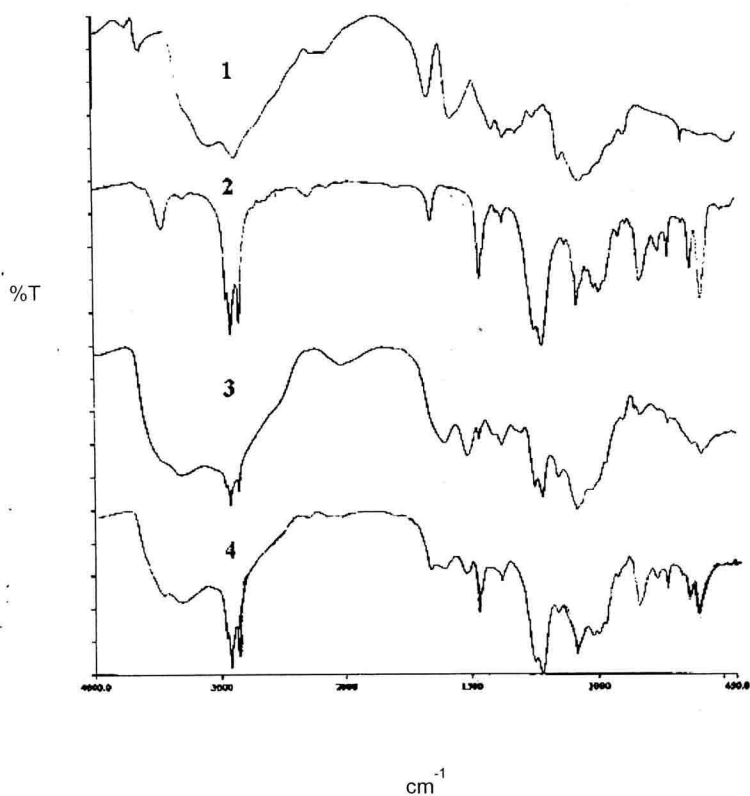
ภาพประกอบที่ 1 อินฟราเรดสเปกตรัมของสารชนิดต่างๆ

1. ไคโทซาน
2. คาร์ราจีแนน
3. ไคโทซานในกรดแอสซิดิกทำปฏิกิริยากับคาร์ราจีแนน ในอัตราส่วน 1.6 : 0.4
4. ไคโทซานในกรดแอสซิดิกทำปฏิกิริยากับคาร์ราจีแนน ในอัตราส่วน 0.8 : 1.2



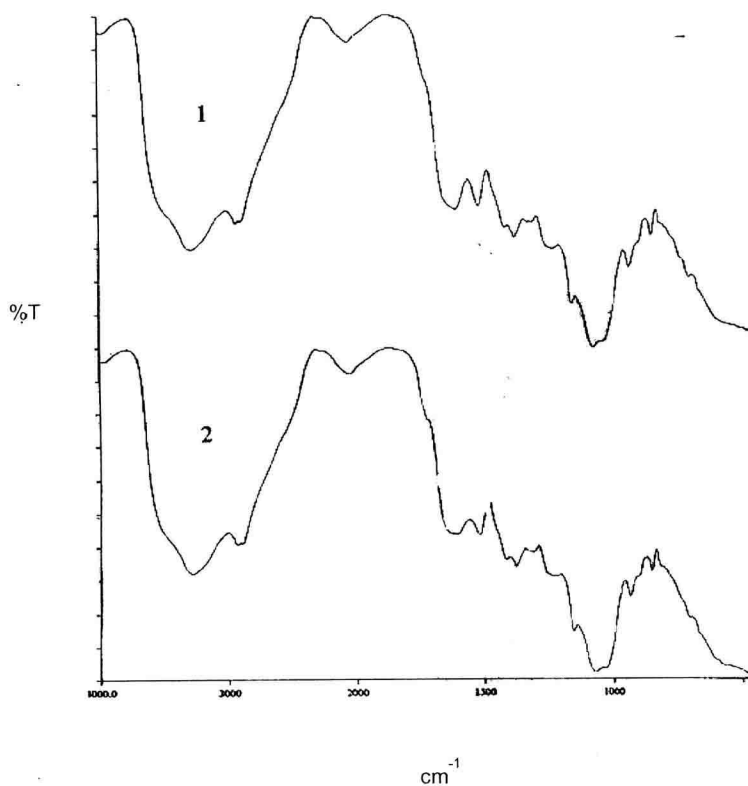
ภาพประกอบที่ 2 อินฟราเรดสเปกตรัมของสารชนิดต่างๆ

1. ไคโทซาน
2. แอลจีเนต
3. ไคโทซานในกรดแอซีติกทำปฏิกิริยากับแอลจีเนต ในอัตราส่วน 1.6 : 0.4
4. ไคโทซานในกรดแอซีติกทำปฏิกิริยากับแอลจีเนต ในอัตราส่วน 0.8 : 1.2



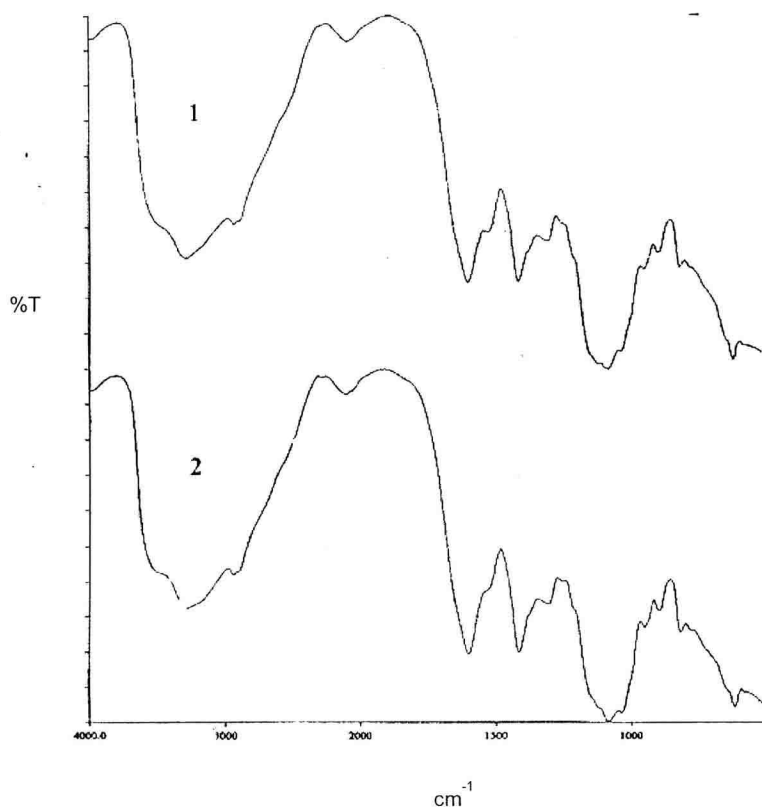
ภาพประกอบที่ 3 อินฟราเรดสเปกตรัมของสารชนิดต่างๆ

1. ไคโทซาน
2. โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต
3. ไคโทซานในกรดแอสซิดิกทำปฏิกิริยากับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตในอัตราส่วน
1.6 : 0.4
4. ไคโทซานในกรดแอสซิดิกทำปฏิกิริยากับโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตในอัตราส่วน
0.8 : 1.2



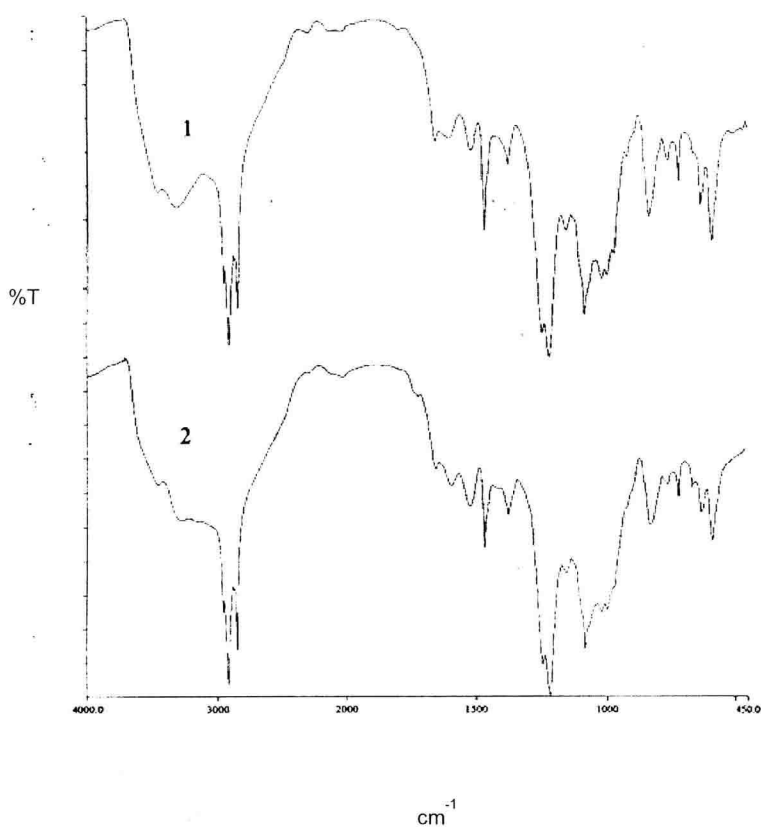
ภาพประกอบที่ 4 อินฟราเรดสเปกตรัมของสารชนิดต่างๆ

1. ไคโทซานในกรดแอสซิดิกทำปฏิกิริยากับคาร์ราจีแนน ในอัตราส่วน 0.8 : 1.2
2. เกลือไฮโดรคลอไรด์ของไคโทซานทำปฏิกิริยากับคาร์ราจีแนน ในอัตราส่วน 0.8 : 1.2



ภาพประกอบที่ 5 อินฟราเรดสเปกตรัมของสารชนิดต่างๆ

1. ไคโทซานในกรดแอสติคทำปฏิกิริยากับแอลจีเนต ในอัตราส่วน 0.8 : 1.2
2. เกลือไฮโดรคัลไรต์ของไคโทซานทำปฏิกิริยากับแอลจีเนต ในอัตราส่วน 0.8 : 1.2



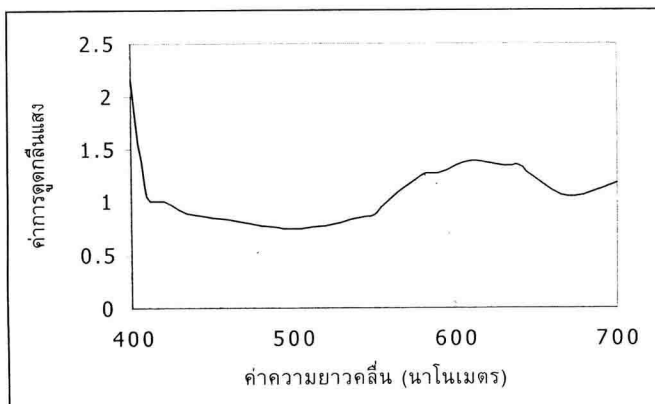
ภาพประกอบที่ 6 อินฟราเรดสเปกตรัมของสารชนิดต่างๆ

1. ไคโทซานในกรดแอสซิดิกทำปฏิกิริยากับโซเดียมโตเดคซิลซัลเฟตในอัตราส่วน 0.8 : 1.2
2. เกลือไฮโดรคัลอไรด์ของไคโทซานทำปฏิกิริยากับโซเดียมโตเดคซิลซัลเฟต ในอัตราส่วน 0.8 : 1.2

ภาคผนวก ฏ

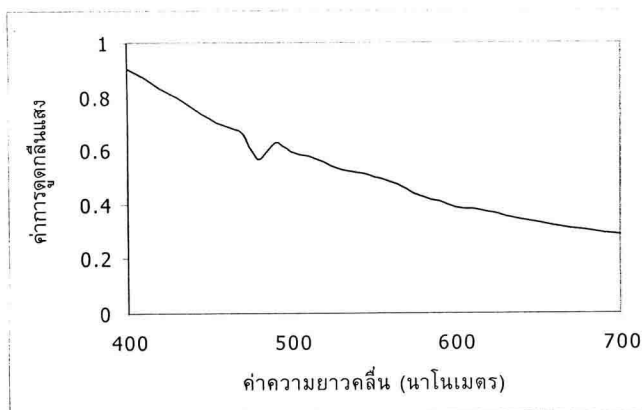
ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของสารสีในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

1. ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในครั้งที่ 1



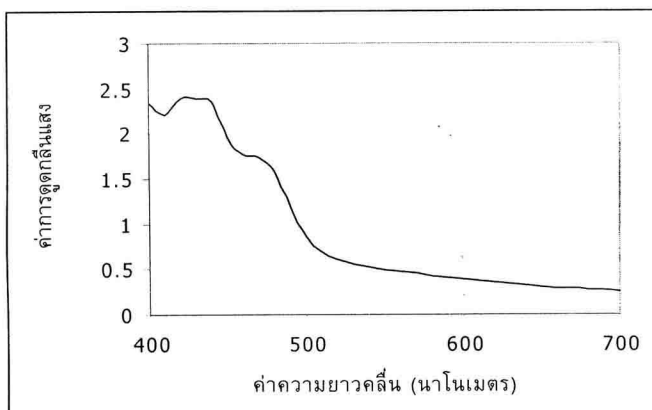
ภาพประกอบที่ 1 ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในครั้งที่ 1

2. ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในครั้งที่ 2



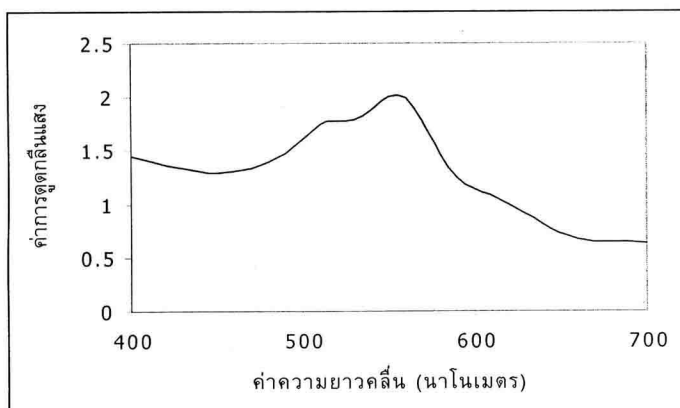
ภาพประกอบที่ 2 ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในครั้งที่ 2

3. ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในครั้งที่ 3



ภาพประกอบที่ 3 ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในครั้งที่ 3

4. ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในครั้งที่ 4



ภาพประกอบที่ 4 ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในครั้งที่ 4

ภาคผนวก จ
การกำจัดสารสีในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

1. น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในครั้งที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำทิ้งเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1.379	1.379	1.379	1.379

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากกำจัด

ชนิดของสาร ที่ใช้กำจัด *	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ChitoA : CAR	0.830	0.829	0.828	0.829
ChitoA : ALG	0.044	0.042	0.044	0.043
ChitoA : SDS	0.008	0.014	0.010	0.011

* ChitoA : CAR = ไคโทซานในกรดแอสซิดิก : คาร์ราจีแนน
ChitoA : ALG = ไคโทซานในกรดแอสซิดิก : แอลจีเนต
ChitoA : SDS = ไคโทซานในกรดแอสซิดิก : โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

2. น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในครั้งที่ 2

ตารางที่ 3 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำทิ้งเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.904	0.904	0.904	0.904

ตารางที่ 4 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากการกำจัด

ชนิดของสาร ที่ใช้กำจัด *	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ChitoA : CAR	0.754	0.752	0.759	0.755
ChitoA : ALG	0.215	0.220	0.230	0.222
ChitoA : SDS	0.036	0.041	0.040	0.039

* ChitoA : CAR = ไคโทซานในกรดแอสซิติค : คาร์ราจีแนน

ChitoA : ALG = ไคโทซานในกรดแอสซิติค : แอลจีเนต

ChitoA : SDS = ไคโทซานในกรดแอสซิติค : โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

3. น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในครั้งที่ 3

ตารางที่ 5 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำทิ้งเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.400	2.400	2.400	2.400

ตารางที่ 6 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากกำจัด

ชนิดของสาร ที่ใช้กำจัด *	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ChitoA : CAR	2.036	2.024	1.980	2.013
ChitoA : ALG	0.177	0.167	0.180	0.175
ChitoA : SDS	0.036	0.042	0.045	0.053

* ChitoA : CAR = ไคโทซานในกรดแอสซิติค : คาร์ราจีแนน

ChitoA : ALG = ไคโทซานในกรดแอสซิติค : แอลจีเนต

ChitoA : SDS = ไคโทซานในกรดแอสซิติค : โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

4. น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในครั้งที่ 4

ตารางที่ 7 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำทิ้งเริ่มต้น

ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2.003	2.003	2.003	2.003

ตารางที่ 8 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสีภายหลังจากกำจัด

ชนิดของสาร ที่ใช้กำจัด *	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ChitoA : CAR	1.180	1.175	1.161	1.172
ChitoA : ALG	0.044	0.047	0.044	0.045
ChitoA : SDS	0.003	0.017	0.021	0.014

* ChitoA : CAR = ไคโทซานในกรดแอสซิดิก : คาร์ราจีแนน

ChitoA : ALG = ไคโทซานในกรดแอสซิดิก : แอลจีเนต

ChitoA : SDS = ไคโทซานในกรดแอสซิดิก : โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล

นางสาวบุญศรี คู่สุขธรรม

วัน เดือน ปี เกิด

20 กรกฎาคม 2507

สถานที่เกิด

กรุงเทพมหานครฯ

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน (2525 - 2528)

การศึกษาระดับบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ - เคมี)

ปริญญาโท

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (2528 - 2531)

การศึกษาระดับบัณฑิต (เคมี)

ปริญญาโท

มหาวิทยาลัยมหิดล (2536 - 2539)

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์)

ปริญญาเอก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2544 - 2547)

วิทยาศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต (วัสดุศาสตร์)

ประวัติการทำงาน

2532 - ปัจจุบัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ

คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ

ประวัติผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ-นามสกุล

ว่าที่ ร.อ. สมชาย อุดร

วัน เดือน ปี เกิด

3 กันยายน 2516

สถานที่เกิด

จ. พระนครศรีอยุธยา

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมีสิ่งทอ)

ปริญญาโท

มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการงานวิศวกรรม)

ประวัติการทำงาน

2540 - ปัจจุบัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ

คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ

