

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ทุนวิจัย

กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานผลการวิจัย

การดูดซับของสีย้อมประเภทละลายน้ำได้บนไคตินและไคโตแซน

โดย

ดร. รัตนา รุจิรวนิช

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มิถุนายน 2543

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ทุนวิจัย

กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานผลการวิจัย

การดูดซับของสีย้อมประเภทละลายน้ำได้บนไคตินและไคโตแซน

โดย

ดร. รัตนา รุจิรวนิช

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มิถุนายน 2543

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จล่วงด้วยดี โดยได้รับการสนับสนุนเป็นอย่างดีจากหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอขอบคุณ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยจากกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ประจำปีการเงิน 2541
 ขอขอบคุณวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการสนับสนุนและ
 อำนวยความสะดวกเกี่ยวกับอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทำงานวิจัย บริษัทสุรพลฟู้ด
 (มหาชน) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดหาเปลือกกุ้ง บริษัทไดสตาร์ไทย จำกัด ในการจัดหาสี
 ย้อมประเภทละลายน้ำ บริษัทวิทย์คอร์ป เคมีคอลส์ จำกัด ในการจัดหาสารเคมี สุกท้ายผู้วิจัยขอ
 ขอบคุณบริษัทนากุลพิมพ์ย้อม จำกัด บริษัทโกลเด้นไทยอินดัสตรี จำกัด บริษัทศิลปเสณีพาณิชย์
 จำกัด และบริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์จัดหาผ้าเนื้อดีเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขหมู่	จพ
	๒๓ 15
เลขทะเบียน	010420
วัน.เดือน.ปี	18 1๓.๕.๕๕

ชื่อโครงการวิจัย การดูดซับของสีย้อมประเภทละลายน้ำได้บน โคลดินและ โคลโดเจน

ชื่อผู้วิจัย ดร. รัตนา รุจิรวนิช

เดือนและปีที่ทำวิจัยเสร็จ มิถุนายน 2543

บทคัดย่อ

จากการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับของสีย้อม 4 ชนิดบนตัวดูดซับ 3 ชนิด พบว่าตัวดูดซับทุกชนิดสามารถดูดซับสีแอสซิด สิริแอคทีฟ และสีไครเรค ได้ดีในสารละลายกรดที่มีค่าพีเอช 5 หรือต่ำกว่า โดยโคลโดเจนจะดูดซับสีย้อมดังกล่าวได้ในปริมาณที่สูงกว่าโคลดินและเปลือกกุ้ง ตรงข้ามกับสีเบสิกจะถูกดูดซับได้ดีในสารละลายด่างที่มีค่าพีเอช 10 หรือสูงกว่า โดยเปลือกกุ้งจะดูดซับสีเบสิกได้ในปริมาณที่สูงกว่าโคลดินและโคลโดเจนมาก ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับและความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเพิ่มขึ้น แต่จะลดลงเมื่ออนุภาคของตัวดูดซับมีขนาดเพิ่มขึ้น ปริมาณของสีทุกชนิดที่ถูกดูดซับยกเว้นสีเบสิก จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อค่าดีกรีออฟพิดีอะเซทิลเลชันของ โคลโดเจนเพิ่มขึ้นยกเว้นสีเบสิก แรงปฏิกริยาระหว่างประจุเป็นแรงสำคัญที่สุดที่มีผลต่อการดูดซับของสีย้อมบนตัวดูดซับ

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการคายการดูดซับของสีย้อมที่ค่าพีเอชและอุณหภูมิต่างๆกัน สีย้อมสามารถคายการดูดซับจากตัวดูดซับได้ดีที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และค่าพีเอช 10 หรือสูงกว่า ยกเว้นสีเบสิกจะคายการดูดซับได้ดีในสารละลายที่มีค่าพีเอช 3 หรือต่ำกว่า สิริแอคทีฟจะคายการดูดซับได้น้อยที่สุด ในการกำจัดสีย้อมออกจากน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอก็ให้ผลในทำนองเดียวกันกับการกำจัดสีย้อมออกจากสารละลายของสีย้อมที่สังเคราะห์ขึ้น โคลโดเจนสามารถดูดซับสีแอสซิด สิริแอคทีฟ และสีไครเรค ได้ในปริมาณสูงสุดเกือบถึง 72% 61% และ 94% ตามลำดับ ส่วนเปลือกกุ้งสามารถดูดซับสีเบสิกจากน้ำทิ้งได้ในปริมาณสูงถึง 43% ปริมาณสีย้อมที่กำจัดได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของสีย้อมในน้ำทิ้ง

Project Title Adsorption of Water-soluble Dyes on Chitin and Chitosan
Investigator Dr. Ratana Rujiravanit
Year 2000

Abstract

Effects of various parameters on the adsorption of four dyes on three adsorbents were investigated. The adsorption of acid dye, reactive dye and direct dye was highly effective in acidic solutions at pH 5 or less, of which chitosan could adsorb more than chitin and shrimp shells. On the contrary, the amounts of basic dye adsorbed on adsorbents were very effective in alkaline solutions at pH 10 or higher, especially on shrimp shells. The amounts of adsorbed dye increased with increasing adsorption time and initial dye concentration but decreased with increasing particle size. The adsorbed amounts of all dyes except the basic dye increased with increasing degree of deacetylation. The ionic interaction was the main force that involved in the dye adsorption on adsorbents.

Desorption of dyes at different pHs and temperatures was also studied. Desorption of dyes from adsorbents was highly effective at 80 °C and $\text{pH} \geq 10$ except the basic dye which highly desorbed at $\text{pH} \leq 3$. The least desorption was found in the reactive dye. The removal of dyes from textile effluents was shown similar tendency to those from the synthetic dye solutions. The amounts of acid dye, reactive dye and direct dye adsorbed on chitosan reach almost 72%, 61% and 94%, respectively, shrimp shells could adsorb basic dye from effluents up to 43 %. The amounts of dye removal depend on the type of dyes in effluents.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ii
บทคัดย่อ ไทย.....	iii
บทคัดย่อ อังกฤษ.....	iv
สารบัญ.....	v
รายการตารางประกอบ.....	ix
รายการภาพประกอบ.....	xvii
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 การสำรวจแนวความคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
3 วิธีการวิจัย.....	18
3.1 วัตถุประสงค์.....	18
3.1.1 สীຂ້ອມປະເທທະລາຍນ້ຳ.....	18
3.1.2 เปลือกกุ้ง.....	18
3.1.3 สารเคมี.....	18
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	21
3.2.1 เครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์.....	21
3.2.2 เครื่องอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.3	อ่างควบคุมอุณหภูมิแบบสั่น.....21
3.2.4	เครื่องวัดค่าพีเอช.....21
3.2.5	เครื่องเซนตริฟิวส์ความเร็วสูง.....21
3.2.6	เครื่องวัดความหนืด.....21
3.2.7	เครื่องแรงและตะแกรง.....21
3.2.8	เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว.....22
3.3	วิธีการทดลอง.....22
3.3.1	การผลิตไคติน.....22
3.3.2	การผลิตไคโตแซน.....22
3.3.3	การเตรียมตัวดูดซับ.....23
3.3.4	การวิเคราะห์หาค่าดีกรีออฟดีอะเซทิลเลชันของไคตินและไคโตแซน.....23
3.3.5	การวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของไคตินและไคโตแซน.....25
3.3.6	การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะของไคตินและไคโตแซน.....25
3.3.7	การวิเคราะห์หาค่า λ_{max} ของสารละลายสีข้อมที่พีเอชต่างๆ26
3.3.8	การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายสีข้อมที่พีเอชต่างๆ26
3.3.9	ผลของพีเอชต่อความคงตัวของสารละลายสีข้อม.....26
3.3.10	การเตรียมตัวดูดซับที่ดูดซับสีข้อม.....27
3.3.11	ผลของปัจจัยต่างๆ ต่อการดูดซับของสีข้อม.....28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.12 ผลของพีเอชและอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับ (Desorption) ของสี้อม.....	29
3.3.13 การกำจัดสี้อมออกจากน้ำทิ้งของ โรงงานฟอกสี้อมสิ่งทอ.....	29
4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	31
4.1 การผลิตไคติน.....	31
4.2 การผลิตไค โดแซน.....	31
4.3 น้ำหนัก โมเลกุลของ ไคตินและ ไค โดแซน.....	35
4.4 พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวดูดซับ.....	37
4.5 λ_{max} ของสารละลายสี้อมที่พีเอชต่างๆ.....	38
4.6 ผลของพีเอชต่อความคงตัวของสารละลายสี้อม.....	38
4.7 กราฟมาตรฐานของสารละลายสี้อมที่พีเอชต่างๆ.....	42
4.8 ตัวดูดซับที่ดูดซับสี้อม.....	42
4.9 การดูดซับของสี้อม.....	43
4.9.1 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี้อม.....	43
4.9.2 ผลของค่าพีเอชหรือพีเอชที่เปลี่ยนต่อการดูดซับของสี้อม.....	48
4.9.3 ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับของสี้อม.....	50
4.9.4 ผลของขนาดอนุภาคของตัวดูดซับต่อการดูดซับของสี้อม.....	50
4.9.5 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสี้อมต่อการดูดซับของสี้อม.....	55
4.10 การคายการดูดซับของสี้อม.....	62

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.10.1 ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี้อม.....	62
4.10.2 ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี้อม.....	62
4.11 การกำจัดสี้อมออกจากน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ.....	67
5 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ.....	74
ส่วนอ้างอิง.....	77
ส่วนผนวก.....	80
ส่วนผนวก ก.....	81
ส่วนผนวก ข.....	87
ส่วนผนวก ค.....	116
ส่วนผนวก ง.....	119
ส่วนผนวก จ.....	121
ส่วนผนวก ฉ.....	128
ส่วนผนวก ช.....	131
ส่วนผนวก ซ.....	138
ส่วนผนวก ฌ.....	143
ส่วนผนวก ฉ.....	154
ส่วนผนวก ฎ.....	161
ส่วนผนวก ฏ.....	164

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
2.1	เปรียบเทียบความแข็งแรงของพันธะต่างๆ.....5
2.2	สีของสารประกอบไอโซ.....6
3.1	คุณสมบัติของสีย้อม.....19
4.1	ค่าดีกรีสื่อฟติอะเซทิลเลชันของ ไค โดแซนที่เตรียมจากไคตินที่สภาวะต่างๆ34
4.2	พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวดูดซับ.....37
4.3	λ_{max} ของสารละลายสีย้อม.....38
4.4	ค่าความชันเฉลี่ยของสีย้อมชนิดต่างๆ.....42
4.5	ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ.....43
4.6	λ_{max} และพีเอชเริ่มต้นของน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ.....72
4.7	ปริมาณสีที่ถูกกำจัดออกจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ โดยใช้ตัวดูดซับ.....73
ก.1	ผลผลิตของไคตินที่ผลิตได้จากเปลือกกุ้ง81
ก.2	ผลผลิตของไค โดแซนที่ผลิตได้จากไคติน.....81
ก.3	ดีกรีอ็อพติอะเซทิลเลชันของไคติน.....82
ก.4	ดีกรีอ็อพติอะเซทิลเลชันของไค โดแซน.....82
ก.5	การคำนวณหาความหนืดของไคติน.....85
ก.6	การคำนวณหาความหนืดของไค โดแซน.....86
ข.1	กราฟมาตรฐานของสี C.I. Acid Red 360 ที่ 535 นาโนเมตร.....88
ข.2	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Reactive Red 158 ที่ 512 นาโนเมตร.....90

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.3 กราฟมาตรฐานของสี C. I. Direct Red 80 ที่ 526 นาโนเมตร.....	92
ข.4 กราฟมาตรฐานของสี C. I. Basic Red 24 ที่ 512 นาโนเมตร.....	94
ค.1 ความคงตัวของสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอชต่างๆ.....	117
ค.2 ความคงตัวของสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอชต่างๆ.....	117
ค.3 ความคงตัวของสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอชต่างๆ.....	118
ค.4 ความคงตัวของสี C.I. Basic Red ที่พีเอชต่างๆ.....	118
ง.1 ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับบนเปลือกกุ้ง.....	120
ง.2 ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับบนไคติน.....	120
ง.3 ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับบนไคโตแซน.....	120
จ.1 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 บนเปลือกกุ้ง.....	122
จ.2 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 บนไคติน.....	122
จ.3 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 บนไคโตแซน.....	123
จ.4 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 บนเปลือกกุ้ง.....	123
จ.5 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 บนไคติน.....	124
จ.6 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 บนไคโตแซน.....	124
จ.7 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 บนเปลือกกุ้ง.....	125
จ.8 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 บนไคติน.....	125
จ.9 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 บนไคโตแซน.....	126

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ.10	ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 บนเปลือกกุ้ง.....126
จ.11	ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 บน ไคติน.....127
จ.12	ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 บน ไค โดแซน.....127
ฉ.1	ผลของค็กรีโอฟดีอะเซทิลเลชันต่อการดูดซับสี C.I. Acid Red 360.....129
ฉ.2	ผลของค็กรีโอฟดีอะเซทิลเลชันต่อการดูดซับสี C.I. Reactive Red 158.....129
ฉ.3	ผลของค็กรีโอฟดีอะเซทิลเลชันต่อการดูดซับสี C.I. Direct Red 80.....130
ฉ.4	ผลของค็กรีโอฟดีอะเซทิลเลชันต่อการดูดซับสี C.I. Basic Red 24.....130
ช.1	ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 บนเปลือกกุ้ง.....132
ช.2	ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 บน ไคติน.....132
ช.3	ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 บน ไค โดแซน.....133
ช.4	ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 บนเปลือกกุ้ง.....133
ช.5	ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 บน ไคติน.....134
ช.6	ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 บน ไค โดแซน.....134
ช.7	ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 บนเปลือกกุ้ง.....135
ช.8	ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 บน ไคติน.....135
ช.9	ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 บน ไค โดแซน.....136
ช.10	ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 บนเปลือกกุ้ง.....136
ช.11	ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับของสี C.I. Basic Red 80 บน ไคติน.....137

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ซ.12	ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับของสี C.I. Basic Red 80 บน โคลิโดเจน.....	137
ซ.1	ผลของขนาดอนุภาคของเปลือกกุ้งต่อการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360.....	139
ซ.2	ผลของขนาดอนุภาคของไคตินต่อการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360.....	139
ซ.3	ผลของขนาดอนุภาคของโคลิโดเจนต่อการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360.....	139
ซ.4	ผลของขนาดอนุภาคของเปลือกกุ้งต่อการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158.....	140
ซ.5	ผลของขนาดอนุภาคของไคตินต่อการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158.....	140
ซ.6	ผลของขนาดอนุภาคของโคลิโดเจนต่อการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158.....	140
ซ.7	ผลของขนาดอนุภาคของเปลือกกุ้งต่อการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80.....	141
ซ.8	ผลของขนาดอนุภาคของไคตินต่อการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80.....	141
ซ.9	ผลของขนาดอนุภาคของโคลิโดเจนต่อการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80.....	141
ซ.10	ผลของขนาดอนุภาคของเปลือกกุ้งต่อการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24.....	142
ซ.11	ผลของขนาดอนุภาคของไคตินต่อการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24.....	142
ซ.12	ผลของขนาดอนุภาคของโคลิโดเจนต่อการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24.....	142
ฉ.1	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Acid Red 360 ต่อปริมาณและ ประสิทธิภาพการดูดซับสีบนเปลือกกุ้งที่พีเอช 4	145
ฉ.2	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Acid Red 360 ต่อปริมาณและ ประสิทธิภาพการดูดซับสีบนไคตินที่พีเอช 4	145

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ฉ.3	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Acid Red 360 ต่อปริมาณและ ประสิทธิภาพการดูดซับสีบน ไคโตแซนที่พีเอช 4	146
ฉ.4	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Reactive Red 158 ต่อปริมาณและ ประสิทธิภาพการดูดซับสีบนเปลือกกุ้งที่พีเอช 3.....	146
ฉ.5	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Reactive Red 158 ต่อปริมาณและ ประสิทธิภาพการดูดซับสีบน ไคตินที่พีเอช 3.....	147
ฉ.6	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Reactive Red 158 ต่อปริมาณและ ประสิทธิภาพการดูดซับสีบน ไคโตแซนที่พีเอช 3.....	147
ฉ.7	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Reactive Red 158 ต่อปริมาณและ ประสิทธิภาพการดูดซับสีบนเปลือกกุ้งที่พีเอช 4.....	148
ฉ.8	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Reactive Red 158 ต่อปริมาณและ ประสิทธิภาพการดูดซับสีบน ไคตินที่พีเอช 4.....	148
ฉ.9	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Reactive Red 158 ต่อปริมาณและ ประสิทธิภาพการดูดซับสีบน ไคโตแซนที่พีเอช 4.....	149
ฉ.10	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Direct Red 80 ต่อปริมาณและ ประสิทธิภาพการดูดซับของสีบนเปลือกกุ้งที่พีเอช 3.....	149
ฉ.11	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Direct Red 80 ต่อปริมาณและ ประสิทธิภาพการดูดซับสีบน ไคตินที่พีเอช 3.....	150

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ฉ.12	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Direct Red 80 ต่อปริมาณและ ประสิทธิภาพการดูดซับสีบนไคโตเซนที่พีเอช 3.....	150
ฉ.13	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Direct Red 80 ต่อปริมาณและ ประสิทธิภาพการดูดซับสีบนเปลือกกุ้งที่พีเอช 4.....	151
ฉ.14	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Direct Red 80 ต่อปริมาณและ ประสิทธิภาพการดูดซับสีบนไคตินที่พีเอช 4.....	151
ฉ.15	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Direct Red 80 ต่อปริมาณและ ประสิทธิภาพการดูดซับสีบนไคโตเซนที่พีเอช 4.....	152
ฉ.16	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Basic Red 24 ต่อปริมาณและ ประสิทธิภาพการดูดซับสีบนเปลือกกุ้งที่พีเอช 10.....	152
ฉ.17	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Basic Red 24 ต่อปริมาณและ ประสิทธิภาพการดูดซับสีบนไคตินที่พีเอช 10.....	153
ฉ.18	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Basic Red 24 ต่อปริมาณและ ประสิทธิภาพการดูดซับสีบนไคโตเซนที่พีเอช 10.....	153
ญ.1	ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 ออกจากเปลือกกุ้ง.....	155
ญ.2	ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 ออกจากไคติน.....	155
ญ.3	ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 ออกจากไคโตเซน.....	156
ญ.4	ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 ออกจากเปลือกกุ้ง.....	156

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ญ.5	ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 จาก ไคดิน.....	157
ญ.6	ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 ออกจากไค โดแซน.....	157
ญ.7	ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 ออกจากเปลือกกุ้ง.....	158
ญ.8	ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 ออกจาก ไคดิน.....	158
ญ.9	ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 ออกจากไค โดแซน.....	159
ญ.10	ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 ออกจากเปลือกกุ้ง.....	159
ญ.11	ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 ออกจาก ไคดิน.....	160
ญ.12	ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 ออกจากไค โดแซน.....	160
ฎ.1	ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 ออกจากเปลือกกุ้งที่พีเอช 11.....	161
ฎ.2	ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 ออกจาก ไคดินที่พีเอช 11.....	161
ฎ.3	ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 ออกจาก ไค โดแซนที่พีเอช 11.....	161
ฎ.4	ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 ออกจากเปลือกกุ้งที่พีเอช 11.....	162
ฎ.5	ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 ออกจากไคดินที่พีเอช 11.....	162

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ฎ.6	ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 ออกจาก ไค โดแซนที่พีเอช 11.....	162
ฎ.7	ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 ออกจากเปลือกกุ้งที่พีเอช 11.....	162
ฎ.8	ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 ออกจากไคดินที่พีเอช 11.....	162
ฎ.9	ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 ออกจาก ไค โดแซนที่พีเอช 11.....	163
ฎ.10	ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 ออกจากเปลือกกุ้งที่พีเอช 3.....	163
ฎ.11	ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 ออกจาก ไคดินที่พีเอช 3.....	163
ฎ.12	ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 ออกจาก ไค โดแซนที่พีเอช 3.....	163
ฎ.1	การกำจัดสีออกจากน้ำทิ้ง โรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ โดยใช้เปลือกกุ้ง.....	165
ฎ.2	การกำจัดสีออกจากน้ำทิ้ง โรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ โดยใช้ไคดิน.....	165
ฎ.3	การกำจัดสีออกจากน้ำทิ้ง โรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ โดยใช้ไค โดแซน.....	166

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะ โครงสร้าง โมเลกุลของสีแอซิด.....	7
2.2	ลักษณะ โครงสร้าง โมเลกุลของสีรีแอคทีฟ.....	9
2.3	ปฏิกิริยาของสีรีแอคทีฟและ โปรตีน.....	9
2.4	ลักษณะ โครงสร้าง โมเลกุลของสีไดเรค.....	10
2.5	ลักษณะ โครงสร้าง โมเลกุลของสีเบสิก.....	10
2.6	โครงสร้าง ชื่อทางเคมี และสูตรทั่วไปของโคติน.....	11
2.7	โครงสร้าง ชื่อทางเคมี และสูตรทั่วไปของโคโตแซน.....	11
2.8	โครงสร้างทั่วไปของโปรตีน.....	13
2.9	โครงสร้างทั่วไปของกรดอะมิโน.....	13
3.1	โครงสร้างทางเคมีของสี C.I. Direct Red 80 และ C.I. Basic Red 24.....	20
3.2	ขั้นตอนการผลิตโคตินและโคโตแซนจากเปลือกกุ้ง.....	24
4.1	FTIR spectra (a) เปลือกกุ้ง (b) โคติน (c) โคโตแซน.....	33
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและความเข้มข้น (a) โคติน (b) โคโตแซน.....	36
4.3	UV/VIS spectra ของสารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 4 (a) C.I. Acid Red 360 (b) C.I. Reactive Red 158 (c) C.I. Direct Red 80 (d) C.I. Basic Red 24.....	39
4.4	ความคงตัวของสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอชต่างๆ	40
4.5	ความคงตัวของสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอชต่างๆ	40

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.6	ความคงตัวของสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอชต่างๆ.....	41
4.7	ความคงตัวของสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอชต่างๆ.....	41
4.8	ผลของพีเอชต่อการดูดซับสี C.I. Acid Red 360	44
4.9	ผลของพีเอชต่อการดูดซับสี C.I. Reactive Red 158.....	44
4.10	ผลของพีเอชต่อการดูดซับสี C.I. Direct Red 80.....	46
4.11	ผลของพีเอชต่อการดูดซับสี C.I. Basic Red 24.....	48
4.12	ผลของคิกรีโอฟคืออะเซทิลเลชันต่อการดูดซับของสีย้อม.....	48
4.13	ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 4.....	51
4.14	ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 4.....	51
4.15	ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับสี C.I. Direct Red 80ที่พีเอช 4.....	52
4.16	ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 10.....	52
4.17	ผลของขนาดอนุภาคของตัวดูดซับต่อการดูดซับสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 4 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง.....	53
4.18	ผลของขนาดอนุภาคของตัวดูดซับต่อการดูดซับสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 4 เป็นเวลา 5 ชั่วโมง.....	53
4.19	ผลของขนาดอนุภาคของตัวดูดซับต่อการดูดซับสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 4 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	54

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.20	ผลของขนาดอนุภาคของตัวดูดซับต่อการดูดซับสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 10 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	54
4.21	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อปริมาณการดูดซับสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 4.....	56
4.22	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการดูดซับสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 4.....	56
4.23	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อปริมาณการดูดซับสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 3.....	57
4.24	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการดูดซับสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 3.....	57
4.25	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อปริมาณการดูดซับสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 4.....	58
4.26	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการดูดซับสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 4.....	58
4.27	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อปริมาณการดูดซับสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 3.....	59
4.28	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการดูดซับสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 3.....	59
4.29	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อปริมาณการดูดซับสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 4.....	60
4.30	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการดูดซับสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 4.....	60
4.31	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อปริมาณการดูดซับสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 10.....	61
4.32	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการดูดซับสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 10.....	61
4.33	ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360	62
4.34	ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158	62
4.35	ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80	63
4.36	ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24	63

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.37	ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 11	65
4.38	ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 11	65
4.39	ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 11	66
4.40	ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 3.....	66
4.41	UV/VIS spectra ของสีแอซิดในน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมของ บริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด (a) 1AF (b) 2AF.....	68
4.42	UV/VIS spectra ของสีรีแอคทีฟในน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมของ บริษัทชนากุลพิมพ์ย้อม จำกัด (a) 1TK (b) 2TK (c) 3TK (d) 4TK.....	69
4.43	UV/VIS spectrum ของสีไดเรคในน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมของ บริษัทศิลปะเสนาพาณิชย์ จำกัด (a) 1SN.....	70
4.44	UV/VIS spectra ของสีเบสิกในน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมของ บริษัทโกลเด้นไทยอินดัสตรี จำกัด (a) 1GT (b) 2GT.....	71
ก.1	IR spectrum ของไคโตแซน (a) 1550 cm^{-1} (b) 2878 cm^{-1}	83
ข.1	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Acid Red 360 ที่พีเอช 3.....	96
ข.2	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Acid Red 360 ที่พีเอช 4.....	96
ข.3	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Acid Red 360 ที่พีเอช 5.....	97
ข.4	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Acid Red 360 ที่พีเอช 6.....	97
ข.5	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Acid Red 360 ที่พีเอช 7.....	98

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ข.6	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Acid Red 360 ที่พีเอช 8.....	98
ข.7	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Acid Red 360 ที่พีเอช 9.....	99
ข.8	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Acid Red 360 ที่พีเอช 10.....	99
ข.9	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Acid Red 360 ที่พีเอช 11.....	100
ข.10	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Acid Red 360 ที่พีเอช 12.....	100
ข.11	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 3.....	101
ข.12	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 4.....	101
ข.13	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 5.....	102
ข.14	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 6.....	102
ข.15	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 7.....	103
ข.16	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 8.....	103
ข.17	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 9.....	104
ข.18	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 10.....	104
ข.19	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 11.....	105
ข.20	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 12.....	105
ข.21	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Direct Red 80 ที่พีเอช 3.....	106
ข.22	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Direct Red 80 ที่พีเอช 4.....	106
ข.23	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Direct Red 80 ที่พีเอช 5.....	107

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ข.24	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Direct Red 80 ที่พีเอช 6.....	107
ข.25	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Direct Red 80 ที่พีเอช 7.....	108
ข.26	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Direct Red 80 ที่พีเอช 8.....	108
ข.27	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Direct Red 80 ที่พีเอช 9.....	109
ข.28	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Direct Red 80 ที่พีเอช 10.....	109
ข.29	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Direct Red 80 ที่พีเอช 11.....	110
ข.30	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Direct Red 80 ที่พีเอช 12.....	110
ข.31	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Basic Red 24 ที่พีเอช 3.....	111
ข.32	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Basic Red 24 ที่พีเอช 4.....	111
ข.33	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Basic Red 24 ที่พีเอช 5.....	112
ข.34	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Basic Red 24 ที่พีเอช 6.....	112
ข.35	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Basic Red 24 ที่พีเอช 7.....	113
ข.36	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Basic Red 24 ที่พีเอช 8.....	113
ข.37	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Basic Red 24 ที่พีเอช 9.....	114
ข.38	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Basic Red 24 ที่พีเอช 10.....	114
ข.39	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Basic Red 24 ที่พีเอช 11.....	115
ข.40	กราฟมาตรฐานของสี C. I. Basic Red 24 ที่พีเอช 12.....	115



บทที่ 1

บทนำ

ปัญหามลภาวะทางน้ำนับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ ในประเทศต่าง ๆ เนื่องจากมีการปล่อยน้ำเสียจากโรงงานประเภทต่างๆ ลงสู่แหล่งน้ำเป็นจำนวนมาก ได้แก่ น้ำเสียจากบ้านเรือน น้ำเสียจากอุตสาหกรรม และน้ำเสียจากเกษตรกรรม ในบรรดาน้ำเสียเหล่านี้ น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอนับเป็นแหล่งน้ำเสียที่สำคัญแหล่งหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำ⁽¹⁾

น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอจะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำในลักษณะของสารละลายกรดแก่ที่มีสีเข้ม ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์และจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในน้ำ เนื่องจากออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีปริมาณลดลง นอกจากนี้ซีโอดี (COD) และบีโอดี (BOD) ก็มีค่าสูงขึ้น ถึงแม้ว่าสีข้อมประเภทละลายน้ำส่วนใหญ่จะไม่มีพิษที่ความเข้มข้นที่ปล่อยลงสู่แม่น้ำ แต่สีที่เกิดขึ้นก็เป็นที่น่ารังเกียจต่อผู้ใช้น้ำ ดังนั้นการกำจัดสีออกจากน้ำทิ้งเหล่านี้จึงเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ เนื่องจากไม่สามารถกำจัดสีออกได้ง่ายด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมีหรือชีววิทยา^(2,6)

สีข้อมเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีพันธะคู่ (Double bond) อยู่ในโครงสร้างโมเลกุล และประกอบด้วยหมู่ที่มีสีเรียกว่า โครโมฟอร์ (Chromophores) และหมู่ที่มีผลทำให้สีเข้มมากขึ้นเรียกว่า ออกโซโครม (Auxochromes) สีข้อมแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามคุณสมบัติการละลายน้ำและการใช้งาน ได้แก่ สีข้อมที่ไม่ละลายน้ำ และสีข้อมที่ละลายน้ำ^(7,9) สีข้อมที่ละลายน้ำก่อให้เกิดผลเสียต่อน้ำทิ้งมากกว่าสีข้อมที่ไม่ละลายน้ำ เพราะไม่สามารถกำจัดสีข้อมเหล่านี้ออกจากน้ำทิ้งได้โดยวิธีง่ายๆ ได้แก่ สีแอมิด สีรีแอคทีฟ สีไคเรค และสีเบสิก

การดูดซับในเฟสของของเหลว นับเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมที่ละลายน้ำ สารแขวนลอย กลิ่น สารอินทรีย์ และไขมันออกจากน้ำเสีย ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นสารดูดซับที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับกระบวนการดังกล่าว อย่างไรก็ตามถ่านกัมมันต์ก็ยังมีความสามารถในการดูดซับสีรีแอกทีฟได้ค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์มีข้อจำกัดในการใช้งานเนื่องจากมีราคาสูง ด้วยเหตุนี้จึงมีผู้พยายามค้นคว้าหาสารทดแทนอื่น ๆ ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงกว่าและราคาถูกกว่า เช่น ถ่านหิน ถ้ำลอย ไม้ จีลิกาเจล ดินขาวเบนโทไนท์ ยางไม้บาคาซาส ชั่งข้าวโพด กะลามะพร้าว เปลือกข้าว ไคติน และไคโตแซน ในบรรดาสารทดแทนเหล่านี้พบว่าไคติน และไคโตแซนซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคตินนั้นน่าสนใจมาก เพราะไคตินเป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีอยู่ในธรรมชาติมากที่สุดเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส

ไคตินเป็นสาร โพลีแซคคาไรด์ที่มีหมู่อะเซตามิโดอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล ส่วนใหญ่พบในเปลือกนอกของสัตว์ที่มีเปลือกแข็ง (Crustaceans) เช่น กุ้ง ปู และปลาหมึก เปลือกกุ้งประกอบด้วยไคติน 15-20% โปรตีน 25-40% และแคลเซียมคาร์บอเนต 40-55% ไคโตแซนเป็นพอลิเมอร์ชนิดกลูโคซามีนที่ถูกเติมหมู่อะเซทิลบางส่วน ไคโตแซนสามารถเตรียมได้จากการดึงหมู่อะเซทิลออกจากไคติน ไคโตแซนมีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์หลายอย่าง เช่น Hydrophilicity, biocompatibility, biodegradability ไคตินและไคโตแซนเป็นตัวดูดซับชีวภาพที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย และมีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับสีข้อมและโลหะต่างๆ เนื่องจากหมู่อะเซตามิโดและหมู่อะมิโนในไคตินและไคโตแซน จะทำหน้าที่เป็นแกนยึด (Chelating site) สำหรับสีข้อมและโลหะต่างๆ โดยไคโตแซนจะมีความสามารถในการดูดซับโลหะและรวมตัวกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้สูงกว่าไคติน เพราะมีปริมาณหมู่อะมิโนสูงกว่า นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับของไคโตแซนได้โดยการดัดแปลงโครงสร้างแบบต่างๆ⁽¹⁰⁻¹²⁾

มีผลงานวิจัยเป็นจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับสมดุล และจลศาสตร์การดูดซับของสีย้อมโดยใช้ไคติน ไคโตแซน และอนุพันธ์ของสารดังกล่าว⁽¹³⁻¹⁹⁾ เป็นตัวดูดซับ แต่ยังไม่มียางานผลงานวิจัยที่ทำการศึกษาโดยใช้เปลือกกุ้งเป็นตัวดูดซับ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจมาก เพราะเปลือกกุ้งเป็นผลพลอยได้ที่ได้จากอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็ง ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ส่งกุ้งแช่แข็งเป็นสินค้าออก จึงมีเปลือกกุ้งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก ดังนั้น การใช้ไคติน ไคโตแซน และเปลือกกุ้งในการกำจัดสีย้อมออกจากรน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ จึงเป็นการนำเอาเปลือกกุ้งซึ่งเป็นผลพลอยได้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อีกทางหนึ่งด้วย

ในการทำวิจัยนี้จะมุ่งศึกษาใน 3 ประเด็นหลัก ส่วนแรกจะเป็นการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับของสีย้อมบนไคติน ไคโตแซน และเปลือกกุ้ง ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ พีเอชหรือความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลาย ค่าดีกรีออฟดีอะเซทิลเลชัน (Degree of deacetylation) ขนาดอนุภาคของตัวดูดซับ ระยะเวลาของการดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม ส่วนที่สองเป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของพีเอชของสารละลาย และอุณหภูมิในการคายการดูดซับของสีย้อมออกจากไคติน ไคโตแซน และเปลือกกุ้ง ส่วนที่สามเป็นการศึกษาความสามารถของตัวดูดซับทั้งสามชนิด ในการกำจัดสีย้อมออกจากรน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



บทที่ 2

การสำรวจแนวความคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสำรวจแนวความคิด

แนวทางหนึ่งที่สามารถกำจัดสี้อมที่ละลายน้ำออกจากน้ำทิ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพได้แก่ การใช้วิธีการดูดซับสี้อมด้วยสารดูดซับ ในการดูดซับสี้อมนี้จำเป็นต้องอาศัยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลประเภทต่างๆ ซึ่งมีทั้งแรงดึงดูดทางฟิสิกส์และทางเคมี แรงชนิดใดจะมีอิทธิพลต่อการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสี้อมและสารดูดซับมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีของสารดูดซับและหมู่ทางเคมี (Chemical groups) ที่มีอยู่ใน โมเลกุลของสี้อมนั่นเอง

2.1.1 บทบาทของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลในการดูดซับสี้อม ^(8,11)

(Role of Intermolecular Forces in Dye Adsorption)

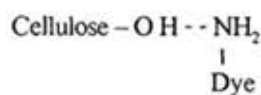
ในการดูดซับสี้อม จำเป็นต้องมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1.1.1 แรงแวนเดอวาลส์ (Van der Waals forces)

แรงนี้เป็นแรงกระทำอ่อนๆ ระหว่างนิวเคลียสในอะตอมของโมเลกุลหนึ่งกับอิเล็กตรอนของอีกอะตอมหนึ่ง แรงแวนเดอวาลส์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดโมเลกุล แรงกระทำนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของสี้อมและตัวดูดซับเข้ามาใกล้ชิดกัน และไม่มีแรงดึงดูดอื่นที่เด่นกว่า

2.1.1.2 พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonds)

ไฮโดรเจนเป็นอะตอมที่เล็กที่สุด ในสารประกอบอินทรีย์อะตอมนี้มักเกิดเป็นพันธะโคเวเลนต์เดี่ยวๆ เท่านั้น อย่างไรก็ตามอะตอมข้างเคียงมักมีความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอนสูงกว่าอะตอมไฮโดรเจน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่ใช้ร่วมกับไฮโดรเจนไปยังอะตอมที่มีขนาดใหญ่กว่า ลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดประจุบวกอ่อนๆ บนอะตอมไฮโดรเจน ซึ่งเป็นผลให้เกิดพันธะระหว่างไฮโดรเจนและอะตอมข้างเคียง เช่น ไนโตรเจน หรือออกซิเจนดังรูปที่แสดงข้างล่าง พันธะดังกล่าวสามารถแตกออกและเกิดขึ้นใหม่ได้ง่าย พันธะนี้เป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องในกรณีที่สารประกอบต่างๆ ละลายในน้ำ



2.1.1.3 พันธะไอออนิก (Ionic bonding)

แรงดึงดูดนี้เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากอะตอมหนึ่งไปยังอีกอะตอมหนึ่ง อีออนที่เกิดขึ้นจะมีประจุตรงข้าม ลักษณะคล้ายกับการที่อนุภาครดทำปฏิกิริยากับอนุภาคต่างแล้วเกิดแรงเชื่อมโยงระหว่างเกลือ ในทำนองเดียวกันหมู่ที่เป็นกรดในโมเลกุลของสี้อมจะแตกตัว และทำปฏิกิริยากับสารประกอบที่เป็นด่าง ตัวอย่างเช่น หมู่กรดซัลโฟนิกในโมเลกุลสี้อมจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ เกิดเป็นเกลือโซเดียมของสี้อมดังแสดงในสมการ (2.1)



2.1.1.4 พันธะโควาเลนต์ (Covalent bonding)

พันธะชนิดนี้เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน โดยแต่ละอะตอมจะมีอิเล็กตรอนสองตัวอยู่ในชั้นของอิเล็กตรอนวงนอกสุด พันธะโควาเลนต์จะมีความแข็งแรงมากกว่าพันธะไอออนิก พันธะไฮโดรเจน และแรงแวนเดอร์วาลส์ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

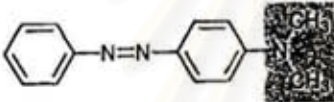
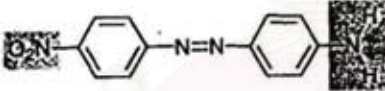
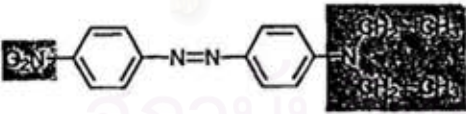
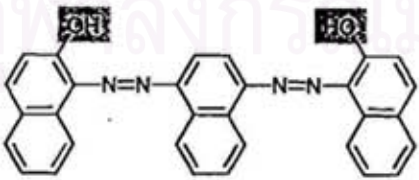
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความแข็งแรงของพันธะต่างๆ


Bond type	Relative strength
Van der Waals	1.0
Hydrogen bond	3.0
Ionic bond	7.0
Covalent bond	30.0

2.1.2 สีของประเภทละลายน้ำ

โมเลกุลของสีย้อมประเภทนี้ทุกชนิดจะประกอบด้วยโครงสร้างที่มีหมู่อะโรมาติก (Aromatic ring) หมู่ที่พบมากที่สุดคือ หมู่เอโซ (Azo, $-N=N-$) หมู่นี้จะทำปฏิกิริยากับ โมเลกุลที่มีหมู่อะโรมาติกได้เป็นสารประกอบเอโซ ซึ่งทำให้เกิดสีย้อมประเภทต่างๆ มากมาย หมู่เอโซที่เล็กที่สุดคือ Phenylazobenzene (Azobenzene) ซึ่งเป็นหมู่โครโมฟอร์ของสีย้อม อาจปรับเปลี่ยนสีของโมเลกุล รวมทั้งเพิ่มความเข้มของสีได้โดยการเพิ่มหมู่เอโซโครมเข้าไปในโมเลกุล ดังแสดงในตารางที่ 2.2 สีย้อมที่เชื่อมต่อกันจะมีประมาณ 50% ที่ประกอบด้วยหมู่โครโมฟอร์ชนิดเอโซอย่างน้อยที่สุดหนึ่งหมู่

ตารางที่ 2.2 สีของสารประกอบเอโซ

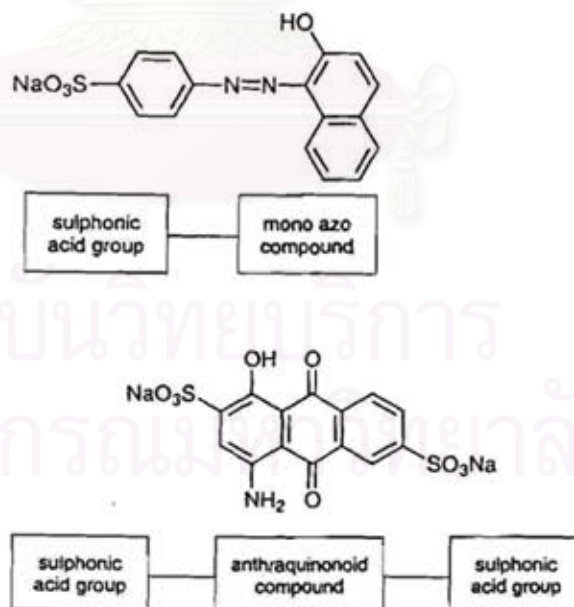
Structure	Color observed
	Yellow-green
	Yellow
	Red
	Blue

 - Auxochrome

สีย้อมที่ละลายน้ำแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการใช้งานคือ สีแอนไอออนิก(Anionic dyes) และสีแคตไอออนิก(Cationic dyes)⁽⁷⁾ สีแอนไอออนิกจะประกอบด้วยแอนไอออนที่มีโครโมฟอร์ เป็นประจุลบ ได้แก่ สีแอซิด สีรีแอคทีฟ และสีไดเร็ก เป็นต้น ส่วนสีแคตไอออนิกจะประกอบด้วย แคตไอออนที่มีโครโมฟอร์เป็นประจุบวก เช่น สีเบสิก

2.1.2.1 สีแอซิด (Acid dyes)⁽⁷⁻⁸⁾

สีย้อมแอนไอออนิกที่ละลายน้ำชนิดนี้จะใช้ข้อมเส้นใยขนสัตว์ ไหม อะคริลิกดัดแปลง และหนังสัตว์ สีย้อมชนิดนี้จะมีโครงสร้างแบบง่าย ๆ และมีหมู่ที่ละลายน้ำได้อย่างน้อยที่สุดหนึ่งหมู่อยู่บน ส่วนที่มีสีของโมเลกุล โดยส่วนใหญ่จะเป็นเกลือโซเดียมของหมู่กรดซัลโฟนิก(SO_3Na) ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของสีย้อมแอซิดดังแสดงในรูปที่ 2.1 หมู่กรดซัลโฟนิกมีความสำคัญคือจะเป็นตัวเชื่อมโยง โมเลกุลของสีย้อมเข้ากับเส้นใย โดยจะทำปฏิกิริยากับอนุภาค่างในโมเลกุลของเส้นใยและเกิดเป็น Salt linkage นอกจากนี้ยังมีแรงยึดเหนี่ยวอื่นๆ ที่อาจเกี่ยวข้อง ได้แก่ พันธะไฮโดรเจน และแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งแรงชนิดหลังนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลของสีย้อมโดยตรง



รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของสีแอซิด

2.1.2.2 สิริแอคทีฟ (Reactive dyes) ⁽⁷⁻⁸⁾

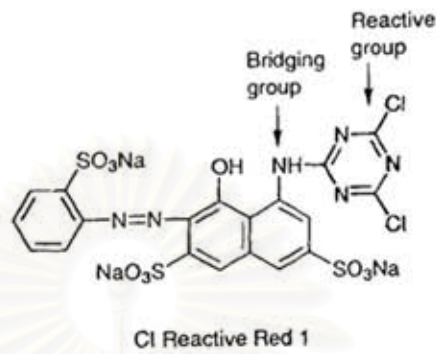
สีแอนไอออนิกที่ละลายน้ำได้ชนิดนี้จะมีหมู่ $-SO_3Na$ และมีหมู่รีแอคทีฟ (Reactive group) อยู่ในโมเลกุล ซึ่งจะสามารเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับ Substrate ได้ด้วยพันธะไอออนิกและพันธะโควาเลนต์ ชนิดของหมู่รีแอคทีฟจะเป็นตัวกำหนดระดับความว่องไวของปฏิกิริยา (Reactivity) ในขณะที่ความสามารถในการเชื่อมติดสี (Substantivity) จะถูกกำหนดโดยชนิดของโครโมฟอร์ สีเชื่อมชนิดนี้จะใช้เชื่อมเส้นใยเซลลูโลส ฝ้าย ขนสัตว์ ไหม และไนลอน หมู่ที่จะหลุดออก (Leaving group) จากหมู่รีแอคทีฟอาจได้แก่ คลอไรด์ (Cl) ฟลูออไรด์ (F) หรือโบรมไนด์ (Br) ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของสีเชื่อมรีแอคทีฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 สีเชื่อมชนิดนี้สามารถทำปฏิกิริยาได้กับสารประกอบที่มีหมู่อะมิโน หมู่เอไมด์ หมู่เอแคบโด และหมู่ไฮดรอกซิล อยู่ในโครงสร้างโมเลกุล เช่น กรดอะมิโน โปรตีน ขนสัตว์ ไหม ไนลอน และเซลลูโลส ⁽⁹⁾ ปฏิกิริยาของสีรีแอคทีฟกับโปรตีนดังแสดงในรูปที่ 2.3

2.1.2.3 สีไดเร็ก (Direct dyes) ⁽⁷⁻⁸⁾

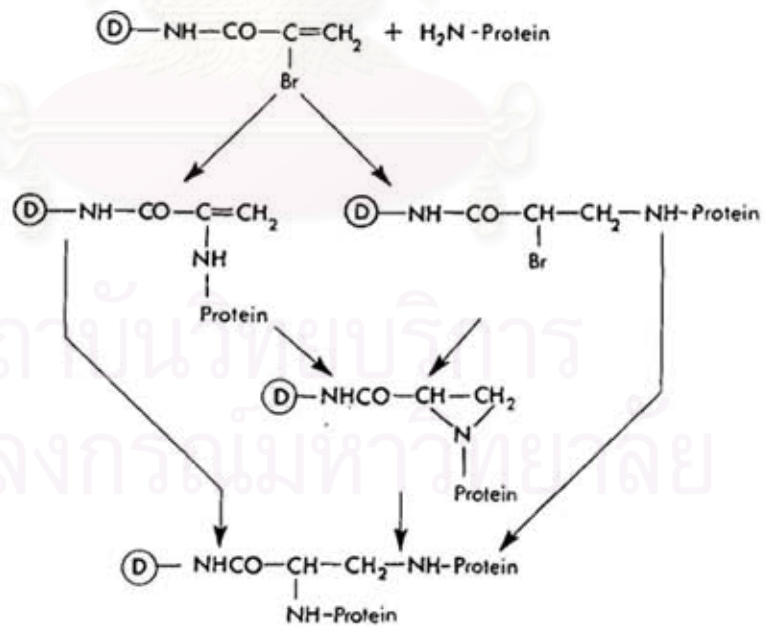
สีแอนไอออนิกที่ละลายน้ำได้ชนิดนี้จะมีหมู่ $-SO_3Na$ ส่วนมากใช้เชื่อมเส้นใยฝ้าย เซลลูโลสดัดแปลง กระดาษ หนังสือ และไนลอน สีเชื่อมชนิดนี้มีสูตรทั่วไปคือ $R_1-N=N-X-N=N-R_2$ ซึ่งจะแตกต่างจากสีแอซิดคือจะมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่า จึงทำให้สีเชื่อมชนิดนี้สามารถเชื่อมติดเซลลูโลสได้ดี โดยยึดติดผ่านทางพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์ ตัวอย่างลักษณะ โครงสร้างของสีไดเร็กดังแสดงในรูปที่ 2.4

2.1.2.4 สีเบสิก (Basic dyes) ⁽⁷⁻⁸⁾

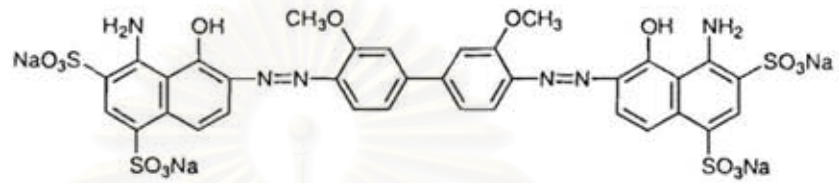
สีแคตไอออนิกที่ละลายน้ำได้ชนิดนี้จะมีประจุบวกของเกลือแอมโมเนียม (Ammonium salt) ซัลโฟเนียม (Sulfonium salt) หรือเกลือออกซิเนียม (Oxonium salt) อยู่ในโครงสร้างโมเลกุล สีเบสิกใช้เชื่อมเส้นใยอะคริลิก ไหม ขนสัตว์ ไนลอนดัดแปลง หรือโพลีเอสเตอร์ดัดแปลง สีเชื่อมชนิดนี้สามารถยึดติดอยู่บนเส้นใยได้โดยการสร้าง Salt links บนเส้นใยกับหมู่แอนไอออนิกของสีเชื่อมอย่างซ้ำๆ ตัวอย่างลักษณะ โครงสร้างของสีเบสิกดังแสดงในรูปที่ 2.5



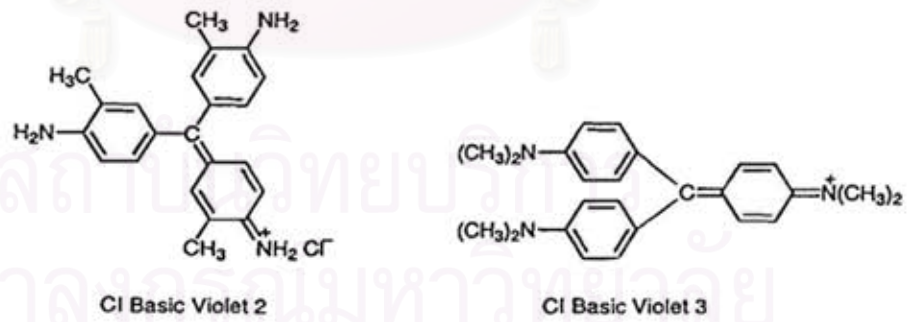
รูปที่ 2.2 ลักษณะ โครงสร้างโมเลกุลของสียรีแอคทีฟ



รูปที่ 2.3 ปฏิกริยาของสียรีแอคทีฟและ โปรตีน



รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของสีไคเร็ค

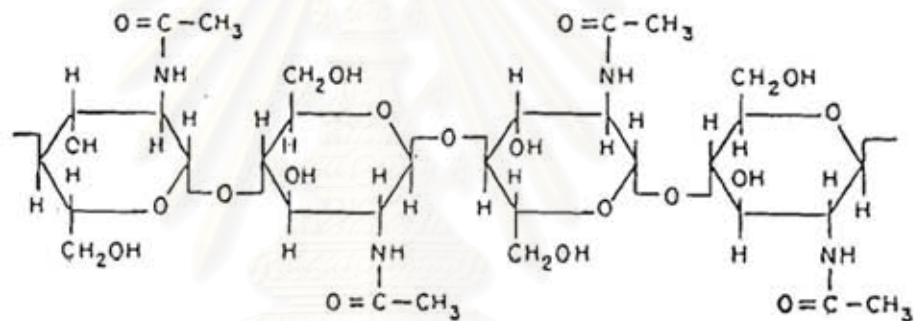


รูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของสีเบสิก

2.1.3 Chitin and Chitosan ⁽¹⁰⁾

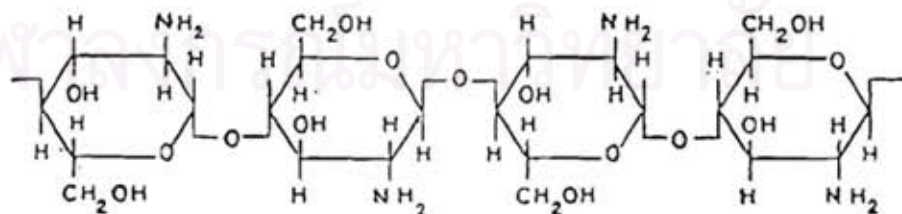
ไคตินเป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide biopolymer) โดยมีโครงสร้าง ซ้ำทางเคมี และสูตรทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 2.6 หมู่อะมิโนในไคตินจะถูกเติมหมู่อะเซทิล (-CO-CH₃) และได้เป็นหมู่อะเซตามิโด (-NH-CO-CH₃) เกาะอยู่บนอะตอมของคาร์บอนตำแหน่งที่สอง ซึ่งเป็นตำแหน่งที่หมู่อะเซทิลสามารถถูกแทนที่ได้ง่าย ไคตินส่วนใหญ่จะพบมากในเปลือกนอกของสัตว์พวกอาร์โทพอด (Arthropods) ผังเซลล์ของรา แบคทีเรีย และยีสต์

ไคโตแซนเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่เตรียมได้จากปฏิกิริยาคืออะเซทิลเลชัน โดยมีโครงสร้าง ซ้ำทางเคมี และสูตรทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 2.7 หมู่อะเซทิลในไคตินจะถูกแทนที่ด้วยอะตอมของไฮโดรเจน ได้เป็นหมู่อะมิโน (-NH₂) เกาะอยู่บนอะตอมของคาร์บอนตำแหน่งที่สอง



Poly-(1,4)-2-acetamido-2-deoxy D-glucose ; (C₈H₁₃NO₅)_n

รูปที่ 2.6 โครงสร้าง ซ้ำทางเคมี และสูตรทั่วไปของไคติน



Poly-(1,4)-2-amido-2-deoxy D-glucose ; (C₆H₁₁NO₄)_n

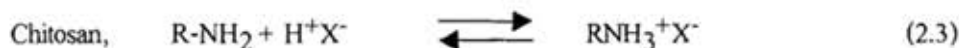
รูปที่ 2.7 โครงสร้าง ซ้ำทางเคมี และสูตรทั่วไปของไคโตแซน

โดยทั่วไปคำว่า “ไคติน” จะหมายถึงพอลิเมอร์ของ N- acetylglucosamine ซึ่งหมู่อะเซทิลส่วนน้อยจะถูกแทนที่ ในขณะที่คำว่า “ไคโตแซน” จะหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาอะเซทิลเลชันของไคติน ซึ่งหมู่อะเซทิลส่วนใหญ่จะถูกแทนที่ เนื่องจากหมู่เอมิโนในไคตินจะถูกเติมหมู่อะเซทิล ดังนั้นไคตินจึงเป็นเอไมด์ของกรดอะเซติก ส่วนในไคโตแซนจะมีหมู่เอมิโนที่เป็นอิสระ ไคโตแซนจึงเป็น Primary amine หมู่เอมิโนของไคตินและไคโตแซนสามารถทนต่อ 50 % NaOH ได้ดีแม้ว่าอุณหภูมิจะสูงถึง 160 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะที่สารประกอบเอมีน(Amines) ส่วนใหญ่จะปล่อยก๊าซแอมโมเนียออกมาหรือสลายตัวให้ผลิตภัณฑ์อื่นๆ

จากการทดลองพบว่าเราสามารถแยกความแตกต่างระหว่างไคโตแซนและไคตินได้ โดยไคโตแซนจะสามารถละลายได้ในกรดอะเซติกหรือกรดฟอร์มิกเจือจาง ส่วนไคตินจะไม่ละลายในกรดดังกล่าว นอกจากนี้ไคตินยังประกอบด้วยไนโตรเจนไม่เกิน 7% ในขณะที่ไคโตแซนจะมีไนโตรเจน 7 % หรือมากกว่า มีผู้เขียนหลายท่านระบุว่าไคตินประกอบด้วย อะเซทิลกลูโคซามีน(Acetylglucosamine) 82.5 % กลูโคซามีน(Glucosamine) 12.5 % และน้ำ 5%

ไคตินและไคโตแซนมีคุณสมบัติที่น่าสนใจ และเป็นประโยชน์หลายประการ เช่น Biocompatibility, biodegradability, antibacterial properties และ metal chelating นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการจับกับโปรตีนและสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ

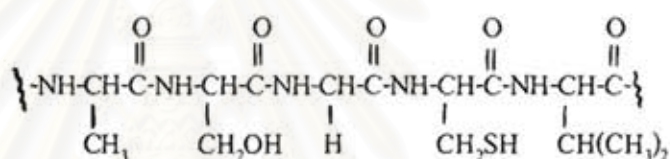
ไคตินสามารถจับกับกรดไฮโดรคลอริกได้ประมาณ 3,800 และ 450 mmol/kg ที่พีเอช 3 และพีเอช 4 ตามลำดับ ไคโตแซนก็สามารถจับกับกรดได้เช่นเดียวกัน โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาแปรผันกลับได้(Reversible reactions) ดังแสดงในสมการที่ (2.2) และ (2.3)



2.1.4 เปลือกกุ้ง (Shrimp shells)

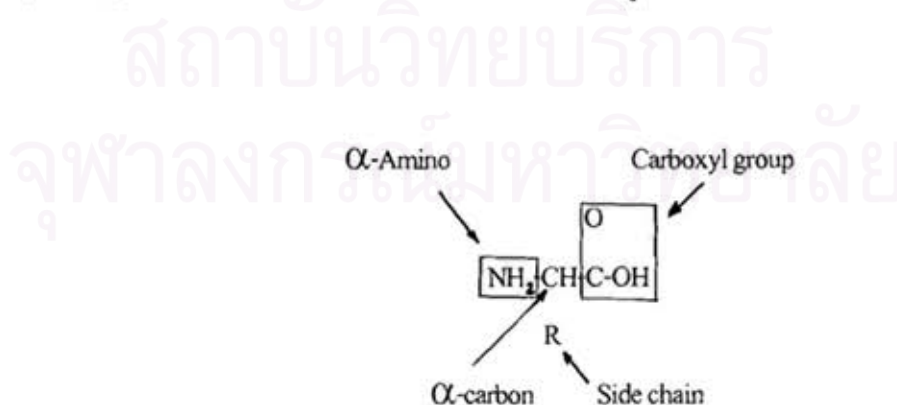
เปลือกกุ้งเป็นแหล่งของไคตินที่สำคัญที่สุดแหล่งหนึ่ง โดยเปลือกกุ้งจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็ง ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งกุ้งแช่แข็งเป็นสินค้าออกมากที่สุดประเทศหนึ่ง โดยทั่วไปเปลือกกุ้งแห้งจะประกอบด้วย ไคติน 15-20% โปรตีน 25-40% และแคลเซียมคาร์บอเนต 40-55% ส่วนเปลือกปูสีน้ำเงิน (Blue crab wastes) จะประกอบด้วย ไคติน 15% โปรตีน 35% และแคลเซียมคาร์บอเนต 50% ¹¹⁰⁾

โปรตีน ¹¹¹⁾ เป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพของกรดแอลฟาอะมิโน (α -amino acids) และเชื่อมต่อกันด้วยหมู่เอไมด์ที่เรียกว่าพันธะเปปไทด์ (Peptide bond) คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของโปรตีนจะถูกกำหนดโดยชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบ โครงสร้างทั่วไปของโปรตีนดังแสดงในรูปที่ 2.8



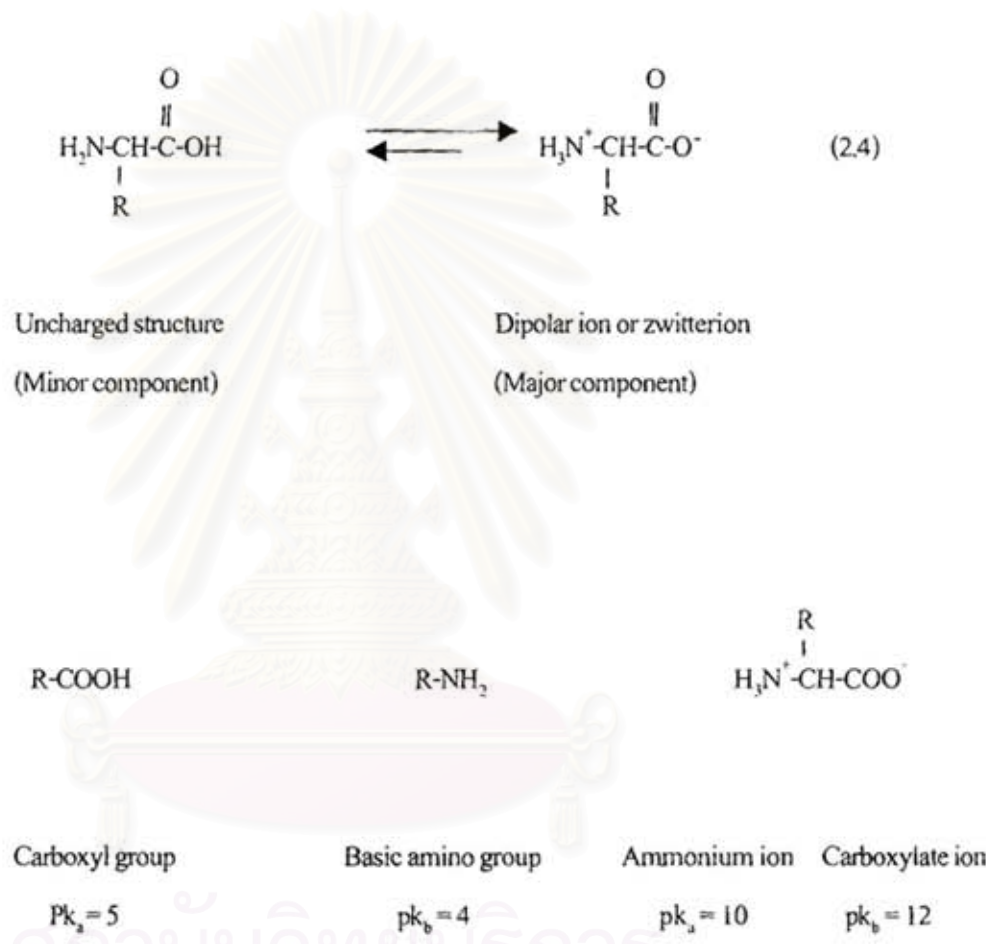
รูปที่ 2.8 โครงสร้างทั่วไปของโปรตีน

กรดอะมิโน (Amino acid) เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยหมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$) และหมู่คาร์บอกซิล ($-\text{COOH}$) ¹¹²⁾ โครงสร้างทั่วไปของกรดอะมิโนดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างทั่วไปของกรดอะมิโน

ไดโพลาร์ไอออน หรือสวิตเตอร์ไอออน(Dipolar ion or zwitterion) เป็นลักษณะโครงสร้างของกรดอะมิโนที่มีประจุรวมเป็นศูนย์ ทั้งๆ ที่ยังคงมีส่วนที่ให้ประจุบวก และส่วนที่ให้ประจุลบอยู่ในโมเลกุล ส่วนใหญ่กรดอะมิโนจะอยู่ในรูปของไดโพลาร์ไอออน ดังแสดงในสมการที่ (2.4)

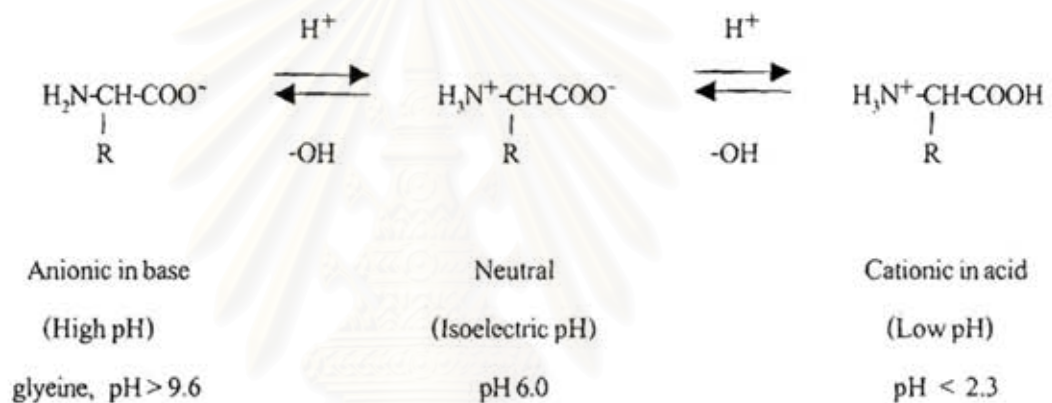


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนที่มีคุณสมบัติเป็นกรดคือ หมู่ -NH ⁺ ,	ไม่ใช่หมู่	-COOH
ส่วนที่มีคุณสมบัติเป็นเบสคือ หมู่ -COO ⁻	ไม่ใช่หมู่	-NH ₂

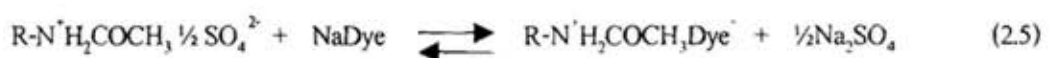
คุณสมบัติที่เป็นแอมโฟเทอริก(Amphoterik property)เป็นลักษณะเฉพาะของกรดอะมิโน ซึ่งประกอบด้วยหมู่ที่เป็นกรดและหมู่ที่เป็นเบสอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล หมู่ที่เป็นกรดคือ $-NH^+$ และหมู่ที่เป็นเบสคือ $-COO^-$

กรดอะมิโนจะอยู่ในรูปแบบใดเป็นส่วนใหญ่(Predominant form) จะขึ้นอยู่กับพีเอชของสารละลาย ในสารละลายที่เป็นเบส $-NH^+$ จะแตกตัวให้หมู่อะมิโนอิสระคือ $-NH_2$ และภายในโมเลกุลจะมีประจุรวมเป็นลบ ในสารละลายที่เป็นเบส $-COO^-$ จะรับโปรตอนได้เป็นหมู่คาร์บอกซิลคือ $-COOH$ และภายในโมเลกุลจะมีประจุรวมเป็นบวก



2.2 การวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สีเอโซที่ละลายอยู่ในน้ำซึ่งประกอบด้วยสีรีแอกทีฟที่มีหมู่เอโซจะถูกกำจัดออกจากระบบสิ่งแวดล้อมได้ยากมาก เนื่องจากประกอบด้วยหมู่กรดซัลโฟนิคซึ่งทำให้สีข้อมละลายน้ำได้ดีมากและมีขบวนการดูดซับสีข้อมที่มีซัลโฟเนต(Sulfonated dyes) โดยไคติน จะเกิดขึ้นได้โดยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion-exchange process) ตรงตำแหน่งของแคตไอออน(Cationic site) ปฏิกริยาของสีข้อมที่เกิดขึ้นในสารละลายกรดซัลฟูริกจะเกิดขึ้นดังสมการที่ (2.5) ⁽¹⁰⁾



Muzzarelli ⁽¹⁰⁾ ได้รายงานเกี่ยวกับจลศาสตร์ของปฏิกิริยาระหว่าง Procion yellow RS กับหมู่อะมิโนของไคโตแซนที่ศึกษาโดย Kri Chevskii และ Sadov พบว่าสี้อมไคคลอโรไตรอาซีน(Dichlorotriazine dyes) จะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนของไคตินและไคโตแซนได้ทั้งในสารละลายที่เป็นกรดและด่าง โดยที่หมู่ไฮดรอกซิลจะมีบทบาทในปฏิกิริยาของสารละลายด่างเท่านั้น

Lin ⁽¹¹⁾ ได้ศึกษาผลของผงถ่านกัมมันต์(Powdered activated carbon , PAC) ต่อการกำจัดสีและค่าซีไอดี(Cheical oxygen demand, COD) ของสีดีสเพอร์ส และผลของขนาดอนุภาคของผงถ่านกัมมันต์ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียดังกล่าว จากผลการทดลองพบว่า การใช้ผงถ่านกัมมันต์ 15 กรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร เป็นปริมาณเพียงพอที่จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีได้สูงถึง 95% และขนาดอนุภาคของผงถ่านกัมมันต์ มีผลต่อการกำจัดค่าซีไอดีไม่มากนัก โดยมีผลเพียง 10%

Shimizu และคณะ ⁽¹⁴⁾ ได้ศึกษาผลของการเติมอ็อนของโลหะลงในปฏิกิริยาระหว่างไคตินและไคตินที่ดึงหมู่อะเซทิลออกบางส่วน(Partially deacetylated chitin) กับสีเอโซที่มีไฮดรอกซิลสองหมู่ อ็อนของโลหะที่ใช้ได้แก่ Zn^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} และ Ni^{2+} พบว่าความสามารถในการดูดซับโลหะจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ Cu^{2+} ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากการเชื่อมโยงแรงดึงดูดระหว่างพอลิเมอร์ ทองแดงและสี้อม (Polymer - copper - dye coordination linkage)

Reife และ Freeman ⁽¹⁵⁾ ได้ศึกษาการดูดซับของสี้อมและสารระหว่างปฏิกิริยาโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่บรรจุถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับ ซึ่งพัฒนาโดยโรงงานนำร่อง(Pilot plants) หลายแห่งในระดับเชิงพาณิชย์ โดยศึกษาสีแอซิด 3 ชนิด สีไคเร็ค 4 ชนิด และสีรีแอคทีฟ 7 ชนิด และใช้โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์(Sodium hydrosulfite) ในการลดความเข้มของสี้อมก่อนที่จะใช้คาร์บอนในการดูดซับ พบว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของการดูดซับ ได้แก่ ชนิดของถ่านกัมมันต์ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ระยะเวลาการดูดซับ และปริมาณของถ่านกัมมันต์และโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ที่เหมาะสม

อริศรา พุ่มคชา ⁽¹⁶⁾ ศึกษาการกำจัดสี้อมออกจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยใช้กระบวนการที่แตกต่างกัน 3 วิธี พบว่าการกำจัดสี้อมออกจากสี้อมที่สังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ สีแอซิด สีรีแอคทีฟ และสีไคเร็ค ยกเว้นสีเบสิก โดยใช้สารส้ม(Alum) จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุด โดยไม่ต้องปรับพีเอชใหม่ ถ่านกัมมันต์และเถ้าลอย(Fly ash) ก็สามารถดูดสีทุกชนิดได้ดีมาก ยกเว้นสี Levafix Navy Blue การกำจัดสี้อมออกจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมโดยใช้สารส้มและเถ้าลอยก็ให้ผลเป็นที่น่าพอใจเช่นเดียวกัน

วิวรรณ ขจรเกียรติคุณ⁽⁷⁷⁾ ศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์และผงซีลีเยอที่บรรจุในคอลัมน์ เป็นตัวดูดซับเพื่อลดค่าซีไอดีและกำจัดสีออกจากน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ จากผลการทดลองใช้ถ่านกัมมันต์และผงซีลีเยอที่มีระดับความสูงของสารในคอลัมน์เท่ากัน พบว่าสีเบสิกจะถูกดูดซับได้น้อยกว่าสีแดง สิริแอคทีฟ และสีแอซิดตามลำดับ โดยการเปรียบเทียบปริมาณที่ดูดซับได้ต่อน้ำหนักของตัวดูดซับทั้งสองในรูปของการกำจัดสีและการลดค่าซีไอดี ซึ่งผงซีลีเยอกำจัดสีและลดค่าซีไอดีได้ 1.55 - 2.89 เท่า และ 1.18 - 2.38 เท่าตามลำดับ

Juang และคณะ⁽⁷⁸⁾ ศึกษาการใช้โคโตแซนในการกำจัดสีย้อมชนิดไวนิลซัลโฟน(Vinyl sulfone dyes) และคลอโรไตรอาซีน(Chlorotriazine reactive dyes) ออกจากสารละลายสีย้อม Reactive Red 222 (RR222), Reactive Yellow 145 (RY145) และ Reactive Blue 222 (RB 222) ที่มีความเข้มข้น 50-500 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าปริมาณของสีที่ถูกดูดซับจะลดลงเมื่อขนาดอนุภาคของโคโตแซนเพิ่มขึ้น โคโตแซนที่มีขนาด 250-420 ไมครอน จะสามารถดูดซับสีย้อมชนิด RR 222, RY 145 และ RB 222 ได้ 380 179 และ 87 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

Kim และคณะ⁽⁷⁹⁾ ศึกษาผลของค่าดีกรีออฟดีอะเซทิลเลชัน(Degree of deacetylation, DD) ของไคตินต่อการกำจัดสีย้อมออกจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ โดยศึกษาค่า DD ตั้งแต่ 10.7 - 67.2 % และค่าพีเอชตั้งแต่ 3 ถึง 7 พบว่าการดูดซับสีย้อมจะเพิ่มขึ้นตามค่า DD ของไคตินที่แต่ละพีเอชสรุปได้ว่าไคตินที่มีค่า DD 36.3% และ 46.8 % จะสามารถกำจัดสีย้อมทั้งสีชนิดและไอออนของโครเมียมได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 3 และ 4 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3 วิธีการวิจัย



3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 สีย้อมประเภทละลายน้ำ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์ตัวอย่างสีย้อมประเภทละลายน้ำ (Water-soluble dyes) จำนวน 4 ชนิด จากบริษัทไดสตาร์ไทย จำกัด (DyStar Thai Co., Ltd) และนำมาใช้งานในลักษณะที่ได้รับโดยไม่ได้ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ ชื่อทั่วไปของสีย้อมดังกล่าวได้แก่ C.I. Acid Red 360, C.I. Reactive Red 158, C.I. Direct Red 80 และ C.I. Basic Red 24 ชื่อทางการค้าและคุณสมบัติของสีเหล่านี้แสดงในตารางที่ 3.1 โครงสร้างทางเคมีของสี C.I. Direct Red 80 และ C.I. Basic Red 24 ดังแสดงในรูปที่ 3.1 อย่างไรก็ตามโครงสร้างของสี C.I. Acid Red 360 และ C.I. Reactive Red 158 ยังไม่เป็นที่เปิดเผยจากผู้ผลิตและยังไม่มีการตีพิมพ์โดย Society of Dyers and Colourists^(20,21) สารละลายของสีย้อมแต่ละชนิดเตรียมได้โดยการละลายสีย้อมในน้ำกลั่น ให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการ (200 - 2,600 มิลลิกรัมต่อลิตร)

3.1.2 เปลือกกุ้ง

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์เปลือกกุ้ง (Shrimp shells) จาก บริษัทสุรพลฟู้ดส์ (มหาชน) จำกัด (Surapon Foods Public Co., Ltd.) เปลือกกุ้งที่ได้มาจากโรงงานจะถูกนำมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดหลายๆ ครั้ง โดยทำการแยกเอาเนื้อ ส่วนหัว ส่วนหางและขากุ้งออกไป หลังจากนั้นนำเปลือกกุ้งมาผึ่งแดดให้แห้ง แล้วบดให้มีขนาด 2 - 3 มิลลิเมตร บรรจุในถุงพลาสติกและเก็บในถังพลาสติกที่แห้ง สะอาด และมีฝาปิดมิดชิด

3.1.3 สารเคมี

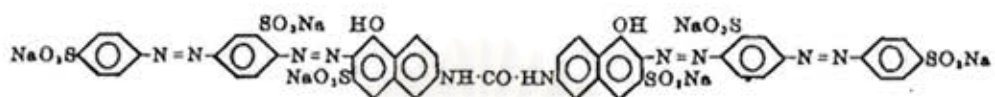
กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% และโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50% ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทวิทช์คอร์ป เคมีคอลส์ จำกัด (Witcorp Chemicals Co., Ltd) โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium borohydride) และลิเทียมคลอไรด์ (Lithium chloride) สั่งซื้อจาก Ajax Chemicals กรดไฮโดรคลอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดกลูซิอิก (Glacial acetic acid) โซเดียมคลอไรด์ และยูเรีย สั่งซื้อจาก Carlo Erba ส่วน N,N-dimethylacetamide สั่งซื้อจาก Lab-Scan

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของสีย้อม

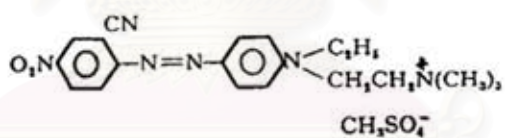
C.I. generic name	Commercial name	Chemical class	Active ingredient (%w/w)	Solubility in water at 25°C(g/L)	pH in water (100 g/L)
C.I. Acid Red 360	Telon Fast Red AFG	Azo	92-97	30	6.5–8.0
C.I. Reactive Red 158	Levalix Brilliant Red E-4BA	Azo	45–55	60	6.0–7.0
C.I. Direct Red 80	Sirius Red F3B	Polyazo	92-97	50	9.5–11.0
C.I. Basic Red 24	Astrazon Red 5BL 200%	Monoazo	100	<1	2.0–2.5

ที่มา : บริษัทไคสตาร์ไทย จำกัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



C.I. Direct Red 80



C.I. Basic Red 24

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.1 โครงสร้างทางเคมีของสี C.I. Direct Red 80 และ C.I. Basic Red 24

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

เครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FTIR) ยี่ห้อ Bruker รุ่น Equinox 55 ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้สำหรับวิเคราะห์ FTIR spectra ด้วยความถี่ $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ จำนวนรอบ 32 scans ที่ Resolution 8 cm^{-1} โดยใช้ Deuterated triglycine sulfate detector (DTGS)

3.2.2 เครื่องอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เครื่องอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Ultraviolet - Visible Spectrophotometer, UV/VIS) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Lambda 10 ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้สำหรับวิเคราะห์การดูดซับ และการคายการดูดซับของสีย้อมที่ความยาวคลื่นต่างๆ ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ

3.2.3 อ่างควบคุมอุณหภูมิแบบสั่น

อ่างควบคุมอุณหภูมิแบบสั่น (Thermostatic Shaking Water Bath) ยี่ห้อ GFL รุ่น 1086 ใช้สำหรับแช่และควบคุมอุณหภูมิของการทดลองเกี่ยวกับการดูดซับ และการคายการดูดซับของสีย้อม

3.2.4 เครื่องวัดพีเอช

เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) ยี่ห้อ Orion รุ่น 920A ใช้วัดความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย

3.2.5 เครื่องเซนตริฟิวส์ความเร็วสูง

เครื่องเซนตริฟิวส์ความเร็วสูง (High Speed Centrifuge) ยี่ห้อ Du Pont รุ่น Sorval[®] Super T21 ใช้สำหรับปั่นแยกของเหลวส่วนใสออกจากตะกอน

3.2.6 เครื่องวัดความหนืด

เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) ยี่ห้อ Cannon แบบ Ubbelohde เบอร์ 75 และเบอร์ 150 ใช้สำหรับวิเคราะห์หาความหนืดของโคโคแซนและโคคิน

3.2.7 เครื่องร่อนและตะแกรง

เครื่องร่อนและตะแกรง (Sieving Machine and Sieves) ยี่ห้อ Retsch รุ่น Vibro ประเทศเยอรมัน ใช้สำหรับร่อนแยกขนาดของตัวดูดซับ

3.2.8 เครื่องวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว

เครื่องวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว (Surface Area Analyzer) ยี่ห้อ Quantachrome รุ่น Autosorb-1 ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะแบบ BET (Brunauer-Emmett-Teller) ของตัวดูดซับ

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การผลิตไคติน

นำเปลือกกุ้งที่เตรียมไว้มาผ่านขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ (Deminerization) ซึ่งก็คือแคลเซียมคาร์บอเนต โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์ ในอัตราส่วนเปลือกกุ้งต่อสารละลายกรดเท่ากับ 1 : 10 คนให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน กรองและทำการทดลองในทำนองเดียวกันซ้ำอีกครั้ง หลังจากนั้นจะล้างเปลือกกุ้งด้วยน้ำสะอาดหลายๆ ครั้งจนเป็นกลางต่อกระดาษวัดพีเอช กรอง และอบให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส กลไกของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังแสดงในสมการที่ (3.1)



หลังจากนั้นเปลือกกุ้งจะถูกนำมาผ่านขั้นตอนการกำจัด โปรตีน (Deproteinization) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์ ในอัตราส่วนเปลือกกุ้งต่อสารละลายต่าง 1 : 20 คนให้เข้ากัน ตั้งที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น กรอง ล้างด้วยน้ำสะอาดหลายๆ ครั้งจนเป็นกลางต่อกระดาษวัดพีเอช

หลังจากนั้นนำเปลือกกุ้งที่ได้มาผ่านขั้นตอนการกำจัดสี และไขมัน โดยล้างด้วยเอทานอล (Ethanol 95%) อัตราส่วนของเปลือกกุ้งต่อเอทานอลที่ใช้คือ 1 : 10 คนให้เข้ากัน และแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง กรองและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากขั้นตอนดังกล่าวนี้จะได้ไคตินเป็นผลิตภัณฑ์

3.3.2 การผลิตไคโตแซน⁽²²⁾

การเตรียมไคโตแซนมีเพียงขั้นตอนเดียวคือ ปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะเซทิล (Deacetylation) ในไคตินด้วยสารละลายด่างเข้มข้นที่อุณหภูมิสูง โดยใช้อัตราส่วนของสารต่างๆ ดังนี้ ไคตินจำนวน 10 กรัม โซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.5 กรัม (Sodium borohydride) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 20 - 50 % จำนวน 100 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน และให้ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส โดย

ใช้เวลาต่างๆ กัน เพื่อให้ได้ค่าดีกรีออฟดีอะเซทิลเลชัน (Degree of deacetylation, DD) ตามต้องการ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น และล้างด้วยน้ำสะอาดหลายๆ ครั้ง จนเป็นกลางต่อกระดาษวัดพีเอช อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้คือ ไคโตแซน ชั้นตอนต่างๆ ในการเตรียมไคตินและไคโตแซน ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3.3.3 การเตรียมตัวคูดซับ

ก่อนนำมาใช้งานจะทำการบดเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน และร่งด้วยเครื่องร่งและตะแกรงแยกเป็นขนาดต่างๆ จำนวน 3 ขนาดคือ 0.212 - 0.425 0.425 - 0.710 และ 0.710 - 1.00 มิลลิเมตร แล้วแยกเก็บไว้ในภาชนะที่แห้ง สะอาด และปิดมิดชิด

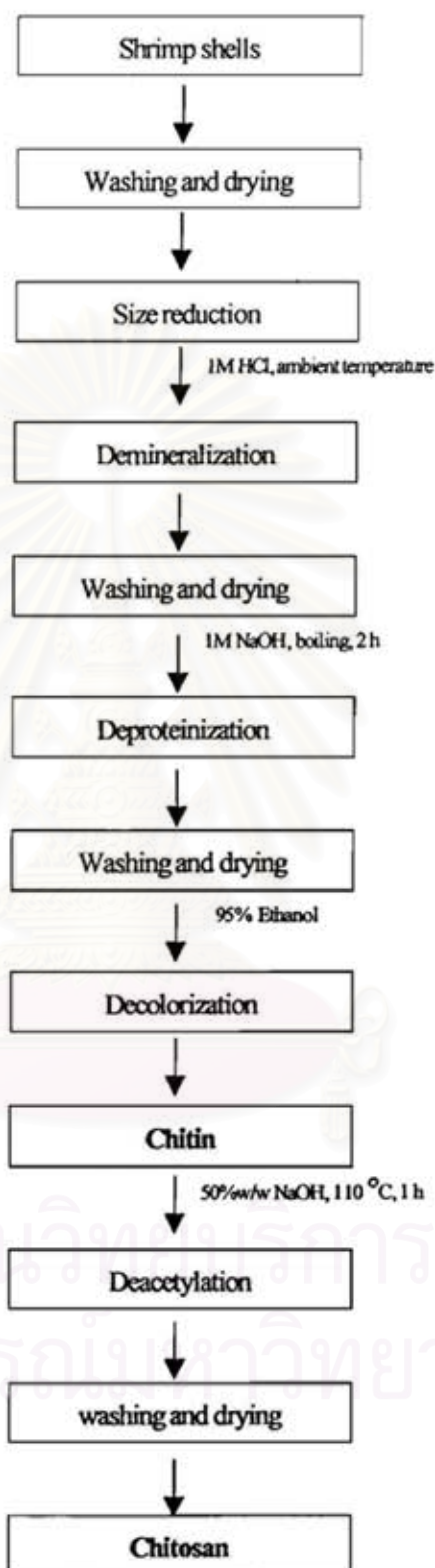
3.3.4 การวิเคราะห์หาค่าดีกรีออฟดีอะเซทิลเลชัน ของไคตินและไคโตแซน

การวิเคราะห์หาค่าดีกรีออฟดีอะเซทิลเลชัน (Degree of deacetylation, DD) ของไคตินและไคโตแซน ได้ดัดแปลงมาจากวิธีวิเคราะห์ของ Sannan และคณะ⁽²³⁾ ดังนี้

อบไคตินและไคโตแซนที่มีขนาดเล็กกว่า 53 ไมครอน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ภายใต้สูญญากาศเป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 12 ชั่วโมง และอบโปแตสเซียมโบรไมด์ (KBr, spectroscopic grade) ซึ่งบดละเอียดที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 3 ชั่วโมง ชั่งไคตินหรือไคโตแซน จำนวน 1 มิลลิกรัม และโปแตสเซียมโบรไมด์ จำนวน 30 มิลลิกรัม และบดในโกรง์หินอ่อน แล้วอัดเป็นแผ่นบางๆ (Pellets) ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic press) ภายใต้สูญญากาศจำนวน 3 แผ่นต่อตัวอย่าง และนำไปวิเคราะห์หา IR spectra ด้วยเครื่อง FTIR spectrometer แล้วคำนวณหาค่าดีกรีออฟดีอะเซทิลเลชัน ตามสูตรในสมการที่ (3.2)

$$DD (\%) = 98.03 - 34.68 [A_{1550} / A_{2878}] \quad (3.2)$$

เมื่อ A_{1550} และ A_{2878} เป็นค่าแอมบอร์เบแนนซ์ (Absorbance) ของหมู่เอมีด II และหมู่ C-H ที่ความถี่คลื่น 1550 และ 2878 cm^{-1} ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการผลิตไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

3.3.5 การวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของไคติน⁽²⁶⁾ และไคโตแซน⁽²⁶⁾

วิธีนี้อาศัยหลักการวัดความหนืดโดยใช้ค่าคงที่ความหนืด(Viscometric constant) ของไคโตแซน ในการคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุล เนื่องจากค่าคงที่ความหนืดของไคตินยังไม่มีผู้คำนวณไว้ สารละลายไคตินและไคโตแซนที่มีความเข้มข้นต่างๆ กันสามารถเตรียมได้ดังนี้

เตรียมสารละลายไคตินเข้มข้น 0.08 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร โดยชั่งผงไคตินที่มีขนาด 0.053–0.212 มิลลิเมตร และละลายในสารละลายลิเทียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 5% ใน N, N-dimethylacetamide หลังจากนั้นจึงเตรียมสารละลายไคตินที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน โดยทำการเจือจางสารละลายไคตินเข้มข้นด้วยตัวทำละลายชนิดเดียวกัน แล้วทำการวัดค่าความหนืดของสารละลายไคตินแต่ละความเข้มข้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้ Cannon-Ubbelohde Viscometer เบอร์ 150

เตรียมสารละลายไคโตแซนเข้มข้น 0.08 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร โดยชั่งผงไคโตแซนที่มีขนาด 0.053–0.212 มิลลิเมตร และละลายในสารละลายผสมของ 0.2M acetic acid - 0.1M NaCl - 4M urea แล้วเตรียมสารละลายไคโตแซนที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน โดยทำการเจือจางสารละลายไคโตแซนเข้มข้นด้วยตัวทำละลายชนิดเดียวกัน หลังจากนั้นทำการวัดค่าความหนืดของสารละลายไคโตแซนแต่ละความเข้มข้นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้ Cannon-Ubbelohde Viscometer เบอร์ 75

ค่า Intrinsic viscosities ของไคตินและไคโตแซนสามารถหาได้โดยการพลอตระหว่างค่าความหนืดและความเข้มข้น แล้วคำนวณหาค่าน้ำหนักโมเลกุลของไคตินและไคโตแซนจากสมการที่ (3.3)

$$[\eta] = kM^a \quad (3.3)$$

เมื่อ	$[\eta]$:	Intrinsic viscosity
	M	:	Molecular weight of chitin or chitosan
	k	:	Mark-Houwink constant (8.93×10^{-4})
	a	:	Mark-Houwink exponent (0.71)

3.3.6 การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวดูดซับ

ตัวดูดซับที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีจำนวน 3 ชนิดคือ เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน ซึ่งมีขนาดอนุภาค 3 ช่วงคือ 0.212 - 0.425 0.425 - 0.710 และ 0.710-1.000 มิลลิเมตร อบตัวดูดซับที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก 0.2–0.3 กรัม แล้ววิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะแบบ BET(Brunauer-Emmett-Teller) ด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว(Surface Area Analyzer) ซึ่งเครื่องจะคำนวณค่าให้จากไอโซเทอม(Isotherm) ของการดูดซับในโครเจนตามสมการที่ (3.4)

$$S = \frac{W_m \times N \times A_{cs}}{M} \quad (3.4)$$

เมื่อ	S	: Total surface area of adsorbent (m^2/g)
	W_m	: Weight of adsorbate monolayer (g)
	N	: Avogadro's number (6.023×10^{23})
	A_{cs}	: Molecular cross-sectional area of the adsorbate molecule (m^2) (16.2 \AA^2 for nitrogen monolayer at $77^\circ K$)
	M	: Molecular weight of adsorbate

3.3.7 การวิเคราะห์หาค่า λ_{max} ของสารละลายสีย้อมที่พีเอชต่างๆ

เตรียมสารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้นต่างๆ กันและมีค่าพีเอชตั้งแต่พีเอช 3 ถึง 12 แล้วบันทึกค่าความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) ของสารละลายสีย้อมโดยสแกนที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 900-190 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง UV/VIS Spectrophotometer

3.3.8 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อมที่พีเอชต่างๆ

เตรียมสารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้นต่างๆ กันตั้งแต่พีเอช 3 ถึง 12 แล้วบันทึกค่าแอมพลิจูดที่ λ_{max} ของสีย้อมแต่ละชนิดด้วยเครื่อง UV/VIS spectrophotometer แล้วสร้างกราฟมาตรฐานโดยพลอตค่าระหว่างความเข้มข้นของสีย้อมและค่าแอมพลิจูด

3.3.9 ผลของพีเอชต่อความคงตัวของสารละลายสีย้อม

เตรียมสารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 3 ถึง 12 นำสารละลายสีย้อมปริมาตร 25 มิลลิตร มาเขย่าในอ่างควบคุมอุณหภูมิแบบถ้ำ โดยใช้ความเร็ว 80 รอบต่อนาที เป็นเวลา 0 และ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปปั่นแยกด้วยความเร็ว 15,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วบันทึกค่าแอมพลิจูดที่ λ_{max} ของสารละลายส่วนใส (Supernatant) ของสีย้อมแต่ละชนิดด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer คำนวณหาปริมาณของสีย้อมที่เหลืออยู่ในสารละลายได้จากสมการที่ (3.5) และนำมาพลอตกับค่าพีเอช

$$Q_s = \frac{A_s}{S} \quad (3.5)$$

- เมื่อ Qs : Amount of dye in supernatant after 0 h or 24 h (mg/L)
 As : Absorbance of dye in supernatant after 0 h or 24 h
 S : Slope value from calibration curve of dye concentration and absorbance

3.3.10 การเตรียมตัวดูดซับที่ดูดซับสีย้อม

เตรียมสารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามค่าพีเอชที่กำหนดดังนี้ สีย้อมชนิด C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 4 สีย้อมชนิด C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 3 สีย้อมชนิด C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 3 และสีย้อมชนิด C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 10

ชั่งตัวดูดซับที่มีขนาด 0.425-0.710 มิลลิเมตรแต่ละชนิดหนัก 50 มิลลิกรัม และเติมลงในสารละลายสีย้อมที่มีปริมาตร 150 มิลลิตร แล้วเขย่าในเครื่องเขย่าแบบตั้งด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องและกรอง หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้งเพื่อกำจัดสีย้อมที่ไม่ถูกดูดซับ โดยรวบรวมน้ำล้างไว้ในขวดวัดปริมาตรและเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 250 มิลลิตร นำตัวดูดซับที่ดูดซับสีย้อมแล้วมาทำให้แห้งในตู้อบสูญญากาศที่อุณหภูมิห้อง เก็บรวบรวมไว้ในภาชนะปิดในที่ที่ไม่ถูกแสงสว่างเพื่อใช้ในการศึกษาการคายการดูดซับของสีย้อม ทำการวัดค่าแอบซอร์เบ้นซ์ของสีย้อมที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยเครื่อง UV/VIS spectrophotometer ที่ λ_{max} ของสีย้อมแต่ละชนิด เปรียบเทียบกับค่าแอบซอร์เบ้นซ์ของ Blanks ซึ่งเตรียมได้โดยใช้น้ำกลั่นที่มีค่าพีเอชเดียวกันกับสารละลายสีย้อมชนิดนั้นๆ หลังจากนั้นคำนวณหาปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับแต่ละชนิดได้จากสมการที่ (3.6) ซึ่งดัดแปลงมาจาก Beer's law⁽²⁶⁻²⁷⁾ ดังนี้

$$Q_a = \frac{(C \times 150) - [(A_a - A_{bl}) \times 250] / S}{W \times 1000} \quad (3.6)$$

- เมื่อ Qa : Amount of dye adsorbed on the adsorbent (mg/g)
 C : Initial concentration of dye solution (mg/L)
 Aa : Absorbance of unadsorbed dye after adsorption
 Abl : Absorbance of blank
 S : Slope value from calibration curve of dye concentration and absorbance
 W : Weight of adsorbent (g)

3.3.11 ผลของปัจจัยต่างๆ ต่อการดูดซับของสี้อม

สี้อมที่ใช้ในงานวิจัยทุกการทดลองมีจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ C.I. Acid Red 360 C.I. Reactive Red 158 C.I. Direct Red 80 และ C.I. Basic Red 24 ส่วนตัวดูดซับมีจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ เปลือกกุ้ง ไคลินที่มีค่า DD 21.64% และ โทโดแซนที่มีค่า DD 79.55% อนุภาคของตัวดูดซับแต่ละชนิดมีขนาดอยู่ในช่วง 0.425 - 0.710 มิลลิเมตร

ซึ่งตัวดูดซับจำนวน 50 มิลลิกรัม และเติมลงในสารละลายสี้อมปริมาณ 25 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปรับพีเอชตั้งแต่พีเอช 3 ถึง 11 ด้วย 0.1M NaOH หรือ 0.1M HCl แล้วเขย่าในเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบสั่นด้วยความเร็ว 80 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (นอกจากจะระบุเป็นอย่างอื่น) ที่อุณหภูมิห้องและทำการวัดค่าแอบซอร์เบ้นซ์ของสารละลายสี้อมที่เหลืออยู่ด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer ที่ λ_{max} ของสี้อมแต่ละชนิด เปรียบเทียบกับค่าแอบซอร์เบ้นซ์ของ Blanks ซึ่งเตรียมได้โดยใช้น้ำกลั่นที่มีค่าพีเอชเดียวกันกับสารละลายสี้อมชนิดนั้นๆ ผลของปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับของสี้อมก็ได้ทำการศึกษาในทำนองเดียวกัน ได้แก่ Degree of deacetylation ระยะเวลาของการดูดซับ ขนาดอนุภาคของตัวดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสี้อม ปริมาณของสี้อมที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับแต่ละชนิดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.6) ซึ่งดัดแปลงมาจาก Beer's law⁽²⁶⁻²⁷⁾ ดังนี้

$$Q_a = \frac{[C - (A_a - A_b)] / S \times V}{W \times 1000} \quad (3.7)$$

$$E_c = \frac{Q_a \times W \times 10^5}{C \times V} \quad (3.8)$$

Where Q_a : Amount of adsorbed dye (mg of adsorbed dye per g of adsorbent)

C : Initial concentration of dye (mg/L)

A_a : Absorbance of unadsorbed dye after adsorption

A_b : Absorbance of blank

S : Slope value from calibration curve of dye concentration and absorbance

V : Volume of dye solution (mL)

W : Weight of adsorbent (g)

E_c : Adsorption efficiency of dye on adsorbent over concentration (% w/w)

3.3.12 ผลของพีเอช และอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับ (Desorption) ของสีข้อม

การทดลองเกี่ยวกับการคายการดูดซับของสีข้อม ทำได้โดยชั่งตัวดูดซับที่ดูดซับสีข้อมไว้แล้ว จำนวน 50 มิลลิกรัม แล้วเติมลงในน้ำกลั่นจำนวน 50 มิลลิลิตรซึ่งได้ปรับค่าพีเอชตั้งแต่ 4 ถึง 12 โดยใช้ 0.1M NaOH หรือ 0.1M HCl และทดลองที่อุณหภูมิ 30 และ 80 องศาเซลเซียส เขย่าด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และปั่นแยกของเหลวส่วนใสด้วยความเร็ว 15,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำมาวัดค่าแอบซอร์เบ้นซ์ของสีข้อมที่คายออกมาจากตัวดูดซับที่ λ_{max} ของสีข้อมแต่ละชนิดด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer ปริมาณของสีข้อมที่คายออกมาจากการดูดซับสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.9) ซึ่งดัดแปลงมาจาก Beer's law⁽²⁶⁻²⁷⁾ ดังนี้

$$Q_d = \frac{A_d \times V \times 100}{S \times Q_a \times W \times 1000} \quad (3.9)$$

- เมื่อ
- Q_d : Amount of desorbed dye (% w/w)
 - Q_a : Amount of adsorbed dye (mg of dye per g of dye-sorbed adsorbent)
 - A_d : Absorbance of desorbed dye
 - V : Volume of deionized water at pH tested (mL)
 - S : Slope value from calibration curve of dye concentration and absorbance.
 - W : Weight of dye-sorbed adsorbent (g)

3.3.13 การกำจัดสีข้อมออกจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ

น้ำทิ้งของสีข้อมจำนวน 4 ชนิดที่สุ่มจากท่อน้ำทิ้งของอ่างย้อมภายหลังการย้อม จำนวน 9 ตัวอย่าง ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ธนากุลพิมพ์ย้อม จำกัด บริษัท เอเชียไฟเบอร์ จำกัด บริษัท ศิลปเสนีพาณิชย์ จำกัด และบริษัท โกลเด้นไทยอินดัสตรี จำกัด ซึ่งตัวอย่างน้ำทิ้งเหล่านี้ได้รับการยืนยันถึงชนิดของสีข้อมในน้ำทิ้งแต่ละตัวอย่างจากผู้มีอำนาจรับผิดชอบของแต่ละโรงงาน และจะถูกนำไปใช้ในการศึกษาการกำจัดสีออกจากน้ำทิ้ง

นำตัวอย่างน้ำทิ้งมาวัดค่าพีเอชก่อนทำการทดลอง แล้วทำการปั่นแยกสารที่ไม่ละลายน้ำออกไป หลังจากนั้นจึงปรับค่าพีเอชของของเหลวส่วนใสให้เหมาะสมต่อการดูดซับของสีข้อมแต่ละชนิดโดย

ใช้กรดไฮโดรคลอริกหรือไฮเดียมไฮครอกไซด์ กล่าวคือ พีเอช 4 สำหรับสีแอมิจด สีรีแอกทีฟ และสีไคเร็ค และ พีเอช 10 สำหรับสีเบติก

ซึ่งตัวดูดซับจำนวน 50 มิลลิกรัม เติมลงในน้ำทิ้งแต่ละชนิดที่ปรับพีเอชแล้วจำนวน 25 มิลลิลิตร และทำการทดลองการดูดซับของสี้อมตามวิธีการในทำนองเดียวกันกับหัวข้อ 3.3.11 ปริมาณของสี้อมที่ถูกกำจัดออกจากน้ำทิ้งจะคำนวณได้จากสมการที่ (3.10) ซึ่งดัดแปลงมาจาก Beer's law⁽²⁶⁻²⁷⁾.

$$Q_r = \frac{[A_b - (A_a - A_{bl})] \times 100}{A_b} \quad (3.10)$$

- เมื่อ
- Q_r : Amount of dye removal (%w/w)
 - A_b : Absorbance of dye before adsorption
 - A_a : Absorbance of dye after adsorption
 - A_{bl} : Absorbance of blank

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล



4.1 การผลิตโคติน

ได้ทำการผลิตโคตินจำนวน 6 ครั้ง จากเปลือกกุ้งโดยกำจัดแร่ธาตุด้วย 1M HCl เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กำจัดโปรตีนด้วย 1M NaOH ที่อุณหภูมิ 80 – 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และกำจัดสีด้วยเอทานอล เพื่อใช้ในการเตรียมโคโดเซนในลำดับต่อไป นอกจากนี้ยังได้เตรียมโคตินด้วยวิธีเดียวกันอีกจำนวน 1 ครั้ง ที่มีค่าดีกรีอะเซทิลเลชัน (Degree of deacetylation, DD) เท่ากับ 21.64 % สำหรับใช้ในการศึกษาการดูดซับและการคายการดูดซับของสีข้อม พบว่าสามารถผลิตโคตินจากเปลือกกุ้งได้ผลผลิตประมาณ 26-30 % โดยน้ำหนัก Mazzarelli ได้รายงานว่าการผลิตโคตินโดยวิธีของ Whistler and BeMiller จะได้ผลผลิตประมาณ 20 %⁽¹⁰⁾

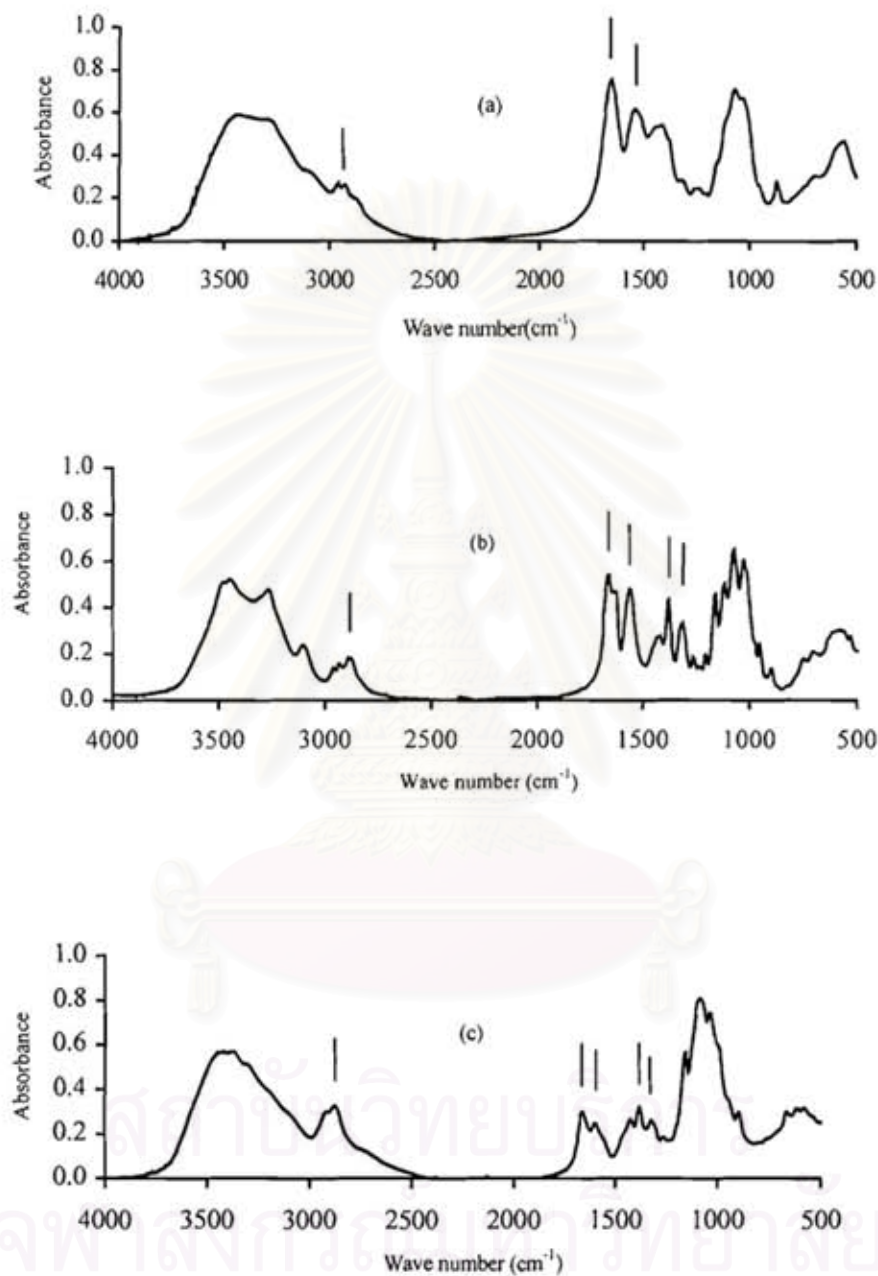
4.2 การผลิตโคโดเซน

ได้ทำการเตรียมโคโดเซนจำนวน 5 ครั้ง จากโคตินโดยทำปฏิกิริยาดีอะเซทิลเลชัน (Deacetylation) ด้วย 50% NaOH ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้โคโดเซนที่มีค่า DD 79.3 - 79.8% และได้ผลผลิตของโคโดเซนจากโคตินประมาณ 78 - 85% โดยน้ำหนัก นำโคโดเซนที่มีค่า DD ใกล้เคียงกันจำนวน 3 ลีอดมาผสมเข้าด้วยกัน และวิเคราะห์หาค่า DD ได้เท่ากับ 79.55% เพื่อเก็บไว้ใช้ในการศึกษาการดูดซับและการคายการดูดซับของสีข้อม

FTIR spectra ของเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตเซน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยมีการดูดกลืนแสงที่ความถี่คลื่น 1655 1550 และ 1310 cm^{-1} ซึ่งเป็นคุณสมบัติของไคตินที่มีรายงานยืนยันว่าเป็นแถบการดูดกลืนแสงของหมู่เอมีด I II และ III ตามลำดับ แถบการดูดกลืนแสงที่คมชัดจะอยู่ที่ความถี่คลื่น 1378 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ CH_2 ที่มีลักษณะเป็น symmetrical deformation mode สำหรับไคโตเซนแถบการดูดกลืนแสงเหล่านี้จะไม่คมชัดเท่าในไคติน⁽²⁴⁾

ผลการวิเคราะห์ค่า DD ของไคโตเซนที่เตรียมจากไคตินที่มีค่า DD เท่ากับ 20.85 % โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นต่างๆ และให้ทำปฏิกิริยาเป็นระยะเวลาต่างๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าไคโตเซนที่ได้จะมีความเข้มข้นของพิกที่ความถี่คลื่น 1550 cm^{-1} ลดลง และมีค่า DD เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และระยะเวลาของการทำปฏิกิริยา พบว่าไคโตเซนที่ได้จากปฏิกิริยาดีอะเซทิลเลชันโดยใช้ 35% NaOH ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที นั้นได้ค่า DD สูงเกินกว่าที่คาดไว้ อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากตัวอย่างไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 FTIR spectra (a) เปลือกกุ้ง (b) โคนิน (c) โคนิน

ตารางที่ 4.1 ดีกรีออฟดีอะเซทิลเลชันของไคโตเซนที่เตรียมจากไคตินที่สภาวะต่างๆ กัน

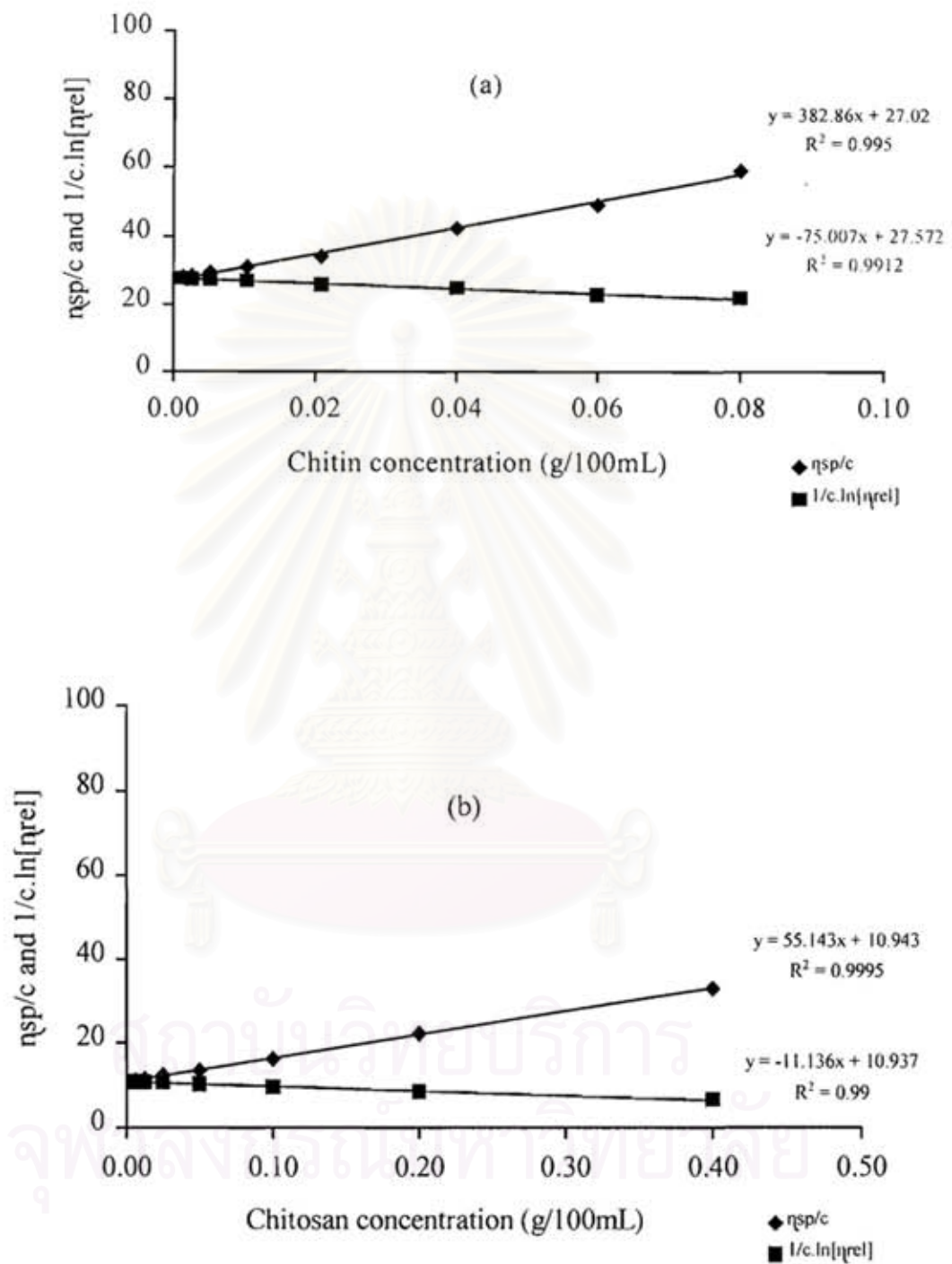
NaOH concentration (%w/v)	Reaction time (min)	Degree of deacetylation (%)
20	20	21.62
	40	23.80
	60	24.48
30	30	34.06
	60	34.88
35	20	36.54
	40	49.20
	60	45.12
	90	47.36
37	30	52.98
	60	60.71
38	60	72.68
40	10	69.33
	30	71.08
	60	73.54
50	60	79.55

4.3 น้ำหนักโมเลกุลของโคติน^(a) และโคโคเซน^(b)

รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและความเข้มข้นของโคตินและโคโคเซน ซึ่งคำนวณน้ำหนักโมเลกุลได้ประมาณ 2.05×10^6 และ 5.73×10^5 ตามลำดับ จะสังเกตเห็นว่าโคโคเซนมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าโคตินมาก สาเหตุอาจเนื่องมาจากสายโซ่ของโคตินถูกตัดให้สั้นลงในระหว่างที่เกิดปฏิกิริยาอะเซทิลเลชันที่สภาวะรุนแรง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Muzzarelli⁽¹⁰⁾ เกี่ยวกับการเตรียม β -โคติน และโคโคเซน โคคยวีซีของ Lee จะได้น้ำหนักโมเลกุลดังนี้ โคติน 2.5×10^6 โคโคเซน เอ 7.25×10^5 โคโคเซน บี 4.92×10^5 และ โคโคเซน ซี 2.35×10^5



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและความเข้มข้น (a) ไคติน (b) ไคโตแซน

4.4 พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวดูดซับ

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวดูดซับ 3 ชนิด ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว พบว่าพื้นที่ผิวจะมีค่าลดลงเมื่ออนุภาคของตัวดูดซับมีขนาดเพิ่มขึ้น ไคตินและไคโตซานจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่าเปลือกกุ้งที่มีขนาดอนุภาคเท่ากันประมาณสองเท่า

ตารางที่ 4.2 พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวดูดซับ

Type of adsorbents	Particle size (mm)	Specific BET surface area (m ² /g)
Shrimp shells	0.212-0.425	10.02
	0.425-0.710	8.96
	0.710-1.00	8.59
Chitin	0.212-0.425	23.24
	0.425-0.710	17.64
	0.710-1.00	17.27
Chitosan	0.212-0.425	20.09
	0.425-0.710	17.39
	0.710-1.00	12.03

4.5 λ_{\max} ของสารละลายสีย้อมที่พีเอชต่างๆ

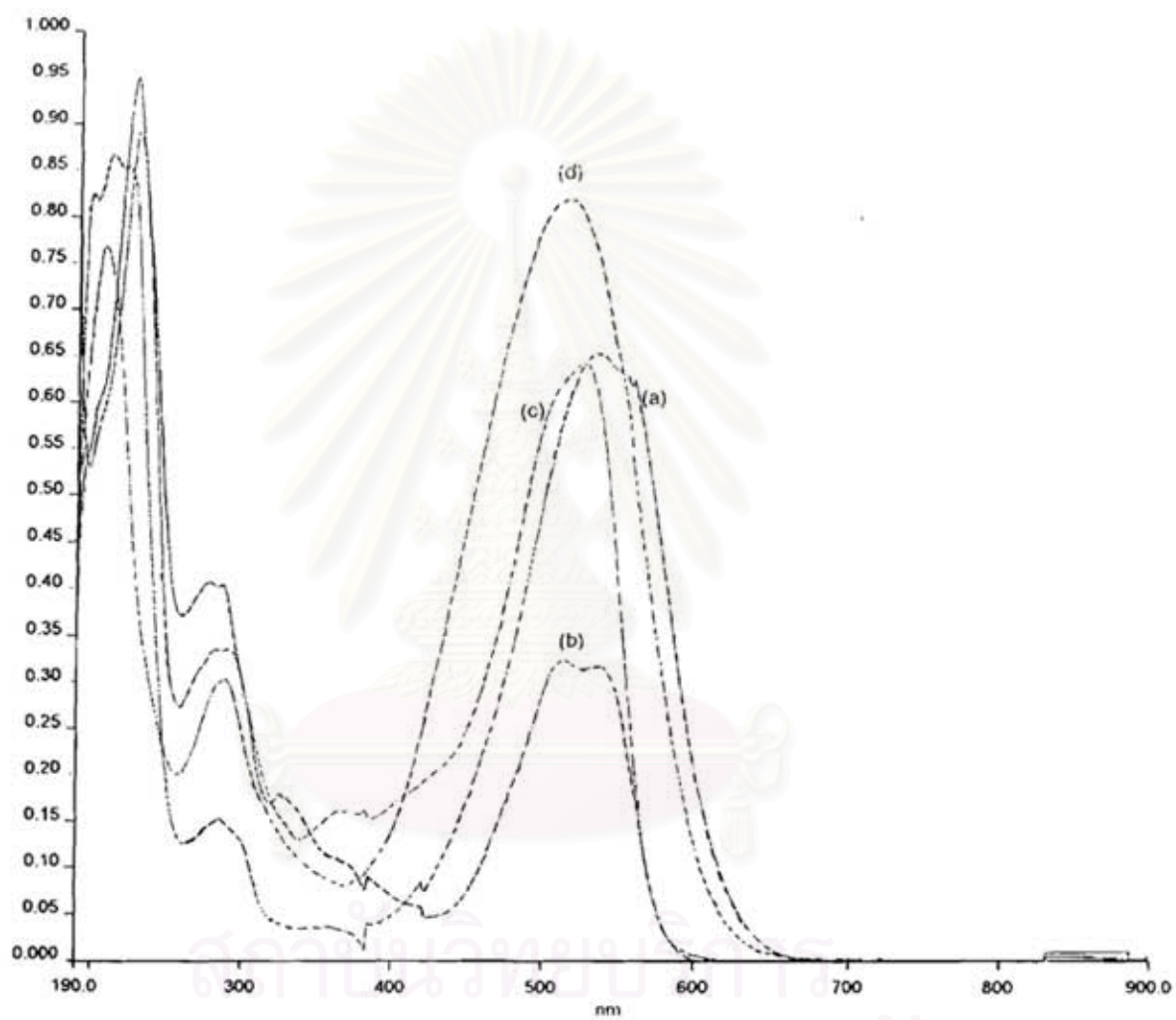
แถบการดูดกลืนแสง (Absorption spectra) ของสารละลายสีย้อม (20 mg/L) ที่พีเอช 4 สแกนในช่วงความยาวคลื่น 900 - 190 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/VIS spectrophotometer ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และค่า λ_{\max} ของสารละลายสีย้อมแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4.3 นอกจากนี้ได้ศึกษาผลของพีเอชต่อการเปลี่ยนแปลงของ λ_{\max} พบว่าเมื่อพีเอชเปลี่ยนแปลงในช่วงตั้งแต่พีเอช 3 ถึง 12 จะไม่มีผลต่อค่า λ_{\max} ของสารละลายสีย้อม

ตารางที่ 4.3 λ_{\max} ของสารละลายสีย้อม

Type of dye	λ_{\max} (nm)
C.I. Acid Red 360	535
C.I. Reactive Red 158	512
C.I. Direct Red 80	526
C.I. Basic Red 24	512

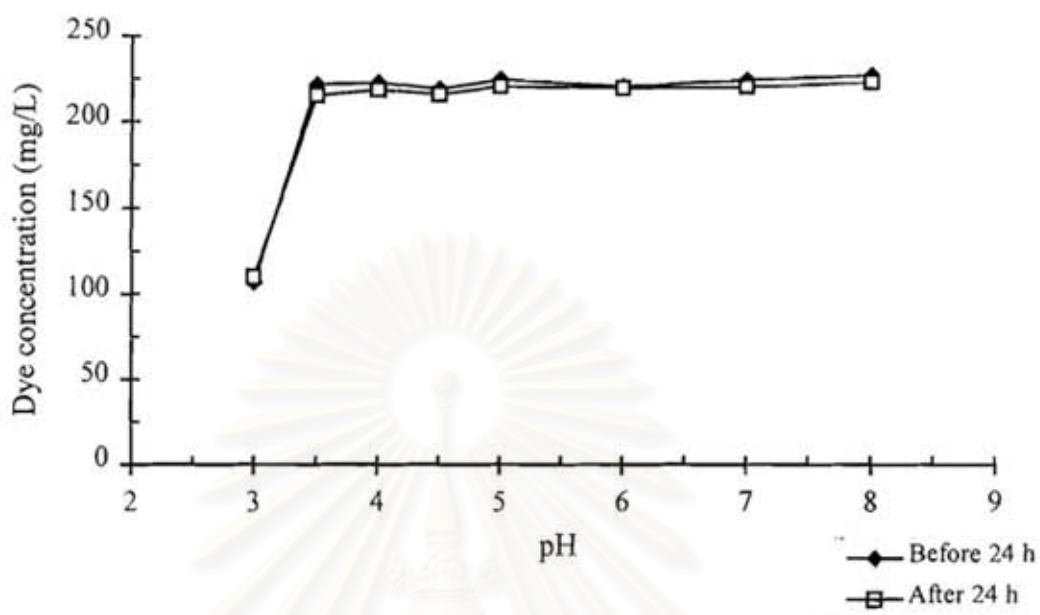
4.6 ผลของพีเอชต่อความคงตัวของสารละลายสีย้อม

ผลของพีเอชต่อความคงตัวของสารละลายสีย้อม ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ถึง 4.7 โดยปรับเปลี่ยนพีเอชตั้งแต่พีเอช 3 ถึง 8 ยกเว้นสีย้อมที่ปรับเปลี่ยนพีเอชตั้งแต่พีเอช 3 ถึง 11 เขย่าด้วยความเร็ว 80 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของสีที่เปลี่ยนไป พบว่าสีย้อมทุกชนิดมีความคงตัวดีในช่วงพีเอชที่ทดสอบ ยกเว้นสีย้อมชนิดที่ตกตะกอนบางส่วนที่พีเอช 3

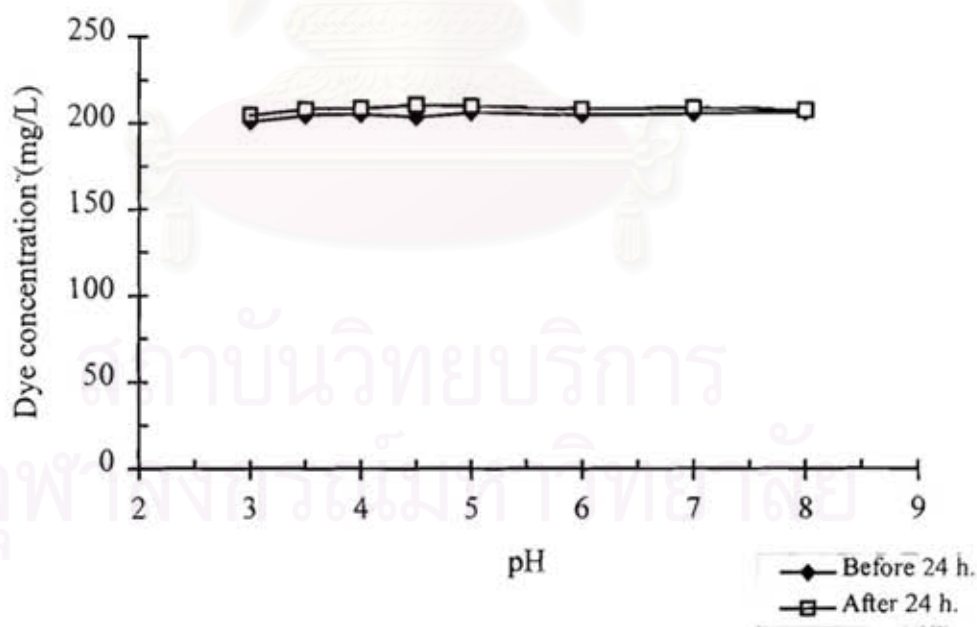


รูปที่ 4.3 UV/VIS spectra ของสารละลายสี้อมที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 4

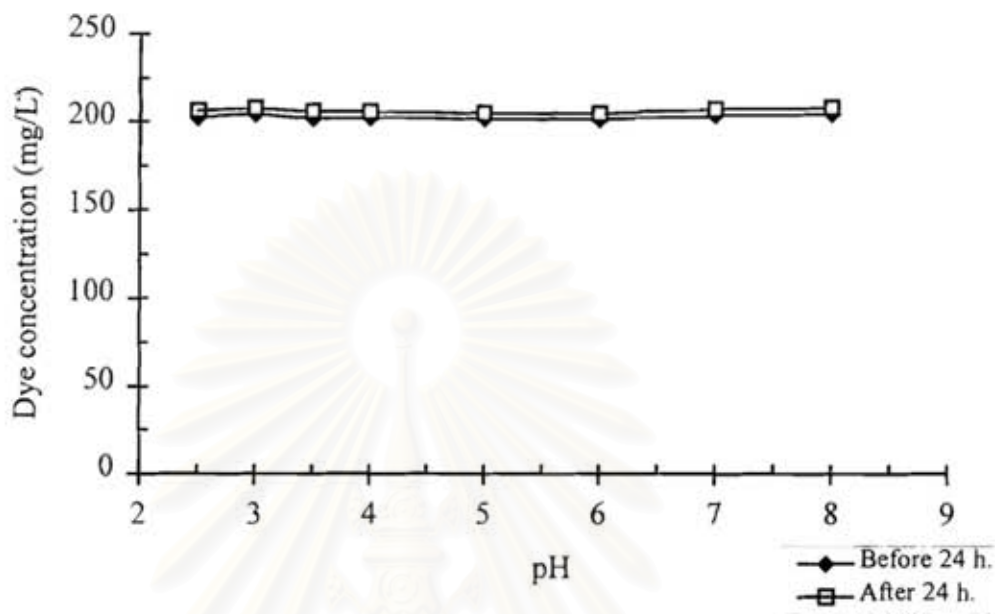
(a) C.I. Acid Red 360 (b) C.I. Reactive Red 158 (c) C.I. Direct Red 80 (d) C.I. Basic Red 24



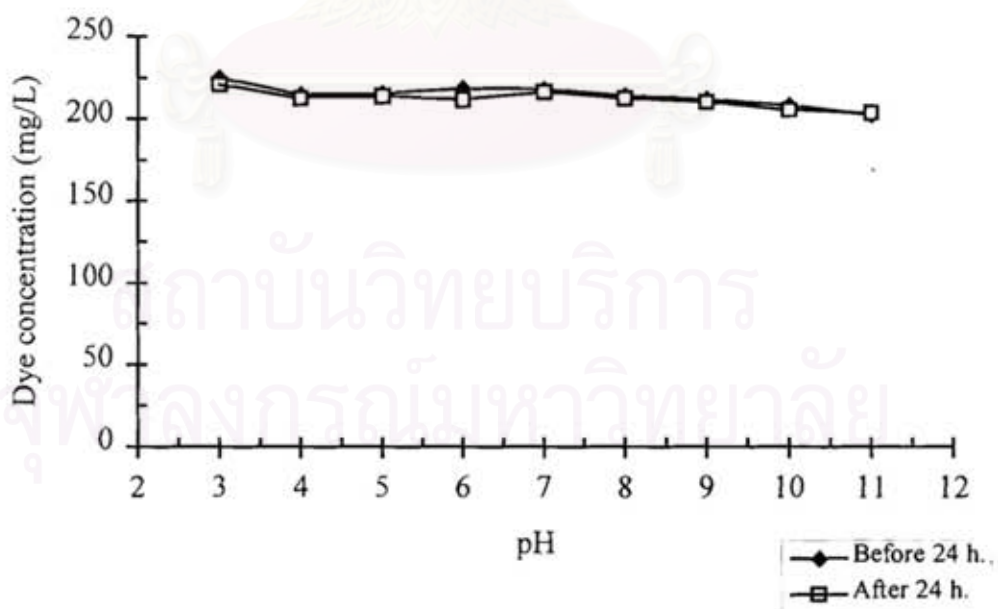
รูปที่ 4.4 ความคงตัวของสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอชต่างๆ



รูปที่ 4.5 ความคงตัวของสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอชต่างๆ



รูปที่ 4.6 ความคงตัวของสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอชต่างๆ



รูปที่ 4.7 ความคงตัวของสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอชต่างๆ

4.7 กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อมที่มีพีเอชต่างๆ

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความชันเฉลี่ยของกราฟมาตรฐานที่พลอตระหว่างค่าแอมชอร์เบนซ์และความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมที่มีพีเอชตั้งแต่พีเอช 3 ถึง 12 ยกเว้นสีแอซิดที่วิเคราะห์ตั้งแต่พีเอช 4 ถึง 11 พบว่าค่าความชันที่มีพีเอชต่างๆ มีความแตกต่างกันน้อยมาก โดยมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 0.001 ค่าความชันเฉลี่ยของสีย้อมแต่ละชนิด จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณของสีย้อมในสารละลายทดลองงานวิจัยนี้

ตารางที่ 4.4 ค่าความชันเฉลี่ยของสีย้อมชนิดต่างๆ

Type of dyes	Wavelength (nm)	Average slope value
C.I. Acid Red 360	535	0.0326
C.I. Reactive Red 158	512	0.0160
C.I. Direct Red 80	526	0.0310
C.I. Basic Red 24	512	0.0446

4.8 ตัวดูดซับที่ดูดซับสีย้อม

ตัวดูดซับที่ดูดซับสีย้อมเตรียมขึ้นเพื่อใช้สำหรับศึกษาการคายการดูดซับของสี ปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับบนเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของสีย้อมต่อกรัมของตัวดูดซับ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 ปริมาณของสีแอซิด สิริแอคทีฟ และสีไคเร็กซ์ที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับทุกชนิดจะมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ยกเว้นสีเบสิกซึ่งไคติน และไคโตแซนจะดูดซับสีชนิดนี้ได้น้อยกว่าเปลือกกุ้งอย่างเห็นได้ชัด

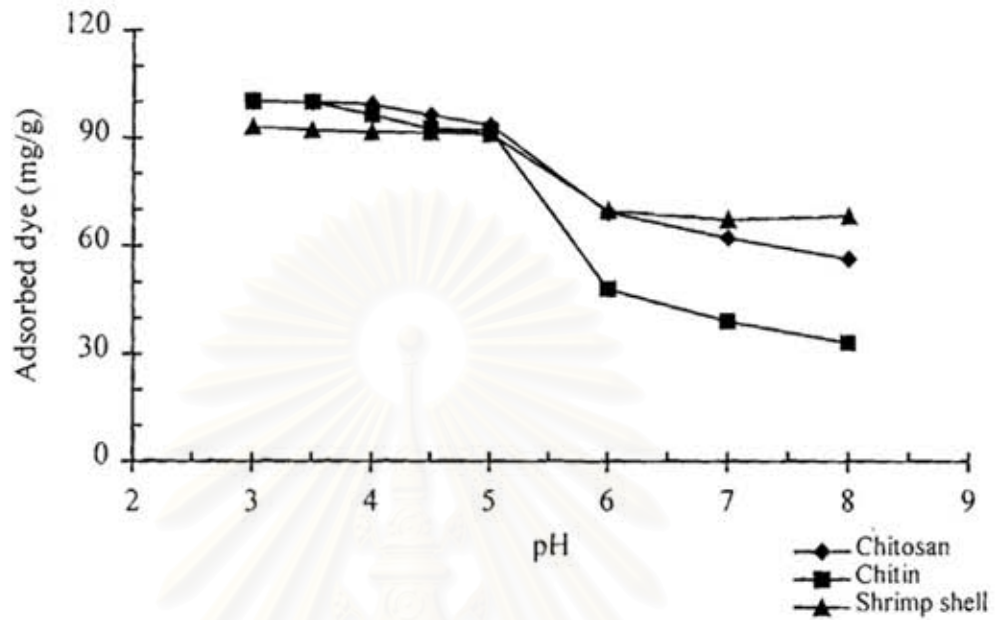
ตารางที่ 4.5 ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ

Type of dye	pH	Adsorbed dye (mg/g)		
		Shrimp shell	Chitin	Chitosan
C.I. Acid Red 360	4	11.84	11.43	11.83
C.I. Reactive Red 158	3	11.97	12.00	12.00
C.I. Direct Red 80	3	11.80	12.00	11.99
C.I. Basic Red 24	10	11.79	3.62	1.99

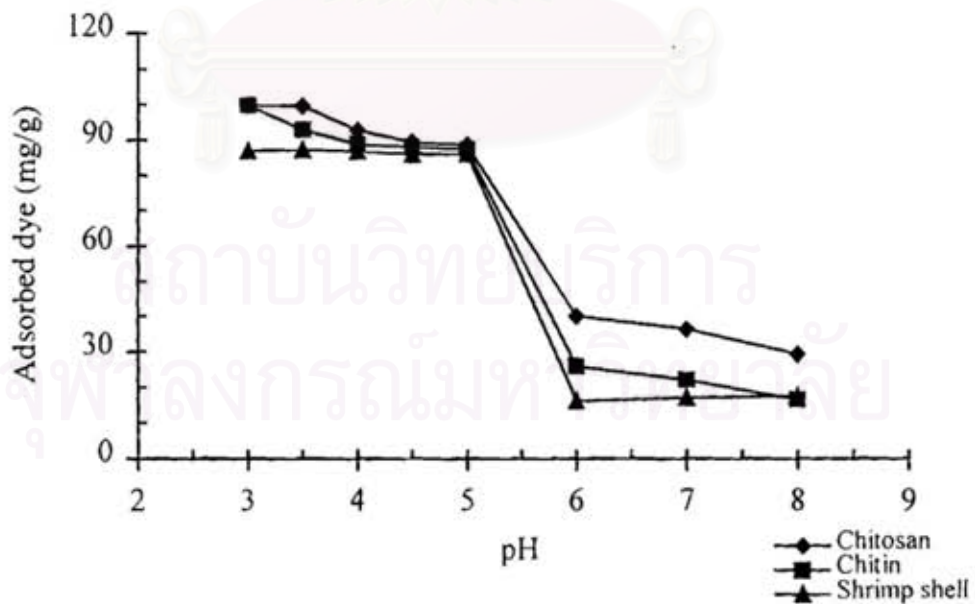
4.9 การดูดซับของสีย้อม

4.9.1 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสีย้อม

รูปที่ 4.8 ถึง 4.11 แสดงถึงลักษณะการดูดซับของสารละลายสีย้อมแต่ละชนิดบนเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตเซน จากรูปที่ 4.8 ถึง 4.9 พบว่าไคโตเซน ไคติน และเปลือกกุ้งสามารถดูดซับสี แอซิดและสรีแอกทีฟในสารละลายที่มีพีเอชเป็นกรด ได้ดีกว่าสารละลายที่มีพีเอชเป็นด่าง เมื่อค่าพีเอชของสารละลายสีย้อมเพิ่มขึ้นจากพีเอช 3 เป็น 8 สีย้อมที่ถูกดูดซับจะมีปริมาณลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นจากพีเอช 5 เป็น 6 ปริมาณสีย้อมจะลดลงมากอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับ ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับในช่วงพีเอช 3 ถึง 5 และพีเอช 6 ถึง 8 ซึ่งมีปริมาณที่น้อยกว่า เมื่อเปรียบ เทียบระหว่างตัวดูดซับทั้งสามชนิด พบว่าไคโตเซนจะสามารถดูดซับสรีแอกทีฟได้ในปริมาณที่สูงกว่า ไคตินและเปลือกกุ้งตลอดช่วงพีเอช 3 ถึง 8 ส่วนสีแอซิดจะได้ผลที่แตกต่างกันคือ ไคโตเซนจะดูด ซับสีย้อมชนิดนี้ได้ดีกว่าไคตินและเปลือกกุ้งในช่วงพีเอชที่ต่ำกว่า 5



รูปที่ 4.8 ผลของพีเอชต่อการดูดซับสี C.I. Acid Red 360



รูปที่ 4.9 ผลของพีเอชต่อการดูดซับสี C.I. Reactive Red 158

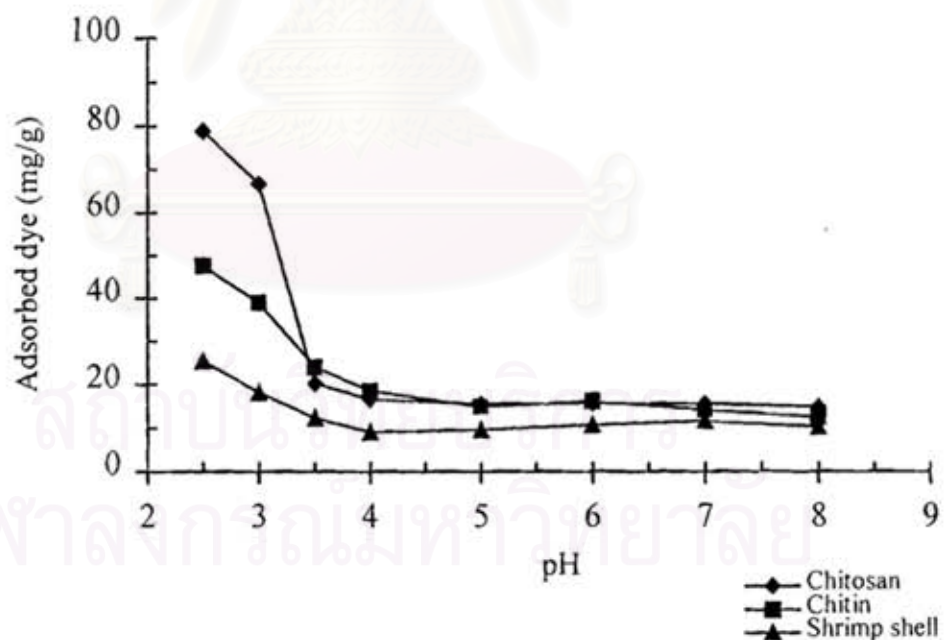
สีแอมโมเนียมจะถูกดูดซับบนไคติน ไคโตแซน และเปลือกกุ้งได้ในปริมาณที่สูงมากในสารละลายที่มีพีเอชเป็นกรด เพราะประจุลบของหมู่ ซัลโฟเนต ($-SO_3^-$) ทำปฏิกิริยากับประจุบวกของหมู่แอมโมเนียม ($-NH_3^+$) ที่อยู่ในเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน ทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาระหว่างประจุ (ionic interaction) ของสีข้อมและตัวดูดซับ ปริมาณสีแอมโมเนียมที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับแต่ละชนิดในสารละลายที่มีพีเอชเป็นด่าง จะต่ำกว่าปริมาณสีแอมโมเนียมที่ถูกดูดซับในสารละลายที่มีพีเอชเป็นกรด เพราะจะเกิดแรงผลักรันระหว่างประจุลบของหมู่ซัลโฟเนตและหมู่เบสิกแอมโมเนียม

สีรีแอกทีฟ นอกจากจะประกอบด้วยหมู่ซัลโฟเนตแล้ว ยังประกอบด้วยหมู่รีแอกทีฟอยู่ในโมเลกุล ซึ่งชนิดของหมู่รีแอกทีฟจะเป็นตัวกำหนดระดับความว่องไวของปฏิกิริยา⁹ สีรีแอกทีฟจะถูกดูดซับบนตัวดูดซับได้ในปริมาณสูงมากในสารละลายที่มีพีเอชเป็นกรด เนื่องจากเกิดแรงปฏิกิริยาระหว่างประจุของหมู่ซัลโฟเนตและหมู่แอมโมเนียม ในทำนองเดียวกันกับสีแอมโมเนียม และพันธะโควาเลนต์ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างหมู่รีแอกทีฟของสีข้อม หมู่อะเซตามิโดและหมู่แอมโมเนียมของตัวดูดซับ¹⁰ ปริมาณสีรีแอกทีฟที่ถูกดูดซับในสารละลายที่มีพีเอชเป็นด่าง จะต่ำกว่าปริมาณสีรีแอกทีฟที่ถูกดูดซับในสารละลายที่มีพีเอชเป็นกรด

สีไคเร็กซ์เป็นสีโพสิทีฟที่ประกอบด้วยหมู่กรดซัลโฟเนต โครงสร้างโมเลกุลของสีไคเร็กซ์จะคล้ายกับสีแอมโมเนียมและสีรีแอกทีฟ แต่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่า แรงกระทำที่สำคัญระหว่างสีไคเร็กซ์และตัวดูดซับ ได้แก่ พันธะไฮโดรเจน พันธะไฮโดรเจน และแรงแวนเดอร์วาลส์¹¹ การดูดซับของสีไคเร็กซ์บนไคโตแซนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่พีเอชต่ำกว่า 3.5 ดังแสดงในรูปที่ 4.10 การดูดซับของสีไคเร็กซ์บนไคตินและเปลือกกุ้งจะมีแนวโน้มคล้ายกัน แต่ต่างกันที่จะมีปริมาณสีที่ถูกดูดซับน้อยกว่าไคโตแซน ความสามารถในการดูดซับสีไคเร็กซ์ที่แตกต่างกันระหว่างตัวดูดซับชนิดต่างๆ เป็นผลเนื่องมาจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่แอมโมเนียมของไคโตแซนและหมู่กรดซัลโฟเนตของสีไคเร็กซ์ ในไคตินก็มีหมู่แอมโมเนียม

อยู่ในโมเลกุลเช่นเดียวกัน แต่หมู่อะมิโนในไคตินจะมีจำนวนน้อยกว่าในไคโตแซน ที่พีเอชสูงกว่า 4 สี่ไคเร็กซ์ที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับทุกชนิดมีปริมาณค่อนข้างคงที่

อย่างไรก็ตาม การใช้ไคโตแซนเป็นตัวดูดซับที่พีเอชต่ำกว่า 3 จะมีข้อจำกัดเป็นอย่างมากเพราะไคโตแซนสามารถละลายได้ นอกจากนี้ผลการทดลองในรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่ามีสี C.I. Acid Red 360 บางส่วนตกตะกอนหรือจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนอยู่ในสารละลายที่มีพีเอชต่ำกว่า 3.5 ด้วยเหตุผลดังกล่าวพีเอช 4 จึงเป็นพีเอชที่เหมาะสมในการศึกษาการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 C.I. Reactive Red 158 และ C.I. Direct Red 80



รูปที่ 4.10 ผลของพีเอชต่อการดูดซับสี C.I. Direct Red 80

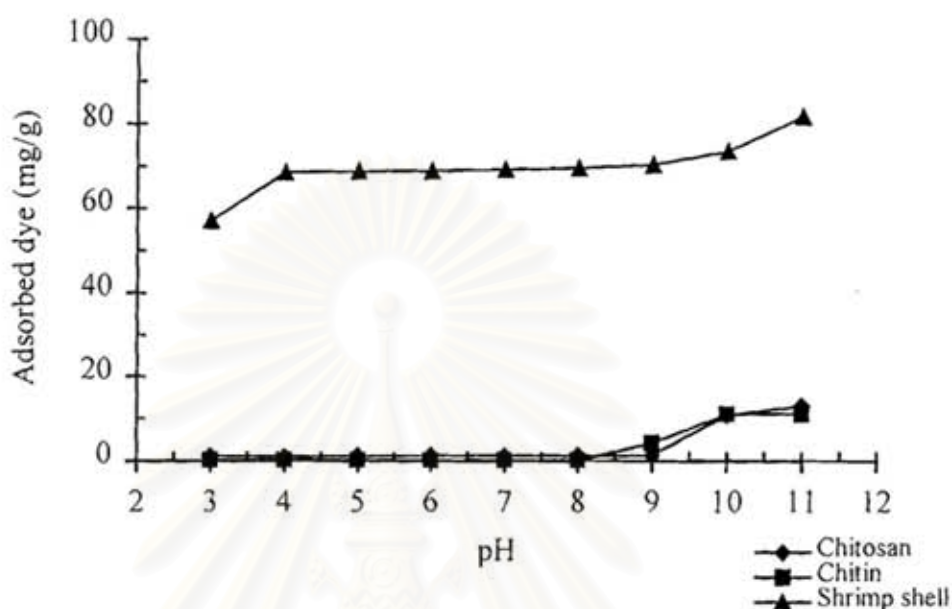
รูปที่ 4.11 เปลือกกุ้งสามารถดูดซับสี C.I. Basic Red 24 ได้ดีกว่าไคตินและไคโตแซนตลอดช่วงพีเอชที่ศึกษา สี C.I. Basic Red 24 จะมีประจุบวกของ Trimethyl-ammonium groups ($-N^+(CH_3)_3$) อยู่ในโมเลกุล ส่วนในเปลือกกุ้งประกอบด้วย ไคติน 15-20% โปรตีน 25-40% และแคลเซียมคาร์บอเนต 40-55% ในสารละลายที่เป็นด่าง หมู่คาร์บอกซิลิกจะแตกตัวให้ประจุลบบนเปลือกกุ้ง ($RCOO^-$) ซึ่งจะเกิดพันธะไอออนิกกับประจุบวกของสีเบสิก

ส่วนในสารละลายที่มีพีเอชเป็นกรด จะเกิดปฏิกิริยาในทางกลับกัน กล่าวคือหมู่เอมิโนในไคตินและเปลือกกุ้งจะรับโปรตอน แล้วเกิดเป็นประจุบวก (RNH^+) จึงเกิดแรงผลักดันระหว่างประจุบวกของสีเบสิกและประจุบวกของไคตินและโปรตีนในเปลือกกุ้ง

ในทางตรงกันข้าม สีเบสิกจะดูดซับบนไคตินและไคโตแซนที่มีประจุบวกของหมู่แอมโมเนียม ($-NH_3^+$) ได้ต่ำมาก เนื่องจากเกิดการผลักดันระหว่างประจุบวกของสีและตัวดูดซับ

อย่างไรก็ตามการดูดซับของสีข้อมและตัวดูดซับทั้งสามชนิดอาจเกิดจากแรงกระทำชนิดต่างๆ⁸⁸ ระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับและตัวดูดซับ ซึ่งแรงกระทำเหล่านั้นอาจได้แก่ พันธะไอออนิก พันธะโควาเลนต์ แรงไฮโดรโฟบิก พันธะไฮโดรเจน และแรงแวนเดอร์วาลส์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



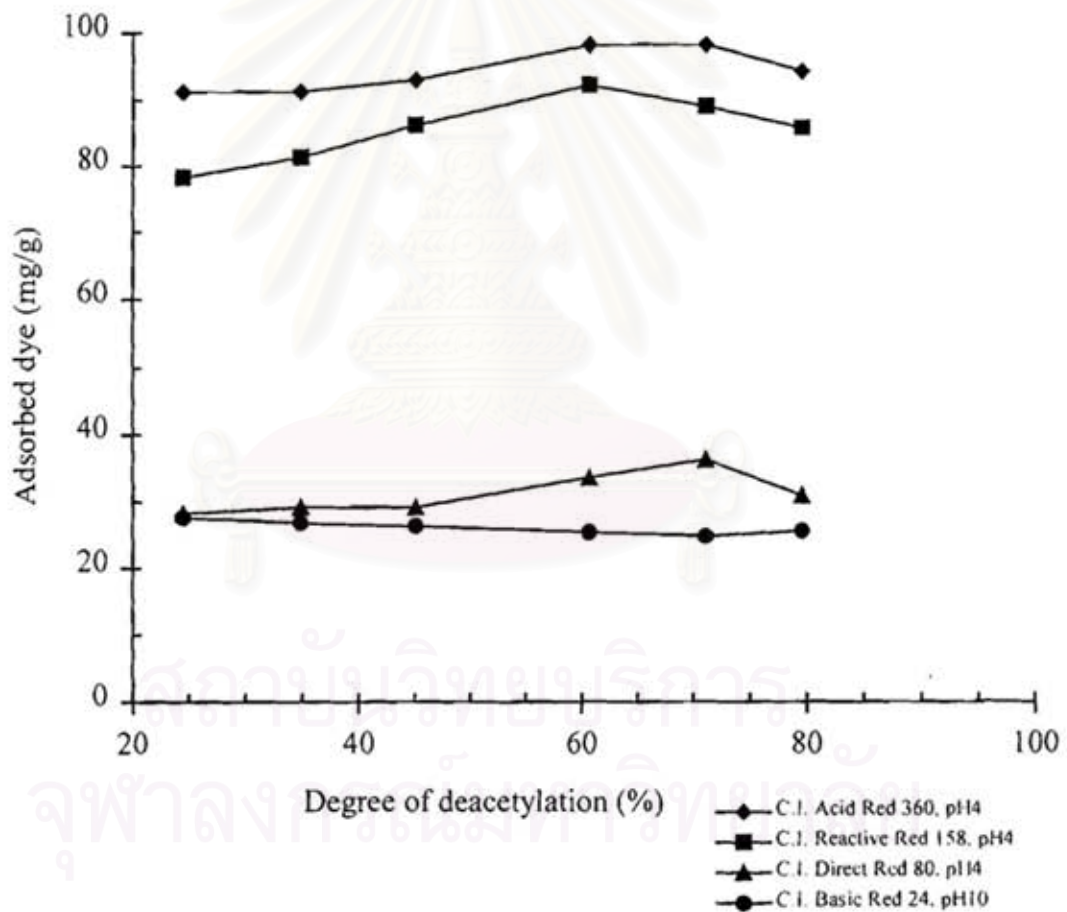
รูปที่ 4.11 ผลของพีเอชต่อการดูดซับสี C.I. Basic Red 24

4.9.2 ผลของคิรืออฟดีอะเซทิลเลชัน

ผลของคิรืออฟดีอะเซทิลเลชันของไคโตแซนต่อความสามารถในการดูดซับสีข้อม ดังแสดงในรูปที่ 4.12 การดูดซับของสีแอซิด สิริแอคทีฟ และสีโคเร็คบนตัวดูดซับได้ทำการดูดซับที่พีเอช 4 เป็นเวลา 1 5 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการดูดซับสี ส่วนสีเบสิกได้ทำการดูดซับที่พีเอช 10 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ไคโตแซนที่มีค่าคิรืออฟดีอะเซทิลเลชัน 71.08% จะดูดซับสีแอซิดและสีโคเร็คได้ในปริมาณสูงสุด ส่วนไคโตแซนที่มีค่าคิรืออฟดีอะเซทิลเลชัน 60.71% และ 24.48% จะดูดซับสีริแอคทีฟและสีเบสิกได้ในปริมาณสูงสุด ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อคิรืออฟดีอะเซทิลเลชัน เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของตำแหน่งที่เกิดพันธะไอออนิก สำหรับสีเบสิก ปริมาณของสีที่ถูกดูดซับจะค่อนข้างคงที่เมื่อค่าคิรืออฟดีอะเซทิลเลชันเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการผลักรันระหว่างประจุบวกของสีย้อม และตัวดูดซับ



รูปที่ 4.12 ผลของคิรืออฟดีอะเซทิลเลชันต่อการดูดซับของสีย้อม

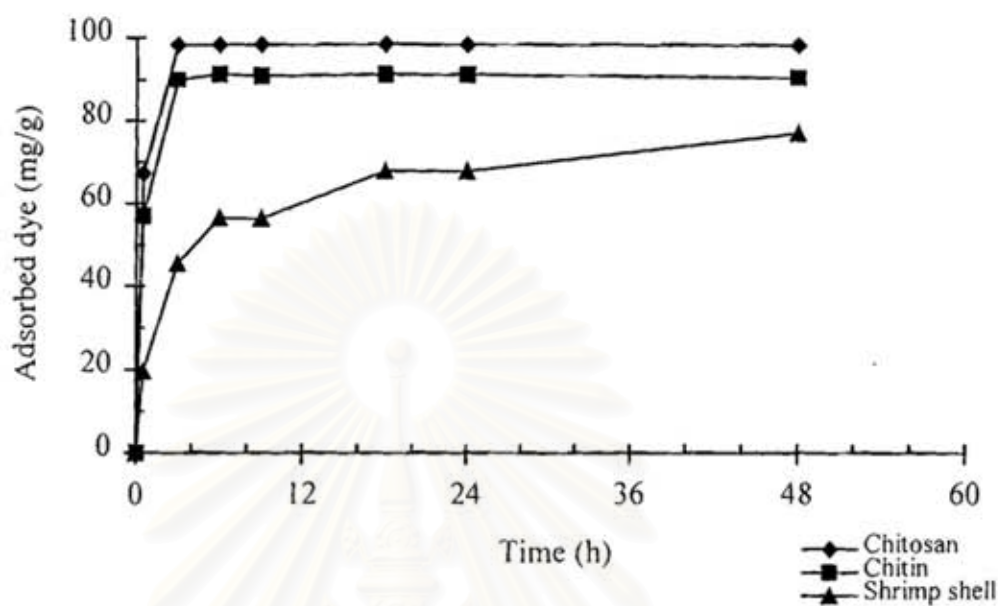
4.9.3 ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับของสีย้อม

ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับของสีย้อมบนไคติน ไคโตแซน และเปลือกกุ้ง ที่พีเอชที่กำหนด และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ถึง 4.16

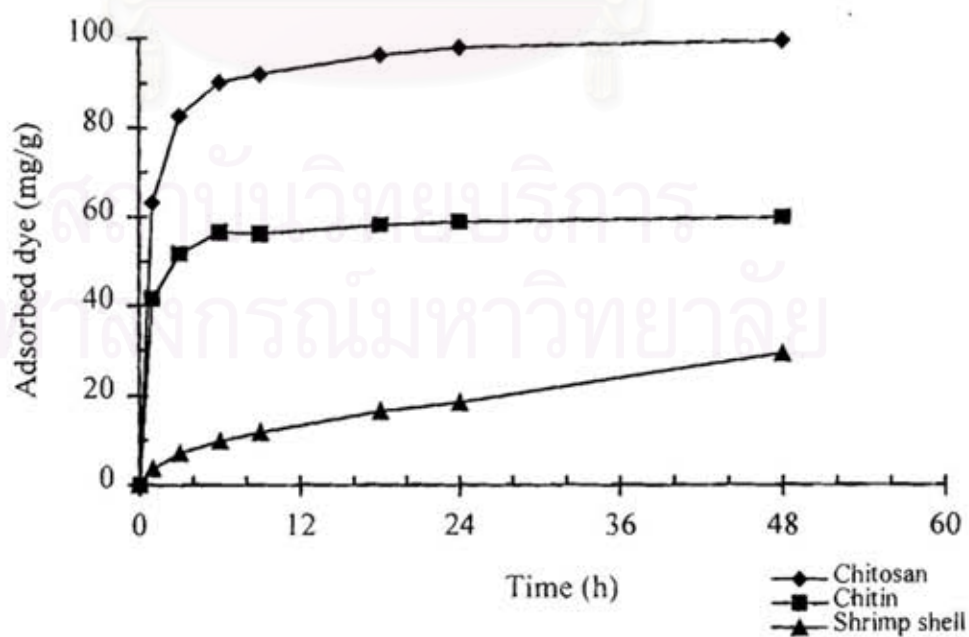
ที่พีเอช 4 การดูดซับสี C.I. Acid Red 360 บนไคตินและไคโตแซนถึงจุดสมดุลรวดเร็วมากและเกือบคงที่ภายในเวลา 18 ชั่วโมง ในขณะที่อัตราเร็วของการดูดซับสีย้อมบนเปลือกกุ้งค่อนข้างช้ากว่าไคตินและไคโตแซน อัตราเร็วของการดูดซับสี C.I. Reactive Red 158 บนไคตินและไคโตแซนที่พีเอช 4 จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 3 ชั่วโมง และหลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ส่วนเปลือกกุ้งจะดูดซับสีได้ช้ากว่าไคตินและไคโตแซน อัตราเร็วของการดูดซับสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 4 และสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 10 บนตัวดูดซับทุกชนิดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 1 และ 3 ชั่วโมงตามลำดับ และหลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ พบว่าการใช้เปลือกกุ้งเป็นตัวดูดซับและแช่ในสารละลายสีย้อมเป็นเวลานานเกิน 24 ชั่วโมง จะเกิดกลิ่นเนื่องจากการหมัก ดังนั้น การศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับและการคายการดูดซับของสีย้อมจะใช้ระยะเวลาในการดูดซับเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (นอกจากจะระบุเป็นอย่างอื่น)

4.9.4 ผลของขนาดอนุภาคของตัวดูดซับต่อการดูดซับของสีย้อม

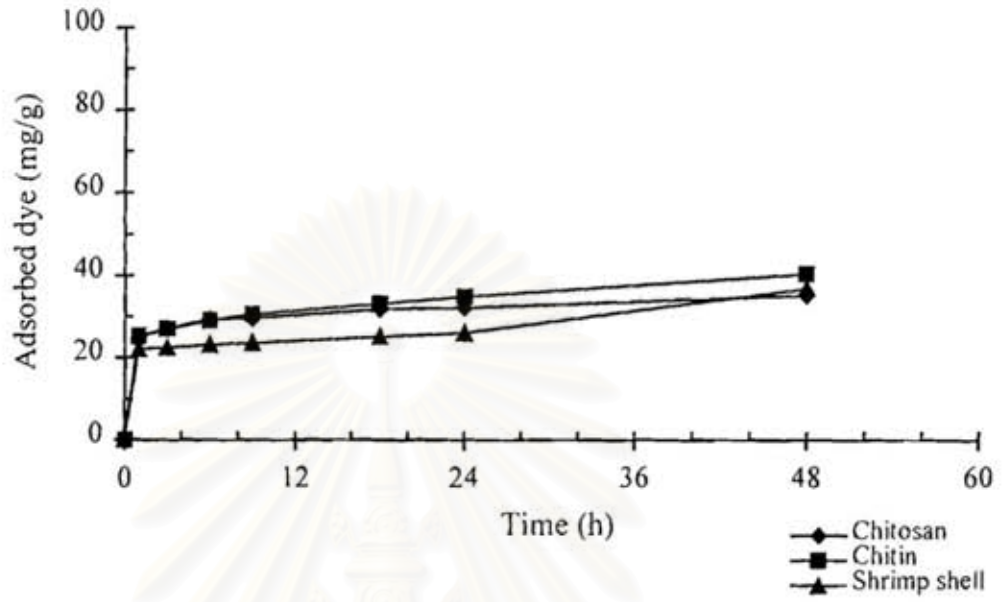
รูปที่ 4.17 ถึง 4.20 แสดงถึงผลของขนาดอนุภาคของตัวดูดซับต่อการดูดซับของสีย้อม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่พีเอชและระยะเวลาการดูดซับที่กำหนด ขึ้นอยู่กับความขาก่ง่ายของการดูดซับ พบว่าความสามารถในการดูดซับสีย้อมทั้งสี่ชนิดบนตัวดูดซับทุกชนิด จะลดลงเล็กน้อยเมื่ออนุภาคของเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนมีขนาดเพิ่มขึ้น ในการศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับและการคายการดูดซับของสีย้อมจะใช้ตัวดูดซับที่มีขนาดอนุภาค 0.425 - 0.710 มิลลิเมตร



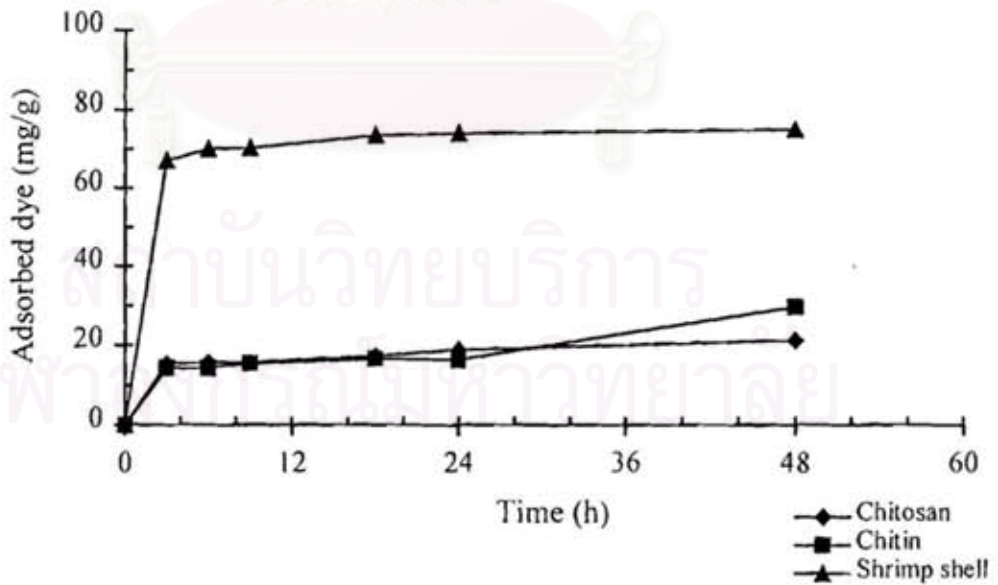
รูปที่ 4.13 ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 4



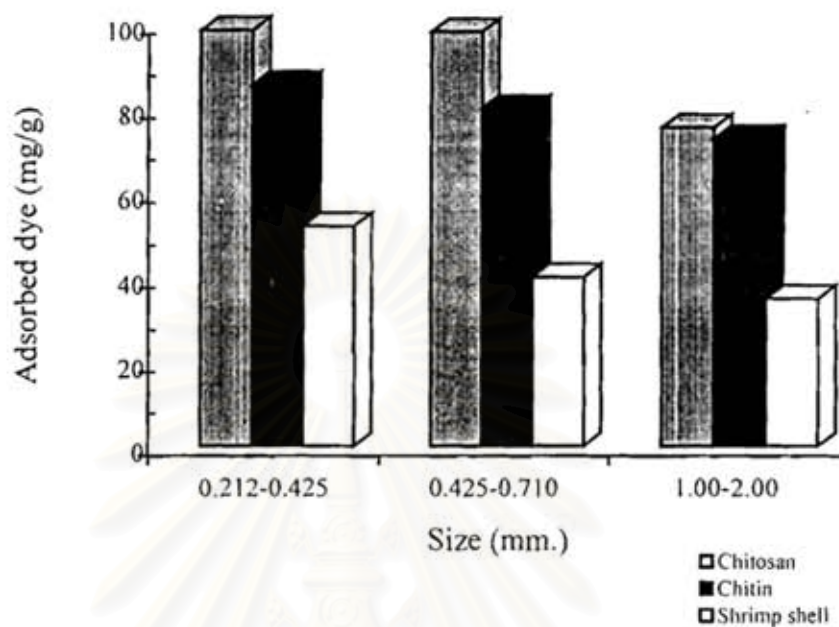
รูปที่ 4.14 ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 4



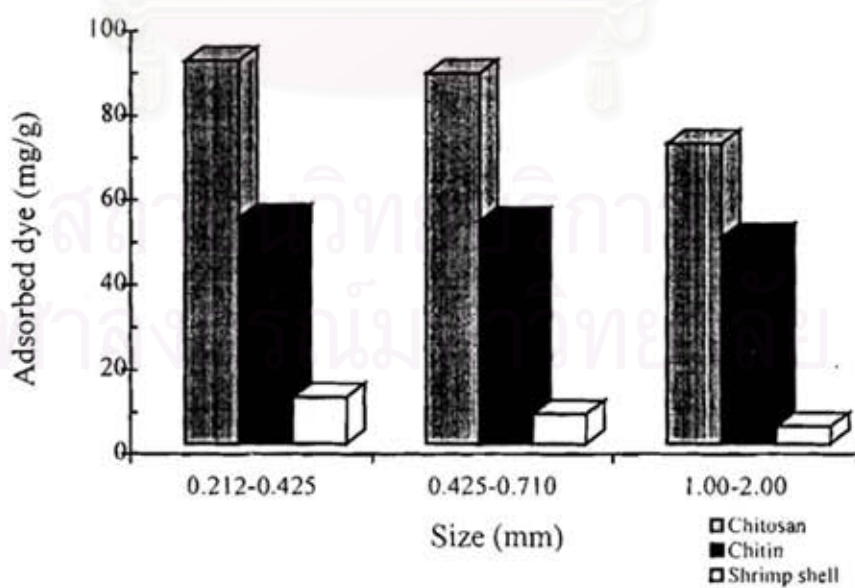
รูปที่ 4.15 ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับสี C.I.DirectRed 80 ที่พีเอช 4



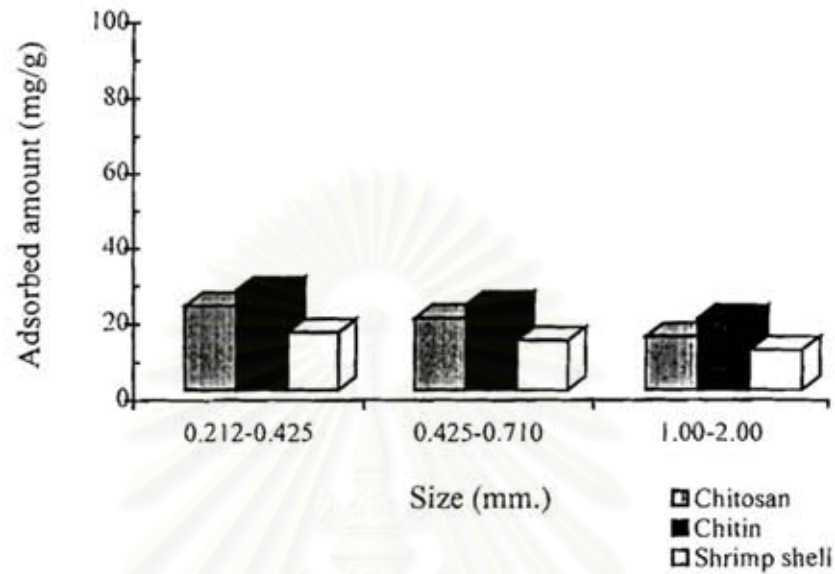
รูปที่ 4.16 ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับสี C.I.BasicRed 24 ที่พีเอช 10



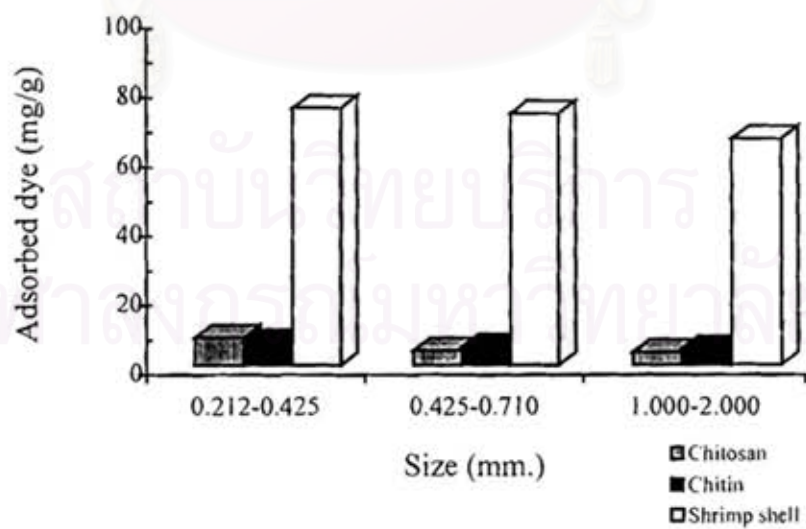
รูปที่ 4.17 ผลของขนาดอนุภาคของตัวดูดซับต่อการดูดซับสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 4 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 4.18 ผลของขนาดอนุภาคของตัวดูดซับต่อการดูดซับสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 4 เป็นเวลา 5 ชั่วโมง



รูปที่ 4.19 ผลของขนาดอนุภาคของตัวดูดซับต่อการดูดซับสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 4 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.20 ผลของขนาดอนุภาคของตัวดูดซับต่อการดูดซับสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 10 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

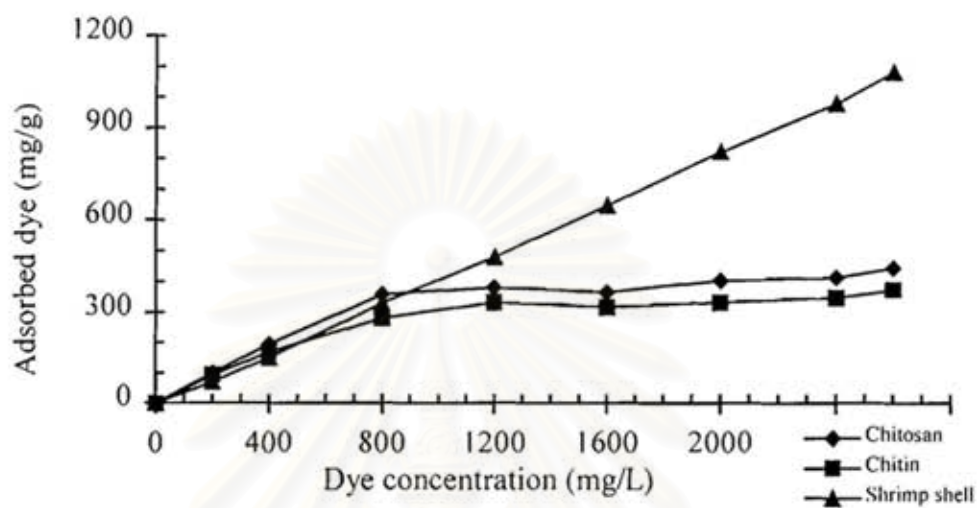
4.9.5 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีต่อการดูดซับของสี

ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีต่อการดูดซับสีบนไคติน ไคโตแซน และเปลือกกุ้งดังแสดงในรูปที่ 4.21 ถึง 4.32 ปริมาณของสี C.I. Acid Red 360 ที่ถูกดูดซับบน ไคตินและไคโตแซนที่พีเอช 4 จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสีตั้งแต่ 0 ถึง 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.21) ปริมาณสีที่ถูกดูดซับจะเริ่มคงที่เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสีสูงกว่า 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ในกรณีของการดูดซับสีบนเปลือกกุ้ง พบว่าปริมาณของสีที่ถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสีตั้งแต่ 0 ถึง 2600 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการดูดซับของสีแอซิดบนเปลือกกุ้งจะสูงกว่าไคตินและไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสีสูงกว่า 800 มิลลิกรัมต่อลิตร

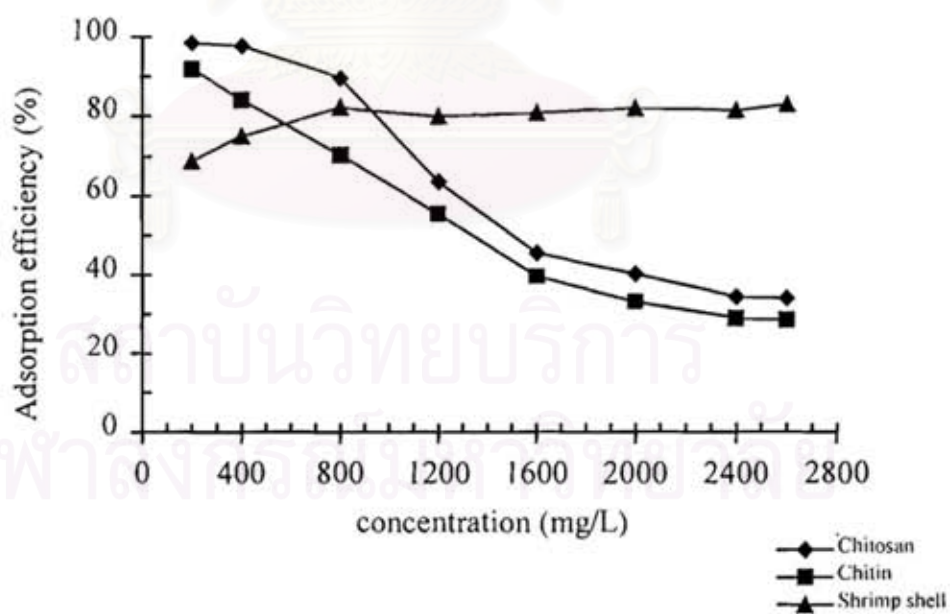
ที่พีเอช 4 ปริมาณของสี C.I. Reactive Red 158 ที่ถูกดูดซับบนไคโตแซนจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสี ประสิทธิภาพการดูดซับของสีบนไคโตแซนจะสูงกว่าไคตินและเปลือกกุ้ง พบว่าความสามารถในการดูดซับของสีรีแอคทีฟบนตัวดูดซับเหล่านี้ที่พีเอช 3 จะสูงกว่าที่พีเอช 4

ปริมาณและประสิทธิภาพของสี C.I. Direct Red 80 ที่ถูกดูดซับบนไคโตแซนและเปลือกกุ้งที่พีเอช 4 จะมีค่าค่อนข้างต่ำซึ่งแตกต่างจากไคติน และจะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสีที่พีเอช 4 จะต่ำกว่าที่พีเอช 3 มาก ปริมาณของสีที่ถูกดูดซับบนเปลือกกุ้งและไคตินจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสีที่พีเอช 3 ซึ่งแตกต่างจากไคโตแซนที่ปริมาณของสีที่ถูกดูดซับจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสีสูงกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

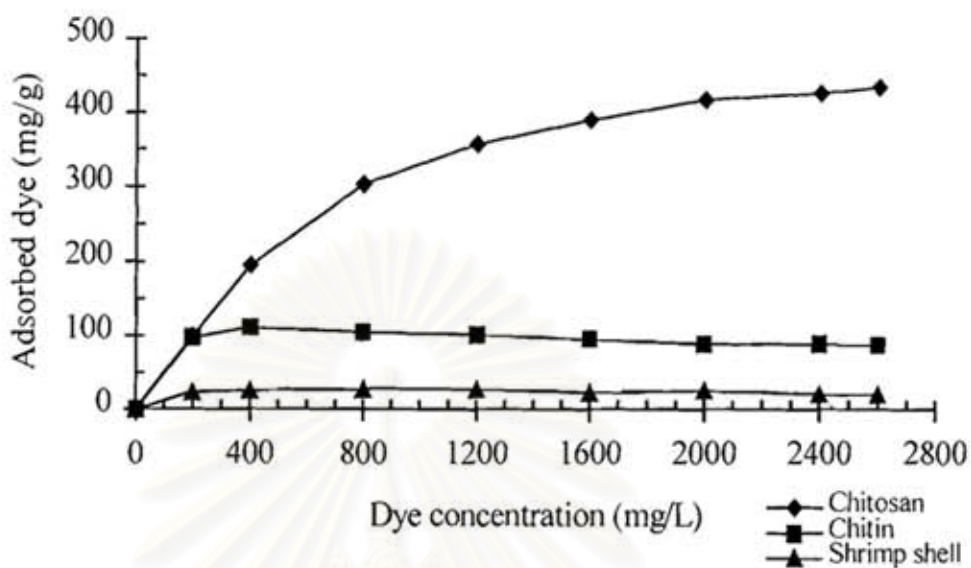
การดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 10 จะมีแนวโน้มคล้ายกับสีแอซิดและสีรีแอคทีฟแต่สิ่งที่แตกต่างกันก็คือ ปริมาณและประสิทธิภาพของสีที่ถูกดูดซับบนเปลือกกุ้ง จะสูงกว่าไคตินและไคโตแซนมาก



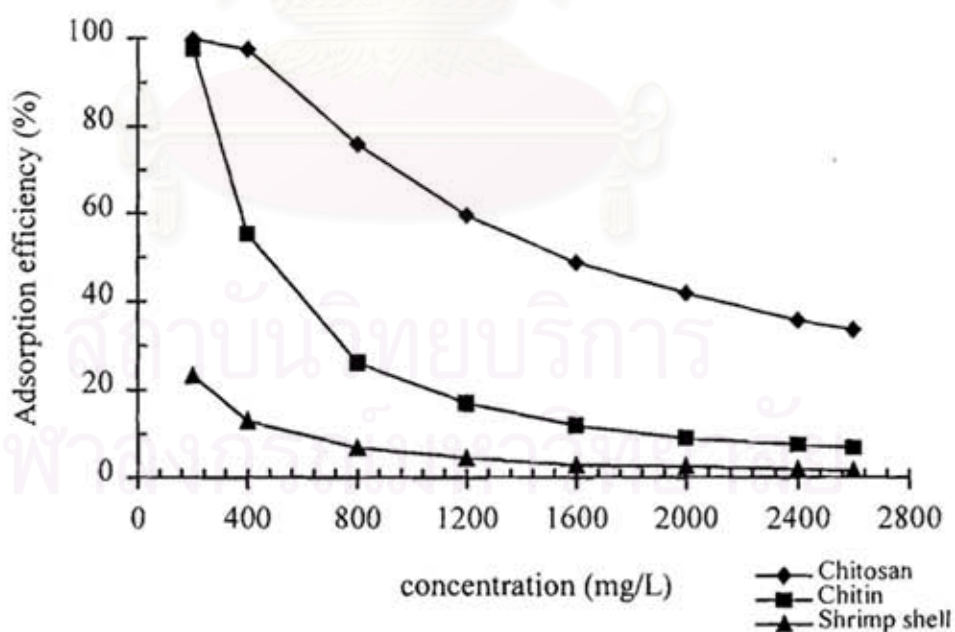
รูปที่ 4.21 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อปริมาณการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 4



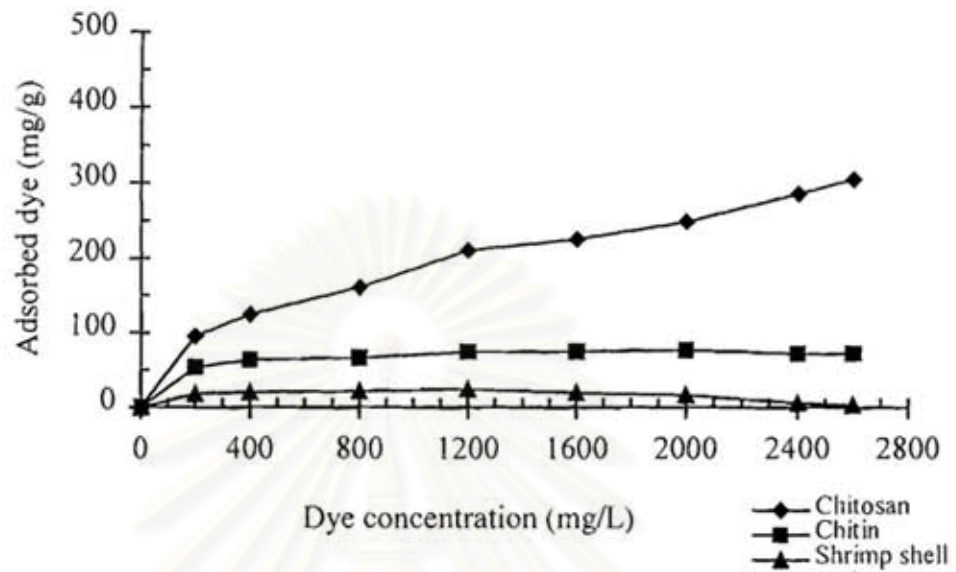
รูปที่ 4.22 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 4



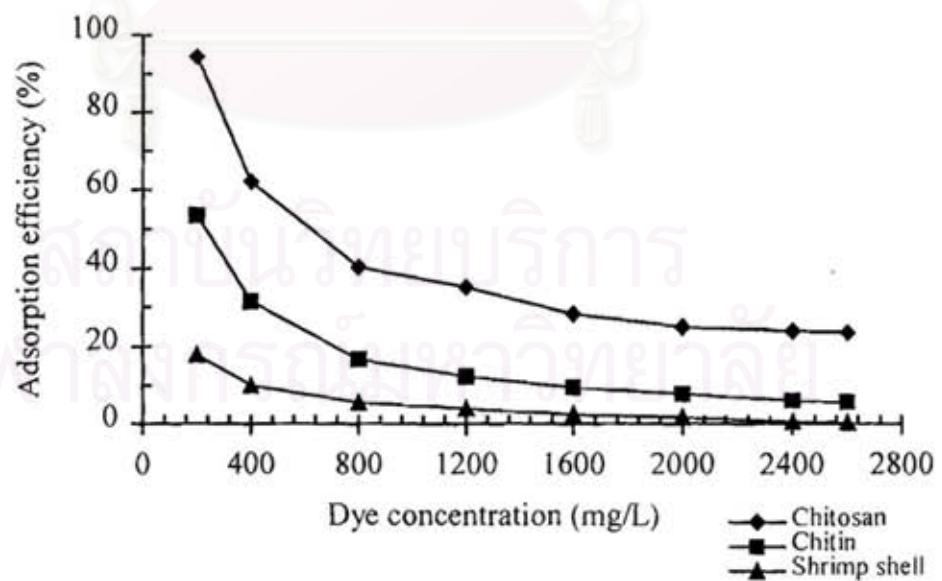
รูปที่ 4.23 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อปริมาณการดูดซับของสี C.I.Reactive Red 158 ที่พีเอช 3



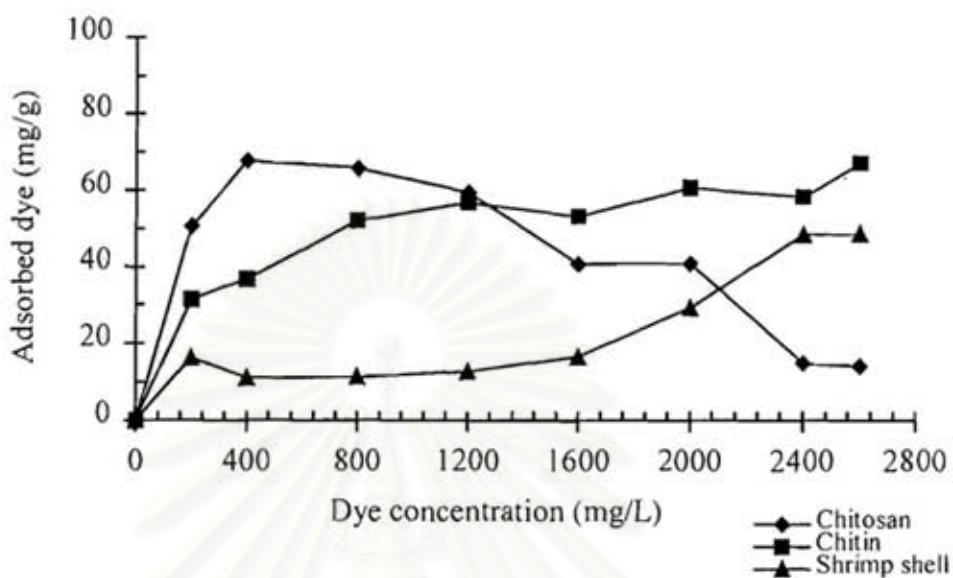
รูปที่ 4.24 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการดูดซับของสี C.I.Reactive Red 158 ที่พีเอช 3



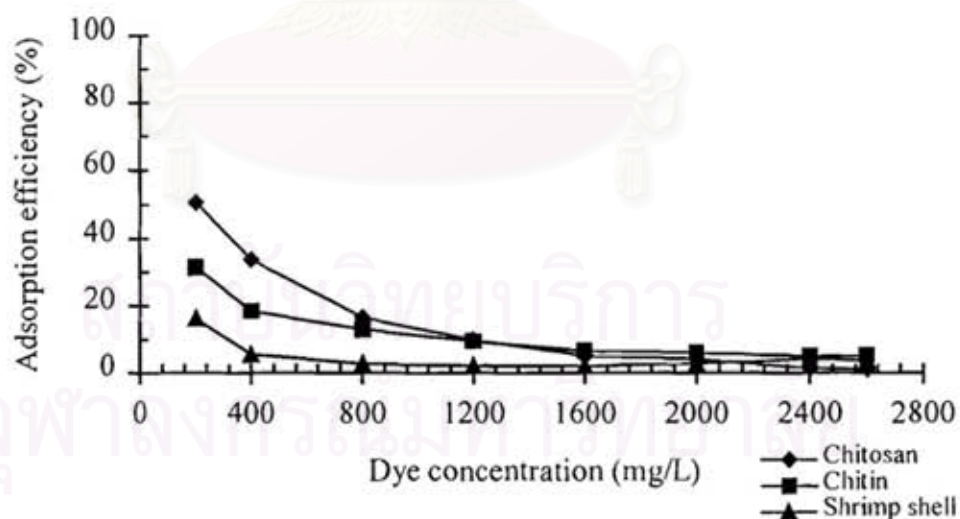
รูปที่ 4.25 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อปริมาณการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 4



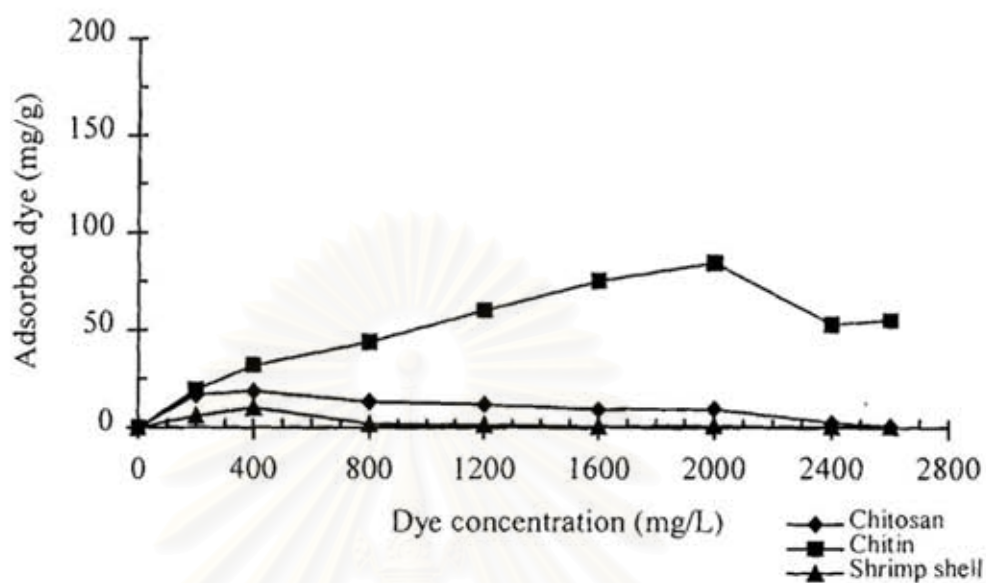
รูปที่ 4.26 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 4



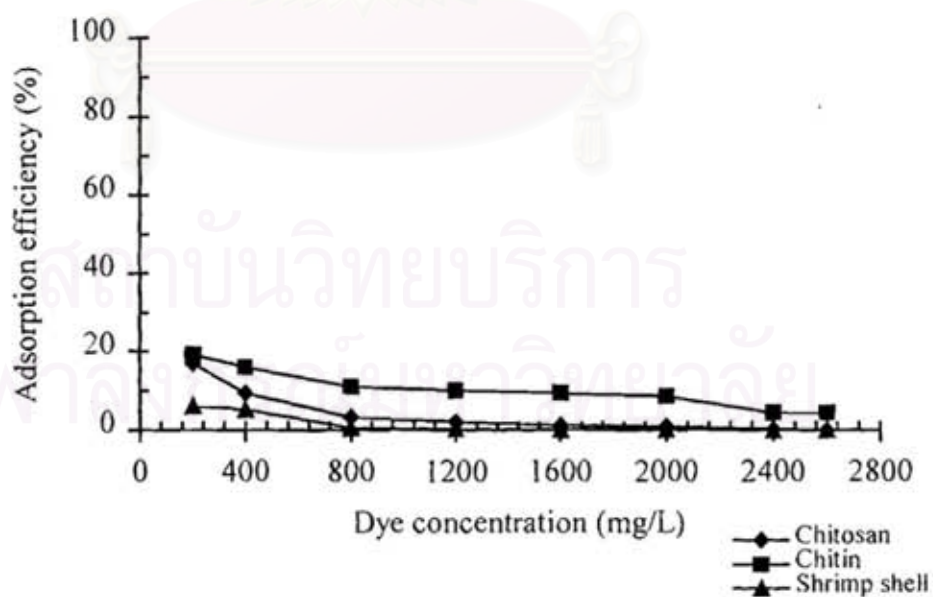
รูปที่ 4.27 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อปริมาณการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 3



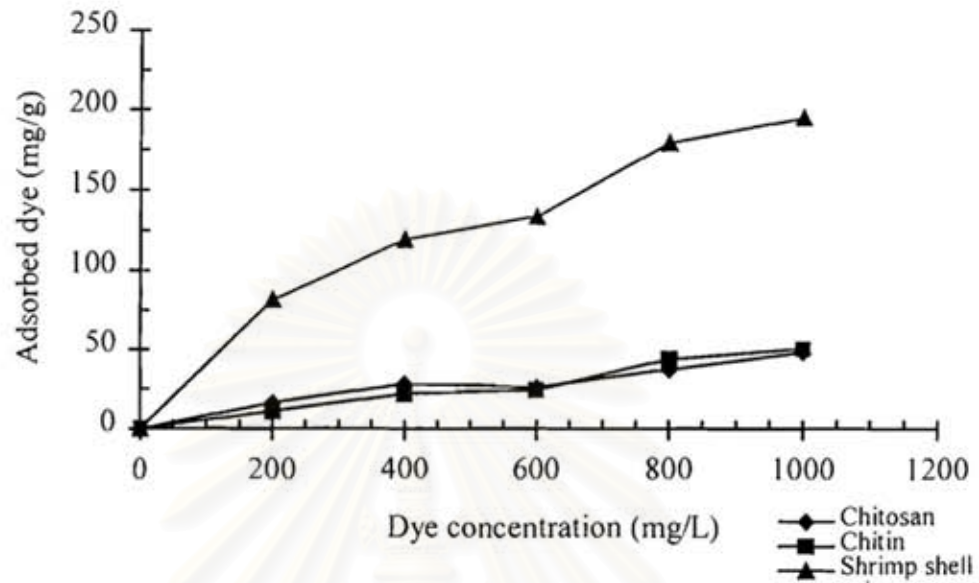
รูปที่ 4.28 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 3



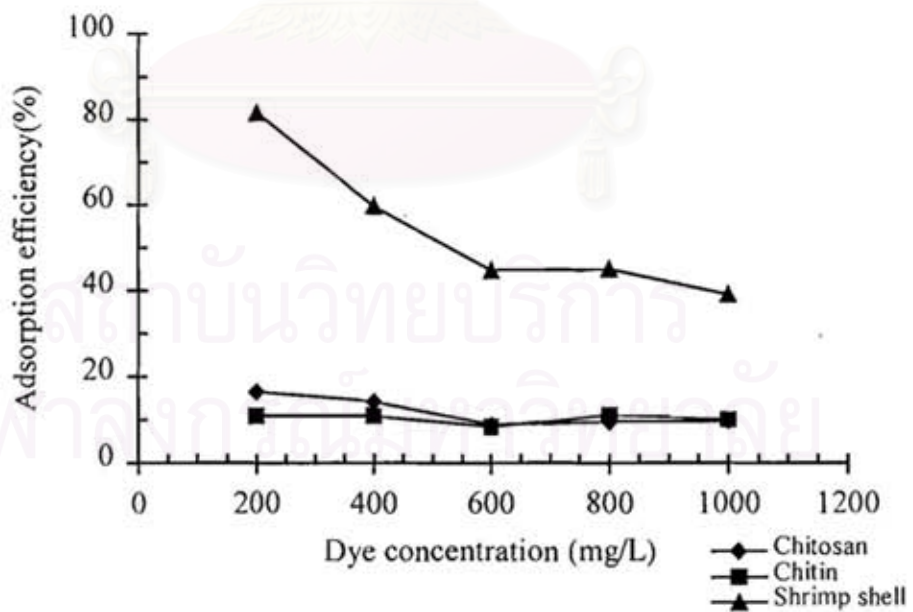
รูปที่ 4.29 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อปริมาณการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 4



รูปที่ 4.30 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 4



รูปที่ 4.31 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อปริมาณการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 10



รูปที่ 4.32 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 10

4.10 การคายการดูดซับของสี้อม

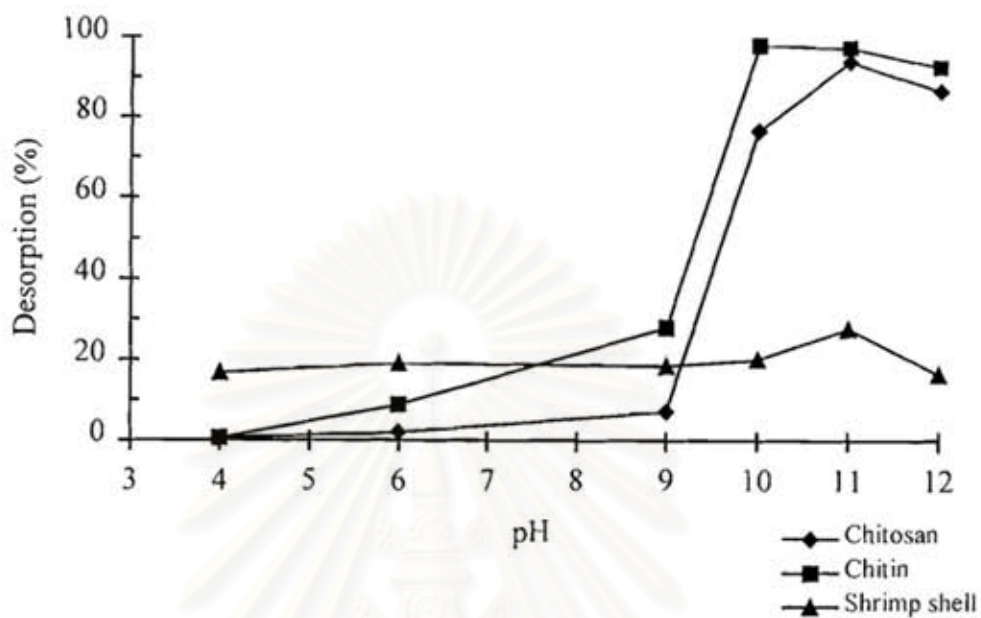
4.10.1 ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี้อม

ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี้อมออกจากตัวดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 4.33 ถึง 4.36 สี้อมทุกชนิดยกเว้นสีเบสิก เกือบจะ ไม่มีการคายการดูดซับออกจากตัวดูดซับเลขที่พีเอชต่ำกว่า 10 และ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการที่สี้อมคายการดูดซับได้ดีที่พีเอชสูงกว่า 10 ก็เนื่องมาจากการเพิ่มพีเอชจะทำให้ปริมาณของหมู่ $-NH_3^+$ ในเปลือกหุ้ม ไคติน และไคโตแซนลดลง ผลที่ตามมาคือ จะทำให้เกิดการคายการดูดซับของสี้อมออกจากตัวดูดซับ⁽¹⁹⁾

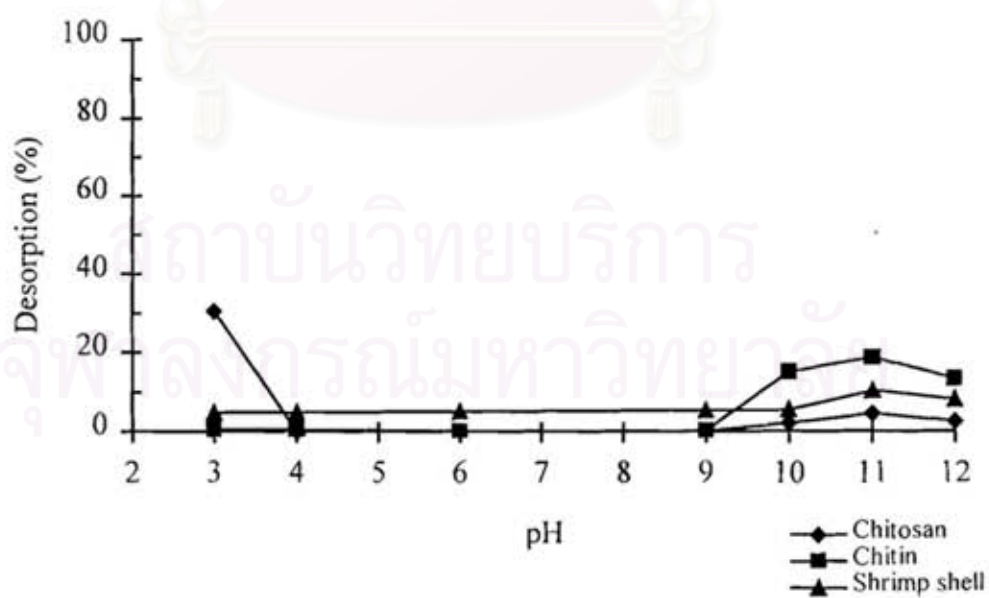
เป็นที่น่าสังเกตว่าสี C.I. Acid Red 360 ซึ่งสามารถถูกดูดซับได้ดีที่สุด ก็จะสามารถคายการดูดซับได้ดีที่สุดเช่นเดียวกัน ส่วนสี C.I. Reactive Red 158 ก็จะสามารถคายการดูดซับได้น้อยที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสถียรของพันธะอนไอออนิกที่พีเอชต่างๆ พบว่าการคายการดูดซับของสี้อมออกจากไคโตแซนที่พีเอช 3 จะมีค่าสูงเกินคาด สาเหตุอาจเนื่องมาจากไคโตแซนสามารถละลายน้ำได้ที่พีเอช 3 ผลที่ตามมาคือสีจะถูกปล่อยออกสู่สารละลายเพิ่มขึ้น

4.10.2 ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี้อม

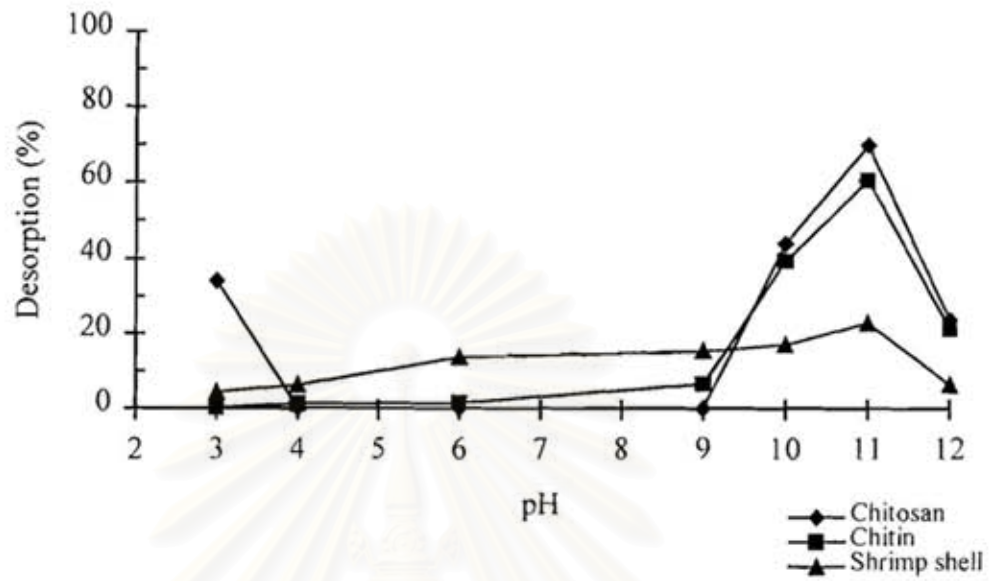
ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี้อมออกจากตัวดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 4.37 ถึง 4.40 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 80 องศาเซลเซียส จะทำให้ประสิทธิภาพการคายการดูดซับสูงขึ้น เนื่องจากการที่อุณหภูมิและพีเอชสูงขึ้นจะทำให้ตัวดูดซับเกิดการพองตัว และทำให้โมเลกุลของสี้อมสามารถหลุดออกสู่สารละลายได้ง่ายยิ่งขึ้น⁽¹⁹⁾



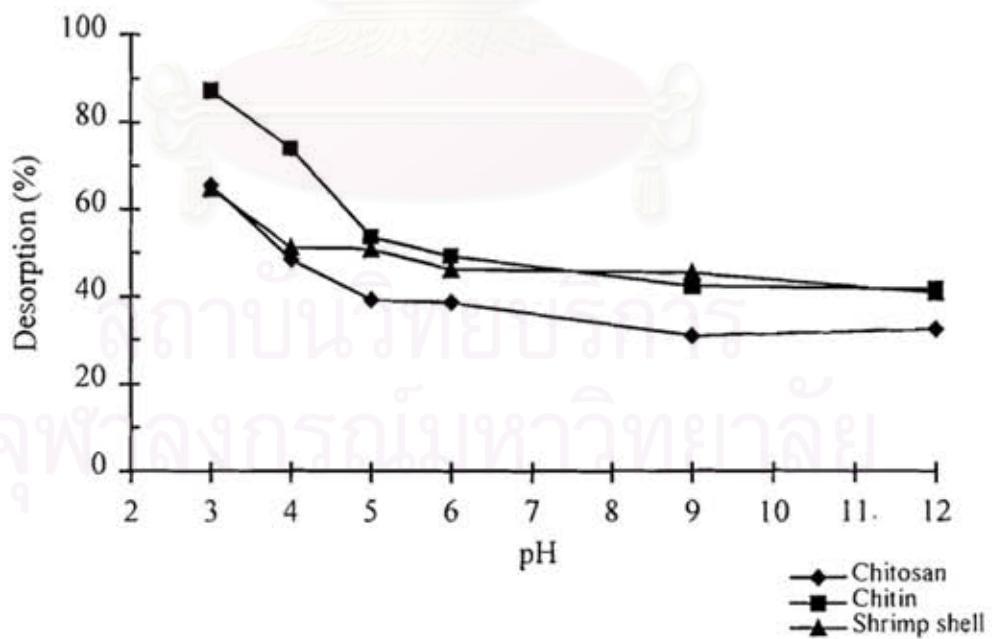
รูปที่ 4.33 ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360



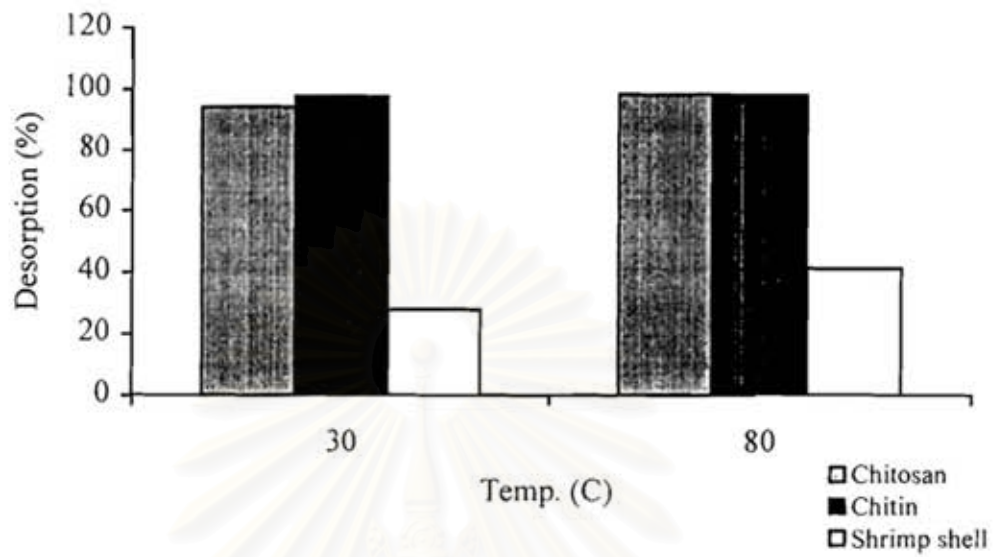
รูปที่ 4.34 ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158



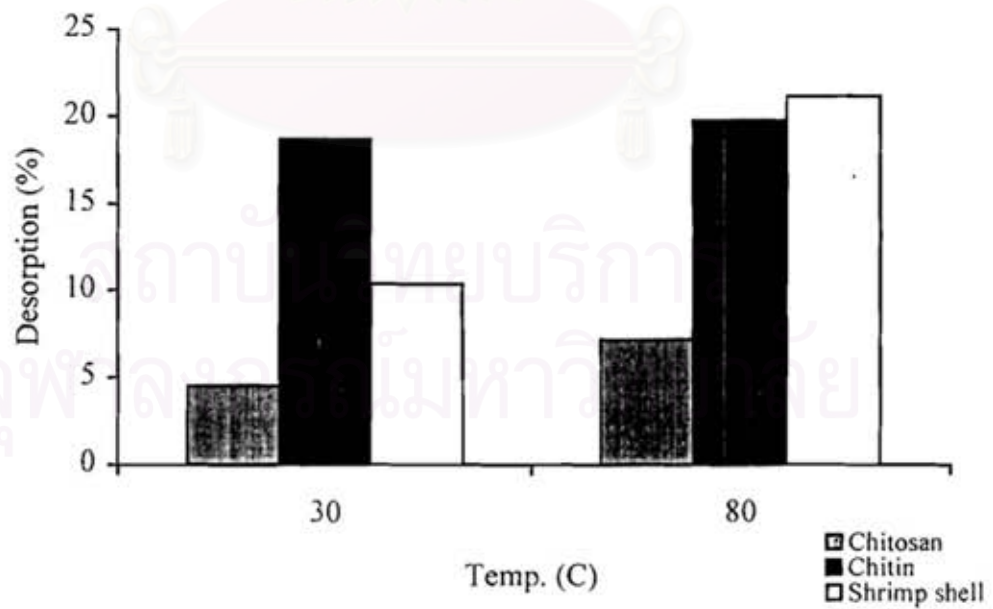
รูปที่ 4.35 ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80



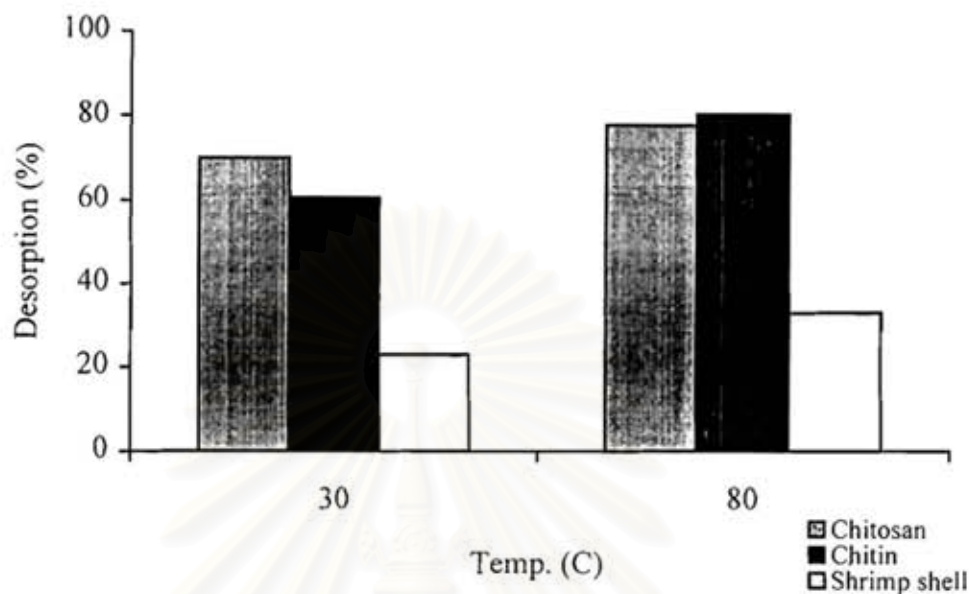
รูปที่ 4.36 ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24



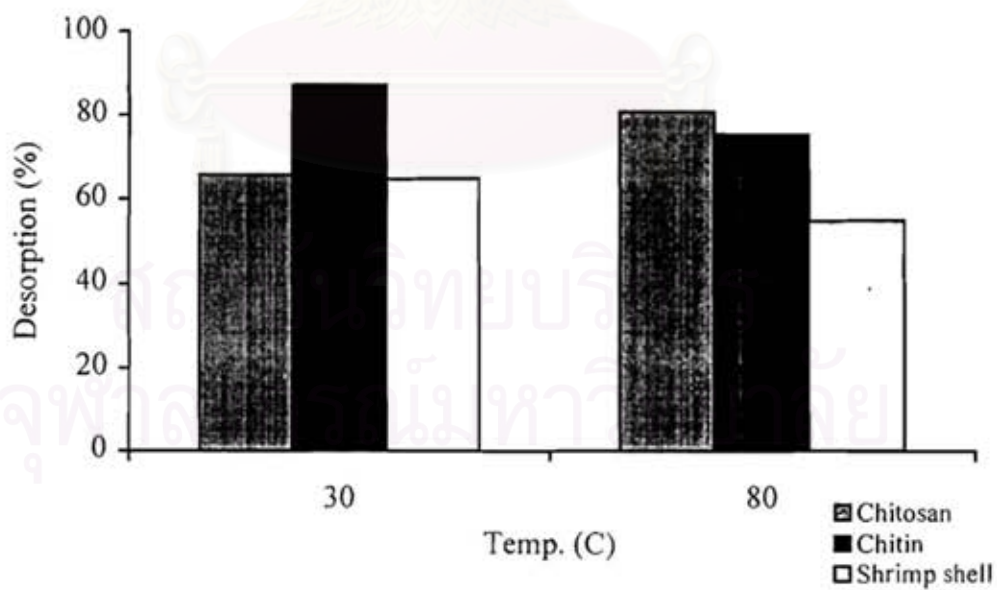
รูปที่ 4.37 ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 11



รูปที่ 4.38 ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 11



รูปที่ 4.39 ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 11



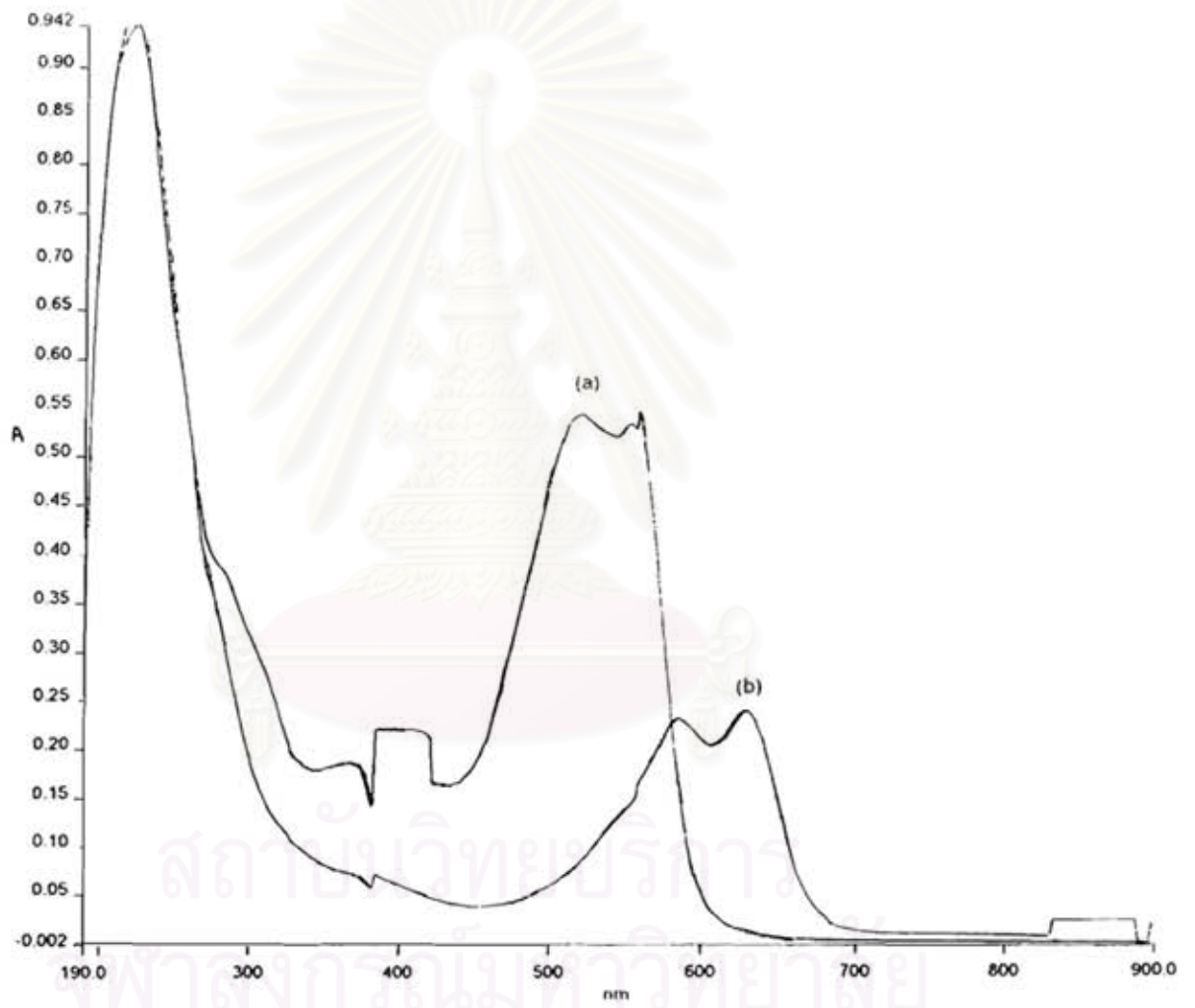
รูปที่ 4.40 ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 3

4.11 การกำจัดสีออกจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ

ผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์ในการสุ่มตัวอย่างน้ำทิ้ง จากท่อระบายน้ำของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอประเภทสีแอสิด สีรีแอคทีฟ สีไคเร็ก และสีเบสิก รวมทั้งสิ้นจำนวน 9 ตัวอย่างจากโรงงานของบริษัท 4 แห่ง ได้แก่ บริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด บริษัทนากุลพิมพ์ย้อม จำกัด บริษัทศิลปเสณีพาณิชย์ จำกัด และบริษัทโกลเด้นไทยอินดัสตรี จำกัด UV/VIS spectra ของน้ำทิ้งที่มีสีย้อมดังกล่าวได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.41 ถึง 4.44 ส่วนค่า λ_{max} และค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำทิ้งสีย้อมได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 ปริมาณสีที่ถูกกำจัดออกจากน้ำทิ้งซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{max} ของน้ำทิ้งแต่ละชนิดนั้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7

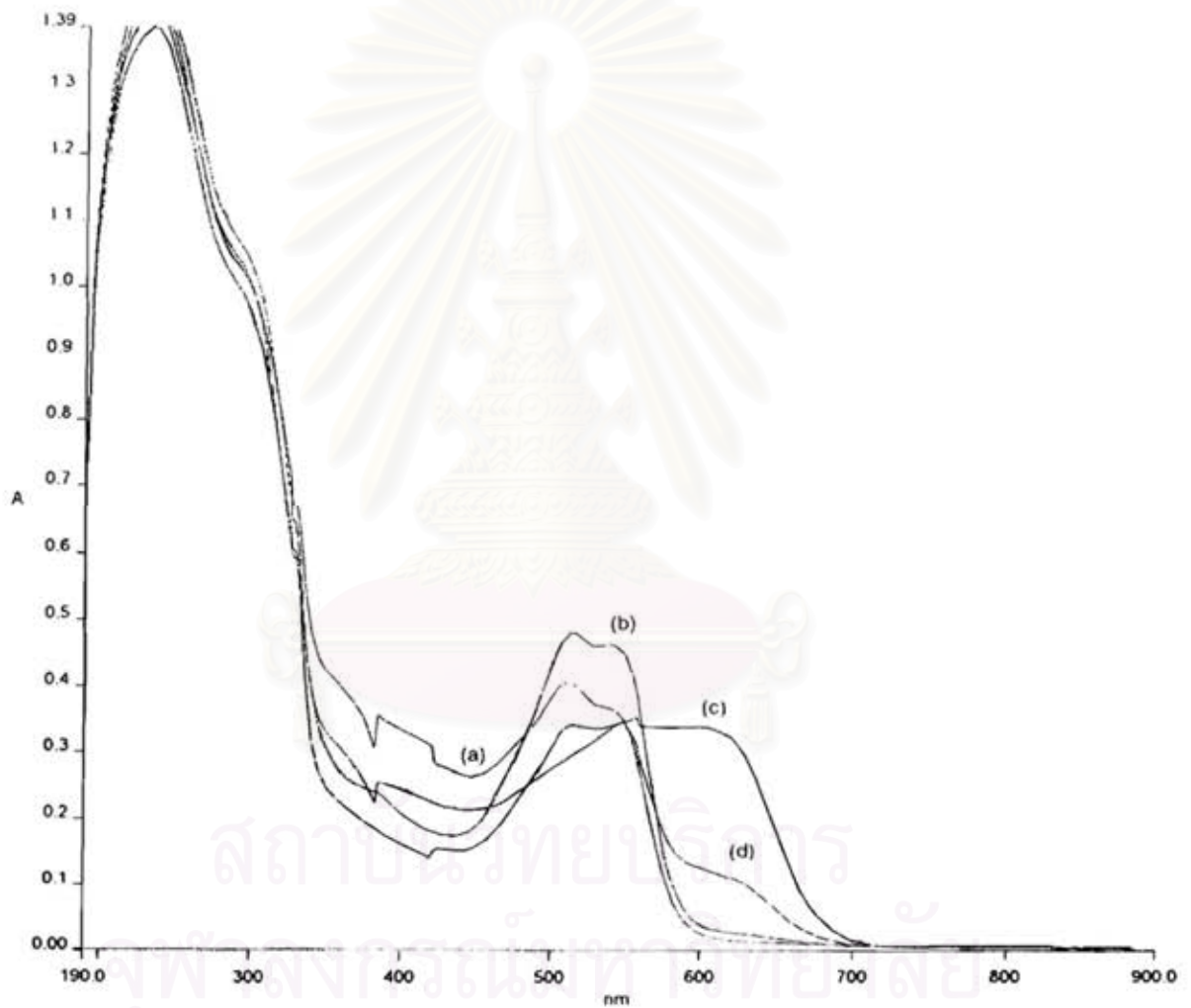
เป็นที่น่าสังเกตว่า ถึงแม้ในตัวอย่างน้ำทิ้งจะมีสีย้อมประเภทเดียวกัน แต่ก็ยังให้ค่า λ_{max} ที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าสีย้อมในน้ำทิ้งเหล่านั้นประกอบด้วย โครโมฟอร์ชนิดต่างๆ กัน นอกจากนี้ในน้ำทิ้งที่มีสีแอสิดและสีเบสิกจะมีพีเอชเป็นกรด ส่วนสีรีแอคทีฟและสีไคเร็กจะมีพีเอชเป็นด่าง พบว่าการกำจัดสีออกจากตัวอย่างน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ ก็ให้ผลในทำนองเดียวกันกับผลการทดลองกำจัดสีในตัวอย่างน้ำทิ้งที่สังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการ

สีแอสิดหมายเลข IAF และ 2AF สีรีแอคทีฟหมายเลข 1TK และ 2TK และสีไคเร็กหมายเลข ISN จะถูกโคโคแซนดูดซับได้ดีที่สุด โดยถูกดูดซับได้ในปริมาณ 71.94 16.50 61.16 60.76 และ 94.04 % โดยน้ำหนัก ส่วนสีรีแอคทีฟหมายเลข 3TK และ 4TK จะถูกโคโคแซนดูดซับได้ดีที่สุด โดยถูกดูดซับได้ในปริมาณ 82.12 และ 59.39 % โดยน้ำหนัก สีเบสิกหมายเลข 1GT และ 2GT จะถูกเปลือกกุ้งดูดซับได้ดีที่สุด โดยถูกดูดซับได้ในปริมาณ 43.09 และ 21.87% โดยน้ำหนัก



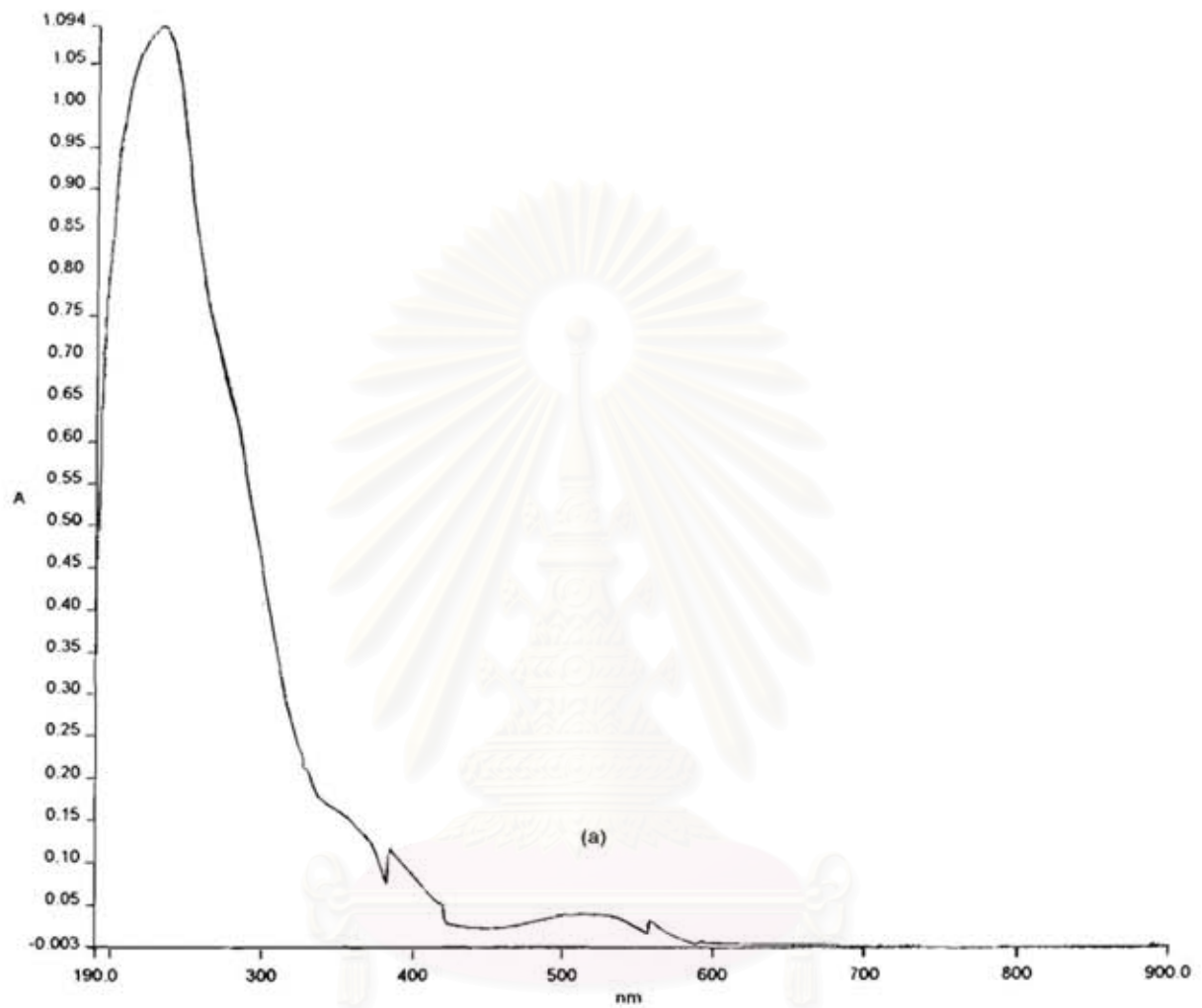
รูปที่ 4.41 UV/VIS spectra ของสีแอมโมเนียในน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมของ บริษัทเอเชียไฟเบอร์ จำกัด

(a) 1 AF (b) 2 AF

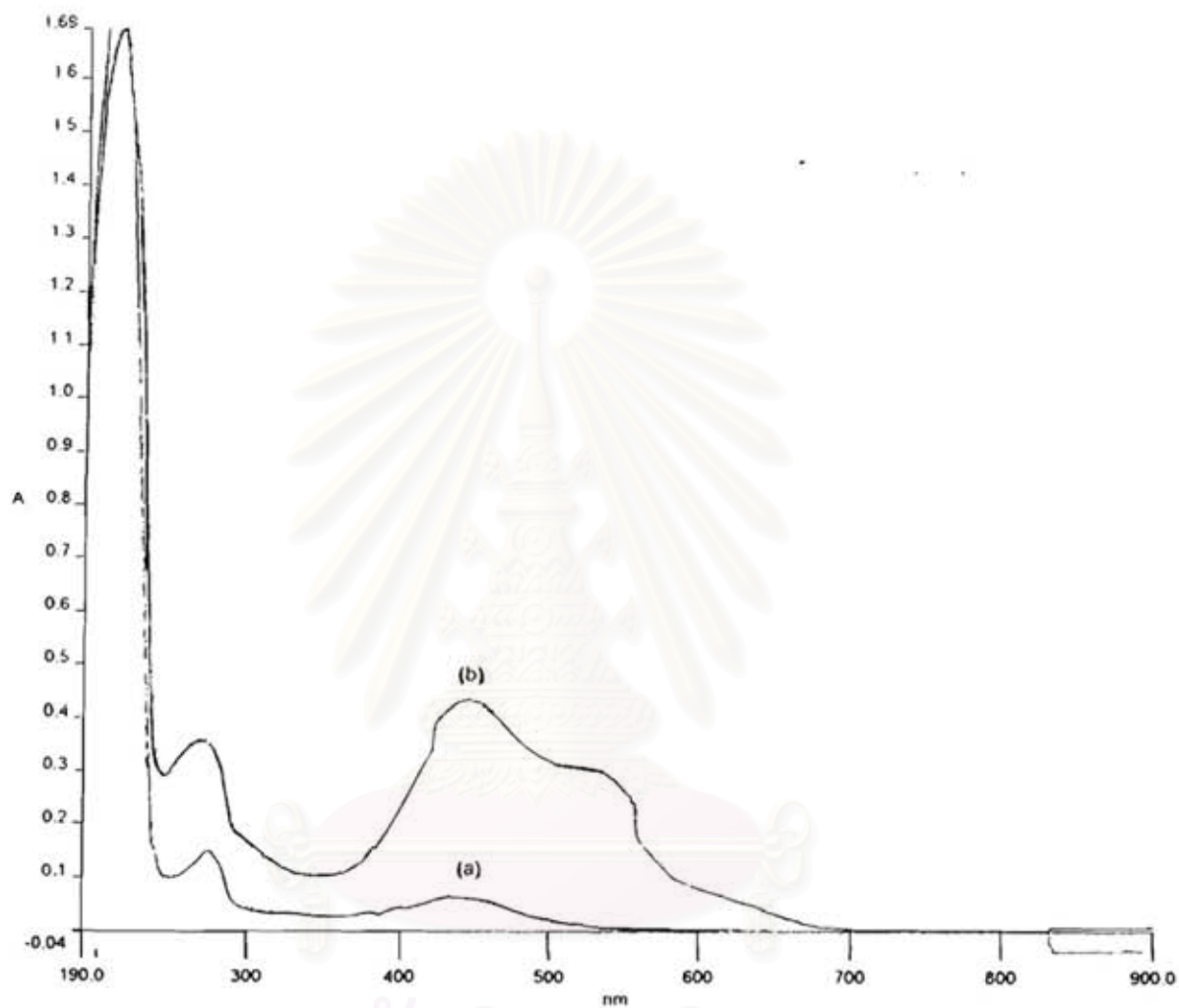


รูปที่ 442 UV/VIS spectra ของทิตริแอกไซด์ในน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมของบริษัทนากุลพิมพ์ย้อม จำกัด

(a) 1TK (b) 2TK (c) 3TK (d) 4TK



รูปที่ 4.43 UV/VIS spectra ของทีโคธีคในน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมของบริษัทศิลปเสนาพาณิชย์ จำกัด
(a) ISN



รูปที่ 444 UV-VIS spectra ของสีเม็ดสี โคน้ำที่ฝังโรงงานฟอกย้อมของ บริษัท โกลด์น ไทยอินดัสตรี จำกัด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
(a) 1GT (b) 2GT

ตารางที่ 4.6 λ_{\max} และพีเอชเริ่มต้นของน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ

Type of dye	Sampling date	Sample no.	λ_{\max} (nm)	Initial pH	Appearance
Acid dye*	18/3/2000	1 AF	522	4.64	Deep red turbid solution
		2 AF	630	4.89	Sky blue nearly clear solution
Reactive dye**	17/3/2000	1 TK	514	10.51	Deep red turbid solution
		2 TK	512	10.54	Deep orange-red turbid solution
		3 TK	516	10.40	Deep violet turbid solution
		4 TK	556	10.31	Deep blue turbid solution
Direct dye***	19/3/2000	1 SN	516	9.93	Light orange turbid solution
Basic dye†	15/3/2000	1 GT	434	4.95	Deep orange red turbid solution
		2 GT	444	4.53	Dark blue turbid solution

* Asia Fiber Co.,Ltd.

** Tanakul Textile Printing and Dyeing Co.,Ltd.

*** Sinsaene Co.,Ltd.

† Golden Thai Industries Co.,Ltd.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ปริมาณสีที่ถูกกำจัดออกจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยใช้ตัวดูดซับชนิดต่างๆ

Type of dye	Sample no.	Dye removal (% w/w)		
		Shrimp shells	Chitin	Chitosan
Acid dye	1 AF	13.54	12.93	71.94
	2 AF	4.29	0.90	16.50
Reactive dye	1 TK	20.88	59.76	61.16
	2 TK	20.72	58.31	60.76
	3 TK	31.58	82.12	71.25
	4 TK	20.16	59.39	41.28
Direct dye	1 SN	51.77	80.63	94.04
Basic dye	1 GT	43.09	26.91	19.19
	2 GT	21.87	9.71	8.50

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ



ข้อสรุป

1. ผลของปัจจัยต่างๆ ต่อการดูดซับและการคายการดูดซับสีแอซิด

โคโคเจนเป็นตัวดูดซับที่สามารถดูดซับสี C.I. Acid Red 360 ได้ดีที่สุด โคโคเจนที่มีค่าดีกรีออฟดีอะเซทิลเลขชั้น 71.08 % จะดูดซับสีได้สูงสุดที่พีเอช 5 หรือต่ำกว่า ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีแอซิดไม่ควรเกิน 800 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการดูดซับสีข้อมจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในสามชั่วโมง สีแอซิดสามารถคายการดูดซับจากไคตินและโคโคเจนได้ประมาณ 98 % ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และพีเอช 10 หรือสูงกว่า โคโคเจนสามารถกำจัดสีแอซิดออกจากน้ำทิ้งหมายเลข 1AF และ 2AF ได้ประมาณ 72 % และ 16 % โดยกำจัดสีได้ในปริมาณที่มากกว่าไคตินและเปลือกกุ้ง

2. ผลของปัจจัยต่างๆ ต่อการดูดซับและการคายการดูดซับสีรีแอคทีฟ

โคโคเจนที่มีค่าดีกรีออฟดีอะเซทิลเลขชั้น 60.71% เป็นตัวดูดซับที่ดีที่สุดสำหรับสี C.I. Reactive Red 158 สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับจะมีพีเอช 5 หรือต่ำกว่า ระยะเวลาการดูดซับไม่ต่ำกว่า 9 ชั่วโมง ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีข้อมอาจสูงถึง 2,600 มิลลิกรัมต่อลิตร สีรีแอคทีฟสามารถคายการดูดซับออกจากตัวดูดซับทุกชนิดได้น้อยมาก แม้ว่าจะทดลองที่อุณหภูมิสูงถึง 80 องศาเซลเซียส และพีเอช 11 โคโคเจนสามารถกำจัดสีรีแอคทีฟในน้ำทิ้งหมายเลข 1TK และ 2TK ได้ดีที่สุด ในปริมาณที่เท่ากันทั้งสองตัวอย่างคือ 61% ส่วนไคตินสามารถกำจัดสีรีแอคทีฟในน้ำทิ้งหมายเลข 3TK และ 4TK ได้ดีที่สุดคือประมาณ 82 % และ 59 %

3. ผลของปัจจัยต่างๆ ต่อการดูดซับและการคายการดูดซับสีโคเร็ค

โคโคแชนที่มีค่าดีกรีออฟดีอะเจทิลเลชัน 71.08 % สามารถดูดซับสี C.I. Direct Red 80 ได้ดีที่พีเอช 3 หรือต่ำกว่า ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีโคเร็คอาจสูงถึง 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีข้อมชนิดนี้สามารถคายการดูดซับออกจากโคโคแชนได้ประมาณ 77 % ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และพีเอช 11 โคโคแชนสามารถกำจัดสีโคเร็คออกจากน้ำทิ้งได้สูงถึง 94 %

4. ผลของปัจจัยต่างๆ ต่อการดูดซับและการคายการดูดซับสีเบติก

เปลือกกุ้งสามารถดูดซับสี C.I. Basic Red 24 ได้ดีที่สุดที่พีเอช 10 หรือสูงกว่า อัตราการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในสามชั่วโมง ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีข้อมอาจสูงถึง 2,600 มิลลิกรัมต่อลิตร สีเบติกสามารถคายการดูดซับออกจากโคโคตินได้ในปริมาณที่สูงกว่าโคโคแชนและเปลือกกุ้ง กล่าวคือประมาณ 75 % ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และพีเอช 3 นอกจากนี้เปลือกกุ้งยังสามารถกำจัดสีเบติกออกจากน้ำทิ้งได้ดีที่สุด โดยกำจัดสีออกจากน้ำทิ้งหมายเลข 1GT และ 2GT ได้ประมาณ 43 % และ 21 %

5. ผลของขนาดอนุภาคของตัวดูดซับต่อการดูดซับสีข้อม

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณสีข้อมทุกชนิดที่ถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่ออนุภาคของตัวดูดซับทุกชนิดมีขนาดเล็กลง

กล่าวโดยสรุปได้ว่า เมื่อนำตัวดูดซับทั้งสามชนิดมาใช้งานจริงในห้องปฏิบัติการ พบว่าตัวดูดซับแต่ละชนิดสามารถกำจัดสีออกจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกข้อมสิ่งทอได้ดี และประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะขึ้นอยู่กับชนิดของสีข้อมในน้ำทิ้ง

ข้อเสนอแนะ

การนำไคติน ไคโตแซน และเปลือกกุ้ง มาใช้เป็นตัวดูดซับชีวภาพในงานวิจัยนี้แม้ว่าจะสามารถดูดซับสีได้ผลดี แต่ก็ยังมีปัจจัยหลายประเด็นที่น่าสนใจและจะต้องศึกษาเพิ่มเติม ดังนี้

1. ควรทำการวิเคราะห์ลักษณะและรูปร่าง (Morphological characterization) ของไคติน ไคโตแซน และเปลือกกุ้ง ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อศึกษาผลของพื้นผิว รูปร่าง และรูพรุนของตัวดูดซับต่อการดูดซับและการคายการดูดซับของสีข้อม
2. การใช้ไคติน ไคโตแซน และเปลือกกุ้ง ในการดูดซับและคายการดูดซับของสีข้อมจะเสียดำใช้จ่ายค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาถึงวิธีการที่จะนำตัวดูดซับที่ใช้งานแล้วกลับมาใช้งานใหม่ (Adsorbent recycling) เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า
3. ควรมีการศึกษาวิธกำจัดสีออกจากน้ำทิ้งโดยใช้กระบวนการต่อเนื่อง (Continuous process) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติที่จะนำมาใช้งานในระดับโรงงาน



ส่วนอ้างอิง

1. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ, พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
2. สุวรรณี เรืองวิชาโชติ. สิ่งทอไทยสู่คลื่นที่ 3. TTIS Textile Digest 6 (58), (1998) : 22-25.
3. Atkins, M.H., and Lowe, J.F. Case study in pollution control measure in the textile dyeing and finishing industries. New York : Pergamon Press, 1979.
4. Cooper, P. Colour in dyehouse effluent. Oxford : Society of Dyers and Colourists, 1995.
5. The Georgia Prevention Assistance Division. Pollution prevention tips for wet processing textile mills. Georgia, 1998. <http://www.dnr.state.ga.us>
6. Eckenfelder, W.W., Jr. Industrial water pollution control, 2nd. ed. New York : McGraw-Hill, 1989.
7. Venkataraman, K. The analytical chemistry of synthetic dyes. New York : John Wiley & Sons, 1977.
8. Ingamells, W. Colour for textiles : A user's handbook. Oxford : Society of Dyers and Colourists, 1993.
9. Johnson, A. The theory of coloration of textiles, 2nd. ed. West Yorkshier : Society of Dyers and Colourists, 1989.
10. Muzzarelli, R.A.A. Chitin. New York : Pergamon Press, 1977.
11. Wade, L.G., JR. Organic chemistry. New Jersey : Prentice-Hall, 1987.
12. Gebelein, C., and Carraher, C. Biotechnology and bioactive polymers. New York : Plenum Press, 1994.
13. Lin, S.H. Adsorption of dispersed dye by powdered activated carbon J. Chem. Tech. Biotechnol. 57 (1993) : 387-391.

14. Shimizu, Y., Kono, K., Kim, I. S., and Takagishi, T. Effects of added metal ions on the interaction of chitin and partially deacetylated chitin with an azo dye carrying hydroxyl groups. J. Applied Polymer Sci. 55(1995):255-261.
15. Reife, A., and Freeman, H. S. Carbon adsorption of dyes and selected intermediates. In A. Reife and H. S. Freeman (Ed.), Environmental chemistry of dyes and pigments, pp. 3-31. New York : John Wiley and Sons, 1996.
16. อริศรา พุ่มคชา. การศึกษาสารดูดซับร่วมกับสารส้มในการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2539.
17. วิวรรณ ขจรเกียรติคุณ. การใช้ถังกรองดูดซับในการบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอในการบำบัดขั้นสุดท้าย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2539.
18. Juang , R.S., Tseng , R.L., Wu , F.C., and Lee, S.H. Adsorption behavior of reactive dyes from aqueous solutions on chiosan. J. Chem. Tech. Biotechnol. 70 (1997) : 391-399.
19. Kim , C.Y., Choi , H.M., and Cho, H. T. Effect of deacetylation on sorption of dyes and chromium on chitin. J. Appl. Polm. Sci. 63 (6), (1997) : 725-736
20. Colour Index International on CD-ROM (1995).
21. The Society Dyers and Colourists. Colour index. 3rd ed. 9 Vols., 1992.
22. Tokura, S., and Dutkiewicz, J. Chitin and chitin derivatives : Preparations, structures, and properties. Lodz Technical University Press, 1993.

23. Sannan, T., Kurita, K., Ogura, K., and Iwakura, Y. Studies on chitin : 7. Ir. spectroscopic determination of degree of deacetylation. Polymer 19 (1978) : 458-459.
24. Rutherford, F.A., III, and Austin, P. R. Proc. Int. Conf. Chitin/Chitosan 1st(1978) : 182.
25. Lee, V. Solution and shear properties of chitin and chitosan. University Microfilms Ann Arbor 74/29,(1974) : 46.
26. Skoog, D.A. Principles of instrumental analysis. 4th ed. Florida : Saunders College Publishing, 1992 : 123-136.
27. แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ชวนพิมพ์, 2535 : 33-95.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนผนวก ก

การผลิตไคติน

ตารางที่ ก.1 ผลผลิตของไคตินที่ผลิตได้จากเปลือกกุ้ง

Chitin batch no.	Weight of shrimp shells (g)	Weight of chitin (g)	Yield (% w/w)
1	600	163	27.2
2	800	242.5	30.3
3	1000	279	27.9
4	1000	283	28.3
5	1000	276	27.6
6	1000	287	28.7
7	1000	268	26.8

การผลิตไคโตแซน

ตารางที่ ก.2 ผลผลิตของไคโตแซนที่ผลิตได้จากไคติน

Chitosan batch no.	Weight of chitin (g)	Weight of chitosan (g)	Conversion (% w/w)
1	85	66.3	78.0
2	242.5	189.5	78.1
3	279	239	85.7
4	283	215	76.0
5	276	218	79.0

การวิเคราะห์หาค่าดีกรีออฟดีอะเซทิลเลชัน

(Determination of Degree of Deacetylation , DD)

รูปที่ ก.1 เป็น IR spectrum ของไคโตแซน ซึ่งมีแถบการดูดกลืนแสงด้วยวิธี baseline method

สูงสุดที่ 1550 และ 2878 cm^{-1} เท่ากับ 0.1450 และ 0.2700 ค่า DD ของไคโตแซนคำนวณดังนี้

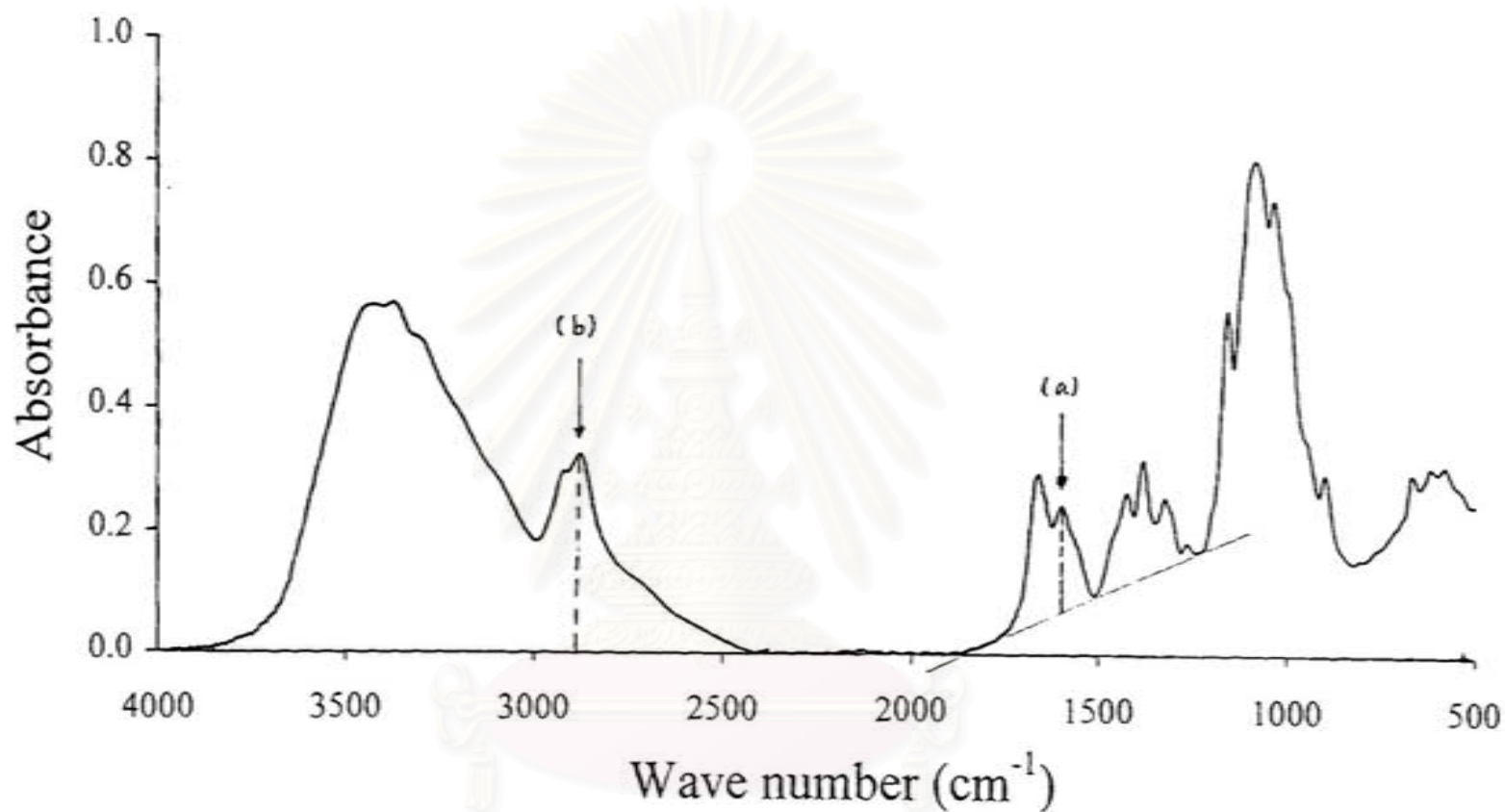
$$\begin{aligned} \text{DD} &= (98.03) - (34.68) (A_{1550} / A_{2878}) \\ &= (98.03) - (34.68) (0.1450 / 0.2700) \\ &= 79.40 \% \end{aligned}$$

ตารางที่ ก.3 ดีกรีออฟดีอะเซทิลเลชันของไคติน

Batch No.	A ₁₅₅₀ /A ₂₈₇₈			DD (%)				S.D
	1	2	3	1	2	3	Average	
6	0.30/0.14	0.505/0.23	0.345/0.152	23.72	21.88	19.32	21.64	2.21
7	0.31/0.14	0.412/0.185	0.38/0.17	21.24	20.80	20.51	20.85	0.37

ตารางที่ ก.4 ดีกรีออฟดีอะเซทิลเลชันของไคโตแซน

Batch no.	A ₁₅₅₀ /A ₂₈₇₈			DD (%)				S.D
	1	2	3	1	2	3	Average	
1	0.146/0.272	0.18/0.335	0.17/0.32	79.42	79.40	79.61	79.47	0.12
2	0.125/0.228	0.12/0.225	0.17/0.316	79.02	79.53	79.37	79.31	0.26
3	0.17/0.313	0.15/0.28	0.145/0.27	79.19	79.45	79.41	79.35	0.14
4	0.11/0.205	0.132/0.25	0.15/0.28	79.42	79.72	79.45	79.53	0.16
5	0.15/0.285	0.14/0.265	0.15/0.285	79.78	79.71	79.78	79.75	0.04



รูปที่ ก.1 IR spectrum ของคีโตเจน (a) 1550 cm⁻¹ (b) 2878 cm⁻¹

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักโมเลกุลของไคตินและไคโตแซน

(Determination of Molecular Weight of Chitin and Chitosan)

น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight, MW) ของไคตินและไคโตแซนคำนวณได้จากค่า Intrinsic viscosity ของสารนั้นๆ ซึ่งก็คือจุดตัด (Intercept) บนกราฟที่พลอตระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลาย และ Specific viscosity ดังนี้

$$[\eta] = kM^a$$

$$\eta_{rd} = \eta/\eta_0$$

$$\eta_{sp} = (\eta/\eta_0) - 1$$

$$\eta_{rd} = \eta_{sp}/c$$

$$[\eta] = [\eta_{rd}]_{c \rightarrow 0}$$

เมื่อ $[\eta]$: Intrinsic viscosity = $[\eta_{rd}]_{c \rightarrow 0}$

M : Molecular weight of chitosan

k : Mark-Houwink constant = 8.93×10^{-4}

a : Mark-Houwink exponent = 0.71

η_{rd} : Relative viscosity

η_{sp} : Specific viscosity

η_{rd} : Reduced viscosity

t : Running time of chitosan solution (second)

t_0 : Running time of solvent (second)

น้ำหนักโมเลกุลของไคติน

น้ำหนักโมเลกุลของไคตินวิเคราะห์ได้โดยการใช้ Cannon Ubbelohde Viscometer เบอร์ 150 และจับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของตัวทำละลายและสารละลายไคตินที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แล้วคำนวณหาความหนืดของไคตินดังแสดงในตารางที่ ก.5 ค่า Intrinsic viscosity ของไคตินจะหาได้จากค่าจุดตัดของกราฟที่พลอตระหว่างความเข้มข้นและความหนืดจำเพาะของสารละลายไคติน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (a) น้ำหนักโมเลกุลของไคตินสามารถคำนวณได้จากสูตรดังกล่าวข้างต้น

ตารางที่ ก.5 การคำนวณหาความหนืดของไคติน

Conc. (g/100 ml)	Time (s)					η_{sp}	η_p	η_{sp}/c	1/c $\ln[\eta_{sp}]$
	1	2	3	4	Average				
0.00	83.27	83.38	83.24	83.25	83.29				
0.0013	86.26	86.28	86.36	86.42	86.33	1.0366	0.0366	28.12	27.62
0.0026	89.20	89.46	89.50	89.52	89.42	1.0737	0.0737	28.33	27.35
0.0052	95.98	96.07	96.04	95.96	96.01	1.1528	0.1528	29.39	27.35
0.0104	110.00	110.06	109.94	110.08	110.02	1.3210	0.3210	30.87	26.77
0.0208	142.00	142.03	142.12	141.92	142.02	1.7052	0.7052	33.90	25.66
0.0400	224.00	223.93	224.09	223.96	224.00	2.6895	1.6895	42.24	24.74
0.0600	327.44	327.23	327.26	327.31	327.31	3.9300	2.9300	48.83	22.81
0.0800	475.09	475.37	475.57	474.73	475.19	5.7056	4.7056	58.82	21.77

การคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของไคติน

$$M' = [\eta]/k = 27.02 \times 10000 / 8.93 = 30257.5588$$

$$a \log M = \log [30257.5588] = 4.4808$$

$$\log M = 4.4808 / 0.71 = 6.3110$$

$$M = 10^{6.3110} = 2,046,444$$

น้ำหนักโมเลกุลของไคตินประมาณ 2.50×10^6

น้ำหนักโมเลกุลของโคโคเจน

น้ำหนักโมเลกุลของโคโคเจนวิเคราะห์ได้โดยการใช้ Cannon Ubbelohde Viscometer เบอร์ 75 และจับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของตัวทำละลายและสารละลายโคโคเจนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แล้วคำนวณหาความหนืดของโคโคเจนดังแสดงในตารางที่ ก.6 ค่า Intrinsic viscosity ของโคโคเจนจะหาได้จากค่าจุดตัดของกราฟที่พลอตระหว่างความเข้มข้นและความหนืดจำเพาะของสารละลายโคโคเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (b) น้ำหนักโมเลกุลของโคโคเจนสามารถคำนวณได้จากสูตรดังกล่าวข้างต้น

ตารางที่ ก.6 การคำนวณหาความหนืดของโคโคเจน

Conc. (g/100 ml)	Time (s)					η_{sp}	η_p	η_{sp}/c	1/c. $\ln[\eta_{sp}]$
	1	2	3	4	Average				
0	125.06	124.92	124.97	125.03	125.00				
0.00625	133.78	133.99	134.09	133.56	133.86	1.0709	0.0709	11.34	10.96
0.0125	143.07	142.89	143.09	142.93	143.00	1.1440	0.1440	11.52	10.76
0.0250	164.02	163.99	163.86	164.14	164.00	1.3121	0.3121	12.48	10.86
0.0500	210.18	209.83	209.96	210.01	210.00	1.6800	0.6800	13.60	10.38
0.1000	328.14	327.91	327.89	328.07	328.00	2.6241	1.6241	16.24	9.65
0.2000	682.05	682.13	681.97	681.86	682.00	5.4562	4.4562	22.28	8.48
0.4000	1770.02	1769.56	1770.24	1770.88	1770.18	14.1620	13.1620	32.90	6.63

การคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของโคโคเจน

$$M' = [\eta]c = 10.943 \times 10000/8.93 = 12254.1993$$

$$a \log M = \log [12254.1993] = 4.0883$$

$$\log M = 4.0883/0.71 = 5.7582$$

$$M = 10^{5.7582} = 573,060$$

$$\text{น้ำหนักโมเลกุลของโคโคเจนประมาณ } 5.73 \times 10^5$$

ส่วนผนวก ข

กราฟมาตรฐานของสารละลายย้อมที่พีเอชต่างๆ

ความชันเฉลี่ยหาค่าได้จากกราฟมาตรฐานที่พลอตระหว่างค่าแอมซอร์แบนซ์และความเข้มข้นของสารละลายย้อม ดังแสดงในตารางที่ ข.1 ถึง ข.4 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard deviations, S.D.) ของสี C.I. Acid Red 360, C.I. Reactive Red 158, C.I. Direct Red 80 และ C.I. Basic Red 24 เท่ากับ 0.0010 0.0005 0.0011 และ 0.0010

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Acid Red 360 ที่ 535 นาโนเมตร

pH of dye	Concentration (mg/L)	Absorbance	Slope	R ²
3*	0.00	0.0000	0.0150	0.9827
	5.01	0.0840		
	10.02	0.1788		
	15.04	0.2574		
	20.05	0.3009		
	25.06	0.3658		
	30.07	0.4001		
	35.08	0.4644		
4	0.00	0.0000	0.0325	0.9989
	5.01	0.1795		
	10.01	0.3366		
	15.02	0.4935		
	20.02	0.6504		
	25.03	0.8074		
	30.04	0.9605		
	35.04	1.1175		
5	0.00	0.0000	0.0337	0.9987
	5.02	0.1799		
	10.04	0.3336		
	15.05	0.5212		
	20.07	0.6707		
	25.06	0.8259		
	30.11	0.9971		
	35.11	1.1683		
6	0.00	0.0000	0.0340	0.9990
	5.02	0.1817		
	10.05	0.3377		
	15.07	0.5298		
	20.10	0.6798		
	25.12	0.8309		
	30.14	1.0115		
	35.14	1.1921		
7	0.00	0.0000	0.0338	0.9987
	5.00	0.1879		
	10.00	0.3467		
	15.01	0.5040		
	20.01	0.6616		
	25.01	0.8188		
	30.01	1.0011		
	35.01	1.1834		

* C.I. Acid Red 360 partially precipitated at pH 3.

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

pH of dye	Concentration (mg/L)	Absorbance	Slope	R ²
8	0.0	0.000	0.019	0.992
	5.01	0.1751		
	10.01	0.3511		
	15.05	0.5000		
	20.05	0.6285		
	25.08	0.7182		
	30.10	0.8597		
9	0.00	0.0000	0.017	0.984
	5.02	0.1679		
	10.04	0.3309		
	15.07	0.4879		
	20.09	0.6291		
	25.11	0.7715		
	30.13	0.9266		
10	0.00	0.0000	0.015	0.980
	5.01	0.1666		
	10.01	0.3345		
	15.02	0.4855		
	20.02	0.6229		
	25.03	0.7657		
	30.04	0.9489		
11	0.00	0.0000	0.015	0.983
	5.02	0.1619		
	10.04	0.3201		
	15.07	0.4817		
	20.09	0.6116		
	25.11	0.7741		
	30.13	0.9681		
12	0.00	0.0000	0.017	0.971
	5.01	0.1875		
	10.02	0.3440		
	15.02	0.5195		
	20.03	0.6554		
	25.04	0.8194		
	30.05	0.9820		

ตารางที่ ข.2 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Reactive Red 158 ที่ 512 นาโนเมตร

pH of dye	Concentration (mg/L)	Absorbance	Slope	R ²
3	0.00	0.0000	0.0155	0.9994
	10.00	0.1624		
	20.00	0.3197		
	30.00	0.4748		
	40.00	0.6275		
	50.00	0.7745		
	60.00	0.9213		
	0.00	0.0000		
10.01	0.1640			
20.06	0.3231			
30.10	0.4781			
40.13	0.6315			
50.16	0.7807			
60.19	0.9349			
5	0.00	0.0000	0.0154	0.9988
	10.00	0.1637		
	20.00	0.3226		
	30.00	0.4771		
	40.00	0.6262		
	50.00	0.7667		
	60.00	0.9122		
	6	0.00		
10.01		0.1514		
20.02		0.3007		
30.04		0.4469		
40.05		0.6217		
50.06		0.7716		
60.07		0.9190		
7		0.00	0.0000	0.0154
	10.05	0.1512		
	20.10	0.3101		
	30.14	0.4674		
	40.19	0.6222		
	50.24	0.7724		
	60.29	0.9194		

ตารางที่ ๖.๒ (ต่อ)

pH of dye	Concentration (mg/L)	Absorbance	Slope	R ²
8	0.00	0.0000	0.0165	1.0000
	10.00	0.1664		
	20.00	0.3308		
	30.00	0.4945		
	40.00	0.6593		
	50.00	0.8236		
	60.00	0.9913		
9	0.00	0.0000	0.0166	1.0000
	10.03	0.1692		
	20.06	0.3338		
	30.10	0.5006		
	40.13	0.6670		
	50.16	0.8318		
	60.16	1.0044		
10	0.00	0.0000	0.0165	1.0000
	10.02	0.1692		
	20.03	0.3321		
	30.05	0.4971		
	40.06	0.6611		
	50.08	0.8252		
	60.10	0.9926		
11	0.00	0.0000	0.0165	1.0000
	10.04	0.1684		
	20.08	0.3315		
	30.12	0.4960		
	40.16	0.6596		
	50.20	0.8235		
	60.24	0.9944		
12	0.00	0.0000	0.0163	1.0000
	10.01	0.1670		
	20.02	0.3292		
	30.04	0.4922		
	40.05	0.6555		
	50.06	0.8179		
	60.07	0.9788		

ตารางที่ ข.3 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Direct Red 80 ที่ 526 นาโนเมตร

pH of dye	Concentration (mg/L)	Absorbance	Slope	R ²
3	0.0	0.000	0.014	1.000
	5.02	0.1598		
	10.04	0.3154		
	15.06	0.4741		
	20.07	0.6291		
	25.09	0.7863		
	30.11	0.9480		
	35.13	1.1141		
4	0.0	0.000	0.022	0.999
	5.02	0.1642		
	10.04	0.3255		
	15.07	0.4854		
	20.09	0.6432		
	25.11	0.8073		
	30.13	0.9740		
	35.15	1.1441		
5	0.0	0.000	0.018	0.999
	5.02	0.1634		
	10.04	0.3225		
	15.05	0.4818		
	20.07	0.6422		
	25.09	0.7969		
	30.11	0.9502		
	35.13	1.1121		
6	0.0	0.000	0.021	0.995
	5.02	0.1749		
	10.04	0.3338		
	15.09	0.4905		
	20.12	0.6484		
	25.15	0.8040		
	30.18	0.9650		
	35.21	1.1321		
7	0.0	0.000	0.021	0.994
	5.02	0.1748		
	10.05	0.3342		
	15.09	0.4917		
	20.12	0.6478		
	25.15	0.8039		
	30.18	0.9695		
	35.21	1.1376		

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

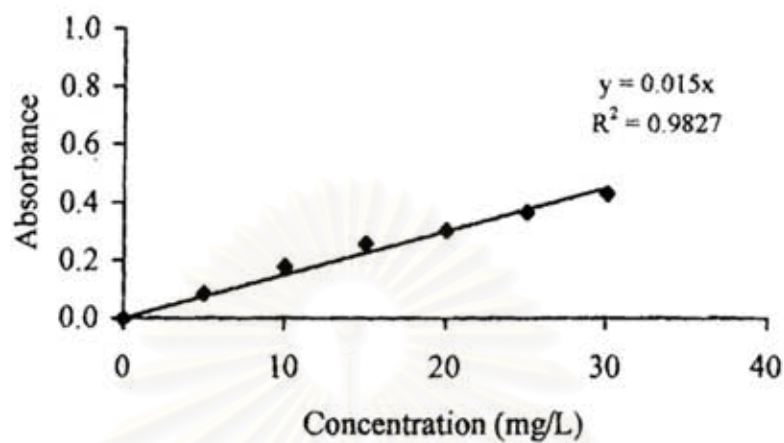
pH of dye	Concentration (mg/L)	Absorbance	Slope	R ²
8	0.00	0.0000	0003	10000
	5.00	0.1508		
	10.00	0.3046		
	15.01	0.4546		
	20.01	0.6064		
	25.01	0.7571		
	30.01	0.9131		
9	0.00	0.0000	0004	10000
	5.01	0.1513		
	10.02	0.3049		
	15.02	0.4595		
	20.03	0.6099		
	25.04	0.7598		
	30.05	0.9111		
10	0.00	0.0000	0001	10000
	5.00	0.1525		
	10.01	0.3040		
	15.01	0.4545		
	20.02	0.6048		
	25.02	0.7504		
	30.02	0.9053		
11	0.00	0.0000	0029	10000
	5.02	0.1520		
	10.05	0.3024		
	15.07	0.4515		
	20.10	0.5992		
	25.12	0.7482		
	30.14	0.9030		
12	0.00	0.0000	0024	0997
	5.00	0.1536		
	10.01	0.3011		
	15.01	0.4471		
	20.02	0.5912		
	25.02	0.7350		
	30.02	0.8744		

ตารางที่ ๗.4 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Basic Red 24 ที่ 512 นาโนเมตร

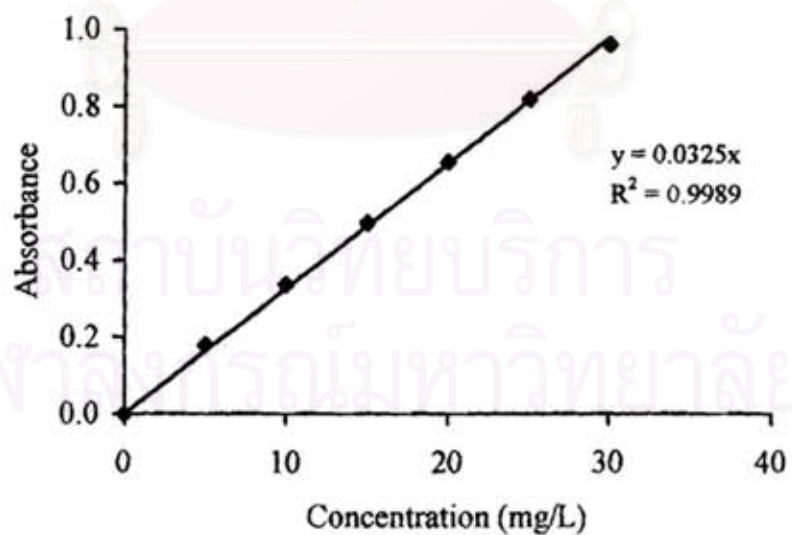
pH of dye	Concentration (mg/L)	Absorbance	Slope	R ²
3	0.0	0.000	0.037	0.993
	5.0	0.224		
	10.0	0.447		
	15.0	0.669		
	20.0	0.896		
	25.0	1.094		
	30.0	1.319		
	35.0	1.519		
4	0.0	0.000	0.032	0.993
	5.0	0.229		
	10.0	0.454		
	15.0	0.685		
	20.0	0.921		
	25.0	1.098		
	30.0	1.364		
	35.0	1.564		
5	0.0	0.000	0.038	0.989
	5.0	0.228		
	10.0	0.454		
	15.0	0.667		
	20.0	0.885		
	25.0	1.085		
	30.0	1.385		
	35.0	1.585		
6	0.0	0.000	0.043	0.997
	5.0	0.247		
	10.0	0.433		
	15.0	0.629		
	20.0	0.824		
	25.0	1.012		
	30.0	1.343		
	35.0	1.643		
7	0.0	0.000	0.045	0.992
	5.0	0.268		
	10.0	0.451		
	15.0	0.635		
	20.0	0.878		
	25.0	1.124		
	30.0	1.369		
	35.0	1.609		

ตารางที่ ข. 4 (ต่อ)

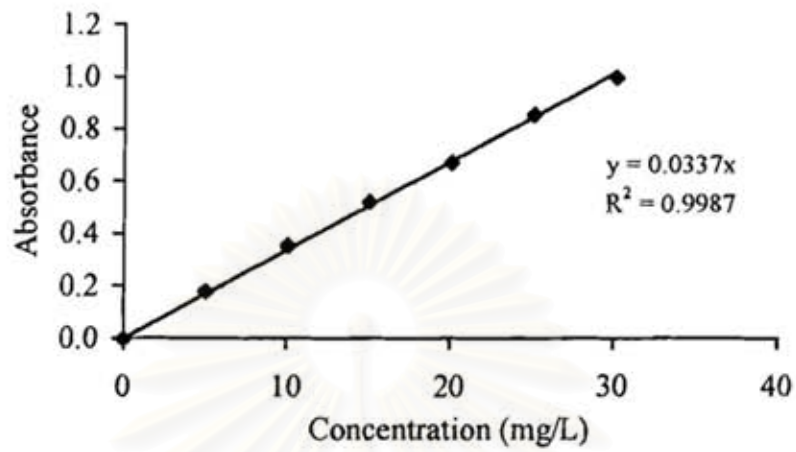
pH of dye	Concentration (mg/L)	Absorbance	Slope	R ²
8	0.00	0.0000	0.0452	0.9990
	5.03	0.2224		
	10.06	0.4486		
	15.08	0.6767		
	20.11	0.8948		
	25.14	1.1259		
	30.17	1.3898		
9	0.00	0.0000	0.0452	0.9989
	5.01	0.2230		
	10.02	0.4454		
	15.02	0.6671		
	20.03	0.8795		
	25.04	1.1267		
	30.05	1.3859		
10	0.00	0.0000	0.0451	0.9991
	5.02	0.2188		
	10.05	0.4510		
	15.07	0.6714		
	20.10	0.8784		
	25.12	1.1387		
	30.14	1.3787		
11	0.00	0.0000	0.0459	0.9992
	5.00	0.2344		
	10.01	0.4562		
	15.01	0.6840		
	20.02	0.8930		
	25.02	1.1423		
	30.02	1.3995		
12	0.00	0.0000	0.0458	0.9994
	5.01	0.2498		
	10.02	0.4621		
	15.04	0.6661		
	20.05	0.8865		
	25.06	1.1578		
	30.07	1.3945		



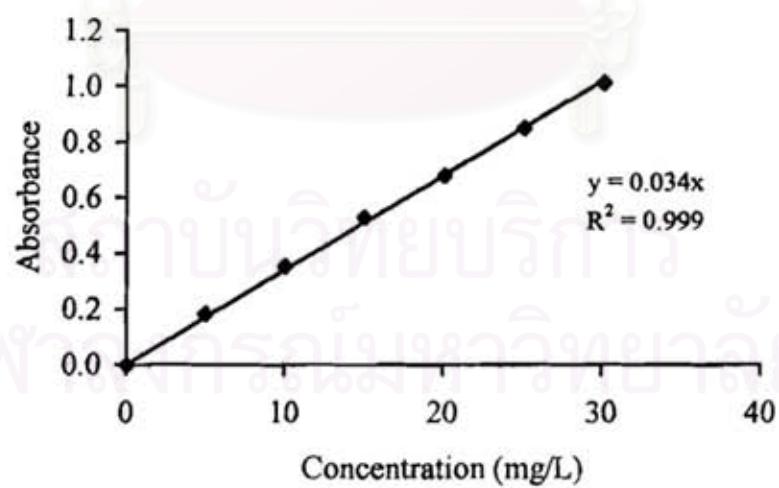
รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 3



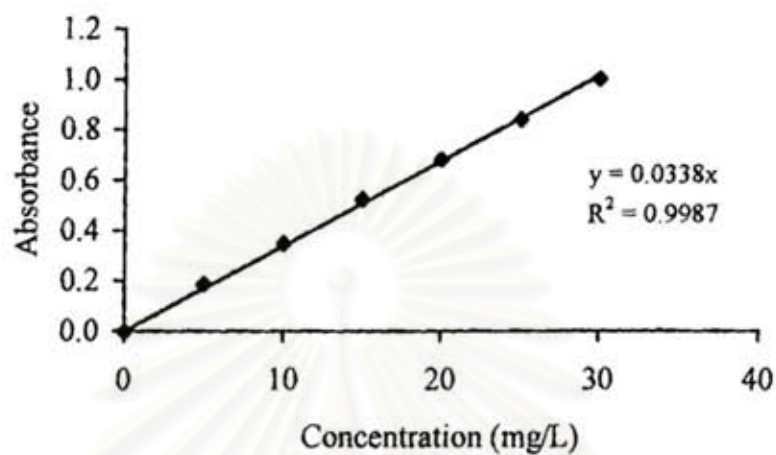
รูปที่ ข.2 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 4



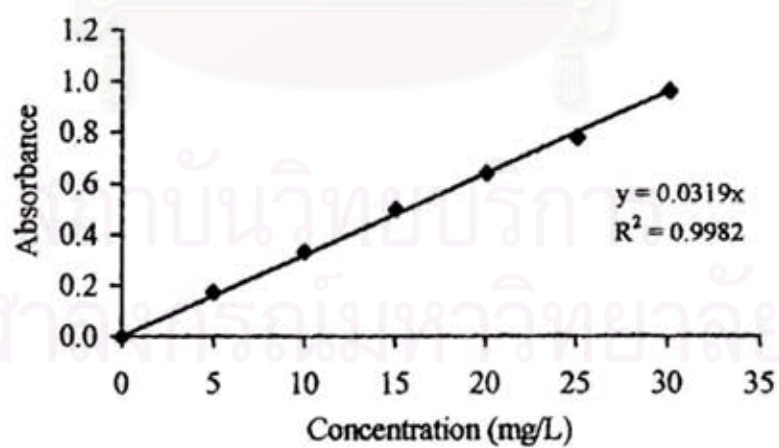
รูปที่ ข.3 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 5



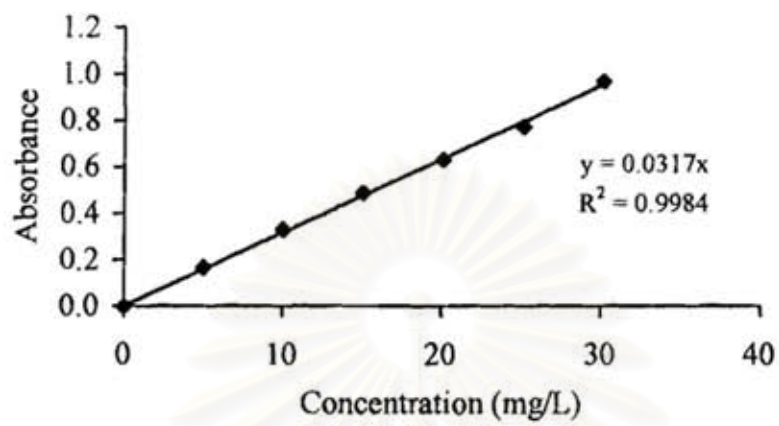
รูปที่ ข.4 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 6



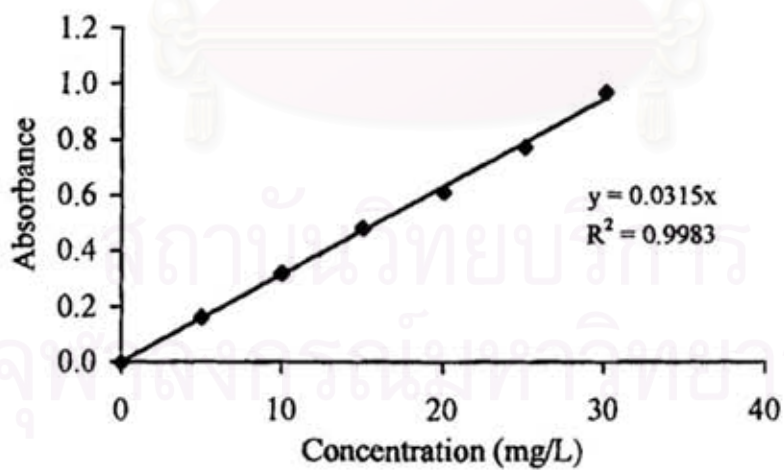
รูปที่ ข.5 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 7



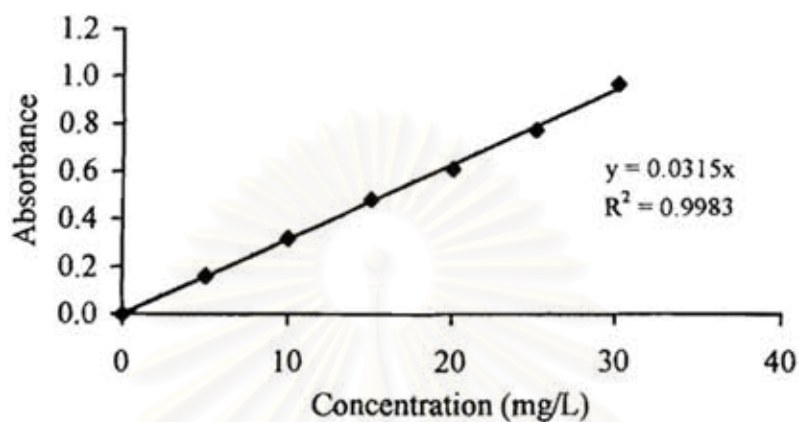
รูปที่ ข.6 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 8



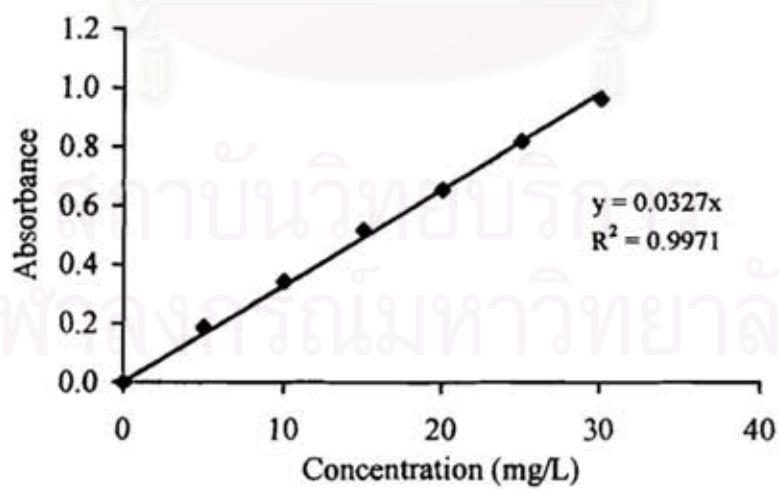
รูปที่ ข.7 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 9



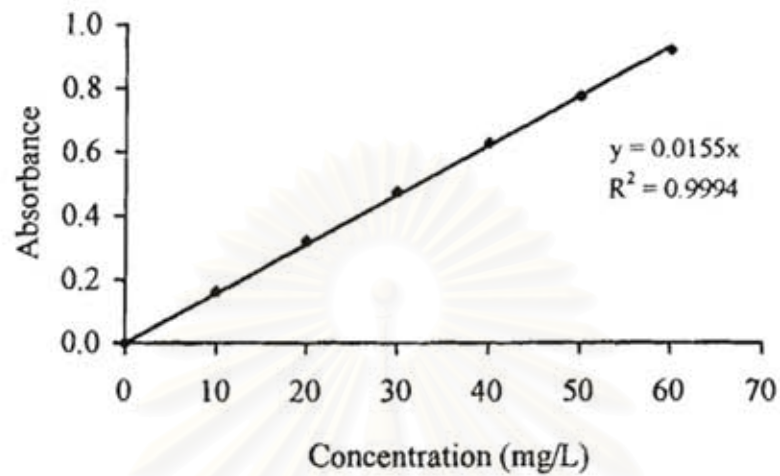
รูปที่ ข.18 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 10



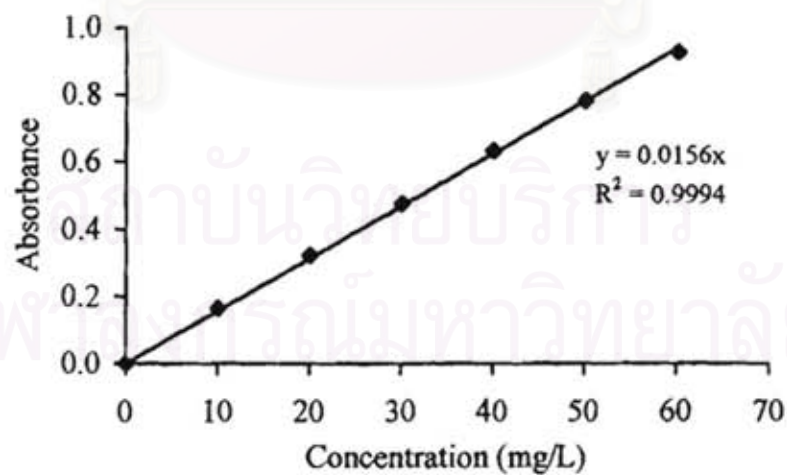
รูปที่ ข.9 กราฟมาตรฐานของสี of C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 11



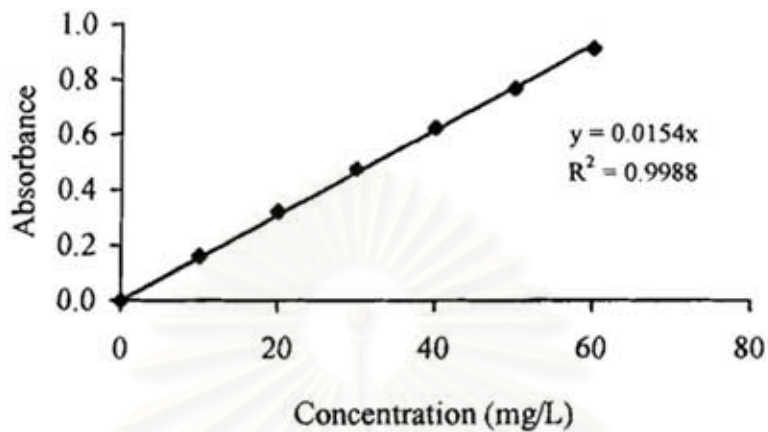
รูปที่ ข.10 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 12



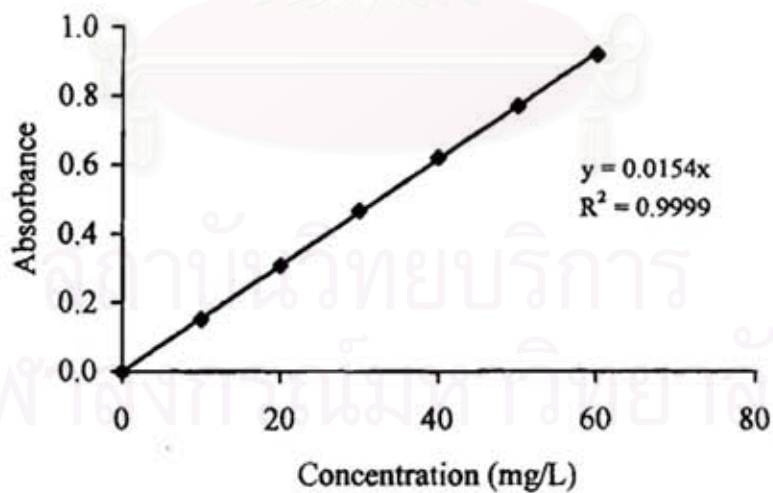
รูปที่ ข.11 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 3



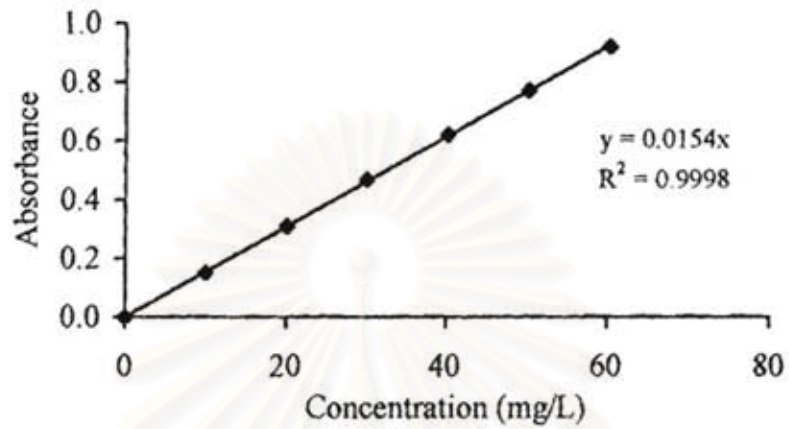
รูปที่ ข.12 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 4



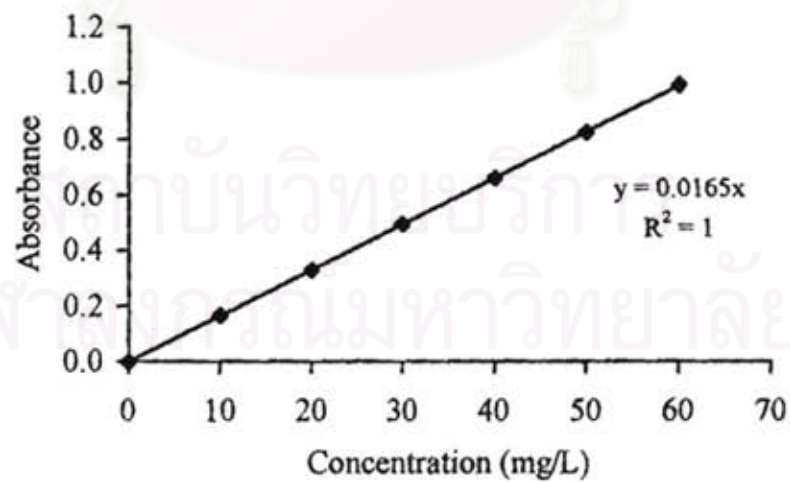
รูปที่ ข.13 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 5



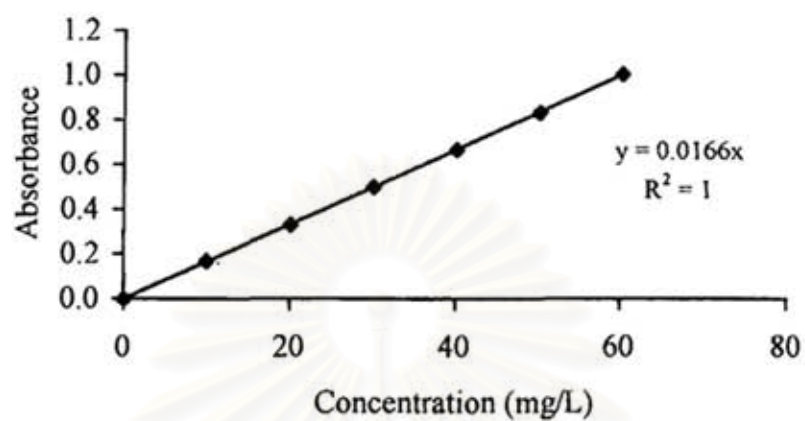
รูปที่ ข.14 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 6



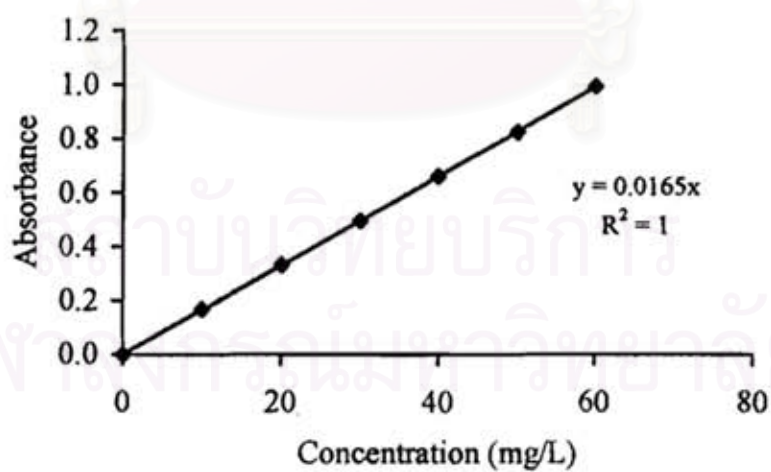
รูปที่ ข.15 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 7



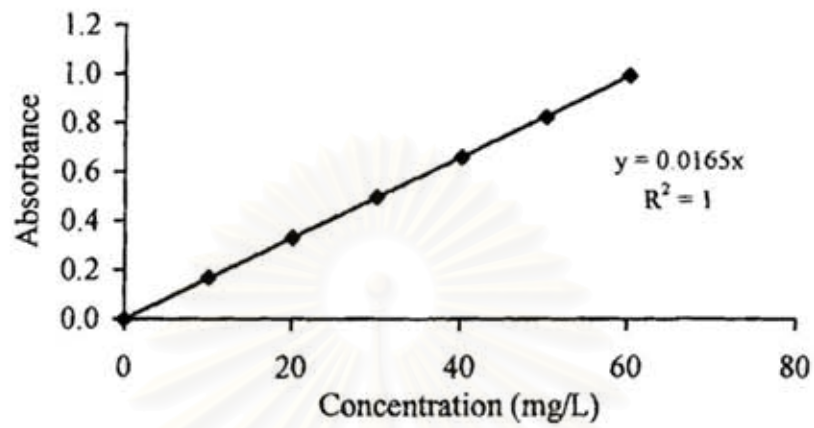
รูปที่ ข.16 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 8



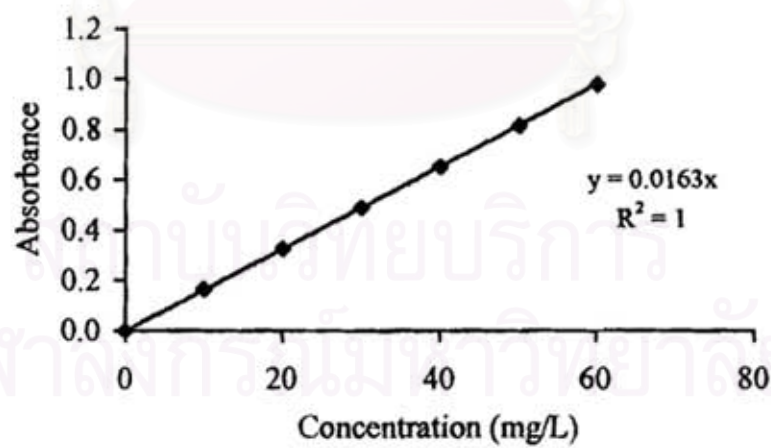
รูปที่ ข.17 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 9



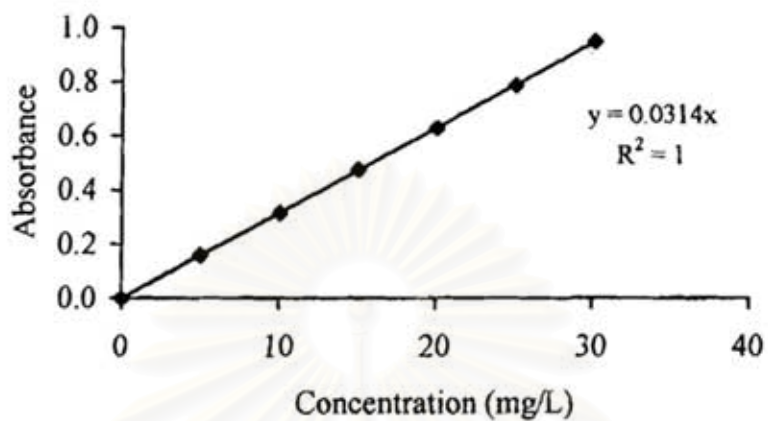
รูปที่ ข.18 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 10



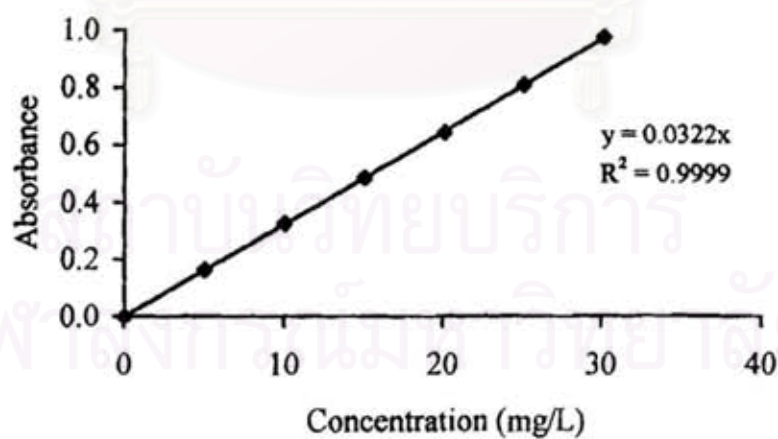
รูปที่ ข.19 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 11



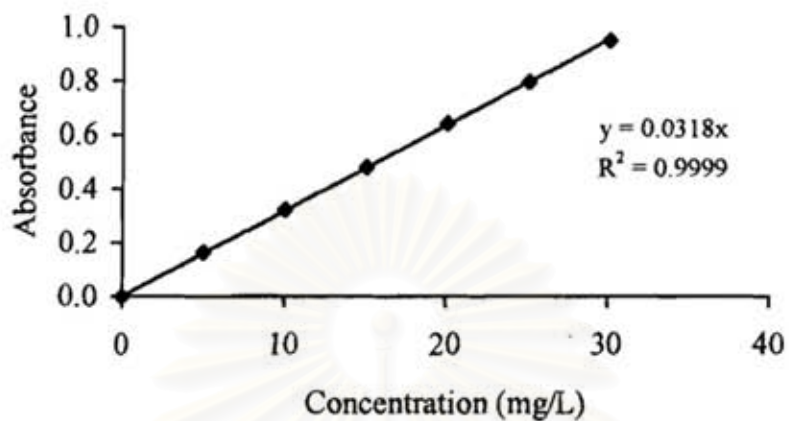
รูปที่ ข.20 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Reactive Red 158 ที่พีเอช 12



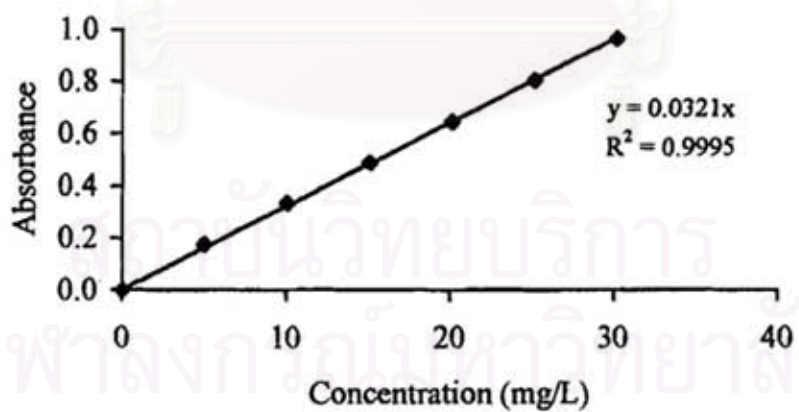
รูปที่ ข.21 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 3



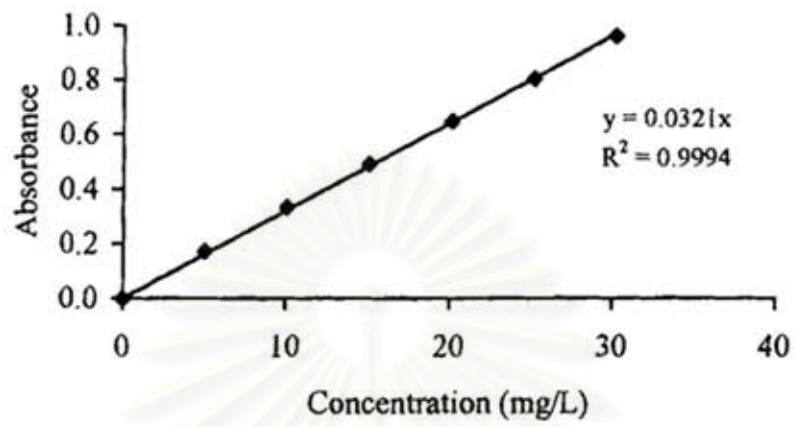
รูปที่ ข.22 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 4



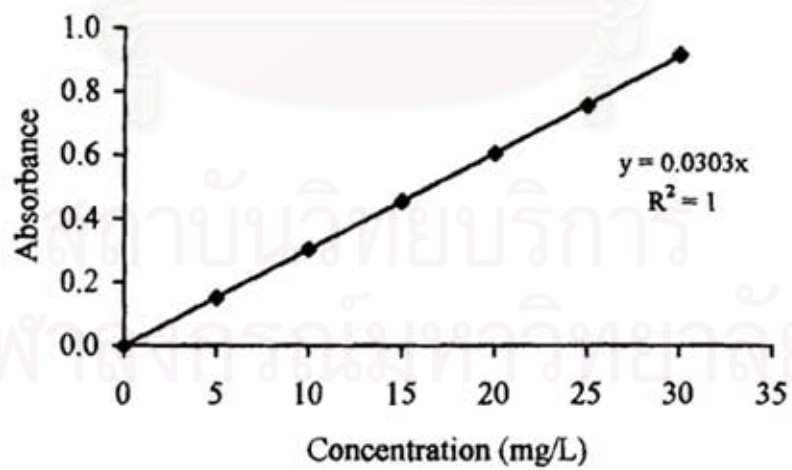
รูปที่ ข.23 กราฟมาตรฐานของสี of C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 5



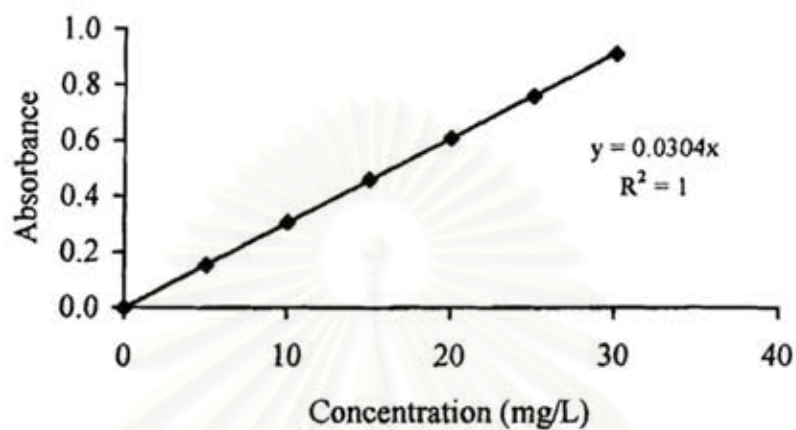
รูปที่ ข.24 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 6



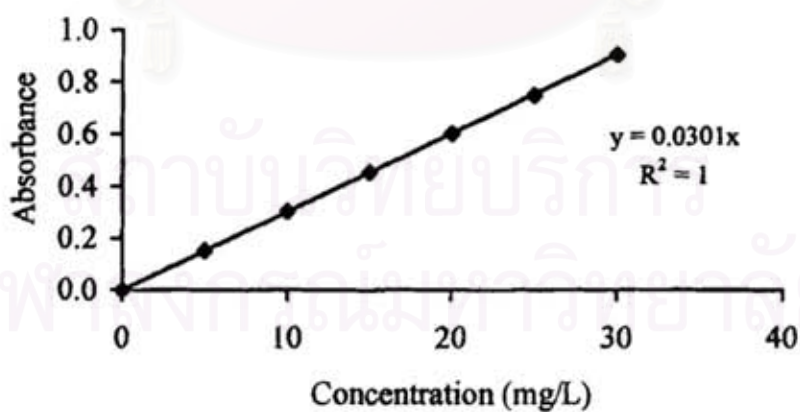
รูปที่ ข.25 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 7



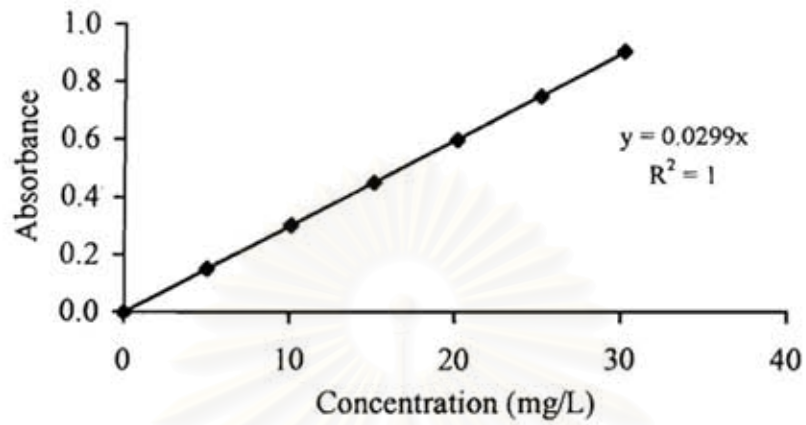
รูปที่ ข.26 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 8



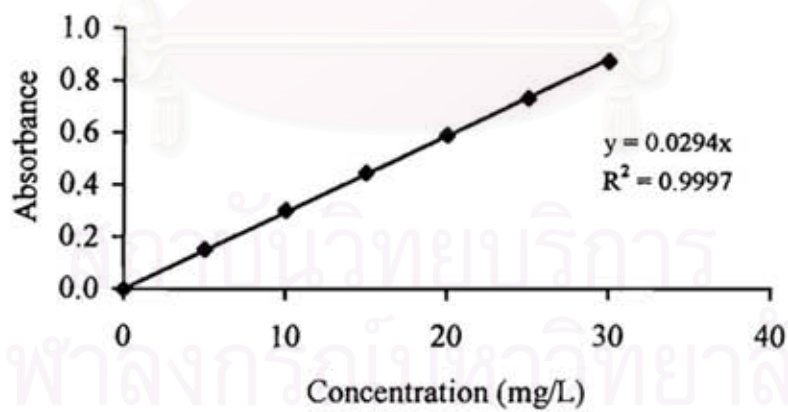
รูปที่ ข.27 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 9



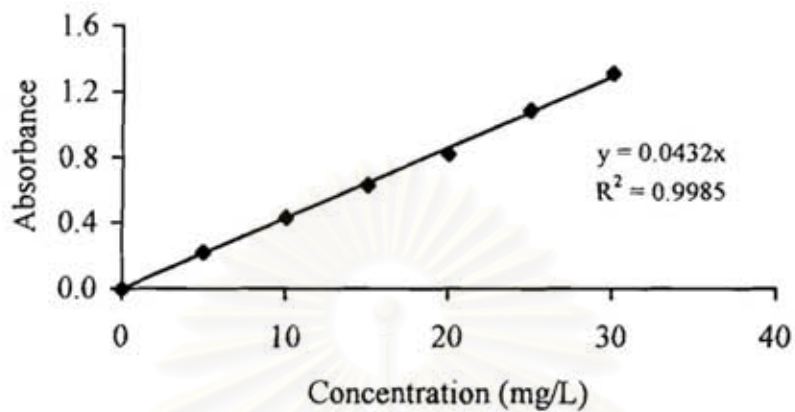
รูปที่ ข.28 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 10



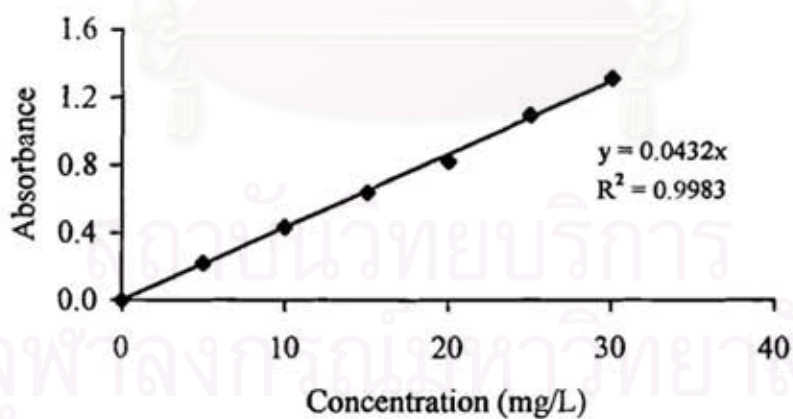
รูปที่ ข.29 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 11



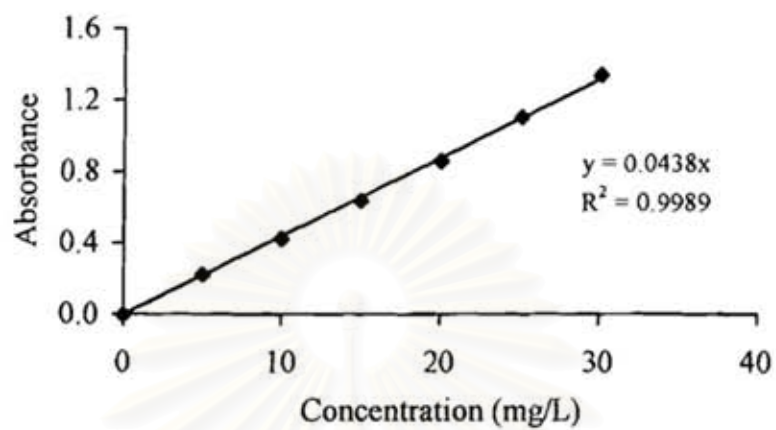
รูปที่ ข.30 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Direct Red 80 ที่พีเอช 12



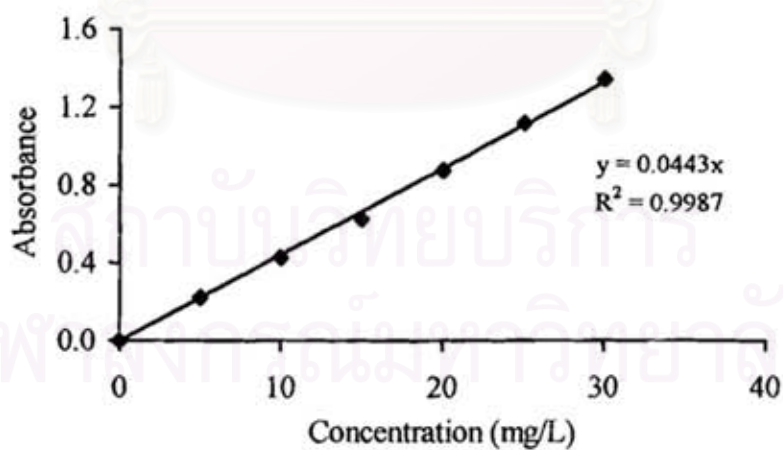
รูปที่ ข.31 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 3



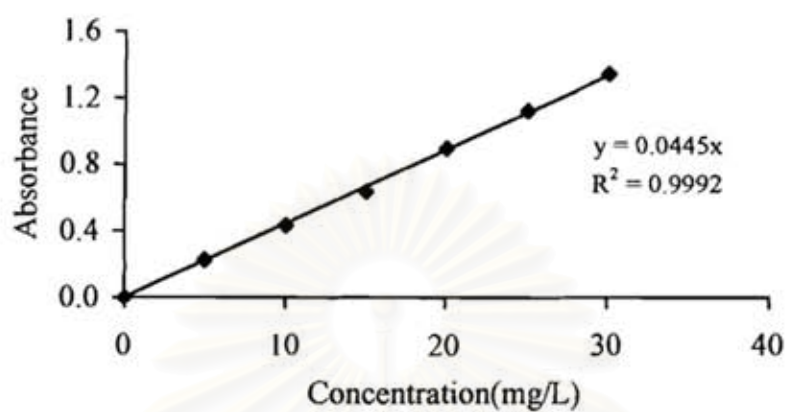
รูปที่ ข.32 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 4



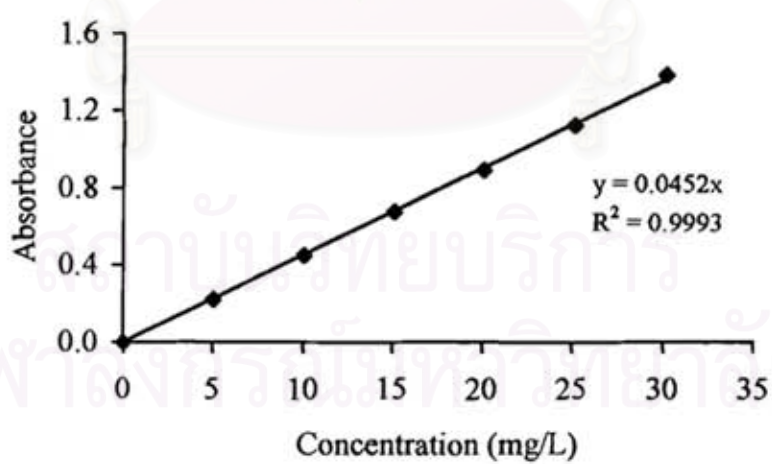
รูปที่ ข.33 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 5



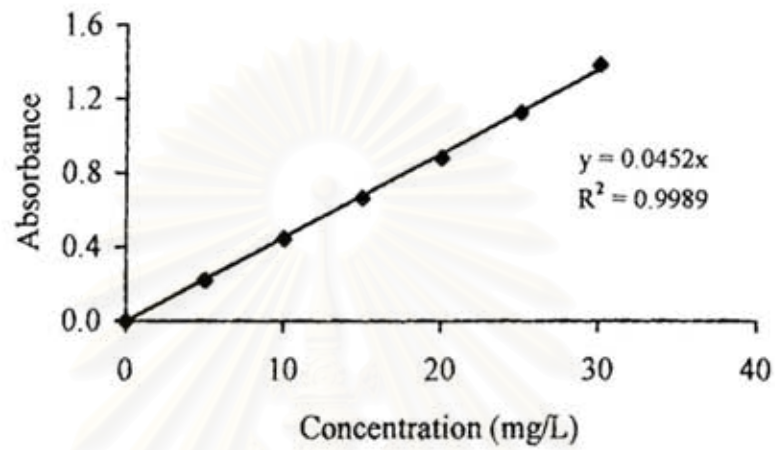
รูปที่ ข.34 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 6



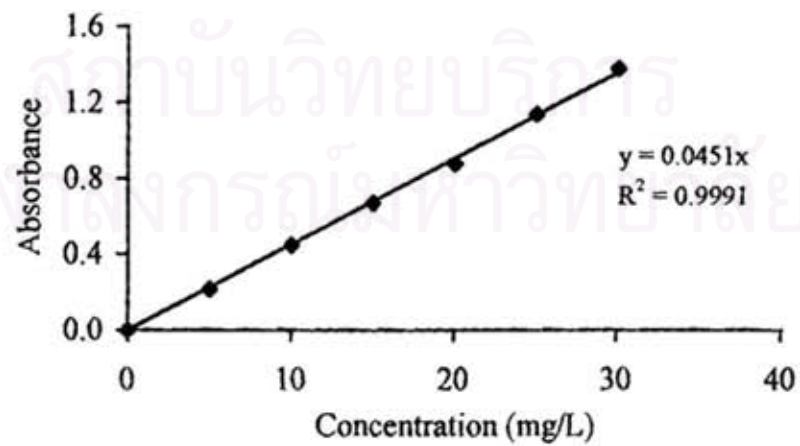
รูปที่ ข.35 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 7



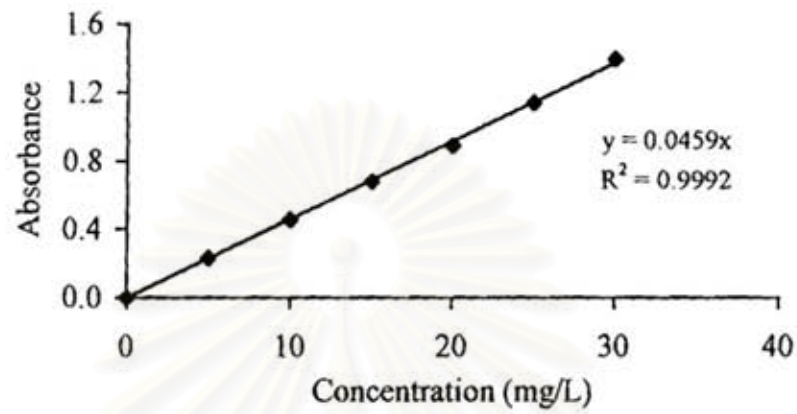
รูปที่ ข.36 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 8



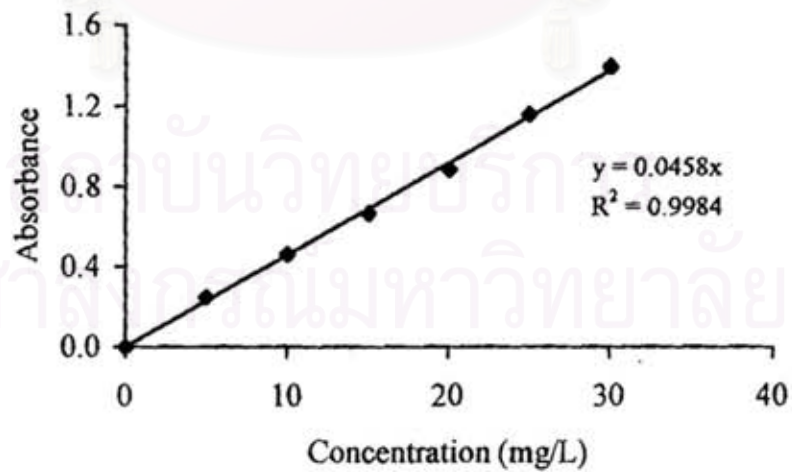
รูปที่ ข.37 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 9



รูปที่ ข.38 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 10



รูปที่ ข.39 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 11



รูปที่ ข.40 กราฟมาตรฐานของสี C.I. Basic Red 24 ที่พีเอช 12

ส่วนผนวก ก

ผลของพีเอชต่อความคงตัวของสีย้อม

ปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q_s = A_s/S$$

- เมื่อ Q_s : Amount of dye in supernatant after 0 and 24 h (mg/L)
 A_s : Absorbance of dye in supernatant after 0 and 24 h
 S : Slope value from calibration curve of dye concentration and absorbance

สภาวะการทดสอบ

ความเข้มข้นของสีย้อม	:	200.00 mg/L			
ปริมาตรสีย้อม	:	25.0 mL			
เงื่อนไขการทดสอบ	:	80 rpm, 0 and 24 h, 25°C			
การปั่นแยก	:	15000 rpm, 10 min, 25°C			
ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย C.I. Acid Red 360	=	0.0326	C.I. Direct Red 80	=	0.0310
C.I. Reactive Red 158	=	0.0160	C.I. Basic Red 24	=	0.0446

ตัวอย่างการคำนวณ

ปริมาณเริ่มต้นของสี C.I. Acid Red 360 ที่พีเอช 4,

$$Q_0 = A_0/S = (7.2660)/(0.0326) = 222.88 \text{ mg/L}$$

ปริมาณของสี C.I. Acid Red 360 ภายหลังจากการเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่พีเอช 4,

$$Q_{24} = A_{24}/S = (7.1240)/(0.0326) = 218.53 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ ก.1 ความคงตัวของสี C.I.Acid Red 360 ที่พีเอชต่างๆ

pH of dye	A0		A24		Q0			Q24		
	1	2	1	2	1	2	Average	1	2	Average
3.0*	3.4700	3.5120	3.5880	3.5800	106.44	107.73	107.09	110.06	109.82	109.94
3.5	7.236	7.2140	7.0180	7.0200	221.96	221.29	221.63	215.28	215.34	215.31
4.0	7.2660	7.2680	7.1240	7.1340	222.88	222.94	222.91	218.53	218.83	218.68
4.5	7.1500	7.1500	7.0400	7.0520	219.33	219.33	219.33	215.95	216.32	216.13
5.0	7.3140	7.3500	7.1940	7.2020	224.36	225.46	224.91	220.67	220.92	220.80
6.0	7.1960	7.2000	7.1600	7.1680	220.74	220.86	220.80	219.63	219.88	219.75
7.0	7.3340	7.3260	7.1840	7.1820	224.97	224.72	224.85	220.37	220.31	220.34
8.0	7.4180	7.4320	7.2780	7.2920	227.55	227.98	227.76	223.25	223.68	223.47

* Dye precipitated after adjusting pH to pH 3.

ตารางที่ ก.2 ความคงตัวของสี C.I.Reactive Red 158 ที่พีเอชต่างๆ

pH of dye	A0		A24		Q0			Q24		
	1	2	1	2	1	2	Average	1	2	Average
3.0	3.2160	3.2190	3.2760	3.2780	201.00	201.19	201.09	204.75	204.88	204.81
3.5	3.2680	3.2730	3.3260	3.3290	204.25	204.56	204.41	207.88	206.06	207.97
4.0	3.2870	3.2840	3.3400	3.3400	205.44	205.25	205.34	208.75	208.75	208.75
4.5	3.2560	3.2580	3.3640	3.3700	203.50	203.63	203.56	210.25	210.63	210.44
5.0	3.3000	3.2990	3.3570	3.3560	206.25	206.19	206.22	209.81	209.75	209.78
6.0	3.2710	3.2750	3.3290	3.3270	204.44	204.69	204.56	208.06	207.94	208.00
7.0	3.2890	3.2910	3.3430	3.3450	205.56	205.69	205.63	208.94	209.06	209.00
8.0	3.3050	3.3060	3.220	3.3250	206.56	206.63	206.59	207.63	207.81	207.72

ตารางที่ ก.3 ความคงตัวของสี C.I.Direct Red 80 ที่พีเอชต่างๆ

pH of dye	A0		A24		Q0			Q24		
	1	2	1	2	1	2	Average	1	2	Average
2.5	6.2800	6.2820	6.4000	6.4000	202.58	202.65	202.61	206.45	206.45	206.45
3.0	6.3320	6.3320	6.4320	6.4380	204.26	204.26	204.26	207.48	207.68	207.58
3.5	6.2480	6.2560	6.3760	6.3860	201.55	201.81	201.68	205.68	206.00	205.84
4.0	6.2680	6.2800	6.3820	6.3840	202.19	202.58	202.39	205.87	205.94	205.90
5.0	6.2580	6.2520	6.3480	6.3520	201.87	201.68	201.77	204.77	204.90	204.84
6.0	6.2520	6.2560	6.3600	6.3560	201.68	201.81	201.74	205.16	205.03	205.10
7.0	6.3160	6.3200	6.4400	6.4440	203.74	203.87	203.81	207.74	207.87	207.81
8.0	6.3560	6.3600	6.4620	6.4720	205.03	205.16	205.10	208.45	208.77	208.61

ตารางที่ ก.4 ความคงตัวของสี C.I.Basic Red 24 ที่พีเอชต่างๆ

pH of dye	A0		A24		Q0			Q24		
	1	2	1	2	1	2	Average	1	2	Average
3.0	10.030	10.040	9.8300	9.8550	224.89	225.11	225.00	220.40	220.96	220.68
4.0	9.5850	9.5650	9.4750	9.4800	214.91	214.46	214.69	212.44	212.56	212.50
5.0	9.6150	9.5950	9.5250	9.5300	215.58	215.13	215.36	213.57	213.68	213.62
6.0	9.7400	9.7600	9.4250	9.4500	218.39	218.83	218.61	211.32	211.88	211.60
7.0	9.7150	9.7150	9.6350	9.6600	217.83	217.83	217.83	216.03	216.59	216.31
8.0	9.5300	9.5550	9.4750	9.4700	213.68	214.24	213.96	212.44	212.33	212.39
9.0	9.4500	9.4400	9.3700	9.3700	211.88	211.66	211.77	210.09	210.09	210.09
10.0	9.2950	9.2850	9.1500	9.1600	208.41	208.18	208.30	205.16	205.38	205.27
11.0	9.0300	9.0250	9.0650	9.0850	202.47	202.35	202.41	203.25	203.70	203.48

ส่วนผนวก ง

การเตรียมตัวดูดซับที่ดูดซับสี้อม

ปริมาณของสี้อมที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ คำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$Q_a = \frac{(C \times 150) - [(A_a - A_{bl}) \times 250] / S}{W \times 1000}$$

- เมื่อ
- Q_a : Amount of dye adsorbed on adsorbent (mg/g)
 - C : Initial concentration of dye solution (mg/L)
 - A_a : Absorbance of unadsorbed dye after adsorption
 - A_{bl} : Absorbance of blank
 - S : Slope value from calibration curve of dye concentration and absorbance
 - W : Weight of adsorbent (5.00 g)

ตัวอย่างการคำนวณ

ปริมาณของสี C.1. Acid Red 360 ที่ถูกดูดซับบน ไทโตแซน

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{(400.14)(150) - [(0.1189 - 0.0034)(250)] / (0.0326)}{(5.00)(1000)} \\ &= 11.83 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

ตารางที่ ง.1 ปริมาณสี้อมที่ถูกดูดซับบนเปลือกกุ้ง

Type of dye	C(mg/L)	S	Aa	Abi	Qa(mg/g)
C.I. Acid Red 360	400.14	0.0326	0.1252	0.0164	11.84
C.I. Reactive Red 158	400.00	0.0160	0.0243	0.0148	11.97
C.I. Direct Red 80	400.22	0.0310	0.1443	0.0154	11.80
C.I. Basic Red 24	400.14	0.0446	0.2047	0.0164	11.79

ตารางที่ ง.2 ปริมาณสี้อมที่ถูกดูดซับบนไคติน

Type of dye	C(mg/L)	S	Aa	Abi	Qa(mg/g)
C.I. Acid Red 360	400.14	0.0326	0.3792	0.0035	11.43
C.I. Reactive Red 158	400.00	0.0160	0.0026	0.0027	12.00
C.I. Direct Red 80	400.22	0.0310	0.0041	0.0030	12.00
C.I. Basic Red 24	400.14	0.0446	7.4800	0.0027	3.62

ตารางที่ ง.3 ปริมาณสี้อมที่ถูกดูดซับบนไคโตเซน

Type of dye	C(mg/L)	S	Aa	Abi	Qa(mg/g)
C.I. Acid Red 360	400.14	0.0326	0.1189	0.0034	11.83
C.I. Reactive Red 158	400.00	0.0160	0.0035	0.0028	12.00
C.I. Direct Red 80	400.22	0.0310	0.0114	0.0037	11.99
C.I. Basic Red 24	400.14	0.0446	8.9313	0.0028	1.99

ส่วนผนวก จ

ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสีย้อม

ปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q_a = \frac{[C - (A_a - A_{bl}) / S] \times V}{W \times 1000}$$

- เมื่อ
- Q_a : Amount of adsorbed dye (mg of adsorbed dye per g of Adsorbent)
 - C : Initial concentration of dye (mg/L)
 - A_a : Absorbance of unadsorbed dye after adsorption
 - A_{bl} : Absorbance of blank
 - S : Slope value from calibration curve of dye concentration and Absorbance
 - V : Volume of dye solution (25.0 mL)
 - W : Weight of adsorbent (0.0500 g)

สภาวะการทดสอบ

อุณหภูมิการดูดซับ : 25 °C

ค่าความเข้มข้นสีย้อม

C.I. Acid Red 360	= 0.0326	C.I. Direct Red 80	= 0.0310
C.I. Reactive Red 158	= 0.0160	C.I. Basic Red 24	= 0.0446

ตัวอย่างการคำนวณ

ปริมาณการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 บน โทโตเจนที่พีเอช 4

$$Q_a = \frac{[(200.32) - (0.0322 - 0.0034) / (0.0326)] (25.0)}{(0.0501)(1000)} = 99.52 \text{ mg/g}$$

ตารางที่ จ.1 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 บนเปลือกกุ้ง

pH of dye	C (mg/L)	W(g)		Aa		AbI		Qa(mg/g)		
		1	2	1	2	1	2	1	2	Average
3.0	201.40	0.0503	0.0502	0.4774	0.4783	0.0148	0.0148	93.05	93.22	93.13
3.5	200.16	0.0501	0.0500	0.5208	0.5289	0.0142	0.0144	92.13	92.19	92.16
4.0	200.32	0.0500	0.0503	0.5545	0.5558	0.0113	0.0115	91.83	91.26	91.55
4.5	200.68	0.0503	0.0502	0.5602	0.5378	0.0120	0.0122	91.38	91.91	91.65
5.0	200.92	0.0502	0.0503	0.5957	0.5914	0.0181	0.0185	91.24	91.13	91.18
6.0	200.40	0.0500	0.0500	1.9550	2.0400	0.0134	0.0136	70.42	69.12	69.77
7.0	200.40	0.0503	0.0501	2.0360	2.2500	0.0144	0.0149	68.78	65.79	67.28
8.0	200.92	0.0500	0.0503	2.0080	2.1440	0.0121	0.0126	69.85	67.37	68.61

ตารางที่ จ.2 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 บนไคติน

pH of dye	C (mg/L)	W(g)		Aa		AbI		Qa(mg/g)		
		1	2	1	2	1	2	1	2	Average
3.0	201.40	0.0503	0.0502	0.0098	0.0035	0.0065	0.0067	100.05	100.35	100.20
3.5	200.16	0.0500	0.0502	0.0032	0.0041	0.0050	0.0052	100.11	99.70	99.90
4.0	200.32	0.0500	0.0502	0.2367	0.2513	0.0033	0.0036	96.58	95.98	96.28
4.5	200.68	0.0502	0.0501	0.4887	0.5025	0.0032	0.0036	92.52	92.50	92.51
5.0	200.92	0.0500	0.0501	0.5340	0.5390	0.0032	0.0035	92.32	92.06	92.19
6.0	200.40	0.0502	0.0503	3.2910	3.4900	0.0037	0.0038	49.58	46.45	48.02
7.0	200.40	0.0500	0.0502	3.8500	4.1020	0.0033	0.0031	41.20	37.18	39.19
8.0	200.92	0.0502	0.0502	4.3430	4.4400	0.0046	0.0047	33.78	32.30	33.04

ตารางที่ ๑.3 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I Acid Red 360 บนไคโตเซน

pH of dye	C (mg/L)	W(g)		Aa		AbI		Qa(mg/g)		
		1	2	1	2	1	2	1	2	Average
3.0	201.40	0.0503	0.0502	0.0137	0.0063	0.0033	0.0038	99.94	100.26	100.10
3.5	200.16	0.0502	0.0500	0.0014	0.0000	0.0034	0.0033	99.71	100.13	99.92
4.0	200.32	0.0501	0.0503	0.0322	0.0323	0.0034	0.0033	99.52	99.12	99.32
4.5	200.68	0.0503	0.0502	0.2313	0.2081	0.0032	0.0030	96.26	96.20	96.23
5.0	200.92	0.0501	0.0502	0.4195	0.4317	0.0030	0.0028	93.73	93.36	93.55
6.0	200.40	0.0500	0.0501	2.0217	2.0060	0.0023	0.0022	69.15	69.33	69.24
7.0	200.40	0.0501	0.0502	2.4290	2.5050	0.0022	0.0023	62.85	61.57	62.21
8.0	200.92	0.0503	0.0502	2.8220	2.8860	0.0022	0.0023	56.87	56.01	56.44

ตารางที่ ๑.4 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I Reactive Red 158 บนเปลือกกุ้ง

pH of dye	C (mg/L)	W(g)		Aa		AbI		Qa(mg/g)		
		1	2	1	2	1	2	1	2	Average
3.0	200.40	0.0502	0.0502	0.4253	0.4310	0.0164	0.0163	87.07	86.89	86.98
3.5	200.48	0.0500	0.0502	0.4353	0.4115	0.0135	0.0137	87.06	87.46	87.26
4.0	200.60	0.0500	0.0500	0.4423	0.4463	0.0123	0.0125	86.86	86.74	86.80
4.5	200.64	0.0502	0.0502	0.4597	0.4640	0.0130	0.0135	86.02	85.90	85.96
5.0	200.64	0.0500	0.0500	0.4686	0.4828	0.0206	0.0202	86.32	85.86	86.09
6.0	200.00	0.0501	0.0502	2.7050	0.6940	0.0152	0.0154	15.91	16.23	16.07
7.0	200.16	0.0501	0.0500	2.6860	2.6590	0.0158	0.0159	16.60	17.48	17.04
8.0	200.32	0.0502	0.0501	2.6610	2.6550	0.0138	0.0138	17.37	17.59	17.48



ตารางที่ ๑.5 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I Reactive Red 158 บนไคติน

pH of dye	C (mg/L)	W(g)		Aa		Abi		Qa(mg/g)		
		1	2	1	2	1	2	1	2	Average
3.0	200.40	0.0500	0.0502	0.0173	0.0157	0.0076	0.0077	99.90	99.55	99.72
3.5	200.48	0.0502	0.0501	0.2315	0.2393	0.0045	0.0042	92.78	92.71	92.74
4.0	200.60	0.0502	0.0502	0.3409	0.3799	0.0038	0.0040	89.41	88.20	88.80
4.5	200.64	0.0501	0.0501	0.3805	0.4018	0.0040	0.0041	88.38	87.72	88.05
5.0	200.64	0.0502	0.0501	0.4118	0.4114	0.0041	0.0040	87.23	87.41	87.32
6.0	200.00	0.0502	0.0500	2.3730	2.3800	0.0044	0.0045	25.88	25.77	25.82
7.0	200.16	0.0500	0.0502	2.5020	2.5060	0.0039	0.0041	22.01	21.81	21.91
8.0	200.32	0.0502	0.0500	2.6890	2.6730	0.0052	0.0054	16.23	16.80	16.51

ตารางที่ ๑.6 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I Reactive Red 158 บนไคโตเจน

pH of dye	C (mg/L)	W(g)		Aa		Abi		Qa(mg/g)		
		1	2	1	2	1	2	1	2	Average
3.0	200.40	0.0502	0.0502	0.0000	0.0000	0.0027	0.0029	99.88	99.89	99.89
3.5	200.48	0.0502	0.0502	0.0112	0.0087	0.0030	0.0029	99.59	99.66	99.62
4.0	200.60	0.0501	0.0501	0.2401	0.2474	0.0032	0.0033	92.71	92.49	92.60
4.5	200.64	0.0501	0.0502	0.3417	0.3485	0.0030	0.0031	89.56	89.17	89.36
5.0	200.64	0.0502	0.0502	0.3620	0.3783	0.0028	0.0030	88.74	88.24	88.49
6.0	200.00	0.0502	0.0501	1.9210	1.9220	0.0029	0.0031	39.90	39.95	39.93
7.0	200.16	0.0502	0.0500	2.0390	2.0500	0.0030	0.0031	36.31	36.11	36.21
8.0	200.32	0.0500	0.0500	2.2740	2.2730	0.0033	0.0032	29.20	29.23	29.21

ตารางที่ ๑.7 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I Direct Red 80 บนเปลือกกุ้ง

pH of dye	C (mg/L)	W(g)		Aa		AbI		Qa(mg/g)		
		1	2	1	2	1	2	1	2	Average
2.5	200.40	0.0503	0.0501	4.6470	4.6320	0.0160	0.0158	25.35	25.69	25.52
3.0	200.52	0.0501	0.0501	5.0940	5.1220	0.0154	0.0154	18.31	17.86	18.09
3.5	200.60	0.0503	0.0500	5.4830	5.4650	0.0145	0.0143	12.03	12.39	12.21
4.0	200.00	0.0500	0.0500	5.6520	5.6620	0.0127	0.0126	9.04	8.88	8.96
5.0	200.00	0.0501	0.0501	5.6420	5.6150	0.0189	0.0193	9.29	9.73	9.51
6.0	200.08	0.0502	0.0502	5.5440	5.5730	0.0144	0.0146	10.81	10.35	10.58
7.0	200.08	0.0502	0.0502	5.4950	5.5130	0.0153	0.0153	11.61	11.32	11.47
8.0	200.44	0.0500	0.0502	5.6090	5.5810	0.0140	0.0138	9.98	10.38	10.18

ตารางที่ ๑.8 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I Direct Red 80 บนไคติน

pH of dye	C (mg/L)	W(g)		Aa		AbI		Qa(mg/g)		
		1	2	1	2	1	2	1	2	Average
2.5	200.40	0.0500	0.0500	3.2500	3.2900	0.0080	0.0083	47.91	47.27	47.59
3.0	200.52	0.0502	0.0501	3.7990	3.8010	0.0078	0.0078	38.96	39.00	38.98
3.5	200.60	0.0502	0.0500	4.7200	4.7360	0.0045	0.0043	24.15	23.98	24.06
4.0	200.00	0.0500	0.0502	5.0500	5.0630	0.0039	0.0041	18.61	18.33	18.47
5.0	200.00	0.0501	0.0500	5.2800	5.2900	0.0040	0.0041	14.87	14.74	14.81
6.0	200.08	0.0502	0.0500	5.2100	5.1960	0.0045	0.0046	16.02	16.31	16.16
7.0	200.08	0.0502	0.0500	5.3530	5.3230	0.0039	0.0042	13.71	14.25	13.98
8.0	200.44	0.0501	0.0500	5.4380	5.4650	0.0054	0.0051	12.57	12.16	12.36

ตารางที่ ๑.9 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I Direct Red 80 บนไคโตซาน

pH of dye	C (mg/L)	W(g)		Aa		AbI		Qa(mg/g)		
		1	2	1	2	1	2	1	2	Average
2.5	200.40	0.0502	0.0503	1.3220	1.2900	0.0040	0.0042	78.63	78.99	78.81
3.0	200.52	0.0502	0.0500	2.0790	2.0920	0.0037	0.0038	66.52	66.58	66.55
3.5	200.60	0.0500	0.0502	4.9600	4.9580	0.0035	0.0036	20.36	20.31	20.33
4.0	200.00	0.0502	0.0502	5.1650	5.1900	0.0034	0.0038	16.68	16.29	16.48
5.0	200.00	0.0502	0.0500	5.2230	5.2560	0.0029	0.0030	15.74	15.27	15.51
6.0	200.08	0.0500	0.0501	5.2290	5.2430	0.0032	0.0031	15.75	15.49	15.62
7.0	200.08	0.0501	0.0500	5.2490	5.2300	0.0032	0.0034	15.40	15.74	15.57
8.0	200.44	0.0500	0.0501	5.2910	5.3060	0.0032	0.0032	14.93	14.66	14.80

ตารางที่ ๑.10 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I Basic Red 24 บนเปลือกกุ้ง

pH of dye	C (mg/L)	W(g)		Aa		AbI		Qa(mg/g)		
		1	2	1	2	1	2	1	2	Average
3.0	200.28	0.0502	0.0501	3.8275	3.8500	0.0164	0.0163	57.19	57.05	57.12
4.0	200.20	0.0502	0.0501	2.7950	2.8000	0.0123	0.0125	68.63	68.71	68.67
5.0	200.08	0.0500	0.0502	2.7900	2.7875	0.0206	0.0202	68.99	68.74	68.87
6.0	200.16	0.0500	0.0502	2.7800	2.7750	0.0152	0.0154	69.08	68.87	68.98
7.0	200.20	0.0500	0.0500	2.7525	2.7475	0.0158	0.0159	69.42	69.48	69.45
8.0	200.08	0.0500	0.0500	2.7150	2.7075	0.0138	0.0138	69.76	69.84	69.80
9.0	200.20	0.0501	0.0501	2.6450	2.6450	0.0164	0.0164	70.49	70.49	70.49
10.0	200.12	0.0500	0.0500	2.3675	2.3775	0.0205	0.0208	73.75	73.64	73.69
11.0	200.12	0.0500	0.0500	1.6250	1.6350	0.0145	0.0152	82.01	81.90	81.95

ตารางที่ ๑.11 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 บนโคติน

pH of dye	C (mg/L)	W(g)		Aa		AbI		Qa(mg/g)		
		1	2	1	2	1	2	1	2	Average
3.0	200.28	0.0502	0.0500	8.9250	8.9225	0.0076	0.0077	0.17	0.20	0.18
4.0	200.20	0.0502	0.0501	8.9150	8.9175	0.0038	0.0040	0.20	0.17	0.19
5.0	200.08	0.0500	0.0502	8.9200	8.9150	0.0041	0.0040	0.09	0.14	0.11
6.0	200.16	0.0500	0.0500	9.9225	8.9150	0.0044	0.0045	0.10	0.19	0.14
7.0	200.20	0.0501	0.0502	8.9175	8.9225	0.0039	0.0041	0.17	0.12	0.14
8.0	200.08	0.0501	0.0501	8.9150	8.9275	0.0052	0.0054	0.15	0.02	0.09
9.0	200.20	0.0500	0.0501	8.5525	8.5575	0.0064	0.0064	4.29	4.23	4.26
10.0	200.12	0.0500	0.0500	7.9475	7.9425	0.0089	0.0090	11.06	11.12	11.09
11.0	200.12	0.0500	0.0500	7.9275	7.9375	0.0090	0.0088	11.29	11.17	11.23

ตารางที่ ๑.12 ผลของพีเอชต่อการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 บนโคโตน

pH of dye	C (mg/L)	W(g)		Aa		AbI		Qa(mg/g)		
		1	2	1	2	1	2	1	2	Average
3.0	200.28	0.0503	0.0500	8.8250	8.8300	0.0027	0.0029	1.23	1.18	1.20
4.0	200.20	0.0502	0.0500	8.8325	8.8400	0.0032	0.0033	1.11	1.03	1.07
5.0	200.08	0.0500	0.0501	8.8250	8.8225	0.0028	0.0030	1.14	1.16	1.15
6.0	200.16	0.0502	0.0502	8.8175	8.8200	0.0029	0.0031	1.26	1.23	1.24
7.0	200.20	0.0502	0.0501	8.8150	8.8175	0.0030	0.0031	1.31	1.28	1.29
8.0	200.08	0.0501	0.0502	8.8150	8.8125	0.0033	0.0032	1.25	1.28	1.26
9.0	200.20	0.0500	0.0501	8.8150	8.8250	0.0034	0.0036	1.32	1.20	1.26
10.0	200.12	0.0500	0.0500	7.9650	7.9650	0.0054	0.0055	10.83	10.83	10.83
11.0	200.12	0.0500	0.0500	7.7450	7.7550	0.0050	0.0049	13.29	13.18	13.23

ส่วนผนวก ก

ผลของดักหรือฟัดอะเซทิลเลชันต่อการดูดซับของสีย้อม

ปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับบน ไคโตแซนที่มีค่าดักหรือฟัดอะเซทิลเลชันต่างๆ กัน สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q_a = \frac{[C - (A_a - A_{bl}) / S] \times V}{W \times 1000}$$

เมื่อ	Q _a	: Amount of adsorbed dye (mg of adsorbed dye per g of adsorbent)
	C	: Initial concentration of dye (mg/L)
	A _a	: Absorbance of unadsorbed dye after adsorption
	A _{bl}	: Absorbance of blank
	S	: Slope value from calibration curve of dye concentration and absorbance
	V	: Volume of dye solution (25.0 mL)
	W	: Weight of adsorbent (0.0500g)

สภาวะการทดสอบ

Adsorption temperature : 25 °C

C.I. Acid Red 360 C = 200.04 S = 0.0326 pH4 C.I. Direct Red 80 C = 200.16 S = 0.0310 pH4

C.I. Reactive Red 158 C = 200.32 S = 0.0160 pH4 C.I. Basic Red 24 C = 200.16 S = 0.0446 pH10

ตัวอย่างการคำนวณ

ปริมาณของสี C.I. Acid Red 360 ที่ถูกดูดซับบน ไคโตแซนที่มีค่าดักหรือฟัดอะเซทิลเลชัน 79.55% ที่พีเอช 4

$$Q_a = \frac{[(200.04) - (0.3665 - 0.0034) / (0.0326)] (25.0)}{(0.0500)(1000)} = 94.45 \text{ mg/g}$$

ตารางที่ ๑.1 ผลของคิกรีโออฟทีอะเซทิลเลขชั้นต่อการดูดซับสี C.I. Acid Red 360

DDs (%)	Aa		AbI		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
24.48	0.5799	0.5784	0.0032	0.0036	91.17	91.20	91.19
34.88	0.5721	0.5784	0.0033	0.0032	91.30	91.20	91.25
45.12	0.4547	0.4611	0.0030	0.0031	93.09	93.00	93.04
60.71	0.1112	0.1119	0.0033	0.0034	98.37	98.36	98.36
71.08	0.1085	0.1096	0.0032	0.0033	98.40	98.39	98.40
79.55	0.3665	0.3693	0.0034	0.0033	94.45	94.41	94.43

ตารางที่ ๑.2 ผลของคิกรีโออฟทีอะเซทิลเลขชั้นต่อการดูดซับสี C.I. Reactive Red 158

DDs (%)	Aa		AbI		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
24.48	0.6972	0.7075	0.0038	0.0040	78.49	78.18	78.33
34.88	0.6003	0.6067	0.0037	0.0036	81.52	81.31	81.41
45.12	0.4457	0.4491	0.0036	0.0035	86.34	86.24	86.29
60.71	0.2523	0.2534	0.0033	0.0034	92.38	92.35	92.36
71.08	0.3544	0.3567	0.0032	0.0033	89.19	89.12	89.15
79.55	0.4581	0.4614	0.0034	0.0033	85.95	85.84	85.90

ตารางที่ ๑.3 ผลของคิกรีออฟทีอะเจทิลเลขชั้นต่อการดูดซับสี C.I. Direct Red 80

DDs (%)	Aa		AbI		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
24.48	4.4090	4.5150	0.0039	0.0041	29.03	27.32	28.18
34.88	4.3950	4.4040	0.0040	0.0038	29.26	29.11	29.18
45.12	4.3980	4.4020	0.0037	0.0037	29.20	29.14	29.17
60.71	4.1120	4.1340	0.0035	0.0033	33.81	33.46	33.63
71.08	3.9410	3.9740	0.0034	0.0032	36.57	36.03	36.30
79.55	4.2800	4.2960	0.0034	0.0033	31.10	30.84	30.97

ตารางที่ ๑.4 ผลของคิกรีออฟทีอะเจทิลเลขชั้นต่อการดูดซับสี C.I. Basic Red 24

DDs (%)	Aa		AbI		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
24.48	6.4410	6.5010	0.0089	0.0090	27.97	27.30	27.64
34.88	6.5160	6.5760	0.0080	0.0082	27.12	26.45	26.79
45.12	6.5610	6.6020	0.0076	0.0074	26.61	26.15	26.38
60.71	6.6670	6.6560	0.0052	0.0054	25.40	25.52	25.46
71.08	6.7040	6.7380	0.0053	0.0054	24.98	24.60	24.79
79.55	6.6100	6.6880	0.0054	0.0055	26.04	25.16	25.60

ส่วนผนวก ข

ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับของสีย้อม

ปริมาณของสีที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ สามารถคำนวณ ได้ดังนี้

$$Q_a = \frac{[C - (A_a - A_b) / S] \times V}{W \times 1000}$$

เมื่อ	Q_a	: Amount of adsorbed dye (mg of adsorbed dye per g of adsorbent)
	C	: Initial concentration of dye (mg/L)
	A_a	: Absorbance of unadsorbed dye after adsorption
	A_b	: Absorbance of blank
	S	: Slope value from calibration curve of dye concentration and absorbance
	V	: Volume of dye solution (25.0 mL)
	W	: Weight of adsorbent (0.0500g)

สภาวะการทดสอบ

Adsorption temperature : 25 °C

C.I. Acid Red 360	C = 200.00	S = 0.0326	pH 4	C.I. Direct Red 80	C = 200.00	S = 0.0310	pH 4
C.I. Reactive Red 158	C = 200.02	S = 0.0160	pH 4	C.I. Basic Red 24	C = 200.16	S = 0.0446	pH 10

ตัวอย่างการคำนวณ

ปริมาณของสี C.I. Acid Red 360 ที่ถูกดูดซับบน ไคโตซาน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

$$Q_a = \frac{[(200.00) - (0.0939 - 0.0034) / (0.0326)] (25.0)}{(0.0500)(1000)} = 98.61 \text{ mg/g}$$

ตารางที่ ข.1 ผลของระยะเวลาการดูดซับของที C.I. Acid Red 360 บนเปลือกกุ้ง

Time (h)	Aa		AbI		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
0.5	5.2475	5.2625	0.0078	0.0080	19.64	19.41	19.52
3	3.5725	3.5725	1.0085	0.0087	45.34	45.34	45.34
6	2.8500	2.8550	0.0091	0.0090	56.43	56.35	56.39
9	2.8525	2.8675	0.0098	0.0095	56.40	56.17	56.28
18	2.1000	2.1025	0.0106	0.0108	67.95	67.92	67.94
24	2.0950	2.1050	0.0113	0.0115	68.04	67.89	67.97
48	1.5775	1.4100	0.0116	0.0115	75.98	78.55	77.27

ตารางที่ ข.2 ผลของระยะเวลาการดูดซับของที C.I. Acid Red 360 บนไคติน

Time (h)	Aa		AbI		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
0.5	2.8020	2.8120	0.0023	0.0022	57.06	56.90	56.98
3	0.6543	0.6579	0.0024	0.0025	90.00	89.95	89.97
6	0.5666	0.5686	0.0025	0.0024	91.35	91.32	91.33
9	0.5816	0.5912	0.0029	0.0030	91.12	90.98	91.05
18	0.5676	0.5585	0.0032	0.0031	91.34	91.48	91.41
24	0.5621	0.5643	0.0036	0.0033	91.43	91.40	91.41
48	0.6071	0.6099	0.0036	0.0035	90.74	90.70	90.72

ตารางที่ ๕.3 ผลของระยะเวลาการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 บนไคโตซาน

Time (h)	Aa		AbI		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
0.5	2.1330	2.1400	0.0020	0.0022	67.32	67.21	67.26
3	0.1121	0.1127	0.0023	0.0025	98.32	98.31	98.31
6	0.1082	0.1084	0.0026	0.0024	98.38	98.37	98.38
9	0.1069	0.1072	0.0029	0.0027	98.40	98.40	98.40
18	0.0933	0.0933	0.0030	0.0031	98.62	98.62	98.62
24	0.0939	0.0945	0.0034	0.0033	98.61	98.60	98.61
48	0.0924	0.0928	0.0036	0.0035	98.64	98.63	98.63

ตารางที่ ๕.4 ผลของระยะเวลาการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 บนเปลือกกุ้ง

Time (h)	Aa		AbI		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
1	3.0900	3.1000	0.0099	0.0102	3.76	3.45	3.61
3	2.9740	2.9900	0.0105	0.0110	7.40	6.92	7.16
6	2.8890	2.9040	0.0109	0.0112	10.07	9.61	9.84
9	2.8300	2.8470	0.0115	0.0116	11.93	11.40	11.67
18	2.6810	2.6940	0.0118	0.0117	16.60	16.19	16.39
24	2.6190	2.6340	0.0123	0.0125	18.55	18.09	18.32
48	2.2730	2.2800	0.0125	0.0129	29.37	29.16	29.27

ตารางที่ ๕.5 ผลของระยะเวลาการดูดซับของสี C.I.Reactive Red 158 บนโกศิน

Time (h)	Aa		AbI		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
1	1.8680	1.8820	0.0023	0.0025	41.71	41.28	41.49
3	1.5480	1.5580	0.0028	0.0030	51.72	51.42	51.57
6	1.3930	1.4040	0.0033	0.0032	56.58	56.24	56.41
9	1.4030	1.4110	0.0034	0.0033	56.27	56.02	56.15
18	1.3430	1.3510	0.0036	0.0035	58.15	57.90	58.03
24	1.3210	1.3280	0.0038	0.0040	58.85	58.64	58.74
48	1.2870	1.2950	0.0042	0.0041	59.92	59.67	59.80

ตารางที่ ๕.6 ผลของระยะเวลาการดูดซับของสี C.I.Reactive Red 158 บนโคโคแทน

Time (h)	Aa		AbI		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
1	1.1790	1.1850	0.0022	0.0021	63.24	63.04	63.14
3	0.5534	0.5581	0.0026	0.0029	82.80	82.66	82.73
6	0.3171	0.3198	0.0030	0.0031	90.19	90.11	90.15
9	0.2581	0.2600	0.0032	0.0031	92.04	91.98	92.01
18	0.1233	0.1239	0.0032	0.0033	96.26	96.24	96.25
24	0.0696	0.0692	0.0032	0.0033	97.94	97.95	97.94
48	0.0196	0.0194	0.0034	0.0033	99.50	99.51	99.51

ตารางที่ ๗.7 ผลของระยะเวลาการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 บนเปลือกกุ้ง

Time (h)	Aa		AbI		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
1	4.8240	4.8440	0.0080	0.0083	22.32	22.00	22.16
3	4.8110	4.8200	0.0088	0.0087	22.55	22.40	22.47
6	4.7610	4.7800	0.0092	0.0094	23.36	23.05	23.21
9	4.7430	4.7580	0.0098	0.0100	23.66	23.42	23.54
18	4.6480	4.6560	0.0116	0.0114	25.22	25.09	25.15
24	4.5950	4.5980	0.0127	0.0126	26.09	26.04	26.07
48	3.9100	3.9380	0.0127	0.0129	37.14	36.69	36.92

ตารางที่ ๗.8 ผลของระยะเวลาการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 บนไคติน

Time (h)	Aa		AbI		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
1	4.6200	4.6460	0.0025	0.0023	25.52	25.10	25.31
3	4.5070	4.5480	0.0024	0.0023	27.35	26.68	27.01
6	4.3920	4.4080	0.0026	0.0027	29.20	28.95	29.08
9	4.3040	4.3110	0.0027	0.0028	30.62	30.51	30.57
18	4.1360	4.1580	0.0033	0.0036	33.34	32.99	33.17
24	4.0360	4.0540	0.0039	0.0041	34.97	34.68	34.82
48	3.6860	3.7000	0.0040	0.0043	40.61	40.39	40.50

ตารางที่ ๗.9 ผลของระยะเวลาการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 บนใบโศเดนม

Time (h)	Aa		Abi		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
1	4.5950	4.7040	0.0021	0.0020	25.92	24.16	25.04
3	4.5200	4.5230	0.0025	0.0023	27.14	27.09	27.11
6	4.3790	4.3850	0.0026	0.0024	29.41	29.31	29.36
9	4.3530	4.3720	0.0027	0.0026	29.83	29.53	29.68
18	4.2310	4.2330	0.0030	0.0033	31.81	31.78	31.79
24	4.1980	4.2100	0.0034	0.0033	32.35	32.15	32.25
48	4.0130	4.0210	0.0035	0.0033	35.33	35.20	35.26

ตารางที่ ๗.10 ผลของระยะเวลาการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 บนเปลือกกุ้ง

Time (h)	Aa		Abi		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
3	2.9640	2.9940	0.0188	0.0185	67.06	66.72	66.89
6	2.6920	2.7210	0.0190	0.0190	70.11	69.79	69.95
9	2.6680	2.6900	0.0198	0.0196	70.39	70.14	70.27
18	2.3940	2.4160	0.0201	0.0200	73.47	73.22	73.34
24	2.3430	2.3620	0.0205	0.0208	74.04	73.83	73.94
48	2.2560	2.2700	0.0208	0.0210	75.02	74.87	74.94

ตารางที่ ข.11 ผลของระยะเวลาการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 บน โคนทิน

Time (h)	Aa		Abl		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
3	7.6400	7.6700	0.0056	0.0060	14.49	14.16	14.33
6	7.6150	7.6850	0.0063	0.0066	14.78	14.00	14.39
9	7.5200	7.5750	0.0072	0.0075	15.86	15.24	15.55
18	7.4350	7.4800	0.0082	0.0081	16.82	16.31	16.57
24	7.4450	7.4900	0.0089	0.0090	16.72	16.21	16.46
48	6.2550	6.3200	0.0092	0.0090	30.06	29.33	29.69

ตารางที่ ข.12 ผลของระยะเวลาการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 บน โคนโทแทน

Time (h)	Aa		Abl		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
3	7.5150	7.6950	0.0026	0.0025	15.86	14.96	15.41
6	7.4950	7.5600	0.0028	0.0030	16.09	15.36	15.72
9	7.4900	7.5600	0.0035	0.0033	16.15	15.36	15.76
18	7.3400	7.4050	0.0040	0.0042	17.84	17.11	17.47
24	7.2300	7.2650	0.0054	0.0055	19.09	18.70	18.89
48	7.0000	7.0650	0.0056	0.0054	21.67	20.94	21.30

ส่วนผนวก ข

ผลของขนาดอนุภาคของตัวดูดซับต่อการดูดซับของสีย้อม

ปริมาณของสีที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ สามารถคำนวณ ได้ดังนี้

$$Q_a = \frac{[C - (A_a - A_b) / S] \times V}{W \times 1000}$$

- เมื่อ
- Q_a : Amount of adsorbed dye (mg of adsorbed dye per g of adsorbent)
 - C : Initial concentration of dye (mg/L)
 - A_a : Absorbance of unadsorbed dye after adsorption
 - A_b : Absorbance of blank
 - S : Slope value from calibration curve of dye concentration and absorbance
 - V : Volume of dye solution (25.0 mL)
 - W : Weight of adsorbent (0.0500g)

สภาวะการทดสอบ

Adsorption temperature : 25 °C

C.I. Acid Red 360 C=200.00 S=0.0326 pH 4 time 1h C.I. Direct Red 80 C=200.26 S=0.0310 pH4 time 24h

C.I. Reactive Red 158 C=200.02 S=0.0160 pH4 time 5h C.I. Basic Red 24 C=200.16 S=0.0446 pH10 time 24h

ตัวอย่างการคำนวณ

ปริมาณของสี C.I. Acid Red 360 ที่ถูกดูดซับบน ไคโตแซนที่มีขนาดอนุภาค 0.212-0.425 มิลลิเมตร

$$Q_a = \frac{[(200.00) - (0.0952 - 0.0030) / (0.0326)] (25.0)}{(0.0500)(1000)} = 98.59 \text{ mg/g}$$

ตารางที่ ข.1 ผลของขนาดอนุภาคของเปลือกกุ้งต่อการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360

Particle size (mm)	Aa		Abi		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
0.212-0.425	3.0875	3.1775	0.0115	0.0114	52.82	51.44	52.13
0.425-0.710	3.8550	3.9625	0.0113	0.0115	41.05	39.40	40.22
0.710-1.000	4.1775	4.3000	0.0112	0.0114	36.10	34.22	35.16

ตารางที่ ข.2 ผลของขนาดอนุภาคของไคตินต่อการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360

Particle size (mm)	Aa		Abi		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
0.212-0.425	0.9280	0.9520	0.0033	0.0032	85.82	85.45	85.63
0.425-0.710	1.2970	1.3250	0.0033	0.0036	80.16	79.73	79.95
0.710-1.000	1.7530	1.8070	0.0033	0.0033	73.16	72.34	72.75

ตารางที่ ข.3 ผลของขนาดอนุภาคของไคโตซานต่อการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360

Particle size (mm)	Aa		Abi		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
0.212-0.425	0.0952	0.0963	0.0030	0.0031	98.59	98.57	98.58
0.425-0.710	0.3109	0.3226	0.0034	0.0033	95.28	95.10	95.19
0.710-1.000	1.5820	1.6300	0.0032	0.0033	75.79	75.05	75.42

ตารางที่ ข.4 ผลของขนาดอนุภาคของเปลือกกุ้งต่อการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158

Particle size (mm)	Aa		Abl		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
0.212-0.425	2.8520	2.8650	0.0125	0.0124	11.28	10.87	11.07
0.425-0.710	2.9810	2.9900	0.0123	0.0125	7.24	6.96	7.10
0.710-1.000	3.0740	3.0860	0.0122	0.0124	4.33	3.96	4.14

ตารางที่ ข.5 ผลของขนาดอนุภาคของโคตินต่อการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158

Particle size (mm)	Aa		Abl		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
0.212-0.425	1.4960	1.5060	0.0040	0.0039	53.39	53.07	53.23
0.425-0.710	1.5100	1.5150	0.0038	0.0040	52.94	52.79	52.87
0.710-1.000	1.6570	1.6480	0.0038	0.0036	48.35	48.62	48.49

ตารางที่ ข.6 ผลของขนาดอนุภาคของโคโตแซนต่อการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158

Particle size (mm)	Aa		Abl		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
0.212-0.425	0.3075	0.3093	0.0033	0.0035	90.50	90.45	90.48
0.425-0.710	0.4040	0.4057	0.0032	0.0033	87.49	87.44	87.46
0.710-1.000	0.9380	0.9370	0.0030	0.0031	70.79	70.83	70.81

ตารางที่ ๗.7 ผลของขนาดอนุภาคของเปลือกกุ้งต่อการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80

Particle size (mm)	Aa		AbI		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
0.212-0.425	5.2780	5.2860	0.0128	0.0127	15.21	15.08	15.14
0.425-0.710	5.4110	5.4150	0.0126	0.0127	13.06	13.00	13.03
0.710-1.000	5.5710	5.5660	0.0125	0.0124	10.48	10.56	10.52

ตารางที่ ๗.8 ผลของขนาดอนุภาคของไคตินต่อการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80

Particle size (mm)	Aa		AbI		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
0.212-0.425	4.5870	4.5950	0.0040	0.0042	26.21	26.08	26.15
0.425-0.710	4.8210	4.8250	0.0039	0.0041	22.43	22.37	22.40
0.710-1.000	5.0440	5.0480	0.0040	0.0040	18.84	18.78	18.81

ตารางที่ ๗.9 ผลของขนาดอนุภาคของไคโตซานต่อการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80

Particle size (mm)	Aa		AbI		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
0.212-0.425	4.8340	4.8450	0.0035	0.0034	22.22	22.04	22.13
0.425-0.710	5.0330	5.0430	0.0034	0.0035	19.01	18.85	18.93
0.710-1.000	5.3310	5.3470	0.0033	0.0034	14.20	13.94	14.07

ตารางที่ ข.10 ผลของขนาดอนุภาคของเปลือกกุ้งต่อการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24

Particle size (mm)	Aa		Abi		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
0.212-0.425	2.3200	2.3300	0.0206	0.0205	74.30	74.19	74.25
0.425-0.710	2.4620	2.4670	0.0205	0.0208	72.71	72.66	72.68
0.710-1.000	3.1140	3.1210	0.0204	0.0205	65.40	65.32	65.36

ตารางที่ ข.11 ผลของขนาดอนุภาคของโคตินต่อการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24

Particle size (mm)	Aa		Abi		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
0.212-0.425	8.3175	8.3450	0.0090	0.0088	6.94	6.62	6.78
0.425-0.710	8.4500	8.4600	0.0090	0.0089	5.45	5.34	5.39
0.710-1.000	8.4950	8.5200	0.0088	0.0090	4.94	4.67	4.80

ตารางที่ ข.12 ผลของขนาดอนุภาคของโคโคเลนต่อการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24

Particle size (mm)	Aa		Abi		Qa (mg/g)		
	1	2	1	2	1	2	Average
0.212-0.425	8.2050	8.2275	0.0055	0.0054	8.16	7.90	8.03
0.425-0.710	8.5450	8.5575	0.0054	0.0055	4.34	4.21	4.28
0.710-1.000	8.5900	8.6125	0.0053	0.0054	3.84	3.59	3.71

ส่วนผนวก ฅ

ผลของความเข้มข้นต่อการดูดซับของสีย้อม

ปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับของสีย้อม สามารถคำนวณ ได้ดังนี้

$$Q_a = \frac{[C - (A_a - A_{bl}) / S] \times V}{W \times 1000}$$

$$E_c = \frac{Q_a \times W \times 10^5}{C \times V}$$

- เมื่อ
- Qa : Amount of adsorbed dye (mg of adsorbed dye per g of adsorbent)
 - C : Initial concentration of dye (mg/L)
 - Aa : Absorbance of unadsorbed dye after adsorption
 - Abl : Absorbance of blank
 - S : Slope value from calibration curve of dye concentration and absorbance
 - V : Volume of dye solution (25.0 mL)
 - W : Weight of adsorbent (0.0500g)
 - Ec : Adsorption efficiency of dye on adsorbent (% w/w)

สภาวะการทดสอบ

Adsorption temperature : 25 °C

Time 24 h

C.I. Acid Red 360 S = 0.0326 pH 4

C.I. Direct Red 80 S = 0.0310 pH 4

C.I. Reactive Red 158 S = 0.0160 pH 4

C.I. Basic Red 24 S = 0.0446 pH 10

ตัวอย่างการคำนวณ

ปริมาณของสี C.I. Acid Red 360 (200.08 mg/L) ที่ถูกดูดซับบน โคนโคเจน

$$Q_a = \frac{[(200.08) - (0.0998 - 0.0034) / (0.0326)] (25.0)}{(0.0500) (1000)} = 98.56 \text{ mg/g}$$

ประสิทธิภาพการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 (200.08 mg/L) บน โคนโคเจน

$$E_c = \frac{[(98.56) (0.0500) (100000)]}{(200.08) (25.0)} = 98.52 \text{ \%w/w}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๓.1 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Acid Red 360 ต่อปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสีบนเปลือกกุ้งที่พีเอช 4

C (mg/L)	Aa		Qa (mg/g)			Ec (%w/w)		
	1	2	1	2	Average	1	2	Average
0.00	0.0113	0.0115	0.00	0.00	0.00			
200.08	2.0140	2.0390	68.91	68.67	68.79	68.88	68.64	68.76
400.16	3.2640	3.2870	150.19	149.84	150.02	75.07	74.89	74.98
800.20	4.6170	4.6520	328.15	328.93	328.54	82.02	82.21	82.11
1200.32	7.8650	7.9100	479.71	479.02	479.36	79.93	79.81	79.87
1600.32	9.9150	9.9950	646.97	647.04	647.00	80.86	80.86	80.86
2000.00	11.6300	11.7000	821.80	820.73	821.26	82.18	82.07	82.13
2400.48	14.3600	14.4600	980.17	978.64	979.40	81.66	81.54	81.60
2600.04	14.3300	14.4000	1080.41	1079.34	1079.87	83.11	83.02	83.07

ตารางที่ ๓.2 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Acid Red 360 ต่อปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสีบน ไคตินที่พีเอช 4

C (mg/L)	Aa		Qa (mg/g)			Ec (%w/w)		
	1	2	1	2	Average	1	2	Average
0.00	0.0033	0.0036	0.00	0.00	0.00			
200.08	0.5059	0.5087	91.78	91.92	91.85	91.75	91.89	91.82
400.16	2.0660	2.0800	168.11	168.23	168.17	84.02	84.08	84.05
800.20	7.7450	7.8000	280.80	280.52	280.66	70.18	70.11	70.15
1200.32	17.3800	17.4850	333.65	332.04	332.84	55.59	55.32	55.46
1600.32	31.4200	31.6400	318.31	314.94	316.62	39.78	39.36	39.57
2000.00	43.3500	43.7400	335.18	329.19	332.18	33.52	32.92	33.22
2400.48	55.2700	55.8100	352.59	343.62	348.11	29.38	28.63	29.00
2600.04	60.2200	60.8100	376.45	367.40	371.93	28.96	28.26	28.61

ตารางที่ ๓.3 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Acid Red 360 ต่อปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสีบนไคโตซานที่พีเอช 4

C (mg/L)	Aa		Qa (mg/g)			Ec (%w/w)		
	1	2	1	2	Average	1	2	Average
0.00	0.0034	0.0033	0.00	0.00	0.00			
200.08	0.0998	0.1007	98.56	98.55	98.55	98.52	98.51	98.51
400.16	0.2991	0.3014	195.54	195.51	195.53	97.73	97.72	97.72
800.20	2.7175	2.7300	358.47	358.28	358.38	89.60	89.55	89.57
1200.32	14.2150	14.3150	382.19	380.66	381.42	63.68	63.43	63.55
1600.32	28.3400	28.4600	365.55	363.71	364.63	45.68	45.45	45.57
2000.00	38.7900	39.0800	405.11	400.66	402.89	40.51	40.07	40.29
2400.48	51.0000	51.5100	418.08	410.26	414.17	34.83	34.18	34.51
2600.04	55.0100	56.6600	456.36	431.05	443.71	35.10	33.16	34.13

ตารางที่ ๓.4 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Reactive Red 158 ต่อปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสีบนเปลือกกุ้งที่พีเอช 3

C (mg/L)	Aa		Qa (mg/g)			Ec (%w/w)		
	1	2	1	2	Average	1	2	Average
0.00	0.0164	0.0163	0.00	0.00	0.00			
200.00	2.4830	2.4600	22.92	23.64	23.28	22.92	23.64	23.28
400.04	5.6050	5.5800	25.37	26.16	25.77	12.69	13.08	12.88
800.00	11.9250	11.9500	27.85	27.07	27.46	6.96	6.77	6.87
1200.08	18.3400	18.3600	27.43	26.80	27.11	4.57	4.47	4.52
1600.08	24.8900	24.8800	22.74	23.05	22.89	2.84	2.88	2.86
2000.00	31.2550	31.1150	23.79	28.17	25.98	2.38	2.82	2.60
2400.12	37.7600	37.7150	20.57	21.98	21.27	1.71	1.83	1.77
2600.28	40.9850	40.9600	19.87	20.65	20.26	1.53	1.59	1.56

ตารางที่ ๓.5 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Reactive Red 158 ต่อปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสี บน โคลินที่พีเอช 3

C (mg/L)	Aa		Qa (mg/g)			Ec (% w/w)		
	1	2	1	2	Average	1	2	Average
0.00	0.0076	0.0077	0.00	0.00	0.00			
200.00	0.0894	0.0771	97.45	97.83	97.64	97.45	97.83	97.64
400.04	2.8570	2.8940	110.98	109.82	110.40	55.48	54.91	55.19
800.00	9.5100	9.4250	103.05	105.71	104.38	25.76	26.43	26.09
1200.08	15.9450	15.9600	102.00	101.53	101.76	17.00	16.92	16.96
1600.08	22.5650	22.5850	95.12	94.50	94.81	11.89	11.81	11.85
2000.00	29.1600	29.1600	88.99	88.99	88.99	8.90	8.90	8.90
2400.12	35.6300	35.4350	86.86	92.96	89.91	7.24	7.75	7.49
2600.28	38.9100	38.7200	84.44	90.38	87.41	6.49	6.95	6.72

ตารางที่ ๓.6 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Reactive Red 158 ต่อปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสี บน โคลินที่พีเอช 3

C (mg/L)	Aa		Qa (mg/g)			Ec (% w/w)		
	1	2	1	2	Average	1	2	Average
0.00	0.0027	0.0029	0.00	0.00	0.00			
200.00	0.0100	0.0092	99.78	99.80	99.79	99.78	99.80	99.79
400.04	0.1794	0.1590	194.50	195.14	194.82	97.24	97.56	97.40
800.00	3.0650	3.1260	304.31	302.40	303.35	76.08	75.60	75.84
1200.08	7.9550	7.5750	351.53	363.41	357.47	58.59	60.56	59.57
1600.08	13.3550	12.8800	382.78	397.63	390.21	47.85	49.70	48.77
2000.00	18.5050	18.7350	421.81	414.62	418.21	42.18	41.46	41.82
2400.12	24.4050	25.0500	437.49	417.34	427.41	36.46	34.78	35.62
2600.28	27.7600	27.5950	432.73	437.88	435.31	33.28	33.68	33.48

ตารางที่ ๑๑.7 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Reactive Red 158 ต่อปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสีบนเปลือกกุ้งที่พีเอช 4

C (mg/L)	Aa		Qa (mg/g)			Ec (%w/w)		
	1	2	1	2	Average	1	2	Average
0.00	0.0123	0.0125	0.00	0.00	0.00			
200.00	2.6350	2.6410	18.04	17.86	17.95	18.04	17.86	17.95
400.00	5.7650	5.7950	20.23	19.29	19.76	10.12	9.65	9.88
800.00	12.1150	12.1100	21.79	21.95	21.87	5.45	5.49	5.47
1200.00	18.4500	18.4300	23.83	24.45	24.14	3.97	4.08	4.02
1600.00	24.9750	24.9950	19.92	19.29	19.61	2.49	2.41	2.45
2000.00	31.4600	31.5000	17.26	16.01	19.64	1.73	1.60	1.66
2401.44	38.2300	38.2550	6.42	5.64	6.03	0.53	0.47	0.50
2600.96	41.5000	41.5550	3.99	2.27	3.13	0.31	0.17	0.24

ตารางที่ ๑๑.8 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Reactive Red 158 ต่อปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสีบนไคตินที่พีเอช 4

C (mg/L)	Aa		Qa (mg/g)			Ec (%w/w)		
	1	2	1	2	Average	1	2	Average
0.00	0.0038	0.0040	0.00	0.00	0.00			
200.00	10.920	1.4930	53.50	53.47	53.48	53.50	53.47	53.48
400.00	4.3810	4.3840	63.22	63.12	63.17	31.61	31.56	31.58
800.00	10.6850	10.6700	66.22	66.68	66.45	16.55	16.67	16.61
1200.00	16.8350	16.8600	74.03	73.25	73.64	12.34	12.21	12.27
1600.00	23.1950	23.2150	75.28	74.65	74.97	9.41	9.33	9.37
2000.00	29.5450	29.5500	76.84	76.68	76.76	7.68	7.67	7.68
2401.44	36.1200	36.1350	72.09	71.62	71.86	6.00	5.97	5.98
2600.96	39.3650	39.2950	70.45	72.63	71.54	5.42	5.59	5.50

ตารางที่ ๘.9 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Reactive Red 158 ต่อปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสีบน โคลิตเจนที่พีเอช 4

C (mg/L)	Aa		Qa (mg/g)			Ec (%w/w)		
	1	2	1	2	Average	1	2	Average
0.00	0.0032	0.0033	0.00	0.00	0.00			
200.00	0.1782	0.1785	94.53	94.52	94.53	94.53	94.52	94.53
400.00	2.4340	2.4260	124.04	124.29	124.16	62.02	62.14	62.08
800.00	7.6550	7.6450	160.88	161.20	161.04	40.22	40.30	40.26
1200.00	12.4850	12.4550	209.95	210.88	210.41	34.99	35.15	35.07
1600.00	18.3800	18.4000	225.73	225.10	225.41	28.22	28.14	28.18
2000.00	24.0150	24.0200	249.63	249.48	249.55	24.96	24.95	24.96
2401.44	29.2650	29.2800	286.29	285.82	286.06	23.84	23.80	23.82
2600.96	31.8550	31.8400	305.11	305.58	305.35	23.46	23.50	23.48

ตารางที่ ๘.10 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Direct Red 80 ต่อปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสีบน เปลือกกุ้งที่พีเอช 3

C (mg/L)	Aa		Qa (mg/g)			Ec (%w/w)		
	1	2	1	2	Average	1	2	Average
0.00	0.0154	0.0154	0.00	0.00	0.00			
200.12	5.1980	5.2120	16.47	16.24	16.36	16.46	16.23	16.35
400.08	11.7250	11.7400	11.18	10.93	11.05	5.59	5.47	5.53
800.36	24.0700	24.1800	12.20	10.43	11.32	3.05	2.61	2.83
1200.16	36.4800	36.3900	11.94	13.39	12.67	1.99	2.23	2.11
1600.24	48.5900	48.6200	16.66	16.17	16.42	2.08	2.02	2.05
2000.89	60.2300	60.2200	29.20	29.36	29.28	2.92	2.93	2.93
2400.84	71.1900	71.6700	52.44	44.70	48.57	4.37	3.72	4.05
2600.80	77.6800	77.5400	47.75	50.00	48.87	3.67	3.85	3.76

ตารางที่ ๑๑.11 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Direct Red 80 ต่อปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสีบน

ไคตินที่พีเอช 3

C (mg/L)	Aa		Qa (mg/g)			Ec (% w/w)		
	1	2	1	2	Average	1	2	Average
0.00	0.0078	0.0078	0.00	0.00	0.00			
200.12	4.1230	4.3950	33.69	29.30	31.49	33.67	29.28	31.47
400.08	10.2700	9.9900	34.52	39.04	36.78	17.26	19.51	18.39
800.36	21.5000	21.6700	53.53	50.79	52.16	13.38	12.69	13.03
1200.16	33.7400	33.6400	56.01	57.63	56.82	9.33	9.60	9.47
1600.24	46.2300	46.4100	54.60	51.70	53.15	6.82	6.46	6.64
2000.80	58.2400	58.2700	61.17	60.69	60.93	6.11	6.07	6.09
2400.84	71.0400	70.5800	54.74	62.16	58.45	4.56	5.18	4.87
2600.80	76.8000	76.1200	61.82	72.78	67.30	4.75	5.60	5.18

ตารางที่ ๑๑.12 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Direct Red 80 ต่อปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสีบน

ไคโตเจนที่พีเอช 3

C (mg/L)	Aa		Qa (mg/g)			Ec (% w/w)		
	1	2	1	2	Average	1	2	Average
0.00	0.0037	0.0038	0.00	0.00	0.00			
200.12	3.0930	3.0340	50.23	51.19	50.71	50.20	51.15	50.68
400.08	8.2500	8.1700	67.04	68.33	67.68	33.51	34.16	33.83
800.36	20.3800	21.0800	71.53	60.24	65.89	17.87	15.05	16.46
1200.16	33.6600	33.3700	57.24	61.91	59.58	9.54	10.32	9.93
1600.24	47.1400	47.0200	39.86	41.79	40.83	4.98	5.22	5.10
2000.80	59.4700	59.5000	41.27	40.78	41.03	4.13	4.08	4.10
2400.84	73.5900	73.4100	13.54	16.45	15.00	1.13	1.37	1.25
2600.80	79.6500	79.8600	15.78	12.40	14.09	1.21	0.95	1.08

ตารางที่ ๑๓.13 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Direct Red 80 ต่อปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสีบนเปลือกกุ้งที่พีเอช 4

C (mg/L)	Aa		Qa (mg/g)			Ec (%w/w)		
	1	2	1	2	Average	1	2	Average
0.00	0.013	0.013	0.00	0.00	0.00			
200.28	5.8225	5.8500	6.43	5.99	6.21	6.42	5.98	6.20
400.00	11.7700	11.7750	10.37	10.28	10.33	5.18	5.14	5.16
800.44	24.6800	24.7300	2.36	1.55	1.96	0.59	0.39	0.49
1200.52	37.1100	37.1500	1.92	1.27	1.59	0.32	0.21	0.27
1600.40	49.5600	49.5900	1.05	0.57	0.81	0.13	0.07	0.10
2000.60	61.9300	62.0000	1.63	0.50	1.07	0.16	0.05	0.11
2400.64	74.4100	74.3900	0.36	0.69	0.52	0.03	0.06	0.04
2601.52	80.6100	80.6300	0.80	0.48	0.64	0.06	0.04	0.05

ตารางที่ ๑๓.14 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Direct Red 80 ต่อปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสีบนไคตินที่พีเอช 4

C (mg/L)	Aa		Qa (mg/g)			Ec (%w/w)		
	1	2	1	2	Average	1	2	Average
0.00	0.0039	0.0041	0.00	0.00	0.00			
200.28	5.0175	5.0150	19.28	19.32	19.30	19.25	19.29	19.27
400.00	10.4225	10.4425	31.96	31.64	31.80	15.98	15.82	15.90
800.44	22.0600	22.1200	44.48	43.51	43.99	11.11	10.87	10.99
1200.52	33.5000	33.4900	60.00	60.16	60.08	10.00	10.02	10.01
1600.40	44.9200	44.9500	75.75	75.26	75.51	9.47	9.41	9.44
2000.60	56.7600	56.7500	84.88	85.04	84.96	8.49	8.50	8.49
2400.64	71.1200	71.1200	53.29	53.29	53.29	4.44	4.44	4.44
2601.52	77.1800	77.2800	55.99	54.37	55.18	4.30	4.18	4.24

ตารางที่ ๑๕.15 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Direct Red 80 ต่อปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสีบน
ไคโตเจนที่พีเอช 4

C (mg/L)	Aa		Qa (mg/g)			Ec (%w/w)		
	1	2	1	2	Average	1	2	Average
0.00	0.0034	0.0038	0.00	0.00	0.00			
200.28	5.1750	5.1575	16.73	17.01	16.87	16.71	16.99	16.85
400.00	11.2250	11.2525	19.01	18.57	18.79	9.50	9.28	9.39
800.44	24.0100	23.9600	13.02	13.83	13.42	3.25	3.45	3.35
1200.52	36.4600	36.4800	12.25	11.93	12.09	2.04	1.99	2.01
1600.40	49.0200	49.0300	9.61	9.45	9.53	1.20	1.18	1.19
2000.60	61.4000	61.4400	10.04	9.39	9.71	1.00	0.94	0.97
2400.64	74.2200	74.2900	3.28	2.15	2.72	0.27	0.18	0.23
2601.52	80.6100	80.5900	0.66	0.98	0.82	0.05	0.08	0.06

ตารางที่ ๑๕.16 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Basic Red 24 ต่อปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสีบน
เปลือกกุ้งที่พีเอช 10

C (mg/L)	Aa		Qa (mg/g)			Ec (%w/w)		
	1	2	1	2	Average	1	2	Average
0.00	0.0227	0.0242	0.00	0.00	0.00			
200.00	1.6680	1.6840	81.56	81.38	81.47	81.56	81.38	81.47
400.08	7.1650	7.2425	119.98	119.11	119.54	59.98	59.54	59.76
600.36	14.8000	14.9350	134.52	133.01	133.77	44.81	44.31	44.56
800.16	19.5600	19.7900	181.06	178.48	179.77	45.26	44.61	44.93
1000.08	27.0350	27.3800	197.22	193.35	195.29	39.44	38.67	39.05

ตารางที่ ๑๗.17 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Basic Red 24 ต่อปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสีบน
ไคตินที่พีเอช 10

C (mg/L)	Aa		Qa(mg/g)			Ec(%w/w)		
	1	2	1	2	Average	1	2	Average
0.00	0.0072	0.0074	0.00	0.00	0.00			
200.00	7.9200	7.9900	11.29	10.51	10.90	11.29	10.51	10.90
400.08	15.7900	15.9900	23.10	20.86	21.98	11.55	10.43	10.99
600.36	24.4300	24.6900	26.38	23.47	24.93	8.79	7.82	8.30
800.16	31.6000	31.9200	45.90	42.31	44.11	11.47	10.58	11.02
1000.08	39.5700	40.6500	56.51	44.40	50.46	11.30	8.88	10.09

ตารางที่ ๑๗.18 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสี C.I. Basic Red 24 ต่อปริมาณและประสิทธิภาพการดูดซับสีบน
ไคโตเจนที่พีเอช 10

C (mg/L)	Aa		Qa(mg/g)			Ec(%w/w)		
	1	2	1	2	Average	1	2	Average
0.00	0.0032	0.0034	0.00	0.00	0.00			
200.00	7.4000	7.4950	17.08	16.01	16.54	17.08	16.01	16.54
400.08	15.2000	15.4050	29.67	27.38	28.52	14.83	13.68	14.26
600.36	24.2500	24.6000	28.36	24.43	26.39	9.45	8.14	8.79
800.16	32.1300	32.5400	39.92	35.32	37.62	9.98	8.83	9.40
1000.08	40.0200	40.6000	51.42	44.92	48.17	10.28	8.98	9.63

ตารางที่ ๑.1 ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 ออกจากเปลือกกุ้ง

pH	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
4	0.0651	0.0649	16.87	16.81	16.84
6	0.0739	0.0738	19.15	19.12	19.13
9	0.0713	0.0714	18.47	18.50	18.49
10	0.0777	0.0779	20.13	20.18	20.16
11	0.1072	0.1074	27.77	27.82	27.80
12	0.0638	0.0641	16.53	16.61	16.57

ตารางที่ ๑.2 ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 ออกจากไคติน

pH	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
4	0.0021	0.0023	0.56	0.62	0.59
6	0.0330	0.0328	8.86	8.80	8.83
9	0.1043	0.1047	27.99	28.10	28.04
10	0.3660	0.3662	98.22	98.28	98.25
11	0.3634	0.3640	97.53	97.69	97.61
12	0.3457	0.3463	92.78	92.94	92.86

ตารางที่ ๓.3 ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Acid Red 360 ออกจากโคโคเดเซน

pH	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
4	0.0022	0.0019	0.57	0.49	0.53
6	0.0076	0.0077	1.97	2.00	1.98
9	0.0276	0.0278	7.16	7.21	7.18
10	0.2961	0.2964	76.78	76.86	76.82
11	0.3633	0.3633	94.20	94.20	94.20
12	0.3356	0.3362	87.02	87.18	87.10

ตารางที่ ๓.4 ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 ออกจากเปลือกกุ้ง

pH	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
3	0.0090	0.0092	4.70	4.80	4.75
4	0.0090	0.0090	4.70	4.70	4.70
6	0.0096	0.0097	5.01	5.06	5.04
9	0.0102	0.0103	5.33	5.38	5.35
10	0.0103	0.0103	5.38	5.38	5.38
11	0.0201	0.0196	10.49	10.23	10.36
12	0.0157	0.0158	8.20	8.25	8.22

ตารางที่ ๕.5 ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 ออกจากไคติน

pH	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
3	0.0010	0.0009	0.52	0.47	0.49
4	0.0009	0.0008	0.47	0.42	0.44
6	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
9	0.0006	0.0001	0.31	0.05	0.18
10	0.0291	0.0291	15.16	15.16	15.16
11	0.0358	0.0360	18.65	18.75	18.70
12	0.0260	0.0256	13.54	13.33	13.44

ตารางที่ ๕.6 ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 ออกจากไคโตแซน

pH	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
3	0.0586	0.0585	30.52	30.47	30.49
4	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
6	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
9	0.0002	0.0004	0.10	0.21	0.16
10	0.0039	0.0040	2.03	2.08	2.06
11	0.0088	0.0085	4.58	4.43	4.51
12	0.0051	0.0048	2.66	2.50	2.58

ตารางที่ ๗.7 ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I Direct Red 80 ออกจากเปลือกกุ้ง

pH	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
3	0.0161	0.0163	4.40	4.46	4.43
4	0.0231	0.0230	6.31	6.29	6.30
6	0.0502	0.0502	13.72	13.72	13.72
9	0.0564	0.0563	15.42	15.39	15.40
10	0.0629	0.0629	17.20	17.20	17.20
11	0.0842	0.0841	23.02	22.99	23.00
12	0.0236	0.0235	6.45	6.42	6.44

ตารางที่ ๗.8 ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I Direct Red 80 ออกจากไคติน

pH	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
3	0.0011	0.0008	0.30	0.22	0.26
4	0.0046	0.0044	1.24	1.18	1.21
6	0.0054	0.0053	1.45	1.42	1.44
9	0.0239	0.0244	6.42	6.56	6.49
10	0.1463	0.1462	39.33	39.30	39.31
11	0.2254	0.2253	60.59	60.56	60.58
12	0.0796	0.0794	21.40	21.34	21.37

ตารางที่ ๑๑.9 ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 ออกจากโคลโคเจน

pH	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
3	0.1272	0.1268	34.22	34.11	34.17
4	0.0007	0.0005	0.19	0.13	0.16
6	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
9	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
10	0.1639	0.1638	44.10	44.07	44.08
11	0.2599	0.2607	69.92	70.14	70.03
12	0.0884	0.0884	23.78	23.78	23.78

ตารางที่ ๑๑.10 ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 ออกจากเปลือกกุ้ง

pH	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
3	0.3405	0.3406	64.75	64.77	64.76
4	0.2689	0.2695	51.14	51.25	51.19
5	0.2666	0.2669	50.70	50.76	50.73
6	0.2418	0.2418	45.98	45.98	45.98
9	0.2383	0.2388	45.32	45.41	45.37
12	0.2138	0.2141	40.66	40.72	40.69

ตารางที่ ๑๑.11 ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 ออกจากไคติน

pH	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
3	0.1407	0.1409	87.15	87.27	87.21
4	0.1195	0.1195	74.02	74.02	74.02
5	0.0870	0.0861	53.89	53.33	53.61
6	0.0793	0.0795	49.12	49.24	49.18
9	0.0682	0.0685	42.24	42.43	42.33
12	0.0672	0.0669	41.62	41.44	41.53

ตารางที่ ๑๑.12 ผลของพีเอชต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 ออกจากไคโตเซน

pH	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
3	0.0584	0.0580	65.80	65.35	65.57
4	0.0429	0.0430	48.34	48.45	48.39
5	0.0345	0.0349	38.87	39.32	39.10
6	0.0337	0.0345	37.97	38.87	38.42
9	0.0273	0.0275	30.76	30.98	30.87
12	0.0299	0.0276	33.69	31.10	32.39

ส่วนผนวก ฎ ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสีเขียวอม

ปริมาณของสีเขียวอมที่คายการดูดซับออกจากตัวดูดซับที่อุณหภูมิต่างๆ สามารถคำนวณได้จากสูตรและวิธีการคำนวณเดียวกันกับภาคผนวก ฎ และ ได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ ฎ.1 ถึง ฎ.12

สภาวะการทดสอบ

Desorption temperature : 30 and 80 °C
 S for each dye : obtained from Table 4.4
 Qa for each dye : obtained from Table 4.5

ตารางที่ ฎ.1 ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสีเขียวอม C.I. Acid Red 360 ออกจากเปลือกกุ้งที่พีเอช 11

Temperature (°C)	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
30	0.1072	0.1074	27.77	27.82	27.80
80	0.1582	0.1586	40.99	41.09	41.04

ตารางที่ ฎ.2 ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสีเขียวอม C.I. Acid Red 360 ออกจากไคตินที่พีเอช 11

Temperature (°C)	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
30	0.3634	0.3640	97.53	97.69	97.61
80	0.3652	0.3650	98.01	97.96	97.98

ตารางที่ ฎ.3 ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสีเขียวอม C.I. Acid Red 360 ออกจากไคโตซานที่พีเอช 11

Temperature (°C)	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
30	0.3633	0.3633	94.20	94.20	94.20
80	0.3783	0.3786	98.09	98.17	98.13

ตารางที่ ๓.๔ ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 ออกจากเปลือกกุ้งที่ที่เลข 11

Temperature (°C)	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
30	0.0201	0.0196	10.49	10.23	10.36
80	0.0406	0.0404	21.20	21.09	21.15

ตารางที่ ๓.๕ ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 ออกจากไคตินที่ที่เลข 11

Temperature (°C)	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
30	0.0358	0.0360	18.65	18.75	18.70
80	0.0379	0.0380	19.74	19.79	19.77

ตารางที่ ๓.๖ ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Reactive Red 158 ออกจากไค โคนเจนที่ที่เลข 11

Temperature (°C)	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
30	0.0088	0.0085	4.58	4.43	4.51
80	0.0138	0.0136	7.19	7.08	7.14

ตารางที่ ๓.๗ ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 ออกจากเปลือกกุ้งที่ที่เลข 11

Temperature (°C)	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
30	0.0842	0.0841	23.02	22.99	23.00
80	0.1208	0.1212	33.02	33.13	33.08

ตารางที่ ๓.๘ ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 ออกจากไคตินที่ที่เลข 11

Temperature (°C)	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
30	0.2254	0.2253	60.59	60.56	60.58
80	0.2984	0.2988	80.22	80.32	80.27

ตารางที่ ๙.9 ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Direct Red 80 ออกจากโคโตนเจมที่หมายเลข 11

Temperature (°C)	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
30	0.2599	0.2607	69.92	70.14	70.03
80	0.2882	0.2885	77.54	77.62	77.58

ตารางที่ ๙.10 ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 ออกจากเปลือกกุ้งที่หมายเลข 3

Temperature (°C)	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
30	0.3405	0.3406	64.75	64.77	64.76
80	0.2880	0.2882	54.77	54.81	54.79

ตารางที่ ๙.11 ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 ออกจากโคตินที่หมายเลข 3

Temperature (°C)	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
30	0.1407	0.1409	87.15	87.27	87.21
80	0.1216	0.1217	75.32	75.38	75.35

ตารางที่ ๙.12 ผลของอุณหภูมิต่อการคายการดูดซับของสี C.I. Basic Red 24 ออกจากโคโตนเจมที่หมายเลข 3

Temperature (°C)	Ad		Qd (mg/g)		
	1	2	1	2	Average
30	0.0584	0.0580	65.80	65.35	65.57
80	0.0718	0.0716	80.90	80.67	80.79

ส่วนผนวก ฎ

การกำจัดสีออกจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ

ปริมาณของสีที่กำจัดออกจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอจำนวน 9 ตัวอย่าง สามารถคำนวณได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{\max} ของแต่ละตัวอย่าง ดังนี้

$$Q_r = \frac{[A_b - (A_a - A_{bl})] \times 100}{A_b}$$

เมื่อ	Q_r	:	Amount of dye removal (% w/w)
	A_b	:	Adsorbance of dye before adsorption
	A_a	:	Adsorbance of dye after adsorption
	A_{bl}	:	Adsorbance of blank

ตัวอย่างการคำนวณ

ปริมาณของสีแอซิดที่กำจัดออกจากน้ำทิ้ง โรงงานฟอกย้อมสิ่งทอหมายเลข IAF โดยใช้โคโคเจนที่พีเอส 4

$$Q_r = \frac{[(18.4425) - (5.1575 - 0.0032)] (100)}{(18.4425)}$$
$$= 72.05\% \text{ w/w}$$

ตารางที่ ๑.1 การกำจัดสีออกจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสีทอโดยใช้ปอลิเอทรีน

Type of dye	Sample no.	Ab	Aa		AbI		Qr (% w/w)		
			1	2	1	2	1	2	Average
Acid dye	1 AF	184425	159175	160000	0.0132	0.0131	13.76	13.32	13.54
	2 AF	0.2608	0.2556	0.2570	0.0067	0.0067	4.56	4.03	4.29
Reactive dye	1 TK	5.1660	4.0940	4.1080	0.0134	0.0136	21.01	20.74	20.88
	2 TK	4.3960	3.4930	3.5020	0.0123	0.0125	20.82	20.62	20.72
	3 TK	1.7590	1.2140	1.2185	0.0127	0.0127	31.71	31.45	31.58
	4 TK	3.5370	2.8310	2.8410	0.0120	0.0118	20.30	20.01	20.16
Direct dye	1 SN	0.0679	0.0452	0.0457	0.0127	0.0127	52.14	51.40	51.77
Basic dye	1 GT	0.0615	0.0665	0.0670	0.0317	0.0318	43.50	42.68	43.09
	2 GT	0.3781	0.3244	0.3252	0.0294	0.0294	21.98	21.77	21.87

ตารางที่ ๑.2 การกำจัดสีออกจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสีทอโดยใช้โซเดียม

Type of dye	Sample no.	Ab	Aa		AbI		Qr (% w/w)		
			1	2	1	2	1	2	Average
Acid dye	1 AF	184425	160275	160975	0.0043	0.0046	13.12	12.74	12.93
	2 AF	0.2608	0.2607	0.2601	0.0015	0.0024	0.79	1.02	0.90
Reactive dye	1 TK	5.1660	2.0800	2.0860	0.0038	0.0044	59.82	59.70	59.76
	2 TK	4.3960	1.8345	1.8385	0.0038	0.0040	58.36	58.27	58.31
	3 TK	1.7590	0.3180	0.3179	0.0033	0.0035	82.11	82.12	82.12
	4 TK	3.5370	1.4490	1.4320	0.0042	0.0041	59.15	59.63	59.39
Direct dye	1 SN	0.0679	0.0165	0.0166	0.0033	0.0035	80.71	80.56	80.63
Basic dye	1 GT	0.0615	0.0575	0.0580	0.0127	0.0129	27.32	26.50	26.91
	2 GT	0.3781	0.3524	0.3521	0.0107	0.0110	9.67	9.75	9.71

ตารางที่ ๓.3 การกำจัดสีออกจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยใช้โคโคเจน

Type of dye	Sample no.	Ab	Aa		Abl		Qr (% w/w)		
			1	2	1	2	1	2	Average
Acid dye	1 AF	18.4425	5.1575	5.1975	0.0032	0.0036	72.05	71.84	71.94
	2 AF	0.2608	0.2594	0.2604	0.0014	0.0014	1.84	1.46	1.65
Reactive dye	1 TK	5.1660	2.0065	2.0140	0.0035	0.0038	61.23	61.08	61.16
	2 TK	4.3960	1.7255	1.7310	0.0032	0.0033	60.82	60.70	60.76
	3 TK	1.7590	0.5083	0.5098	0.0032	0.0033	71.29	71.20	71.25
	4 TK	3.5370	2.0790	2.0830	0.0040	0.0040	41.33	41.22	41.28
Direct dye	1 SN	0.0679	0.0071	0.0075	0.0032	0.0033	94.33	93.74	94.04
Basic dye	1 GT	0.0615	0.0569	0.0583	0.0078	0.0080	20.33	18.05	19.19
	2 GT	0.3781	0.3525	0.3527	0.0067	0.0066	8.53	8.48	8.50

