

การดูดซึมและการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมจากไฮโดรเจล  
แบบเฟสเดียวและแบบสองเฟส

UPTAKE AND RELEASE OF DYE MOLECULE INTO  
MONO-BIPHASE HYDROGELS

นายพุฒิพงษ์ มหาชัย

รหัส 53364215

ที่แจ้งผล	คณะวิทยาศาสตร์
ปี	23
ภาค	ม.ค. 57
เลขที่	16549433
สาขา	ฟิสิกส์
มหาวิทยาลัย	มหาวชิราลงกรณ 94 824 17 2556

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ปีการศึกษา 2556



## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การดูซึมและการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมจากไฮโดรเจลแบบเฟสเดียว  
และแบบสองเฟส

ผู้ดำเนินโครงการ นายพุดพิงษ์ มหาชัย รหัส 53364215

ที่ปรึกษาโครงการ ดร.นพวรรณ ไม้ทอง

ที่ปรึกษาร่วมโครงการ ดร.แกร์เรธ ไมเคิล รอส

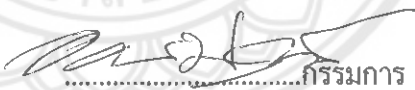
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

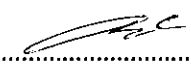
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม


ปีการศึกษา 2556

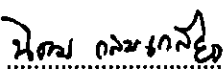
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ  
การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

  
.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(ดร.นพวรรณ ไม้ทอง)

  
.....กรรมการ  
(ดร.อิสราวุธ ประเสริฐสังข์)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์อามากรณ์ จันทรพิรัช)

  
.....กรรมการ  
(ดร.ภมรรัตน์ จันธรรม)

  
.....กรรมการ  
(ดร.นิคม กลมเกลี้ยง)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การดูดซึมและการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมจากไฮโดรเจลแบบเฟสเดียวและแบบสองเฟส		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายพุดิพงษ์	มหาชัย	รหัส 53364215
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.นพวรรณ	ไม้ทอง	
ที่ปรึกษาร่วมโครงการ	ดร.แกร์เรธ ไมเคิล	รอส	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2556		

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำสีย้อมทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ สีย้อม Violet สีย้อม Orange II และสีย้อม Congo Red ที่มีสมบัติทางโครงสร้างและขนาดมวลโมเลกุลคล้ายคลึงด้วยยา โดยจะใช้สีย้อมเป็นตัวเปรียบเทียบกับยาซึ่งมียาหลายชนิดที่มีขนาดโมเลกุลใกล้เคียงกับสีย้อมข้างต้น จากการทดลองการดูดซับสีย้อมโดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นในการดูดซับผ่านไฮโดรเจลที่ความเข้มข้น 0.01 0.05 0.1 และ 1 %w/v พบว่าการดูดซับสีย้อมทั้ง 3 ชนิด เริ่มเข้าสู่สมดุลที่ 24 ชั่วโมง โดยสีย้อม Violet ให้ค่าการดูดซับมากที่สุดตามด้วยสีย้อม Orange II และสีย้อม Congo Red ให้ค่าการดูดซับน้อยที่สุดสำหรับการทดลองการปลดปล่อยสีย้อมออกจากไฮโดรเจลแบบเฟสเดียวและแบบสองเฟสโดยเลือกพิจารณาที่ความเข้มข้นการดูดซับเริ่มต้นที่ 0.01 %w/v เพราะที่การปลดปล่อยแบบสองเฟสความเข้มข้นของการดูดซับเริ่มต้น 0.01 %w/v แสดงพีคค่าการดูดกลืนแสงเพียงพีคเดียวของการวัดเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer พบว่าการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมแบบสองเฟสเวลาเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 24 ชั่วโมง โดยสีย้อม Orange II ให้ค่าการปลดปล่อยมากที่สุด คือ 1.511 mg/100 ml ตามด้วยสีย้อม Violet คือ 0.144 mg/100 ml และสีย้อม Congo Red ให้ค่าการปลดปล่อยน้อยที่สุด คือ 0.0798 mg/100 ml นั้นเป็นเพราะขนาดมวลโมเลกุลที่แตกต่างกัน และสำหรับการปลดปล่อยสีย้อมแบบเฟสเดียว พบว่า ณ เวลาเริ่มเข้าสู่สมดุล สีย้อม Violet ให้ค่าการปลดปล่อยมากที่สุด คือ 1.669 mg/100 ml สีย้อม Orange II คือ 0.828 mg/100 ml และสีย้อม Congo Red ให้ค่าการปลดปล่อยน้อยที่สุด คือ 0.0602 mg/100 ml สำหรับในงานวิจัยนี้สีย้อมที่เหมาะสมที่สุดจากทั้งหมด 3 สี ในการนำมาเปรียบเทียบกับยา คือ สีย้อม Orange II แม้ว่าสีย้อม Violet จะให้ค่าในการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมมากที่สุดของการปลดปล่อยสีย้อมแบบเฟสเดียว แต่เนื่องด้วยสีย้อม Violet มีสมบัติในการย้อมติดสีมากเกินไป จึงไม่เหมาะสมในการเปรียบเทียบกับยา อย่างไรก็ตามการเลือกสีย้อม Orange II ไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับยาอาจต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีการวัดเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณท่าน ดร.นพวรรณ ไม้ทอง อาจารย์ที่ปรึกษาและ ดร. แกร์เรีธ ไมเคิล รอส อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมปริญญาโท ที่ได้สละเวลาให้ความรู้ คำปรึกษา และคำแนะนำที่ดี ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของปริญญาโทฉบับนี้จนสำเร็จ สมบูรณ์ลง ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการทดลอง ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาในการใช้งานเครื่องมือต่างๆ เป็นอย่างดี ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำปริญญาโทฉบับนี้จน สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวทุกท่านที่ให้โอกาสทางการศึกษา คอยสนับสนุนทั้งทางด้านกำลังใจและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาตลอดการศึกษานจนประสบความสำเร็จและอีกหลายท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามในครั้งนี ขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้ดำเนินโครงการ  
นายวุฒิพงษ์ มหาชัย

ธันวาคม 2556

# สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตการดำเนินโครงการ.....	2
1.4 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	3
1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1 หลักการพื้นฐานเกี่ยวกับไฮโดรเจล.....	4
2.1.1 ประเภทของไฮโดรเจล.....	4
2.1.2 สมบัติของไฮโดรเจล.....	5
2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวของไฮโดรเจล.....	5
2.2 ลักษณะและสมบัติของไฮโดรเจลที่เหมาะสมประยุกต์ใช้เป็นวัสดุปิดแผล.....	7
2.3 สีย้อม.....	8
2.3.1 ประเภทของสีย้อม.....	8
2.4 หลักการแพร่ของสาร.....	9
2.4.1 กลไกการแพร่.....	9
2.4.2 การแพร่ในสถานะไม่คงตัว.....	11
2.4.3 ปัจจัยที่ควบคุมการแพร่ของสาร.....	11
2.5 หลักการทำงานเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer.....	12
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	16
3.1 วัสดุตั้งต้นและสารเคมี.....	16
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	16
3.3 การเตรียมสารละลาย.....	16
3.4 แผนการดำเนินงานโดยสังเขป.....	17
3.5 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน.....	18
3.6 โครงสร้างโมเลกุลของสีย้อมเปรียบเทียบด้วยยา.....	23
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....	24
4.1 ผลการเตรียมสารละลายมาตรฐานของสีย้อม.....	24
4.2 ผลการดูดซับโมเลกุลของสีย้อมที่เวลาสมดุล 24 ชั่วโมง.....	27
4.3 ผลการศึกษาการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมออกจากแผ่นไฮโดรเจล.....	28
4.4 ผลกระทบของสีย้อม.....	37
4.5 ผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้น.....	38
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	39
5.1 บทสรุป.....	39
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	40
เอกสารอ้างอิง.....	41
ภาคผนวก ก .....	42
ภาคผนวก ข .....	47
ภาคผนวก ค .....	52
ภาคผนวก ง .....	56
ภาคผนวก จ .....	60
ภาคผนวก ฉ .....	62
ภาคผนวก ช .....	67

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....	3
3.1 การเปรียบเทียบโครงสร้างโมเลกุลสีย้อมและตัวยา.....	23
4.1 แสดงผลการดูดซับสีย้อมทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาสมดุล 24 ชั่วโมง.....	27
ก.1 ข้อมูลการสร้างกราฟมาตรฐานของสีย้อม Congo Red.....	44
ก.2 ข้อมูลการสร้างกราฟมาตรฐานของสีย้อม Orange II.....	45
ก.3 ข้อมูลการสร้างกราฟมาตรฐานของสีย้อม Violet.....	46
ข.1 แสดงการดูดซับสีย้อมทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.01 %w/v.....	48
ข.2 แสดงการดูดซับสีย้อมทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.05 %w/v.....	49
ข.3 แสดงการดูดซับสีย้อมทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1 %w/v.....	50
ข.4 แสดงการดูดซับสีย้อมทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 %w/v.....	51
ค.1 แสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อม Congo Red แบบสองเฟส.....	53
ค.2 แสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อม Orange II แบบสองเฟส.....	54
ค.3 แสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อม Violet แบบสองเฟส.....	55
ง.1 แสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อม Congo Red แบบเฟสเดียว.....	57
ง.2 แสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อม Orange II แบบเฟสเดียว.....	58
ง.3 แสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อม Violet แบบเฟสเดียว.....	59

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปลี่ยนแปลงของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อเกิดการพองตัวโดยมีการแพร่ผ่านโมเลกุลน้ำเข้าไปภายในโครงสร้างของไฮโดรเจล.....	6
2.2 อันตรกิริยาของโมเลกุลของน้ำในโครงสร้างไฮโดรเจล.....	7
2.3 กระบวนการแพร่ของทองแดง (Cu) สุนิกเกิล (Ni) โดยกระบวนการแพร่ เกิดขึ้นแบบสุ่ม (Random).....	10
2.4 (ก) กลไกการแพร่แบบช่องว่าง (ข) กลไกการแพร่แบบแทรกที่.....	10
2.5 การแพร่ของอะตอมสุ่วตัวของวัสดุซึ่งเป็นไปตามกฎข้อที่สองของฟิก.....	11
2.6 องค์ประกอบเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer.....	12
3.1 แผนการดำเนินงานโดยสังเขป.....	17
3.2 การสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารตัวอย่าง.....	18
3.3 การเตรียมส่วนผสมเพื่อขึ้นรูปไฮโดรเจล.....	18
3.4 ส่วนผสมไฮโดรเจลที่ฉีดลงในแม่แบบที่เตรียมไว้.....	19
3.5 แผ่นไฮโดรเจลพร้อมใช้.....	19
3.6 ตัวอย่างการแช่แผ่นไฮโดรเจลในสารละลายสีย้อมที่เตรียมไว้.....	20
3.7 การศึกษาปริมาณการดูดซับของแผ่นไฮโดรเจล.....	20
3.8 ตัวอย่างแผ่นไฮโดรเจลที่ดูดซับสีย้อมสมดุลแช่ในน้ำกลั่นปริมาตร 3 มิลลิลิตร.....	21
3.9 ตัวอย่างน้ำกลั่นที่มีสารละลายสีย้อมปลดปล่อยจากแผ่นไฮโดรเจลที่เวลา 5 ชั่วโมง.....	21
3.10 การทดสอบการปลดปล่อยสารละลายสีย้อมในน้ำกลั่น.....	22
3.11 ตัวอย่างการวางทับแผ่นไฮโดรเจล.....	22
3.12 การทดสอบการปลดปล่อยสารละลายสีย้อม โดยใช้แผ่นไฮโดรเจลวางทับกัน.....	22
4.1 กราฟมาตรฐานของสีย้อม Congo Red.....	24
4.2 กราฟมาตรฐานของสีย้อม Orange II.....	25
4.3 กราฟมาตรฐานของสีย้อม Violet.....	26
4.4 กราฟแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 ชนิดแบบสองเฟส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซึม 0.01 %w/v.....	28



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 กราฟแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 ชนิดแบบสองเฟส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซึม 0.05 %w/v.....	29
4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่มีจำนวนมากกว่าหนึ่งฟิค (ก) มีจำนวนมากกว่าหนึ่งฟิค (ข) มีจำนวนหนึ่งฟิค .....	30
4.7 กราฟแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 ชนิดแบบสองเฟส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซึม 0.1 %w/v.....	31
4.8 กราฟแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 ชนิดแบบสองเฟส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซึม 1 %w/v.....	32
4.9 กราฟแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 ชนิดแบบเฟสเดียว ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซึม 0.01 %w/v.....	33
4.10 กราฟแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 ชนิดแบบเฟสเดียว ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซึม 0.05 %w/v.....	34
4.11 กราฟแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 ชนิดแบบเฟสเดียว ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซึม 0.1 %w/v.....	35
4.12 กราฟแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 ชนิดแบบเฟสเดียว ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซึม 1 %w/v.....	36
ก.1 ความยาวคลื่นสูงสุดของสีย้อมทั้งสามชนิด .....	43
จ.1 การดูดซับโมเลกุลของสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.01 %w/v ที่เวลาสมดุล 24 ชั่วโมง.....	61
จ.2 การดูดซับโมเลกุลของสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.05 %w/v ที่เวลาสมดุล 24 ชั่วโมง.....	61
จ.3 การดูดซับโมเลกุลของสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1 %w/v ที่เวลาสมดุล 24 ชั่วโมง.....	61
จ.4 การดูดซับโมเลกุลของสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 %w/v ที่เวลาสมดุล 24 ชั่วโมง.....	61
ฉ.1 การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมแบบสองเฟสที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ในการดูดซับ 0.01 %w/v.....	63
ฉ.2 การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมแบบสองเฟสที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ในการดูดซับ 0.05 %w/v.....	64
ฉ.3 การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมแบบสองเฟสที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ในการดูดซับ 0.1 %w/v.....	65
ฉ.4 การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมแบบสองเฟสที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ในการดูดซับ 1 %w/v.....	66

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ช.1 การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมแบบเฟสเดียวที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ในการดูดซับ 0.01 %w/v .....	68
ช.2 การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมแบบเฟสเดียวที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ในการดูดซับ 0.05 %w/v .....	69
ช.3 การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมแบบเฟสเดียวที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ในการดูดซับ 0.1 %w/v.....	70



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันเทคโนโลยีในการรักษาแผลแต่ละชนิดโดยเฉพาะวัสดุปิดแผลต่างๆ มีการพัฒนาและเจริญก้าวหน้าขึ้นอย่างมาก โดยมีการผสมผสานตัวยาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ นอกจากนั้นยังมีการพัฒนาวัสดุปิดแผลเพื่อให้เกิดคุณลักษณะในการสมานแผลหรือเร่งบาดแผลให้หายเร็วขึ้นด้วย โดยวัสดุเหล่านี้มีทั้งประเภทที่สำหรับใช้ปิดบาดแผลชั่วคราวโดยเร่งให้บาดแผลหายเร็วหรืออาจมีประเภทที่ปิดบาดแผลแบบถาวรเสริมสร้างการสร้างเนื้อเยื่อใหม่และมีผลิตภัณฑ์รักษาบาดแผลชนิดต่างๆ ออกมาจำหน่ายมากมาย เพื่อลดความถี่ในการทำแผลและคงความชุ่มชื้นโดยไม่ต้องทำแผลบ่อย [1]

ในปัจจุบันนี้ ไฮโดรเจล (Hydrogel) เป็นทางเลือกใหม่ที่มีบทบาทสำคัญมากในด้านการแพทย์ในปี ค.ศ. 1960 ได้เริ่มมีการศึกษานำพอลิเมอร์สังเคราะห์มาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุปิดแผลซึ่ง Wichterle และ Lim (1960) ได้นำ Poly 2-Hydroxyethylmethacrylate ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชนิดโครงสร้างตาข่ายข้อดีของพอลิเมอร์ชนิดนี้ คือ สามารถดูดซับน้ำได้ ยอมให้มีการแพร่ผ่านของไอน้ำและเมตาบอลิซึม และยังสามารถนำไปผ่านการปลอดเชื้อ (Sterilize) ได้โดยที่ไม่ทำให้พอลิเมอร์เสียหาย นอกจากนั้นยังสามารถออกแบบรูปร่างรวมถึงโครงสร้างย่อย (Microstructure) ได้หลากหลายเพื่อให้เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานที่กว้างมากขึ้น [2]

ตัวอย่างวัสดุปิดแผลชนิดไฮโดรเจลทางการค้าที่ได้รับความนิยม เช่น ไฮดรอน (Hydron) วิจิลอน (Vigilon) และเจลิเพิร์ม (Geliperme) เป็นต้น ซึ่งไฮโดรเจลเหล่านี้ประกอบขึ้นมาจากมอนอเมอร์ที่มีความเป็นไฮโดรฟิลิก เช่น HEMA เอธิลีนไกลคอล และอะคริลาไมด์ เป็นต้น นอกจากนั้นแผ่นไฮโดรเจลทางการค้าบางชนิดยังมีการออกแบบให้มีลักษณะที่ประกอบขึ้นเป็นชั้นๆ เพื่อเพิ่มความสามารถในการใช้งานให้มีหน้าที่จำเพาะของแต่ละชั้นด้วยวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไป วัสดุไฮโดรเจลข้างต้นจะช่วยป้องกันการติดเชื้อเนื่องจากมีส่วนของชั้นที่ป้องกันการผ่านเข้ามาของสิ่งสกปรกหรือแบคทีเรียจากภายนอกและส่งเสริมให้เกิดการหายของแผลได้ในระยะเวลาที่เร็วขึ้น เนื่องจากแผ่นไฮโดรเจลมีความสามารถรักษาความชุ่มชื้นให้กับบาดแผล มีหลักฐานการยืนยันทางการแพทย์ระบุว่าแผลที่มีความชุ่มชื้นในระดับที่เหมาะสมจะลดการติดเชื้อและที่สำคัญ คือ ช่วยเร่งการหายของแผล [2]

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาการนำสีย้อมทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ สีย้อม Violet Orange II และ Congo Red ที่มีสมบัติทางโครงสร้างและขนาดมวลโมเลกุลคล้ายคลึงตัวยา โดยจะใช้สีย้อมเป็นตัวเปรียบเทียบกับแทนตัวยา ซึ่งมียาหลายชนิดที่มีขนาดโมเลกุลใกล้เคียงกับสีย้อมข้างต้นและตัวยาส่วนใหญ่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า อีกทั้งสีย้อมมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายกว่า ซึ่งสีย้อม Orange II จะใช้เปรียบเทียบกับแทนตัวยา Silver Sulfadiazine ซึ่งเป็นยารักษาบาดแผลไฟไหม้ติดเชื้อ สีย้อม Violet จะใช้เปรียบเทียบกับแทนตัวยา Thimerosal ซึ่งเป็นยารักษาบาดแผลสด และสีย้อม Congo Red จะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับแทนตัวยา Cefditoren Pivoxil ซึ่งตัวยามีคุณสมบัติในการรักษาต้านแบคทีเรีย

[11] โดยการเปรียบเทียบด้วยค่าช่วงต้นของสีย้อมทั้ง 3 ชนิดจะพิจารณาขนาดมวลโมเลกุลที่ใกล้เคียงกัน ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำสีย้อมมาทดสอบกับแผ่นไฮโดรเจล โดยจะใช้แผ่นไฮโดรเจลเป็นตัวดูดซับสีย้อมที่มีความเข้มข้น 0.01 0.05 0.1 และ 1 %w/v เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสีย้อมจากการดูดซับแผ่นไฮโดรเจลที่เวลาต่างๆ จากนั้นนำแผ่นไฮโดรเจลที่ดูดซับสีย้อมสมมูลมาทดสอบหาความเข้มข้นของสีย้อมที่ปลดปล่อยจากไฮโดรเจล โดยการวิเคราะห์การปลดปล่อยสีย้อมในขั้นตอนนี้ จะแบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1 จะนำแผ่นไฮโดรเจลที่ดูดซับสีย้อมสมมูลใส่ในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 3 มิลลิลิตร และการทดลองที่ 2 นำแผ่นไฮโดรเจลที่ดูดซับสีย้อมวางทับลงบนแผ่นไฮโดรเจลเปล่า โดยนำน้ำที่เหลือจากการทดลองที่ 1 และแผ่นไฮโดรเจลเปล่าในการทดลองที่ 2 มาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสีย้อมที่มีปลดปล่อยจาก ไฮโดรเจลที่เวลาต่างๆ ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านทางการแพทย์ต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นสีย้อมที่มีต่อการดูดซับแผ่นไฮโดรเจลที่เวลาต่างๆ

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นสีย้อมที่ปลดปล่อยออกจากแผ่นไฮโดรเจลแบบเฟสเดี่ยวและแบบสองเฟส

## 1.3 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

### 1.3.1 ตัวแปรต้น

1.3.1.1 ชนิดและปริมาณของสีย้อม Congo Red Orange II และ Violet

1.3.1.2 เวลาในการทดลองการดูดซับและเวลาในการปลดปล่อยของสีย้อมที่เวลา 1 2 5

8 24 48 และ 72 ชั่วโมง

### 1.3.2 ตัวแปรตาม

1.3.2.1 ความเข้มข้นสีย้อมที่ถูกดูดซับจากแผ่นไฮโดรเจล

1.3.2.2 ความเข้มข้นสีย้อมที่ปลดปล่อยออกจากแผ่นไฮโดรเจลแบบเฟสเดี่ยวและแบบสองเฟส

### 1.3.3 ตัวแปรควบคุม

1.3.3.1 อุณหภูมิห้องในการทดลอง

#### 1.4 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

1.4.1 อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.4.2 อุทยานวิทยาศาสตร์ภาคเหนือตอนล่าง อาคารมหารัชมงคล มหาวิทยาลัยนเรศวร

#### 1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

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

#### 1.6 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ

ขั้นตอนและแผนดำเนินโครงการถูกแสดงดังตารางที่ 1.1 ดังนี้

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ

	การดำเนินโครงการ	ช่วงเวลา								
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1.6.1	รวบรวมข้อมูล	←→								
1.6.2	วางแผนดำเนินงาน			←→						
1.6.3	หาวัตถุดิบเพื่อทำการทดลอง			←→						
1.6.4	เริ่มทำการทดลอง					←→				
1.6.5	วิเคราะห์ผลการทดลอง						←→			
1.6.6	สรุปผลการทดลองและทำรายงาน							←→		→

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

#### 2.1 หลักการพื้นฐานเกี่ยวกับไฮโดรเจล (Basic Principles Of Hydrogel) [3]

ไฮโดรเจลเป็นพอลิเมอร์ชนิดไฮโดรฟิลิกที่มีลักษณะเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติ โครงสร้างของไฮโดรเจลประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ส่วนที่สามารถเกิดอันตรกิริยา (Interaction) กับโมเลกุลของน้ำหรือเรียกว่าส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic Group) เช่น หมู่  $-OH$ ,  $-COOH$  และ  $-CONH_2$  เป็นต้น และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Group) เช่น หมู่  $-CH_2-$  และ  $-CH_3$  เป็นต้น ระหว่างสายโซ่มีการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ พันธะไฮโดรเจน หรืออันตรกิริยาระหว่างหมู่ต่างๆ ในสายโซ่ประกอบกันเป็นสายโซ่ยาวจำนวนมากและโมเลกุลมีการพันตัวกันหรือขดตัวกันอยู่ ทำให้ภายในโครงสร้างโดยรวมเกิดรูพรุนขนาดเล็กๆ มากมาย สมบัติเด่นของไฮโดรเจล คือ สามารถดูดซับน้ำไว้ภายในโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นร่างตาข่าย (Crosslinked Network Structure) ได้มากกว่าร้อยละ 20 พร้อมกับสามารถพองตัวหรือขยายตัวออกได้และยังสามารถหดตัวได้เมื่อมีการสูญเสียโมเลกุลของน้ำออกไป นอกจากนี้ ยังไม่สามารถละลายใน ตัวทำละลายทุกชนิด การจำแนกประเภทของไฮโดรเจลสามารถแบ่งได้ 4 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะของการสังเคราะห์และการประยุกต์ใช้ที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

##### 2.1.1 ประเภทของไฮโดรเจล

2.1.1.1 ไฮโดรเจลแบบแผ่นฟิล์ม (Film Hydrogels) มักนำไปใช้เพื่อเคลือบพื้นผิวของวัสดุต่างๆ ไฮโดรเจลชนิดนี้มีโครงสร้างภายในที่ประกอบด้วยทั้งส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ส่วนที่ไม่ชอบน้ำจะช่วยป้องกันไม่ให้พอลิเมอร์ละลายในตัวทำละลายต่างๆ ได้

2.1.1.2 ไฮโดรเจลแบบโครงร่างตาข่าย (Crosslinked Network) เตรียมจากการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerisation) ระหว่างสารละลายผสมของมอนอเมอร์ (Monomer) ตัวริเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) และตัวเชื่อมตอสายโซ่ (Crosslinking Agent) หรือในบางกรณีอาจเติมตัวทำละลายลงไปด้วย จากนั้นเทลงไปในแม่พิมพ์

2.1.1.3 ไฮโดรเจลแบบกราฟท์บนพื้นผิว (Surface Grafted Polymer) ทำได้โดยการให้ไฮโดรเจลเกิดพันธะบนพอลิเมอร์อื่นที่ไม่สามารถละลายน้ำ เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถปรับปรุงสมบัติของไฮโดรเจลให้ตรงกับความต้องการเพื่อเหมาะกับการประยุกต์ใช้งานได้ เช่น ปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น โดยทำให้เกิดพันธะกับพอลิเมอร์ที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าหรือการทำให้ไฮโดรเจลที่ละลายน้ำได้กลายเป็นไฮโดรเจลที่ไม่ละลายน้ำ โดยเกิดพันธะกับพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถละลายในน้ำ เป็นต้น

2.1.1.4 ไฮโดรเจลแบบอินเตอร์เพเนตริงพอลิเมอร์เน็ตเวิร์ก (Interpenetrating Polymer Network-IPN) เป็นไฮโดรเจลที่มีโครงร่างตาข่าย 2 ชนิด แทรกกันอยู่ไม่สามารถแยกออกจาก

กันได้ ส่งผลให้โครงสร้างโดยรวมมีความแข็งแรงมากขึ้นหรือมีสมบัติอื่นที่ตรงกับความต้องการในการประยุกต์ใช้งานได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีไฮโดรเจลชนิดที่เป็นแบบกึ่งอินเทอร์เพเนตรตติงพอลิเมอร์เน็ตเวิร์ก (Semi-IPN) คือ ไฮโดรเจลที่มีพอลิเมอร์โครงร่างตาข่ายกับพอลิเมอร์ที่ไม่มีโครงร่างตาข่ายสอดแทรกกันอยู่ซึ่งทั้งสองเทคนิคเป็นการปรับปรุงสมบัติของไฮโดรเจลอีกทางหนึ่งเพื่อให้ตรงต่อการประยุกต์ใช้งานในแต่ละแบบ

### 2.1.2 สมบัติของไฮโดรเจล

สมบัติเฉพาะของไฮโดรเจล คือ สามารถพองตัวแต่ไม่ละลายในน้ำ เนื่องจากไฮโดรเจลประกอบด้วยทั้งส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำเมื่อนำไฮโดรเจลไปแช่น้ำโมเลกุลของน้ำสามารถแพร่ผ่านและแทรกเข้าไปอยู่ในบริเวณที่ว่างหรือรูพรุนภายในโครงสร้างสามมิติของไฮโดรเจลนั้นได้ เนื่องจากแรงดันออสโมติก (Osmotic Pressure) โมเลกุลน้ำบางส่วนจะเกิดอันตรกิริยากับสายโซ่พอลิเมอร์แล้วผลักดันให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการขยายตัวหรือเกิดการพองตัวขึ้น ซึ่งเป็นการปรับโครงสร้างของไฮโดรเจลให้เกิดสมดุลใหม่ไฮโดรเจลเมื่อขยายตัวเต็มที่จะไม่แยกขาดออกจากกันได้เนื่องจากภายในจะประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่มีความยาวจำกัดและยึดกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ โดยมีตัวเชื่อมต่อสายโซ่ (Crosslinker) เป็นตัวช่วยยึดระหว่างสายพอลิเมอร์ไว้ การเปลี่ยนแปลงของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อเกิดการพองตัว แสดงดังรูปที่ 2.1

### 2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวของไฮโดรเจล

#### 2.1.3.1 แรงดันออสโมติก

เนื่องจากปริมาณน้ำภายในและภายนอกไฮโดรเจลมีไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติก ดังนั้นน้ำจากภายนอกจึงแพร่เข้าไปในช่องว่างหรือรูพรุนของไฮโดรเจลนั้น ถ้าแรงดันออสโมติกแตกต่างกันมาก น้ำก็จะเคลื่อนที่เข้าไปในไฮโดรเจลมากขึ้น

#### 2.1.3.2 แรงกระทำระหว่างโมเลกุลน้ำกับไฮโดรเจล

ถ้าพอลิเมอร์นั้นมีโครงสร้างทางเคมีที่เหมาะสมสามารถเกิดอันตรกิริยากับน้ำได้มาก เช่นเมื่อเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นหรือแรงดึงดูดระหว่างขั้วจะทำให้เป็นการเหนี่ยวนำโมเลกุลน้ำแพร่เข้าสู่ไฮโดรเจลได้มาก

#### 2.1.3.3 ช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์

ถ้าไฮโดรเจลมีช่องว่างหรือรูพรุนระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์มาก น้ำก็จะแพร่เข้าไปได้มาก

#### 2.1.3.4 ความยืดหยุ่นของสายโซ่พอลิเมอร์

ถ้าสายโซ่มีความยืดหยุ่นที่ดีจะเป็นการลดแรงต้าน (Resistance Force) ของการแพร่ของโมเลกุลน้ำเพื่อเข้าสู่สมดุลใหม่ทำให้โมเลกุลน้ำแพร่ผ่านเข้าสู่ไฮโดรเจลได้มาก

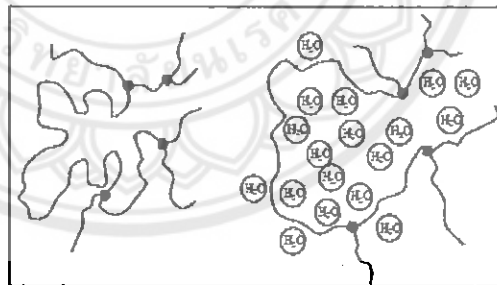
### 2.1.3.5 ความหนาแน่นของการเชื่อมต่อระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์

ถ้ามีความหนาแน่นของการเชื่อมต่อมากจะเปรียบเสมือนกับเป็นการเพิ่มแรงต้านทานในการขยายตัวของไฮโดรเจลทำให้ความสามารถในการพองตัวได้ลดลง

โมเลกุลน้ำที่อยู่ภายในไฮโดรเจลมี 2 ลักษณะใหญ่ๆ แสดงดังรูปที่ 2.2 ได้แก่โมเลกุลน้ำที่ไม่เกิดอันตรกิริยากับสายโซ่พอลิเมอร์ เรียกว่า โมเลกุลน้ำอิสระ (Free Water) สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระและระเหยได้ง่าย มีผลต่อสมบัติของไฮโดรเจลไม่มากนักและโมเลกุลน้ำที่เกิดพันธะกับสายโซ่ (Bound Water) ซึ่งมีการเคลื่อนที่ภายในโครงสร้างไฮโดรเจลได้ยากกว่าและต้องใช้ความร้อนปริมาณหนึ่งในการระเหยโมเลกุลน้ำลักษณะนี้ออก ปริมาณน้ำร้อยละที่มีเป็นองค์ประกอบอยู่ในไฮโดรเจล (Water Content; WC) สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.1 สมบัติที่สำคัญอีกประการของไฮโดรเจล คือ การยอมให้มีการแพร่ผ่านของโมเลกุลต่างๆ เช่น น้ำ โปรตีน ยา หรือแม้แต่ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางการแพทย์

$$\text{ปริมาณการดูดซับน้ำ (\%)} = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100 \quad (2.1)$$

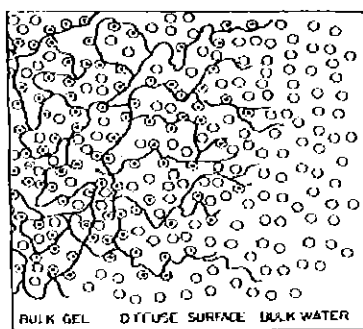
โดย W และ  $W_0$  คือน้ำหนักของไฮโดรเจลก่อนและหลังการแช่ในน้ำ [4]



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อเกิดการพองตัวโดยมีการแพร่ผ่านโมเลกุลน้ำเข้าไปภายในโครงสร้างของไฮโดรเจล

ที่มา: การประยุกต์ใช้แผ่นไฮโดรเจล. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่





รูปที่ 2.2 อันตรกิริยาของโมเลกุลของน้ำในโครงสร้างไฮโดรเจล  
ที่มา: การประยุกต์ใช้แผ่นไฮโดรเจล. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

## 2.2 ลักษณะและสมบัติของไฮโดรเจลที่เหมาะสมประยุกต์ใช้เป็นวัสดุปิดแผล [3]

การนำวัสดุปิดบาดแผลมาใช้ปิดบาดแผลใหม่นั้นสิ่งที่จะต้องพิจารณา คือ สมบัติต่างๆ ที่จะมีผลกระทบต่อโครงสร้างและสภาพของผิวหนังที่กำลังซ่อมแซมรวมถึงเนื้อเยื่อที่สร้างขึ้นมาทดแทน ดังนั้นวัสดุปิดบาดแผลที่ดีควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

2.2.1 การรักษาอัตราการระเหยของน้ำบริเวณบาดแผลให้เหมาะสม เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำของร่างกายและเพื่อป้องกันการคั่งของสารคัดหลั่งจากบาดแผล นอกจากนี้ยังต้องช่วยรักษาความชุ่มชื้นบริเวณบาดแผล

2.2.2 ไม่มีการต่อต้านจากเนื้อเยื่อและไม่มีความเป็นพิษ

2.2.3 สามารถป้องกันเชื้อโรคจากภายนอกบาดแผลได้

2.2.4 สามารถควบคุมปริมาณสารคัดหลั่งบริเวณบาดแผลให้เหมาะสมต่อการซ่อมแซมของบาดแผล

2.2.5 สามารถนำไปผ่านกระบวนการที่ทำให้ปราศจากเชื้อโรคได้

2.2.6 เป็นวัสดุที่ปิดบาดแผลได้แนบสนิท ไม่หลุดลอกได้ง่าย

2.2.7 ไม่เกาะติดกับเนื้อเยื่อที่ซ่อมแซมขึ้นมาใหม่และสามารถนำออกจากบาดแผลได้ง่ายโดยไม่ทำให้เกิดการเจ็บปวดในระหว่างการเปลี่ยนวัสดุปิดแผล

2.2.8 เป็นวัสดุที่มีสมบัติการแลกเปลี่ยนและส่งผ่านอากาศ (ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์) ระหว่างบาดแผลกับบรรยากาศภายนอกได้ดี

2.2.9 เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นระดับหนึ่ง เพื่อง่ายต่อการนำไปใช้งาน

2.2.10 อ่อนนุ่ม โค้งงอได้ สามารถแนบติดกับผิวของแผลที่ไม่สม่ำเสมอได้ดี

2.2.11 มีอายุการใช้งานที่นานพอสมควรและมีเงื่อนไขในการเก็บรักษาน้อย

2.2.12 ป้องกันการลุกลามของบาดแผล

2.2.11 มีความสามารถในการส่งผ่านยาปฏิชีวนะ

2.2.12 นอกจากนั้นควรเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและราคาถูกลง

## 2.3 สีย้อม (Dyes) [4]

ถ้าแบ่งตามลักษณะกายภาพเป็น 2 ชนิด ชนิดหนึ่งละลายน้ำได้เรียกว่าสีย้อม (Dyes) อีกชนิดหนึ่งไม่ละลายน้ำเรียกว่าพิกเมนต์ (Pigments) ถ้าแบ่งสีย้อมตามลักษณะประจุสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ สีย้อมแบบไม่มีประจุ (Non-Ionic Dyes) เช่น สีย้อมดิสฟอรัสและสีย้อมแบบมีประจุ (Ionic Dyes) ได้แก่ สีย้อมรีแอกทีฟ ไตรเรกท์ เอสิต และสีย้อมชนิดประจุบวกเช่นสีเบสิก สีย้อมส่วนใหญ่เป็นสารเคมีที่เป็นผลิตภัณฑ์มาจากน้ำมันปิโตรเลียมซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนพวก Aliphatic และ Aromatic การจำแนกสีย้อมสามารถแบ่งประเภทสีย้อมออกได้หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันมากจำแนกตามลักษณะการใช้งานการละลายน้ำดังนี้

### 2.3.1 ประเภทของสีย้อม

2.3.1.1 สีเบสิก (Basic) เป็นเกลือของอินทรีย์ (Organic Base) ละลายน้ำได้ ย้อมติดใยเซลลูโลสได้เล็กน้อยหรือไม่ติดเลย มี Chromophore ให้แคทไอออน บางครั้งเรียกว่าสีแคทไอออน

2.3.1.2 สีแอซิด (Acid) เป็นตัวสีที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน ติดใยโปรตีนได้ในน้ำย้อมที่เป็นกรดเจือจาง ใช้ย้อมเซลลูโลสซึ่งมีโซเซลลูโลสบริสุทธิ์ เช่น ปอ ป่าน และใย Polyamide ได้

2.3.1.3 สีมอร์แดนต์และพรีเมทัลไลซ์ (Mordant And Premetallized Dyes) สีมอร์แดนต์เป็นกลุ่มสีซึ่งใช้ย้อมเฉพาะใยโปรตีน ส่วนสีเบสิกเมื่อใช้ย้อมใยเซลลูโลสจำเป็นต้องใช้สารช่วยติดสีเบสิกอาจเรียกว่าสีมอร์แดนต์ได้เหมือนกัน

2.3.1.4 สีไดเรกท์ (Direct) บางครั้งเรียกว่าสีย้อมฝ้ายสีชนิดนี้เป็นสีสังเคราะห์ชนิดแรกที่ถูกติดใยฝ้ายได้โดยไม่ต้องใช้สารช่วยติด ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเอโซ (Azo) มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่ซัลโฟนิคซึ่งทำให้ตัวสีละลายน้ำได้ คุณสมบัติการย้อม ความคงทนตลอดจนราคาแตกต่างกันมาก ถ้าเป็นสีซึ่งมีความคงทนดี โครงสร้างของสีจะซับซ้อนมากขึ้น ใช้ย้อมใยเซลลูโลสซึ่งไม่ต้องการความคงทนต่อกระบวนการใช้น้ำหนักมาก

2.3.1.5 สีดิสเพิร์ส (Disperse Dyes) สีนี้ผลิตขึ้นด้วยวัตถุประสงค์เพื่อใช้ย้อมใยอะซิเตด ซึ่งเป็นใยที่ดูดน้ำได้เล็กน้อย สีนี้ไม่ละลายน้ำแต่เป็นละอองละเอียดลอยตัวอยู่ในน้ำ เมื่อมีสารกระจายตัว (Dispersing Agent) ที่เหมาะสมใช้ย้อมในน้ำย้อมธรรมดาไม่ต้องใช้สารเคมีอย่างอื่นช่วยอีก นอกจากสารพา (Carrier) ให้ตัวสีเข้าไปใกล้เส้นใยเท่านั้น

2.3.1.6 สีอะโซอิก (Azoic Dyes) สีในกลุ่มนี้เป็นสารประกอบอะโซเหมือนกันแต่ตัวสีไม่ละลายน้ำ ก่อรูปเป็นสีบนเส้นใยได้โดยการย้อมด้วยสารประกอบฟีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน แล้วจึงนำไปย้อมทับอีกครั้งด้วยเกลือไดอาโซเนียม (Diazonium Salt) เกลื่อนี้จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอล เกิดเป็นสารประกอบอะโซที่ให้สีบนเส้นใย ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Coupling สีในกลุ่มนี้นิยมใช้

ย้อมใยเซลลูโลสเท่านั้น เพราะสารประกอบฟีนอลละลายในต่างซึ่งเป็นอันตรายต่อไฮโปรตีน ฟีนอลละลายน้ำและติดใยเซลลูโลสดี

2.3.1.7 สีวัต (Vat Dyes) สีวัตได้ชื่อมาจากที่ตัวสีเองไม่ละลายในน้ำต้องใช้สารรีดิวซ์ที่เหมาะสมมาทำให้ละลายจึงติดใยเซลลูโลสได้ นอกจากนี้สีวัตยังสามารถใช้ย้อมโปรตีนได้ โยสังเคราะห์บางชนิดสามารถย้อมติดดี เช่น โยอครีแลนคอคเทลและโพลีเอสเทอร์ผสมฝ้ายสีอ่อนๆ

2.3.1.8 สีกำมะถัน (Sulphur or Sulphide Dyes) สีกำมะถันเตรียมได้โดยการหลอมละลายกำมะถันหรือโซเดียมซัลไฟด์กับกรดอะมิโนและสารประกอบไนโตรอื่นๆ ซึ่งเป็น Cyclic Hydrocarbon เช่น เบนซินหรือแนพทาลีน สีพวกนี้จะติดใยเซลลูโลสได้ดีต่อเมื่อละลายอยู่ในน้ำซึ่งมีสภาพเป็นด่าง สารรีดิวซ์ที่ใช้กันแพร่หลายที่สุด คือ โซเดียมซัลไฟด์

2.3.1.9 สีรีแอกทีฟ (Reactive Dyes) สีรีแอกทีฟละลายน้ำได้ เป็นสีย้อมใยเซลลูโลสที่ดีที่สุด มีสมบัติเป็นแอนไอออน เมื่ออยู่ในน้ำย้อมซึ่งเป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ OH ในเซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันโดยพันธะโคเวเลนต์ (Covalent Bond) กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลสคุณสมบัติการละลายและดูดติดเส้นใยของตัวสีทำให้สีเข้าไปอยู่ภายในเส้นใยเมื่อเกิดปฏิกิริยาดั้วสีจึงจะยึดติดเส้นใย สีรีแอกทีฟส่วนใหญ่เป็นโครโมฟอร์ประเภทเอโซ

## 2.4 หลักการแพร่ของสาร [5]

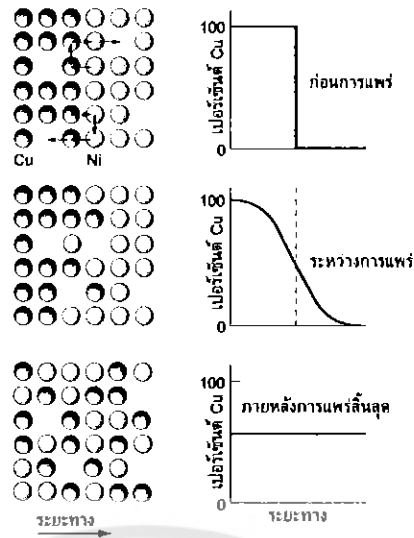
การแพร่ของสาร (Diffusion) หมายถึง การเคลื่อนที่หรือการกระจายของโมเลกุลของสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นมากไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อย

### 2.4.1 กลไกการแพร่ (Diffusion Mechanisms)

ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ (2549: 56) กล่าวว่า การแพร่ของอะตอมของโลหะบริสุทธิ์เป็นการเคลื่อนที่ของอะตอมของตัวเองจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง กระบวนการแพร่แบบนี้ เราเรียกว่า การแพร่โดยอะตอมของตัวเอง (Self-Diffusion) แต่กระบวนการการแพร่โดยอะตอมที่ต่างชนิดกันหรืออะตอมของวัสดุที่ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เป็นการแพร่เข้าหากันระหว่างอะตอมของทองแดง (Cu) และนิกเกิล (Ni) นั้นมีกลไกการแพร่อยู่ 2 อย่างคือ

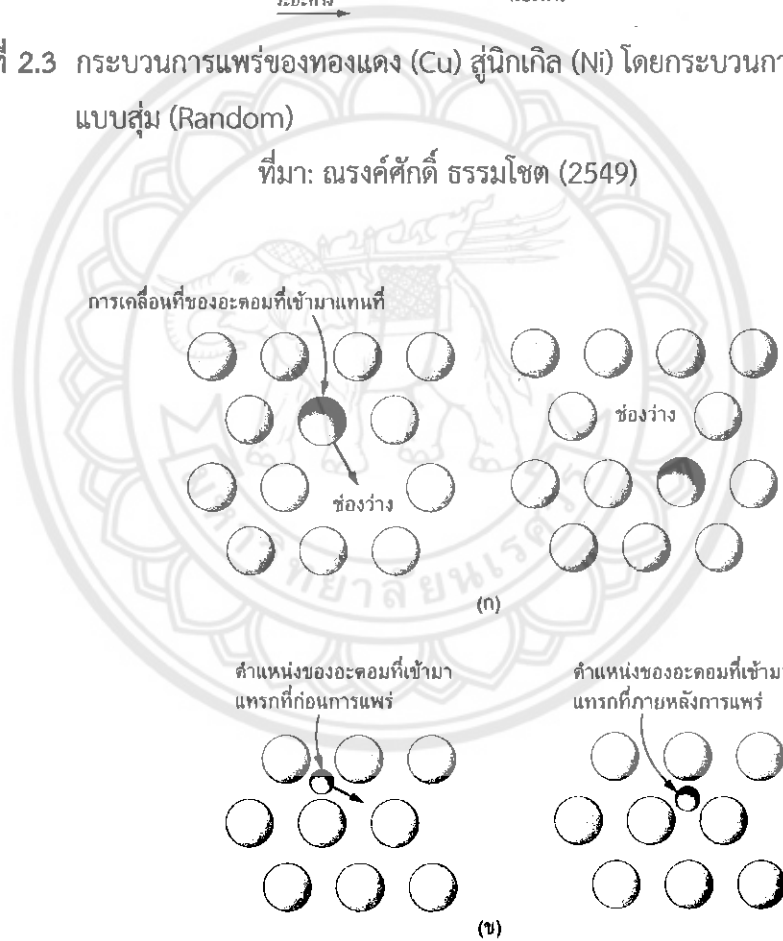
2.1.4.1 การแพร่แบบช่องว่าง (Vacancy Diffusion) นี้จะเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของอะตอมจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งเมื่อมีพลังงานกระตุ้น ทำให้อะตอมสั่นสะเทือนและเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่ง โดยการเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งสู่ที่ว่างอีกตำแหน่งหนึ่ง จะทำให้เกิดช่องว่างเกิดขึ้นจึงเรียกว่า การเคลื่อนที่แบบช่องว่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ก)

2.3.4.2 การแพร่แบบแทรกที่ (Interstitial Diffusion) เป็นการแพร่ที่เกิดกับอะตอมที่มีขนาดเล็กเคลื่อนที่ไปแทรกอยู่ตามช่องระหว่าง อะตอมที่มีขนาดใหญ่กว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ข)



รูปที่ 2.3 กระบวนการแพร่ของทองแดง (Cu) สู่ นิกเกิล (Ni) โดยกระบวนการแพร่ เกิดขึ้นแบบสุ่ม (Random)

ที่มา: ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ (2549)



รูปที่ 2.4 (ก) กลไกการแพร่แบบช่องว่าง (ข) กลไกการแพร่แบบแทรกที่

ที่มา: ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ (2549)

### 2.4.1 การแพร่ในสถานะไม่คงตัว (Non-Steady State)

การแพร่ในสถานะไม่คงตัวจะเป็นกระบวนการแพร่ที่ความเข้มข้นของอะตอมจะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเช่นเหล็กที่มีอะตอมของคาร์บอนแพร่เข้าไปบริเวณผิว เมื่อเวลาผ่านไปนานเข้า ความเข้มข้นของอะตอมที่ผิวเหล็กจะมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการแพร่ในสถานะไม่คงตัวนี้ จะเป็นไปตามกฎข้อที่สองของฟิค (Fick's Second Law) ดังนี้

$$\frac{C_s - C_x}{C_s - C_o} = \text{erf}\left(\frac{X}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (2.2)$$

เมื่อ  $C_s$  คือ ความเข้มข้นของอะตอมที่ผิวของวัสดุ

$C_o$  คือ ความเข้มข้นของอะตอมที่อยู่ในเนื้อของวัสดุก่อนเกิดการแพร่

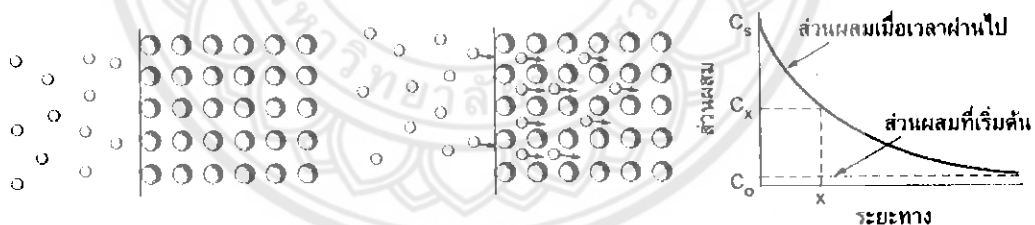
$C_x$  คือ ความเข้มข้นของอะตอมที่ระยะห่างจากผิว  $x$  ที่เวลา  $t$

$D$  คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของอะตอม

$x$  คือ ระยะห่างจากผิว

$t$  คือ เวลา

erf คือ ฟังก์ชันคลาดเคลื่อน (Error Function) ทางคณิตศาสตร์ ความเข้มข้นของอะตอมเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงได้ แสดงไว้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การแพร่ของอะตอมสู่ผิวของวัสดุ ซึ่งเป็นไปตามกฎข้อที่สองของฟิค

ที่มา: ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ (2549)

### 2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่

2.4.3.1 ถ้าความเข้มข้นของตัวกลางมีความแตกต่างกันมาก การแพร่จะเกิดเร็วขึ้น

2.4.3.2 อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูง การแพร่ของสารจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว

2.4.3.3 ขนาดอนุภาคสาร สารที่มีขนาดอนุภาคเล็กและเบา จะแพร่ได้รวดเร็วกว่า

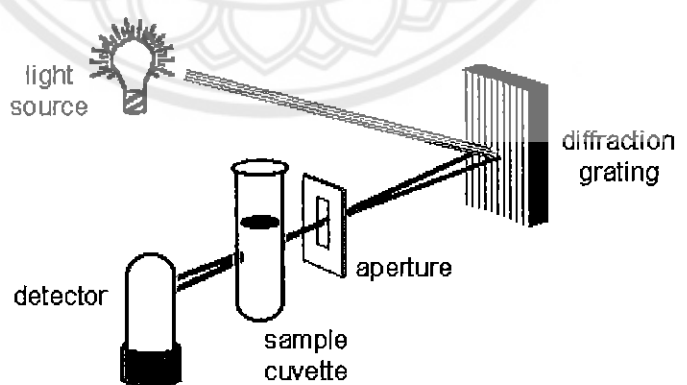
2.4.3.4 ความสามารถในการละลายของสาร ถ้าสารที่แพร่เข้าสู่ตัวกลางสามารถละลายได้ดีจะมีการแพร่สูง

2.4.3.5 ความหนาแน่นของตัวกลาง สารที่มีลักษณะเหมือนกัน แต่แพร่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน อัตราการแพร่ไม่เท่ากัน

## 2.5 หลักการทำงานของเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

UV-VIS Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า Intensity ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อนและสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น เหล่านี้ได้ คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงที่มีพลังงานเหมาะสม จะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีความยาวคลื่นค่าต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในการระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างได้

หลักการของเครื่องเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer แบบลำแสงเดียวนั้น เมื่อแสงออกจากแหล่งกำเนิดแสงแล้ว จะผ่านโมโนโครเมเตอร์ที่เป็นเกรตติ้งและสารตัวอย่างตามลำดับ แล้วจึงเข้าสู่ตัวตรวจจับสัญญาณตลอดเส้นทางของลำแสงนี้มีแสงเดียวจึงเรียกว่า สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ว่าแบบลำแสงเดี่ยวผ่านจากโมโนเตอร์ไปสู่สารละลายที่ต้องการวัดและเข้าสู่ตัวตรวจจับสัญญาณเลย ดังนั้นการวัดจึงต้องวัด 2 ครั้ง ครั้งแรกเซลล์บรรจุแบบลังก์ (Blank) ซึ่งเป็นตัวทำละลายของตัวอย่างที่เราต้องการวัด เมื่อลำแสงผ่านเซลล์ ปรับเครื่องให้อยู่ตำแหน่ง ศูนย์ (Set Zero) ส่วนครั้งหลังบรรจุสารละลายที่ต้องการวัด (Sample) แล้วจึงให้ลำแสงผ่านเซลล์ ความแตกต่างระหว่างการดูดกลืนแสงของทั้ง 2 ครั้งจะปรากฏบนหน้าปัดมิเตอร์ จากนั้นก็สามารถวัดตัวอย่างที่มีความเข้มข้นอื่นๆ ต่อไปได้โดยไม่ต้องกลับไปวัดแบบลังก์อีกรอบ สำหรับการเปลี่ยนความยาวคลื่น จะต้องวัดแบบลังก์ใหม่ทุกครั้ง [6]



© 2001 B. M. Tissue

รูปที่ 2.6 องค์ประกอบเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

ที่มา: <http://www.files.chem.vt.edu/chem-ed/spec/uv-vis/singlebeam.html>

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อาจารย์สุชาติ และคณะ [8] ได้พัฒนาระบบนำส่งยาเมธิโซลผ่านผิวหนังโดยเตรียมในรูปฟิล์มมาทริกซ์ โดยใช้พอลิเมอร์จากธรรมชาติ ได้แก่ โคลโตแซน พอลิเมอร์สังเคราะห์กลุ่มอะคริเลต ได้แก่ ยูดราจิต (Eudragit NE30D) และส่วนผสมของโคลโตแซนและยูดราจิตที่อัตราส่วนผสม 1:10 1:20 1:30 โดยน้ำหนักแห้ง ผลการศึกษาการปลดปล่อยยาจากจากแผ่นฟิล์มทางภายนอกในร่างกาย พบว่าการปลดปล่อยจากแผ่นฟิล์มโคลโตแซนและฟิล์มที่มีส่วนผสมของโคลโตแซนในอัตราส่วนที่สูงจะเป็นไปอย่างรวดเร็วภายใน 30 นาทีแรก เนื่องมาจากคุณสมบัติการพองตัวและการละลายน้ำของฟิล์มโคลโตแซน จากนั้นการปลดปล่อยยาจะช้าลงทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิด Cross-link ระหว่างโคลโตแซนกับประจุพอสเฟตในตัวกลาง โดยฟิล์มผสมทั้ง 3 ชนิดมีการปลดปล่อยตัวยาจากแผ่นฟิล์มมากกว่าร้อยละ 60 ภายใน 12 ชั่วโมง และฟิล์มผสมที่มีปริมาณยูดราจิตเพิ่มขึ้นจะมีการปลดปล่อยยาในช่วงแรกลดลง

ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติไม่ละลายน้ำของยูดราจิต อย่างไรก็ตามการซึมผ่านของยาเมธิโซลจากแผ่นฟิล์มทุกชนิดผ่านคาบงมีเพียงร้อยละ 1-2 ภายใน 12 ชั่วโมง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากยามีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีและละลายในไขมันได้น้อย รวมทั้งการที่คาบงมีรูเปิดบนผิวหนังต่ำกว่าในผิวหนังมนุษย์

Dilek Solpan และคณะ [9] ได้ศึกษาการดูดซับสีย้อมอโพลีโรแอกทีฟบนแผ่นไฮโดรเจล ซึ่งไฮโดรเจล Poly(N,N-Dimethylamino Ethymethacrylate) ถูกเตรียมโดยการฉายรังสี สารผสมที่จะประกอบด้วย 3 ส่วน นั่นคือ Dimethylamino Ethymethacrylate (DMAEMA) /Ethylene-glycol Dimethacrylate (EGDMA) /water (H<sub>2</sub>O) โดยใช้รังสีแกมมาที่อุณหภูมิห้อง การบวม 4 ชนิดของ DMAEMA Hydrogel คือ ร้อยละ 338 ที่ pH 7.0 ในน้ำกลั่น ขณะที่สารละลาย Apollofix Red (AR) คือ ร้อยละ 352 ที่ pH 7.0 และสารละลาย Apollofix yellow (AY) คือ ร้อยละ 326 ที่ pH 7.0 ซึ่งปริมาณการดูดซับของไฮโดรเจล P(DMAEMA) พบว่าปริมาณเจลแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 85-131 มิลลิกรัม สำหรับ AR ต่อกรัม และ 58-111 มิลลิกรัม สำหรับ AY ต่อกรัม และพบอีกว่าสารละลายสีย้อมมีค่า pH ลดลง

โรเบิร์ต มอลลอย และคณะ [10] ได้ทำการสังเคราะห์ไฮโดรเจลจากมอนอเมอร์ เกลือของโซเดียม 2-อะคริลาไมด์-2-เมทิล ซัลโฟเนต (AMPSNa<sup>+</sup>) รวมถึงไฮโดรเจลผสมระหว่าง AMPS-Na<sup>+</sup> กับคาร์บอกซีเมธิลโคลโตซาน (CMCTS) หรือผสมเข้ากับคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส (CMC) ผ่านปฏิกิริยาฟรีแรดิคัลพอลิเมอไรเซชันในสารละลายโดยอาศัยแสงอัลตราไวโอเล็ตในการสังเคราะห์ใช้ Ethylene Glycol Dimethacrylate (EGDM) และ 4,4-Azo-Bis(4-Cyanopentanoic Acid) (AZO) เป็นตัวเชื่อมต่อสายโซ่และตัวริเริ่มตามลำดับ พบว่าไฮโดรเจลผสมทั้งสองชนิดมีความสามารถในการดูดซับน้ำในปริมาณสูงโดยพิจารณาจากค่า Swelling มากกว่าไฮโดรเจลชนิด AMPS-Na<sup>+</sup> จากการศึกษาอัตราการผ่านของไอน้ำของแผ่นไฮโดรเจลที่สังเคราะห์ขึ้นพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 61-76 g/hr.m<sup>2</sup> และจากการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ L929 โดยวิธี Direct Contact พบว่าไม่แสดงสมบัติความเป็นพิษ ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาไฮโดรเจลเหล่านี้ต่อไปเพื่อนำมาใช้ในการรักษาได้จริง

Walker [2] ได้ทำการศึกษาโคพอลิเมอร์ระหว่าง AMPS กับ HEMA เพื่อประยุกต์เป็น Proton-Conducting Polymer Membrane โดยใช้ AIBN เป็นตัวริเริ่มและใช้ EGDM เป็นตัวเชื่อมต่อสายโซ่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-13 ชั่วโมง จากการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับน้ำของโคพอลิเมอร์ข้างต้นกับทางการค้าชนิด Nafion® 117 พบว่าโคพอลิเมอร์ข้างต้นสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าประมาณ 4 เท่า

Lin และคณะ [2] ได้มีการออกแบบไฮโดรเจลเป็นแบบอินเทอร์เพเนตรตติงพอลิเมอร์เน็ตเวิร์ก (IPN) โดยทำการสังเคราะห์ไฮโดรเจลซึ่งประกอบด้วย พอลิ (ไวนิลแอลกอฮอล์) (Poly (Vinyl Alcohol)) แทรกอยู่กับ พอลิ(อะคริลิก แอซิด-โค-2-อะคริลามิโด-2-เมทิลโพรเพน-ซัลโฟเนต) (Poly (Acrylic acid-Co-AMPS)) การสังเคราะห์ใช้ NMBA เป็นตัวเชื่อมต่อสายโซ่ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน พบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำมีค่า Swelling Ratio อยู่ในช่วง 222-326 กรัม H<sub>2</sub>O/กรัม Polymer

ในปัจจุบันได้มีการค้นคว้าและวิจัยนำไคตินไคโตซานและอนุพันธ์ไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะทางการแพทย์ เนื่องจากไคตินไคโตซานและอนุพันธ์เป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ ดังนั้นร่างกายมนุษย์ก็จะไม่ต่อต้าน จากการศึกษาต่อมาพบว่าไคตินไคโตซานสามารถย่อยสลายได้ภายในร่างกายของสัตว์ เนื่องจากมีเอนไซม์หลายชนิดที่สามารถย่อยสลายมันได้ นอกจากนี้ไคตินไคโตซานและอนุพันธ์ยังสามารถป้องกันการติดเชื้อบางชนิดได้ ซึ่งจากข้อดีต่างๆมากมายนี้เองจึงมีการนำไคตินไคโตซานและอนุพันธ์มาใช้งานทางการแพทย์อย่างแพร่หลาย เช่น วัสดุทางการแพทย์ (Biomedical Materials) ซึ่งรวมถึงการนำมาใช้เป็นวัสดุรักษาหรือตกแต่งแผล ทั้งในรูปของแผ่นฟิล์ม พองน้ำ เส้นใย (Non-Woven Fabrics) และไฮโดรเจล จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าไคตินไคโตซานและอนุพันธ์เป็นตัวเร่งกระบวนการรักษาแผล นอกจากนั้นยังสามารถลดการเกิดรอยแผลเนื่องจากป้องกันแผลไม่ให้ติดเชื้อและยังสามารถดูดซับน้ำเหลืองจากแผลได้ ไคตินไคโตซานและอนุพันธ์ยังสามารถใช้ผลิตไหมละลาย ผิวหนังเทียมที่ทำจาก Chitosan collagen คอนแทคเลนส์ในด้านทันตกรรม พบว่าไคตินไคโตซานและอนุพันธ์สามารถกระตุ้นการสร้างกระดูกและก่อปฏิกิริยาของร่างกายในการต้านสิ่งแปลกปลอมภายในร่างกาย นอกจากนั้นสามารถนำไปใช้เป็นสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (Blood Anticoagulant) โดยเฉพาะอนุพันธ์ที่เป็นชนิดซัลเฟต

งานวิจัยที่มีมาก่อนที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานและใช้เพื่อเป็นวัสดุปิดแผลส่วนใหญ่เป็นการนำ CMCTS มาสังเคราะห์ด้วยวิธีต่างๆ โดยมุ่งหวังที่จะนำไฮโดรเจลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ทางการแพทย์

Yoshii และคณะ [2] ได้นำอนุพันธ์ของพอลิเมอร์ทางธรรมชาติที่สามารถละลายได้ในน้ำ (Water Soluble) ของคาร์บอกซีเมทิลไคโตซานมาสังเคราะห์เป็นไฮโดรเจล โดยฉายรังสีอิเล็กตรอนหรือรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 (Co-60) ในการเชื่อมต่อระหว่างสายโซ่ในระบบที่มีน้ำเป็นตัวกลางพบว่าไฮโดรเจลเหล่านี้สามารถดูดซับน้ำได้ประมาณ 500 กรัม H<sub>2</sub>O/กรัม Polymer และจากการศึกษาสมบัติต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย (Antibacterial) ของไฮโดรเจล CMCTS ซึ่งทดสอบในแบคทีเรียชนิด



E.coli วิเคราะห์ด้วยวิธี Optical Density พบว่าไฮโดรเจลข้างต้นมีฤทธิ์ต่อต้านเชื้อแบคทีเรียที่ค่อนข้างดี

จากงานวิจัยข้างต้น ได้มีการศึกษาการสังเคราะห์ไฮโดรเจลด้วยอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันและมีการศึกษาผลของปริมาณการดูดซับน้ำ ซึ่งบางงานวิจัยมีการผสมผสานตัวยาเข้าไประหว่างการศึกษาการสังเคราะห์ไฮโดรเจลเพื่อเป็นวัสดุนำส่งยา ดังนั้นผู้วิจัยสนใจที่จะนำไฮโดรเจลแบบสำเร็จรูปมาศึกษาผลของความเข้มของสีย้อมที่มีต่อการดูดซับและการปลดปล่อยออกจากไฮโดรเจลแบบเฟสเดี่ยวและแบบสองเฟส โดยใช้สารละลายสีย้อมเป็นตัวเปรียบเทียบแทนตัวยา



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงาน

#### 3.1 วัสดุตั้งต้นและสารเคมี

##### 3.1.1 สารตัวอย่างสีย้อม

3.1.1.1 สีย้อม Congo Red

3.1.1.2 สีย้อม Orange II

3.1.1.3 สีย้อม Violet

3.1.1.4 น้ำกลั่น

#### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

3.2.2 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

3.2.3 ขวดวัดปริมาตร

3.2.4 บีกเกอร์สำหรับเตรียมสารละลาย

3.2.5 นาฬิกาจับเวลา

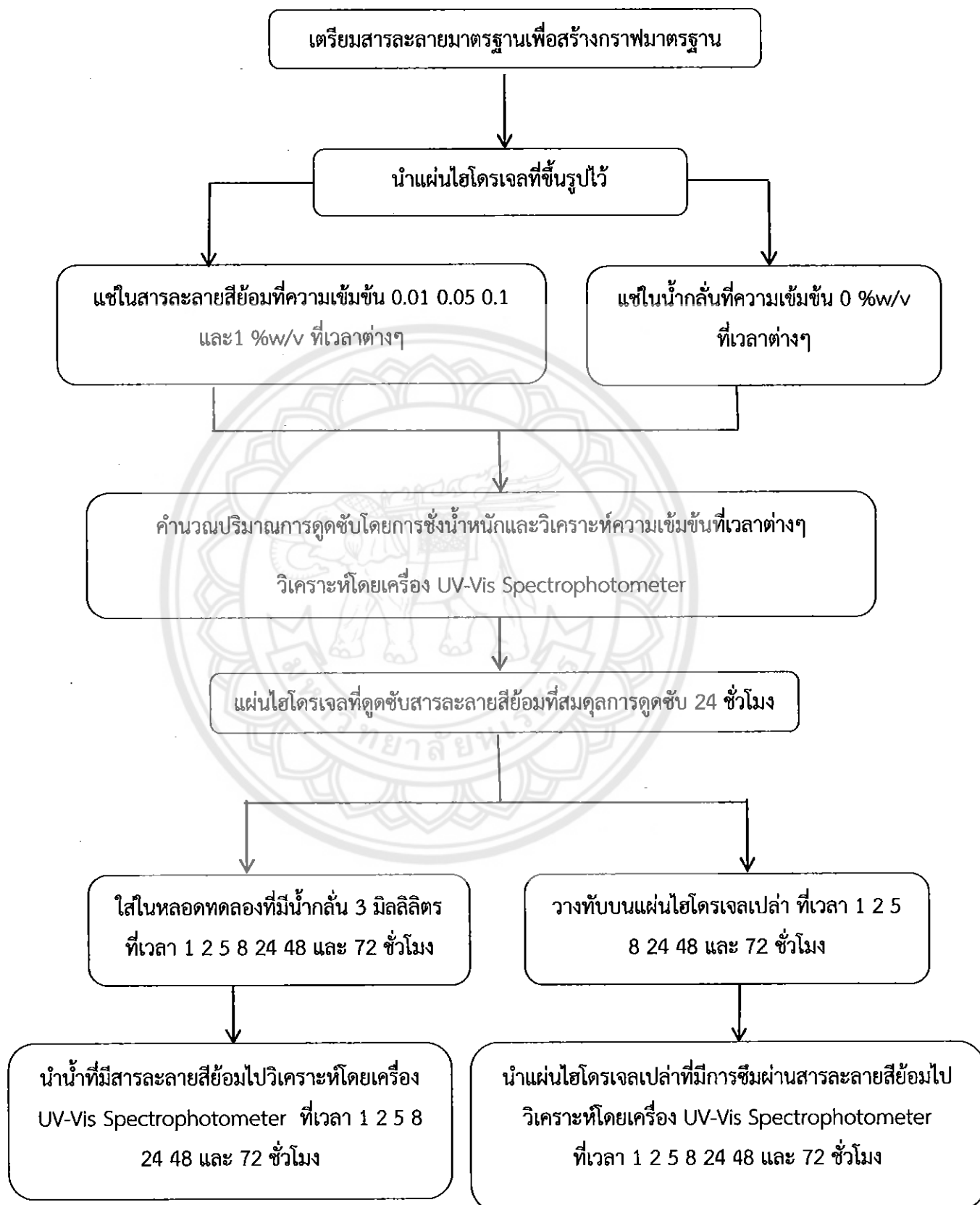
3.2.6 แผ่นไฮโดรเจล ขนาดกว้าง 0.75 มิลลิเมตร ความยาว 2.5 มิลลิเมตร ความหนา 0.05 มิลลิเมตร

#### 3.3 การเตรียมสารละลาย

3.3.1 เตรียมสารละลายสีย้อม ได้แก่ สีย้อม Congo Red Orange II และ Violet ที่ความเข้มข้น 0.01 0.05 0.1 และ 1 %w/v ปริมาตร 30 มิลลิลิตร

ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร = (น้ำหนักตัวถูกละลาย/ปริมาตรสารละลาย) x 100 (3.1)

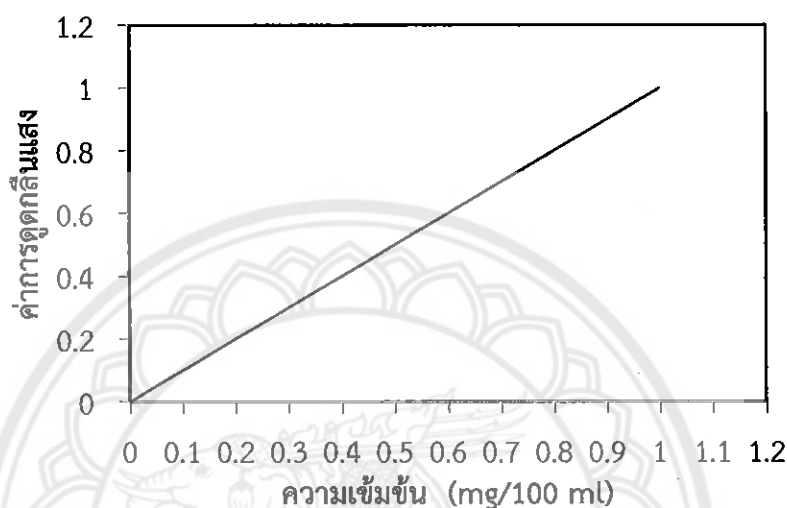
### 3.4 แผนการดำเนินงานโดยสังเขป



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงานโดยสังเขป

### 3.5 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานสี่ย้อม 3 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.01 0.05 0.1 และ 1 %w/v เพื่อนำมาสร้างกราฟมาตรฐาน เพื่อใช้เปรียบเทียบสารตัวอย่างในการทดลอง โดยสารละลายมาตรฐานแต่ละย้อมจะต้องทำซ้ำ 3 ครั้ง ในการหาปริมาณของสารจะนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่ต้องการวิเคราะห์และค่าการดูดกลืนแสง ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การสร้างกราฟมาตรฐาน เพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารตัวอย่าง

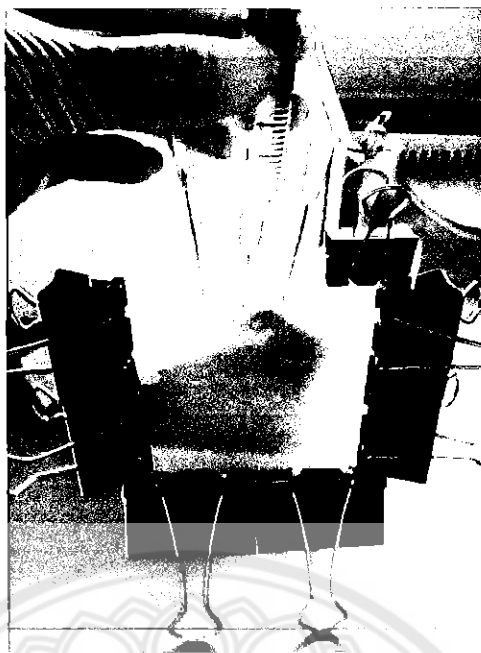
#### 3.5.1 เตรียมแผ่นไฮโดรเจล

3.5.1.1 การเตรียมส่วนผสมเพื่อขึ้นรูปไฮโดรเจล ด้วยสัดส่วนผสมดังนี้ HEMA 4.87 กรัม XL 0.1 กรัม และ PI 0.03 กรัม



รูปที่ 3.3 การเตรียมส่วนผสมเพื่อขึ้นรูปไฮโดรเจล

3.5.1.2 นำส่วนผสมที่เตรียมไว้จากข้อ 3.5.1.1 เรียบร้อยแล้วนำไปฉีดใส่ในแม่แบบที่เราเตรียมไว้โดยมีความหนา 0.04 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ส่วนผสมของไฮโดรเจลถูกฉีดลงในแม่แบบที่เตรียมไว้

### 3.5.1.3 นำแผ่นไฮโดรเจลใส่ตู้แสงยูวีเพื่อให้ไฮโดรเจลเป็นแผ่นเป็นเวลา 10 นาที



รูปที่ 3.5 แผ่นไฮโดรเจลพร้อมใช้

3.5.1.4 นำแผ่นไฮโดรเจลจากหัวข้อ 3.5.1.3 ไปแช่น้ำ 30 วินาที เพื่อจะตัดแผ่นไฮโดรเจลให้มีความกว้าง 0.75 มิลลิเมตร ความยาว 2.5 มิลลิเมตร และความหนา 0.05 มิลลิเมตร

### 3.5.2 การศึกษาปริมาณการดูดซับสีย้อมของแผ่นฟิล์มไฮโดรเจล

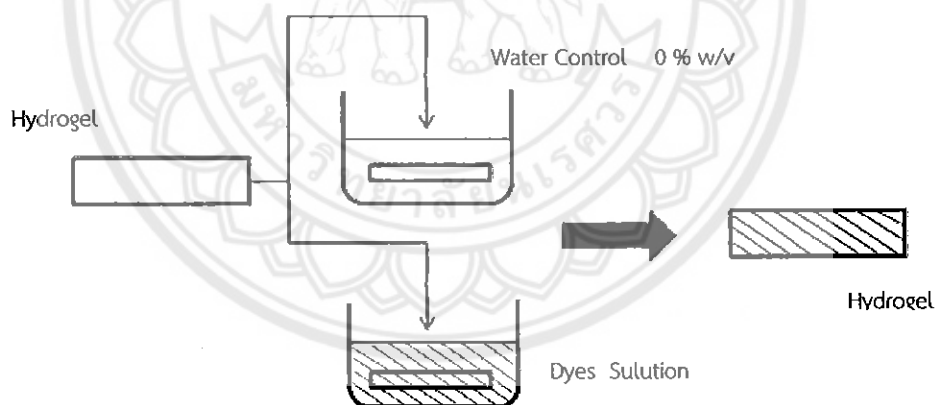
3.5.2.1 นำน้ำกลั่นใสในขวดแก้วให้มีปริมาตร 30 มิลลิลิตร

3.5.2.2 นำแผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมไว้แช่ในสารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้น 0.01 %w/v เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำแผ่นไฮโดรเจลมาคำนวณปริมาณการดูดซับน้ำและนำแผ่นไฮโดรเจลไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

3.5.2.3 ทำซ้ำเหมือนเดิมโดยเปลี่ยนสารละลายสีย้อมเป็น 0.05 0.1 และ 1 %w/v ทุกๆ ความเข้มข้น ทำซ้ำ 3 ครั้ง



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการแช่แผ่นไฮโดรเจลในสารละลายสีย้อมที่เตรียมไว้



รูปที่ 3.7 การศึกษาปริมาณการดูดซับของแผ่นไฮโดรเจล

### 3.5.3 การศึกษาการปลดปล่อยสารละลายสีย้อมจากแผ่นไฮโดรเจล

ในการศึกษาการปลดปล่อยสารละลายสีย้อมนี้จะแบ่งเป็น 2 การทดลอง

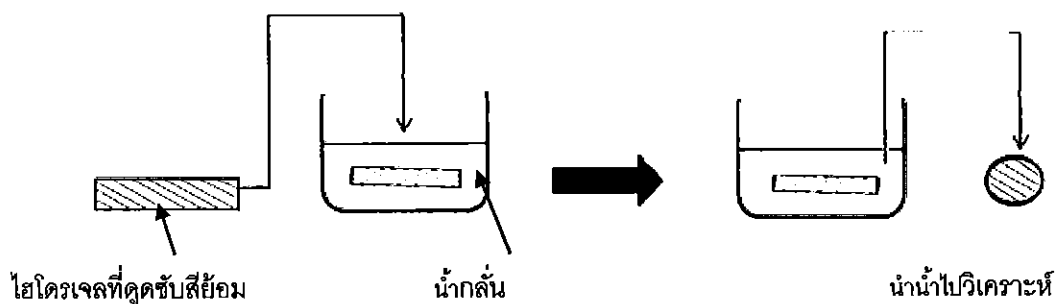
3.5.3.1 การทดลองที่ 1 นำแผ่นไฮโดรเจลที่ดูดซับสารละลายสีย้อมแต่ละชนิด ที่สภาวะการดูดซับสมดุลของแต่ละความเข้มข้นใส่ในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 3 มิลลิลิตร เพื่อศึกษาการปลดปล่อยสีย้อมออกจากแผ่นไฮโดรเจล ที่เวลา 1 2 5 8 24 48 และ 72 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำกลั่นที่มีสารละลายสีย้อมแต่ละชนิดปลดปล่อยจากแผ่นไฮโดรเจลไปวิเคราะห์ ด้วยเครื่องมือ UV-Vis Spectrophotometer คำนวณความเข้มข้นสารละลายสีย้อมที่ถูกปลดปล่อย ณ เวลาต่างๆ ภายใน 72 ชั่วโมง ทำซ้ำ 3 ครั้ง



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างแผ่นไฮโดรเจลที่ดูดซับสีย้อมสมดุลแช่ในน้ำกลั่นปริมาตร 3 มิลลิลิตร



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างน้ำกลั่นที่มีสารละลายสีย้อมปลดปล่อยจากแผ่นไฮโดรเจลที่เวลา 5 ชั่วโมง

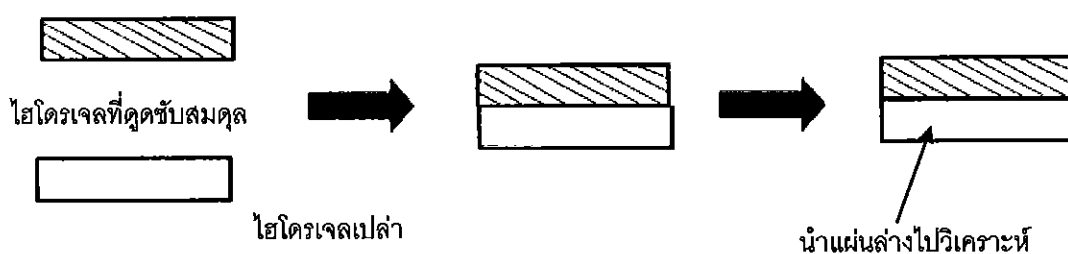


รูปที่ 3.10 การทดสอบการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมแบบสองเฟส

3.5.3.2 การทดลองที่ 2 นำแผ่นไฮโดรเจลที่ดูดซับสารละลายสีย้อมแต่ละชนิดที่สภาวะการดูดซับสมดุลของแต่ละความเข้มข้น วางทับบนแผ่นไฮโดรเจลเปล่าเป็นเวลา 1 2 5 8 24 48 และ 72 ชั่วโมง โดยนำแผ่นไฮโดรเจลเปล่าที่ถูกวางทับไปวิเคราะห์ความเข้มข้นสารละลายสีย้อมที่ปลดปล่อยออกจากไฮโดรเจลด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่เวลาต่างๆ ภายใน 72 ชั่วโมง ทำซ้ำ 3 ครั้ง



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการวางทับแผ่นไฮโดรเจล



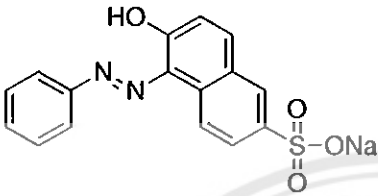
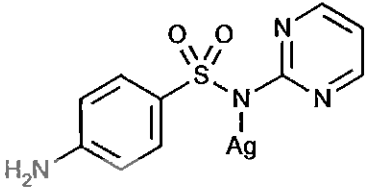
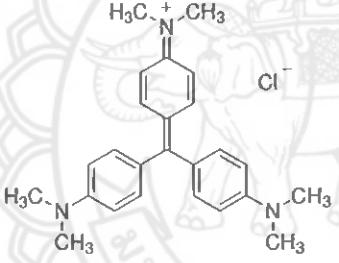
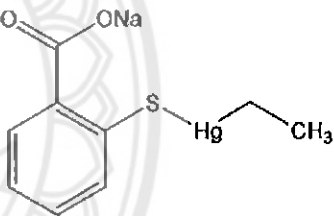
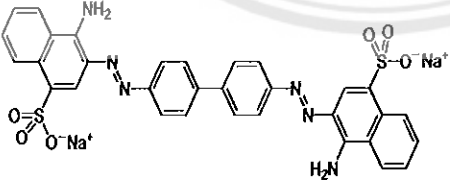
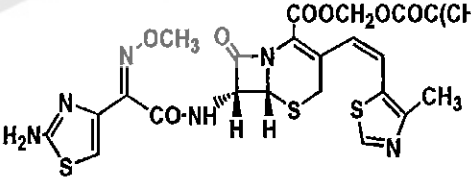
รูปที่ 3.12 การทดสอบการปลดปล่อยสารละลายสีย้อมโดยใช้แผ่นไฮโดรเจลวางทับกัน



### 3.6 โครงสร้างโมเลกุลของสีย้อมเปรียบเทียบด้วยยา [11]

สำหรับการเปรียบเทียบโมเลกุลของสีย้อมแทนด้วยยา ซึ่งมีขนาดมวลโมเลกุลใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบโครงสร้างโมเลกุลสีย้อมและด้วยยา

สีย้อม Orange II	ยา Silver Sulfadiazine
	
สูตรโมเลกุล : $C_{16}H_{11}N_2O_4SNa$	สูตรโมเลกุล : $C_{10}H_9AgN_4O_2S$
น้ำหนักโมเลกุล : 350.32	น้ำหนักโมเลกุล : 357.14
สีย้อม Violet	ยา Thimerosal
	
สูตรโมเลกุล : $C_{25}H_{30}ClN_3$	สูตรโมเลกุล : $C_9H_9HgNaO_2S$
น้ำหนักโมเลกุล : 407.98	น้ำหนักโมเลกุล : 404.81
สีย้อม Congo Red	ยา Cefditoren Pivoxil
	
สูตรโมเลกุล : $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$	สูตรโมเลกุล : $C_{25}H_{28}N_6O_7S_3$
น้ำหนักโมเลกุล : 696.66	น้ำหนักโมเลกุล : 620.724

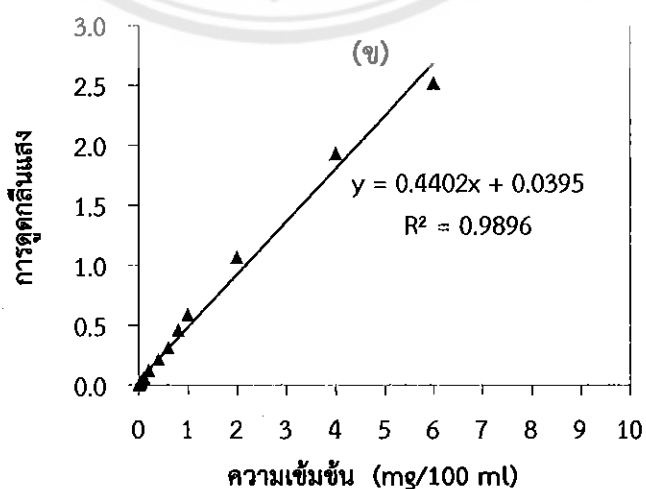
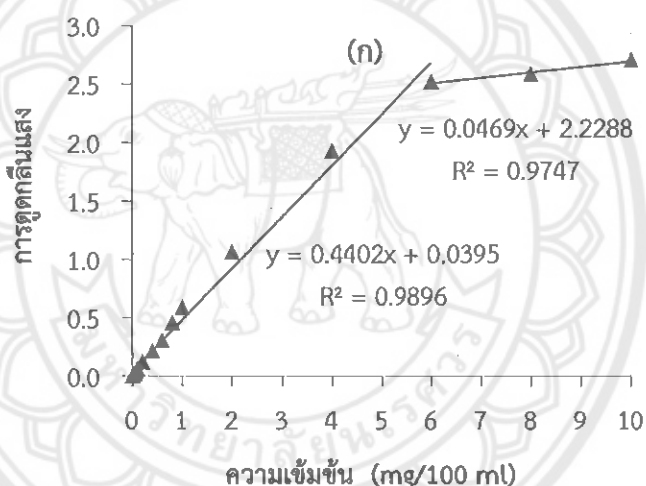
ที่มา: ดัดแปลงจาก กระทรวงสาธารณสุข. (2550). เรื่อง ยาสามัญประจำบ้านแผนปัจจุบัน (ฉบับที่ ๓) และโครงสร้างโมเลกุลของสีย้อม

## บทที่ 4

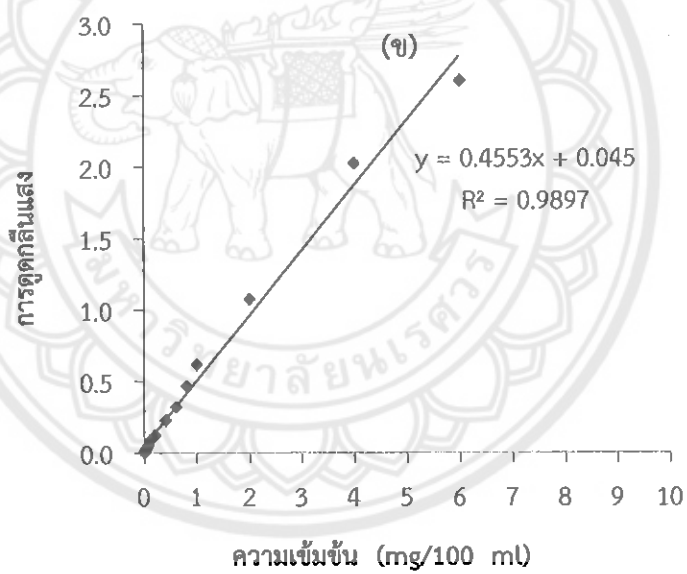
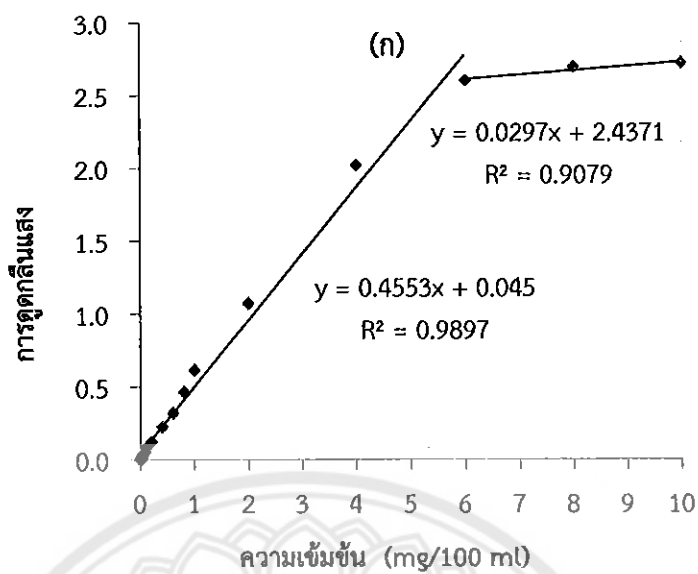
### ผลการทดลองและการวิเคราะห์

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาสภาวะการดูดซึมและการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อม Congo Red Orange II และ Violet โดยใช้ไฮโดรเจลเป็นตัวดูดซับและปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมที่อุณหภูมิในการศึกษาอุณหภูมิห้อง โดยทำการเปรียบเทียบเวลาในการดูดซับและการปลดปล่อย โดยใช้เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อหาความเข้มข้น จากการศึกษาได้ผลดังนี้

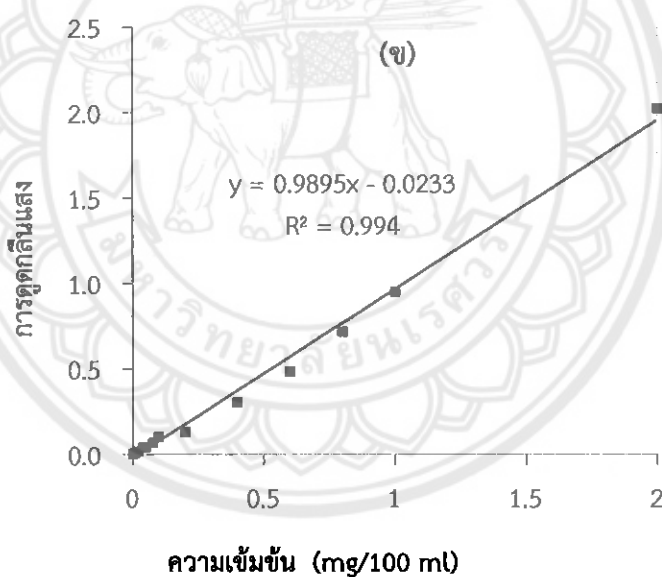
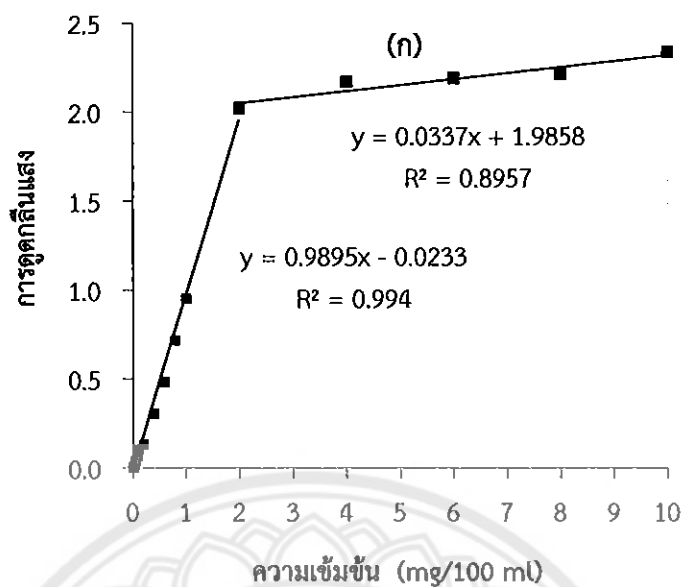
#### 4.1 ผลการเตรียมสารละลายมาตรฐานของสีย้อม



รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานของสีย้อม Congo Red



รูปที่ 4.2 กราฟมาตรฐานของสีย้อม Orange II



รูปที่ 4.3 กราฟมาตรฐานของสีย้อม Violet

จากกราฟระหว่างการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสีทั้ง 3 ชนิด ให้กราฟที่ไม่เป็นเส้นตรงตลอดช่วงของความเข้มข้น โดยผู้ทำการวิจัยได้เลือกช่วงที่ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนและความเข้มข้นเป็นเส้นตรงเป็นกราฟมาตรฐานของสีทั้ง 3 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 4.1-4.3 (ข)

#### 4.2 ผลการดูดซับโมเลกุลของสีย้อม ที่เวลาสมดุล 24 ชั่วโมง

สำหรับผลการทดลองการดูดซับของโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 ชนิด โดยในขั้นแรกหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับที่สมดุลของสีย้อม โดยได้น้ำหนักสมดุลที่ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำระยะเวลาที่ 24 ชั่วโมงมาใช้ ในการเตรียมสารละลายสีย้อมเริ่มต้นที่ความเข้มข้นต่างๆ ตั้งแต่ความเข้มข้น 1 %w/v ถึง 10 %w/v พบว่าเมื่อทดลองการดูดซับที่ความเข้มข้น 1 %w/v ค่าในการดูดกลืนของแสงมากกว่าหนึ่งฟิค ทำให้ต้องลดความเข้มข้นลง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการดูดซับของสีย้อมทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาสมดุล 24 ชั่วโมง

ชนิดของสีย้อม	ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซับ ที่เวลาสมดุล 24 ชั่วโมง			
	0.01 %w/v	0.05 %w/v	0.1 %w/v	1% w/v
Congo Red	0.252	0.986	1.400	8.227*
Orange II	1.945	2.825*	5.451*	8.785*
Violet	3.587*	5.555*	8.997*	10.322*

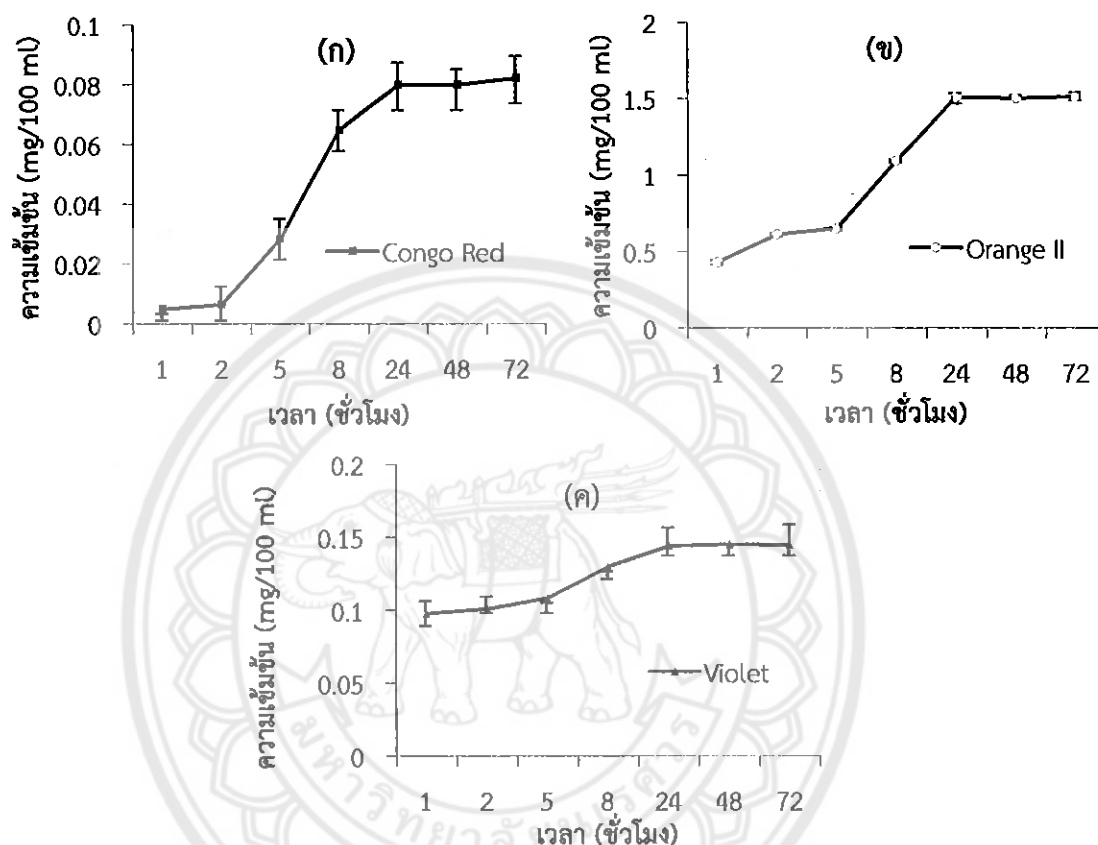
หมายเหตุ: หน่วย mg/100 ml

สัญลักษณ์ (\*) หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงมีมากกว่าหนึ่งฟิค

### 4.3 ศึกษาการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมออกจากแผ่นไฮโดรเจล

#### 4.3.1 การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมออกจากแผ่นไฮโดรเจลแบบสองเฟส

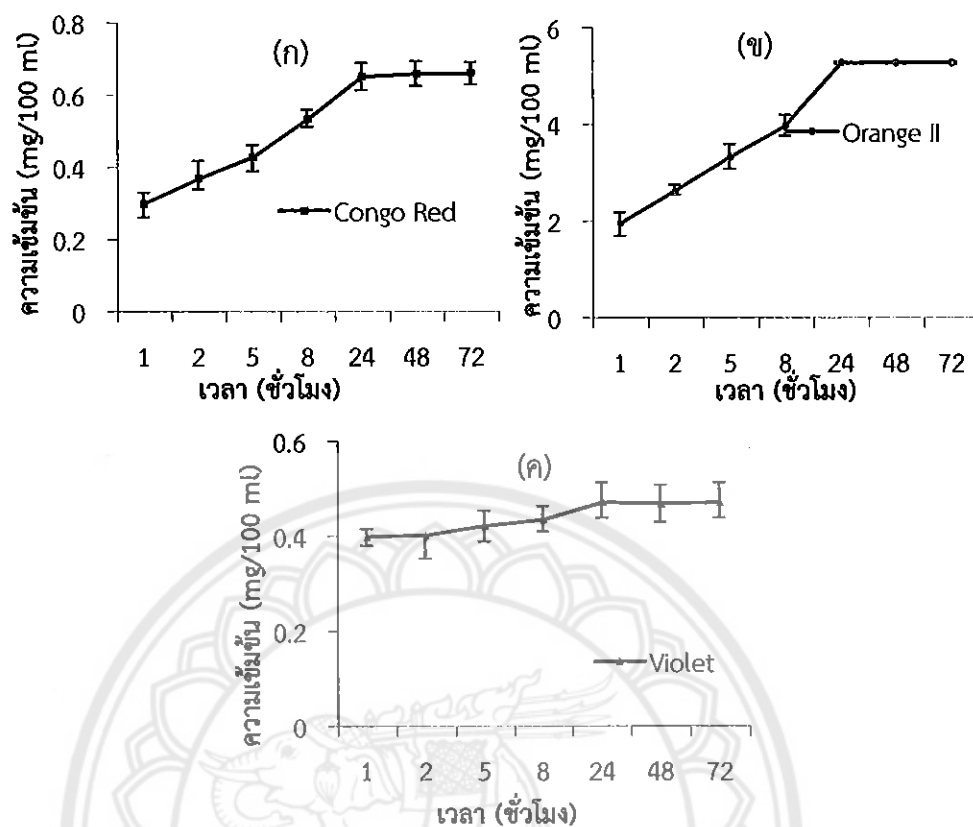
จากการทดลองการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อม Congo Red Orange II และ Violet ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของการดูดซับ 0.01 0.05 0.1 และ 1 %w/v แสดงดังนี้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 ชนิดแบบสองเฟส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซับ 0.01 %w/v

จากรูปที่ 4.4 แสดงผลการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมแบบสองเฟสทั้ง 3 ชนิด คือ สีย้อม Congo Red Orange II และ Violet ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซับ 0.01 %w/v โดยใช้แผ่นไฮโดรเจลที่ดูดซับสีย้อมปลดปล่อยในน้ำปริมาตร 3 มิลลิลิตร พบว่า

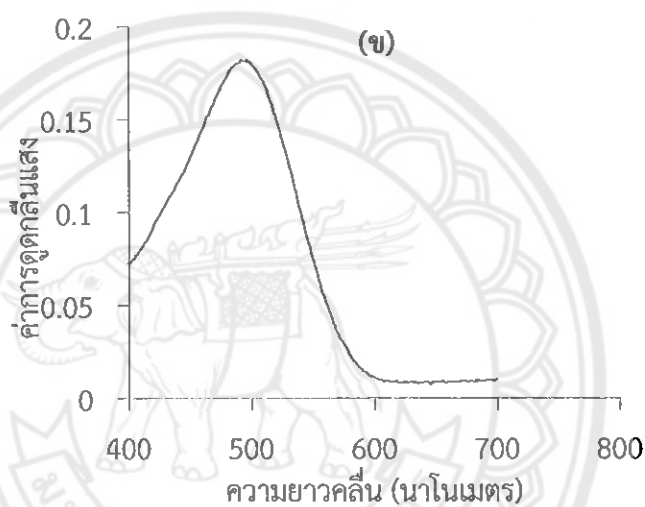
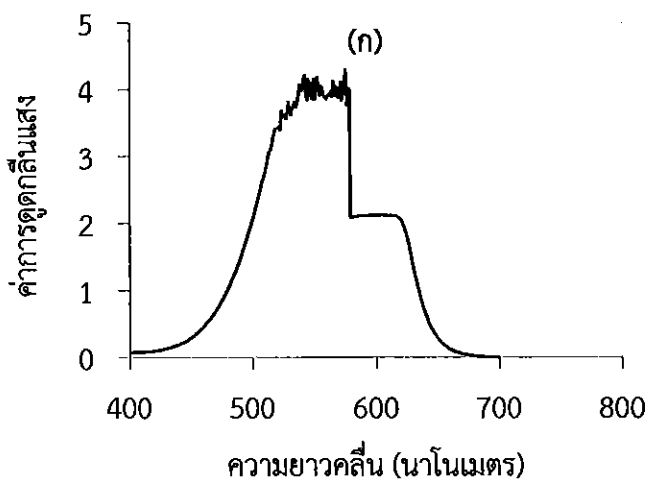
ค่าการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมนั้นมีค่าไม่เท่ากัน พบว่าเวลาเริ่มเข้าสู่สมดุลที่ 24 ชั่วโมง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดมวลโมเลกุลของสีย้อมของทั้ง 3 ชนิดแล้ว สีย้อม Congo Red มีค่าน้อยที่สุด คือ 0.0798 mg/100 ml เนื่องจากสีย้อม Congo Red มีขนาดมวลโมเลกุลใหญ่และซับซ้อน ทำให้การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมเป็นไปได้ยาก ส่วนสีย้อม Orange II ให้การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมมากที่สุด คือ 1.511 mg/100 ml นั้นเป็นเพราะว่า ขนาดมวลโมเลกุลของสีย้อมมีขนาดเล็กกว่าทั้ง 3 ชนิด ทำให้การเคลื่อนที่ของมวลโมเลกุลเป็นไปได้ง่ายและสีย้อม Violet ที่ 24 ชั่วโมง มีการปลดปล่อยออกมา คือ 0.144 mg/100 ml



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 ชนิดแบบสองเฟส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซึม 0.05 %w/v

จากกราฟแสดงให้เห็นถึงการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อม Congo Red Orange II และ Violet ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซับ 0.05 %w/v แบบสองเฟส โดยใช้แผ่นไฮโดรเจลที่ดูดซับสีย้อมปลดปล่อยในน้ำปริมาตร 3 มิลลิลิตร พบว่า

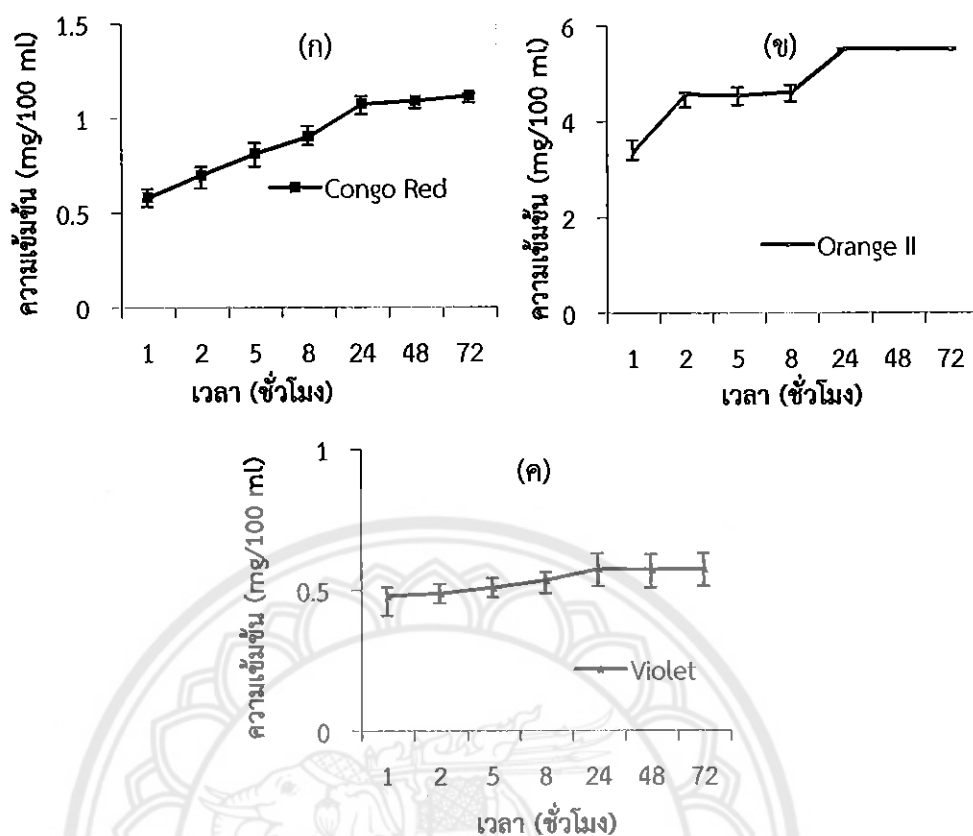
ปริมาณการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมมีค่าไม่เท่ากัน โดยในช่วงแรกมีการปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว เมื่อพิจารณาที่ 24 ชั่วโมง ณ เวลาเริ่มเข้าสู่สมดุล โดยปริมาณการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อม Orange II มีค่าสูงสุด คือ 0.288 mg/100 ml และโมเลกุลสีย้อม Congo Red มีค่ารองลงมา คือ 0.651 mg/100 ml เนื่องจากสีย้อม Congo Red มีโครงสร้างโมเลกุลที่ซับซ้อนและมีมวลโมเลกุลใหญ่กว่า ทำให้การเคลื่อนที่โมเลกุลของสีย้อม Congo Red ปลดปล่อยออกมาได้น้อยกว่าสีย้อม Orange II สำหรับการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อม Violet ให้ผลตรงกันข้ามสำหรับการทดลองนี้ ซึ่งสีย้อม Violet มีการปลดปล่อยออกความเข้มข้นออกมาน้อยสุด คือ 0.471 mg/100 ml นั้นเป็นเพราะว่าช่วงค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อม Violet อยู่นอกช่วงกราฟมาตรฐานที่เป็นเส้นตรงเส้นที่ 1 ดังรูปที่ 4.6 (ข) เพราะฉะนั้นผลการทดลองจึงมีผลตรงข้ามดังที่แสดงดังกราฟข้างต้น



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่มีจำนวนมากกว่าหนึ่งพีค (ก) มีจำนวนมากกว่าหนึ่งพีค (ข) มีจำนวนหนึ่งพีค

รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่เกิดจากการวัดสารตัวอย่าง โดยรูปที่ 4.6 (ก) เกิดจากการวัดสารตัวอย่างที่มีจำนวนพีคของค่าการดูดกลืนแสงมากกว่าหนึ่งพีค ซึ่งการเกิดจำนวนพีคมาก เป็นผลมาจากความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่วัดมากเกินไป และจากรูปที่ 4.6 (ข) แสดงพีคค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างที่วัดซึ่งเกิดขึ้นเพียงหนึ่งพีค นั้นเป็นเพราะการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างที่ความเข้มข้นน้อยๆ ซึ่งไม่เกินขีดจำกัดของเครื่องวัดทำให้การวัดเกิดความแม่นยำ



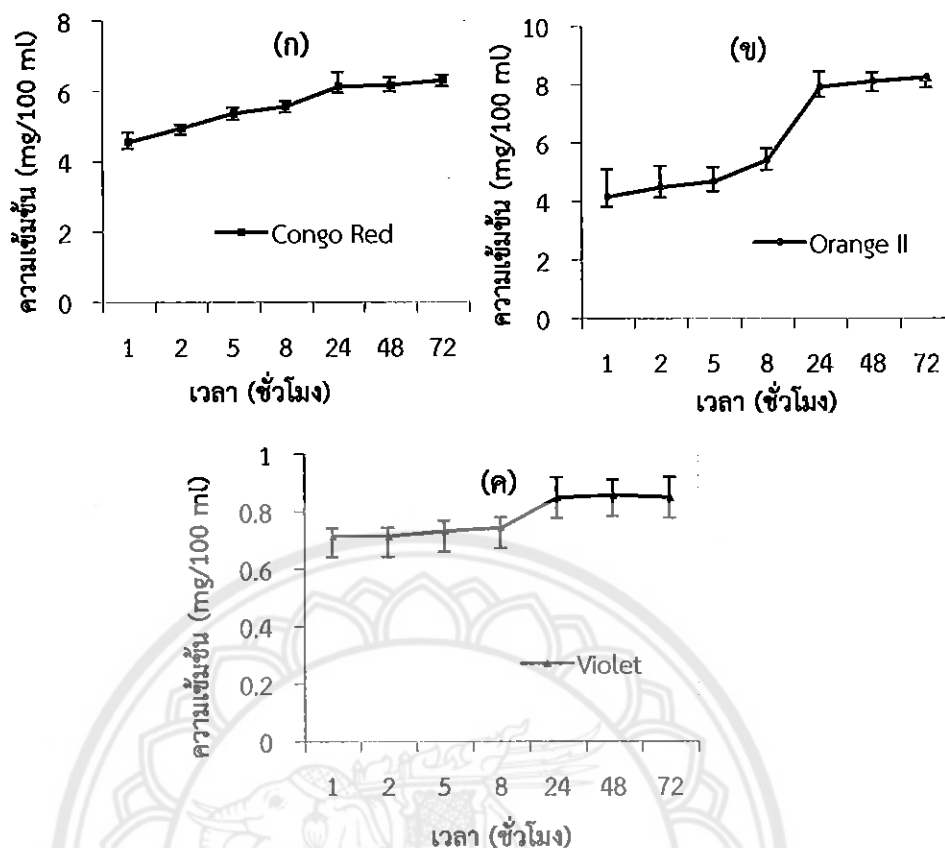


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 ชนิดแบบสองเฟส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซึม 0.1 %w/v

จากกราฟแสดงให้เห็นถึงการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อม Congo Red Orange II และ Violet ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซึม 0.1 %w/v แบบสองเฟส โดยใช้แผ่นไฮโดรเจลที่ดูดซึมสีย้อมปลดปล่อยในน้ำปริมาตร 3 มิลลิลิตร พบว่า

จากรูปที่ 4.7 เมื่อเราเลือกพิจารณาช่วงเริ่มแรกในการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมทั้ง 3 ชนิด พบว่าให้ปริมาณการปลดปล่อยเริ่มต้นต่างกัน เนื่องมาจากการดูดซับของแต่ละสีย้อมมีค่าต่างกัน โดยสีย้อม Congo red Orange II และ Violet มีความเข้มข้นดูดซับเข้าในไฮโดรเจล คือ 1.400 5.451 และ 8.997 mg/100 ml ตามลำดับ จะเห็นว่า การดูดซับของสีย้อม Violet มีค่ามากที่สุด แต่กลับให้การปลดปล่อยน้อยที่สุดนั้นเป็นเพราะว่า ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อม Violet ที่วัดได้จากเครื่องมีจำนวนพิกมากกว่าหนึ่งพิก ตัวอย่างกราฟพิก แสดงในรูปที่ 4.6 เราจึงเลือกช่วงกราฟมาตรฐานของสีย้อม Violet เส้นตรงที่ 2 ของรูปที่ 4.3 (ก) มาคำนวณ

สำหรับช่วงเวลาเริ่มเข้าสู่สมดุลที่ 24 ชั่วโมง พบว่าการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อม Congo Red มีค่า 1.075 mg/100 ml ซึ่งน้อยกว่า สีย้อม Orange II ที่มีค่า 5.514 mg/100 ml จากผลการทดลองนี้สอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่าขนาดมวลโมเลกุลที่ซับซ้อนมีผลต่อการดูดซับและการปลดปล่อย โดยสีย้อม Congo Red มีโครงสร้างมวลโมเลกุลที่ซับซ้อนและมีมวลโมเลกุลขนาดใหญ่

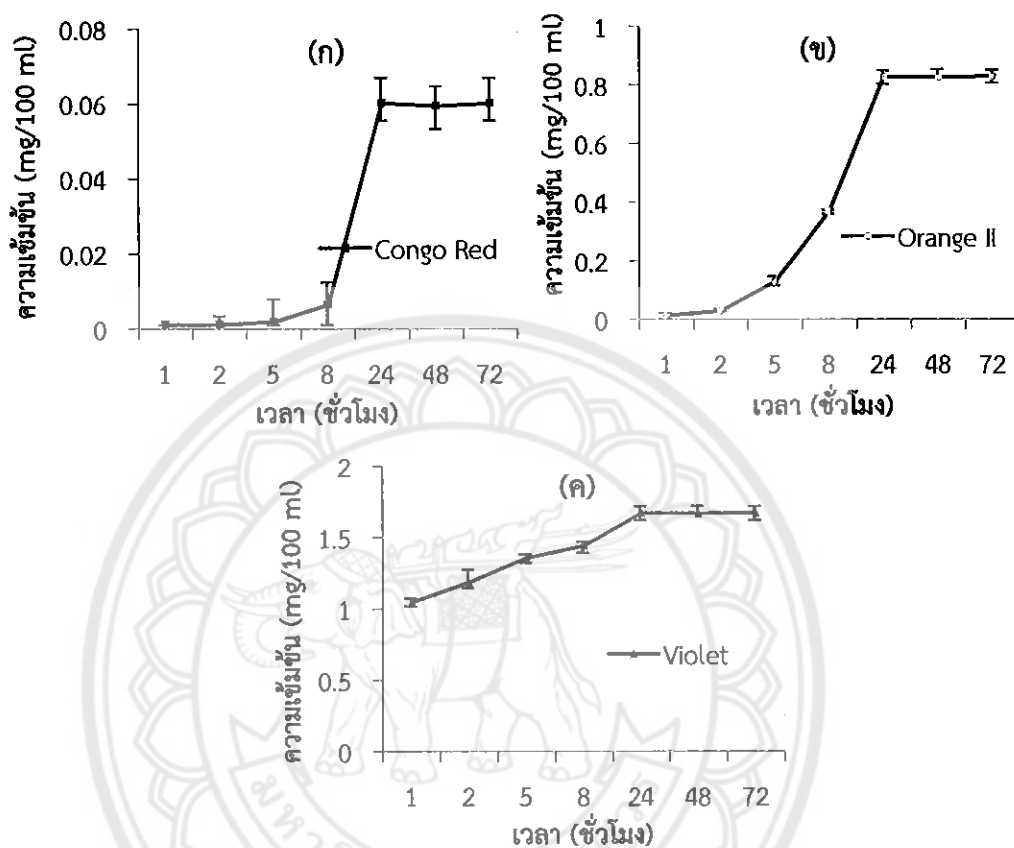


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 ชนิดแบบสองเฟส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซึม 1 %w/v

จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นถึงการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อม Congo Red Orange II และ Violet ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซึม 1 %w/v แบบสองเฟส โดยใช้แผ่นไฮโดรเจลที่ดูดซับสีย้อมปลดปล่อยในน้ำปริมาตร 3 มิลลิลิตร พบว่าช่วงเวลาแรกก่อนถึงสมดุลการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมเป็นไปอย่างรวดเร็ว นั่นเป็นเพราะความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นทั้งสองเฟสมีค่าต่างกัน ทำให้ช่วงแรกมีแรงขับเคลื่อนของมวลโมเลกุลมากพอ สำหรับเวลาที่เริ่มเข้าสู่สมดุลของสีย้อมทั้ง 3 ชนิด ที่เวลา 24 ชั่วโมง สีย้อม Congo Red มีค่า 6.137 mg/100 ml สีย้อม Orange II มีค่า 7.920 mg/100 ml และสีย้อม Violet มีค่า 0.849 mg/100 ml จะเห็นว่า สีย้อม Violet มีค่าน้อยกว่าสีย้อม Congo Red ซึ่งให้ผลตรงกันข้ามสำหรับการทดลองนี้ นั่นเป็นเพราะว่า ที่การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมทั้ง 3 ชนิด วัดค่าการดูดกลืนแสงมากกว่าหนึ่งฟิค ซึ่งจะทำให้ผลคลาดเคลื่อน

#### 4.3.2 การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมออกจากแผ่นไฮโดรเจลแบบเฟสเดียว

จากการทดลองการแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อม Congo Red Orange II และ Violet ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของการดูดซับ 0.01 0.05 0.1 และ 1 %w/v แสดงดังนี้

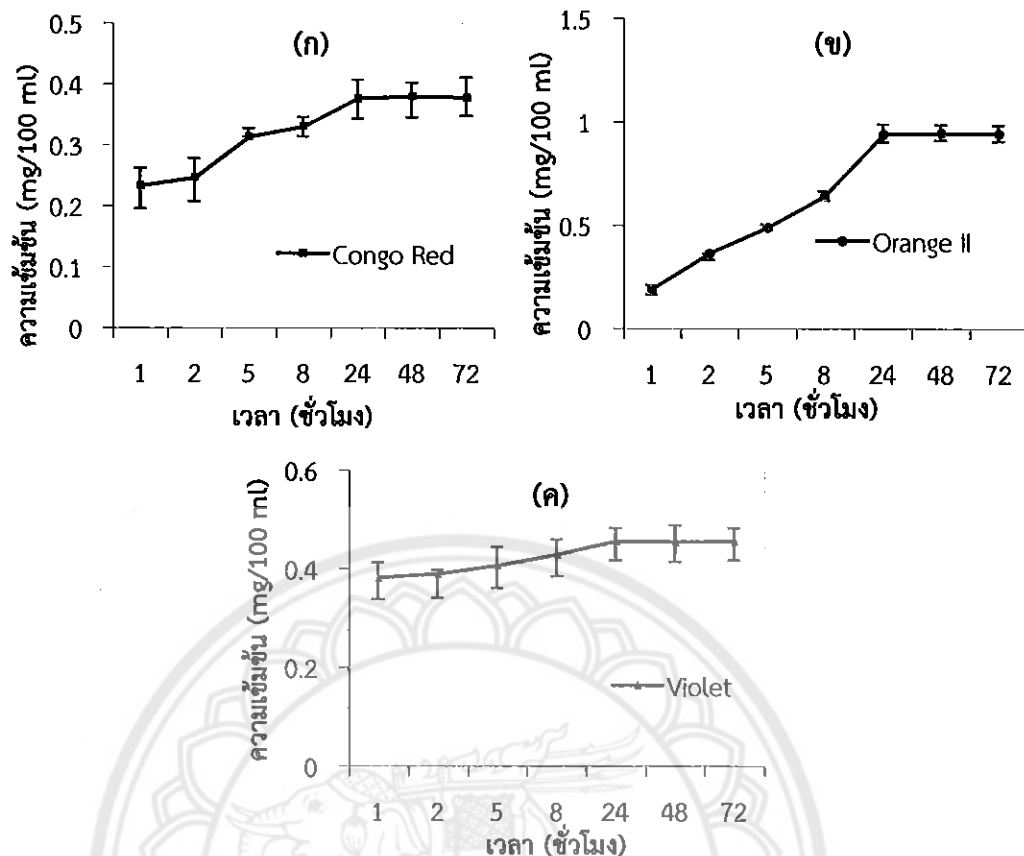


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 ชนิดแบบเฟสเดียว ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซับ 0.01 %w/v

จากรูปที่ 4.9 แสดงผลของการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อม Congo Red Orange II และ Violet แบบเฟสเดียว ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซับ 0.01 %w/v พบว่า

การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมทั้ง 3 ชนิด ในช่วงแรกมีการเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ช้าลง โดยในช่วงแรกการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสีย้อมต้องมีแรงขับเคลื่อนมาก อันเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างเฟสของไฮโดรเจลทั้งสอง โดยเมื่อเพิ่มเวลามากขึ้น จะทำให้การสะสมของความเข้มข้นของผิวหน้ามากขึ้น จนความเข้มข้นของไฮโดรเจลทั้งสองเริ่มเข้าสู่สมดุล

จากการทดลองการปลดปล่อยแบบเฟสเดียวและแบบสองเฟสที่ความเข้มข้นการดูดซับเริ่มต้น 0.01 %w/v ให้ผลการดูดกลืนแสงเพียงหนึ่งฟิค ทำให้ผลการทดลองแม่นยำที่สุด โดยเมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบรูปที่ 4.5 (ก) กับ 4.9 (ก) จะเห็นว่าการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมในระยะเวลาช่วงแรกก่อนเข้าสู่สมดุลของรูปที่ 4.5 (ก) ให้การปลดปล่อยดีกว่ารูปที่ 4.9 (ก)



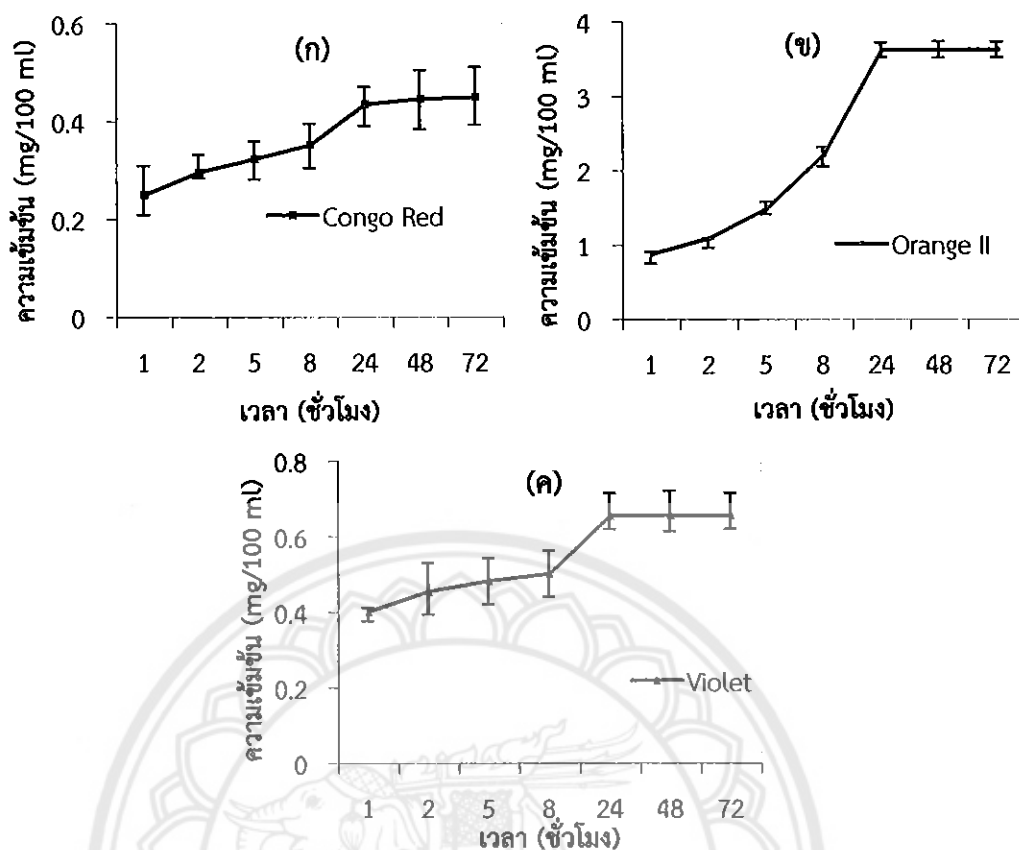
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 ชนิดแบบเฟสเดียว ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซึม 0.05 %w/v

การทดลองการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อม Congo Red Orange II และ Violet แบบเฟสเดียว โดยใช้แผ่นไฮโดรเจลดูดซับที่ความเข้มข้น 0.05 %w/v ปลดปล่อยบนไฮโดรเจลเปล่า ดังแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่า

ปริมาณการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมมีค่าไม่เท่ากัน โดยปริมาณการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อม Violet มีค่ามากที่สุด โมเลกุลสีย้อม Congo Red มีค่าน้อยสุด

สำหรับปริมาณการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อม Orange II และสีย้อม Congo Red มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 5 ชั่วโมงแรก และหลังจากนั้นปริมาณการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ช้าลง นั้นเป็นเพราะว่าปริมาณสีย้อมที่ถูกปลดปล่อยเข้าไปอยู่ในแผ่นไฮโดรเจลเปล่ามีค่าความเข้มข้นเริ่มเท่ากัน การส่งผ่านโมเลกุลสีย้อมเริ่มเข้าสู่สมดุล

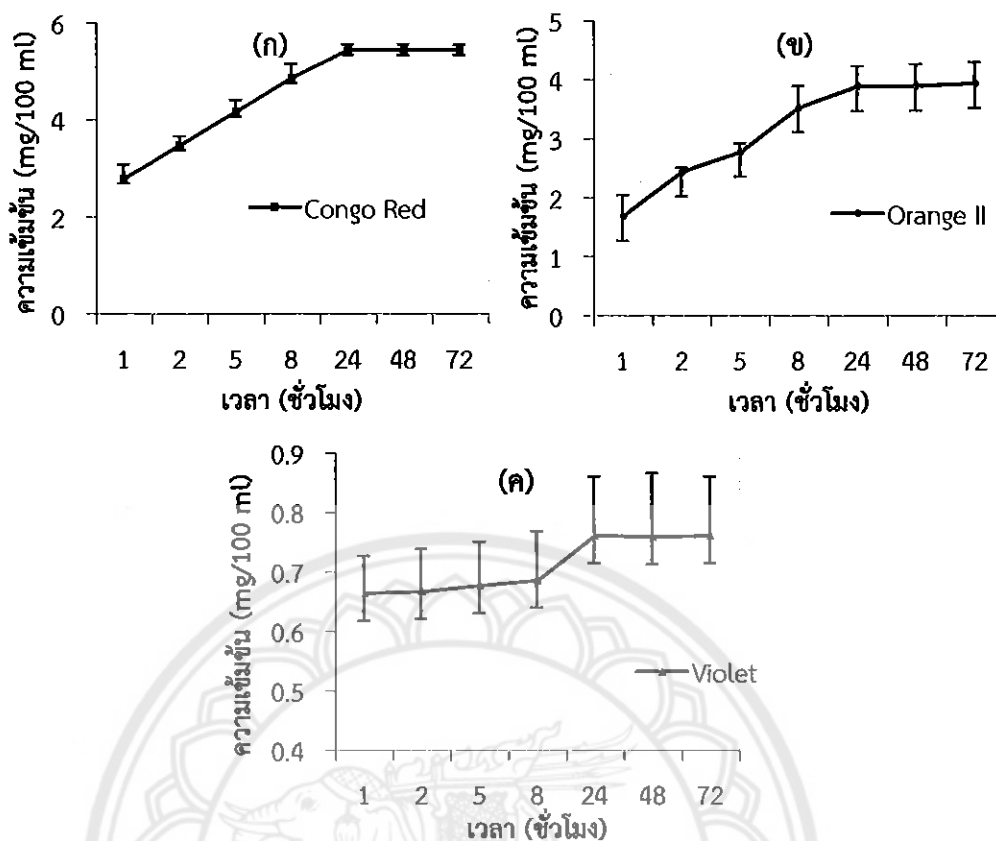
เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างและขนาดมวลโมเลกุลของสีย้อม สำหรับการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อม Congo Red มีค่าน้อยสุด นั้นเป็นเพราะว่าโครงสร้างโมเลกุลของสีย้อม Congo Red มีโครงสร้างที่ซับซ้อนและมีขนาดมวลโมเลกุลใหญ่ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวลโมเลกุลสีย้อม Congo Red เป็นไปได้ยาก



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 ชนิดแบบเฟสเดียว ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซึม 0.1 %w/v

จากผลการทดลองการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อม Congo Red Orange II และ Violet แบบเฟสเดียว โดยใช้แผ่นไฮโดรเจลดูดซึมที่ความเข้มข้น 0.1 %w/v ปลดปล่อยบนไฮโดรเจลเปล่า ดังแสดงในรูปภาพที่ 4.11 พบว่า

เมื่อพิจารณาช่วงเวลา 24 ชั่วโมง จะเห็นว่าการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อม Congo Red กับสีย้อม Orange II พบว่าการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อม Orange II ให้ค่ามากกว่า สีย้อม Congo Red คือ 3.626 mg/100 ml และ 0.436 mg/100 ml ตามลำดับและสีย้อม Violet มีค่า 0.655 mg/100 ml ในกรณี สีย้อม Violet ที่มีการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมน้อยกว่าสีย้อม Orange II เป็นเพราะจำนวนฟิสิกการดูดกลืนแสงของสีย้อม Violet มีมากกว่าหนึ่งฟิสิก จึงส่งผลต่อการใช้กราฟมาตรฐานของสีย้อมมาคำนวณทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 ชนิดแบบเฟสเดียว ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นการดูดซึม 1 %w/v

จากผลการทดลองการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อม Congo Red Orange II และ Violet แบบเฟสเดียว โดยใช้แผ่นไฮโดรเจลดูดซับที่ความเข้มข้น 1 %w/v ปลดปล่อยบนไฮโดรเจลเปล่าดังแสดงในรูปที่ 4.12 พบว่า

สำหรับการทดลองนี้เมื่อพิจารณา ช่วงเวลาถึง 8 ชั่วโมง จะพบว่าการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อม Congo Red ให้ค่าสูงสุด คือ 4.396 mg/100 ml และการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อม Orange II มีค่าน้อยกว่า Congo Red คือ 3.891 mg/100 ml และการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อม Violet ให้ค่าน้อยที่สุด คือ 0.761 mg/100 ml จากผลการทดลองได้ผลตรงกันข้ามกับทฤษฎีขนาดมวลโมเลกุล ที่กล่าวไว้ว่า สีย้อม Congo Red มีขนาดมวลโมเลกุลที่ซับซ้อนและใหญ่กว่า แต่กลับให้การปลดปล่อยมากที่สุด นั้นเป็นเพราะสีย้อม Violet และสีย้อม Orange II ให้พีคค่าการดูดกลืนแสงมากกว่าหนึ่งพีคซึ่งเมื่อนำมาคำนวณแล้วทำให้มีผลกระทบต่อผลการทดลอง

#### 4.4 ผลกระทบของสีย้อม

สำหรับการดูดซับของสีย้อมทั้ง 3 ชนิด สีย้อม Congo red Orange II และ Violet โดยสีย้อม Violet ให้ค่าการดูดซับมากที่สุดตามด้วยสีย้อม Orange II และสุดท้ายสีย้อม Congo Red ให้ค่าการดูดซับน้อยที่สุด เหตุผลที่สีย้อม Violet ให้ค่าการดูดซับมากที่สุดอาจเป็นเพราะกลไกการการติดสีย้อม Violet ที่มีประจุเป็นบวก (Basic Dye) จึงเกิดการดึงดูดระหว่างมวลโมเลกุลที่มีประจุตรงข้ามกันไปยังแผ่นไฮโดรเจลและกรณีที่สีย้อม Congo Red มีค่าการดูดซับน้อยที่สุด เป็นเพราะสีย้อมมีขนาดมวลโมเลกุลที่ใหญ่และโครงสร้างที่ซับซ้อนทำให้การแพร่เข้าไปในไฮโดรเจลได้ยาก

สำหรับการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมทั้ง 3 ชนิด สีย้อม Congo Red Orange II และ Violet โดยเราเลือกพิจารณาความเข้มข้นเริ่มต้นของการดูดซับน้อยสุดที่ 0.01 %w/v ซึ่งให้ผลแม่นยำที่สุด ทั้งการปลดปล่อยแบบเฟสเดียวและแบบสองเฟส

4.4.1 พบว่าการปลดปล่อยสีย้อมแบบสองเฟส สีย้อม Orange II ให้ค่าการปลดปล่อยมากที่สุด ตามด้วยสีย้อม Violet และสีย้อม Congo Red ให้ค่าการปลดปล่อยน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับขนาดของมวลโมเลกุลของสีย้อมทั้ง 3 ชนิด โดยสีย้อม Congo Red มีขนาดมวลโมเลกุลใหญ่สุด ทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสีย้อมเป็นไปได้ยาก และสีย้อม Orange II มีขนาดมวลโมเลกุลน้อยที่สุดทำให้การเคลื่อนที่ได้ง่ายกว่า

4.4.2 พบว่าการปลดปล่อยสีย้อมแบบเฟสเดียว สีย้อม Violet ให้ค่าการปลดปล่อยมากที่สุด ตามด้วยสีย้อม Orange II และสีย้อม Congo Red ให้ค่าการปลดปล่อยน้อยที่สุด ซึ่งให้ผลตรงกันข้ามกับขนาดมวลโมเลกุลของสีย้อมทั้ง 3 ชนิด แต่เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างประจุของโมเลกุลของสีย้อม Violet ที่มีประจุเป็นบวก จึงเกิดการดึงดูดระหว่างมวลโมเลกุลที่มีประจุตรงข้ามกันไปยังแผ่นไฮโดรเจลดังเช่นการทดลองการดูดซับ

จากผลการทดลองทั้งหมดสำหรับการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมออกจากแผ่นไฮโดรเจลแสดงให้เห็นว่า การนำสีย้อมทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ สีย้อม Congo Red Orange II และ Violet ที่มีสมบัติทางโครงสร้างคล้ายคลึงตัวยาคือ สีย้อมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเป็นตัวเปรียบเทียบแทนตัวยาคือ สีย้อม Orange II แม้ว่าการปลดปล่อยแบบเฟสเดียวให้ค่าการปลดปล่อยน้อยกว่าสีย้อม Violet แต่เนื่องด้วยสีย้อม Violet มีคุณสมบัติในการย้อมติดสีมากเกิน สีย้อม Orange II จึงเป็นตัวที่เหมาะสมที่เพื่อประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบแทนตัวยาคือต่อไป

#### 4.5 ผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้น

สำหรับการดูดซับของสีย้อมทั้ง 3 ชนิด คือ สีย้อม Congo Red Orange II และ Violet การเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นทำให้ปริมาณดูดซับมากยิ่งขึ้น แสดงดังในตารางที่ 4.1 เนื่องมาจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม เป็นการเพิ่มแรงขับเคลื่อนให้การถ่ายเทมวลซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นทั้งสองเฟส

สำหรับการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมทั้ง 3 ชนิด สีย้อม Congo Red Orange II และ Violet ทั้งการปลดปล่อยแบบเฟสเดียวและแบบสองเฟส เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้น จาก 0.01 %w/v เป็น 0.05 0.1 และ 1 %w/v พบว่าปริมาณการปลดปล่อยแบบทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองการดูดซับที่กล่าวไว้





## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการดูดซึมและการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมที่ความเข้มข้นการดูดซับเริ่มต้น 0.01 0.05 0.1 และ 1 %w/v ได้ผลดังนี้

##### 5.1.1 การศึกษาการดูดซับของแผ่นไฮโดรเจล

เมื่อเลือกพิจารณาค่าที่แม่นยำมากที่สุด จากการทดลองการดูดซับสีย้อมทั้ง 3 ชนิด คือ สีย้อม Congo Red Orange II และ Violet ที่ความเข้มข้นการดูดซับเริ่มต้น 0.01 %w/v พบว่าสีย้อม Congo Red ให้ค่าการดูดซับน้อยสุด คือ 0.252 mg/100 ml สีย้อม Orange II คือ 1.945 mg/100 ml และสีย้อม Violet ให้ค่าการดูดซับมากที่สุด คือ 3.587 mg/100 ml จะเห็นว่าการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อม Violet มีจำนวนพิกมากกว่าหนึ่งพิก ซึ่งส่งผลให้เกิดค่าผิดพลาดในการทดลอง

##### 5.1.2 การศึกษาการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 ชนิด

###### 5.1.2.1 การศึกษาการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมแบบสองเฟส

จากการทดลองเราพิจารณการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมที่ความเข้มข้นการดูดซับเริ่มต้นที่ 0.01 %w/v เพราะให้ค่าพิกการดูดกลืนแสงเพียงพิกเดียวซึ่งจากการทดลองจะเห็นว่าสีย้อม Orange II ให้ค่าการปลดปล่อยมากที่สุด คือ 1.511 mg/100 ml ตามด้วยสีย้อม Violet มีค่า 0.144 mg/100 ml และสีย้อม Congo Red ให้ค่าการปลดปล่อยน้อยสุด คือ 0.0798 mg/100 ml ซึ่งสอดคล้องกับขนาดของโมเลกุลที่กล่าวไว้ว่า ขนาดโมเลกุลใหญ่จะทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลค่อนข้างช้าและน้อยมาก

###### 5.1.2.2 การศึกษาการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อมแบบเฟสเดียว

จากการทดลองเราพิจารณการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมที่ความเข้มข้นการดูดซับเริ่มต้นที่ 0.01 %w/v เพราะให้ค่าพิกการดูดกลืนแสงแค่พิกเดียว ซึ่งจากการทดลองพบว่า การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อม Violet ให้ค่ามากที่สุด อาจเป็นเพราะว่าด้วยโครงสร้างของมวลโมเลกุลของสีย้อม Violet ให้ความสามารถการย้อมติดไฮโดรเจลได้ดีกว่าสีย้อม ทั้ง 2 ชนิด เนื่องจากสีย้อม Violet อยู่ในจำพวกสีย้อมชนิด เบสิก (Basic) ซึ่งมีความสามารถย้อมติดได้ดีกว่าสีย้อมชนิดเอซิก (Acid)

## 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรจะลดปริมาณความเข้มข้นสำหรับการทดลองการศึกษานี้เพื่อที่จะให้ตัวเครื่องสามารถอ่านค่าได้แม่นยำกว่านี้ เพราะว่าตัวเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ไม่สามารถวัดสารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นสูงได้ ซึ่งจะทำให้การวัดสารมีค่าผิดพลาด

5.2.2 ในกรณีถ้ามีการลดความเข้มข้นการดูดซับเริ่มต้นต่ำกว่า 0.01 %w/v อาจจะมีการเพิ่มการปั่นกวนสารตัวอย่างสำหรับการทดลองการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมทั้ง 3 ชนิด เพื่อเป็นการกระตุ้นให้สารละลายสีย้อมที่อยู่ในไฮโดรเจลสามารถปลดปล่อยได้มาก

5.2.3 ในกรณีการทดลองเพื่อทำการหาพารามิเตอร์ของสารละลายสีย้อมทั้ง 3 ชนิด จากการทดลองเราจะเห็นว่า ช่วงของค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมไม่เป็นไปตามเส้นตรงตลอดช่วงความเข้มข้น ดังนั้นในการวัดสารละลายสีย้อมเพื่อทำการหาพารามิเตอร์ ควรจะลดความเข้มข้นในการวัดลง เพราะว่าเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ไม่สามารถวัดสารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นสูงๆ ได้

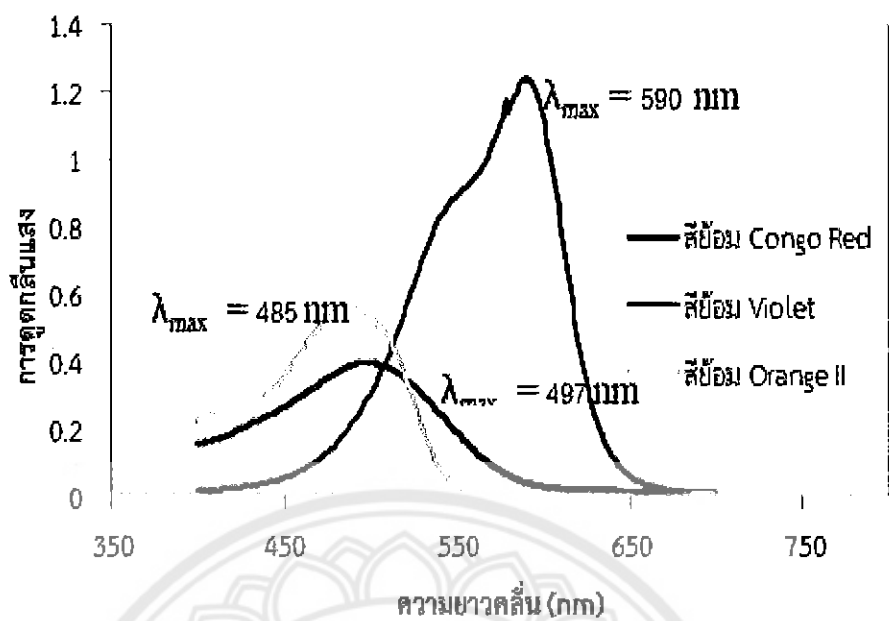


## เอกสารอ้างอิง

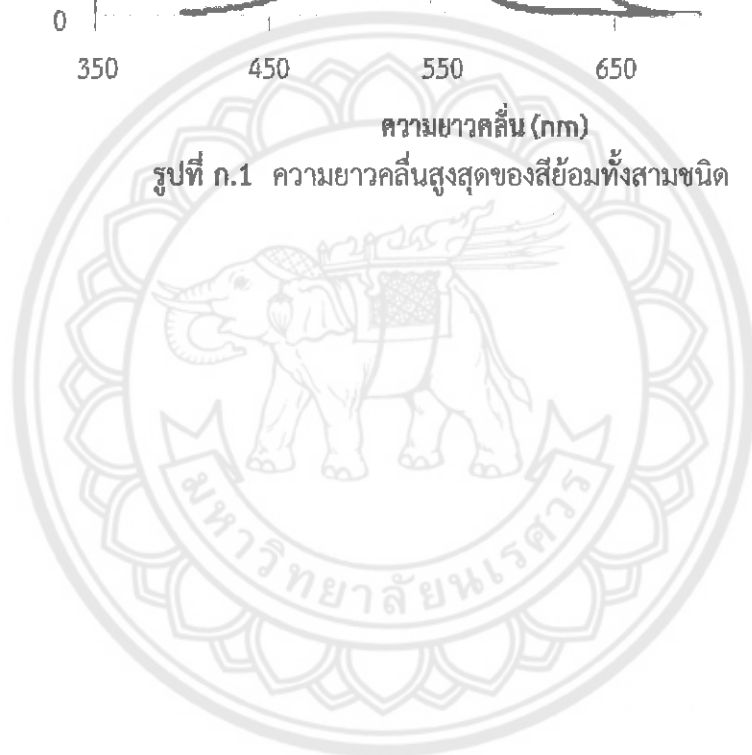
- [1] ศรีณยู อุ๋นทวี. (2549). การประยุกต์ใช้สารประกอบเซลลูโลสจากแบคทีเรียกับพอลิเมอร์ธรรมชาติเพื่อผลิตแผ่นฟิล์ม. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [2] เรเนอร์. (2004). วัตนาการของไฮโดรเจลสังเคราะห์. สืบค้นเมื่อ 30 กรกฎาคม 2556, จาก [http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2552/chem0352pj\\_ch1.pdf](http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2552/chem0352pj_ch1.pdf).
- [3] รายงานวิจัย. การประยุกต์ใช้แผ่นไฮโดรเจล. สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2556, จาก [http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2552/chem0352pj\\_ch1.pdf](http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2552/chem0352pj_ch1.pdf).
- [4] สารเคมีในผลิตภัณฑ์สีย้อม. สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2556, จาก <http://comptox.sci.ku.ac.th/dyes.php>.
- [5] อ. ทศวัลย์. (2556). หลักการแพร่ของสาร. สืบค้นเมื่อ 2 สิงหาคม 2556, จาก <http://webstaff.kmutt.ac.th/~itasapun/PHY321>.
- [6] ภิญญา และคณะ. (2555). หลักการทำงาน UV-Vis Spectrophotometer. สถาบันวัดกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. สืบค้นเมื่อ 6 สิงหาคม 2556, จาก [http://www.il.mahidol.ac.th/emedial/color-light/page4\\_3.html](http://www.il.mahidol.ac.th/emedial/color-light/page4_3.html).
- [7] เสาวภาคย์ และคณะ. (2555). การดูดกลืนแสง. สถาบันวัดกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. สืบค้นเมื่อ 6 สิงหาคม 2556, จาก <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/content.html>.
- [8] สุชาติ และคณะ (2549). ศึกษาการปลดปล่อยและการซึมผ่านผิวหนังจำลองของรูปแบบยาเตรียม (ฟิล์ม) Methimazole สำหรับนำส่งยาทางผิวหนัง. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปกร.
- [9] Dilek Solpan. (2008). Adsorption of Apollo reactive dyes on poly (N,N dimethylamino ethylmethacrylate) hydrogels. *Radiation Physics and Chemistry*. Vol. 77, pp. 428-433.
- [10] R. Molloy. (2007). Design and Preparation of AMPS-Based Hydrogels for Biomedical Use as Wound Dressings. *Chiang Mai J. Sci.* Vol. 34, pp. 183-189.
- [11] Biological. โครงสร้างโมเลกุลสีย้อม (Molecular structure of dyes) และโครงสร้างโมเลกุลยา (Molecular structure of drug). สืบค้นเมื่อ 3 สิงหาคม 2556, จาก <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/c62777?lang=en&region=TH>.

**ภาคผนวก ก**  
**การหาความยาวคลื่นสูงสุด (Maximum Cuve)**  
**และการสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve)**





ความยาวคลื่น (nm)  
รูปที่ ก.1 ความยาวคลื่นสูงสุดของสีย้อมทั้งสามชนิด



ตารางที่ ก.1 ข้อมูลการสร้างกราฟมาตรฐานของสีย้อม Congo Red

ความเข้มข้น (mg/100 ml)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย (X)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
10	2.698	2.719	2.703	2.707	0.011
8	2.600	2.51	2.650	2.587	0.071
6	2.551	2.554	2.452	2.519	0.058
4	1.856	1.988	1.946	1.930	0.067
2	1.084	1.086	1.026	1.065	0.034
1	0.559	0.557	0.652	0.589	0.054
0.8	0.463	0.454	0.460	0.459	0.005
0.6	0.310	0.306	0.315	0.310	0.005
0.4	0.201	0.236	0.210	0.216	0.018
0.2	0.117	0.121	0.133	0.124	0.008
0.1	0.059	0.062	0.071	0.064	0.006
0.08	0.047	0.051	0.050	0.049	0.002
0.05	0.025	0.032	0.024	0.027	0.004
0.04	0.022	0.028	0.020	0.023	0.004
0.02	0.011	0.014	0.019	0.015	0.004
0.01	0.001	0.014	0.012	0.009	0.007
0.005	0.003	0.004	0.007	0.005	0.002
0.001	0.003	0.001	0.005	0.003	0.002
0	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการสร้างกราฟมาตรฐานของสีย้อม Orange II

ความเข้มข้น (mg/100 ml)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย (X)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
10	2.721	2.723	2.727	2.724	0.003
8	2.689	2.691	2.711	2.697	0.012
6	2.620	2.54	2.654	2.605	0.059
4	2.018	2.022	2.033	2.024	0.008
2	1.149	1.023	1.056	1.076	0.065
1	0.603	0.620	0.630	0.618	0.014
0.8	0.495	0.421	0.490	0.469	0.041
0.6	0.321	0.326	0.323	0.323	0.003
0.4	0.227	0.230	0.225	0.227	0.003
0.2	0.129	0.132	0.113	0.125	0.010
0.1	0.088	0.085	0.083	0.085	0.003
0.08	0.049	0.061	0.055	0.055	0.006
0.05	0.041	0.049	0.044	0.045	0.004
0.04	0.032	0.035	0.038	0.035	0.003
0.02	0.016	0.027	0.022	0.022	0.006
0.01	0.010	0.010	0.012	0.011	0.001
0.005	0.007	0.011	0.007	0.008	0.002
0.001	0.003	0.007	0.005	0.005	0.002
0	0.002	0.001	0.000	0.001	0.001

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลการสร้างกราฟมาตรฐานของสีย้อม Violet

ความเข้มข้น (mg/100 ml)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย (X)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
10	2.325	2.249	2.443	2.339	0.098
8	2.221	2.199	2.228	2.216	0.015
6	2.191	2.197	2.186	2.191	0.006
4	2.172	2.174	2.169	2.172	0.003
2	2.056	2.004	2.011	2.024	0.028
1	0.963	0.942	0.950	0.952	0.011
0.8	0.740	0.613	0.802	0.718	0.096
0.6	0.523	0.439	0.491	0.484	0.042
0.4	0.332	0.269	0.312	0.304	0.032
0.2	0.128	0.135	0.130	0.131	0.004
0.1	0.125	0.096	0.089	0.103	0.019
0.08	0.065	0.071	0.069	0.068	0.003
0.05	0.036	0.049	0.042	0.042	0.007
0.04	0.039	0.037	0.042	0.039	0.003
0.02	0.015	0.016	0.014	0.015	0.001
0.01	0.007	0.008	0.010	0.008	0.002
0.005	0.005	0.006	0.007	0.006	0.001
0.001	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002
0	0.001	0.001	0.003	0.002	0.001





ตารางที่ ข.1 แสดงการดูดซับสีย้อมทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.01 %w/v

% ความเข้มข้น (g/ml)	ชนิดสีย้อม	ตัวอย่างที่	ความยาว (nm)		ความกว้าง (nm)		ความหนา (nm)	น้ำหมัก (g)	ดูดซับสมมูล (24 ชั่วโมง)		ความเข้มข้น (mg/100 ml)
			เฉลี่ย	เฉลี่ย	เฉลี่ย	เฉลี่ย			น้ำหมัก (g)	Abs	
0.01	Congo Red	1	2.46	0.75	0.050	0.133	0.185	0.155	0.252		
		2	2.45	0.75	0.044	0.125	0.173	0.144			
		3	2.47	0.76	0.054	0.138	0.193	0.152			
	Orange I	1	2.48	0.79	0.040	0.132	0.177	0.945	1.945		
		2	2.5	0.76	0.040	0.125	0.164	0.934			
		3	2.48	0.77	0.050	0.135	0.191	0.912			
	Violet	1	2.47	0.73	0.040	0.139	0.180	2.11*	3.587		
		2	2.5	0.74	0.050	0.141	0.173	2.11*			
		3	2.43	0.76	0.050	0.124	0.195	2.09*			

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ (\*) หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงมีมากกว่าหนึ่งพีค

ตารางที่ ข.2 แสดงการดูดซับสีของทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.05 %w/v

% ความเข้มข้น (g/ml)	ชนิดสี้อม	ตัวอย่างที่	ความยาว (nm)		ความกว้าง (nm)		ความหนา (mm)		น้ำหนัก (g)		ดูดซับแสง (24 ชั่วโมง)		
			เฉลี่ย	เฉลี่ย	เฉลี่ย	เฉลี่ย	เฉลี่ย	เฉลี่ย	น้ำหนัก (g)	เฉลี่ย	Abs	ความเข้มข้น(mg/100 ml)	
0.05	Congo Red	1	2.46	0.77	0.050	0.135	0.181	0.462	0.986				
		2	2.46	0.75	0.050	0.132	0.175	0.514					
		3	2.48	0.77	0.040	0.137	0.185	0.445					
	Orange I	1	2.47	0.78	0.054	0.132	0.182	2.521*	2.825				
		2	2.45	0.74	0.050	0.128	0.173	2.496*					
		3	2.47	0.77	0.040	0.137	0.185	2.546*					
	Violet	1	2.47	0.75	0.040	0.137	0.187	2.197*	5.555				
		2	2.47	0.75	0.047	0.131	0.179	2.154*					
		3	2.49	0.77	0.050	0.134	0.182	2.168*					

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ (\*) หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงมีมากกว่าหนึ่งฟิค

ตารางที่ ข.3 แสดงการดูดซับสีของทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1 %w/v

% ความเข้มข้น (g/ml)	ชนิดสีย้อม	ตัวอย่างที่	ความยาว (nm)		ความกว้าง (nm)		ความหนา (mm)		น้ำหนัก (g)		ดูดซับแสง (24 ชั่วโมง)		
			เฉลี่ย		เฉลี่ย		เฉลี่ย		เฉลี่ย	น้ำหนัก (g)	เฉลี่ย	Abs	ความเข้มข้น(mg/100 ml)
0.1	Congo Red	1	2.46	0.76	0.040	0.132	0.185	0.604	1.400	0.185	0.183	0.604	
		2	2.45	0.75	0.050	0.137	0.187	0.712					
		3	2.46	0.76	0.054	0.132	0.177	0.652					
	Orange I	1	2.47	0.74	0.040	0.135	0.184	2.598*	5.451	0.184	0.184	2.598*	
		2	2.45	0.74	0.050	0.139	0.187	2.612*					
		3	2.46	0.76	0.050	0.141	0.182	2.587*					
	Violet	1	2.48	0.75	0.045	0.128	0.190	2.295*	8.997	0.190	0.186	2.295*	
		2	2.45	0.78	0.040	0.137	0.186	2.275*					
		3	2.47	0.74	0.050	0.137	0.181	2.297*					

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ (\*) หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงมีมากกว่าหนึ่งพีค

ตารางที่ ข.4 แสดงการดูดซับสีของทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 %w/v

% ความเข้มข้น (g/ml)	ชนิดสีย้อม	ตัวอย่างที่	ความยาว (nm)		ความกว้าง (nm)		ความหนา (mm)		น้ำหนัก (g)		ดูดซับสมมูล (24 ชั่วโมง)			ความเข้มข้น(mg/100 ml)
			เฉลี่ย	ค่า	เฉลี่ย	ค่า	เฉลี่ย	ค่า	เฉลี่ย	น้ำหนัก (g)	เฉลี่ย	Abs		
1	Congo Red	1	2.44	0.75	0.050	0.137	0.182	2.612*	1.400	0.184	2.598*	2.634*	5.451	
		2	2.45	0.74	0.040	0.134	0.189	2.598*						
		3	2.45	0.76	0.054	0.131	0.181	2.634*						
	Orange I	1	2.45	0.75	0.040	0.136	0.185	2.697*	5.451	0.184	2.727*	2.694*	5.451	
		2	2.46	0.74	0.040	0.137	0.181	2.727*						
		3	2.46	0.743	0.050	0.143	0.187	2.694*						
	Violet	1	2.46	0.75	0.045	0.132	0.184	2.301*	8.997	0.182	2.298*	2.402*	8.997	
		2	2.47	0.79	0.040	0.127	0.185	2.298*						
		3	2.48	0.77	0.050	0.131	0.176	2.402*						

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ (\*) หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงมีมากกว่าหนึ่งฟิค



**ภาคผนวก ค**

**ตารางแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสี่ล้อแบบสองเฟส**

ตารางที่ ค.1 แสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อม Congo Red แบบสองเฟส

	ค่าการดูดกลืนแสงของการปลดปล่อยย้อมแบบสองเฟส													
	1 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	2 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	5 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	8 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	24 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	48 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	72 ชั่วโมง	ความเข้มข้น
0.01 %w/v	0.044	0.010	0.045	0.012	0.052	0.028	0.065	0.057	0.078	0.087	0.077	0.085	0.079	0.090
	0.042	0.005	0.042	0.006	0.055	0.035	0.071	0.071	0.075	0.081	0.076	0.083	0.076	0.083
	0.04	0.001	0.04	0.001	0.049	0.022	0.068	0.064	0.071	0.072	0.070	0.069	0.072	0.074
0.05 %w/v	0.185	0.330	0.224	0.419	0.243	0.462	0.286	0.559	0.343	0.689	0.345	0.694	0.344	0.692
	0.174	0.305	0.192	0.346	0.23	0.433	0.272	0.528	0.325	0.649	0.328	0.655	0.330	0.660
	0.155	0.262	0.189	0.340	0.211	0.390	0.265	0.512	0.310	0.614	0.315	0.626	0.317	0.630
	0.316	0.628	0.368	0.746	0.423	0.871	0.462	0.959	0.531	1.117	0.536	1.128	0.542	1.142
0.1 %w/v	0.298	0.587	0.318	0.633	0.368	0.746	0.432	0.891	0.489	1.021	0.503	1.053	0.537	1.130
	0.275	0.534	0.358	0.724	0.402	0.823	0.418	0.859	0.518	1.087	0.521	1.094	0.516	1.082
	2.456	5.489	2.465	5.510	2.489	5.565	2.497	5.582	2.512	5.617	2.511	6.017	2.517	6.145
1 %w/v	2.432	5.435	2.452	5.480	2.472	5.526	2.479	5.541	2.536	5.671	2.529	6.401	2.532	6.465
	2.439	5.450	2.466	5.512	2.481	5.546	2.495	5.578	2.502	5.594	2.515	6.102	2.526	6.337

หมายเหตุ: ความเข้มข้น หน่วย mg/100 ml

สัญลักษณ์ (\*) หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงมีมากกว่าหนึ่งฟีด

ตารางที่ ค.2 แสดงการปลดปล่อยโมเลกุลลิเทียม Orange II แบบสองเฟส

		ค่าการดูดกลืนแสงของการปลดปล่อยลิเทียมแบบสองเฟส												
		1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	5 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	8 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	24 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	48 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	72 ชั่วโมง	ความเข้มข้น
0.01 %w/v	0.242	0.432	0.328	0.622	0.336	0.639	0.539	1.084	0.745	1.537	0.739	1.524	0.732	1.544
	0.235	0.417	0.326	0.617	0.347	0.663	0.548	1.104	0.739	1.524	0.728	1.500	0.732	1.509
	0.247	0.443	0.319	0.602	0.342	0.652	0.545	1.098	0.715	1.472	0.722	1.487	0.725	1.494
0.05 %w/v	1.043	2.191	1.302	2.761	1.684	3.600	1.958	4.201	2.457*	5.298	2.456*	5.295	2.458*	5.300
	0.95	1.987	1.225	2.592	1.552	3.310	1.85	3.964	2.439*	5.258	2.443*	5.267	2.441*	5.262
	0.82	1.702	1.205	2.548	1.45	3.086	1.762	3.771	2.441*	5.262	2.437*	5.254	2.438*	5.256
0.1 %w/v	1.505	3.206	2.142	4.606	2.193	4.718	2.214	4.763	2.562*	5.528	2.565*	5.535	2.562*	5.528
	1.552	3.309	2.004	4.303	2.024	4.347	2.165	4.656	2.557*	5.517	2.545*	5.491	2.552*	5.506
	1.691	3.615	2.227	4.792	2.124	4.566	2.057	4.419	2.548*	5.497	2.554*	5.511	2.548*	5.497
1 %w/v	2.589*	5.587	2.592*	5.594	2.591*	5.592	2.610*	5.633	2.665*	7.673	2.672*	7.909	2.672*	7.909
	2.544*	5.488	2.556*	5.515	2.567*	5.539	2.586*	5.580	2.688*	8.448	2.687*	8.414	2.679*	8.145
	2.549*	5.499	2.563*	5.530	2.571*	5.548	2.598*	5.607	2.664*	7.640	2.675*	8.010	2.695*	8.684

หมายเหตุ: ความเข้มข้น หน่วย mg/100 ml

สัญลักษณ์ (\*) หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงมีมากกว่าหนึ่งฟิค



ตารางที่ ค.3 แสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสี้อม Violet แบบสองเฟส

ค่าการดูดกลืนแสงของการปลดปล่อยสี้อมแบบสองเฟส															
1	2	5	8	24	48	72	ความเข้มข้น	1	2	5	8	24	48	72	ความเข้มข้น
0.01 %w/v	0.074	0.074	0.081	0.102	0.126	0.113	0.138	0.105	0.098	0.081	0.105	0.113	0.113	0.113	0.138
	0.065	0.071	0.074	0.097	0.121	0.113	0.138	0.098	0.095	0.074	0.098	0.121	0.113	0.113	0.138
	0.082	0.085	0.097	0.117	0.141	0.135	0.157	0.122	0.109	0.097	0.117	0.141	0.135	0.134	0.159
0.05 %w/v	2.126*	2.122*	2.139*	2.142*	0.463	2.159*	0.514	0.455	0.404	2.139*	2.142*	2.159*	2.157*	2.159*	0.508
	2.121*	2.137*	2.128*	2.131*	0.430	2.141*	0.461	0.422	0.449	2.128*	2.131*	2.141*	2.143*	2.131*	0.466
	2.114*	2.105*	2.117*	2.124*	0.410	2.134*	0.440	0.389	0.354	2.117*	2.124*	2.134*	2.131*	2.133*	0.431
0.1 %w/v	2.160*	2.162*	2.169*	2.176*	0.564	2.198*	0.630	0.544	0.523	2.169*	2.176*	2.198*	2.197*	2.196*	0.627
	2.158*	2.139*	2.146*	2.172*	0.552	2.181*	0.579	0.475	0.455	2.146*	2.172*	2.181*	2.157*	2.183*	0.508
	2.124*	2.151*	2.157*	2.151*	0.490	2.159*	0.514	0.508	0.490	2.157*	2.151*	2.159*	2.182*	2.156*	0.582
1 %w/v	2.236*	2.237*	2.245*	2.249*	0.781	2.248*	0.778	0.769	0.745	2.245*	2.249*	2.248*	2.269*	2.271*	0.840
	2.210*	2.214*	2.219*	2.223*	0.703	2.296*	0.920	0.692	0.677	2.219*	2.223*	2.296*	2.293*	2.297*	0.912
	2.234*	2.229*	2.234*	2.238*	0.748	2.272*	0.849	0.736	0.722	2.234*	2.238*	2.272*	2.261*	2.258*	0.817

หมายเหตุ: ความเข้มข้น หน่วย mg/100 ml

สัญลักษณ์ (\*) หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงมีมากกว่าหนึ่งฟัด

ภาคผนวก ง  
ตารางแสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีantom แบบเฟสเดียว



ตารางที่ ง.1 แสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อม Congo Red แบบเฟสเดียว

	ค่าการดูดกลืนแสงของการปลดปล่อยสีย้อมแบบเฟสเดียว													
	1 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	2 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	5 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	8 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	24 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	48 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	72 ชั่วโมง	ความเข้มข้น
0.01 %w/v	0.041	0.003	0.041	0.003	0.04	0.001	0.04	0.001	0.069	0.067	0.068	0.065	0.069	0.067
	0.039	-0.001	0.04	0.001	0.043	0.008	0.045	0.012	0.065	0.058	0.066	0.060	0.065	0.058
	0.040	0.001	0.039	-0.001	0.038	-0.003	0.042	0.005	0.064	0.056	0.063	0.053	0.064	0.056
	0.155	0.262	0.162	0.278	0.184	0.328	0.192	0.346	0.219	0.408	0.217	0.403	0.221	0.412
0.05 %w/v	0.146	0.241	0.151	0.253	0.171	0.299	0.185	0.330	0.206	0.378	0.212	0.392	0.204	0.374
	0.126	0.196	0.131	0.208	0.178	0.315	0.178	0.314	0.191	0.344	0.192	0.346	0.193	0.349
	0.176	0.310	0.186	0.333	0.198	0.360	0.214	0.396	0.247	0.471	0.262	0.505	0.265	0.512
0.1 %w/v	0.141	0.230	0.165	0.285	0.164	0.283	0.196	0.355	0.212	0.392	0.209	0.385	0.235	0.444
	0.132	0.210	0.159	0.271	0.184	0.328	0.174	0.305	0.235	0.444	0.237	0.449	0.213	0.394
	1.397	3.083	1.536	3.400	1.982	4.413	2.312	5.162	2.422*	5.412	2.392*	5.344	2.392*	5.344
1 %w/v	1.102	2.413	1.522	3.368	1.758	3.904	2.012	4.480	2.488*	5.562	2.489*	5.565	2.487*	5.560
	1.312	2.890	1.654	3.668	1.895	4.215	2.223	4.960	2.395*	5.351	2.420*	5.408	2.427*	5.424

หมายเหตุ: ความเข้มข้น หน่วย mg/100 ml

สัญลักษณ์ (\*) หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงมีมากกว่าหนึ่งพีค

ตารางที่ ง.2 แสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีส้ม Orange II แบบพิเศษ

	ค่าการดูดกลืนแสงของการปลดปล่อยสีส้มแบบพิเศษ													
	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	24 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	48 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	72 ชั่วโมง	ความเข้มข้น			
0.01 %w/v	0.052	0.015	0.061	0.035	0.098	0.116	0.209	0.360	0.432	0.850	0.434	0.854	0.433	0.852
	0.046	0.002	0.056	0.024	0.112	0.147	0.215	0.373	0.424	0.832	0.421	0.826	0.423	0.830
	0.055	0.021	0.058	0.029	0.102	0.125	0.214	0.371	0.411	0.804	0.409	0.799	0.413	0.808
0.05 %w/v	0.142	0.213	0.211	0.365	0.275	0.505	0.349	0.667	0.496	0.991	0.495	0.988	0.494	0.986
	0.135	0.197	0.224	0.393	0.265	0.483	0.335	0.636	0.469	0.931	0.472	0.938	0.471	0.936
	0.121	0.166	0.198	0.336	0.263	0.479	0.328	0.621	0.457	0.905	0.461	0.914	0.459	0.909
	0.462	0.915	0.486	0.969	0.768	1.588	1.102	2.321	1.742	3.727	1.750	3.745	1.748	3.740
0.1 %w/v	0.482	0.959	0.542	1.092	0.692	1.421	1.072	2.255	1.693	3.620	1.651	3.527	1.692	3.617
	0.389	0.755	0.598	1.215	0.712	1.465	0.984	2.062	1.653	3.532	1.690	3.613	1.654	3.534
	2.498*	2.050	2.512*	2.522	2.524*	2.926	2.553*	3.902	2.556*	4.003	2.541*	3.498*	2.542	3.532*
1 %w/v	2.479*	1.410	2.506*	2.320	2.516*	2.657	2.528*	3.060	2.563*	4.239	2.564*	4.273*	2.565	4.306*
	2.485*	1.612	2.511*	2.488	2.519*	2.758	2.545*	3.632	2.539*	3.431	2.554*	3.936*	2.556	4.003*

หมายเหตุ: ความเข้มข้น หน่วย mg/100 ml

สัญลักษณ์ (\*) หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงมีมากกว่าหนึ่งฟิค

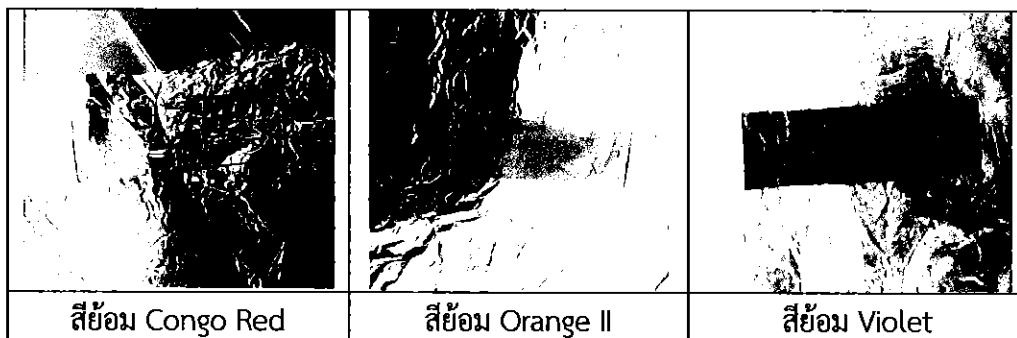
ตารางที่ ง.3 แสดงการปลดปล่อยโมเลกุลสีย้อม Violet แบบเฟสเดียว

		ค่าการดูดกลืนแสงของปลดปล่อยสีย้อมแบบเฟสเดียว													
		1 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	2 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	5 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	8 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	24 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	48 ชั่วโมง	ความเข้มข้น	72 ชั่วโมง	ความเข้มข้น
0.01 %w/v	1.01	1.044	1.044	1.24	1.277	1.289	1.326	1.356	1.393	1.679	1.720	1.681	1.722	1.679	1.720
	0.986	1.020	1.020	1.096	1.131	1.346	1.384	1.435	1.473	1.623	1.664	1.622	1.663	1.623	1.664
	1.041	1.075	1.075	1.112	1.147	1.325	1.363	1.421	1.459	1.584	1.624	1.581	1.621	1.585	1.625
0.05 %w/v	2.125*	0.413	0.413	2.120*	0.398	2.136*	0.446	2.141	0.460	2.149*	0.484	2.151	0.490*	2.148	0.484*
	2.119*	0.395	0.395	2.131*	0.431	2.125*	0.413	2.135	0.442	2.143*	0.466	2.141	0.461*	2.146	0.466*
	2.100*	0.338	0.338	2.101*	0.342	2.108*	0.363	2.116	0.386	2.127*	0.419	2.126	0.416*	2.125	0.419*
0.1 %w/v	2.125*	0.413	0.413	2.165*	0.532	2.169*	0.544	2.176	0.564	2.227*	0.716	2.229	0.722*	2.214	0.716*
	2.126*	0.416	0.416	2.119*	0.395	2.128*	0.422	2.154	0.499	2.198*	0.630	2.193	0.615*	2.165	0.630*
	2.113*	0.377	0.377	2.134*	0.440	2.149*	0.484	2.135	0.442	2.195*	0.621	2.199	0.633*	2.151	0.621*
1 %w/v	2.231*	0.727	0.727	2.235*	0.739	2.239*	0.751	2.245	0.769	2.227*	0.716	2.223	0.704*	2.225	0.716*
	2.184*	0.588	0.588	2.178*	0.570	2.182*	0.582	2.186	0.594	2.276*	0.861	2.278	0.867*	2.279	0.861*
	2.214*	0.677	0.677	2.219*	0.692	2.221*	0.698	2.22	0.694	2.224*	0.707	2.224	0.707*	2.221	0.707*

หมายเหตุ: ความเข้มข้น หน่วย mg/100 ml

สัญลักษณ์ (\*) หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงมีมากกว่าหนึ่งพีค





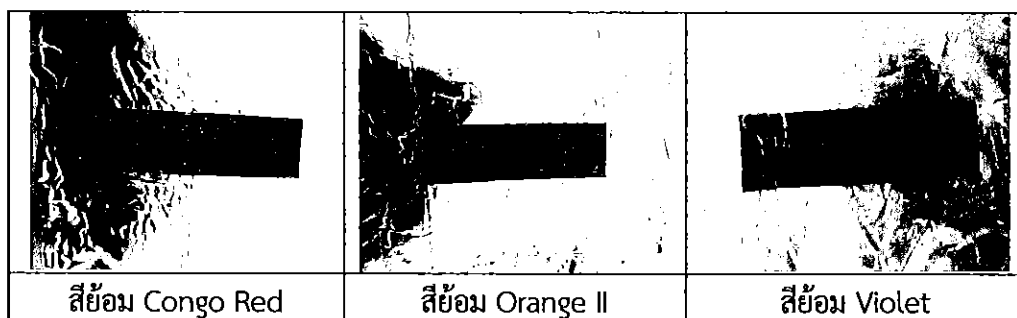
รูปที่ จ.1 การดูดซับโมเลกุลของสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.01 %w/v ที่เวลาสมดุล 24 ชั่วโมง



รูปที่ จ.2 การดูดซับโมเลกุลของสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.05 %w/v ที่เวลาสมดุล 24 ชั่วโมง



รูปที่ จ.3 การดูดซับโมเลกุลของสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1 %w/v ที่เวลาสมดุล 24 ชั่วโมง







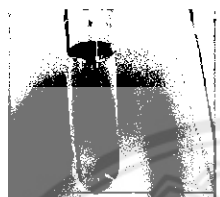


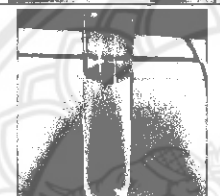





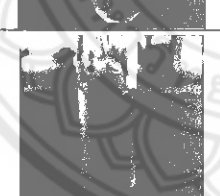


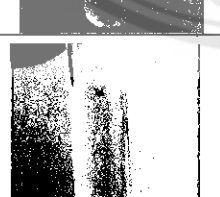

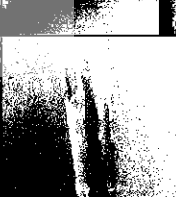


รูปที่ จ.4 การดูดซับโมเลกุลของสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 %w/v ที่เวลาสมดุล 24 ชั่วโมง

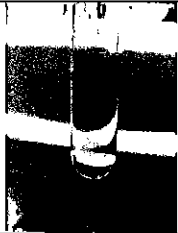
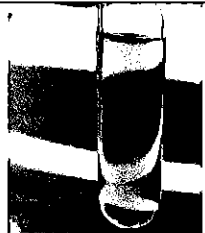




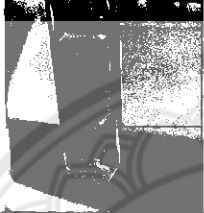

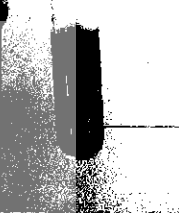




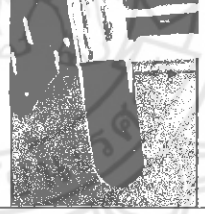






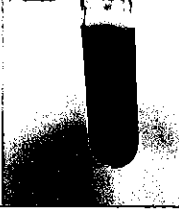
ภาคผนวก ฉ  
ชิ้นงานในการทดลองการปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมทั้ง 3 ชนิดแบบ  
สองเฟส




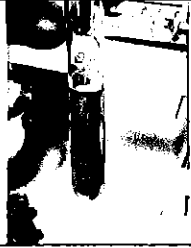
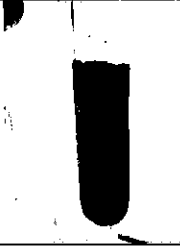
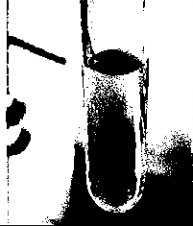
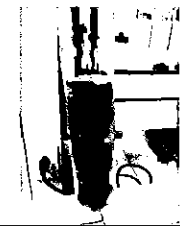

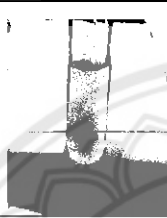












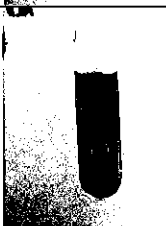
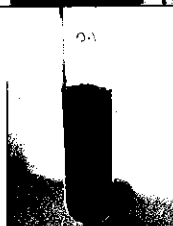


1 ชั่วโมง			
2 ชั่วโมง			
5 ชั่วโมง			
8 ชั่วโมง			
24 ชั่วโมง			
48 ชั่วโมง			
72 ชั่วโมง			
	สีย้อม Congo Red	สีย้อม Orange II	สีย้อม Violet

รูปที่ ๑.1 การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมแบบสองเฟสที่ความเข้มข้นเริ่มต้นในการดูดซับ 0.01 %w/v


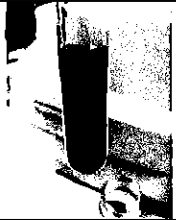

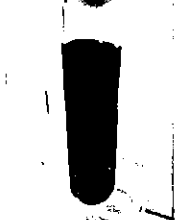









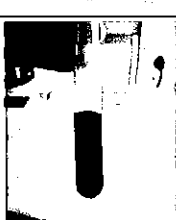
1 ชั่วโมง			
2 ชั่วโมง			
5 ชั่วโมง			
8 ชั่วโมง			
24 ชั่วโมง			
48 ชั่วโมง			
72 ชั่วโมง			
	สีย้อม Congo Red	สีย้อม Orange II	สีย้อม Violet

รูปที่ ๑.๒ การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมแบบสองเฟสที่ความเข้มข้นเริ่มต้นในการดูดซับ 0.05 %w/v

1 ชั่วโมง			
2 ชั่วโมง			
5 ชั่วโมง			
8 ชั่วโมง			
24 ชั่วโมง			
48 ชั่วโมง			
72 ชั่วโมง			
	สีย้อม Congo Red	สีย้อม Orange II	สีย้อม Violet

รูปที่ ๓.3 การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมแบบสองเฟสที่ความเข้มข้นเริ่มต้นในการดูดซับ

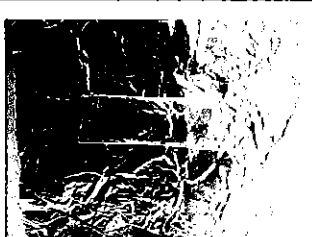





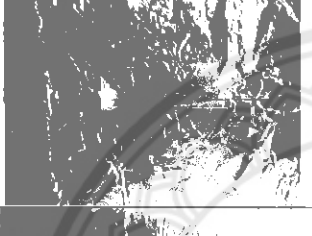
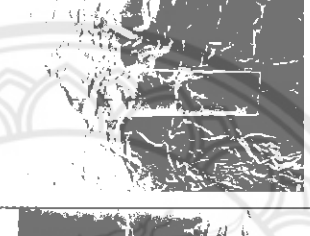



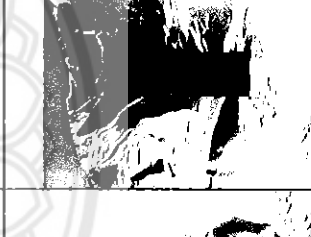
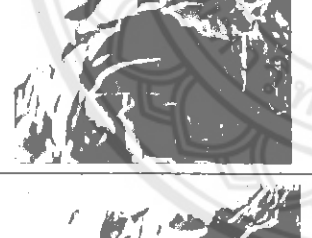
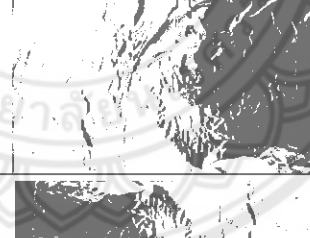

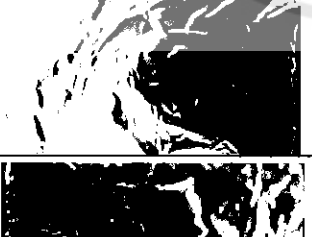
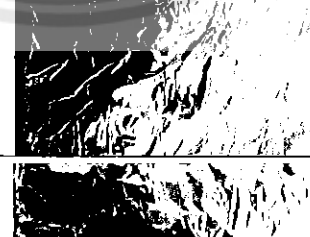
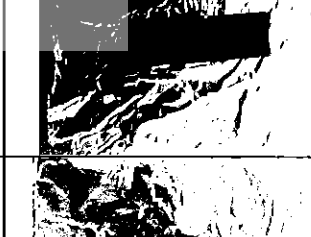



0.1 %w/v

1 ชั่วโมง		
2 ชั่วโมง		
5 ชั่วโมง		
8 ชั่วโมง		
24 ชั่วโมง		
48 ชั่วโมง		
72 ชั่วโมง		
	สีย้อม Orange II	สีย้อม Violet

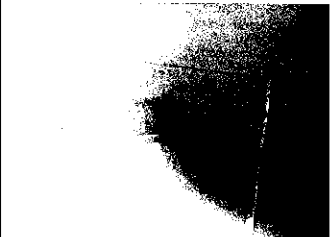





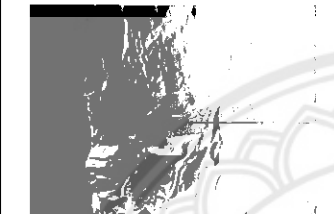





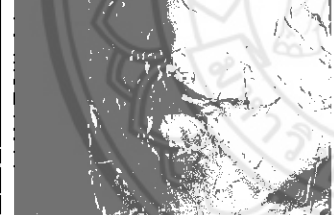

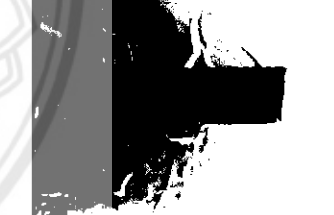




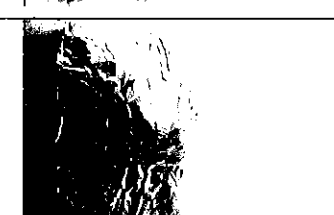
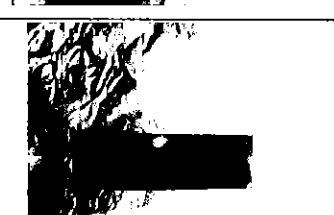
รูปที่ ๑.๔ การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมแบบสองเฟสที่ความเข้มข้นเริ่มต้นในการดูดซับ 1 %w/v

**ภาคผนวก ข**  
**ชิ้นงานในการทดลองการปลดปล่อยโมเลกุลของสี้อมทั้ง 3 ชนิดแบบ**  
**เฟสเดียว**








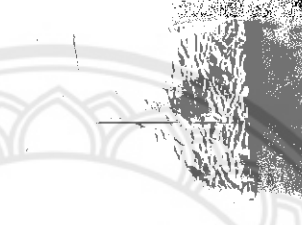

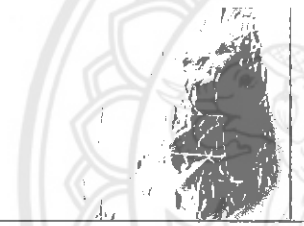
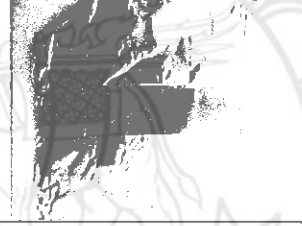

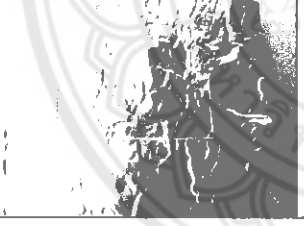
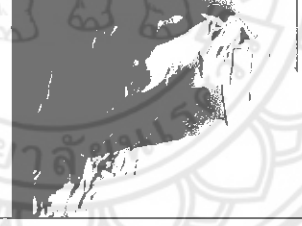

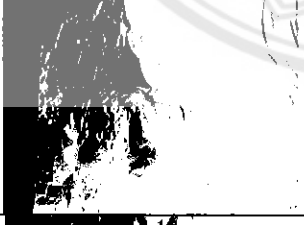



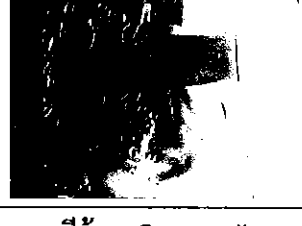
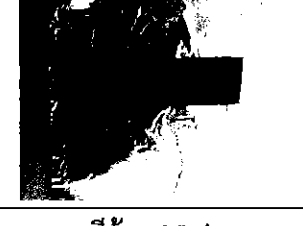


1 ชั่วโมง			
2 ชั่วโมง			
5 ชั่วโมง			
8 ชั่วโมง			
24 ชั่วโมง			
48 ชั่วโมง			
72 ชั่วโมง			
	สีย้อม Congo Red	สีย้อม Orange II	สีย้อม Violet

รูปที่ ช.1 การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมแบบเฟสเดียวที่ความเข้มข้นเริ่มต้นในการดูดซับ 0.01 %w/v

1 ชั่วโมง			
2 ชั่วโมง			
5 ชั่วโมง			
8 ชั่วโมง			
24 ชั่วโมง			
48 ชั่วโมง			
72 ชั่วโมง			
	สีย้อม Congo Red	สีย้อม Orange II	สีย้อม Violet

รูปที่ ข.2 การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมแบบเฟสเดียวที่ความเข้มข้นเริ่มต้นในการดูดซับ  
0.05 %w/v

1 ชั่วโมง			
2 ชั่วโมง			
5 ชั่วโมง			
8 ชั่วโมง			
24 ชั่วโมง			
48 ชั่วโมง			
72 ชั่วโมง			
	สีย้อม Congo Red	สีย้อม Orange II	สีย้อม Violet

รูปที่ ซ.3 การปลดปล่อยโมเลกุลของสีย้อมแบบเฟสเดียวที่ความเข้มข้นเริ่มต้นในการดูดซับ 0.1 %w/v



## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายพุฒิพงษ์ มหาชัย  
ภูมิลำเนา 78 หมู่ 7 ต.น้ำร้อน อ.เมือง จ. เพชรบูรณ์  
67000

### ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเพชรพิทยาคม  
จ.เพชรบูรณ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
สาขาวิศวกรรมเคมี  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: [puttipongtum@gmail.com](mailto:puttipongtum@gmail.com)

