

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ต
อักษรย่อ และสัญลักษณ์	ถ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและสรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเส้นใยและสีย้อมผ้า	4
2.1.1 ใยผ้าชนิดต่าง ๆ	4
2.1.2 ผ้าฝ้าย	5
2.1.3 ทฤษฎีการย้อมสี	6
2.1.4 การจำแนกสี	9
2.1.5 สีรีแอคทีฟ	12
2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นการดูดติดผิว	18
2.2.1 การดูดติดผิว (Surface Adsorption)	18
2.2.2 สมดุลการดูดติดผิว(Adsorption Equilibrium)	20
2.3 ลักษณะของกราฟเบรคทู (Breakthrough curve) และการเคลื่อนย้าย	23
มวลสารสำหรับ Fixed-bed adsorption column	
2.3.1 การประยุกต์ใช้งานของตัวกลางสำหรับ	26
Fixed-bed adsorption column	
2.4 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 การดำเนินการศึกษา	30
3.1 อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 ขั้นตอนและวิธีการทำการทดลอง	30
3.2.1 วิธีการที่ใช้ในการศึกษา	31
3.2.2 การเตรียมน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา	32
3.2.3 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เลือกใช้ในการศึกษา	32
3.2.4 การทดลอง	33
3.2.5 การเก็บน้ำตัวอย่าง และการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสีย ที่เข้า และออกระบบ	37
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา	38
4.1 การหาเวลาสัมผัส และอัตราเร็วในการดูดติดของตัวกลาง ที่อุณหภูมิต่างๆ จากการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง	38
4.1.1 เวลาสัมผัสที่จุดสมดุล	38
4.1.2 ความสามารถในการดูดติด	44
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีในน้ำที่ผ่านระบบ กับปริมาณน้ำที่ออกสะสมในการทดลองแบบคอลัมน์เดี่ยว	76
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	92
5.1 สรุปผลการศึกษาแบบไม่ต่อเนื่อง	92
5.2 สรุปผลการศึกษาแบบต่อเนื่อง	94
5.3 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม	95
เอกสารอ้างอิง	96
ภาคผนวก ก ตัวอย่างกราฟมาตรฐานของการดูดกลืนแสง และค่าที่ไอซี	99
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลอง	109
ภาคผนวก ค กราฟแสดงเวลาที่จุดสมดุลของการดูดติด	134
ภาคผนวก ง กราฟแสดงความสามารถในการดูดติด	143
ภาคผนวก จ กราฟแสดงผลการทดลองแบบต่อเนื่อง	176
ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างการคำนวณ	181
ประวัติผู้เขียน	186

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 เนื้อที่เพาะปลูก และผลผลิตเฉลี่ย ของจังหวัดเชียงใหม่ปีการเพาะปลูก 2545/2546	2
2.1 การแบ่งชนิดของเส้นใย	4
2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยฝ้ายดิบ	6
2.3 การจำแนกชนิดสีตามวิธีใช้ และแสดงคุณลักษณะของสีแต่ละชนิดโดยสรุป	9
2.4 ความสามารถของสีย้อมในการย้อมติดเส้นใยชนิดต่างๆ	11
2.5 การจำแนกชนิดสีโดยขบวนการย้อม	11
2.6 ชื่อทางการค้า และ โครงสร้างทางเคมีของกลุ่มทำปฏิกิริยา ๓ ในลีสรีแอคทีฟ บริษัทต่างๆ	14
2.7 ความแตกต่างของแรงดึงดัดบนพื้นผิว	18
3.1 สมบัติของตัวกลางที่ใช้ในการศึกษา	32
3.2 การทดลองหาเวลาสัมผัส และอัตราเร็วในการดูดติด	35
3.3 แผนการทดลองหาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าความสามารถในการดูดติด	36
3.4 แผนการทดลองแบบต่อเนื่องเพื่อศึกษาผลของอัตราภาวะบรรจุทางกลศาสตร์ ต่อความสามารถในการดูดติด	37
3.5 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ รูปแบบการวิเคราะห์น้ำเสีย และพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดในการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง	37
3.6 จุดเก็บน้ำตัวอย่าง รูปแบบการวิเคราะห์น้ำเสีย และพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดในการทดลองแบบต่อเนื่อง	37
4.1 เวลาที่จุดสมดุลการดูดติด และร้อยละการลดลงของความเข้มข้นของสี RR-124 และ RR-141 มีความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. ทั้ง 2 สี ที่อุณหภูมิ 5 ค่า โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ชังข้าวโพด และแกลบ ปริมาณ 2.5 2.5 5 และ 5 กรัม ตามลำดับ วิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง	41
4.2 เวลาที่จุดสมดุลการดูดติด และร้อยละการลดลงของความเข้มข้นของสี RR-124 และ RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 และ 10.89 ± 0.2 มก.ที่ไอซี/ล. ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 5 ค่า โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ชังข้าวโพด และแกลบ ปริมาณ 2.5 2.5 5 และ 5 กรัม ตามลำดับ วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าที่ไอซี	42

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.3	ค่าคงที่ตามสมการของ Langmuir ค่าความสามารถในการดูดติด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45°C ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางตัวกลางต้นถั่วเหลือง และต่อซังข้าว ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม เท่ากัน ส่วนตัวกลางซังข้าวโพดใช้ปริมาณ 2 3 4 5 และ 6 กรัม และตัวกลางแกลบใช้ปริมาณ 3 4 5 6 และ 7 กรัม วิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ชุดข้อมูล)	50
4.4	ค่าคงที่ตามสมการของ Freundlich ค่าความสามารถในการดูดติด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45°C ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางตัวกลางต้นถั่วเหลือง และต่อซังข้าว ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม เท่ากัน ส่วนตัวกลางซังข้าวโพดใช้ปริมาณ 2 3 4 5 และ 6 กรัม และตัวกลางแกลบใช้ปริมาณ 3 4 5 6 และ 7 กรัม วิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ชุดข้อมูล)	51
4.5	ค่าคงที่ตามสมการของ Langmuir ค่าความสามารถในการดูดติด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45 °C ของสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางตัวกลางต้นถั่วเหลือง และต่อซังข้าว ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม เท่ากัน ส่วนตัวกลางซังข้าวโพดใช้ปริมาณ 2 3 4 5 และ 6 กรัม และตัวกลางแกลบใช้ปริมาณ 3 4 5 6 และ 7 กรัม วิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ชุดข้อมูล)	53
4.6	ค่าคงที่ตามสมการของ Freundlich ค่าความสามารถในการดูดติด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45 °C ของสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางตัวกลางต้นถั่วเหลือง และต่อซังข้าว ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม เท่ากัน ส่วนตัวกลางซังข้าวโพดใช้ปริมาณ 2 3 4 5 และ 6 กรัม และตัวกลางแกลบใช้ปริมาณ 3 4 5 6 และ 7 กรัม วิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ชุดข้อมูล)	54
4.7	ค่าคงที่ตามสมการของ Langmuir ค่าความสามารถในการดูดติด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45°C ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ที่ไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางตัวกลางต้นถั่วเหลือง และต่อซังข้าว ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม เท่ากัน ส่วนตัวกลางซังข้าวโพดใช้ปริมาณ 2 3 4 5 และ 6 กรัม และตัวกลางแกลบใช้ปริมาณ 3 4 5 6 และ 7	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
	กรัม วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าที่ไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	
4.8	ค่าคงที่ตามสมการของ Freundlich ค่าความสามารถในการดูดติด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45°C ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ที่ไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางตัวกลางต้นถั่วเหลือง และต่อซังข้าว ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม เท่ากัน ส่วนตัวกลางซังข้าวโพดใช้ปริมาณ 2 3 4 5 และ 6 กรัม และตัวกลางแกลบใช้ปริมาณ 3 4 5 6 และ 7 กรัม วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าที่ไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	61
4.9	ค่าคงที่ตามสมการของ Langmuir ค่าความสามารถในการดูดติด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45 °C ของสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.89 ± 0.2 มก.ที่ไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางตัวกลางต่อซังข้าว และต้นถั่วเหลืองปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม เท่ากัน ส่วนตัวกลางซังข้าวโพดใช้ปริมาณ 2 3 4 5 และ 6 กรัม และตัวกลางแกลบใช้ปริมาณ 3 4 5 6 และ 7 กรัม วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าที่ไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	63
4.10	ค่าคงที่ตามสมการของ Freundlich ค่าความสามารถในการดูดติด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45 °C ของสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.89 ± 0.2 มก.ที่ไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางตัวกลางต่อซังข้าว และต้นถั่วเหลืองปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม เท่ากัน ส่วนตัวกลางซังข้าวโพดใช้ปริมาณ 2 3 4 5 และ 6 กรัม และตัวกลางแกลบใช้ปริมาณ 3 4 5 6 และ 7 กรัม วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าที่ไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	64
4.11	ตารางแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างค่า R_L (จากการวิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง) กับค่า X/M ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ดูดติดสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. ที่อุณหภูมิต่างๆ	69
4.12	ตารางแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างค่า R_L กับค่า X/M ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ดูดติดสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. ที่อุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง	70
4.13	ตารางแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างค่า R_L กับค่า X/M ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ดูดติดสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ที่ไอซี/ล. ที่อุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าที่ไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	72
4.14	ตารางแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างค่า R_L กับค่า X/M ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
คู่มือวิธีวัดค่าที่ไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	
4.15 ตารางแสดงงานวิจัยที่ผ่านมาที่มีลักษณะคล้ายกับงานวิจัยนี้	75
4.16 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองแบบต่อเนื่องของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางเกลบ ปริมาณตัวกลาง 200 กรัม ที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่างๆวิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง(ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	78
4.17 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองแบบต่อเนื่องของสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางเกลบ ปริมาณตัวกลาง 200 กรัม ที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่างๆวิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง(ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	79
4.18 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองแบบต่อเนื่องของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางซังข้าวโพด ปริมาณตัวกลาง 150 กรัม ที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่างๆวิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง(ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	81
4.19 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองแบบต่อเนื่องของสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางซังข้าวโพด ปริมาณตัวกลาง 150 กรัม ที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่างๆวิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง(ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	82
4.20 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองแบบต่อเนื่องของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94±0.2 มก.ที่ไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางเกลบ ปริมาณตัวกลาง 200 กรัม ที่อัตราภาระบรรทุกทาง ชลศาสตร์ต่างๆวิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าที่ไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	85
4.21 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองแบบต่อเนื่องของสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.89±0.2 มก.ที่ไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางเกลบ ปริมาณตัวกลาง 200 กรัม ที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่างๆวิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าที่ไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	86
4.22 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองแบบต่อเนื่องของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94±0.2 มก.ที่ไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางซังข้าวโพด ปริมาณตัวกลาง 150	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
	กรัม ที่อัตราการบรรทุกทาง ชลศาสตร์ต่างๆวิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีโอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	
4.23	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองแบบต่อเนื่องของสี RR-141 ความเข้มข้น เริ่มต้น 10.89 ± 0.2 มก.ทีโอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางซึ่งข้าวโพด ปริมาณตัวกลาง 150 กรัม ที่อัตราการบรรทุกทางชลศาสตร์ต่างๆวิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีโอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	89
4.24	ค่าใช้จ่ายโดยประมาณในการเตรียมตัวกลางต้นถั่วเหลือง ต่อซึ่งข้าว ซึ่ง- ข้าวโพด และแกลบ สำหรับใช้ในการดูดติดสีรีแอคทีฟ ต่อ 1 วัน	91

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 ขยายรายละเอียดของใยฝ้าย	5
2.2 ลักษณะโมเลกุลภายในเส้นใย	7
2.3 โครงสร้าง C.I. Acid Red 1	8
2.4 โครงสร้างโดยทั่วไปของสียรีแอคทีฟ	14
2.5 ชื่อเรียกส่วนต่างๆ ในการดูดติด	17
2.6 กลไกการดูดติดของอนุภาคบนตัวกลาง	19
2.7 ความสัมพันธ์ X/M กับ Ce	21
2.8 ความสัมพันธ์ $Ce/(X/M)$ กับ Ce	21
2.9 ความสัมพันธ์ $\log(X/M)$ กับ $\log Ce$	22
2.10 ลักษณะการจัดเรียงชั้นของอนุภาค	23
2.11 ตัวอย่างของการแบ่งชั้นของสารตัวกลาง และความเข้มข้นของอนุภาคในชั้นต่างๆ	23
2.12 ตัวอย่างลักษณะกราฟความเข้มข้นของอนุภาคที่ออกจากถังปฏิกิริยาเทียบกับเวลา	24
2.13 การหาค่า t_b และ t_s จาก Breakthrough Curve	25
2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอนุภาคกับปริมาตรของน้ำที่ผ่านในแต่ละถังปฏิกิริยา	26
3.1 เครื่องเขย่ารุ่น OM15 สามารถควบคุมอุณหภูมิ (อุณหภูมิห้อง +7°C -75°C ความเร็วรอบ (40-400 รอบ/นาที) และเวลา (0-99 ชั่วโมง) ในการเขย่าได้ ใช้ในการศึกษาแบบไม่ต่อเนื่อง	31
3.2 แบบจำลองถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการศึกษาแบบต่อเนื่อง	32
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่เหลืออยู่ (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 3 ชุด) กับเวลาสัมผัส ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางดินถั่วเหลือง ปริมาณ 2.5 กรัม เวลาสัมผัสที่ 0-6 ชม. อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง	39
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่เหลืออยู่ (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 3 ชุด) กับเวลาสัมผัส ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางดินถั่วเหลือง ปริมาณ 2.5 กรัม ที่เวลาสัมผัส 0-6 ชม. และอุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์โดย	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
วิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง	
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าที่ไอซี ของสี RR-124 และ RR-141	44
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $Ce/(X/M)$ กับ Ce ตามสมการของ Langmuir ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางดินถั่วเหลือง ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม ใช้เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 3 ชุด)	46
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(X/M)$ และ $\log(Ce)$ ตามสมการของ Freundlich ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางดินถั่วเหลือง ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง(ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 3 ชุด)	47
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง $Ce/(X/M)$ และ Ce ตามสมการของ Langmuir ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางดินถั่วเหลือง ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม ที่เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 3 ชุด)	48
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $Ce/(X/M)$ และ Ce ตามสมการของ Langmuir ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางดินถั่วเหลือง และต่อ-ซึ่งข้าว ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม ตัวกลางซึ่งข้าวโพด ปริมาณ 2 3 4 5 และ 6 กรัม และตัวกลางแกลบปริมาณ 3 4 5 6 และ 7 กรัม ใช้เวลาสัมผัส 3 3 4 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 30°C วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 3 ชุด)	54
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง $Ce/(X/M)$ และ Ce ตามสมการของ Langmuir ของสี RR-124 และ RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางดินถั่ว-เหลือง และต่อซึ่งข้าว ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม ตัวกลางซึ่งข้าวโพด ปริมาณ 2 3 4 5 และ 6 กรัม และตัวกลางแกลบปริมาณ 3 4 5 6 และ 7 กรัม ใช้เวลาสัมผัส 3 3 4 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 30°C วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง(ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 3 ชุด)	58
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง $Ce/(X/M)$ กับ Ce ตามสมการของ Langmuir ของสี	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ทีไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางดินถั่วเหลือง ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม ใช้เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30°C วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(X/M)$ และ $\log(C_e)$ ตามสมการของ Freundlich ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ทีไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางดินถั่วเหลือง ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง อุณหภูมิ 30°C วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	58
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง $C_e/(X/M)$ และ C_e ตามสมการของ Langmuir ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ทีไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางดินถั่วเหลือง ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม ที่เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	59
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง $C_e/(X/M)$ และ C_e ตามสมการของ Langmuir ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ทีไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางดินถั่วเหลือง และต่อซังข้าว ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม ตัวกลางซังข้าวโพด ปริมาณ 2 3 4 5 และ 6 กรัม และตัวกลางแกลบปริมาณ 3 4 5 6 และ 7 กรัม ใช้เวลาสัมผัส 3 3 4 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 30°C วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	66
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง $C_e/(X/M)$ และ C_e ตามสมการของ Langmuir ของสี RR-124 และ RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 และ 10.89 ± 0.2 มก.ทีไอซี/ล. ตามลำดับ โดยใช้ตัวกลางดินถั่วเหลือง และต่อซังข้าว ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม ตัวกลางซังข้าวโพด ปริมาณ 2 3 4 5 และ 6 กรัม และตัวกลางแกลบปริมาณ 3 4 5 6 และ 7 กรัม ใช้เวลาสัมผัส 3 3 4 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 30°C วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	67
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นคงเหลือกับปริมาตรสะสมของน้ำที่ออกจากระบบ ของสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางแกลบ ปริมาณ 200 กรัม ที่อัตราการไหลต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ตัวกลางกับภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของสี RR-124 และ RR- 141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางเกลบ และซังข้าวโพด ปริมาณ 200 และ150 กรัม ตามลำดับที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 ค่า วิเคราะห์ด้วยการวัดค่าการ ดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	84
4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมกับความเข้มข้น ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ทีโอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางเกลบ น้ำหนัก 200 กรัม ที่อัตราภาระบรรทุกทาง ชลศาสตร์ต่างๆ โดยวิธีวัดค่าทีโอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	85
4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ตัวกลางกับภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของสี RR-124 และ RR- 141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 และ 10.89 ± 0.2 มก.ทีโอซี/ล. ตามลำดับ โดยใช้ตัวกลางเกลบ และซังข้าวโพด ปริมาณ 200 และ150 กรัม ตามลำดับที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 ค่า วิเคราะห์ด้วยการวัดค่าทีโอซี(ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)	90

อักษรย่อและสัญลักษณ์

ก.	กรัม
ก./ล.	กรัมต่อลิตร
ก./ลบ.ม.	กรัมต่อลูกบาศก์เมตร
กก./ลบ.ม.	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ชม.	ชั่วโมง
ชม.	เซนติเมตร
มก.	มิลลิกรัม
มก./ล.	มิลลิกรัมต่อลิตร
มก./ลบ.ม.	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
มม.	มิลลิเมตร
มล.	มิลลิลิตร
ลบ.ม.	ลูกบาศก์เมตร
ลบ.ม./ชม.	ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.	ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง
°C	องศาเซลเซียส
C ₀	ความเข้มข้นเริ่มต้น
C ₁	ความเข้มข้นคงเหลือครั้งที่ 1
C ₂	ความเข้มข้นคงเหลือครั้งที่ 2
C _c	ความเข้มข้นคงเหลือที่เวลาใดๆ
g	กรัม
kcal/mole	กิโลแคลอรีต่อโมล
m ³ /hr	ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
m ³ /m ² -hr	ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง
mg	มิลลิกรัม
mg/l	มิลลิกรัมต่อลิตร
mg/m ³	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
V	ปริมาตร
W	วัตต์
X/M	ปริมาณสารที่ถูกดูดติดต่อปริมาณตัวกลางที่ใช้ (มก./ก.)