

บทที่ 4

ผลการศึกษา และวิจารณ์ผลการศึกษา

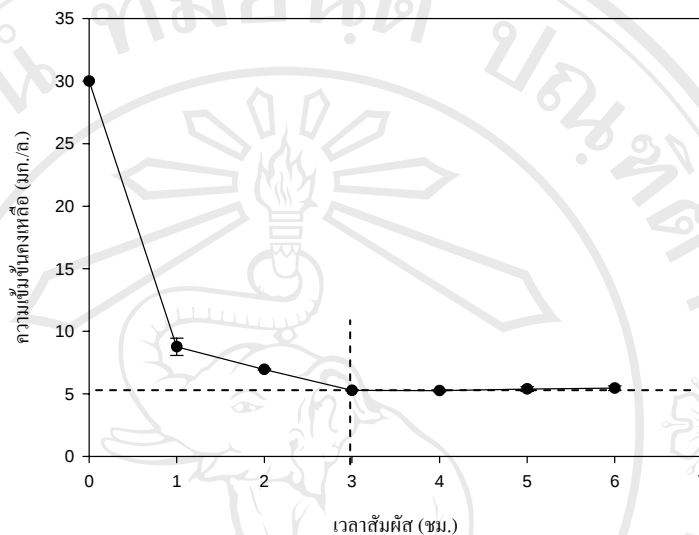
ผลของอุณหภูมิ และภาระบรรทุกทางกลศาสตร์ต่อการดูดติดของสีรีแอคทีฟโดยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งมีการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง โดยใช้ถึงปฏิกิริยาแบบเท และแบบต่อเนื่อง โดยในแบบไม่ต่อเนื่อง โดยใช้ถึงปฏิกิริยาแบบเท ใช้ตัวกลาง 4 ชนิด คือตัวกลางดินถั่วเหลือง ตอซังข้าว ชังข้าวโพด และแกลบ ศึกษาที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45 °C ส่วนการทดลองแบบต่อเนื่องใช้ตัวกลาง 2 ชนิด คือ ตัวกลางแกลบ และชังข้าวโพด ซึ่งในการศึกษารั้งนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอคทีฟ 2 ชนิด คือ C.I. Reactive Red 124 (RR-124) และ C.I. Reactive Red 141 (RR-141) ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. สำหรับรายละเอียดวิธีการและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงไว้ในบทที่ 3 ซึ่งผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การหาเวลาสัมผัส และอัตราเร็วในการดูดติดของตัวกลาง ที่อุณหภูมิต่างๆ จากการทดลองแบบไม่ต่อเนื่องโดยใช้ถึงปฏิกิริยาแบบเท

4.1.1 เวลาสัมผัสที่จุดสมดุล

จากการทดลองโดยใช้ตัวกลางดินถั่วเหลือง ตอซังข้าว ชังข้าวโพด และแกลบ โดยนำน้ำที่อยู่ส่วนบนของตัวกลางมาหาค่าการดูดกลืนแสง และค่าที่ไอซี จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่เหลืออยู่เทียบกับเวลาสัมผัส เพื่อหาเวลาสัมผัสที่จุดสมดุลของการดูดติด โดยใช้สีรีแอคทีฟ 2 ชนิด คือสี RR-124 และสี RR-141 ซึ่งเมื่อนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงพบว่า สีทั้ง 2 ชนิดมีความสามารถในการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 514 และ 544 นาโนเมตร ตามลำดับ (การวัดความสามารถในการดูดกลืนแสงแสดงไว้ในรูป ก-1 ในภาคผนวก ก.) ดังนั้นในการศึกษารั้งนี้การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสี RR-124 และสี RR-141 จึงเลือกใช้ที่ความยาวคลื่น 514 และ 544 นาโนเมตร ตามลำดับ และใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากันที่ 30 มก./ล. จากการทดลองหาเวลาสัมผัสที่จุดสมดุลพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาสัมผัสความเข้มข้นของสีจะลดลง จนถึงเวลาสัมผัสค่าหนึ่ง ความเข้มข้นของสีจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แสดงว่าการดูดติด เข้าสู่จุดสมดุล ซึ่งมีลักษณะดังกล่าวเหมือนกันในสีทั้ง 2 ชนิด ยกตัวอย่างเช่น การดูดติดสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางดินถั่วเหลือง ที่อุณหภูมิ 30°C จากการทดลองพบว่า สีจะมีความเข้มข้นลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 1 ชม.แรก จากนั้นความเข้มข้นของสีจะค่อยๆ ลดลง จนถึงเวลาสัมผัสประมาณ 3 ชั่วโมง ความเข้มข้นสีจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แสดงว่าสีเข้าสู่จุดสมดุลของการดูดติดที่เวลาประมาณ 3 ชม. โดยสามารถดูตัวอย่างลักษณะแนวโน้มการลดลงของ

ความเข้มข้นคงเหลือของสี RR-124 ซึ่งใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลืองในการดูดซับที่อุณหภูมิ 30°C ได้จากรูปที่ 4.1 และจากการทดลองดังกล่าวจึงเลือกใช้เวลาสัมผัสที่ 3 ชม. ในการศึกษาหาความสามารถในการดูดซับของสีต่อไป



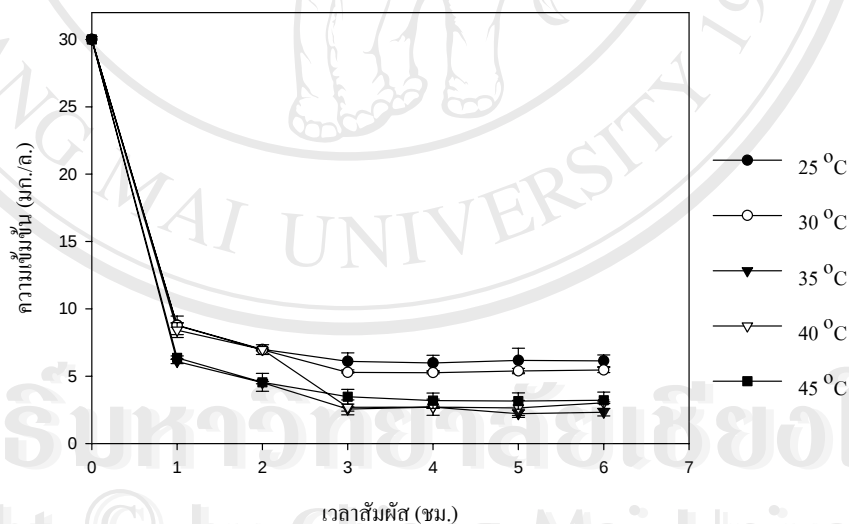
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่เหลืออยู่ (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 3 ชุด) กับเวลาสัมผัสของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ปริมาณ 2.5 กรัม เวลาสัมผัสที่ 0-6 ชม. อุณหภูมิ 30°C วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง

จากการทดลองหาเวลาที่สมดุลการดูดซับของตัวกลางต้นถั่วเหลือง และต่อช่วงข้าว ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45 °C ทั้งการวัดค่าการดูดกลืนแสง และการหาค่าทีโอซี ของสีทั้ง 2 ชนิด พบว่าลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีที่เหลืออยู่กับเวลา จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 1 ชั่วโมงแรกเช่นเดียวกัน จากนั้นมีค่าลดลงอีกเพียงเล็กน้อย เมื่อเข้าสู่เวลาสัมผัสที่ 3 ชม. และมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนักกระทั่งถึงเวลาสัมผัสที่ 6 ชม. (กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสี RR-124 และ RR-141 กับเวลาสัมผัสของตัวกลางต้นถั่วเหลือง และ ต่อช่วงข้าว ที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงผลการทดลองจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงไว้ในรูปที่ ค-1-4 และโดยการวัดค่าทีโอซีไว้ในรูปที่ ค-9-12 ในภาคผนวก ค.) ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวได้ว่า เวลาสัมผัสที่สมดุลการดูดซับมีค่าประมาณ 3 ชม. จึงเลือกใช้เวลา 3 ชม. สำหรับทุกอุณหภูมิในการศึกษาหาความสามารถในการดูดซับต่อไป

สำหรับการทดลองหาเวลาที่สมดุลการดูดซับของตัวกลางช่วงข้าวโพด และกลบ ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45°C ทั้งการวัดค่าการดูดกลืนแสง และการหาค่าทีโอซี ของสีทั้ง 2 ชนิด พบว่าลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีที่เหลืออยู่กับเวลาจะลดลงอย่างรวดเร็ว

ในช่วง 1-2 ชั่วโมงแรก จากนั้นมีค่าลดลงอีกเพียงเล็กน้อย เมื่อเข้าสู่เวลาสัมผัสที่ 4 ชม. และมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากจนกระทั่งถึงเวลาสัมผัสที่ 6 ชม. (กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสี RR-124 และ RR-141 กับเวลาสัมผัส ของตัวกลางซังข้าวโพด และแกลบ ที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงผลการทดลองจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงไว้ในรูปที่ ค-5-8 และโดยการวัดค่าที่ไอซีไว้ในรูปที่ ค-13-16 ในภาคผนวก ค.) ซึ่งจากผลการทดลองได้ว่าเวลาสัมผัสที่สมควรการดูดติดมีค่าประมาณ 4 ชม. จึงเลือกใช้เวลา 4 ชม. สำหรับทุกอุณหภูมิในการศึกษาหาความสามารถในการดูดติดต่อไป

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบภายในตัวกลางเดียวกัน ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45°C ก็พบว่าลักษณะการลดลงของความเข้มข้นของสีมีแนวโน้มเหมือนกัน แต่อัตราเร็วในการดูดติดมีค่าต่างกันเล็กน้อยมีแนวโน้มที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะมีอัตราเร็วในการดูดติดดีขึ้น อย่างไรก็ตามเวลาที่จุดสมดุลของตัวกลางที่อุณหภูมิต่างๆ ก็มีค่าใกล้เคียงกัน จึงเลือกใช้ที่เวลาสัมผัสที่เท่ากัน กล่าวคือตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ซังข้าวโพด และแกลบ เลือกใช้เวลาสมควรการดูดติดที่ 3 3 4 และ 4 ชม. ตามลำดับ ในทุกอุณหภูมิ ดังแสดงตัวอย่างลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสี RR-124 กับเวลาสัมผัส โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ที่อุณหภูมิ 5 ค่า ในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่เหลืออยู่ (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 3 ชุด) กับเวลาสัมผัส ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ปริมาณ 2.5 กรัม ที่เวลาสัมผัส 0-6 ชม. และอุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง

จากการทดลองสามารถสรุปผลการหาเวลาที่จุดสมมูลการดูดติดของสี RR-124 และ RR-141 โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ชังข้าวโพด และแกลบ ที่อุณหภูมิทั้ง 5 ค่า ซึ่งวัดด้วยค่าการดูดกลืนแสงแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และจากการวัดค่าที่ไอซีแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 เวลาที่จุดสมมูลการดูดติด และร้อยละการลดลงของความเข้มข้นของสี RR-124 และ RR-141 มีความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. ทั้ง 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 5 ค่า โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ชังข้าวโพด และแกลบ ปริมาณ 2.5 2.5 5 และ 5 กรัม ตามลำดับ วิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง

สี RR-124								
อุณหภูมิ (°C)	ต้นถั่วเหลือง		ตอซังข้าว		ชังข้าวโพด		แกลบ	
	เวลาที่จุด สมมูล (ชม.)	ร้อยละ การลดลง ของสี	เวลาที่จุด สมมูล (ชม.)	ร้อยละ การลดลง ของสี	เวลาที่จุด สมมูล (ชม.)	ร้อยละ การลดลง ของสี	เวลาที่จุด สมมูล (ชม.)	ร้อยละ การลดลง ของสี
25	3	79.66	3	48.34	4	32.55	4	9.43
30	3	82.40	3	55.65	4	41.84	4	12.08
35	3	91.46	3	55.13	4	46.81	4	20.76
40	3	91.05	3	54.98	4	48.94	4	22.27
45	3	88.42	3	59.10	4	48.31	4	29.08
สี RR-141								
อุณหภูมิ (°C)	ต้นถั่วเหลือง		ตอซังข้าว		ชังข้าวโพด		แกลบ	
	เวลาที่จุด สมมูล (ชม.)	ร้อยละ การลดลง ของสี	เวลาที่จุด สมมูล (ชม.)	ร้อยละ การลดลง ของสี	เวลาที่จุด สมมูล (ชม.)	ร้อยละ การลดลง ของสี	เวลาที่จุด สมมูล (ชม.)	ร้อยละ การลดลง ของสี
25	3	90.26	3	71.86	4	24.47	4	7.79
30	3	92.24	3	77.23	4	29.27	4	9.19
35	3	93.04	3	80.87	4	27.62	4	11.60
40	3	93.31	3	80.91	4	32.25	4	11.34
45	3	93.48	3	81.86	4	33.05	4	10.57

จากตาราง 4.1 เมื่อพิจารณาร้อยละการลดลงของสี RR-124 พบว่าตัวกลางต้นถั่วเหลืองมีอัตราเร็ว และสามารถดูดติดสีได้ดีที่สุดในทุกอุณหภูมิ เมื่อนำมาเรียงอัตราเร็ว และความสามารถในการดูดติดสีจากมากไปน้อยจะได้ ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ต่อซังข้าว ชังข้าวโพด และแกลบ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบร้อยละการลดลงของสี RR-141 ก็ได้ผลเช่นเดียวกันกับสี RR-124 กล่าวคือเมื่อเรียงลำดับอัตราเร็ว และความสามารถในการดูดติดสีจากมากไปน้อยได้เป็นได้ ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ต่อซังข้าว ชังข้าวโพด และแกลบ ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบการดูดติดระหว่างสีทั้ง 2 ชนิด เมื่อใช้ตัวกลางแต่ละชนิด พบว่าตัวกลางต้นถั่วเหลือง และต่อซังข้าวสามารถดูดติดสี RR-141 ได้ดีกว่า ส่วนตัวกลางชังข้าวโพด และแกลบสามารถดูดติดสี RR-124 ได้ดีกว่า

ตารางที่ 4.2 เวลาที่จุดสมดุลการดูดติด และร้อยละการลดลงของความเข้มข้นของสี RR-124 และ RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 และ 10.89 ± 0.2 มก.ทีไอซี/ล. ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 5 ค่า โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ต่อซังข้าว ชังข้าวโพด และแกลบ ปริมาณ 2.5 2.5 5 และ 5 กรัม ตามลำดับ วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

สี RR-124								
อุณหภูมิ (°C)	ต้นถั่วเหลือง		ต่อซังข้าว		ชังข้าวโพด		แกลบ	
	เวลาที่จุด สมดุล (ชม.)	ร้อยละ การลดลง ของสี	เวลาที่จุด สมดุล (ชม.)	ร้อยละ การลดลง ของสี	เวลาที่จุด สมดุล (ชม.)	ร้อยละ การลดลง ของสี	เวลาที่จุด สมดุล (ชม.)	ร้อยละ การลดลง ของสี
25	3	69.8	3	79.9	4	67.8	4	46.7
30	3	79.9	3	79.9	4	72.8	4	51.7
35	3	79.9	3	84.9	4	74.8	4	54.7
40	3	89.9	3	87.9	4	77.9	4	57.7
45	3	89.9	3	89.9	4	79.9	4	59.8
สี RR-141								
อุณหภูมิ (°C)	ต้นถั่วเหลือง		ต่อซังข้าว		ชังข้าวโพด		แกลบ	
	เวลาที่จุด สมดุล (ชม.)	ร้อยละ การลดลง ของสี	เวลาที่จุด สมดุล (ชม.)	ร้อยละ การลดลง ของสี	เวลาที่จุด สมดุล (ชม.)	ร้อยละ การลดลง ของสี	เวลาที่จุด สมดุล (ชม.)	ร้อยละ การลดลง ของสี
25	3	69.8	3	74.8	4	64.8	4	44.7
30	3	79.9	3	76.9	4	69.8	4	46.7

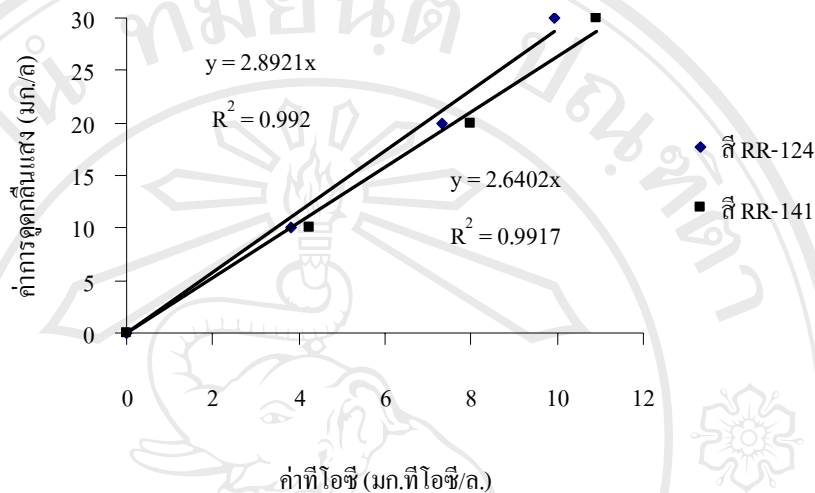
ตาราง 4.2 (มีต่อ)

สี RR-141								
อุณหภูมิ (°C)	ต้นถั่วเหลือง		ต่อซังข้าว		ซังข้าวโพด		เกลบ	
	เวลาที่จุด	ร้อยละ	เวลาที่จุด	ร้อยละ	เวลาที่จุด	ร้อยละ	เวลาที่จุด	ร้อยละ
	สมดุล (ชม.)	การลดลง ของสี	สมดุล (ชม.)	การลดลง ของสี	สมดุล (ชม.)	การลดลง ของสี	สมดุล (ชม.)	การลดลง ของสี
35	3	79.9	3	79.9	4	69.8	4	47.7
40	3	89.9	3	83.9	4	79.9	4	53.7
45	3	89.9	3	85.9	4	89.9	4	56.7

จากตาราง 4.2 เมื่อพิจารณาร้อยละการลดลงของสีทั้ง 2 ชนิด พบว่าตัวกลางต้นถั่วเหลืองมีอัตราเร็ว และสามารถดูดซับสีได้ดีที่สุดในทุกอุณหภูมิ เมื่อนำมาเรียงอัตราเร็ว และความสามารถในการดูดซับสีจากมากไปน้อยจะได้ ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ต่อซังข้าว ซังข้าวโพด และเกลบ ตามลำดับ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการวัดค่าการดูดกลืนแสง และเมื่อเปรียบเทียบการดูดซับสีระหว่างสีทั้ง 2 ชนิด เมื่อใช้ตัวกลางแต่ละชนิด พบว่าตัวกลางทุกชนิดสามารถดูดซับสี RR-124 ได้ดีกว่า ยกเว้นตัวกลางเกลบ สามารถดูดซับสีได้เท่ากันในสีทั้ง 2 ชนิด

จากการทดลองจะพบว่า เมื่อวัดความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสี RR-124 และ RR-141 จากการวัดค่าการดูดกลืนแสง และวัดค่าที่ไอซีให้ร้อยละการลดลงของสีไม่เท่ากัน ในตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ที่อุณหภูมิทั้ง 5 ค่า ซึ่งเป็นผลมาจากวิธีการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้น และพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด และเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ไอซีกับค่าการดูดกลืนแสงของสี ทั้ง 2 ชนิด พบว่า สี RR-124 มีค่าการดูดกลืนแสง ประมาณ 2.89 เท่าของค่าที่ไอซี และสำหรับสี RR-141 ค่าการดูดกลืนแสง ประมาณ 2.64 เท่าของค่าที่ไอซี ดังนั้นหากพิจารณาการดูดซับสี RR-124 ด้วยตัวกลางต่อซังข้าว ที่อุณหภูมิ 30°C เวลาสัมผัส 4 ชม. วัดค่าที่ไอซีได้ 2 มก.ที่ไอซี/ล. หากเป็นไปตามสัดส่วนดังกล่าว จึงน่าจะวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 5.78 มก./ล. แต่จากการทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ 13.43 มก./ล. ได้ว่ามีค่าที่ไอซีคิดเป็น 6.72 เท่าของค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งค่าที่ได้ไม่สอดคล้องกับจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าที่ไอซี นอกจากนี้ในการพิจารณาตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ที่อุณหภูมิทั้ง 5 ค่า ก็ให้ผลที่ไม่สอดคล้องกับกราฟดังกล่าวเช่นเดียวกัน โดยอาจเป็นผลมาจากการรบกวนการวิเคราะห์ของสีธรรมชาติของตัวกลางแต่ละชนิด (มีผลรบกวนการดูดกลืนแสงของสี) และการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ที่หลุดออกมาจากตัวกลางทำให้ค่าที่ไอซีในน้ำตัวอย่างมีค่าเพิ่มมากขึ้นเกินความเป็นจริง ทำให้ค่าการวัดค่าการดูดกลืนแสงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ไอซีจึงไม่เป็นไปตามความสัมพันธ์ตามรูปที่ 4.3 นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการเลือกใช้วัสดุจากธรรมชาติมาดูดซับสี ต้องคำนึงถึงสีธรรมชาติของตัวกลางที่หลุดออกมาปนเปื้อนกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วด้วย ซึ่งสี

ธรรมชาติเหล่านี้จะเพิ่มค่าที่ไอซี ทำให้น้ำเสียมีสีเข้ม และตัวกลางมีการย่อยสลายเร็วทำให้เกิดกลิ่นเน่าเหม็นได้อีกด้วย ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพวัสดุก่อนนำมาใช้งานจริง เช่นการเผาเป็นถ่าน เเผาทำเป็นถ่านกัมมันต์ เป็นต้น



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าที่ไอซี ของสี RR-124 และสี RR-141

4.1.2 ความสามารถในการดูดติด

จากการทดลองดูดติดสีรีแอคทีฟ 2 ชนิด คือสี RR-124 และสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. ทั้ง 2 ชนิด โดยใช้ตัวกลาง 4 ชนิดคือตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ชังข้าวโพด และ แกลบ ขนาด 0.075-0.85 มม. โดยใช้ตัวกลางตัวกลางตอซังข้าว และต้นถั่วเหลืองใช้เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง ส่วนตัวกลางแกลบ และชังข้าวโพดใช้เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมง(เวลาที่จุดสมดุลของการดูดติด จากการทดลองข้อ 4.1.1) จากนั้นเก็บน้ำตัวอย่างที่อยู่ส่วนบนของตัวกลาง มาปั่นแยกตัวของแข็งออกจากน้ำตัวอย่าง(centrifuge) โดยใช้เครื่องเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1,300 รอบต่อวินาที นาน 60 นาที แล้วนำน้ำตัวอย่างที่ได้มาหาค่าการดูดกลืนแสง และหาค่าที่ไอซี เพื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir และ Freundlich จะได้ค่าคงที่ของแต่ละสมการ และความสามารถในการดูดติดสี RR-124 และ RR-141 ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45°C ซึ่งความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir และ Freundlich แสดงไว้ดังสมการที่ 4.1 และ 4.2

Langmuir Isotherm

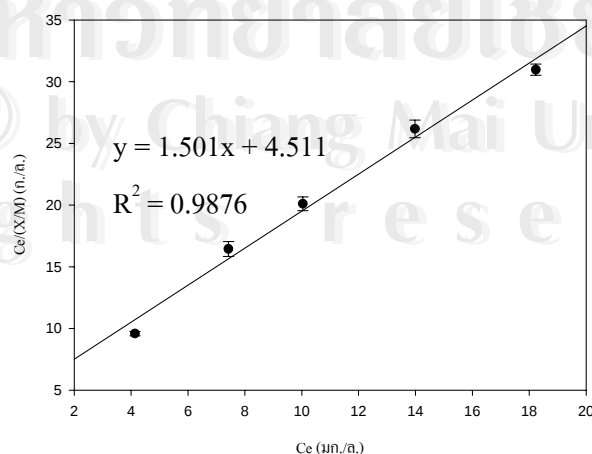
$$\frac{Ce}{X/M} = \frac{1}{a} Ce + \frac{1}{ab} \quad (4.1)$$

Freundlich Isotherm

$$\log \frac{X}{M} = \frac{1}{n} \log Ce + \log K \quad (4.2)$$

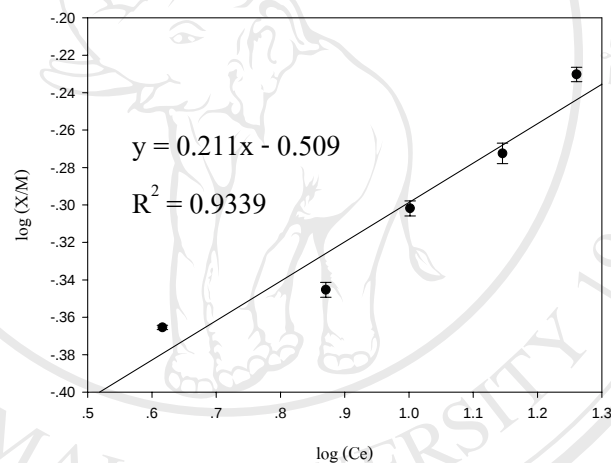
จากสมการของ Langmuir เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{Ce}{X/M}$ กับ Ce จะได้ความชันของกราฟคือค่า $\frac{1}{a}$ และจุดตัดแกน y คือค่า $\frac{1}{ab}$ โดยค่าคงที่ a บอกถึงความสามารถในการดูดซับสูงสุดของตัวกลาง ส่วนค่าคงที่ b คือค่าคงที่ที่มีความสัมพันธ์กับความร้อนในการดูดซับ ($b \propto \exp\left(\frac{-H}{RT}\right)$) (Samuel D. Faust, 1998) เมื่อพิจารณาสมการของ Freundlich เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log Ce$ กับ $\log(X/M)$ ได้ว่าความชันของกราฟคือค่า $\frac{1}{n}$ จุดตัดแกน y คือค่า $\log K$ โดยค่า n และ K คือค่าคงที่

ตัวอย่างในการดูดซับสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. ด้วยตัวกลางต้นถั่วเหลือง ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม ใช้เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30°C วัดความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสีโดยวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งจากการทดลองจะสังเกตพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวกลางมากขึ้น ความเข้มข้นของสีจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่เวลาสัมผัส และอุณหภูมิเดียวกัน จากนั้นนำข้อมูลความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสีมาเขียนความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir และ Freundlich เพื่อหาค่าคงที่ และความสามารถในการดูดซับ โดยเมื่อเขียนกราฟตามความสัมพันธ์ของ Langmuir พบว่ากราฟความสัมพันธ์ของ $\frac{Ce}{X/M}$ กับ Ce เป็นความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์มีค่า 0.9744 ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1) ได้จุดตัดแกน y มีค่า 4.511 และความชันมีค่า 1.501 จากนั้นนำค่าจุดตัดแกน y และความชันมาคำนวณหาค่าคงที่ a b และค่า X/M จะได้ค่า 0.666 มก./ก. 0.333 ล./มก. และ 0.606 มก./ก. ตามลำดับ ซึ่งได้แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวดังในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $C_e/(X/M)$ กับ C_e ตามสมการของ Langmuir ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม ใช้เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30°C วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 3 ชุด)

ในทำนองเดียวกันนำข้อมูลความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสีมาเขียนความสัมพันธ์ตามสมการของ Freundlich เพื่อหาค่าคงที่ K n และค่า X/M ของตัวกลาง โดยเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log C_e$ กับ $\log(X/M)$ พบว่ากราฟมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์มีค่า 0.9339 ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1) และได้จุดตัดแกน y มีค่า -0.509 และมีความชันมีค่า 0.211 จากนั้นนำค่าจุดตัดแกน y และความชันมาคำนวณหาค่าคงที่ K n และค่า X/M จะได้ค่า 0.310 มก./ก. 4.751 และ 0.634 มก./ก. ตามลำดับ ซึ่งแสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวดังในรูปที่ 4.5



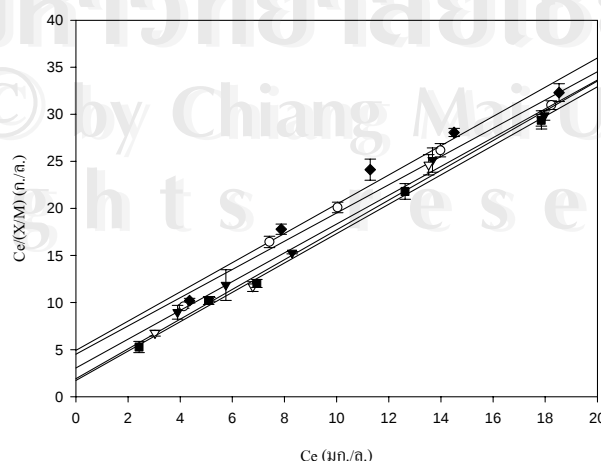
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(X/M)$ และ $\log(C_e)$ ตามสมการของ Freundlich ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง อุณหภูมิ 30°C วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง(ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 3 ชุด)

สำหรับกราฟแสดงความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir และ Freundlich ค่าคงที่ต่าง ๆ และ X/M ของการดูดซับสี RR-124 และ RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ดอกชงข้าว ชงข้าวโพด และเกล็ด ที่อุณหภูมิต่างๆ วัดความเข้มข้นจากการวัดค่าการดูดกลืนแสง แสดงไว้ในรูปที่ ง-1-16 ในภาคผนวก ง.

จากการทดลองการดูดซับสี RR-124 โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง แล้วนำข้อมูลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir และ Freundlich พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir และ Freundlich มีค่าค่อนข้างสูงใกล้เคียงกัน แต่ค่าสัมประสิทธิ์

สหสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir มีค่าสูงกว่าเล็กน้อย และจากการวิเคราะห์สมบัติของตัวกลางต้นถั่วเหลือง(คุณสมบัติของตัวกลางได้จากตาราง 3.1) พบว่ามีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 149.70 ไมโครเมตร ซึ่งอยู่ในช่วง Macropore (ขนาดรูพรุนใหญ่กว่า 1 ไมโครเมตร; Willy J. Masschelein, 1992) และมีร้อยละความพรุนสูง นอกจากนี้ตัวกลางต้นถั่วเหลืองเป็นสารอินทรีย์ เมื่ออิมมิดด้วยน้ำทำให้อนุภาคของสีแทรกเข้าไปในรูพรุนได้ยากขึ้น ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าการดูดติดของสีเกิดขึ้นบริเวณผิวของตัวกลาง ซึ่งน่าจะเป็นไปตามสมมุติฐานของ Langmuir กล่าวคือการดูดติดมีเพียงชั้นเดียวบนผิวตัวกลางมากกว่าตามสมมุติฐานของ Freundlich ซึ่งกล่าวว่าอนุภาคสามารถถูกดูดติดบนตัวกลางได้หลายชั้น และจากการทดลองก็พบว่า ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45°C ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกันหมด กล่าวคือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir มีค่าสูงกว่าตามสมการของ Freundlich เล็กน้อย และจากเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว จึงเลือกใช้สมการ Langmuir ในการพิจารณาลักษณะของการดูดติดทั้ง 5 อุณหภูมิ

เมื่อพิจารณาการดูดติดของการดูดติดสี RR-124 โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ที่อุณหภูมิทั้ง 5 ค่าในรูปที่ 4.6 จากกราฟจะเห็นว่ามีความชัน และจุดตัดแกน y ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะได้ค่าคงที่ a มีค่า 0.644 มก./ก. ที่ 25°C 0.666 มก./ก. ที่ 30°C 0.654 มก./ก. ที่ 35°C 0.632 มก./ก. ที่ 40°C และ 0.641 มก./ก. ที่ 45 °C ตามลำดับ และ X/M มีค่า 0.582 มก./ก. ที่ 25 °C 0.606 มก./ก. ที่ 30°C 0.613 มก./ก. ที่ 35 °C 0.608 มก./ก. ที่ 40°C และ 0.618 มก./ก. ที่ 45 °C ตามลำดับ โดยค่าคงที่ a พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิค่าคงที่ a มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ส่วนค่า X/M มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ดังแสดงตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir จึงน่าจะเป็นไปได้ว่าปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน และอาจเป็นไปได้ว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และมีการแช่ที่เวลาผ่านไปตัวกลางมีการแตก หลุดออกจากกันทำให้ขนาดของตัวกลางเล็กลงเป็นผลให้พื้นที่ผิวมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า X/M มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ถึงอย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของค่า X/M ก็มีไม่มากนัก



สัญลักษณ์	อุณหภูมิ (°C)	สมการ	R ²	a	b	X/M
◆	25	$y = 1.554x + 4.927$	0.9744	0.644	0.315	0.582
○	30	$y = 1.501x + 4.511$	0.9876	0.666	0.333	0.606
▼	35	$y = 1.530x + 3.051$	0.9937	0.654	0.502	0.613
▽	40	$y = 1.583x + 1.897$	0.9915	0.632	0.834	0.608
■	45	$y = 1.561x + 1.719$	0.9979	0.641	0.908	0.618

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง $Ce/(X/M)$ และ Ce ตามสมการของ Langmuir ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม ที่เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 3 ชุด)

สำหรับในการทดลองดูดติดสี RR-124 โดยใช้ตัวกลางต่อซังข้าว ชังข้าวโพด และแกลบ ที่อุณหภูมิ ทั้ง 5 ค่า พบว่า ใช้สมมติฐานของ Langmuir ในการพิจารณาการดูดติดได้ดีทั้งหมด โดยมีเหตุผลเช่นเดียวกับตัวกลางต้นถั่วเหลือง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จากการทดลองโดยใช้ตัวกลางต่อซังข้าวพบว่า มีค่าคงที่ a มากและน้อยที่สุดคือ 0.421 มก./ล. ที่ 45 °C และ 0.311 มก./ล. ที่ 25°C ตามลำดับ ส่วนตัวกลางชังข้าวโพด มีค่าคงที่ a มากและน้อยที่สุดคือ 0.304 มก./ล. ที่ 40 °C และ 0.173 มก./ล. ที่ 25°C ตามลำดับ สำหรับตัวกลางแกลบมีค่าคงที่ a มากและน้อยที่สุดคือ 0.090 มก./ล. ที่ 35 °C และ 0.064 มก./ล. ที่ 25 °C ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าคงที่ a ภายในตัวกลางชนิดเดียวกันพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังได้ว่า ตัวกลางต่อซังข้าวพบว่า มีค่า X/M สูงสุดและต่ำสุดคือ 0.370 มก./ล. ที่ 45°C และ 0.251 มก./ล. ที่ 25°C ตามลำดับ ส่วนตัวกลางชังข้าวโพด มีค่า X/M สูงสุดและต่ำสุดคือ 0.205 มก./ล. ที่ 45°C และ 0.150 มก./ล. ที่ 25°C ตามลำดับ สำหรับตัวกลางแกลบมีค่า X/M สูงสุดและต่ำสุดคือ 0.051 มก./ล. ที่ 45°C และ 0.048 มก./ล. ที่ 25°C ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาภายในตัวกลางชนิดเดียวกันได้ว่าค่า X/M มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งก็ให้ผลเช่นเดียวกับตัวกลางต้นถั่วเหลือง จึงอาจเป็นไปได้ว่าปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน หรืออาจเกิดจากการหลุดออกของตัวกลางทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น แต่ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาพื้นที่ผิวของตัวกลางทั้ง 4 ชนิดเปรียบเทียบกัน (จากตารางที่ 3.1) พบว่าตัวกลางชังข้าวโพด มีค่าสูงสุด สำหรับตัวกลางต้นถั่วเหลือง และแกลบมีพื้นที่ผิวใกล้เคียงกัน แต่ความสามารถในการดูดติดแตกต่างกันมาก ถึงแม้ว่าในการดูดติด พื้นที่ผิวของตัวกลางจะเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อค่าความสามารถในการดูดติด แต่ก็มีปัจจัยอื่นประกอบในการพิจารณาด้วย เช่น ขนาดรูพรุน ลักษณะรูปแบบของรูพรุน การกระจายตัวของรูพรุน ขนาดของอนุภาคที่ถูกดูดติด และลักษณะเฉพาะตัวของอนุภาคที่ถูกดูดติด ซึ่งปัจจัยต่างๆ นี้เองทำให้การพิจารณาความสามารถใน

การดูดติดสีไม่สามารถใช้เพียงขนาดพื้นที่ผิวของตัวกลางมาได้เพียงอย่างเดียว สำหรับการเปรียบเทียบค่า X/M ระหว่างตัวกลางทั้ง 4 ชนิดจะกล่าวถึงต่อไป

ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปค่าคงที่ตามสมการของ Langmuir และ Freundlich ในการดูดติดสี RR-124 ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ที่อุณหภูมิ 5 ค่าวิเคราะห์โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ ดังแสดงผลการหาค่าคงที่ ค่า X/M และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir ในตารางที่ 4.3 และตามสมการของ Freundlich ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่ตามสมการของ Langmuir ค่าความสามารถในการดูดติด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45°C ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางตัวกลางต้นถั่วเหลือง และต่อซึ่งข้าว ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม เท่ากัน ส่วนตัวกลางซึ่งข้าวโพดใช้ปริมาณ 2 3 4 5 และ 6 กรัม และตัวกลางเกลบใช้ปริมาณ 3 4 5 6 และ 7 กรัม วิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ชุดข้อมูล)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวกลาง	ค่าคงที่		X/M (มก./ก.)	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ (R^2)
		a (มก./ก.)	b (ล./มก.)		

25	ดินถั่วเหลือง	0.644	0.315	0.582	0.9744
	ตอซังข้าว	0.311	0.139	0.251	0.9718
	ซังข้าวโพด	0.173	0.214	0.150	0.9930
	แกลบ	0.064	0.098	0.048	0.9423
30	ดินถั่วเหลือง	0.666	0.333	0.606	0.9876
	ตอซังข้าว	0.365	0.127	0.289	0.9951
	ซังข้าวโพด	0.184	0.273	0.164	0.9967
	แกลบ	0.072	0.074	0.049	0.8990
35	ดินถั่วเหลือง	0.654	0.502	0.613	0.9937
	ตอซังข้าว	0.373	0.288	0.335	0.9942
	ซังข้าวโพด	0.215	0.169	0.179	0.9892
	แกลบ	0.090	0.042	0.050	0.9342
40	ดินถั่วเหลือง	0.632	0.834	0.608	0.9915
	ตอซังข้าว	0.404	0.216	0.350	0.9885
	ซังข้าวโพด	0.304	0.068	0.204	0.9463
	แกลบ	0.082	0.053	0.050	0.9883
45	ดินถั่วเหลือง	0.641	0.908	0.618	0.9979
	ตอซังข้าว	0.421	0.241	0.370	0.9733
	ซังข้าวโพด	0.304	0.069	0.205	0.9692
	แกลบ	0.089	0.045	0.051	0.9485

ตารางที่ 4.4 ค่าคงที่ตามสมการของ Freundlich ค่าความสามารถในการดูดซับ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45°C ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางตัวกลางดินถั่วเหลือง และตอซังข้าว 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)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวกลาง	ค่าคงที่		X/M (มก./ก.)	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ (R^2)
		K (มก./ก.)	n		
25	ดินถั่วเหลือง	0.308	5.126	0.597	0.8447
	ตอซังข้าว	0.107	3.926	0.253	0.8162

	ซังข้าวโพด	0.077	5.028	0.151	0.9123
	เกลือบ	0.018	3.403	0.048	0.7241
30	ต้นถั่วเหลือง	0.310	4.751	0.634	0.9339
	ตอซังข้าว	0.109	3.433	0.294	0.9675
	ซังข้าวโพด	0.094	5.896	0.167	0.9376
	เกลือบ	0.015	2.913	0.050	0.7224
35	ต้นถั่วเหลือง	0.344	5.227	0.659	0.9166
	ตอซังข้าว	0.184	5.480	0.343	0.8572
	ซังข้าวโพด	0.073	3.664	0.185	0.8975
	เกลือบ	0.073	3.664	0.185	0.8975
40	ต้นถั่วเหลือง	0.397	6.845	0.652	0.7493
	ตอซังข้าว	0.177	4.904	0.355	0.8611
	ซังข้าวโพด	0.045	2.225	0.210	0.9373
	เกลือบ	0.012	2.337	0.052	0.9818
45	ต้นถั่วเหลือง	0.409	7.042	0.663	0.8884
	ตอซังข้าว	0.175	4.320	0.384	0.7573
	ซังข้าวโพด	0.043	2.125	0.214	0.9396
	เกลือบ	0.010	2.131	0.051	0.9316

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาตัวกลางทั้ง 4 ชนิดที่อุณหภูมิทั้ง 5 ค่า จะพบว่าความสามารถในการดูดติดมีลักษณะเหมือนกันในทุกอุณหภูมิกล่าวคือมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่า X/M ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด พบว่าสามารถเรียงลำดับความสามารถในการดูดติดได้ RR-124 จากมากไปน้อยได้เป็นตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ซังข้าวโพด และเกลือบ ตามลำดับ

จากการทดลองการดูดติด RR-141 โดยใช้ตัวกลางทั้ง 4 ชนิด แล้วนำข้อมูลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir และ Freundlich ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45°C พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับเมื่อพิจารณาการดูดติดของ RR-124 กล่าวคือให้ความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกับสมมติฐานของ Langmuir มากกว่า ดังนั้นจึงเลือกใช้สมการ Langmuir ในการพิจารณาลักษณะของการดูดติดของ RR-141 ทั้งหมด ทุกอุณหภูมิ จากการทดลองพบว่าการดูดติดเมื่อใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง มีค่าคงที่ a มากและน้อยที่สุดคือ 0.879 มก./ล. ที่ 45°C และ 0.765 มก./ล. ที่ 25°C ตามลำดับ ส่วนตัวกลางตอซังข้าวพบว่า มีค่าคงที่ a มากและน้อยที่สุดคือ 0.542 มก./ล. ที่ 45°C

และ 0.450 มก./ล. ที่ 30°C ตามลำดับ สำหรับตัวกลางซังข้าวโพด มีค่าคงที่ a มากและน้อยที่สุดคือ 0.175 มก./ล. ที่ 40°C และ 0.108 มก./ล. ที่ 30°C ตามลำดับ และตัวกลางเกลบมีค่าคงที่ a มากและน้อยที่สุดคือ 0.055 มก./ล. ที่ 45°C และ 0.041 มก./ล. ที่ 40°C ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าคงที่ a ภายในตัวกลางชนิดเดียวกันพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังได้ว่า ตัวกลางต้นถั่วเหลืองมีค่า X/M สูงสุดและต่ำสุดคือ 0.872 มก./ล. ที่ 45°C และ 0.751 มก./ล. ที่ 25°C ตามลำดับ ตัวกลางต่อซังข้าวโพด มีค่า X/M สูงสุดและต่ำสุดคือ 0.508 มก./ล. ที่ 45°C และ 0.418 มก./ล. ที่ 25°C ตามลำดับ ส่วนตัวกลางซังข้าวโพด มีค่า X/M สูงสุดและต่ำสุดคือ 0.128 มก./ล. ที่ 45°C และ 0.094 มก./ล. ที่ 25°C ตามลำดับ สำหรับตัวกลางเกลบมีค่า X/M สูงสุดและต่ำสุดคือ 0.032 มก./ล. ที่ 45°C และ 0.031 มก./ล. ที่ 25°C ตามลำดับ โดยพบว่าค่า X/M มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งก็ให้ผลเช่นเดียวกับการดูดติดสี RR-124 จึงอาจเป็นไปได้ว่าปฏิกิริยาดังกล่าวอาจเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน หรืออาจเกิดจากการหลุดออกของตัวกลางทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการพิจารณาการดูดติดของสี RR-124 ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปค่าคงที่ตามสมการของ Langmuir และ Freundlich ในการดูดติดสี RR-141 ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ที่อุณหภูมิ 5 ค่าวิเคราะห์โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ ดังแสดงผลการหาค่าคงที่ ค่า X/M และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir ในตารางที่ 4.5 และตามสมการของ Freundlich ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ค่าคงที่ตามสมการของ Langmuir ค่าความสามารถในการดูดติด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45 °C ของสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางตัวกลางต้นถั่วเหลือง และต่อซังข้าวโพด ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม เท่ากัน ส่วนตัวกลางซังข้าวโพดใช้ปริมาณ 2 3 4 5 และ 6 กรัม และตัวกลางเกลบใช้ปริมาณ 3 4 5 6 และ 7 กรัม วิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยจาก 3 ชุดข้อมูล)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวกลาง	ค่าคงที่		X/M (มก./ล.)	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ (R^2)
		a (มก./ล.)	b (ล./มก.)		
25	ต้นถั่วเหลือง	0.765	1.822	0.751	0.9935
	ต่อซังข้าวโพด	0.452	0.414	0.418	0.9897
	ซังข้าวโพด	0.164	0.045	0.094	0.9270
	เกลบ	0.045	0.071	0.031	0.9532

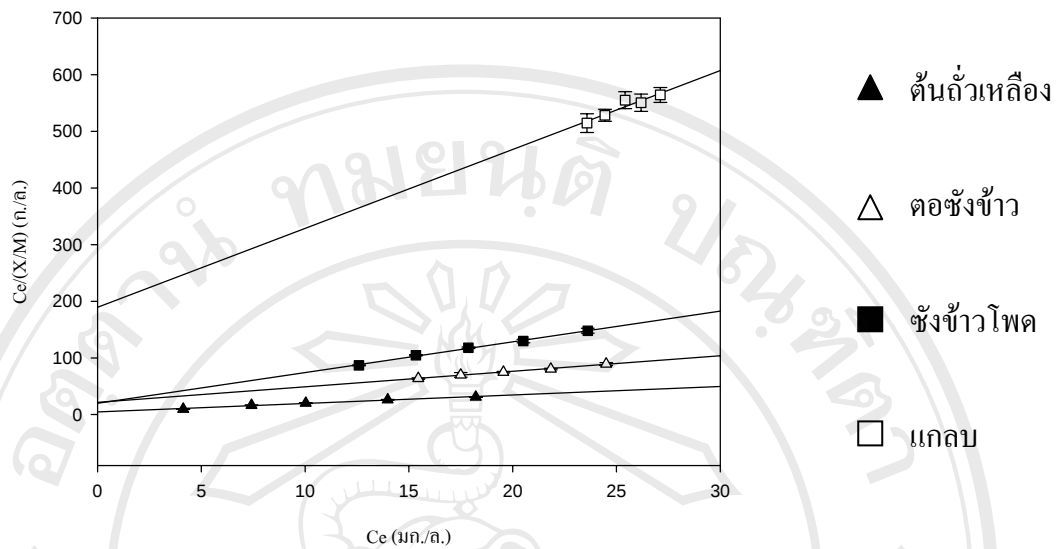
30	ดินถั่วเหลือง	0.835	1.174	0.812	0.9930
	ตอซังข้าว	0.450	0.484	0.421	0.9947
	ซังข้าวโพด	0.108	0.468	0.101	0.9970
	แกลบ	0.048	0.060	0.031	0.9692
35	ดินถั่วเหลือง	0.848	2.086	0.834	0.9951
	ตอซังข้าว	0.454	0.665	0.433	0.9958
	ซังข้าวโพด	0.170	0.065	0.112	0.9411
	แกลบ	0.055	0.046	0.032	0.9846
40	ดินถั่วเหลือง	0.871	4.506	0.864	0.9996
	ตอซังข้าว	0.472	0.750	0.452	0.9929
	ซังข้าวโพด	0.175	0.066	0.116	0.9063
	แกลบ	0.041	0.102	0.031	0.9625
45	ดินถั่วเหลือง	0.879	3.998	0.872	0.9993
	ตอซังข้าว	0.542	0.495	0.508	0.9871
	ซังข้าวโพด	0.162	0.129	0.128	0.9891
	แกลบ	0.054	0.049	0.032	0.9574

ตารางที่ 4.6 ค่าคงที่ตามสมการของ Freundlich ค่าความสามารถในการดูดติด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45 °C ของสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางตัวกลางดินถั่วเหลือง และตอซังข้าว 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)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวกลาง	ค่าคงที่		X/M (มก./ก.)	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ (R ²)
		K (มก./ก.)	n		
25	ดินถั่วเหลือง	0.533	7.734	0.828	0.8739
	ตอซังข้าว	0.270	7.508	0.424	0.7871
	ซังข้าวโพด	0.018	2.070	0.095	0.9210
	แกลบ	0.010	2.888	0.031	0.8421
30	ดินถั่วเหลือง	0.521	6.169	0.904	0.8641
	ตอซังข้าว	0.281	8.091	0.428	0.8517

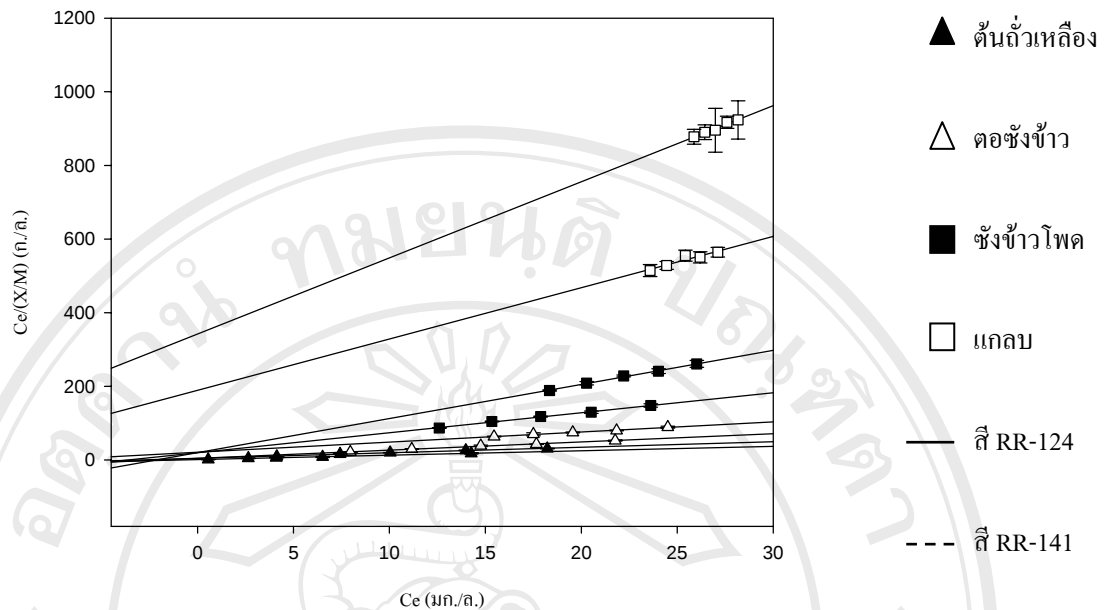
	ซังข้าวโพด	0.076	11.751	0.101	0.7633
	แกลบ	0.009	2.627	0.031	0.9225
35	ต้นถั่วเหลือง	0.574	6.423	0.975	0.8620
	ตอซังข้าว	0.306	9.174	0.443	0.7597
	ซังข้าวโพด	0.027	2.376	0.114	0.8763
	แกลบ	0.007	2.224	0.032	0.9760
40	ต้นถั่วเหลือง	0.659	8.547	0.981	0.9702
	ตอซังข้าว	0.345	12.331	0.455	0.7507
	ซังข้าวโพด	0.028	2.338	0.118	0.8148
	แกลบ	0.013	3.706	0.031	0.7652
45	ต้นถั่วเหลือง	0.667	9.452	0.956	0.9643
	ตอซังข้าว	0.321	6.959	0.523	0.7887
	ซังข้าวโพด	0.051	3.656	0.130	0.9277
	แกลบ	0.007	2.295	0.032	0.9296

สำหรับการดูดติดสี RR-141 ให้ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดติดสี ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ที่อุณหภูมิทั้ง 5 ค่า เหมือนกับการดูดติดสี RR-124 กล่าวคือเรียงความสามารถในการดูดติดจากมากไปน้อยได้เป็นตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ซังข้าวโพด และแกลบ ซึ่งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir ในการดูดติดสี RR-124 ด้วยตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ซังข้าวโพด และแกลบ ที่อุณหภูมิ 30°C พบว่าค่าความชันของเส้นแนวโน้มของตัวกลางต้นถั่วเหลืองมีค่าน้อยที่สุด โดยค่าความชันจากความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir คือค่า $1/a$ แสดงว่ามีค่าคงที่ a มากที่สุด ในทำนองเดียวกันเมื่อมีความชันสูงก็จะมีค่าคงที่ a น้อย ดังแสดงในรูป 4.7 จะเห็นว่าเมื่อเรียงลำดับความชันจากน้อยไปมากได้เป็นตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ซังข้าวโพด และแกลบ ซึ่งจะได้ค่าคงที่ a เรียงจากมากไปน้อยได้เป็นตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ซังข้าวโพด และแกลบ เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ผลการพิจารณาจากกราฟก็สอดคล้องกับค่า X/M ที่หาได้จากการทดลองด้วย และสำหรับการดูดติดของสี RR-124 และ RR-141 ที่อุณหภูมิอื่นๆ ก็ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน กล่าวคือสามารถเรียงลำดับค่า X/M ของตัวกลางต่างๆ จากมากไปน้อยได้ดังนี้ ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ซังข้าวโพด และแกลบ แสดงให้เห็นว่าต้นถั่วเหลืองมีความสามารถในการดูดติดสูงกว่าตัวกลางชนิดอื่น ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าตัวกลางต้นถั่วเหลือง และตอซังข้าวมีความพรุนสูง อีกทั้งลักษณะทางกายภาพที่ผิวโครงสร้างค่อนข้างอ่อนนุ่ม จึงสามารถเก็บกักน้ำเข้าไปเก็บในรูพรุนได้มากกว่า ส่งผลให้ความสามารถในการดูดติดมีค่ามากกว่าตัวกลางซังข้าวโพดและแกลบ



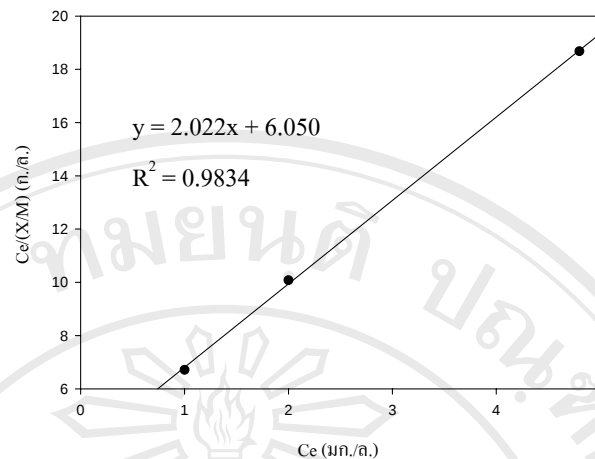
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $Ce/(X/M)$ และ Ce ตามสมการของ Langmuir ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง และตอซังข้าว ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม ตัวกลางซังข้าวโพด ปริมาณ 2 3 4 5 และ 6 กรัม และตัวกลางแกลบปริมาณ 3 4 5 6 และ 7 กรัม ใช้เวลาสัมผัส 3 3 4 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 30°C วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 3 ชุด)

ในการทำงานเดียวกันเมื่อพิจารณาตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir ในการดูดซับโดยดูดซับสี RR-124 และ RR-141 ด้วยตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ซังข้าวโพด และแกลบ ที่อุณหภูมิ 30°C เพื่อเทียบการดูดซับของสีทั้ง 2 ชนิด บนตัวกลางทั้ง 4 ชนิด พบว่า ตัวกลางแกลบ และซังข้าวโพดมีความสามารถในการดูดซับสี RR-124 ได้ดีกว่า ส่วนตัวกลางตอซังข้าว และซังข้าวโพดดูดซับสี RR-141 ได้ดีกว่า ซึ่งจากการทดลองที่อุณหภูมิ 25 35 40 และ 45 °C ก็ให้ผลเช่นเดียวกันทั้งหมด ดังแสดงกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวในรูปที่ 4.8



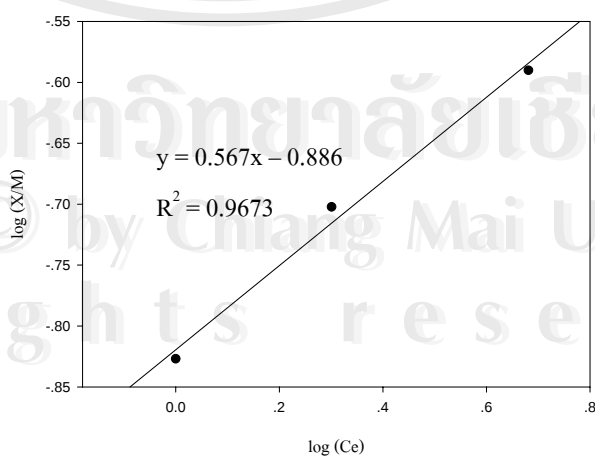
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง $Ce/(X/M)$ และ Ce ตามสมการของ Langmuir ของสี่ RR-124 และ RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง และตอซังข้าว ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม ตัวกลางซังข้าวโพด ปริมาณ 2 3 4 5 และ 6 กรัม และตัวกลางแกลบปริมาณ 3 4 5 6 และ 7 กรัม ใช้เวลาสัมผัส 3 3 4 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 30°C วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง(ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 3 ชุด)

นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ด้วยการหาค่าที่ไอซี โดยใช้ตัวอย่างเดิมคือ การดูดติดสี่ RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ที่ไอซี/ล. ด้วยตัวกลางต้นถั่วเหลือง ปริมาณตัวกลาง 1 2 3 4 และ 5 กรัม ใช้เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30°C วัดความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสี่ แล้วนำข้อมูลความเข้มข้นที่เหลืออยู่มาเขียนความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir และ Freundlich เพื่อหาค่าคงที่ และความสามารถในการดูดติด โดยเขียนกราฟตามความสัมพันธ์ของ Langmuir พบว่ากราฟความสัมพันธ์ของ $\frac{Ce}{X/M}$ กับ Ce เป็นความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์มีค่า 0.9834 ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1) ได้จุดตัดแกน y มีค่า 6.050 และความชัน มีค่า 2.022 จากนั้นนำค่าจุดตัดแกน y และความชันมาคำนวณหาค่าคงที่ a b และค่า X/M จะได้ค่า 0.495 มก.ที่ไอซี/ก. 0.334 ล./มก.ที่ไอซี และ 0.450 มก.ที่ไอซี/ก. ตามลำดับ ซึ่งได้แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวดังในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง $Ce/(X/M)$ กับ Ce ตามสมการของ Langmuir ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ทีโอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางดินถั่วเหลือง ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม ใช้เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30°C วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีโอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

ในทำนองเดียวกัน นำข้อมูลความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสีมาเขียนความสัมพันธ์ตามสมการของ Freundlich เพื่อหาค่าคงที่ K_n และค่า X/M ของตัวกลาง โดยเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log Ce$ กับ $\log(X/M)$ พบว่ากราฟ มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง(เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์มีค่า 0.9173 ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1) และได้จุดตัดแกน y มีค่า -0.0886 และความชันมีค่า 0.567 จากนั้นนำค่าจุดตัดแกน y และความชันมาคำนวณหาค่าคงที่ K_n และค่า X/M จะได้ค่า 0.130 มก.ทีโอซี/ก. 1.764 และ 0.896 มก.ทีโอซี/ก. ตามลำดับ ซึ่งแสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวดังในรูปที่ 4.10



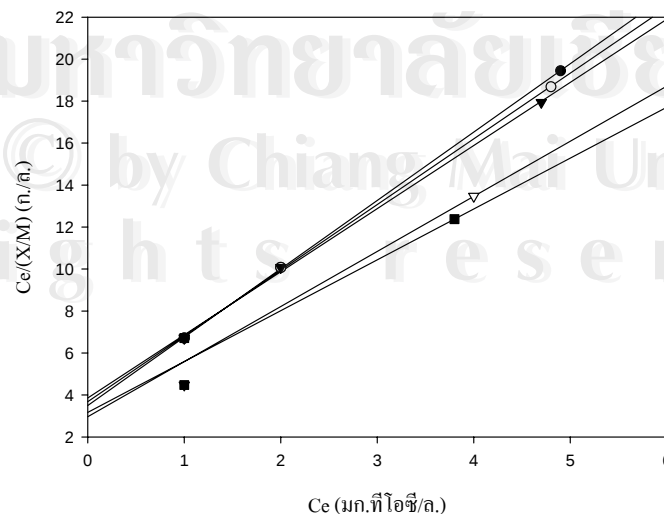
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(X/M)$ และ $\log(Ce)$ ตามสมการของ Freundlich ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ทีโอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางดินถั่วเหลือง ปริมาณ 1 2 3

4 และ 5 กรัม เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง อุณหภูมิ 30°C วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าที่ไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

สำหรับกราฟแสดงความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir และ Freundlich ค่าคงที่ต่าง ๆ และ X/M ของการดูดซับ RR-124 และ RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 และ 10.89 ± 0.2 มก.ที่ไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ชังข้าวโพด และแกลบ ที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งวัดความเข้มข้นจากการวัดค่าที่ไอซี แสดงไว้ในรูปที่ 4-17-32 ในภาคผนวก ง.

เมื่อนำผลการทดลองดูดซับ RR-124 โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir และ Freundlich ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45°C พบว่าลักษณะความสัมพันธ์เหมือนกับการวิเคราะห์ด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งก็น่าจะมาจากเหตุผลเดียวกัน ดังได้กล่าวมาแล้ว จึงเลือกใช้สมการ Langmuir ในการพิจารณาลักษณะของการดูดซับทั้งหมด

เมื่อพิจารณาการดูดซับของการดูดซับ RR-124 โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 5 ค่า ในรูปที่ 4.11 จากกราฟจะเห็นว่ามีความชันมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และจุดตัดแกน y ใกล้เคียงกันซึ่งจะได้ค่าคงที่ a มีค่า 0.469 มก.ที่ไอซี/ก. ที่ 25°C 0.495 มก.ที่ไอซี/ก. ที่ 30°C 0.505 มก.ที่ไอซี/ก. ที่ 35°C 0.471 มก.ที่ไอซี/ก. ที่ 40°C และ 0.462 มก.ที่ไอซี/ก. ที่ 45°C ตามลำดับ และ X/M มีค่า 0.421 มก.ที่ไอซี/ก. ที่ 25°C 0.450 มก.ที่ไอซี/ก. ที่ 30°C 0.467 มก.ที่ไอซี/ก. ที่ 35°C 0.449 มก.ที่ไอซี/ก. และ 0.449 มก.ที่ไอซี/ก. ที่ 45°C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นค่าคงที่ a และค่า X/M มีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ดังแสดงกราฟความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir ของตัวกลางต้นถั่วเหลืองที่อุณหภูมิต่างๆ โดยมีค่า X/M มากที่สุดที่อุณหภูมิ 45°C



สัญลักษณ์	อุณหภูมิ (°C)	สมการ	R ²	a	b	X/M
◆	25	$y = 2.132x + 7.254$	0.9296	0.469	0.294	0.421
○	30	$y = 2.022x + 6.050$	0.9838	0.495	0.334	0.450
▼	35	$y = 1.981x + 4.758$	0.9612	0.505	0.416	0.467
▽	40	$y = 2.122x + 3.126$	0.9775	0.471	0.679	0.449
■	45	$y = 2.163x + 1.945$	0.9967	0.462	1.112	0.449

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง $Ce/(X/M)$ และ Ce ตามสมการของ Langmuir ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ทีไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม ที่เวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

สำหรับการทดลองโดยใช้ตัวกลางต่อซังข้าว ชังข้าวโพด และแกลบ ในการดูดติดสี RR-124 พบว่าที่อุณหภูมิ ทั้ง 5 ค่า ใช้สมมุติฐานของ Langmuir ในการพิจารณาการดูดติดได้ดีทั้งหมด โดยมีเหตุผลเช่นเดียวกับตัวกลางต้นถั่วเหลือง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จากการทดลองโดยใช้ตัวกลางต่อซังข้าวพบว่า มีค่าคงที่ a มากและน้อยที่สุดคือ 0.413 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 45 °C และ 0.307 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 25°C ตามลำดับ ส่วนตัวกลางซังข้าวโพด มีค่าคงที่ a มากและน้อยที่สุดคือ 0.161 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 35°C และ 0.147 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 25°C ตามลำดับ สำหรับตัวกลางแกลบมีค่าคงที่ a มากและน้อยที่สุดคือ 0.104 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 45°C และ 0.071 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 25°C ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ว่า ตัวกลางต่อซังข้าวพบว่า มีค่า X/M สูงสุดและต่ำสุดคือ 0.395 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 45°C และ 0.296 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 25°C ตามลำดับ ส่วนตัวกลางซังข้าวโพด มีค่า X/M สูงสุดและต่ำสุดคือ 0.153 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 45°C และ 0.136 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 25°C ตามลำดับ สำหรับตัวกลางแกลบมีค่า X/M สูงสุดและต่ำสุดคือ 0.101 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 45°C และ 0.070 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 25°C ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าคงที่ a ภายในตัวกลางชนิดเดียวกันพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละอุณหภูมิ และค่า X/M มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จึงอาจจะเป็นไปได้ว่าปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน หรืออาจเป็นเพราะการหรืออาจเกิดจากการหลุดออกของตัวกลางทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น แต่ถึงอย่างไรก็ตามแม้พื้นที่ผิวของตัวกลางจะเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อค่าความสามารถในการดูดติด แต่ก็มีปัจจัยอื่นประกอบในการพิจารณาด้วย เช่นขนาดรูพรุน ลักษณะรูปแบบของรูพรุน การกระจายตัวของรูพรุน ขนาดของอนุภาคที่ถูกดูดติด และลักษณะเฉพาะตัวของอนุภาคที่ถูกดูดติด ซึ่งปัจจัยต่างๆ นี้เองทำให้การพิจารณาความสามารถในการดูดติดสีไม่สามารถใช้เพียงขนาดพื้นที่ผิวของตัวกลางมาได้เพียงอย่างเดียว

ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปค่าคงที่ตามสมการของ Langmuir และ Freundlich ในการดูดซับ RR-124 ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ที่อุณหภูมิ 5 ค่าวิเคราะห์โดยวัดค่าที่ไอซีได้ ดังแสดงผลการหาค่าคงที่ ค่า X/M และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir ในตารางที่ 4.7 และตามสมการของ Freundlich ในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ค่าคงที่ตามสมการของ Langmuir ค่าความสามารถในการดูดซับ 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)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวกลาง	ค่าคงที่		X/M (มก.ที่ไอซี/ก.)	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ (R^2)
		a (มก.ที่ไอซี/ก.)	b (ล./มก.ที่ไอซี)		
25	ต้นถั่วเหลือง	0.469	0.294	0.421	0.9296
	ต่อซังข้าว	0.307	0.930	0.296	0.9990
	ซังข้าวโพด	0.147	0.415	0.136	0.9997
	แกลบ	0.071	2.637	0.070	0.9869

30	ดินถั่วเหลือง	0.495	0.334	0.450	0.9834
	ตอซังข้าว	0.319	0.852	0.307	0.9996
	ซังข้าวโพด	0.152	0.492	0.143	0.9994
	แกลบ	0.085	1.250	0.083	0.9995
35	ดินถั่วเหลือง	0.505	0.416	0.467	0.9612
	ตอซังข้าว	0.332	0.765	0.319	0.9990
	ซังข้าวโพด	0.161	0.546	0.152	0.9961
	แกลบ	0.088	1.290	0.085	0.9934
40	ดินถั่วเหลือง	0.471	0.679	0.449	0.9775
	ตอซังข้าว	0.381	0.885	0.367	0.9429
	ซังข้าวโพด	0.148	1.135	0.144	0.9742
	แกลบ	0.096	1.130	0.093	0.9945
45	ดินถั่วเหลือง	0.462	1.112	0.449	0.9967
	ตอซังข้าว	0.413	0.765	0.395	0.9246
	ซังข้าวโพด	0.158	1.202	0.153	0.9776
	แกลบ	0.104	1.062	0.101	0.9989

ตารางที่ 4.8 ค่าคงที่ตามสมการของ Freundlich ค่าความสามารถในการดูดซับ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45°C ของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก. ทีไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางตัวกลางดินถั่วเหลือง และตอซังข้าว 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 วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวกลาง	ค่าคงที่		X/M (มก.ทีไอซี/ก.)	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ (R^2)
		K (มก.ทีไอซี/ก.)	n		
25	ดินถั่วเหลือง	0.110	1.760	0.797	0.9107
	ตอซังข้าว	0.152	3.053	0.464	0.9841
	ซังข้าวโพด	0.050	2.398	0.208	0.9871
	แกลบ	0.053	7.321	0.085	0.5180

30	ดินถั่วเหลือง	0.130	1.764	0.896	0.9173
	ตอซังข้าว	0.152	2.896	0.491	0.9906
	ซังข้าวโพด	0.057	2.475	0.224	0.9807
	แกลบ	0.052	4.647	0.108	0.9552
35	ดินถั่วเหลือง	0.152	1.823	0.980	0.9297
	ตอซังข้าว	0.151	2.753	0.519	0.9952
	ซังข้าวโพด	0.062	2.455	0.248	0.9564
	แกลบ	0.055	5.173	0.107	0.9696
40	ดินถั่วเหลือง	0.152	1.823	0.980	0.9297
	ตอซังข้าว	0.183	2.847	0.603	0.6580
	ซังข้าวโพด	0.082	3.878	0.198	0.9494
	แกลบ	0.056	4.316	0.123	0.9893
45	ดินถั่วเหลือง	0.228	2.314	0.991	0.9523
	ตอซังข้าว	0.183	2.567	0.687	0.6867
	ซังข้าวโพด	0.087	3.687	0.220	0.9656
	แกลบ	0.058	3.700	0.145	0.9988

จากการทดลองพบว่าการดูดซับเมื่อใช้ตัวกลางดินถั่วเหลือง มีค่าคงที่ a มากและน้อยที่สุดคือ 0.645 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 25°C และ 0.467 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 35°C ตามลำดับ ส่วนตัวกลางตอซังข้าว พบว่า มีค่าคงที่ a มากและน้อยที่สุดคือ 0.458 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 45°C และ 0.302 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 25°C ตามลำดับ สำหรับตัวกลางซังข้าวโพด มีค่าคงที่ a มากและน้อยที่สุดคือ 0.179 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 40°C และ 0.145 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 25°C ตามลำดับ และตัวกลางแกลบมีค่าคงที่ a มากและน้อยที่สุดคือ 0.102 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 40°C และ 0.088 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 25°C ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ตัวกลางดินถั่วเหลืองมีค่า X/M สูงสุดและต่ำสุดคือ 0.513 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 25°C และ 0.435 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 35°C ตามลำดับ ตัวกลางตอซังข้าว มีค่า X/M สูงสุดและต่ำสุดคือ 0.438 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 45°C และ 0.294 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 25°C ตามลำดับ ส่วนตัวกลางซังข้าวโพด มีค่า X/M สูงสุดและต่ำสุดคือ 0.170 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 40°C และ 0.136 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 25°C ตามลำดับ สำหรับตัวกลางแกลบมีค่า X/M สูงสุดและต่ำสุดคือ 0.099 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 45°C และ 0.083 มก.ทีไอซี/ล. ที่ 25°C ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าคงที่ a ภายในตัวกลางชนิดเดียวกันพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิค่าคงที่ a มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ส่วนค่า X/M มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ยกเว้นตัวกลางดินถั่วเหลืองซึ่งเมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำให้ค่า X/M ลดลง จึงน่าจะเป็นไปได้ว่าเมื่อเพิ่มเวลาสัมผัสขนาดของตัวกลางอาจมีการหลุดออกจากกันทำให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็

ตามการพิจารณาที่ไม่สามารถใช้เพียงพื้นที่ผิวเพียงอย่างเดียว ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ในการดูดติดของตัวกลางจากวัสดุธรรมชาติสมบัติของตัวกลางน่าจะเป็นปัจจัยหลักต่อค่าความสามารถในการดูดติด

จากการทดลองหาค่า X/M โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงกับวัดค่าที่ไอซีให้ผลการวิเคราะห์ไม่เหมือนกัน ก็น่าจะมาจากการถูกรบกวนการวัดค่าที่ไอซีจากสีธรรมชาติ และการปนเปื้อนของตัวกลาง นอกจากนี้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ใช้ค่าความยาวคลื่นที่ตำแหน่งเดียว (สี RR-124 และ RR-141 ใช้ความยาวคลื่นที่ 514 และ 544 นาโนเมตรตามลำดับ) ซึ่งอาจถูกรบกวนจากสีธรรมชาติของตัวกลางที่หลุดออกมาเช่นเดียวกัน และจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทั้งสองก็พบว่ามีความสัมพันธ์กันแบบไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งได้กล่าวไปแล้วข้างต้น นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่า X/M จากการวิเคราะห์ทั้งสองพารามิเตอร์ พบว่า ตัวกลางต้นถั่วเหลือง และซังข้าวโพดเมื่อวัดด้วยค่าที่ไอซีมีค่า X/M มากกว่าเมื่อวัดจากการดูดกลืนแสง ซึ่งก็น่าจะมาจากเหตุผลเดียวกัน และจากการทดลองสามารถสรุปค่าคงที่ตามสมการของ Langmuir และ Freundlich ในการดูดติดสี RR-141 ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ที่อุณหภูมิ 5 ค่าวิเคราะห์โดยวัดค่าที่ไอซีได้ ดังแสดงผลการหาค่าคงที่ ค่า X/M และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir ในตารางที่ 4.9 และตามสมการของ Freundlich ในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 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)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวกลาง	ค่าคงที่		X/M (มก.ที่ไอซี/ก.)	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ (R^2)
		a (มก.ที่ไอซี/ก.)	b (ล./มก.ที่ไอซี)		
25	ต้นถั่วเหลือง	0.645	0.130	0.513	0.9900
	ต่อซังข้าว	0.302	1.277	0.294	0.9994
	ซังข้าวโพด	0.145	0.502	0.136	0.9887
	แกลบ	0.088	0.625	0.083	0.9605
30	ต้นถั่วเหลือง	0.591	0.212	0.511	0.9906

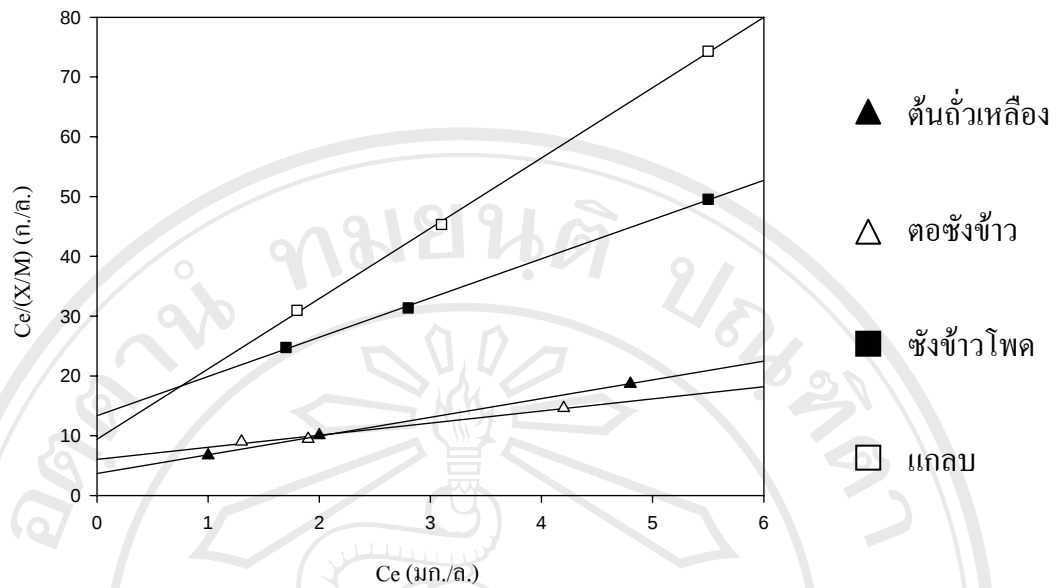
	ตอซังข้าว	0.312	1.170	0.303	0.9997
	ซังข้าวโพด	0.169	0.416	0.156	0.9694
	แกลบ	0.097	0.489	0.091	0.9933
35	ต้นถั่วเหลือง	0.467	0.456	0.435	0.9368
	ตอซังข้าว	0.322	1.075	0.313	0.9998
	ซังข้าวโพด	0.170	0.536	0.160	0.9666
	แกลบ	0.095	0.741	0.091	0.9997
40	ต้นถั่วเหลือง	0.511	0.430	0.474	0.9041
	ตอซังข้าว	0.442	0.812	0.424	0.9414
	ซังข้าวโพด	0.179	0.622	0.170	0.9724
	แกลบ	0.102	0.872	0.098	0.9979
45	ต้นถั่วเหลือง	0.531	0.470	0.496	0.9474
	ตอซังข้าว	0.458	0.761	0.438	0.9334
	ซังข้าวโพด	0.176	0.944	0.170	0.9894
	แกลบ	0.101	1.374	0.099	0.9995

ตารางที่ 4.10 ค่าคงที่ตามสมการของ Freundlich ค่าความสามารถในการดูดซับ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่อุณหภูมิ 25 30 35 40 และ 45 °C ของสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.89 ± 0.2 มก.ทีไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางตัวกลางตอซังข้าว 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 วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวกลาง	ค่าคงที่		X/M (มก.ทีไอซี/ก.)	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ (R^2)
		K (มก.ทีไอซี/ก.)	n		
25	ต้นถั่วเหลือง	0.085	1.475	0.850	0.9999
	ตอซังข้าว	0.172	3.754	0.426	0.9321
	ซังข้าวโพด	0.057	2.729	0.198	0.9038
	แกลบ	0.042	3.482	0.111	0.6772
30	ต้นถั่วเหลือง	0.113	1.608	0.940	0.9858
	ตอซังข้าว	0.171	3.556	0.446	0.9474
	ซังข้าวโพด	0.058	2.364	0.242	0.8666

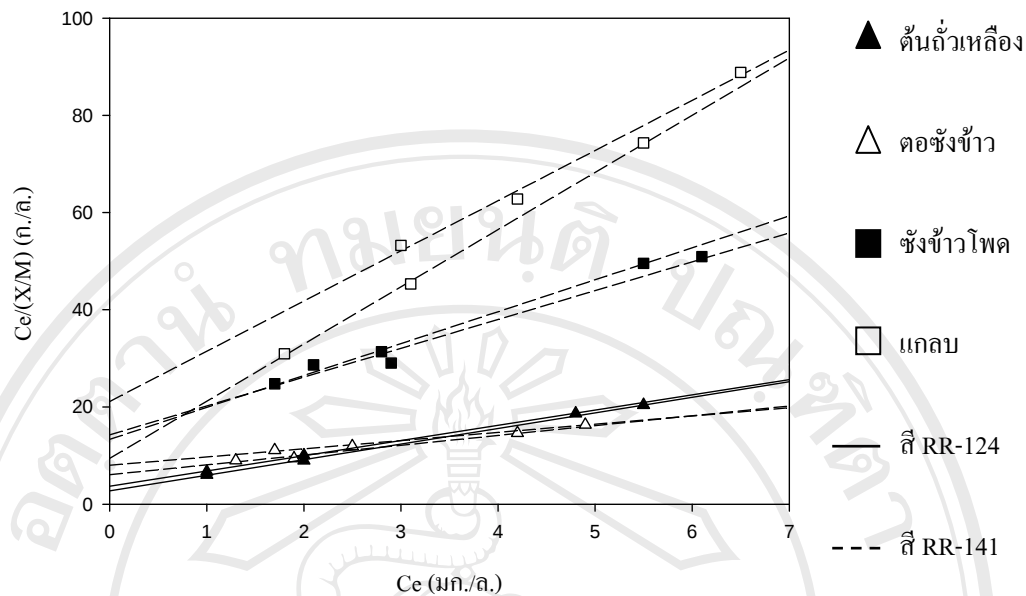
	แกลบ	0.040	3.019	0.124	0.9368
35	ต้นถั่วเหลือง	0.157	2.143	0.769	0.7794
	ตอซังข้าว	0.171	3.376	0.467	0.9600
	ซังข้าวโพด	0.067	2.581	0.248	0.8053
	แกลบ	0.049	3.750	0.120	0.9774
40	ต้นถั่วเหลือง	0.162	2.004	0.886	0.8108
	ตอซังข้าว	0.202	2.714	0.202	0.7068
	ซังข้าวโพด	0.075	2.630	0.272	0.8105
	แกลบ	0.054	3.740	0.134	0.9381
45	ต้นถั่วเหลือง	0.174	1.954	0.991	0.8837
	ตอซังข้าว	0.202	2.594	0.749	0.6985
	ซังข้าวโพด	0.087	3.028	0.268	0.8338
	แกลบ	0.064	4.847	0.128	0.9965

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดติดสี RR-124 และ RR-141 ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ที่อุณหภูมิทั้ง 5 ค่า พบว่าให้ผลการทดลองคล้ายกัน กล่าวคือตัวกลางต้นถั่วเหลืองมีความสามารถในการดูดติดสูงสุด และเรียงลำดับความสามารถในการดูดติดจากมากไปน้อยได้เป็นตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ซังข้าวโพด และแกลบ ซึ่งแสดงตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir ในการดูดติดโดยดูดติดสี RR-124 ด้วยตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ซังข้าวโพด และแกลบ ที่อุณหภูมิ 30°C พบว่าค่าความชันของเส้นแนวโน้มของตัวกลางต้นถั่วเหลืองมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งค่าความชันจากความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir คือค่า $1/a$ แสดงว่ามีค่าคงที่ a มากที่สุด ในทำนองเดียวกันเมื่อมีความชันสูงก็จะมีค่าคงที่ a น้อย ดังแสดงในรูป 4.12 จะเห็นว่าเมื่อเรียงลำดับความชันจากน้อยไปมากได้เป็นตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ซังข้าวโพด และแกลบ ซึ่งก็มีค่าคงที่ a เรียงจากมากไปน้อยจะได้เป็นตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ซังข้าวโพด และแกลบ เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ก็สอดคล้องกับค่า X/M ที่หาได้จากการทดลองด้วยและสำหรับการดูดติดของสี RR-124 และ RR-141 ที่อุณหภูมิอื่นๆ ก็ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน กล่าวคือสามารถเรียงลำดับค่าคงที่ a และค่า X/M ของตัวกลางต่างๆ จากมากไปน้อยได้ดังนี้ ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ซังข้าวโพด และแกลบ แสดงให้เห็นว่าต้นถั่วเหลืองมีความสามารถในการดูดติดสูงกว่าตัวกลางชนิดอื่น ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุเดียวกับการวิเคราะห์โดยการดูดกลืนแสงดังได้กล่าวไว้แล้ว



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง $Ce/(X/M)$ และ Ce ตามสมการของ Langmuir ของถี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ทีโอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง และตอซังข้าว 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 วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีโอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

เมื่อพิจารณาตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir ในการดูดซับโดยดูดซับถี RR-124 และ RR-141 ด้วยตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ซังข้าวโพด และแกลบ ที่อุณหภูมิ 30°C เพื่อเทียบการดูดซับของถีทั้ง 2 ชนิด บนตัวกลางทั้ง 4 ชนิด พบว่าตัวกลางต้นถั่วเหลือง ซังข้าวโพด และแกลบ มีความสามารถในการดูดซับถี RR-141 ได้ดีกว่า ส่วนตัวกลางตอซังข้าวดูดซับถี RR-124 ได้ดีกว่า ซึ่งแสดงรูปความสัมพันธ์ดังกล่าวในรูปที่ 4.13 สำหรับการทดลองที่อุณหภูมิอื่นๆ ให้ผลการทดลองคือ ตัวกลางต้นถั่วเหลืองสามารถดูดซับถี RR-141 ได้ดีกว่าที่ทุกอุณหภูมิ ยกเว้นที่อุณหภูมิ 45°C ตัวกลางตอซังข้าวดูดซับถี RR-124 ได้ดีกว่ายกเว้นที่อุณหภูมิ 40°C และ 45°C สำหรับตัวกลางซังข้าวโพดดูดซับถี RR-141 ได้ดีกว่ายกเว้นที่อุณหภูมิ 25°C และตัวกลางแกลบดูดซับถี RR-141 ได้ดีกว่ายกเว้นที่อุณหภูมิ 45°C



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง $Ce/(X/M)$ และ Ce ตามสมการของ Langmuir ของสี RR-124 และ RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 และ 10.89 ± 0.2 มก.ทีโอซี/ล. ตามลำดับ โดยใช้ ตัวกลางต้นถั่วเหลือง และดอกชังข้าว ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 กรัม ตัวกลางชังข้าวโพด 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 วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีโอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

นอกจากนี้การดูดซับโดยสมการของ Langmuir ยังสามารถอธิบายเพิ่มเติมด้วยค่าคงที่ไร้มิติ R_L (Dimensionless constant) ที่แสดงรูปร่างของไอโซเทอมไว้ ดังสมการที่ 4.3

$$R_L = \frac{1}{1 + bC_0} \quad (4.3)$$

เมื่อ C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของมลสาร (มก./ล.)

b = ค่าคงที่จากสมการ Langmuir (ล./มก.)

ปัจจัยที่บ่งชี้ รูปร่างของไอโซเทอมตามสมการ มีดังนี้

$R_L > 1$ ไม่ชอบการดูดซับ (Unfavourable)

$R_L = 1$ เส้นตรง (Linear)

$0 < R_L < 1$ ชอบการดูดซับ (Favourable)

$R_L = 0$ ปฏิกริยาย้อนกลับไม่ได้ (Irreversible)

เมื่อนำค่าคงที่ b จากสมการของ Langmuir ที่หาได้จากการทดลองมาหาค่า R_L ซึ่งจะแสดงถึงความสามารถในการดูดซับได้ ซึ่งหากพิจารณาจากสมการแล้วจะพบว่าเมื่อค่า b มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า R_L มีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาค่า b จากสมการของ Langmuir ดังแสดงในสมการที่ 4.1 เมื่อให้ค่า a และ C_e มีค่าคงที่ จะพบว่าเมื่อ b มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า X/M มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า ค่า X/M มีค่าแปรผันตรงกับ ค่า b และแปรผกผันกับค่า R_L กล่าวคือ เมื่อ R_L มีค่าน้อย X/M จะมีค่ามาก ดังแสดงตารางเปรียบเทียบค่า R_L กับค่า X/M ของการดูดซับดี RR-124 และ RR-124 โดยตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ที่อุณหภูมิ 5 ค่า ไว้ในตารางที่ 4.7 และ 4.8 สำหรับการวิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง

จากการหาค่า R_L ของดี RR-124 ซึ่งใช้ค่า b จากการทดลองหาความสามารถในการดูดซับของดี RR-124 โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ชังข้าวโพด และแกลบ ที่อุณหภูมิ 5 ค่า วิเคราะห์โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง พบว่า ค่า R_L ของดี RR-124 ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ที่ทุกอุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แสดงว่าเป็นแบบชอบการดูดซับ และเมื่อเปรียบเทียบภายในตัวกลางชนิดเดียวกัน พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่า R_L ของตัวกลางตอซังข้าว ชังข้าวโพด และแกลบ มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ตัวกลางต้นถั่วเหลืองมีค่า R_L ลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

และเมื่อพิจารณาค่า R_L เปรียบเทียบกับค่า X/M ของแต่ละตัวกลางที่อุณหภูมิต่างๆ จะพบว่าไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนตามที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยมีค่า R_L ต่ำสุดในแต่ละตัวกลางคือ ตัวกลางต้นถั่วเหลืองมีค่า 0.035 ที่อุณหภูมิ 45°C ตัวกลางตอซังข้าว มีค่า 0.104 ที่อุณหภูมิ 35°C ตัวกลางชังข้าวโพด มีค่า 0.109 ที่อุณหภูมิ 30°C และแกลบ มีค่า 0.253 ที่อุณหภูมิ 25°C ตามลำดับ อาจเป็นเพราะว่าในการหาค่า X/M นั้นจากสมการที่ 4.1 ค่า a มีผลต่อการคำนวณค่า X/M เช่นกัน จึงทำให้ผลการทดลองไม่ตรงกับการพิจารณาจากสมการที่ 4.3 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า R_L เฉลี่ยของตัวกลางทั้ง 4 ชนิดเปรียบเทียบกันจะพบว่า ตัวกลางต้นถั่วเหลืองมีค่า R_L น้อยที่สุดซึ่งก็ตรงกับผลการทดลองที่พบว่าตัวกลางต้นถั่วเหลืองมีความสามารถในการดูดซับดีที่สุด และสามารถเรียงลำดับความสามารถในการดูดซับดี RR-124 ของตัวกลางจากมากไปน้อย โดยพิจารณาจากค่า R_L ได้คือ ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ชังข้าวโพด และแกลบ ตามลำดับ ซึ่งมีค่า R_L เฉลี่ย 0.065 0.152 0.213 และ 0.364 ตามลำดับ ดังแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างค่า R_L กับค่า X/M ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ดูดซับดี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. ที่อุณหภูมิต่างๆ ในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างค่า R_L (จากการวิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง) กับค่า X/M ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด คูดิตี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. ที่อุณหภูมิต่างๆ

ตัวกลาง	อุณหภูมิ (°C)	R_L	X/M
ต้นถั่วเหลือง	25	0.096	0.582
	30	0.091	0.606
	35	0.062	0.613
	40	0.038	0.608
	45	0.035	0.618
ต่อขังข้าว	25	0.194	0.251
	30	0.207	0.289
	35	0.104	0.335
	40	0.134	0.350
	45	0.122	0.370
ขังข้าวโพด	25	0.135	0.150
	30	0.109	0.164
	35	0.165	0.179
	40	0.329	0.204
	45	0.325	0.205
แกลบ	25	0.253	0.048
	30	0.312	0.049
	35	0.443	0.050
	40	0.388	0.050
	45	0.4242	0.0510

จากการหาค่า R_L ของสี RR-141 ซึ่งใช้ค่า b จากการทดลองหาความสามารถในการดูดติดของสี RR-141 โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ต่อขังข้าว ขังข้าวโพด และแกลบ ที่อุณหภูมิ 5 ค่าวิเคราะห์โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง พบว่า ค่า R_L ของสี RR-141 ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ที่ทุกอุณหภูมิมียค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แสดงว่าเป็นแบบชอบการดูดติด และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิต่ำค่า R_L ของทุกตัวกลางไม่มีแนวโน้มที่แน่นอน แต่มีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่า R_L กับค่า X/M ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด คูดิตี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อพิจารณาค่า R_L เปรียบเทียบกับค่า X/M ของแต่ละ

ตัวกลางที่อุณหภูมิต่างๆ จะพบว่าไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน โดยตัวกลางต้นถั่วเหลือง ชั่งข้าวโพด ตอซังข้าว และแกลบ มีค่า R_L ต่ำสุดในแต่ละตัวกลางคือ ตัวกลางต้นถั่วเหลืองมีค่า 0.007 ที่อุณหภูมิ 40°C ตัวกลางตอซังข้าว มีค่า 0.043 ที่อุณหภูมิ 40°C ตัวกลางชั่งข้าวโพด มีค่า 0.067 ที่อุณหภูมิ 30°C และแกลบ มีค่า 0.246 ที่อุณหภูมิ 40°C ตามลำดับ ซึ่งเหตุผลก็เป็นไปดังกล่าวแล้วข้างต้น และเมื่อพิจารณาค่า R_L เฉลี่ยของตัวกลางทั้ง 4 ชนิดเปรียบเทียบกันจะพบว่า ตัวกลางต้นถั่วเหลืองมีค่า R_L น้อยที่สุดซึ่งก็ตรงกับผลการทดลองที่พบว่าตัวกลางต้นถั่วเหลืองมีความสามารถในการดูดติดดี ที่สุด และสามารถเรียงลำดับความสามารถในการดูดติดดี RR-141 ของตัวกลางจากมากไปน้อย โดยพิจารณาจากค่า R_L ได้คือ ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ชั่งข้าวโพด และแกลบ ตามลำดับ ซึ่งมีค่า R_L เฉลี่ย 0.015 0.059 0.275 และ 0.351 ตามลำดับ ดังแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างค่า R_L กับค่า X/M ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ดูดติดดี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. ที่อุณหภูมิต่างๆ ในตารางที่ 4.12



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright (C) by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างค่า R_L กับค่า X/M ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ดูดติดดี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. ที่อุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง

ตัวกลาง	อุณหภูมิ (°C)	R_L	X/M
ต้นถั่วเหลือง	25	0.018	0.751
	30	0.028	0.812

ตัวกลาง	อุณหภูมิ (°C)	R_L	X/M
	35	0.016	0.834
	40	0.007	0.864
	45	0.008	0.872
ต่อขั้วข้าว	25	0.075	0.418
	30	0.064	0.421
	35	0.048	0.433
	40	0.043	0.452
	45	0.063	0.508
ขั้วข้าวโพด	25	0.424	0.094
	30	0.067	0.101
	35	0.341	0.112
	40	0.337	0.116
	45	0.206	0.128
แกลบ	25	0.321	0.031
	30	0.344	0.032
	35	0.422	0.032
	40	0.246	0.031
	45	0.407	0.032

จากการหาค่า R_L ของสี RR-124 ซึ่งใช้ค่า b จากการทดลองหาความสามารถในการดูดติดของสี RR-124 โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ต่อขั้วข้าว ขั้วข้าวโพด และแกลบ ที่อุณหภูมิ 5 ค่าวิเคราะห์โดยวัดค่าที่ไอซีพบว่า ค่า R_L ของสี RR-124 ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ที่ทุกอุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แสดงว่าเป็นแบบชอบการดูดติด นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิค่า R_L ของตัวกลางต้นถั่วเหลือง และแกลบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนตัวกลางต่อขั้วข้าว และขั้วข้าวโพดค่า R_L มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่า R_L กับค่า X/M ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ดูดติดสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ทีไอซี/ล. ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อพิจารณาค่า R_L เปรียบเทียบกับค่า X/M ของแต่ละตัวกลางที่อุณหภูมิต่างๆ จะพบว่าตัวกลางต่อขั้วข้าว และขั้วข้าวโพดมีค่า R_L และค่า X/M

สอดคล้องกัน กล่าวคือค่า R_L มีค่าลดลงที่ค่า X/M เพิ่มขึ้น และได้ว่าตัวกลางต้นถั่วเหลือง ชั่งข้าวโพด ตอซังข้าว และแกลบ มีค่า R_L ต่ำสุดในแต่ละตัวกลางคือ ตัวกลางต้นถั่วเหลืองมีค่า 0.083 ที่อุณหภูมิ 45°C ตัวกลางตอซังข้าว มีค่า 0.098 ที่อุณหภูมิ 25°C ตัวกลางชั่งข้าวโพด มีค่า 0.077 ที่อุณหภูมิ 45°C และแกลบ มีค่า 0.037 ที่อุณหภูมิ 25°C ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่า R_L เฉลี่ยของตัวกลางทั้ง 4 ชนิดเปรียบเทียบกันจะพบว่า ตัวกลางต้นถั่วเหลืองมีค่า R_L น้อยที่สุดซึ่งก็ตรงกับผลการทดลองที่พบว่าตัวกลางต้นถั่วเหลืองมีความสามารถในการดูดติดดีที่สุดในบรรดาตัวกลางทั้ง 4 ชนิดเรียงลำดับความสามารถในการดูดติดดี RR-124 ของตัวกลางจากมากไปน้อย โดยพิจารณาจากค่า R_L ได้คือ ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ชั่งข้าวโพด และแกลบ ตามลำดับ ซึ่งมีค่า R_L เฉลี่ย 0.179 0.107 1.136 และ 0.070 ตามลำดับ ดังแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างค่า R_L กับค่า X/M ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ดูดติดดี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ทีไอซี/ล. ที่อุณหภูมิต่างๆ ในตารางที่ 4.13

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright © by Chiang Mai University

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างค่า R_L กับค่า X/M ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ดูดติดดี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ทีไอซี/ล. ที่อุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

ตัวกลาง	อุณหภูมิ (°C)	R_L	X/M
ต้นถั่วเหลือง	25	0.231	0.464
	30	0.194	0.491
	35	0.129	0.519
	40	0.102	0.603
	45	0.083	0.687
ตอซังข้าว	25	0.098	0.797
	30	0.106	0.895
	35	0.114	0.980
	40	0.102	0.956
	45	0.116	0.992
ซังข้าวโพด	25	0.195	0.208
	30	0.170	0.224
	35	0.156	0.248
	40	0.081	0.198
	45	0.077	0.220
แกลบ	25	0.037	0.085
	30	0.075	0.108
	35	0.072	0.107
	40	0.082	0.123
	45	0.087	0.145

จากการหาค่า R_L ของสี RR-141 ซึ่งใช้ค่า b จากการทดลองหาความสามารถในการดูดติดของสี RR-141 โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ซังข้าวโพด และแกลบ ที่อุณหภูมิ 5 ค่าวิเคราะห์โดยวัดค่าที่ไอซีพบว่า ค่า R_L ของสี RR-141 ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ที่ทุกอุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แสดงว่าเป็นแบบชอบการดูดติด นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิค่า R_L ของตัวกลางตอซังข้าว มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนตัวกลางต้นถั่วเหลือง ซังข้าวโพด และแกลบ ค่า R_L มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่า R_L กับค่า X/M ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ดูดติดสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.89 ± 0.2 มก.ที่ไอซี/ล. ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อพิจารณาค่า R_L เปรียบเทียบกับค่า X/M ของแต่ละตัวกลางที่อุณหภูมิต่างๆ จะพบว่าตัวกลางต้นถั่วเหลือง ซังข้าวโพด และแกลบมีค่า R_L

และค่า X/M สอดคล้องกัน กล่าวคือค่า R_L มีค่าลดลงที่ค่า X/M เพิ่มขึ้น และได้ว่าตัวกลางต้นถั่วเหลือง ชั่งข้าวโพด ตอชั่งข้าว และแกลบ มีค่า R_L ต่ำสุดในแต่ละตัวกลางคือ ตัวกลางต้นถั่วเหลืองมีค่า 0.164 ที่อุณหภูมิ 45°C ตัวกลางตอชั่งข้าว มีค่า 0.067 ที่อุณหภูมิ 25°C ตัวกลางชั่งข้าวโพด มีค่า 0.089 ที่อุณหภูมิ 45°C และแกลบ มีค่า 0.063 ที่อุณหภูมิ 45°C ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่า R_L เฉลี่ยของตัวกลางทั้ง 4 ชนิดเปรียบเทียบกันจะพบว่า ตัวกลางตอชั่งข้าวมีค่า R_L น้อยที่สุดซึ่งก็ไม่ได้ตรงกับผลการทดลองที่พบว่าตัวกลางต้นถั่วเหลืองมีความสามารถในการดูดติดดีที่สุด ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าจุดตัดแกน y ของตัวกลางตอชั่งข้าวมีค่าน้อยกว่าของต้นถั่วเหลือง และปริมาณสีธรรมชาติที่หลุดออกมาจากตัวกลางอาจมีผลรบกวนการวิเคราะห์ได้ ซึ่งสามารถเรียงลำดับความสามารถในการดูดติดสี RR-124 ของตัวกลางจากมากไปน้อย โดยพิจารณาจากค่า R_L ได้คือ ตัวกลางตอชั่งข้าว แกลบ ชั่งข้าวโพด และต้นถั่วเหลือง ตามลำดับ ซึ่งมีค่า R_L เฉลี่ย 0.086 0.011 0.140 และ 0.245 ตามลำดับ ดังแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างค่า R_L กับค่า X/M ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ดูดติดสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.89 ± 0.2 มก.ทีโอซี/ล. ที่อุณหภูมิต่างๆ ในตารางที่ 4.14

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright © by Chiang Mai University

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างค่า R_L กับค่า X/M ของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด ดูดติดสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.89 ± 0.2 มก.ทีโอซี/ล. ที่อุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีโอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

ตัวกลาง	อุณหภูมิ (°C)	R_L	X/M
ต้นแก้วเหลือง	25	0.415	0.850
	30	0.303	0.940
	35	0.168	0.769
	40	0.176	0.886
	45	0.164	0.991
ต่อซังข้าว	25	0.067	0.426
	30	0.073	0.446
	35	0.079	0.467
	40	0.102	0.707
	45	0.108	0.749
ซังข้าวโพด	25	0.155	0.198
	30	0.181	0.242
	35	0.146	0.248
	40	0.129	0.272
	45	0.089	0.268
แกลบ	25	0.128	0.111
	30	0.158	0.124
	35	0.110	0.120
	40	0.095	0.134
	45	0.063	0.128

เมื่อพิจารณาจากความสามารถในการดูดติดสีของตัวกลางทั้ง 4 ชนิด พบว่าตัวกลางต้นแก้วเหลืองมีค่า X/M สูงสุดในทุกอุณหภูมิ จึงเหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานจริงมากที่สุด แต่ถึงอย่างไรก็ตามในการศึกษาใช้ตัวกลางที่บดจนมีขนาด 0.075-0.85 มม. ซึ่งถือว่ามีความเล็กมากไม่เหมาะแก่การนำไปใช้งานจริง เพราะขั้นตอนในการบดยุ่งยาก ดังนั้นหากมีการประยุกต์นำไปใช้งานจริงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยเพิ่มขนาดตัวกลางที่ใหญ่ขึ้น และศึกษาโดยใช้น้ำเสียสีข้อมผ้าจริงจากโรงงาน เนื่องจากน้ำเสียสีข้อมผ้ามีสมบัติ และความเป็นกรดต่างของน้ำเสียแตกต่างจากน้ำเสียสังเคราะห์มาก

นอกจากนี้สีธรรมชาติของตัวกลางที่หลุดออกมาปนเปื้อนในน้ำเสียก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึง เพราะสีธรรมชาติเหล่านี้จะทำให้น้ำเสียมีสีเข้มขึ้น และมีค่าที่ไอซีสูงขึ้น เพราะเป็นการใช้สารอินทรีย์ในการดูดติดสีโดยตรง จึงเป็นการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ดังนั้นจึงอาจต้องมีการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียในขั้นตอนต่อไป แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาเพื่อนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาบำบัดน้ำเสียสีย้อมผ้าก็ถือเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เพราะวัสดุมีราคาถูก และหาได้ง่าย ซึ่งในการนำไปใช้งานจริงควรมีการพัฒนาารูปแบบของตัวกลางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และลดปัญหาสีธรรมชาติที่หลุดออกมามาก โดยการนำมาทำเป็นถ่าน หรือถ่านกัมมันต์

สำหรับการศึกษาเรื่องผลของอุณหภูมิต่อการดูดติดของสี RR-124 และ RR-141 โดยใช้ตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ชังข้าวโพด และแกลบแล้ว ยังมีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาการดูดติดสีย้อมผ้า โดยใช้ตัวกลางจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับการศึกษาในครั้งนี้ แสดงตัวอย่างได้ดังนี้

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงงานวิจัยที่ผ่านมาที่มีลักษณะคล้ายกับงานวิจัยนี้

ตัวกลาง	สี	สมการ	พารามิเตอร์	ที่มา
- แกลบ ล้างน้ำกลั่น ขนาด 424.2 ไมครอน	-Safranine (basic red dyestuff) -Methylene blue (basic red dyestuff)	Langmuir	X/M=838.46 มก./ก. X/M=312.26 มก./ก.	G. MCKAY et al., 1997
-ต้นข้าวสาลี ขนาด 1x4 มม.	สีผสมระหว่าง -Cibacron Yellow C- 2G	Langmuir	X/M= 7.5 มก./ก.	T.Robinson et al., 2002
-ซังข้าวโพด ขนาด 1x4 มม.	-Cibacron Red C-2G -Cibacron Blue C-R -Remazol Black B -Remazol Red RB	Langmuir	X/M= 9.1 มก./ก.	
-ต้นข้าว ขนาดเล็กกว่า 250 ไมครอน	-Pyridine	Langmuir	X/M=1.32 mmol/g	U.S. Orlando et al., 2002
-ต้นถั่วเหลือง -ตอซังข้าว -ซังข้าวโพด	-Reactive Red 124	Langmuir	X/M*= 0.6181 มก./ก. X/M*= 0.3695 มก./ก. X/M*= 0.2054 มก./ก.	กรมการเกษตร (มีต่อ)

ตัวกลาง	สี	สมการ	พารามิเตอร์	ที่มา
-แกลบ -ดินถั่วเหลือง -คอกขี้วัว -ขี้วัวโพด -แกลบ ขนาด 0.075-0.85 มม.	-Reactive Red 141	Langmuir	X/M* = 0.0510 มก./ก. X/M* = 0.8715 มก./ก. X/M* = 0.5075 มก./ก. X/M* = 0.1283 มก./ก. X/M* = 0.0322 มก./ก.	

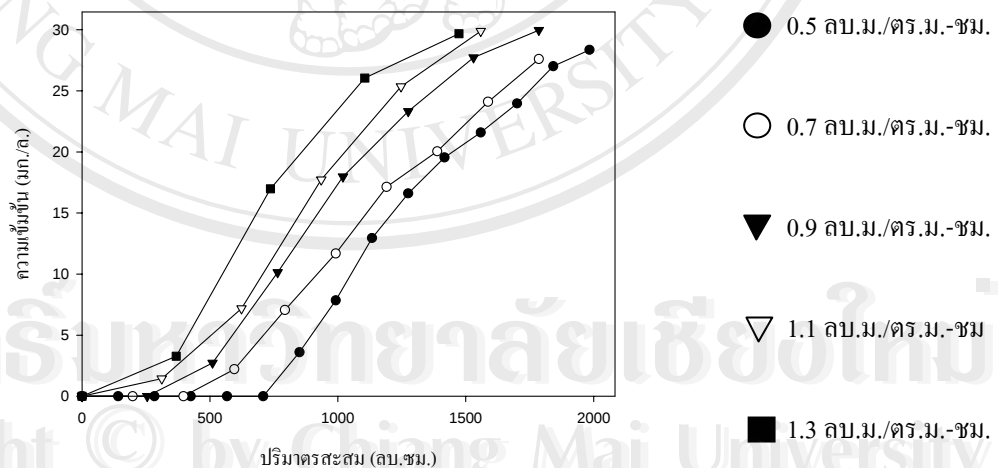
หมายเหตุ X/M* คือค่า X/M สูงสุดจากการทดลอง โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีในน้ำที่ผ่านระบบกับปริมาตรน้ำที่ออกสะสมในการทดลองแบบคอลัมน์เดี่ยว

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นแบบคอลัมน์เดี่ยว ใช้ตัวกลาง 2 ชนิดคือ แกลบ และขี้วัวโพด ขนาด 0.5-2 มม. และใช้สีรีแอคทีฟ 2 ชนิด คือสี RR-124 และสี RR-141 ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยนำน้ำที่ผ่านคอลัมน์มาหาค่าความเข้มข้นคงเหลือ ด้วยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง และวัดค่าทีโอซี แล้วเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่เหลืออยู่เทียบกับปริมาตรสะสมของน้ำที่ออกจากกระบอกเพื่อหาความยาวของ Mass Transfer Zone โดยใช้จุดเบรคทูล์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ของความเข้มข้นเริ่มต้น และใช้จุดหมดสภาพที่ความเข้มข้นร้อยละ 90 ของความเข้มข้นเริ่มต้น สำหรับการวิเคราะห์ด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสง มีความเข้มข้นที่จุดเบรคทูล์ 3 มก./ล. และมีความเข้มข้นที่จุดหมดสภาพ 27 มก./ล. ของสีทั้ง 2 ชนิด ส่วนการวัดค่าทีโอซี ความเข้มข้นที่จุดเบรคทูล์ และมีความเข้มข้นที่จุดหมดสภาพ ของสี RR-124 มีค่า 0.94 และ 1.09 มก.ทีโอซี/ล. สำหรับสี RR-141 มีค่า 8.95 และ 9.80 มก.ทีโอซี/ล. ตามลำดับ จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดลองมาหาค่า MTZ (Mass Transfer Zone) EBCT ความสามารถในการดูดซับ และอัตราการใช้ตัวกลาง เพื่อดูผลของภาระบรรจุทุกทางชลศาสตร์ที่มีต่อการดูดซับสี ของตัวกลางทั้ง 2 ชนิด โดยใช้ภาระบรรจุทุกทางชลศาสตร์ 5 ค่า คือ 0.5 0.7 0.9 1.1 และ 1.3 ลบ.ม./ตร.ม-ชม. ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองจะได้กราฟที่มีลักษณะคล้ายตัวเอสซึ่งที่ภาระบรรจุทุกมีค่ามากจะมีความชันของเส้นกราฟมากกว่า และเมื่อนำผลการทดลองมาหาค่า MTZ ความสามารถในการดูดซับ และอัตราการใช้ตัวกลาง พบว่าเมื่อเพิ่มภาระบรรจุทุกทางชลศาสตร์มากขึ้นค่า MTZ และอัตราการใช้ตัวกลาง มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับมีค่าลดลง โดยในการทดลองโดยใช้ตัวกลางแกลบ ดูดซับสี RR-124 และ RR-141 ที่ภาระบรรจุทุกทางชลศาสตร์ทั้ง 5 ค่า พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรจุทุกทางชลศาสตร์มากขึ้นลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำที่ออกสะสมกับความเข้มข้นเป็นรูปตัวเอส มีปริมาตรที่จุดเบรคทูล์ และจุดหมดสภาพน้อยลง และเมื่อพิจารณาความยาวของ MTZ พบว่ามีความ

ยาวเพิ่มขึ้น กล่าวคือสำหรับสี RR-124 เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์จาก 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ไปเป็น 1.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. พบว่ามีปริมาตรที่จุดเบรคทูล และจุดหมดสภาพลดลงจาก 966 และ 2,177 ลบ.ชม. ไปเป็น 404 และ 1,246 ลบ.ชม. ตามลำดับ ส่วนความยาวของ MTZ มีค่า 46.2 ซม. มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 61.2 ซม. ตามลำดับ และสำหรับสี RR-141 มีปริมาตรที่จุดเบรคทูล และจุดหมดสภาพลดลงจาก 826 และ 1,841 ลบ.ชม. ไปเป็น 337 และ 1,201 ลบ.ชม. ตามลำดับ ส่วนความยาวของ MTZ มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 45.6 ซม. เป็น 67.7 ซม. ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่มีค่าต่ำ ทำให้มีเวลาสัมผัสระหว่างสีกับตัวกลางมากกว่าจึงมีการดูดติดสีจึงมีมากกว่า

นอกจากนี้ยังพบว่าที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่ำจะมีความสามารถในการดูดติดสี อายุการใช้งานของระบบ และ EBCT ของทั้ง 2 ชนิด สูงกว่าที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์สูง ซึ่งก็เป็นผลมาจากเวลาสัมผัสระหว่างตัวกลางกับสีนานกว่าเช่นเดียวกัน กล่าวคือเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์จาก 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ไปเป็น 1.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. สี RR-124 มีความสามารถในการดูดติด อายุการใช้งาน และ EBCT ลดลงจาก 1.2 มก./ก. 180 นาที และ 72 นาที ตามลำดับ ไปเป็น 0.22 มก./ก. 56 นาที และ 27.7 นาที ตามลำดับ ส่วนสี RR-141 มีความสามารถในการดูดติด อายุการใช้งาน และ EBCT ลดลงจาก 1.2 มก./ก. 180 นาที และ 72 นาที ตามลำดับ ไปเป็น 0.22 มก./ก. 56 นาที และ 27.7 นาที ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำกับความเข้มข้นสี RR-124 ที่ออกจากระบบ โดยใช้ตัวกลางเกลบ แสดงดังในรูปที่ 4.14-15



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นคงเหลือกับปริมาตรสะสมของน้ำที่ออกจากระบบของสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางเกลบ ปริมาณ 200 กรัม ที่อัตราการไหลต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

สำหรับรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่เหลืออยู่เทียบกับปริมาตรสะสมของน้ำที่ออกจากระบบ ของตัวกลางเกลบ ที่สีทั้ง 2 ชนิด วิเคราะห์ด้วยวิธีวัดการดูดกลืนแสง แสดงใน

รูป จ-1-2 ในภาคผนวก จ. และตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการทดลองดูดติดสี RR-124 และ RR-141 ของตัวกลางแลกเปลี่ยน แสดงไว้ในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองแบบต่อเนื่องของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางแลกเปลี่ยน ปริมาณตัวกลาง 200 กรัม ที่อัตรากระบวนการทางชลศาสตร์ต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง(ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

พารามิเตอร์	อัตรากระบวนการทางชลศาสตร์ (ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.)				
	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3
ปริมาตรจากเริ่มต้นถึงจุดหมดสภาพ, V_T (ลบ.ชม.)	2,177	1,748	1,641	1,519	1,246
ปริมาตรระหว่างจุดเบรคทูถึงจุดหมดสภาพ, V_Z (ลบ.ชม.)	1,211	1,093	1,072	1,015	842
ความลึกชั้นตัวกลาง (ชม.)	60±2	60±2	60±2	60±2	60±2
ความยาว MTZ (ชม.)	46.2	54.6	58.2	>60	>60
ปริมาณสีสะสมที่ถูกดูดติดจนถึงจุดหมดสภาพ (มก.)	312	167	114	82	47
ความสามารถในการดูดติดสี เมื่อถึง จุดหมดสภาพ (มก./ก.)	1.56	0.83	0.57	0.41	0.24
อายุการใช้งานของระบบตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดหมดสภาพ (นาที)	235	123	98	62	54
อัตราการไหล (ลบ.ชม./นาที)	9.5	13.2	17.0	20.8	24.6
ความหนาแน่น(Bulk density; กก./ลบ.ชม.)	294	294	294	294	294
EBCT (นาที)	72.0	51.4	40.0	32.7	27.7
อัตราการใช้ตัวกลาง (material usage rate ,MUR; ก/ลบ.ชม.)	0.21	0.31	0.35	0.40	0.49

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.17 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองแบบต่อเนื่องของสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางแลกเปลี่ยน ปริมาณตัวกลาง 200 กรัม ที่อัตรากระบวนการทางชลศาสตร์ต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง(ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

พารามิเตอร์	อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.)				
	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3
ปริมาตรจากเริ่มต้นถึงจุดหมดสภาพ, V_T (ลบ.ชม.)	1,841	1,751	1,488	1,360	1,201
ปริมาตรระหว่างจุดเบรคทรูถึงจุดหมดสภาพ, V_Z (ลบ.ชม.)	1,015	1,124	969	963	864
ความลึกชั้นตัวกลาง (ชม.)	60±2	60±2	60±2	60±2	60±2
ความยาว MTZ (ชม.)	45.6	56.7	57.9	>60	>60
ปริมาณสีสะสมที่ถูกดูดซับจนถึงจุดหมดสภาพ (มก.)	239	160	98	68	44
ความสามารถในการดูดซับสี เมื่อถึง จุดหมดสภาพ (มก./ก.)	1.20	0.80	0.49	0.34	0.22
อายุการใช้งานของระบบตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดหมดสภาพ (นาท.)	180	123	78	70	56
อัตราการไหล (ลบ.ชม./นาท.)	9.5	13.2	17.0	20.8	24.6
ความหนาแน่น(Bulk density; กก./ลบ.ชม.)	294	294	294	294	294
EBCT (นาท.)	72.0	51.4	40.0	32.7	27.7
อัตราการใช้ตัวกลาง MUR; ก/ลบ.ชม.)	0.24	0.32	0.39	0.50	0.59

จากการทดลองโดยใช้ตัวกลางซังข้าวโพด จะได้ผลการทดลองคล้ายกับการใช้ตัวกลาง แกลบ กล่าวคือเมื่อเพิ่มภาระบรรทุกทางชลศาสตร์มากขึ้นค่า MTZ และอัตราการใช้ตัวกลาง มีค่า เพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับมีค่าลดลง โดยในการทดลองโดยใช้ตัวกลางซังข้าวโพด ดูดซับสี RR-124 และ RR-141 ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ทั้ง 5 ค่า พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์มากขึ้นลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำออกสะสมกับความเข้มข้นเป็นรูปตัวเอส ที่จุดเบรคทรู และจุดหมดสภาพมีปริมาตรน้อยลง และเมื่อพิจารณาความยาวของ MTZ พบว่ามีความยาวเพิ่มขึ้น สำหรับสี RR-124 เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์จาก 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ไปเป็น 1.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. พบว่ามีปริมาตรที่จุดเบรคทรู และจุดหมดสภาพ ลดลงจาก 617 และ 1,882 ลบ.ชม. ไปเป็น 108 และ 1,073 ลบ.ชม. ตามลำดับ ส่วนความยาวของ MTZ มีค่า 70.9 ชม มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นมากกว่า 70 ชม. ตามลำดับ และสำหรับสี RR-141 มีปริมาตรที่จุดเบรคทรู และจุดหมดสภาพลดลงจาก 872 และ 1,987 ลบ.ชม. ไปเป็น 143 และ 1,201 ลบ.ชม. ตามลำดับ ส่วนความยาวของ MTZ มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 54.6 ชม มากกว่า 70 ชม. ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจากอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่มีค่าต่ำ ทำให้มีเวลาสัมผัสระหว่างสีกับตัวกลางมากกว่า จึงมีการดูดซับสีจึงมีมากกว่า

นอกจากนี้ยังพบว่าที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่ำจะมีความสามารถในการดูดซับสี อายุการใช้งานของระบบ และ EBCT ของสีทั้ง 2 ชนิด สูงกว่าที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์สูง ซึ่งก็เป็นผลมาจากเวลาสัมผัสระหว่างตัวกลางกับสีนานกว่าเช่นเดียวกัน กล่าวคือเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุก

ทางชลศาสตร์จาก 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ไปเป็น 1.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. สี RR-124 มีความสามารถในการดูดติด อายุการใช้งาน และ EBCT ลดลงจาก 1.69 มก./ก. 206 นาที และ 84 นาที ตามลำดับ ไปเป็น 0.22 มก./ก. 31 นาที และ 32.3 นาที ตามลำดับ ส่วนสี RR-141 มีความสามารถในการดูดติด อายุการใช้งาน และ EBCT ลดลงจาก 1.88 มก./ก. 225 นาที และ 84 นาที ตามลำดับ ไปเป็น 0.24 มก./ก. 32 นาที และ 32.2 นาที ตามลำดับ สำหรับรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่เหลืออยู่เทียบกับปริมาตรสะสมของน้ำที่ออกจากระบบ ของสี RR-124 และ RR-141 โดยใช้ตัวกลางซังข้าวโพด วิเคราะห์ด้วยวิธีวัดการดูดกลืนแสง แสดงในรูป ฦ-3-4 ในภาคผนวก ฦ. และตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการทดลองดูดติดสี RR-124 และ RR-141 ของตัวกลางซังข้าวโพด แสดงไว้ในตารางที่ 4.18

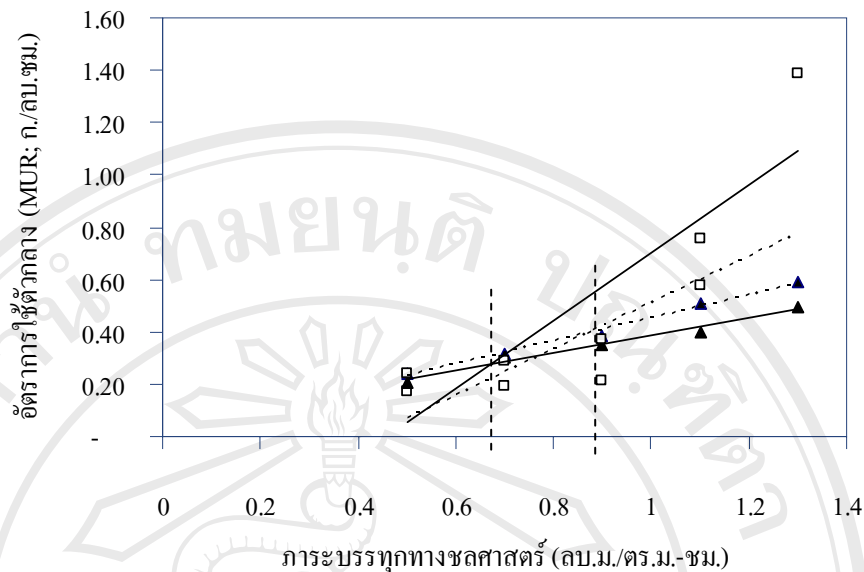
ตารางที่ 4.18 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองแบบต่อเนื่องของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางซังข้าวโพด ปริมาณตัวกลาง 150 กรัม ที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

พารามิเตอร์	อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.)				
	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3
ปริมาตรจากเริ่มต้นถึงจุดหมดสภาพ, V_T (ลบ.ชม.)	1,882	1,613	1,418	1,226	1,073
ปริมาตรระหว่างจุดเบรคทูถึงจุดหมดสภาพ, V_Z (ลบ.ชม.)	1,265	1,093	1,011	967	965
ความลึกชั้นตัวกลาง (ชม.)	70±2	70±2	70±2	70±2	70±2
ความยาว MTZ (ชม.)	70.9	>70	>70	>70	>70
ปริมาณสีสะสมที่ถูกดูดติดจนถึงจุดหมดสภาพ (มก.)	253	142	90	72	34
ความสามารถในการดูดติดสี เมื่อถึง จุดหมดสภาพ (มก./ก.)	1.69	0.95	0.60	0.48	0.22
อายุการใช้งานของระบบตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดหมดสภาพ (นาที)	206	133	82	46	31
อัตราการไหล (ลบ.ชม./นาที)	9.5	13.2	17.0	20.8	24.6
ความหนาแน่น (Bulk density; กก./ลบ.ชม.)	189	189	189	189	189
EBCT (นาที)	84.0	60.0	46.7	38.2	32.3
อัตราการใช้ตัวกลาง (MUR; ก/ลบ.ชม.)	0.24	0.29	0.37	0.58	1.39

ตารางที่ 4.19 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองแบบต่อเนื่องของสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางซังข้าวโพด ปริมาณตัวกลาง 150 กรัม ที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

พารามิเตอร์	อัตราการระบรทุกทางชลศาสตร์ (ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.)				
	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3
ปริมาตรจากเริ่มต้นถึงจุดหมดสภาพ, V_T (ลบ.ชม.)	1,987	1,812	1,719	1,203	1,067
ปริมาตรระหว่างจุดเบรคทรูถึงจุดหมดสภาพ, V_Z (ลบ.ชม.)	1,115	1,024	1,023	1,004	924
ความลึกชั้นตัวกลาง(ชม.)	70±2	70±2	70±2	70±2	70±2
ความยาว MTZ (ชม.)	54.6	55.2	59.3	>70	>70
ปริมาณสีสะสมที่ถูกดูดซับจนถึงจุดหมดสภาพ (มก.)	281	181	129	56	36
ความสามารถในการดูดซับสี เมื่อถึง จุดหมดสภาพ (มก./ก.)	1.88	1.21	0.86	0.37	0.24
อายุการใช้งานของระบบตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดหมดสภาพ (นาทื)	225	148	94	32	32
อัตราการไหล (ลบ.ชม./นาทื)	9.5	13.2	17.0	20.8	24.6
ความหนาแน่น(Bulk density; กก./ลบ.ชม.)	189	189	189	189	189
EBCT (นาทื)	84.0	60.0	46.7	38.2	32.3
อัตราการใช้ตัวกลาง (MUR; ก/ลบ.ชม.)	0.17	0.19	0.22	0.75	1.05

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบการดูดซับสี RR-124 และ RR-141 ของตัวกลางเคลือบ และ ซังข้าวโพดเมื่อพิจารณาจากอัตราการใช้ตัวกลางพบว่า ตัวกลางซังข้าวโพดมีความสามารถในการดูดซับของสี RR-124 ได้ดีกว่าในช่วงอัตราการระบรทุกทางชลศาสตร์มีค่าระหว่าง 0.5-0.7 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เนื่องจากใช้ปริมาณตัวกลางในการดูดซับน้อยกว่า ส่วนช่วง 0.7-1.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ตัวกลางเคลือบจะดูดซับได้ดีกว่า ด้วยเหตุผลเดียวกัน ในทำนองเดียวกันในช่วงอัตราการระบรทุกทางชลศาสตร์ค่าระหว่าง 0.5-0.9 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ตัวกลางซังข้าวโพดดูดซับได้ดีกว่า และในช่วง 0.9-1.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ตัวกลางเคลือบดูดซับได้ดีกว่า ดังแสดงรูปกราฟการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราการระบรทุกทางชลศาสตร์กับอัตราการใช้ตัวกลางเคลือบ และซังข้าวโพด ของสี RR-124 และ RR-141 ดังรูป 4.15



สัญลักษณ์	ตัวกลาง	สี	สมการ	R ²
—▲—	แกลบ	RR-124	$y = 0.333 x + 0.051$	0.9756
--▲--	แกลบ	RR-141	$y = 0.444 x + 0.009$	0.9904
—□—	ซังข้าวโพด	RR-124	$y = 1.288 x - 0.586$	0.7441
--□--	ซังข้าวโพด	RR-141	$y = 0.885 x - 0.375$	0.6609

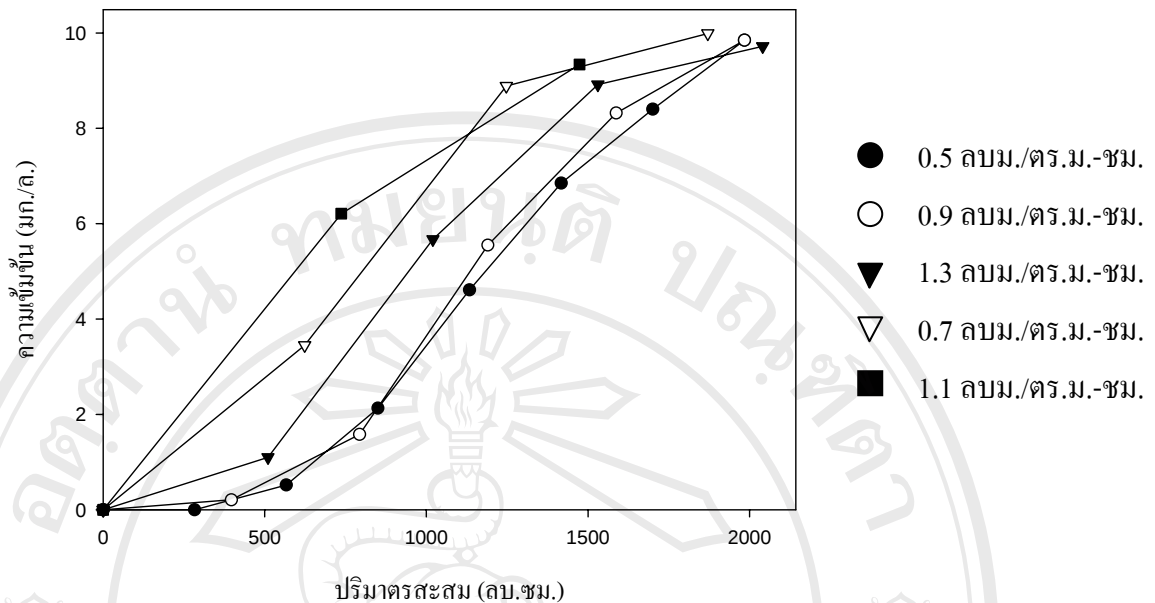
รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ตัวกลางกับภาระบรรจุทางชลศาสตร์ของสี RR-124 และ RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ตัวกลางแกลบ และซังข้าวโพด ปริมาณ 200 และ 150 กรัม ตามลำดับที่ภาระบรรจุทางชลศาสตร์ 5 ค่า วิเคราะห์ด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

เมื่อพิจารณาความสามารถในการดูดซับจะพบว่าการทดลองแบบไม่ต่อเนื่องและการทดลองแบบต่อเนื่องมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากการทดลองแบบต่อเนื่องจะมีการให้น้ำสีสังเคราะห์ไหลผ่านตัวกลางตลอดเวลาทำให้การดูดซับเป็นแบบ Film diffusion ส่วนแบบไม่ต่อเนื่องจะมีลักษณะเป็นแบบ Surface diffusion และในการทดลองแบบไม่ต่อเนื่องการเข้าตัวกลางภายใต้ความร้อน และให้เวลาสัมผัสกับตัวกลางนานๆ จะทำให้สีธรรมชาติของตัวกลางหลุดออกมามาก ซึ่งก็เป็นปัจจัยในการรบกวนการวิเคราะห์การหาค่าการดูดกลืนแสง นอกจากนี้ความแตกต่างของความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียกับความเข้มข้นที่ผิวของตัวกลางในการทดลองก็อาจมีผลต่อการแพร่ผ่านชั้นน้ำของสีไปยังผิวตัวกลาง ซึ่งในการทดลองแบบต่อเนื่องซึ่งมีค่าความเข้มข้นสีระหว่างในน้ำเสียกับที่ผิวตัวกลางแตกต่างกันมาก ทำให้สีสามารถแพร่ผ่านชั้นน้ำเข้าไปสัมผัสกับพื้นผิวได้ดีกว่า

เพิ่มโอกาสในการดูดติด ส่วนในการทดลองแบบไม่ต่อเนื่องเมื่อเพิ่มเวลาสัมผัสความแตกต่างของความเข้มข้นของสีในน้ำเสียกับที่ผิวสัมผัสมีความแตกต่างกันลดลงเรื่อยๆ ทำให้การแพร่ผ่านชั้นน้ำเป็นไปได้น้อยลง ทำให้โอกาสในการดูดติดน้อยลงเช่นกัน

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยค่าที่ไอซีให้ผลการทดลองคล้ายกับการวัดค่าการดูดกลืนแสง กล่าวคือเมื่อเพิ่มภาระบรรทุกทางชลศาสตร์มากขึ้นค่า MTZ และอัตราการใช้ตัวกลางมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดติดมีค่าลดลง โดยในการทดลองโดยใช้ตัวกลางเกลบ ดูดติดสี RR-124 และ RR-141 ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ทั้ง 5 ค่า พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์มากขึ้นลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำออกสะสมกับความเข้มข้นเป็นรูปตัวเอสที่มีความชันเพิ่มขึ้น มีปริมาตรที่จุดเบรคทู และจุดหมดสภาพน้อยลง และเมื่อพิจารณาความยาวของ MTZ พบว่ามีความยาวเพิ่มขึ้น ได้ว่าสำหรับสี RR-124 เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์จาก 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ไปเป็น 1.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. พบว่ามีปริมาตรที่จุดเบรคทู และจุดหมดสภาพลดลงจาก 650 และ 1,808 ลบ.ชม. ไปเป็น 91 และ 1,258 ลบ.ชม. ตามลำดับ ส่วนความยาวของ MTZ มีค่า 56.51 ชม มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นมากกว่า 60 ชม. ตามลำดับ และสำหรับสี RR-141 มีปริมาตรที่จุดเบรคทู และจุดหมดสภาพลดลงจาก 565 และ 1,508 ลบ.ชม. ไปเป็น 118 และ 1,201 ลบ.ชม. ตามลำดับ ส่วนความยาวของ MTZ มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 54.6 ชม เป็นมากกว่า 60 ชม. ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่มีค่าต่ำ ทำให้มีเวลาสัมผัสระหว่างสีกับตัวกลางมากกว่าจึงมีการดูดติดสีจึงมีมากกว่า

นอกจากนี้ยังพบว่าที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่ำจะมีความสามารถในการดูดติดสี อายุการใช้งานของระบบ และ EBCT ของสีทั้ง 2 ชนิด สูงกว่าที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์สูง ซึ่งก็เป็นผลมาจากเวลาสัมผัสระหว่างตัวกลางกับสีนานกว่าเช่นเดียวกัน กล่าวคือเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์จาก 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ไปเป็น 1.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ตัวกลางเกลบ มีความสามารถในการดูดติดสี RR-124 อายุการใช้งาน และ EBCT ลดลงจาก 0.19 มก.ที่ไอซี/ก. 191 นาที่ และ 72 นาที่ ตามลำดับ ไปเป็น 0.02 มก.ที่ไอซี/ก. 52 นาที่ และ 27.69 นาที่ ตามลำดับ สำหรับสามารถในการดูดติดของสี RR-141 อายุการใช้งาน และ EBCT ลดลงจาก 0.18 มก.ที่ไอซี/ก. 159 นาที่ และ 72 นาที่ ตามลำดับ ไปเป็น 0.02 มก.ที่ไอซี/ก. 49 นาที่ และ 27.69 นาที่ ตามลำดับ ซึ่งได้แสดงตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ของปริมาตรน้ำสะสมกับความเข้มข้นที่ออกจากระบบของสี RR-124 ดูดติดด้วยตัวกลางเกลบในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมกับความเข้มข้น ของสี RR-124 ความเข้มข้น เริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ทีโอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางเกลบ น้ำหนัก 200 กรัม ที่อัตราภาระบรรทุกทาง หลศาสตร์ต่างๆ โดยวิธีวัดค่าทีโอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

สำหรับรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่เหลืออยู่เทียบกับปริมาณสะสมของ น้ำที่ออกจากกระบบ ของสี RR-124 และ RR-141 โดยใช้ตัวกลางเกลบ วิเคราะห์ด้วยวิธีวัดค่าทีโอซี แสดงในรูป จ-5-6 ในภาคผนวก จ. และตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการทดลองดูดติด- สี RR-124 และ RR-141 ของตัวกลางเกลบ แสดงไว้ในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองแบบต่อเนื่องของสี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ทีไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางแลกเปลี่ยน ปริมาณตัวกลาง 200 กรัม ที่อัตราภาระบรรทุกทาง ชลศาสตร์ต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

พารามิเตอร์	อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.)				
	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3
ปริมาตรจากเริ่มต้นถึงจุดหมดสภาพ, V_T (ลบ.ชม.)	1,808	1,750	1,549	1,281	1,258
ปริมาตรระหว่างจุดเบรคทวถึงจุดหมดสภาพ, V_Z (ลบ.ชม.)	1,158	1,127	1,088	1,102	1,167
ความลึกชั้นตัวกลาง(ชม.)	60±2	60±2	60±2	60±2	60±2
ความยาว MTZ (ชม.)	56.5	56.7	>60	>60	>60
ปริมาณสีสะสมที่ถูกดูดซับจนถึงจุดหมดสภาพ (มก.ทีไอซี)	37	24	14	8	4
ความสามารถในการดูดซับสี เมื่อถึง จุดหมดสภาพ (มก.ทีไอซี/ก.)	0.19	0.12	0.07	0.04	0.02
อายุการใช้งานของระบบตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดหมดสภาพ (นาที่)	191	131	91	62	52
อัตราการไหล (ลบ.ชม./นาที่)	9.5	13.2	17.0	20.8	24.6
ความหนาแน่น(Bulk density; กก./ลบ.ม.)	294	294	294	294	294
EBCT (นาที่)	72.0	51.4	40.0	32.7	27.7
อัตราการใช้ตัวกลาง (MUR; ก/ลบ.ชม.)	0.31	0.32	0.43	1.11	1.70

ตารางที่ 4.21 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองแบบต่อเนื่องของสี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.89 ± 0.2 มก.ทีไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางแลกเปลี่ยน ปริมาณตัวกลาง 200 กรัม ที่อัตราภาระบรรทุกทาง ชลศาสตร์ต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

พารามิเตอร์	อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.)				
	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3
ปริมาตรจากเริ่มต้นถึงจุดหมดสภาพ, V_T (ลบ.ชม.)	1,508	1,476	1,680	1,183	1,201
ปริมาตรระหว่างจุดเบรคทวถึงจุดหมดสภาพ, V_Z (ลบ.ชม.)	943	985	1,376	1,009	1,083
ความลึกชั้นตัวกลาง(ชม.)	60±2	60±2	60±2	60±2	60±2
ความยาว MTZ (ชม.)	54.59	60.12	>60	>60	>60
ปริมาณสีสะสมที่ถูกดูดซับจนถึงจุดหมดสภาพ (มก.ทีไอซี)	36	23	17	9	5
ความสามารถในการดูดซับสี เมื่อถึง จุดหมดสภาพ (มก.ทีไอซี/ก.)	0.18	0.12	0.09	0.04	0.02
อายุการใช้งานของระบบตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดหมดสภาพ (นาที่)	159	112	99	57	49
อัตราการไหล (ลบ.ชม./นาที่)	9.5	13.2	17.0	20.8	24.6
ความหนาแน่น(Bulk density; กก./ลบ.ม.)	294	294	294	294	294
EBCT (นาที่)	72.0	51.4	40.0	32.7	27.7
อัตราการใช้ตัวกลาง (MUR; ก/ลบ.ชม.)	0.35	0.41	0.66	1.15	1.70

จากการทดลองโดยใช้ตัวกลางซังข้าวโพด จะได้ผลการทดลองคล้ายกับการใช้ตัวกลาง
 แกลบ กล่าวคือเมื่อเพิ่มภาระบรรทุกทางชลศาสตร์มากขึ้นค่า MTZ และอัตราการใช้ตัวกลาง มีค่า
 เพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดติดมีค่าลดลง โดยในการทดลองโดยใช้ตัวกลางซังข้าวโพด
 ดูดติดสี RR-124 และ RR-141 ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ทั้ง 5 ค่า พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระ
 บรรทุกทางชลศาสตร์มากขึ้นลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำออกสะสมกับความ
 เข้มข้นเป็นรูปตัวเอสที่มีความชันเพิ่มขึ้น มีปริมาตรที่จุดเบรคทูล และจุดหมดสภาพน้อยลง และเมื่อ
 พิจารณาความยาวของ MTZ พบว่ามีความยาวเพิ่มขึ้น ได้ว่าในกรณีของสี RR-124 เมื่อเพิ่มอัตรา
 ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์จาก 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ไปเป็น 1.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. พบว่ามีปริมาตร
 ที่จุดเบรคทูล และจุดหมดสภาพลดลงจาก 659 และ 2,026 ลบ.ชม. ไปเป็น 118 และ 1,307 ลบ.ชม.
 ตามลำดับ ส่วนความยาวของ MTZ มีค่า 71.3 ซม. มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นมากกว่า 70 ซม. ตามลำดับ และ
 สำหรับสี RR-141 มีปริมาตรที่จุดเบรคทูล และจุดหมดสภาพลดลงจาก 753 และ 2,395 ลบ.ชม. ไป
 เป็น 260 และ 1,935 ลบ.ชม. ตามลำดับ ส่วนความยาวของ MTZ มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 73.0 ซม. เป็น
 มากกว่า 70 ซม. ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่มีค่าต่ำ ทำให้มีเวลา
 สัมผัสระหว่างสีกับตัวกลางมากกว่าจึงมีการดูดติดสีจึงมีมากกว่า

นอกจากนี้ยังพบว่าที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่ำจะมีความสามารถในการดูดติดสี อายุ
 การใช้งานของระบบ และ EBCT ของสีทั้ง 2 ชนิด สูงกว่าที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์สูง ซึ่งก็เป็น
 ผลมาจากเวลาสัมผัสระหว่างตัวกลางกับสีนานกว่าเช่นเดียวกัน กล่าวคือเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุก
 ทางชลศาสตร์จาก 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ไปเป็น 1.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ตัวกลางซังข้าวโพด มี
 ความสามารถในการดูดติดสี RR-124 อายุการใช้งาน และ EBCT ลดลงจาก 0.26 มก.ทีโอซี/ก. 214
 นาติ และ 84 นาติ ตามลำดับ ไปเป็น 0.03 มก.ทีโอซี/ก. 53 นาติ และ 32.3 นาติ ตามลำดับ ส่วน
 ความสามารถในการดูดติดสี RR-141 มีอายุการใช้งาน และ EBCT ลดลงจาก 0.36 มก.ทีโอซี/ก. 253
 นาติ และ 84 นาติ ตามลำดับ ไปเป็น 0.07 มก.ทีโอซี/ก. 79 นาติ และ 32.3 นาติ ตามลำดับ สำหรับ
 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่เหลืออยู่กับปริมาตรสะสมของน้ำที่ออกจากระบบ
 ของสี RR-124 และ RR-141 โดยใช้ตัวกลางซังข้าวโพด วิเคราะห์ด้วยวิธีวัดการดูดกลืนแสง แสดง
 ในรูป จ-7-8 ในภาคผนวก จ. และตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการทดลองดูดติดสี RR-
 124 และ RR-141 ของตัวกลางซังข้าวโพด แสดงไว้ในตารางที่ 4.22

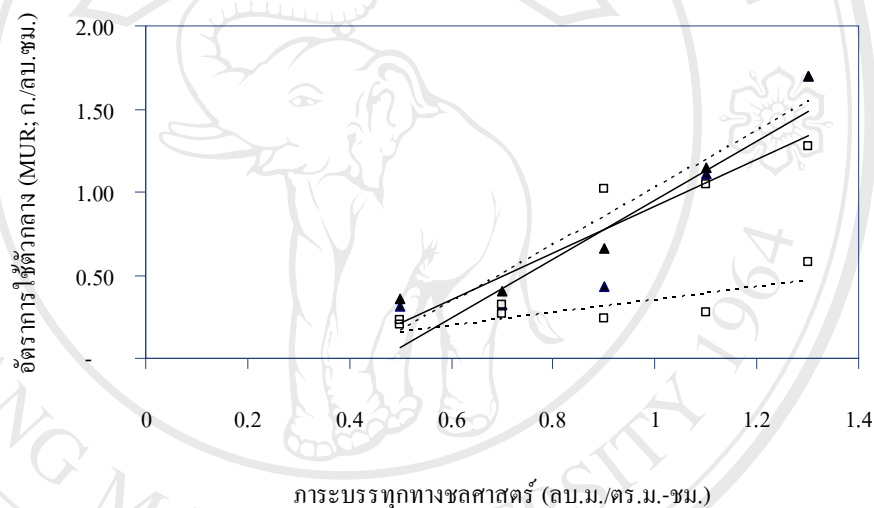
ตารางที่ 4.22 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองแบบต่อเนื่องของสปี RR-124 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 มก.ทีไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางซังข้าวโพด ปริมาณตัวกลาง 150 กรัม ที่อัตราการระบรทุกทางชลศาสตร์ต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

พารามิเตอร์	อัตราการระบรทุกทางชลศาสตร์ (ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.)				
	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3
ปริมาตรจากเริ่มต้นถึงจุดหมดสภาพ, V_T (ลบ.ชม.)	2,026	1,869	1,481	1,435	1,307
ปริมาตรระหว่างจุดเบรคทวูถึงจุดหมดสภาพ, V_Z (ลบ.ชม.)	1,367	1,400	1,334	1,291	1,189
ความลึกชั้นตัวกลาง(ชม.)	70 $\pm$ 2	70 $\pm$ 2	70 $\pm$ 2	70 $\pm$ 2	70 $\pm$ 2
ความยาว Mass Transfer Zone (ชม.)	>70	>70	>70	>70	>70
ปริมาณสีสะสมที่ถูกดูดซับจนถึงจุดหมดสภาพ (มก.ทีไอซี)	40	21	11	7	4
ความสามารถในการดูดซับสี เมื่อถึง จุดหมดสภาพ (มก.ทีไอซี/ก.)	0.26	0.14	0.07	0.05	0.03
อายุการใช้งานของระบบตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดหมดสภาพ (นาที่)	214	141	87	69	53
อัตราการไหล (ลบ.ชม./นาที่)	9.5	13.2	17.0	20.8	24.6
ความหนาแน่น(Bulk density; กก./ลบ.ม.)	189	189	189	189	189
EBCT (นาที่)	84.0	60.0	46.7	38.8	32.3
อัตราการใช้ตัวกลาง (MUR; ก/ลบ.ชม.)	0.23	0.32	1.02	1.05	1.27

ตารางที่ 4.23 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองแบบต่อเนื่องของสปี RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.89 ± 0.2 มก.ทีไอซี/ล. โดยใช้ตัวกลางซังข้าวโพด ปริมาณตัวกลาง 150 กรัม ที่อัตราการระบรทุกทางชลศาสตร์ต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีวัดค่าทีไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

พารามิเตอร์	อัตราการระบรทุกทางชลศาสตร์ (ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.)				
	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3
ปริมาตรจากเริ่มต้นถึงจุดหมดสภาพ, V_T (ลบ.ชม.)	2,395	2,157	2,409	2,779	1,935
ปริมาตรระหว่างจุดเบรคทวูถึงจุดหมดสภาพ, V_Z (ลบ.ชม.)	1,642	1,603	1,777	2,236	1,675
ความลึกชั้นตัวกลาง(ชม.)	70 $\pm$ 2	70 $\pm$ 2	70 $\pm$ 2	70 $\pm$ 2	70 $\pm$ 2
ความยาว MTZ(ชม.)	>70	>70	>70	>70	>70
ปริมาณสีสะสมที่ถูกดูดซับจนถึงจุดหมดสภาพ (มก.ทีไอซี)	54	31	28	25	10
ความสามารถในการดูดซับสี เมื่อถึง จุดหมดสภาพ (มก.ทีไอซี/ก.)	0.36	0.20	0.19	0.17	0.07
อายุการใช้งานของระบบตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดหมดสภาพ (นาที่)	253	163	163	134	79
อัตราการไหล (ลบ.ชม./นาที่)	9.5	13.2	17.0	20.8	24.6
ความหนาแน่น(Bulk density; กก./ลบ.ม.)	189	189	189	189	189
EBCT (นาที่)	84.0	60.0	46.7	38.8	32.3
อัตราการใช้ตัวกลาง (MUR; ก/ลบ.ชม.)	0.20	0.27	0.24	0.28	0.58

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบการดูดคิดสี RR-124 และ RR-141 ของตัวกลางแกลบ และ ชังข้าวโพดเมื่อพิจารณาจากอัตราการใช้ตัวกลางพบว่า ตัวกลางชังข้าวโพดมีความสามารถในการดูดคิดของสี RR-124 ได้ดีกว่าในช่วงอัตราภาระบรรจุทุกทางชลศาสตร์มีค่าระหว่าง 0.5-0.7 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เนื่องจากใช้ปริมาณตัวกลางในการดูดคติน้อยกว่า ส่วนช่วง 0.7-1.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ตัวกลางแกลบจะดูดคิดได้ดีกว่า ด้วยเหตุผลเดียวกัน ในทำนองเดียวกันในช่วงอัตราภาระบรรจุทุกทางชลศาสตร์ค่าระหว่าง 0.5-0.9 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ตัวกลางชังข้าวโพดดูดคิดได้ดีกว่า และในช่วง 0.9-1.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ตัวกลางแกลบดูดคิดได้ดีกว่า ดังแสดงรูปกราฟการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของภาระบรรจุทุกทางชลศาสตร์กับอัตราการใช้ตัวกลางแกลบ และชังข้าวโพด ของสี RR-124 และ RR-141 ดังรูป 4.17



สัญลักษณ์	ตัวกลาง	สี	สมการ	R ²
—▲—	แกลบ	RR-124	$y = 1.785x + 0.832$	0.8472
---▲---	แกลบ	RR-141	$y = 1.718x + 0.692$	0.9136
—■—	ชังข้าวโพด	RR-124	$y = 1.407x - 0.490$	0.8942
---□---	ชังข้าวโพด	RR-141	$y = 0.379x - 0.030$	0.6334

รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ตัวกลางกับภาระบรรจุทุกทางชลศาสตร์ของสี RR-124 และ RR-141 ความเข้มข้นเริ่มต้น 9.94 ± 0.2 และ 10.89 ± 0.2 มก.ที่ไอซี/ล. ตามลำดับ โดยใช้ตัวกลางแกลบ และชังข้าวโพด ปริมาณ 200 และ 150 กรัม ตามลำดับที่ภาระบรรจุทุกทางชลศาสตร์ 5 ค่า วิเคราะห์ด้วยการวัดค่าที่ไอซี (ค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุด)

เมื่อพิจารณาความสามารถในการดูดคิดจะพบว่าการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง โดยใช้ถัง ปฏิกริยาแบบเท และการทดลองแบบต่อเนื่องมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากการทดลองแบบต่อเนื่องจะ

มีการให้น้ำสีสังเคราะห์ไหลผ่านตัวกลางตลอดเวลาทำให้การดูดติดเป็นแบบ Film diffusion ส่วนแบบไม่ต่อเนื่อง โดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบเท จะมีลักษณะเป็นแบบ Surface diffusion และในการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง โดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบเท การเขย่าตัวกลางภายใต้ความร้อน และให้เวลาสัมผัสกับตัวกลางนานๆ จะทำให้สีธรรมชาติของตัวกลางหลุดออกมามาก ซึ่งก็เป็นปัจจัยในการรบกวนการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีก็มีผลต่อการดูดติด โดยการทดลองแบบต่อเนื่องความเข้มข้นเริ่มต้นของสี RR-124 และ RR-141 มีค่า 9.94 ± 0.2 และ 10.89 ± 0.2 มก.ทีโอซี/ล. ตามลำดับ ส่วนการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง โดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบเท ความเข้มข้นจะลดลงเมื่อเพิ่มเวลาสัมผัส ทำให้ค่า X/M ที่หาได้จากการทดลองทั้งสองแบบแตกต่างกัน

สำหรับต้นทุนในการนำเอาตัวกลางทั้ง 4 ชนิดมาประยุกต์ใช้ดูดติดสี RR-124 และ RR-141 สามารถคิดเปรียบเทียบกัน โดยคิดค่าใช้จ่ายในการผลิตตัวกลางใน 1 วัน แสดงไว้ในตารางที่ 4.24 ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.24 ค่าใช้จ่ายโดยประมาณในการเตรียมตัวกลางต้นถั่วเหลือง ตอซังข้าว ซังข้าวโพด และแกลบ สำหรับใช้ในการดูดติดสีรีแอกทีฟ ต่อ 1 วัน ซึ่งผลิตได้วันละ 30 กก.

รายการ	ตัวกลาง			
	ต้นถั่วเหลือง	ตอซังข้าว	ซังข้าวโพด	แกลบ
1. วัตถุดิบ (บาท)	0	0	0	0
2. เครื่องอบ (เหมาก่าย ;บาท/วัน)	50	50	50	50
3. ย่อยลดขนาด - เครื่องย่อยลดขนาด ¹ ขนาดกำลังไฟ 2,200 W	52.8	52.8	52.8	0
4. บดตัวกลางให้มีขนาดเล็ก - เครื่องบด ¹ ขนาดกำลังไฟ 2,200 W	52.8	52.8	52.8	52.8
5. บุคลากร ² 2 คน ทำงาน 8 ชม./วัน (บาท)	200	200	200	200
6. รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (บาท/วัน)	335.6	335.6	335.6	282.8
7. ปริมาณตัวกลางที่ได้ (กก./วัน)	30	30	30	30
8. ราคาต่อหน่วย (บาท/กก.)	11.19	11.19	11.19	9.43
9. ความสามารถในการดูดติดสี RR-124 (มก./ก.)	0.467	0.421	0.153	0.101
10. ราคาต่อหน่วยการดูดติดสี (บาท/ก.สี RR-124)	23.95	26.57	73.12	93.33
11. ความสามารถในการดูดติดสี RR-141 (มก./ก.)	0.513	0.438	0.17	0.099
12.ราคาต่อหน่วยการดูดติดสี (บาท/ก.สี RR-141)	21.81	25.54	65.80	95.22

หมายเหตุ ¹ คือ ทำงาน วันละ 8 ชั่วโมง คิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท

² คือ ทำหน้าที่ ใช้เครื่องย่อยขนาด เครื่องบด ร่อนแยกขนาด และล้างตัวกลาง