สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

การศึกษาการดูดซับสีย้อมบนท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น

ฉัตรสุดา เดชศรี

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

23 ก.ย. 2557
343339

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีศึกษา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
สิงหาคม 2557

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ ฉัตรสุดา เดชศรี ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ดร.เอกพงษ์ สุวัฒนมาลา)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนวัช พินิจศักดิ์กุล)

.....กรรมการ
(ดร.เอกพงษ์ สุวัฒนมาลา)

.....กรรมการ
(ดร.นรวิชญ์ ไกรนรา)

.....กรรมการ
(ดร.การะเกด เทศศรี)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)
วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. 2557

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ประจำปีงบประมาณ 2557

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.เอกพงษ์ สุวัฒนมาลา ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ทำให้ผู้วิจัยได้รับแนวทางในการศึกษาค้นคว้าความรู้อย่างเป็นระบบ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนวัช พินิจศักดิ์กุล ดร.นรวิชญ์ ไกรนรา และ ดร.การะเกด เทศศรี ที่เสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

เนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้ส่วนหนึ่งได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ จึงขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์มา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการ คณาจารย์โรงเรียนสาธิต “พิบูลบำเพ็ญ” มหาวิทยาลัยบูรพา ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนให้ผู้วิจัยทำการศึกษาค้นคว้าจนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณเพื่อนนิสิตปริญญาโท สาขาเคมีศึกษาทุกท่านที่มีส่วนช่วยในการแนะนำช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อวิไลศักดิ์ เดชศรี คุณแม่ประยูร เดชศรี อันเป็นที่รักและเคารพ และนายเอกรัฐ เดชศรี ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

ฉัตรสุดา เดชศรี

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

54990029 : สาขาวิชา: เคมีศึกษา; วท.ม. (เคมีศึกษา)
คำสำคัญ : ท่อนาโนคาร์บอน/การดูดซับ/ไอโซเทอร์ม/จลนพลศาสตร์/อุณหพลศาสตร์/เมทิลไวโอเลต/เมททิลีนบลู/เมทิลออเรนจ์

ฉัตรสุดา เดชศรี : การดูดซับสีย้อมบนท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น (THE STUDY OF ADSORPTION OF DYES ON MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: เอกพงษ์ สุวัฒนมาลา, Ph.D. 91 หน้า. ปี พ.ศ. 2557.

งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลต (MV) เมททิลีนบลู (MB) และเมทิลออเรนจ์ (MO) บนท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นโดยทำการทดลองแบบแบทช์ การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม อุณหภูมิ และระยะเวลาในการสัมผัส พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น จากข้อมูลของการศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับพบว่ามีความสอดคล้องกับแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน สมดุลการดูดซับสอดคล้องกับแบบจำลองไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ โดยประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดของ MV MB และ MO เท่ากับ 250 มิลลิกรัมต่อกรัม 167 มิลลิกรัมต่อกรัมและ 75 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ข้อมูลทางอุณหพลศาสตร์ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี (ΔH°) การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี (ΔS°) และการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระ (ΔG°) ของการดูดซับสีย้อมถูกคำนวณโดยอาศัยพื้นฐานไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ แสดงว่าให้เห็นว่าการดูดซับสีย้อมบนท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นเป็นการดูดซับแบบดูดความร้อนที่สามารถเกิดขึ้นเองได้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

52990021: MAJOR : CHEMICAL EDUCATION: M.Sc. (CHEMICAL EDUCATION)
KEYWORDS: CARBON NANOTUBES/ ADSORPTION/ EQUILIBRIUM ISOTHERM/ KINETIC/ THERMODYNAMIC/ METHYL VIOLET/ METHYLENE BLUE/ METHYL ORANGE

CHATSUDA DETSRI: THE STUDY OF ADSORPTION OF DYES ON MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES. ADVISORY COMMITTEE: AKAPONG SUWATANAMALA, Ph.D. 91 P. 2014.

This research studied the adsorption of methyl violet (MV) methylene blue (MB) and methyl orange (MO) dyes on multi-walled carbon nanotubes by batch method. The effect of initial dye concentrations temperatures and contact times were investigated The results pointed out that adsorptions increased with their initial dyes concentrations in the aqueous solutions. The kinetic data of adsorptions were in a good agreement with the pseudo-second-order kinetic models. The equilibrium adsorption was well fitted by Langmuir isotherm models with the maximum adsorption capacity of 250, 167 and 75 mg g^{1} for MV, MB and MO at 30°C, respectively. The thermodynamics parameters, such as the enthalpy, entropy, and Gibb's free energy changes were calculated and these values showed that the adsorption on multi-walled carbon nanotubes was spontaneous and endothermic process.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การดูดซับ	4
2.2 สีย้อม	4
2.3 โครงสร้างคาร์บอน	8
2.4 ท่อนาโนคาร์บอน	11
2.5 สมบัติของท่อนาโนคาร์บอน	14
2.6 จลนศาสตร์การดูดซับ	14
2.7 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ	16
2.8 อุณหพลศาสตร์ของการดูดซับ	19
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
3 วิธีดำเนินการวิจัย	26
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี	26
3.2 แผนการดำเนินการวิจัย	27
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย	27
4 ผลการทดลองและอภิปราย	31

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.1 การดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสีย้อมเมทิลไวโอเลต เมททิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์	31
	4.2 การทำกราฟมาตรฐานของสีย้อมเมทิลไวโอเลต เมททิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์	32
	4.3 การศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลไวโอเลต เมททิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ที่มีผลต่อการดูดซับบนท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น	33
	4.4 การศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลต เมททิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์บนท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น	35
	4.5 การศึกษาไอโซเทอร์มของสมดุลการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลต เมททิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์	41
	4.6 การศึกษาอุณหพลศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลต เมททิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์บนท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น	50
	4.7 การศึกษาอันตรกิริยาระหว่างสีย้อมเมทิลไวโอเลต เมททิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์กับท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น	52
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	54
	5.1 สรุปผลการวิจัย	54
	5.2 ข้อเสนอแนะ	55
บรรณานุกรม		55
ภาคผนวก		58
	ภาคผนวก ก	60
	ภาคผนวก ข	64
	ภาคผนวก ค	68
ประวัติย่อของผู้วิจัย		91

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	รูปแบบโครงสร้างท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังชั้นเดียว.....	12
2-2	การเปรียบเทียบไอโซเทอร์มชนิดต่าง ๆ	19
4-1	ผลของความเข้มข้นต่อพารามิเตอร์ของการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตตามแบบจำลองจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน อันดับสองเสมือนและการแพร่ภายในอนุภาค.....	38
4-2	ผลของความเข้มข้นต่อพารามิเตอร์ของการดูดซับสีย้อมเมททิลีนบลูตามแบบจำลองจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน อันดับสองเสมือนและการแพร่ภายในอนุภาค.....	39
4-3	ผลของความเข้มข้นต่อพารามิเตอร์ของการดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์ตามแบบจำลองจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน อันดับสองเสมือนและการแพร่ภายในอนุภาค.....	39
4-4	พารามิเตอร์ไอโซเทอร์มของสมดุลการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตบนท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น.....	47
4-5	พารามิเตอร์ไอโซเทอร์มของสมดุลการดูดซับสีย้อมเมททิลีนบลูบนท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น.....	48
4-6	พารามิเตอร์ไอโซเทอร์มของสมดุลการดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์บนท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น.....	48
4-7	ค่าพารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์ที่อุณหภูมิต่างกัน.....	50
ค-1	ผลการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตรบนท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	69
ค-2	ผลการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรบนท่อนาโนคาร์บอน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	70
ค-3	ผลการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตรบนท่อนาโนคาร์บอน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	71

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ค-4 ผลการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร บนท่อนาโนคาร์บอน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... 72

ค-5 ผลการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร บนท่อนาโนคาร์บอน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... 73

ค-6 ผลการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร บนท่อนาโนคาร์บอน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... 74

ค-7 ผลการดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร บนท่อนาโนคาร์บอน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... 75

ค-8 ผลการดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร บนท่อนาโนคาร์บอน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... 76

ค- 9 ผลการดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร บนท่อนาโนคาร์บอน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... 77

ค-10 ผลการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 150, 200 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตรบนท่อนาโนคาร์บอน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... 78

ค-11 ผลการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 150, 200 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตรบนท่อนาโนคาร์บอน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... 79

ค-12 ผลการดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20, 30 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรบนท่อนาโนคาร์บอน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... 80

ค-13 ผลการดูดซับที่สมดุลของสีย้อมเมทิลไวโอเลตบนท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส..... 81

ค-14 ผลการดูดซับที่สมดุลของสีย้อมเมทิลไวโอเลตบนท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... 82

ค-15 ผลการดูดซับที่สมดุลของสีย้อมเมทิลไวโอเลตบนท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส..... 83

ค-16 ผลการดูดซับที่สมดุลของสีย้อมเมทิลไวโอเลตบนท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส..... 84

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ค-17 ผลการดูดซับที่สมดุลของสีย้อมเมทิลีนบลูบนท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส..... 85
ค-18 ผลการดูดซับที่สมดุลของสีย้อมเมทิลีนบลูบนท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... 86
ค-19 ผลการดูดซับที่สมดุลของสีย้อมเมทิลีนบลูบนท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส..... 87
ค-20 ผลการดูดซับที่สมดุลของสีย้อมเมทิลีนบลูบนบนท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส..... 88
ค-21 ผลการดูดซับที่สมดุลของสีย้อมเมทิลออเรนจ์บนท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... 89
ค-22 ผลการดูดซับที่สมดุลของสีย้อมเมทิลออเรนจ์บนท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส..... 89
ค-23 ผลการดูดซับที่สมดุลของสีย้อมเมทิลออเรนจ์บนบนท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส..... 90

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 โครงสร้างสีย้อมเมทิลไวโอเลต ($C_{23}H_{26}N_3Cl$) 7

2-2 โครงสร้างสีย้อมเมททิลีนบลู ($C_{16}H_{18}N_3SCl$) 7

2-3 โครงสร้างของเมทิลออเรนจ์ ($C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$) 8

2-4 สีของสีย้อมเมทิลออเรนจ์เมื่ออยู่ในรูปกรดและเบส..... 8

2-5 โครงสร้างของเพชร..... 9

2-6 โครงสร้างของแกรไฟต์ 9

2-7 โครงสร้างของแกรไฟต์ที่เรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ..... 10

2-8 โครงสร้างจำลองของคาร์บอนหกสิบ (C_{60})..... 10

2-9 โครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอน..... 11

2-10 ลักษณะการม้วนตัวของแผ่นแกรไฟต์เป็นของท่อนาโนคาร์บอน..... 11

2-11 ลักษณะการม้วนด้วยมุมที่ต่างกันก็จะได้ลวดลายตามผนังท่อที่ต่างกัน..... 13

2-12 ตัวอย่างภาพตัดขวางของท่อนาโนคาร์บอน ที่รวมกันเป็นมัดของท่อนาโนคาร์บอน..... 13

2-13 ภาพตัวอย่างของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น..... 14

4-1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานของสีย้อมเมทิลไวโอเลต..... 31

4-2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานของสีย้อมเมททิลีนบลู 31

4-3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานของสีย้อมเมทิลออเรนจ์..... 32

4-4 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานสีย้อมเมทิลไวโอเลต..... 32

4-5 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานสีย้อมเมททิลีนบลู 33

4-6 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานสีย้อมเมทิลออเรนจ์..... 33

4-7 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลไวโอเลตต่อการดูดซับบนท่อนาโนคาร์บอน แบบผนังหลาย..... 34

4-8 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมททิลีนบลูต่อการดูดซับบนท่อนาโนคาร์บอน แบบผนังหลาย..... 34

4-9 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลออเรนจ์ต่อการดูดซับบนท่อนาโนคาร์บอน แบบผนังหลาย..... 35

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-10 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตตาม แบบจำลองจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส... 36

4-11 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อมเมททิลีนบลูตาม แบบจำลองจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส... 36

4-12 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์ตาม แบบจำลองจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.. 36

4-13 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตตาม แบบจำลองจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับสองเสมือนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.. 37

4-14 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อมเมททิลีนบลูตาม แบบจำลองจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับสองเสมือนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.. 38

4-15 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์ตาม แบบจำลองจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับสองเสมือนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.. 38

4-16 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตตาม แบบจำลองแพร่ภายในอนุภาคที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... 40

4-17 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อมเมททิลีนบลูตาม แบบจำลองแพร่ภายในอนุภาคที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....40

4-18 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์ตาม แบบจำลองแพร่ภายในอนุภาคที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....41

4-19 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตบนท่อนาโนคาร์บอน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 42

4-20 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมเมททิลีนบลูบนท่อนาโนคาร์บอน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 43

4-21 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์บนท่อนาโนคาร์บอน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 43

4-22 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตบนท่อนาโนคาร์บอน ตามสมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ ที่อุณหภูมิ 20, 30, 40 องศาเซลเซียส 44

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-23 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นการดูดซับสีย้อมเมททิลีนบลูบนท่อนาโนคาร์บอนตามสมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ ที่อุณหภูมิ 20, 30, 40 องศาเซลเซียส 44

4-24 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นการดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์บนท่อนาโนคาร์บอนตามสมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ที่อุณหภูมิ 20, 30, 40 องศาเซลเซียส 44

4-25 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตบนท่อนาโนคาร์บอนตามสมการไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช ที่อุณหภูมิ 20, 30, 40 องศาเซลเซียส 45

4-26 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นการดูดซับสีย้อมเมททิลีนบลูบนท่อนาโนคาร์บอนตามสมการไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช ที่อุณหภูมิ 20, 30, 40 องศาเซลเซียส 45

4-27 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นการดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์บนท่อนาโนคาร์บอนตามสมการไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช ที่อุณหภูมิ 20, 30, 40 องศาเซลเซียส 45

4-28 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตบนท่อนาโนคาร์บอนตามสมการไอโซเทอร์มของเทมคิน ที่อุณหภูมิ 20, 30, 40 องศาเซลเซียส 46

4-29 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นการดูดซับสีย้อมเมททิลีนบลูบนท่อนาโนคาร์บอนตามสมการไอโซเทอร์มของเทมคิน ที่อุณหภูมิ 20, 30, 40 องศาเซลเซียส 46

4-30 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นการดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์บนท่อนาโนคาร์บอนตามสมการไอโซเทอร์มของเทมคิน ที่อุณหภูมิ 20, 30, 40 องศาเซลเซียส 46

4-31 ความสัมพันธ์ของ $\ln K_l$ กับ 1/T ของสารละลายสีย้อมเมทิลไวโอเลตและเมททิลีนบลูบนท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น..... 50

4-32 โครงสร้างที่อาจเป็นไปได้ในลักษณะรูปแบบไดเมอร์ของสีย้อมเมทิลีนบลูในสารละลาย..... 51

4-33 อันตรกิริยาที่เป็นไปได้ของการดูดซับของสีย้อมเมทิลีนบลูบนท่อนาโนคาร์บอน..... 52

4-34 อันตรกิริยาที่เป็นไปได้ของการดูดซับของสีย้อมเมทิลไวโอเลตบนท่อนาโนคาร์บอน..... 52

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University