สารบาญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		ค
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ฉ
สารบาญตาราง		ฎ
สารบาญภาพ		ฏ
อักษรย่อ และสัญลักษณ์		ต
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
	1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา	2
	1.4 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2	ทฤษฎีและวรรณกรรม	4
	2.1 สีไดเร็กท์ (Direct Dye)	4
	2.2 โครงสร้างเคมีของสีไดเร็กท์	5
	2.3 ผลกระทบของการทิ้งน้ำเสียสีรวมจากการย้อมผ้า	7
	2.4 ประเภทของสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำเสีย	7
	2.5 กระบวนการโคแอคกูเลชัน (Coagulation Process)	8
	2.5.1 การเกิดเสถียรภาพของอนุภาค	8
	2.5.2 การลดเสถียรภาพของอนุภาคสารแขวนลอย	9
	2.5.3 กลไกการทำโคแอคกูเลชันด้วยสารส้มและสารประกอบเหล็ก	10
	2.5.4 ชนิดของสารโคแอคกูแลนต์	11

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 กระบวนการดูดติดผิว (Adsorption)	13
2.6.1 วัสดุดูดซับ (Adsorbent)	13
2.6.2 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์	16
2.6.3 กลไกของกระบวนการดูดติดผิว	17
2.6.4 ทฤษฎีของการกระบวนการดูดติดผิว (Adsorption Theory)	18
2.6.5 Freundlich Adsorption Isotherm	18
2.6.6 Langmuir Adsorption Isotherm	20
2.6.7 จลศาสตร์ของการดูดติดผิว (Adsorption Kinetics)	21
2.6.8 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดูดติดผิว	23
2.6.9 ลักษณะของกราฟเบรคทรู (Breakthrough Curve) และ การเคลื่อนย้ายมวลสารสำหรับ Fixed-bed Adsorption Column	24
2.6.10 การหาความยาวของ Mass Transfer Zone	27
2.7 การนำถ่านกัมมันต์มาประยุกต์ใช้ในงานจริง	28
2.7.1 วิธี Empty Bed Contact Time (EBCT)	29
2.7.2 วิธี Bed Depth – Service Time	30
2.8 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3 การดำเนินการศึกษา	40
3.1 อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	40
3.2 ขั้นตอนและวิธีการทำการทดลอง	40
3.2.1 วิธีการที่ใช้ในการศึกษา	41
3.2.2 การเตรียมน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา	49
3.2.3 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง	49

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

		หน้า
	3.2.4 การเก็บน้ำตัวอย่าง และการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียที่เข้าและออกระบบ	50
บทที่ 4	ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา	52
	4.1 การทดลอง Jar Test	52
	4.1.1 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีในรูปของ ทีโอซี	52
	4.1.2 ผลของปริมาณสารโคแอคกูแลนท์ที่มีต่อการกำจัดสีในรูปของ ทีโอซี	55
	4.1.3 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ในการใช้สารโคแอคกูแลนท์	57
	4.2 การทดลองกระบวนการดูดติดผิวแบบแบทช์ในถังปฏิกิริยาแบบเท	57
	4.2.1 ผลของ พีเอช ที่มีต่อเวลาสัมผัสของถ่านกัมมันต์	58
	4.2.2 ผลของความเข้มข้น ทีโอซี เริ่มต้นที่มีต่อเวลาสัมผัสของถ่านกัมมันต์	60
	4.2.3 ผลของ พีเอช ที่มีต่อค่าความสามารถในการดูดติดสีของถ่านกัมมันต์	62
	4.2.4 ผลของความเข้มข้น ทีโอซี ของสีเริ่มต้นที่มีต่อค่าความสามารถในการดูดติดสีของถ่านกัมมันต์	68
	4.3 การทดลองดูดติดผิวแบบต่อเนื่องเพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลและความลึกของคอลัมน์ ที่มีผลต่อกระบวนการดูดติดสีของถ่านกัมมันต์ C1000 และ F300	73
	4.3.1 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ในการใช้ถ่านกัมมันต์	88
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง	90
	5.1 สรุปผลการศึกษา Jar Test	90
	5.2 สรุปผลการศึกษาแบบไม่ต่อเนื่องในถังปฏิกิริยาแบบเท	90
	5.3 สรุปผลการศึกษาแบบต่อเนื่อง	91

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
5.4 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม	92
เอกสารอ้างอิง	93
ภาคผนวก	95
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง	96
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ	122
ภาคผนวก ค รูปแสดงลักษณะของน้ำเสียสีย้อมผ้ารวมที่ใช้ในการทดลอง	129
ภาคผนวก ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	131
ประวัติผู้เขียน	151

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง

ตาราง		หน้า
3.1	การทดลองศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำสีย้อมผ้ารวม (วัดในรูปทีโอซี) ต่อเวลาสัมผัสของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด	44
3.2	การศึกษาผลของ pH ต่อเวลาสัมผัสของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด	45
3.3	การศึกษาผลของปริมาณความเข้มข้นของน้ำสีย้อมผ้ารวม (วัดในรูปทีโอซี) ต่อความสามารถในการดูดติดของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด	46
3.4	การทดลองผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดติดของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด	47
3.5	การทดลองกระบวนการดูดติดแบบต่อเนื่องของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด	48
3.6	ลักษณะสมบัติของกัมมันต์ที่นำมาศึกษา	50
3.7	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ รูปแบบการวิเคราะห์น้ำเสีย และพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดในการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง	51
3.8	จุดเก็บน้ำตัวอย่าง รูปแบบการวิเคราะห์น้ำเสีย และพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดในการทดลองแบบต่อเนื่อง	51
4.1	คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง	58
4.2	ค่าคงที่ตามสมการ Freundlich และ Langmuir ที่ค่า พีเอช เท่ากับ 3, 5, 7 และ 9 ของถ่านกัมมันต์ชนิด C1000 และ F300 (ทีโอซี เริ่มต้น 39.05 มก./ล.)	66
4.3	ค่าคงที่ตามสมการ Freundlich และ Langmuir ที่ค่าความเข้มข้นเริ่มต้น ทีโอซี เท่ากับ 39.05, 60.78, 78.41 และ 148.20 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ชนิด C1000 และ F300	72
4.4	อัตราการใช้ถ่านที่อัตราการไหลต่างๆ กันของถ่านกัมมันต์ชนิด C1000 และ F300	83
4.5	ค่าคงที่ตามสมการ Bohart และ Adams ของถ่านกัมมันต์ชนิด C1000 และ F300	87
4.6	ค่าความลึกวิกฤติที่อัตราการไหลที่แตกต่างกันของถ่านกัมมันต์ F300 และ C1000	87

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ

รูป		หน้า
2.1	ขั้นตอนของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์	14
2.2	ลักษณะของถ่านกัมมันต์แบบผง	15
2.3	ลักษณะของถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด	15
2.4	ลักษณะของถ่านกัมมันต์	16
2.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(X/M)$ และ $\log C_e$	19
2.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{C_e}{X/M}$ และ C_e	21
2.7	ขั้นตอนการดูดติดผิว	23
2.8	Breakthrough curve ของ Fixed-bed adsorption column	25
2.9	รูปแบบของกราฟเบรคทรูในกระบวนการดูดติดผิว	26
2.10	การหาค่า t_b และ t_s จาก Breakthrough Curve	27
2.11	รูปแบบการดำเนินการติดตั้งของการทดลอง Pilot – Scale	28
2.12	ความสัมพันธ์ระหว่าง COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียในแต่ละคอลัมน์	29
2.13	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้คาร์บอนกับ Empty Bed Contact Time (EBCT)	29
2.14	ความสัมพันธ์ระหว่าง Service Time กับความลึกของชั้นถ่าน	31
3.1	เครื่องกวน Miyamoto Riken ในการศึกษากระบวนการโคแอคกูเลชัน	42
3.2	เครื่องเขย่ารุ่น GFL 3017 สามารถควบคุมความเร็วรอบ (10 - 400 รอบ/นาที) ในการเขย่าได้ ใช้ในการศึกษากระบวนการดูดติดแบบแบทช์	43
3.3	แบบจำลองถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการศึกษาแบบต่อเนื่อง	48
4.1	ผลของ พีเอช ที่มีต่อการกำจัด ทีโอซี ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 420 มก./ล. โดยการใช้สารโคแอคกูแลนท์ 3 ชนิด คือ Alum ,$FeCl_3$ และ $FeSO_4$ ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 600 มก./ล.	53
4.2	ผลของ พีเอช ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซี (%) ของสารโคแอคกูแลนท์ 3 ชนิด คือ Alum ,$FeCl_3$ และ $FeSO_4$ ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 60มก./ล.	53

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.3	ผลของปริมาณสารโคแคกูแลนท์ทั้ง 3 ชนิด คือ Alum ,$FeCl_3$ และ $FeSO_4$ ที่มีต่อการกำจัดทีโอซี ที่มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 420 มก./ล. โดยควบคุม พีเอช เท่ากับ 5.0 สำหรับ Alum และ$FeCl_3$ และควบคุม พีเอช เท่ากับ 6.5 สำหรับ $FeSO_4$	56
4.4	ผลของปริมาณสารโคแอคกูแลนท์ ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดทีโอซี (%)โดยการใช้สารโคแอคกูแลนท์ 3 ชนิด คือ Alum ,$FeCl_3$ และ $FeSO_4$ ซึ่งทำการควบคุม พีเอช เท่ากับ 5.0 สำหรับ Alum และ$FeCl_3$ และควบคุม พีเอช เท่ากับ 6.5 สำหรับ $FeSO_4$	56
4.5	ผลของ พีเอช ที่มีต่อเวลาสัมผัสที่ใช้ในการดูดติดสีในรูปของ ทีโอซี ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 39.05 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ F300	59
4.6	ผลของ พีเอช ที่มีต่อเวลาสัมผัสที่ใช้ในการดูดติดสีในรูปของ ทีโอซี ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 39.05 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ C1000	59
4.7	ผลของความเข้มข้นทีโอซีเริ่มต้นที่มีต่อเวลาสัมผัสที่ใช้ในการดูดติดสีในรูปของทีโอซี ที่มีค่า พีเอช เท่ากับ 7 ของถ่านกัมมันต์ F300	61
4.8	ผลของความเข้มข้นทีโอซีเริ่มต้นที่มีต่อเวลาสัมผัสที่ใช้ในการดูดติดสีในรูปของทีโอซีที่มีค่า พีเอช เท่ากับ 7 ของถ่านกัมมันต์ C1000	61
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ของถ่านกัมมันต์ F300 ที่ค่าพีเอช แตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง (28$\pm$ 3° C)	62
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ตามสมการ Freundlich Isotherm ของถ่านกัมมันต์ F300 ที่ค่า พีเอช แตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง (28$\pm$ 3° C)	63
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ตามสมการ Langmuir Isotherm ของถ่านกัมมันต์ F300 ที่ค่า พีเอช แตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง (28$\pm$ 3° C)	63

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ของถ่านกัมมันต์ C1000 ที่ค่า พีเอช แตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง (28± 3° C)	64
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ตามสมการ Freundlich Isotherm ของถ่านกัมมันต์ C1000 ที่ค่า พีเอช แตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง (28± 3° C)	64
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ตามสมการ Langmuir Isotherm ของถ่านกัมมันต์ C1000 ที่ค่า พีเอช แตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง (28± 3° C)	65
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ของถ่านกัมมันต์ F300 ที่ค่าความเข้มข้นทีโอซีเริ่มต้นที่แตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง (28± 3° C) ที่ พีเอช เท่ากับ 7	69
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ตามสมการ Freundlich Isotherm ของถ่านกัมมันต์ F300 ที่ค่าทีโอซีเริ่มต้นแตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง (28± 3° C) ที่ พีเอช เท่ากับ 7	69
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ตามสมการ Langmuir Isotherm ของถ่านกัมมันต์ F300 ค่าทีโอซีเริ่มต้นแตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง (28± 3° C) ที่ พีเอช เท่ากับ 7	70
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ของถ่านกัมมันต์ C1000 ที่ความเข้มข้นทีโอซีเริ่มต้นแตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง (28± 3° C) ที่ พีเอช เท่ากับ 7	70
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ตามสมการ Freundlich Isotherm ของถ่านกัมมันต์ C1000 ที่ค่าทีโอซีเริ่มต้นแตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง (28± 3° C) ที่ พีเอช เท่ากับ 7	71

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.20	ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ตามสมการ Langmuir Isotherm ของถ่านกัมมันต์ C1000 ที่ค่าทีโอซีเริ่มต้นแตกต่างกันที่เวลาสัมผัส 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง (28± 3° C) ที่ พีเอช เท่ากับ 7	71
4.21	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินระบบกับความเข้มข้น ทีโอซี ที่จุดเบรคทรูความเข้มข้น ทีโอซี เท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ F300 ที่อัตราการไหล 2.0 ลิตร/ชั่วโมง	74
4.22	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินระบบกับความเข้มข้น ทีโอซี ที่จุดเบรคทรูความเข้มข้น ทีโอซี เท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ F300 ที่อัตราการไหล 4.0 ลิตร/ชั่วโมง	74
4.23	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินระบบกับความเข้มข้น ทีโอซี ที่จุดเบรคทรูความเข้มข้น ทีโอซี เท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ F300 ที่อัตราการไหล 6.0 ลิตร/ชั่วโมง	75
4.24	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินระบบกับความเข้มข้น ทีโอซี ที่จุดเบรคทรูความเข้มข้น ทีโอซี เท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ F300 ที่อัตราการไหล 8.0 ลิตร/ชั่วโมง	75
4.25	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินระบบกับความเข้มข้น ทีโอซี ที่จุดเบรคทรูความเข้มข้น ทีโอซี เท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ C1000 ที่อัตราการไหล 2.0 ลิตร/ชั่วโมง	76
4.26	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินระบบกับความเข้มข้น ทีโอซี ที่จุดเบรคทรูความเข้มข้น ทีโอซี เท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ C1000 ที่อัตราการไหล 4.0 ลิตร/ชั่วโมง	76
4.27	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินระบบกับความเข้มข้น ทีโอซี ที่จุดเบรคทรูความเข้มข้น ทีโอซี เท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ C1000 ที่อัตราการไหล 6.0 ลิตร/ชั่วโมง	77

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.28	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินระบบกับความเข้มข้น ทีโอซี ที่จุดเบรคทรูความเข้มข้น ทีโอซี เท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ C 1000 ที่อัตราการไหล 8.0 ลิตร/ชั่วโมง	77
4.29	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ผ่านการบำบัดกับความเข้มข้น ทีโอซี ที่จุดเบรคทรูความเข้มข้น ทีโอซี เท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ F300 ที่อัตราการไหล 2.0 ลิตร/ชั่วโมง	78
4.30	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ผ่านการบำบัดกับความเข้มข้น ทีโอซี ที่จุดเบรคทรูความเข้มข้น ทีโอซี เท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ F300 ที่อัตราการไหล 4.0 ลิตร/ชั่วโมง	79
4.31	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ผ่านการบำบัดกับความเข้มข้น ทีโอซี ที่จุดเบรคทรูความเข้มข้น ทีโอซี เท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ F300 ที่อัตราการไหล 6.0 ลิตร/ชั่วโมง	79
4.32	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ผ่านการบำบัดกับความเข้มข้น ทีโอซี ที่จุดเบรคทรูความเข้มข้น ทีโอซี เท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ F300 ที่อัตราการไหล 8.0 ลิตร/ชั่วโมง	80
4.33	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ผ่านการบำบัดกับความเข้มข้น ทีโอซี ที่จุดเบรคทรูความเข้มข้น ทีโอซี เท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ C1000 ที่อัตราการไหล 2.0 ลิตร/ชั่วโมง	80
4.34	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ผ่านการบำบัดกับความเข้มข้น ทีโอซี ที่จุดเบรคทรูความเข้มข้น ทีโอซี เท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ C1000 ที่อัตราการไหล 4.0 ลิตร/ชั่วโมง	81
4.35	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ผ่านการบำบัดกับความเข้มข้น ทีโอซี ที่จุดเบรคทรูความเข้มข้น ทีโอซี เท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ C1000 ที่อัตราการไหล 6.0 ลิตร/ชั่วโมง	81

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.36	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ผ่านการบำบัดกับความเข้มข้น ทีโอซี ที่จุดเบรคทรูความเข้มข้น ทีโอซี เท่ากับ 5.0 มก./ล. ของถ่านกัมมันต์ C1000 ที่อัตราการไหล 8.0 ลิตร/ชั่วโมง	82
4.37	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ถ่านกับค่า EBCT ของถ่านกัมมันต์ C1000	83
4.38	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ถ่านกับค่า EBCT ของถ่านกัมมันต์ F300	84
4.39	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเดินระบบก่อนถึงจุดเบรคทรูกับความลึกของคอลัมน์ของถ่านกัมมันต์ F300	85
4.40	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเดินระบบก่อนถึงจุดเบรคทรูกับความลึกของคอลัมน์ของถ่านกัมมันต์ C1000	85

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์

ก.	กรัม
กก.	กิโลกรัม
มก.	มิลลิกรัม
ล.	ลิตร
มล.	มิลลิลิตร
ลบ.ม	ลูกบาศก์เมตร
ก./ล.	กรัมต่อลิตร
กก./ลบ.ม.	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
มก./ก.	มิลลิกรัมต่อกรัม
มก./ล.	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซม.	เซนติเมตร
ม.	เมตร
ชม.	ชั่วโมง
ม./ชม.	เมตรต่อชั่วโมง
ล./ชม.	ลิตรตอชั่วต่อชั่วโมง
ลบ.ม./ชม.	ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
$ม^2$	ตารางเมตร
°C	องศาเซลเซียส
g	กรัม
mg.	มิลลิกรัม
mg./l.	มิลลิกรัมต่อลิตร
V	ปริมาตร
X/M	ปริมาณสารที่ถูกดูดติดต่อปริมาณตัวกลางที่ใช้ (มก./ก.)
hr	ชั่วโมง
Q_{max}	ความสามารถในการดูดติด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved