ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247538

การฉีดและทดสอบฉ่านกัมมันต์ที่ได้จากการแยกสลายไม่ร่วมด้วยความร้อน

ปานฉัตร กฉัตเธริญ

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ตุลาคม 2554

b00252723

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247538

การผลิตและทดสอบถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน

ปานฉัตร กลัดเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ตุลาคม 2554

การผลิตและทดสอบถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน

ปานฉัตร กลัดเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ มีอยู่

.....กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุนยรัชต์ กิติยานันท์

.....กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภรินทร์ ไชยกลางเมือง

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภรินทร์ ไชยกลางเมือง

26 ตุลาคม 2554

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไปได้ด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภรินท์ ไชยกลาง-เมือง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และตรวจแก้ไขจนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิษณุ มีอยู่ ที่กรุณารับเป็นประธานกรรมการสอบ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุนยรัชต์ กิติยานันท์ ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้คำปรึกษา และคำแนะนำแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รวมทั้งบุคลากรทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี และคำปรึกษาแนะนำอันเป็นประโยชน์แก่ผู้เขียนมาโดยตลอด

ขอกราบขอพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ชีวิต ให้ความรัก ให้การศึกษา ให้กำลังใจสอนให้อดทนและเข้มแข็งอยู่เสมอ และเลี้ยงดูมาเป็นอย่างดี รวมไปถึงคุณย่า คุณป้า คุณอาชายและ หญิง ที่ช่วยสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด รวมไปถึงความรัก และกำลังใจจากพี่น้องที่มอบให้กัน

ขอขอบคุณนางสาวชีวสุ ภุหิรัญ และนายเจริญต๊ะโปง ที่คอยให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และกำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา ตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในภาควิชาเคมีอุตสาหกรรมอีกด้วย

ขอขอบคุณนายลีนวัฒน์ สิกขมาน ที่เป็นกำลังใจ ให้คำแนะนำและความช่วยเหลืออยู่เสมอ

สุดท้ายนี้หากมีสิ่งใดขาดตกบกพร่อง ผู้เขียนต้องขออภัยเป็นอย่างสูงในข้อบกพร่องและผิดพลาดนั้น และหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจในงานด้านนี้ต่อไป

ปานฉัตร กลัดเจริญ

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การผลิตและทดสอบถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน

ผู้เขียน นางสาวปานฉัตร กลัดเจริญ

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภรินทร์ ไชยกลางเมือง

บทคัดย่อ

247538

ในการศึกษานี้ ทำการศึกษาหาตัวแปรที่มีผลต่อการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อนในช่วง 300-600 องศาเซลเซียส ขนาดอนุภาคของไผ่รวกในช่วง <0.25-0.75 มิลลิเมตร อัตราการให้ความร้อน 5-15 องศาเซลเซียสต่อนาที และเวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้าย 0.5-1.5 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ของแข็ง โดยนำถ่านชาร์ที่ได้ไปวิเคราะห์แบบประมาณและกลุ่มสาร การดูดซับสารละลายไอโอดีน และการหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกสลายด้วยความร้อน โดยพิจารณาค่าการดูดซับไอโอดีน พบว่าถ่านชาร์ที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ขนาดอนุภาคของไผ่รวก <0.25 มิลลิเมตร อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และเวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้าย 30 นาที ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงที่สุดคือ 165.78 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านชาร์

จากนั้นทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยมีตัวแปรที่ต้องการศึกษา คือ เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น 1.5-3.0 ชั่วโมง และถ่านชาร์ที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อนอุณหภูมิ 300-600 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบการดูดซับสารละลายไอโอดีน และการหาลักษณะพื้นผิวโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดในการกระตุ้น คือ ที่เวลาการกระตุ้น 2 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากถ่านชาร์ที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส สามารถให้ค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 644.66 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านของกัมมันต์

Thesis Title Production and Testing of Activated Carbon Obtained from *Thysostachys siamensis* Pyrolysis

Author Miss Panchat Kladcharoen

Degree Master of Science (Industrial Chemistry)

Thesis Advisor Asst. Prof. Dr. Suparin Chaiklangmuang

ABSTRACT

247538

In this study, experiments were carried out to investigate the influence of various parameters of *Thysostachys siamensis* pyrolysis: pyrolysis temperature ranging 300-600 °C, particle size ranging <0.25-0.75 mm., heating rate ranging 5-15 °C/min and hold time ranging 0.5-1.5 h in order to obtain the solid products. The chars were characterized based on proximate analysis and iodine adsorption. The optimum pyrolysis conditions considered by iodine adsorption number, it was found that at a temperature of 400 °C, a particle size of <0.25 mm., a heating rate of 10 °C/min and a hold time of 0.5 h, the char achieved the maximum iodine number at 165.78 mg/g.

Subsequently the activations were performed with steam at 700 °C. The studied variables were activation time ranging 1.5-3.0 h and chars from pyrolysis temperature ranging 300-600 °C. The iodine adsorption were analysed and surface areas were characterized by SEM. The optimum activation condition was at an activation time of 2.0 h and the activated carbon gained from the char pyrolysed from *Thysostachys siamensis at a* temperature of 400 °C provided the maximum iodine at 644.66 mg/g.

สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญ	ฉ
สารบาญตาราง	ฎ
สารบาญภาพ	ฎ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ไผ่	1
ไผ่รวก	3
1.2 กระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis)	4
1.2.1 กลไกการเกิดการแยกสลายด้วยความร้อน	5
1.2.2 ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อน	6
1.2.3 ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน	7
1.3 ถ่านกัมมันต์	7
1.3.1 วิวัฒนาการของถ่านกัมมันต์	8
1.3.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์	9
1.3.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์	11
1.3.4 ลักษณะและโครงสร้างของถ่านกัมมันต์	17
1.3.5 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์	18
1.3.6 โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์	20
1.3.7 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์	20

สารบาญ (ต่อ)

		หน้า
1.4	การดูดซับ	21
	1.4.1 กลไกการดูดซับ	22
	1.4.2 ขั้นตอนการดูดซับ	23
	1.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์	24
	1.4.4 ไอโซเทอมการดูดซับ	26
1.5	สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	28
1.6	วัตถุประสงค์ของการศึกษา	33
1.7	ประโยชน์ที่จะรับจากการศึกษา เชิงทฤษฎีและ/หรือเชิงประยุกต์	33
1.8	แผนดำเนินการ ขอบเขต และวิธีการวิจัย	33
บทที่ 2 การทดลอง		34
2.1	วัสดุ สารเคมี และอุปกรณ์	34
	2.1.1 วัสดุ	34
	2.1.2 สารเคมี	35
	2.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์	36
2.2	วิธีการทดลอง	37
	2.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ และการสอบเทียบเตาเผา	37
	2.2.2 การวิเคราะห์แบบประมาณของไผ่รวก	38
	2.2.3 การวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านไม้ไผ่	38
	2.2.4 การวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านกัมมันต์	38
	2.2.5 การวิเคราะห์ค่าความร้อน	38
	2.2.6 การแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน	39
	2.2.7 การกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยไอน้ำ	42
	2.2.8 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านชาร์และถ่านกัมมันต์	44
	2.2.8.1 การทดลองหาค่าการดูดซับไอโอดีน (iodine adsorption)	44

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.8.2 การหาค่าการดูดซับสารละลายสีเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์	44
2.2.8.3 การศึกษาลักษณะพื้นที่ผิวของไผ่รวก ถ่านชาร์และถ่านกัมมันต์	45
2.2.8.4 การคำนวณการกระจายตัวของปริมาณผลิตภัณฑ์จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน และร้อยละผลิตภัณฑ์ของถ่านกัมมันต์	46
2.2.8.5 การหาความหนาแน่นเชิงปริมาตรของถ่านกัมมันต์	46
2.3 แผนผังการทดลอง	47
บทที่ 3 ผลการทดลอง	49
3.1 การวิเคราะห์แบบประมาณของไผ่รวก ถ่านชาร์ และถ่านกัมมันต์	49
3.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุและค่าความร้อนของไผ่รวก	49
3.3 ขั้นตอนการแยกสลายด้วยความร้อน	50
3.3.1 การหาขนาดของไผ่รวกที่เหมาะสมในการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน	50
3.3.2 การหาอัตราการให้ความร้อนที่เหมาะสมในการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน	52
3.3.3 การหาเวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้ายที่เหมาะสมในการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน	54
3.3.4 การหาเวลาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน	56
3.4 ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ	58
3.4.1 การหาเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น	58
3.4.2 ถ่านชาร์ที่เหมาะสมในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ	59
3.4.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แบบประมาณของไผ่รวก ถ่านชาร์ และถ่านกัมมันต์ และค่าความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์	61

สารบาญ (ต่อ)

		หน้า
3.5	การดูดซับสารละลายสีเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ของถ่านชาร์และถ่านกัมมันต์	61
3.6	ลักษณะพื้นผิวของไผ่รวก ถ่านชาร์ และถ่านกัมมันต์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	66
บทที่ 4 วิจารณ์ผลการทดลอง		73
4.1	การวิเคราะห์แบบประมาณของไผ่รวก	73
4.2	การวิเคราะห์แบบแยกธาตุและค่าความร้อนของไผ่รวก	74
4.3	ขั้นตอนการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน	74
	4.3.1 การหาขนาดของไผ่รวกที่เหมาะสมในการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน	74
	4.3.2 การหาอัตราการให้ความร้อนที่เหมาะสมในการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน	75
	4.3.3 การหาเวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้ายที่เหมาะสมในการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน	76
	4.3.4 การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน	77
4.4	ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ	78
	4.4.1 การหาเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น	78
	4.4.2 ถ่านชาร์ที่เหมาะสมในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ	79
	4.4.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แบบประมาณ และความหนาแน่นของไผ่รวก ถ่านชาร์ และถ่านกัมมันต์	80
4.5	การดูดซับสารละลายสีเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ของถ่านชาร์และถ่านกัมมันต์	81
4.6	ลักษณะพื้นผิวของไผ่รวก ถ่านชาร์ และถ่านกัมมันต์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	84
4.7	ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน	85

สารบาญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสอนแนะ		88
	5.1 สรุปผลการทดลอง	88
	5.2 ข้อเสนอแนะ	90
บรรณานุกรม		91
ภาคผนวก		97
ภาคผนวก ก	การทดสอบอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง	98
ภาคผนวก ข	การวิเคราะห์แบบประมาณของไผ่รวก	103
ภาคผนวก ค	การวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านไม้ไผ่	105
ภาคผนวก ง	การวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านกัมมันต์	107
ภาคผนวก จ	การวิเคราะห์หาค่าความร้อนและปริมาณซัลเฟอร์ของไผ่รวก	109
ภาคผนวก ฉ	การวิเคราะห์และคำนวณหาค่าการดูดซับไอโอดีน	114
ภาคผนวก ช	สูตรโครงสร้างสารละลายสีเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์	119
ภาคผนวก ซ	การคำนวณการกระจายตัวของปริมาณผลิตภัณฑ์จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อนและร้อยละผลิตภัณฑ์ของถ่านกัมมันต์	121
ภาคผนวก ฌ	การวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่น	123
ประวัติผู้เขียน		124

สารบาญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดผง	10
1.2	คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด	10
2.1	สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	35
2.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย	36
2.3	สภาวะที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนการแยกสลายด้วยความร้อน	41
2.4	สภาวะที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนการกระตุ้น	43
3.1	ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของไผ่รวก ถ่านชาร์ และถ่านกัมมันต์	49
3.2	ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของไผ่รวก	49
3.3	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แบบประมาณของไผ่รวก ถ่านชาร์ และถ่านกัมมันต์ และค่าความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์	61
4.1	การเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ในการดูดซับไอโอดีน สารละลายสีเมทิลีนบลู และค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร	87

สารบาญภาพ

รูป		หน้า
1.1	ต้นไผ่รวก	3
1.2	กรรมวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์	11
1.3	การจัดเรียงตัวของคาร์บอนที่อุณหภูมิต่างๆ	14
1.4	โครงสร้างที่เป็นผลึกของถ่านกัมมันต์	17
1.5	แสดง (1) โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่เป็นแกรไฟต์ง่าย และ (2) โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นแกรไฟต์เล็กน้อย	18
1.6	กลไกลการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยในน้ำเข้าหาถ่านกัมมันต์	23
1.7	แสดงถึงโพรง หรือช่องว่างภายในถ่านกัมมันต์	24
1.8	ไอโซเทอมการดูดซับ	27
2.1	ไผ่รวก	34
2.2	เครื่องร่อนคัดขนาด	37
2.3	ไผ่รวกที่มีขนาดอนุภาค < 0.25, 0.25-0.50 และ 0.50-0.75 มิลลิเมตร ตามลำดับ	37
2.4	เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน	39
2.5	ภาชนะเซรามิกสำหรับเผา	40
2.6	เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง	40
2.7	เตาปฏิกรณ์ที่ใช้ในการกระตุ้น	42
2.8	เครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	45
2.9	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	46
2.10	แผนผังการทดลองขั้นตอนการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน	47
2.11	แผนผังการทดลองขั้นตอนการกระตุ้น	48
3.1	การกระจายตัวของปริมาณผลิตภัณฑ์ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ในการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน โดยใช้ขนาดอนุภาคของไผ่รวก <0.25, 0.25-0.50 และ 0.50-0.75 มิลลิเมตร อุณหภูมิในการแยกสลายด้วยความร้อน 400 องศาเซลเซียส เวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้าย 1.0 ชั่วโมง และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที	50

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
3.2	การวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีนที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน โดยใช้ขนาดอนุภาคของไผ่รวก <0.25, 0.25-0.50 และ 0.50-0.75 มิลลิเมตร อุณหภูมิในการแยกสลายด้วยความร้อน 400 องศาเซลเซียส เวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้าย 1.0 ชั่วโมง และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที	51
3.3	การกระจายตัวของปริมาณผลิตภัณฑ์ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ในกาแยกสลายไผ่รวกุด้วยความร้อน โดยใช้ขนาดอนุภาคของไผ่รวก <0.25 มิลลิเมตร อุณหภูมิในการแยกสลายด้วยความร้อน 400 องศาเซลเซียส เวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้าย 1.0 ชั่วโมง และอัตราการให้ความร้อน 5, 10 และ 15 องศาเซลเซียสต่อนาที	52
3.4	การวิเคราะห์หาการดูดซับไอโอดีนของถ่านชาร์ที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน โดยใช้ขนาดอนุภาคของไผ่รวก <0.25 มิลลิเมตร อุณหภูมิในการแยกสลายด้วยความร้อน 400 องศาเซลเซียส เวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้าย 1.0 ชั่วโมง และอัตราการให้ความร้อน 5, 10 และ 15 องศาเซลเซียสต่อนาที	53
3.5	การกระจายตัวของปริมาณผลิตภัณฑ์ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ในการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน โดยใช้ขนาดอนุภาคของไผ่รวก <0.25 มิลลิเมตร อุณหภูมิในการแยกสลายด้วยความร้อน 400 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และเวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้าย 0.5, 1.0 และ 1.5 ชั่วโมง	54
3.6	การวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านชาร์ที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน โดยใช้ขนาดอนุภาคของไผ่รวก <0.25 มิลลิเมตร อุณหภูมิในการแยกสลายด้วย ความร้อน 400 องศาเซลเซียส อัตราการการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และเวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้าย 0.5, 1.0 และ 1.5 ชั่วโมง	55

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
3.7	การกระจายตัวของปริมาณผลิตภัณฑ์ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ในการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน โดยใช้ขนาดอนุภาคของไผ่รวก <0.25 มิลลิเมตร อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้าย 0.5 ชั่วโมง และอุณหภูมิในการแยกสลายด้วยความร้อน 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส	56
3.8	การวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านชาร์ที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน โดยใช้ขนาดอนุภาคของไผ่รวก <0.25 มิลลิเมตร อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้าย 0.5 ชั่วโมง และอุณหภูมิในการแยกสลายด้วยความร้อน 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส	57
3.9	การวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 ชั่วโมง	58
3.10	การวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น 2.0 ชั่งโมง โดยใช้ถ่านชาร์ที่ได้จากแยกสลายด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส	59
3.11	การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านชาร์และถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการแยกสลายด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส	60
3.12	การเปรียบเทียบการศึกษาการดูดซับสารละลายสีเมทิลีนบลูของถ่านชาร์ที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน โดยใช้ขนาดอนุภาคของไผ่รวก <0.25 มิลลิเมตร อุณหภูมิในการแยกสลายด้วยความร้อน 400 องศาเซลเซียส เวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้าย 0.5 ชั่วโมง และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการนำถ่านชาร์ในสภาวะนี้มากระตุ้นด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ที่เวลาการกระตุ้น 2.0 ชั่วโมง	62

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
3.13	การเปรียบเทียบการศึกษาการดูดซับสารละลายสีเมทิลออเรนจ์ของถ่านชาร์ที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน โดยใช้ขนาดอนุภาคของไผ่รวก <0.25 มิลลิเมตร อุณหภูมิในการแยกสลายด้วยความร้อน 400 องศาเซลเซียส เวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้าย 0.5 ชั่วโมง และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการนำถ่านชาร์ในสภาวะนี้มากระตุ้นด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส, ที่เวลาการกระตุ้น 2.0 ชั่วโมง	63
3.14	การเปรียบเทียบการศึกษาการดูดซับสารละลายสีเมทิลีนบลู และสารละลายสีเมทิลออเรนจ์ของถ่านชาร์ที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน โดยใช้ขนาดอนุภาคของไผ่รวก <0.25 มิลลิเมตร อุณหภูมิในการแยกสลายด้วยความร้อน 400 องศาเซลเซียส เวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้าย 0.5 ชั่วโมง และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที	64
3.15	การเปรียบเทียบการศึกษาการดูดซับสารละลายสีเมทิลีนบลูและสารละลายสีเมทิลออเรนจ์ของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการนำถ่านชาร์ที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน โดยใช้ขนาดอนุภาคของไผ่รวก <0.25 มิลลิเมตร อุณหภูมิในการแยกสลายด้วยความร้อน 400 องศาเซลเซียส เวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้าย 0.5 ชั่วโมง และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที มากระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และเวลาในการกระตุ้น 2 ชั่วโมง	65
3.16	การเปรียบเทียบการดูดซับสารละลายสีเมทิลีนบลูและการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน โดยใช้ขนาดอนุภาค < 0.25 มิลลิเมตร อุณหภูมิในการแยกสลายด้วยความร้อน 400 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีและเวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้าย 0.5, 1.0 1.5 และ 2.0 ชั่วโมง	65
3.17	การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของไม้ไผ่	66

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
3.18	การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของถ่านชาร์ที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน โดยใช้ขนาดอนุภาค <0.25 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการแยกสลายด้วยความร้อน 400 องศาเซลเซียส เวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้าย 0.5 ชั่วโมง และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที	67
3.19	การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของถ่านชาร์ที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน โดยใช้ขนาดอนุภาค <0.25 มิลลิเมตรอุณหภูมิที่ใช้ในการแยกสลายด้วยความร้อน 500 องศาเซลเซียส เวลาที่ค้างไว้ ณอุณหภูมิสุดท้าย 0.5 ชั่วโมง และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที	68
3.20	การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของถ่านชาร์ที่ได้จากการแยกสลายไผ่รวกด้วยความร้อน โดยใช้ขนาดอนุภาค <0.25 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการแยกสลายด้วยความร้อน 600 องศาเซลเซียส เวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิสุดท้าย 0.5 ชั่วโมง และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที	69
3.21	ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากถ่านชาร์ที่อุณหภูมิการแยกสลายด้วยความร้อน 400 องศาเซลเซียส ขนาดอนุภาค <0.25 มิลลิเมตรเวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิ สุดท้าย 0.5 ชั่วโมง และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที กระตุ้น ด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เวลกระตุ้น 2 ชั่วโมง	70
3.22	ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากถ่านชาร์ที่อุณหภูมิการแยกสลายด้วยความร้อน 500 องศาเซลเซียส ขนาดอนุภาค<0.25 มิลลิเมตร เวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิ สุดท้าย 0.5 ชั่วโมง และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที กระตุ้น ด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เวลากระตุ้น 2 ชั่วโมง	71
3.23	ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากถ่านชาร์ที่อุณหภูมิการแยกสลายด้วยความร้อน 600 องศาเซลเซียส ขนาดอนุภาค <0.25 มิลลิเมตร เวลาที่ค้างไว้ ณ อุณหภูมิ สุดท้าย 0.5 ชั่วโมง และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที กระตุ้น ด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เวลกระตุ้น 2 ชั่วโมง	72

อักษรย่อและสัญลักษณ์

ชื่อย่อ	ชื่อเต็ม
$^{\circ}C$	องศาเซลเซียส (degree Celsius)
%	เปอร์เซ็นต์ (percentage)
Å	อังสตรอม
%w/v	ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร
mol/l	โมลต่อลิตร
kg	กิโลกรัม
mg/g	มิลลิกรัมต่อกรัม
µm	ไมโครเมตร