สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	5
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	7
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.5 ขอบเขตของโครงการวิจัย	7
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 การแปรรูปชีวมวล	8
2.2 กระบวนการผลิตถ่าน	10
2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน	13
2.4 การคำนวณการสูญเสียความร้อนผนังในระบบ	16
2.5 การออกแบบเตาทรงกระบอกรับความดัน	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 ชุดทดสอบที่ใช้ในการวิจัย	20
3.2 การเตรียมวัตถุดิบตั้งต้น	21
3.3 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	21
3.4 กระบวนการทดลอง	22
3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างไบโอชาร์	26
3.6 การวิเคราะห์สารละลายจากกระบวนการ	30

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุของไม้ไผ่	34
4.2 ผลการเตรียมวัตถุดิบ	35
4.3 ผลของขนาดชีวมวลกับเวลาที่มีผลต่อกระบวนการ	36
4.4 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา	39
4.5 ผลลักษณะผิวผลิตภัณฑ์	44
4.6 ผลวิเคราะห์สารประกอบในสารละลาย	45
4.7 การวิเคราะห์ทางมวลกายภาพ	46
4.8 การวิเคราะห์ทางพลังงาน	48
4.9 ผลเปรียบเทียบคุณภาพกับถ่านหินลิกไนต์	51
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษา	53
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งต่อไป	54
บรรณานุกรม	55
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การคำนวณ	58
ภาคผนวก ข ข้อมูลและการออกแบบเตาปฏิกรณ์	63
ภาคผนวก ค ข้อการวิเคราะห์กระบวนการ HTC	71
ภาคผนวก ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	78
ประวัติผู้เขียน	94

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	ศักยภาพเชิงพลังงานและการใช้พลังงาน จำแนกตามประเภทพลังงาน	2
2.1	การเปรียบเทียบของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวล	9
2.2	แสดงสูตรโครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตและลิกนิน	14
2.3	คุณสมบัติทางเคมี ของไผ่	16
4.1	ผลการวิเคราะห์ไม้ไผ่แบบประมาณ แบบแยกธาตุ และค่าความร้อน	34
4.2	ขนาดปริมาณค่าความร้อนและลักษณะของชีวมวลก่อนทำปฏิกิริยา	35
4.3	เปรียบเทียบปริมาณค่าความร้อนและลักษณะของชีวมวล หลังทำปฏิกิริยา ณ เวลา 1 ชั่วโมง	37
4.4	เปรียบเทียบลักษณะของถ่านชีวภาพในสภาวะเวลา 1, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง อัตราส่วนชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:1	38
4.5	เปรียบเทียบลักษณะของถ่านชีวภาพในสภาวะเวลา 1, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง อัตราส่วนชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:2	42
4.6	เปรียบเทียบลักษณะของถ่านชีวภาพในสภาวะเวลา 1, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง อัตราส่วนชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:2	43
4.7	เปรียบเทียบองค์ประกอบสารละลายหลังกระบวนการและค่าความเป็น กรด-ด่าง	45
4.8	ร้อยละผลได้ ของถ่านชีวภาพ ณ สภาวะต่างๆ ภายใต้อุณหภูมิและความดันเดียวกันของกระบวนการทดลอง	46
4.9	แสดงสมดุลมวลของระบบ	48
4.10	ได้แสดงพลังงานที่เข้าและออกจากการผลิตไบโอชาร์ ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน	50
4.11	ผลการเปรียบเทียบค่าความร้อนชีวมวล ไบโอชาร์และถ่านหินชนิดต่างๆ	52
ข-1	แสดงคุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel 314)	63
ค-1	ผลของการทดสอบขนาดอนุภาคที่มีผลต่อค่าความร้อนในเวลา 1 ชั่วโมง	71

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง		หน้า
ค-2	ผลของปัจจัยด้านขนาดของอนุภาคเทียบเวลาการเกิดปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์	71
ค-3	ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เทียบกับเวลาการเกิดปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์	72
ค-4	แสดงร้อยละผลได้ ของถ่านชีวภาพ ณ สภาวะต่างๆ ภายใต้อุณหภูมิและความดันเดียวกันของกระบวนการทดลอง	72
ค-5	การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังที่ไม่ได้หุ้มฉนวน (kW/m)	74
ค-6	การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวท่อหลังหุ้มฉนวนใยแก้ว (W/m)	75
ค-7	การสูญเสียความร้อนของท่อหลังหุ้มฉนวนใยหิน (W/m)	76

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ

รูป		หน้า
1.1	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับการพัฒนาของเทคโนโลยีของไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน	4
2.1	กลไกการเกิดกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชันของชีวมวล	9
2.2	เฟสของน้ำ	12
2.3	แผนผังของปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลเบื้องต้น	13
2.4	ลักษณะต้นของไผ่ตง	15
2.5	กราฟการให้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนสถานะของแข็งไปเป็นก๊าซ	17
3.1	แผนภาพชุดทดสอบที่จะใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย	21
3.2	ภาพจำลองเตาปฏิกรณ์ 3 มิติภายใต้ความดัน 3.5 MPa	21
3.3	อุปกรณ์ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ	22
3.4	เตาปฏิกรณ์แบบปิดความดันสูง	22
3.5	อุปกรณ์ควบคุมที่แสดงผลอุณหภูมิโดยการแปลงสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล	23
3.6	กระบวนการกรองสูญญากาศใช้งานร่วมกับปั๊มสุญญากาศ	24
3.7	กระดาษกรองเบอร์ 5 หลังผ่านกระบวนการแยกอนุภาคของแข็งและของเหลวแล้วอบไลความชื้นตามมาตรฐาน ASTM	25
3.8	เตาอบไฟฟ้าตั้งอุณหภูมิที่ 103 ^{o}C เวลา 4 ชั่วโมง	25
3.9	แผนผังขั้นตอนการผลิตไบโอชาร์ในงานวิจัย	26
3.10	บอมบ์แคลอรีมิเตอร์	27
3.11	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด JEOL JSM-5910LV	29
3.12	อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี รุ่น perkin elmer 3100	31
3.13	เครื่องวัด pH meter รุ่น Sartorius Professional meter PP-50	33
4.1	การเปรียบเทียบค่าความร้อนของไบโอชาร์ที่มีขนาดแตกต่างกันในปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง	36
4.2	การเปรียบเทียบค่าความร้อนของถ่านชีวมวลขนาดแตกต่างกันในปฏิกิริยา HTC	38

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับเวลา ที่มีอัตราส่วนชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยา 1:1	40
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับเวลา ที่มีอัตราส่วนชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยา 1:2	40
4.5	การเปรียบเทียบค่าความร้อนเฉลี่ย ที่มีอัตราส่วนชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยาแตกต่างกัน	41
4.6	ลักษณะการเกิดปฏิกิริยา คีโต-อีนอล ทอร์โมเมอริซึม	44
4.7	ลักษณะพื้นที่ผิวของไผ่และไบโอชาร์	45
ก-1	ลักษณะ yield strength ในเตาปฏิกรณ์ขนาด 3.5 MPa	58
ข-1	ลักษณะการออกแบบและขนาดของเตาปฏิกรณ์ที่มีขนาด 1 ลิตร	64
ข- 2	แสดงตัวอย่างการหาค่าองค์ประกอบในสารละลาย	77

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved