

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ในบทนี้กล่าวถึงผลการดำเนินการทดลอง ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลจากการเตรียมวัตถุดิบ ผลการหาขนาดและปริมาณค่าความร้อน ผลการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชันที่ทดลองตามการออกแบบการทดลอง โดยมีตัวแปรที่ศึกษาคือ ขนาดของวัตถุดิบ ระยะเวลาทำปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์ และอัตราส่วนของชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยา ไบโอชาร์ที่ได้วิเคราะห์หาปริมาณความร้อนและลักษณะพื้นที่ผิว ซึ่งจะแสดงถึงลักษณะพื้นที่ผิวโครงสร้างก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยาและการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ รวมไปถึงการทดสอบผลิตภัณฑ์ร่วมในสถานะของเหลวเพื่อหาปริมาณโลหะผสมในสารละลายผลิตภัณฑ์พลอยได้ และการหาแนวโน้มสภาวะที่ให้ผลตอบสนองในกระบวนการ รวมถึงการวิเคราะห์ทางด้านพลังงานเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพกับถ่านหินลิกไนต์

4.1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุของไม้ไผ่

จากการศึกษาสมบัติทางเคมีของไม้ไผ่ โดยการวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุตาม ASTM E870-82 และ ASTM D3172-89 โดยผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์ไม้ไผ่แบบประมาณ แบบแยกธาตุ และค่าความร้อน (wt% on dry basis)

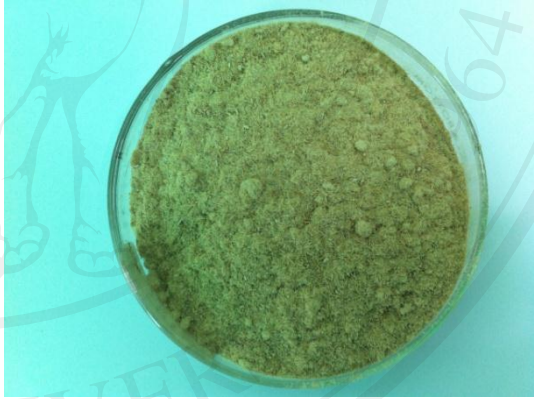

การวิเคราะห์	ร้อยละโดยน้ำหนัก
การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Proximate Analysis)	
ความชื้น	5.7
สารระเหย	74.7
คาร์บอนคงตัว	14.1
เถ้า	5.5
การวิเคราะห์เชิงคุณภาพแบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis)	
คาร์บอน	45.7
ไฮโดรเจน	4.3
ออกซิเจน	49.7
ไนโตรเจน	0.3
ซัลเฟอร์	0.1
ค่าความร้อน(MJ/kg)	16.8

จากผลการวิเคราะห์แบบประมาณของไม้ไผ่ พบว่า มีค่าคาร์บอนคงตัว 14.1 wt% และสารระเหย 76.7 wt% และจากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุพบว่า มีคาร์บอน 45.7 wt% ไฮโดรเจน 4.3 wt% และออกซิเจน 49.7 wt% ตามลำดับ แสดงว่าไม้ไผ่สามารถให้ผลิตภัณฑ์หลักที่เป็นไบโอชาร์ได้

4.2 ผลการเตรียมวัตถุดิบ

จากการเตรียมวัตถุดิบเพื่อหาขนาดตามที่ต้องการโดยใช้กระบวนการบดละเอียดและผ่านตะแกรงร่อนซึ่งมีหน่วยเป็น เมช(mesh) ดังรูป 3.2 เพื่อได้ขนาดตามต้องการโดยใช้หน่วยมาตรฐานเป็นมิลลิเมตร ดังแสดงในตาราง 4.1 วัดค่าความร้อนจาก Bomb calorimeter มีค่าเท่ากับ 16.8 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เพื่อเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในกระบวนการทดสอบต่อไป

ตาราง 4.2 ขนาดปริมาณค่าความร้อนและลักษณะของชีวมวลก่อนทำปฏิกิริยา

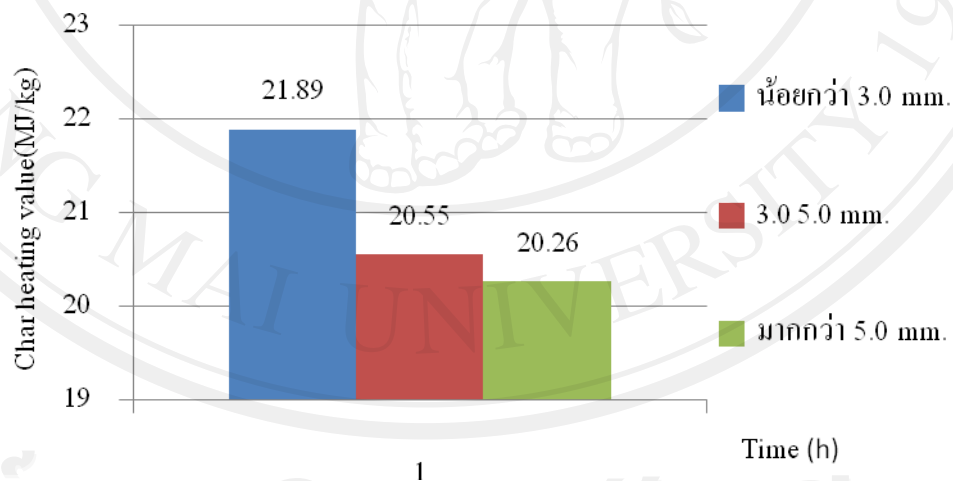
ขนาด(mm)	ค่าความร้อน(MJ/kg)	ลักษณะไผ่หลังคัดขนาด
น้อยกว่า 3.0	16.8	
3.0–5.0	16.8	

ตาราง 4.2 (ต่อ)

ขนาด(mm)	ค่าความร้อน(MJ/kg)	ลักษณะไผ่หลังคัดขนาด
มากกว่า 5.0	16.8	

4.3 ผลของขนาดชีวมวลกับเวลาที่มีผลต่อกระบวนการ

ผลการศึกษานุภาคของไผ่ที่สภาวะ 1 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบถึงลักษณะการเกิดถ่านชีวภาพ และค่าความร้อนที่เกิดขึ้น แสดงได้ดังรูป 4.1






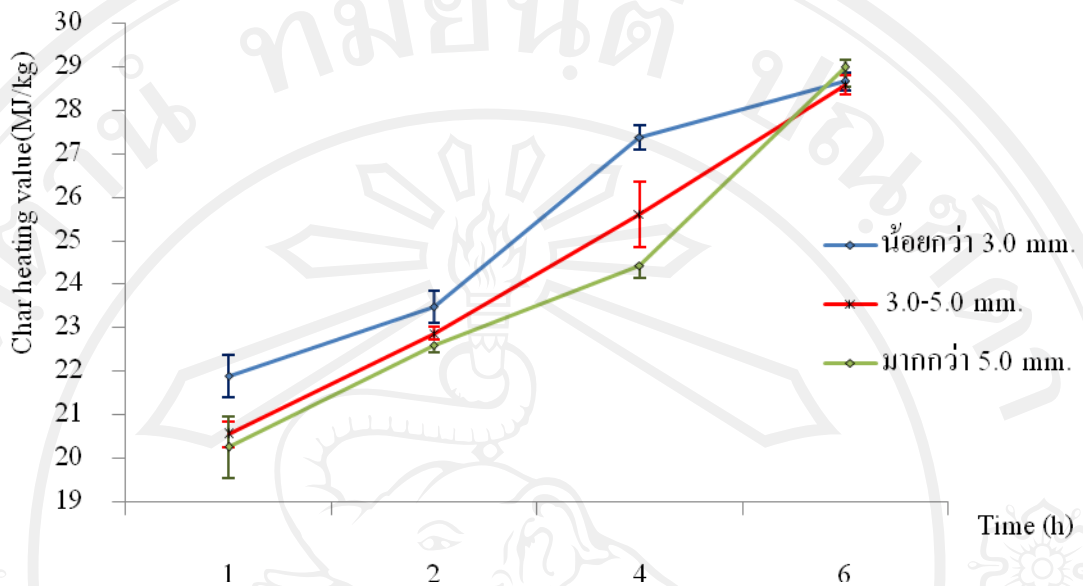
รูป 4.1 การเปรียบเทียบค่าความร้อนของไบโอชาร์ที่มีขนาดแตกต่างกันในปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง

ผลจากการทดสอบขนาดอนุภาคทำให้ทราบว่า ขนาดอนุภาคเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการผลิตถ่านไบโอชาร์ ณ สภาวะเวลาหนึ่ง ดังแสดงในตาราง 4.3 และรูป 4.1 ซึ่งขนาดน้อยกว่า 3.0 มิลลิเมตร จะได้ค่าความร้อนสูงกว่าขนาดอื่นๆ คือ 21.89 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ที่เวลาเกิดปฏิกิริยาของที่ 1 ชั่วโมง สาเหตุเกิดจากพื้นที่ผิวสัมผัสมากทำให้ปฏิกิริยาในการเปลี่ยนสายโซ่พอลิ

เมอร์เป็นโมโนเมอร์เกิดมากขึ้นปฏิกิริยาการเรียงตัวของคาร์บอนคงที่จึงสูงตามไปด้วย แต่ในขณะที่เดียวกันขนาดของอนุภาคที่ทำการทดลองเกิน 3.0 มิลลิเมตรทั้งสองอนุภาคจะให้ค่าความร้อนที่ต่ำสาเหตุที่เกิดนอกเหนือจากพื้นที่ผิวที่ได้กล่าวมาเบื้องต้นและอาจมีสาเหตุมาจากเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่เหมาะสมกับขนาดของอนุภาค โดยอ้างอิงจากสีของถ่านชีวภาพหลังกระบวนการที่ยังไม่เป็นสีดำ

ตาราง 4.3 เปรียบเทียบปริมาณค่าความร้อนและลักษณะของชีวมวลหลังทำปฏิกิริยา ณ เวลา 1 ชั่วโมง

ขนาด(mm)	ค่าความร้อน(MJ/kg)	ลักษณะไผ่หลังคัดขนาด
น้อยกว่า 3.0	21.89	
3.0 – 5.0	20.55	
มากกว่า 5.0	20.26	












รูป 4.2 การเปรียบเทียบค่าความร้อนของถ่านชีวมวลขนาดแตกต่างกันในปฏิกิริยา HTC

จากผลการเปรียบเทียบขนาดกับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาทำให้ทราบว่าขนาดอนุภาคน้อยกว่า 3.0 มิลลิเมตรให้ผลที่แตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเจนในช่วงเวลา 1 – 4 ชั่วโมง แต่ขนาดอนุภาคจะไม่มีผลต่อการทดลองที่ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยายาวนานจนปฏิกิริยาเข้าสู่สภาวะสมบูรณ์หรือปฏิกิริยาสมบูรณ์ ที่เวลา 6 ชั่วโมง โดยอ้างอิงผลจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรูป 4.2 และสีของไบโอชาร์ดังแสดงในตาราง 4.4 ดังนั้นที่เวลา 6 ชั่วโมงขอบเขตการศึกษาขนาดอนุภาคในช่วงดังกล่าวไม่มีผลต่อกระบวนการผลิตถ่านชีวภาพในส่วนของคุณค่าความร้อนในตัวถ่าน

ตาราง 4.4 เปรียบเทียบลักษณะของถ่านชีวภาพในสภาวะเวลา 1, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง อัตราส่วนชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:0

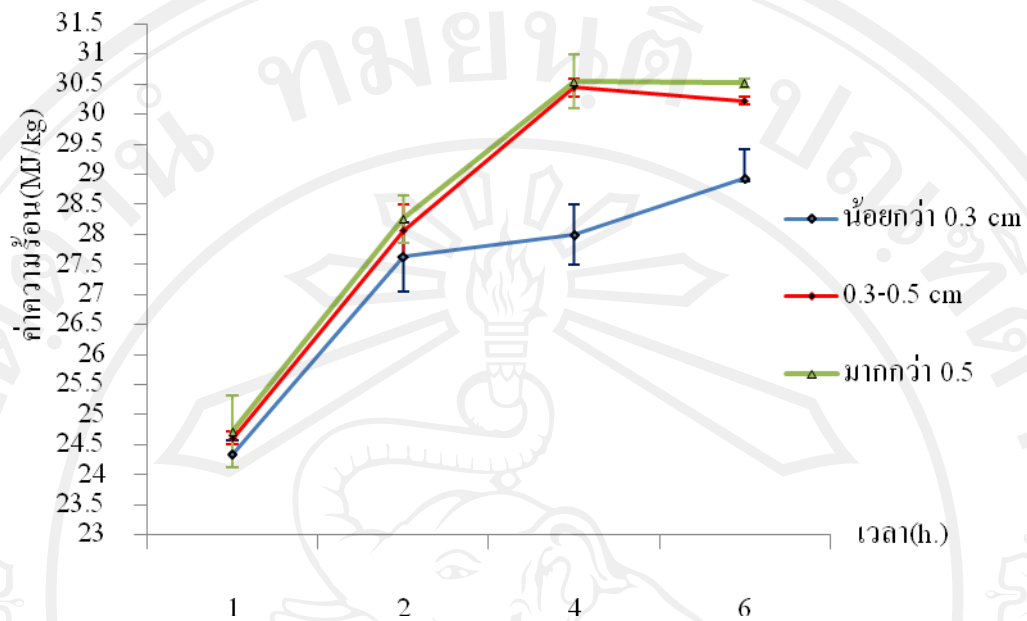
ขนาดอนุภาค (mm)	น้อยกว่า 3.0	ระหว่าง 3.0-5.0	มากกว่า 5.0
เวลา (h)			
1			

ตาราง 4.4 (ต่อ)

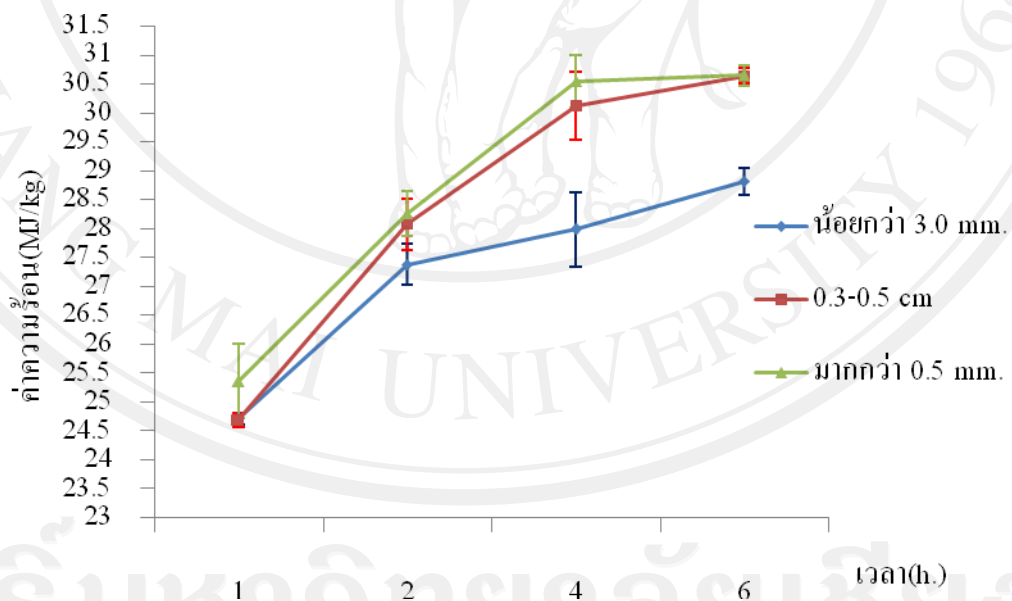
ขนาดอนุภาค (mm)	น้อยกว่า 3.0	ระหว่าง 3.0-5.0	มากกว่า 5.0
เวลา (h)			
2			
4			
6			

4.4 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลของอัตราส่วนไม้ไผ่ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาต่อค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ไบโอชาร์ที่อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 อุณหภูมิ 220 °C ความดัน 22 บรรยากาศ จากไม้ไผ่ ปริมาตร 20 กรัมในเตาปฏิกรณ์ระบบปิด ขนาด 1.00 ลิตร แสดงรูป 4.3 – 4.4



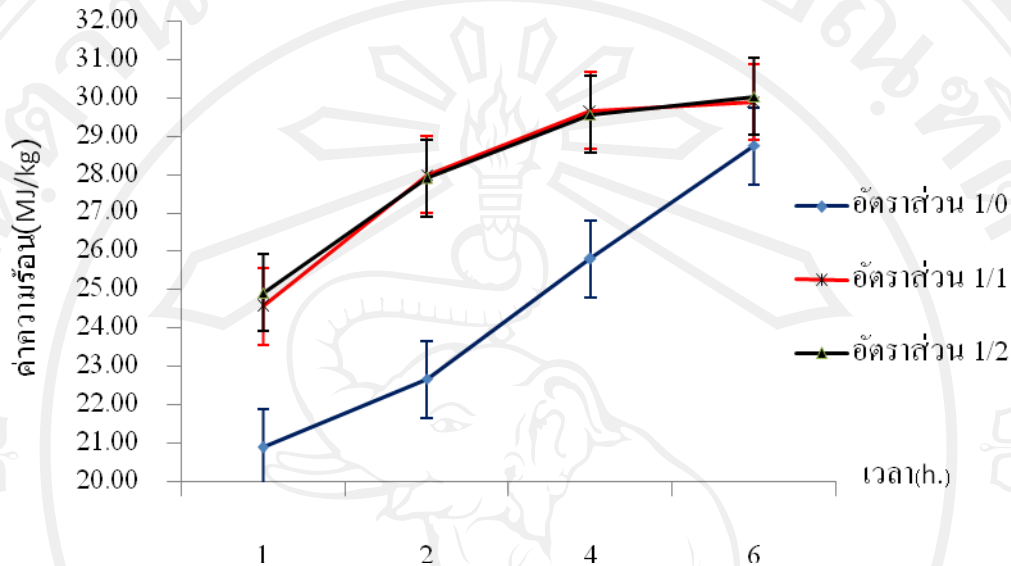
รูป 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับเวลาที่มีอัตราส่วนชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยา 1:1



รูป 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับเวลาที่มีอัตราส่วนชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยา 1:2

จากรูป 4.3 -4.4 พบว่ากระบวนการผลิตถ่านโดยอาศัยกรดออกซาลิกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลของค่าความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้ทราบว่ากรดออกซาลิกที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีผลทำให้ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพสูงขึ้นที่โดยเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของชีวมวล โดยปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยา หรืออัตราส่วนที่ใช้ชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:0 ที่ได้กล่าวมาข้างต้น(รูป 4.2)โดยอาศัยค่าเบี่ยงเบน













มาตรฐานและค่าความร้อนที่วัดได้จากวิธี bomb calorimeter ที่เวลาเกิดปฏิกิริยาเดียวกัน คือ ค่าความร้อนสูงสุดที่อัตราส่วน 1/0 เท่ากับ 28.99 MJ/kg, 1/1 เท่ากับ 30.57 MJ/kg และ 1/2 เท่ากับ 30.82 MJ/kg



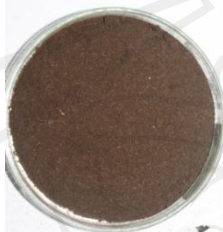











รูป 4.5 การเปรียบเทียบค่าความร้อนเฉลี่ยที่มีอัตราส่วนชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยาแตกต่างกัน

ตัวเร่งมีผลต่อกระบวนการผลิตไบโอชาร์ ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 และ 1 ต่อ 2 มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อเวลาทำปฏิกิริยาเพิ่มจะทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากกรดออกซาลิกทำให้เกิดหมู่คาร์บอนิล (C=O) อะตอมคาร์บอนที่อยู่ติดกับหมู่คาร์บอนิลเรียกว่า α -คาร์บอน ไฮโดรเจนที่เชื่อมกับอะตอมคาร์บอนนี้เรียก α -ไฮโดรเจน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด ทำให้คีโตนถูกเรียกเป็น คีโต-อินอล ทอร์โมเมอร์ซิม ซึ่งช่วยในการจัดเรียงพันธะของโครงสร้างผิวไบโอชาร์ตามรูป 4.6 ในเวลา 1-2 ชั่วโมงจะไม่มีผลในการเกิดปฏิกิริยาโดยอ้างอิงจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD bar) และให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับกระบวนการผลิตที่ปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 6 ชั่วโมง ดังรูป 4.5 โดยการวัดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่า 1

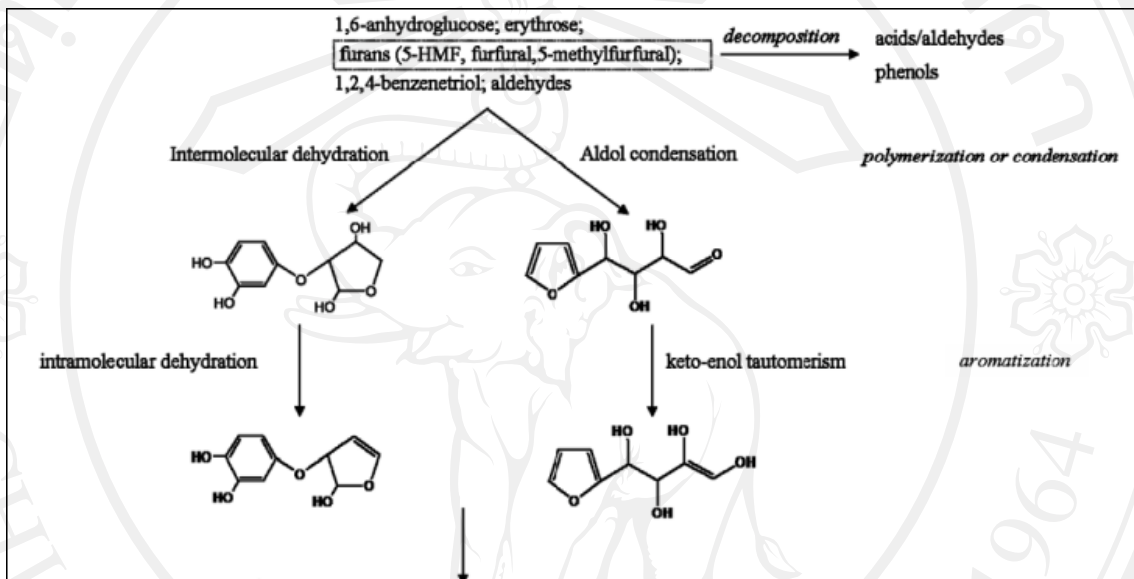
ตาราง 4.5 เปรียบเทียบลักษณะของถ่านชีวภาพในสภาวะเวลา 1, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง อัตราส่วนชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:1

ขนาดอนุภาค (mm)	น้อยกว่า 3.0	ระหว่าง 3.0-5.0	มากกว่า 5.0
เวลา (h)			
1			
2			
4			
6			

ตาราง 4.6 เปรียบเทียบลักษณะของถ่านชีวภาพในสภาวะเวลา 1, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง อัตราส่วนชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:2

ขนาดอนุภาค (mm)	น้อยกว่า 3.0	ระหว่าง 3.0-5.0	มากกว่า 5.0
เวลา (h)			
1			
2			
4			
6			

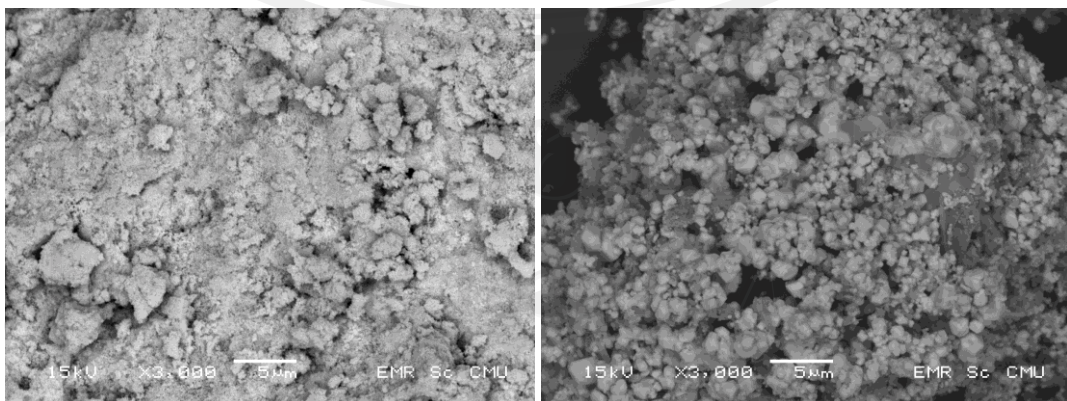
จากตาราง 4.5 และ 4.6 จะเห็นว่าสีของถ่านชีวภาพจะมีลักษณะที่ต่างกันไปโดยมีแนวโน้มสีจะดำเข้มขึ้นตามระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามการเกิดปฏิกิริยาของถ่านชีวภาพอาจยังไม่เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ สาเหตุอาจมาจากเวลาในการเกิดปฏิกิริยาไม่เพียงพอให้กลไกการเกิดถ่านชีวภาพและการเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอาจจะไม่เหมาะสม เนื่องจากกรดออกซาลิกที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีอุณหภูมิอยู่ที่ 195 °C



รูป 4.6 ลักษณะการเกิดปฏิกิริยา คีโต-อินอล ทอร์โมเมอริซึม ซึ่งใช้ในการจัดเรียงตัวโครงสร้างไบโอชาร์

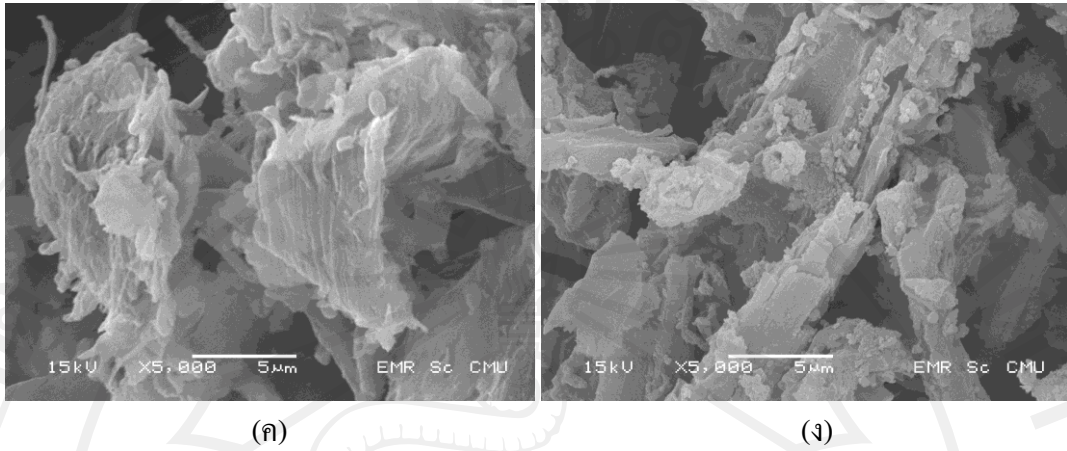
4.5 ผลลักษณะผิวผลิตภัณฑ์

ผลการศึกษาพื้นที่ผิวภายนอกของไม้และไบโอชาร์ที่สภาวะ 6 ชั่วโมง ขนาดอนุภาคน้อยกว่า 3.0 มิลลิเมตร แสดงได้ดังรูป 4.7



(ก)

(ข)



รูป 4.7 ลักษณะพื้นที่ผิวของไฟเบอร์และไบโอชาร์ (ก) ลักษณะพื้นที่ผิวของไฟเบอร์กำลังขยาย 3,000 เท่า (ง) ลักษณะพื้นที่ผิวของไบโอชาร์กำลังขยาย 3,000 เท่า (ค) ลักษณะพื้นที่ผิวของไฟเบอร์กำลังขยาย 5,000 เท่า (ง) ลักษณะพื้นที่ผิวของไบโอชาร์กำลังขยาย 5,000 เท่า

ลักษณะพื้นที่ผิวที่วัดได้จากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดของไบโอชาร์มีความขรุขระและพื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้นตามการจัดเรียงโครงสร้างของคาร์บอนคงที่หลังกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันทำให้โครงสร้างของไบโอชาร์มีความพรุนที่ดีขึ้น

4.6 ผลวิเคราะห์สารประกอบในสารละลาย

ผลการศึกษาค่าประกอบในผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เป็นของเหลวในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน แสดงได้ดังตาราง 4.7

ตาราง 4.7 เปรียบเทียบองค์ประกอบสารละลายหลังกระบวนการและค่าความเป็นกรด-ด่าง

ขนาดอนุภาค (mm)	มากกว่า 5.0	ระหว่าง 3.0-5.0	น้อยกว่า 3.0	น้อยกว่า 3.0	น้อยกว่า 3.0
อัตราส่วนชีวมวลต่อตัวเร่ง	1/0	1/0	1/0	1/1	1/2
กระบวนการผลิตถ่าน					
อุณหภูมิ (°C)	220	220	220	220	220
เวลา (h)	4	4	4	4	4
ไบโอชาร์					
ค่าความร้อน (MJ/kg)	24.4	25.6	27.4	27.7	27.8

ตาราง 4.7 (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (mm)	มากกว่า 5.0	ระหว่าง 3.0-5.0	น้อยกว่า 3.0	น้อยกว่า 3.0	น้อยกว่า 3.0
สารละลายหลังเสร็จสิ้นกระบวนการ					
Nitrogen (mg/L)	110	100	100	105	105
Phosphorus(mg/L)	50	55	52	58	54
Potassium (mg/L)	1720	1580	1642	1816	1838
pH	3.2	3.5	3.4	3	2.8

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (atomic absorption spectroscopy) ได้สารอาหารหลักที่จำเป็นต่อพืช คือ N, P และ K เป็นผลพลอยได้ในกระบวนการทดลองและธาตุชนิดอื่นๆ อีกเล็กน้อย วัดดูคิบบจากไฟให้ผลของสารอาหารประเภทโพแทสเซียม (K) มากสุดถึง 1,838 mg/l และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลายอยู่ที่ 2.8 ถึง 3.5 ซึ่งสอดคล้องกับการเกิด ปฏิกิริยา keto-enol tautomerism ในการเกิด โครงสร้างผลึก ไบโอซาร์

4.7 การวิเคราะห์ทางมวลกายภาพ

ผลคำนวณของถ่านชีวภาพที่ได้จากการสิ้นสุดกระบวนการทดลองโดยทำสมดุลมวลที่อัตราส่วนไผ่ก่อนเริ่มปฏิกิริยา 20 กรัม ทุกๆสภาวะการทดลอง ดังแสดงในตาราง 4.8

ตาราง 4.8 ร้อยละผลได้ ของถ่านชีวภาพ ณ สภาวะต่างๆ ภายใต้อุณหภูมิและความดันเดียวกันของกระบวนการทดลอง

ขนาดอนุภาค (mm)	เวลา (h)	อัตราส่วนชีวมวลต่อตัวเร่ง ปฏิกิริยา	อัตราส่วนผลได้ (yield)
น้อยกว่า 3.0	1	1/0	0.57
		1/1	0.53
		1/2	0.51
	2	1/0	0.55
		1/1	0.47
		1/2	0.53
	4	1/0	0.50
		1/1	0.51
		1/2	0.55

ตาราง 4.8 (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (mm)	เวลา (h)	อัตราส่วนชีวมวลต่อตัวเร่ง ปฏิกิริยา	อัตราส่วนผลได้ (yield)
น้อยกว่า 3.0	6	1/0	0.59
		1/1	0.48
		1/2	0.52
3.0-5.0	1	1/0	0.59
		1/1	0.52
		1/2	0.59
	2	1/0	0.56
		1/1	0.52
		1/2	0.57
	4	1/0	0.54
		1/1	0.50
		1/2	0.55
	6	1/0	0.57
		1/1	0.52
		1/2	0.52
มากกว่า 5.0	1	1/0	0.57
		1/1	0.52
		1/2	0.54
	2	1/0	0.55
		1/1	0.52
		1/2	0.56
	4	1/0	0.50
		1/1	0.50
		1/2	0.54
	6	1/0	0.59
		1/1	0.52

ตาราง 4.8 (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (mm)	เวลา (h)	อัตราส่วนชีวมวลต่อตัวเร่ง ปฏิกิริยา	อัตราส่วนผลได้ (yield)
มากกว่า 5.0	6	1/2	0.52

ตาราง 4.9 แสดงสมดุลมวลของระบบ

ขาเข้า		ขาออก		
ชีวมวล(g)	น้ำ(g)	ถ่านชีวภาพ(g)	สารละลาย(g)	แก๊ส(อื่นๆ)(g)
20.0	300.0	11.28	290	18.72
ผลรวม เท่ากับ 320		ผลรวม เท่ากับ 320		

จากผลการศึกษาสมดุลมวลดังตาราง 4.9 พบว่า น้ำหนักของถ่านชีวภาพจะหายไปกับสารละลายต่างๆและความชื้นที่มีอยู่ในชีวมวลไฟเริ่มต้น 56 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ และในกระบวนการเกิดแก๊สอื่นๆ ประมาณ 18.7 กรัม

4.8 การวิเคราะห์ทางพลังงาน

การวิเคราะห์พลังงานในงานวิจัยนี้จะคิดจากพลังงานที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนของชีวมวลจากกระบวนการ ส่วนพลังงานที่ออกจากระบบจะอยู่ในรูปค่าความร้อนของไบโอชาร์โดยคิดร้อยละผลผลิตที่ดีที่สุดคือ พลังงานของการเปลี่ยนวัฏภาคและการการสูญเสียความร้อนผนังในระบบ โดยแยกการวิเคราะห์เป็น 4 ขั้นตอน คือ

1) ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อนทำปฏิกิริยา เพื่อให้ได้ชีวมวลที่จะทำปฏิกิริยา 20 กรัม ที่มีค่าความร้อนเริ่มต้นคือ 16.8 MJ/kg. ในตาราง 4.10 ได้แสดงพลังงานที่เข้าและออกจากการผลิตไบโอชาร์ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน

2) ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน พลังงานไฟฟ้าเพื่อให้ความร้อนชีวมวลกับน้ำจากอุณหภูมิเริ่มต้น 25°C ไปจนถึง 220°C เป็นเวลา 1, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ พลังงานไฟฟ้าที่ให้ฮีตเตอร์ 2000 Wh อยู่ที่ 2.923, 4.017, 6.216 และ 8.395 MJ/kg ตามลำดับ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้ารวม 3.259, 4.353, 6.542 และ 8.731 MJ/kg

3) ขั้นตอนระหว่างเกิดปฏิกิริยาที่สภาวะ 1, 2, 4 และ 6 ชั่วโมงตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น ในการเกิดปฏิกิริยาความร้อนที่อุณหภูมิ 220 °C ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนออกจากฉนวนภาชนะ 1.086, 2.172, 4.344 และ 6.517 MJ/kg ตามลำดับ

4) ขั้นตอนการปรับสภาพหลังทำปฏิกิริยา หลังจากสิ้นสุดปฏิกิริยาที่กำหนดสภาวะไว้แล้ว ทำการลดอุณหภูมิ 220 °C กลับมาอยู่ที่ 25 °C ซึ่งทำให้สูญเสียพลังงานที่มีน้ำเป็นตัวกลางในรูปของการเปลี่ยนสถานะของก๊าซเป็นของเหลว พลังงานงานในการเปลี่ยนรูป เท่ากับ 0.923 MJ รวมพลังงานสูญเสีย 2.265, 3.358, 5.571 และ 7.743 MJ/kg ตามลำดับในตาราง 4.10

5) ขั้นตอนจัดเก็บไบโอชาร์หลังทำปฏิกิริยา เพื่อจัดเก็บถ่านที่มีค่าความร้อนดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ 4.1-4.3 และในตาราง 4.8 ได้แสดงร้อยละผลผลิตจากการผลิตไบโอชาร์ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชัน

เมื่อรวมทุกขั้นตอนกระบวนการผลิตไบโอชาร์ทั้งหมดแล้ว หากต้องการผลิตไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชันขนาดของภาชนะปริมาตร 1.00 ลิตรที่อัตราส่วนสารละลายต่อภาชนะ 0.3 ที่สภาวะ 1, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 2.923, 4.017, 6.216 และ 8.395 MJ/kg ตามลำดับ เพื่อผลิตให้ได้พลังงาน 0.257, 0.292, 0.304 และ 0.341 MJ/kg ตามลำดับ ซึ่งกระบวนการที่ใช้พลังงานมากที่สุดคือขั้นตอนการให้พลังงานในการเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 25°C ถึง 220°C ก่อนทำปฏิกิริยาคิดเป็น 96.15% โดยที่พลังงานที่เสียไปส่วนมากจะมาจากการสูญเสียความร้อนที่ผนังภาชนะและประเก็นกันรั่ว หากลดพลังงานตรงจุดนี้ลงจะทำให้ประหยัดพลังงานที่สูญเสียลงได้

ตาราง 4.10 ได้แสดงพลังงานที่เข้าและออกจากการผลิตไบโอชาร์ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน

สถานะ			ขาเข้า			ขาออก							
ขนาดอนุภาค (mm)	เวลา (h)	B/C	ค่าความร้อนไฟ (20g) (MJ)	พลังงานไฟฟ้า (2000w) (MJ)	ผลรวม (เข้า) (MJ)	ค่าความร้อนถ่าน (MJ)	ค่าการเปลี่ยนสถานะน้ำ	สูญเสียความร้อนผนัง	ผลรวม (ออก)				
น้อยกว่า 3.0	1	1/0	0.336	2.923	3.259	0.257	0.923	1.086	2.265				
		1/1				0.257			2.265				
		1/2				0.260			2.269				
	2	1/0				0.263			4.017	4.353	0.263	2.172	3.358
		1/1				0.292					3.387		
		1/2				0.296					3.391		
	4	1/0				0.304			6.206	6.542	0.304	4.344	5.571
		1/1				0.293					5.560		
		1/2				0.295					5.562		
	6	1/0				0.341			8.395	8.731	0.341	6.517	7.780
		1/1				0.304					7.743		
		1/2				0.303					7.743		
3.0-5.0	1	1/0	0.336	2.923	3.259	0.248	0.923	1.086	2.257				
		1/1				0.257			2.266				
		1/2				0.260			2.269				
	2	1/0				0.258			4.017	4.353	0.258	2.172	3.353
		1/1				0.288					3.383		
		1/2				0.292					3.387		
	4	1/0				0.302			6.206	6.542	0.302	4.344	5.569
		1/1				0.293					5.560		
		1/2				0.296					5.563		

ตาราง 4.10 (ต่อ)

มากกว่า 5.0	6	1/0	0.336	8.395	8.731	0.341	6.517	7.781	
		1/1				0.317		7.757	
		1/2				0.318		7.757	
	1	1/0	0.336	4.017	4.353	0.239	1.086	2.248	
		1/1				0.258		2.267	
		1/2				0.264		2.273	
	2	1/0	0.336	4.017	4.353	0.250	0.923	2.172	3.344
		1/1				0.295			3.390
		1/2				0.300			3.395
	4	1/0	0.336	6.206	6.542	0.248	4.344	5.515	
		1/1				0.308		5.575	
		1/2				0.309		5.576	
	6	1/0	0.336	8.395	8.731	0.348	6.517	7.787	
		1/1				0.302		7.742	
		1/2				0.311		7.751	

4.9 ผลเปรียบเทียบคุณภาพกับถ่านหินลิกไนต์

จากผลการศึกษาค่าความร้อนไปไอซาร์จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชัน เพทชื่อมาเปรียบเทียบพลังงานความร้อนจากถ่านหินในธรรมชาติ เพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือกใน กระบวนการอุตสาหกรรม ต่อไป ดังที่ได้แสดงในตาราง 4.10

ตาราง 4.10 ผลการเปรียบเทียบค่าความร้อนชีวมวล ไบโอชาร์และถ่านหินชนิดต่างๆ

ชนิดของเชื้อเพลิง	Kcal/kg	MJ/kg
ไผ่	4012.61	16.8
ขี้เลื่อย	2598.14	10.88
แกลบ	3438.72	14.40
ชานอ้อย	1798.16	7.53
ไบโอชาร์(จากการทดลอง)	7296.20	30.55
ถ่านหินบิทูมินัส	6297.16	26.37
ถ่านหินลิกไนท์	2500.24	10.47
ถ่านหินลิกไนท์ (แม่เมาะ)	2807.5	11.75

ผลจากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนทำให้ทราบว่า ค่าความร้อนที่ดีที่สุดของไบโอชาร์ที่สภาวะต่างๆ มีค่าสูงและมีประสิทธิภาพกว่าถ่านหินจากแหล่งธรรมชาติ คือ 30.55 MJ/kg ขณะที่ถ่านหินลิกไนท์แม่เมาะมีค่าความร้อนอยู่ที่ 11.75 MJ/kg และยังมีน้อยกว่าชีวมวลไผ่ก่อนทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชัน