- บทที่ 4 -
ผลและวิเคราะห์ผล

4.1 ศักยภาพของชีวมวลจากต้นตาลโตนด

ในต้นตาลโตนดเฉพาะส่วนที่อยู่เหนือดินประกอบด้วย ต้น กาบ ทาง ใบ ทลาย และ ลูก ทั้งนี้ได้ทำการพิจารณาส่วนต่างๆ โดยการโค่นตาลโตนดและพิจารณาเป็นสัดส่วนโดยมวลของส่วนต่างๆ ณ ความชื้นสด (ความชื้นหลังการโค่นล้ม) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งพบว่า ต้นของตาลโตนดมีสัดส่วนสูงที่สุดคิดเป็น 80.49% โดยมวลรวมทั้งหมด ส่วนความหนาแน่นของส่วนต้นมีค่าเท่ากับ 240.29±28.29 kg/m^3 ทั้งนี้จะพบว่าส่วนที่พิจารณาเป็นชีวมวลจากตาลโตนดในโครงการวิจัยนี้ที่ประกอบด้วย ทลาย กาบ ทาง ลูก มีสัดส่วนรวมกันเท่ากับ 13.07% ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สัดส่วนและศักยภาพด้านปริมาณและพลังงานของชีวมวลจากต้นตาลโตนด

วัสดุตาลโตนด	มวล (kg)	สัดส่วนโดยมวล (%)	ศักยภาพชีวมวล (ตัน/ปี)	ศักยภาพพลังงาน (GJ/ปี)
กาบ	64.70	3.86	1,618	35,352
ทะลายตัวผู้	17.40	1.04	435	9,549
ใบ	98.50	5.87	-	-
ทาง	78.00	4.65	1,950	43,170
ผ้าขี้ริ้ว	9.50	0.57	238	5,191
ลูก (2 ทะลาย)	59.10	3.52	1,478	32,954
ลำต้น	1,349.81	80.49	-	-
รวม	1,677.01	100.00	5,718	126,215

จากปริมาณวัสดุตาลโตนดใน 1 ต้น พบว่ามีส่วนที่สามารถจัดเก็บมาใช้เป็นพลังงานได้โดยที่ไม่มีการทำลายต้น (ตัด) ใน 6 ส่วน คือ กาบ ทะลายตัวผู้ ใบ ทาง ผ้าขี้ริ้ว ลูกที่ร่วงหลน ทำการประเมินค่าปริมาณของวัสดุตาลโตนดที่จะสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานได้โดยใช้สมมติฐานในการพิจารณาคือ

- พิจารณาในจังหวัดสงขลา 3,000,00 ต้น [2]
- ปริมาณการร่วงหล่นของชีวมวล 10% ของปริมาณทั้งต้น (ทั้งปี)
- อัตราการจัดเก็บได้ 50% ของปริมาณชีวมวลที่ร่วงหล่น
- มวลของชีวมวลลดลงจากร่วงหล่นจนถึง ณ เวลาการใช้เป็นเชื้อเพลิง 6 เท่า
- ใช้ค่าความร้อนจากตารางที่ 4.7

เบื้องต้นพบว่ามีศักยภาพด้านปริมาณเท่ากับ 5,718 ตัน/ปี คิดเป็นศักยภาพทางด้านพลังงานเท่ากับ 126,215 GJ/year ดังแสดงค่าผลการประเมินในตารางที่ 4.1

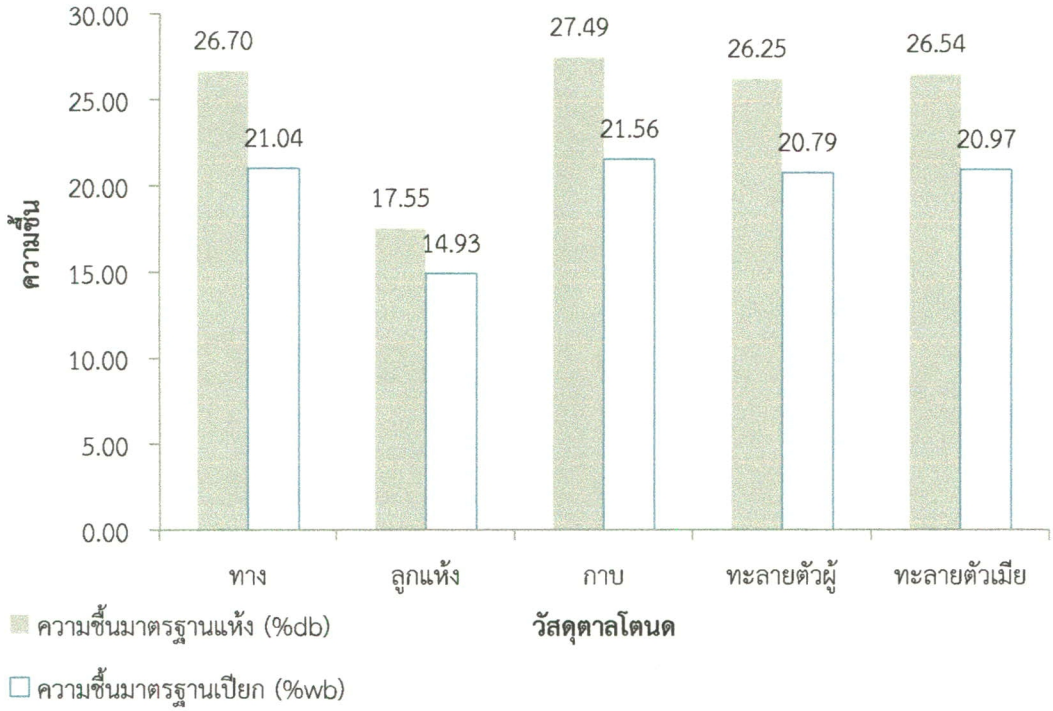
รูปที่ 4.1 การโค่นตาลโตนดและพิจารณาเป็นสัดส่วนโดยมวลของส่วนต่างๆ

4.2 ความชื้นและความหนาแน่นของวัสดุตาลโตนด

4.2.1 ความชื้นของวัสดุตาลโตนด

ทำการพิจารณาความชื้นของวัสดุตาลโตนดที่มีการร่วงหล่นจากต้นเองโดยธรรมชาติ (วัสดุที่สามารถนำมาใช้เป็นชีวมวล) โดยยังไม่มีการย่อยสลาย โดยทำการพิจารณาค่าความชื้นตามมาตรฐานของ Association of Official Agricultural Chemists โดยวิธีการอบแห้งตัวอย่างที่มีขนาดประมาณ 2x2 cm ในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์พบว่า ตัวอย่างของวัสดุตาลโตนดมีค่าความชื้นที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากมีความแห้งและร่วงหล่นจากต้นเอง โดยมีค่า

ความชื้นประมาณ 26.25 - 27.49 มาตรฐานแห้ง หรือประมาณ 20.27 - 21.56 มาตรฐานเปียก ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความชื้นของวัสดุตาลโตนด

ตารางที่ 4.2 ความชื้นของวัสดุตาลโตนดก่อนนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล

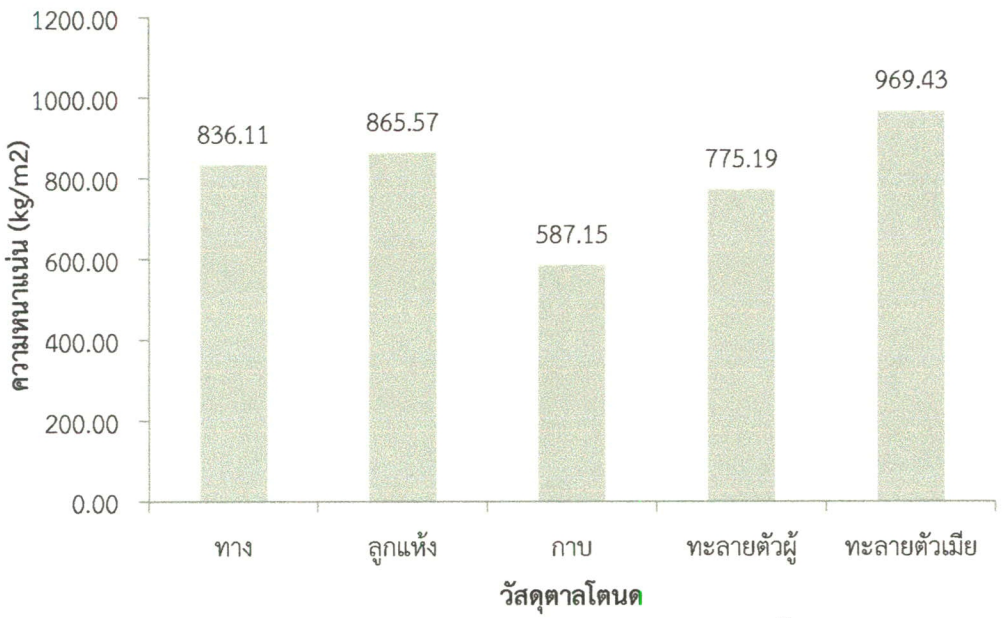
รายการ		ตัวอย่าง	วัสดุตาลโตนด				
			ทาง	ลูกแห้ง	กาบ	ทะลายตัวผู้	ทะลายตัวเมีย
มวล (g)	ก่อนอบ	1	29.98	81.09	29.37	10.91	26.66
		2	25.23	48.39	25.18	10.14	31.70
		3	25.50	46.29	27.35	12.89	41.45
	หลังอบ	1	23.05	68.61	23.08	8.70	21.17
		2	20.19	41.37	19.78	8.01	24.90
		3	20.39	39.40	21.38	10.17	32.80
ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db)		1	30.07	18.19	27.25	25.40	25.93
		2	24.96	16.97	27.30	26.59	27.31
		3	25.06	17.49	27.92	26.75	26.37
		AV±SD	26.70±2.92	17.55±0.61	27.49±0.37	26.25±0.74	26.54±0.70
ความชื้นมาตรฐานเปียก (%wb)		1	23.12	15.39	21.42	20.26	20.59
		2	19.98	14.51	21.45	21.01	21.45
		3	20.04	14.88	21.83	21.10	20.87
		AV±SD	21.04±1.79	14.93±0.44	21.56±0.23	20.79±0.46	20.97±0.44

หมายเหตุ - ความหนาแน่นของวัสดุที่ร่วงหล่นเองตามธรรมชาติ ไม่โดนความชื้น (ฝน) และยังไม่มีการย่อยสลาย (วัสดุที่พึ่งร่วงหล่น)

- ตัวอย่างจัดเก็บ ณ วันที่ 20 ตุลาคม 2557 ณ ต.บ้านพร้าว อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง

4.2.2 ความหนาแน่นของวัสดุตาลโตนด

พิจารณาความหนาแน่นของวัสดุตาลโตนดโดยวิธีการแทนที่น้ำพบว่า ทางตาลโตนดมีความหนาแน่นเฉลี่ย 836.11±1.32 kg/m^3 ลูกแห้งตาลโตนดมีความหนาแน่นเฉลี่ย 865.57±11.42 kg/m^3 กาบตาลโตนดมีความหนาแน่นเฉลี่ย 587.15±17.22 kg/m^3 ทะลายตัวผู้มีความหนาแน่นเฉลี่ย 775.19±24.56 kg/m^3 และ ทะลายตัวเมียมีความหนาแน่นเฉลี่ย 969.43±15.94 kg/m^3 ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และโดยภาพรวมพบว่าวัสดุตาลโตนดมีความหนาแน่นเฉลี่ย 806.69±141.43 kg/m^3 สำหรับข้อมูลการทดสอบค่าความหนาแน่นของวัสดุตาลโตนดแสดงดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความหนาแน่นของวัสดุตาลโตนดก่อนการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล

ตารางที่ 4.3 ความหนาแน่นของวัสดุตาลโตนดก่อนการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล

รายการ	ตัวอย่าง	วัสดุตาลโตนด				
		ทาง	ลูกแห้ง	กาบ	ทะลายตัวผู้	ทะลายตัวเมีย
มวล (g)	1	142.24	21.95	30.25	7.56	39.60
	2	138.77	23.21	31.97	7.88	39.47
	3	140.11	22.10	30.97	7.10	38.14
ปริมาตร (cm^3)	1	170.3	25.3	53.3	10.1	40.4
	2	165.7	26.5	53.3	10.1	40.4
	3	167.7	25.9	52.1	8.91	40.1
ความหนาแน่น (kg/m^3)	1	835.23	867.59	567.54	748.51	980.20
	2	837.63	875.85	599.81	780.20	976.98
	3	835.48	853.28	594.09	796.86	951.12
	AV±SD	836.11±1.32	865.57±11.42	587.15±17.22	775.19±24.56	969.43±15.94

หมายเหตุ - ความหนาแน่นของวัสดุที่ร่วงหล่นเองตามธรรมชาติ ไม่โดนความชื้น (ฝน) และยังไม่มีการย่อยสลาย (วัสดุที่พึ่งร่วงหล่น)

- ตัวอย่างจัดเก็บ ณ วันที่ 20 ตุลาคม 2557 ณ ต.บ้านพร้าว อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง

4.3 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและอัตราส่วนเถ้า

ทำการทดสอบการเผาไหม้วัสดุตาลโตนดทั้ง 5 ชนิดในสภาวะอากาศปรกติ (เผาไหม้สมบูรณ์) โดยใช้วัสดุตัวอย่างในการทดสอบครั้งละ 0.5 kg และทำการตรวจวัดเวลาในการเผาไหม้ และพิจารณาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นหลังการเผาไหม้

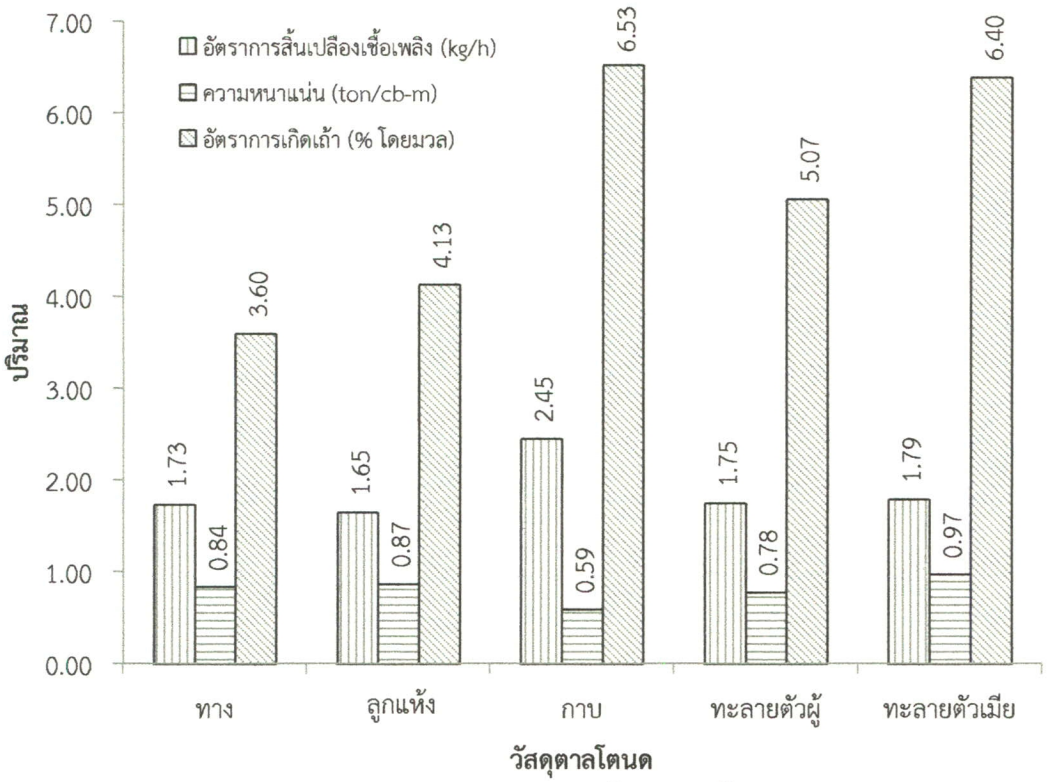
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของวัสดุตาลโตนดที่มีค่าน้อยที่สุดคือ ลูกแห้งตาลโตนดโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.65±0.55kg/h ถัดมาคือ ทางตาลโตนด ทะลายตัวผู้ ทะลายตัวเมีย และกาบตาลโตนด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.73±0.15kg/h 1.75±0.16kg/h 1.79±0.11kg/h และ 2.16±0.77kg/h ตามลำดับ ดังแสดงค่าในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและอัตราส่วนเถ้าของวัสดุตาลโตนด

รายการ	ทดสอบ	วัสดุตาลโตนด				
		ทาง	ลูกแห้ง	กาบ	ทะลายตัวผู้	ทะลายตัวเมีย
เวลาในการเผาไหม้ (นาที)	ครั้งที่ 1	19.20	21.00	14.20	16.20	16.20
	ครั้งที่ 2	16.80	24.00	15.20	16.40	18.00
	ครั้งที่ 3	16.20	13.20	12.50	19.20	16.20
ปริมาณเถ้า (g)	ครั้งที่ 1	20.0	20.0	34.0	22.0	30.0
	ครั้งที่ 2	16.0	20.0	34.0	26.0	32.0
	ครั้งที่ 3	18.0	22.0	30.0	28.0	34.0
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/h)	ครั้งที่ 1	1.56	1.43	2.11	1.85	1.85
	ครั้งที่ 2	1.79	1.25	1.97	1.83	1.67
	ครั้งที่ 3	1.85	2.27	2.40	1.56	1.85
	AV±SD	1.73±0.15	1.65±0.55	2.16±0.77	1.75±0.16	1.79±0.11
อัตราส่วนเถ้า (% โดยมวล)	ครั้งที่ 1	4.00	4.00	6.80	4.40	6.00
	ครั้งที่ 2	3.20	4.00	6.80	5.20	6.40
	ครั้งที่ 3	3.60	4.40	6.00	5.60	6.80
	AV±SD	3.60±0.40	4.13±0.23	6.53±0.46	5.07±0.61	6.40±0.40

สำหรับอัตราการเกิดเถ้าพบว่าอัตราการเกิดเถ้าของวัสดุตาลโตนดทั้ง 5 ชนิดมีปริมาณที่ใกล้เคียงกันโดยมีค่าระหว่าง 3.5 - 6.5% โดยมวล โดยกาบตาลโตนดมีอัตราการเกิดเถ้าหลังการเผาไหม้สูงที่สุดเท่ากับ 6.53±0.46% โดยมวล ส่วนอัตราการเกิดเถ้าที่น้อยที่สุดคือทางตาลโตนดมีค่าเท่ากับ 3.60±0.40% โดยมวลดังแสดงค่าในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4

จากรูปที่ 4.4 เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของวัสดุตาลโตนดคือวัสดุตาลโตนดที่มีความหน้าหนาแน่นสูงจะมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำ ส่วนวัสดุตาลโตนดที่มีความหนาแน่นต่ำจะมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูง ส่วนอัตราการเกิดเถ้าไม่พบว่ามีความสัมพันธ์กับทั้งความหนาแน่น และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง



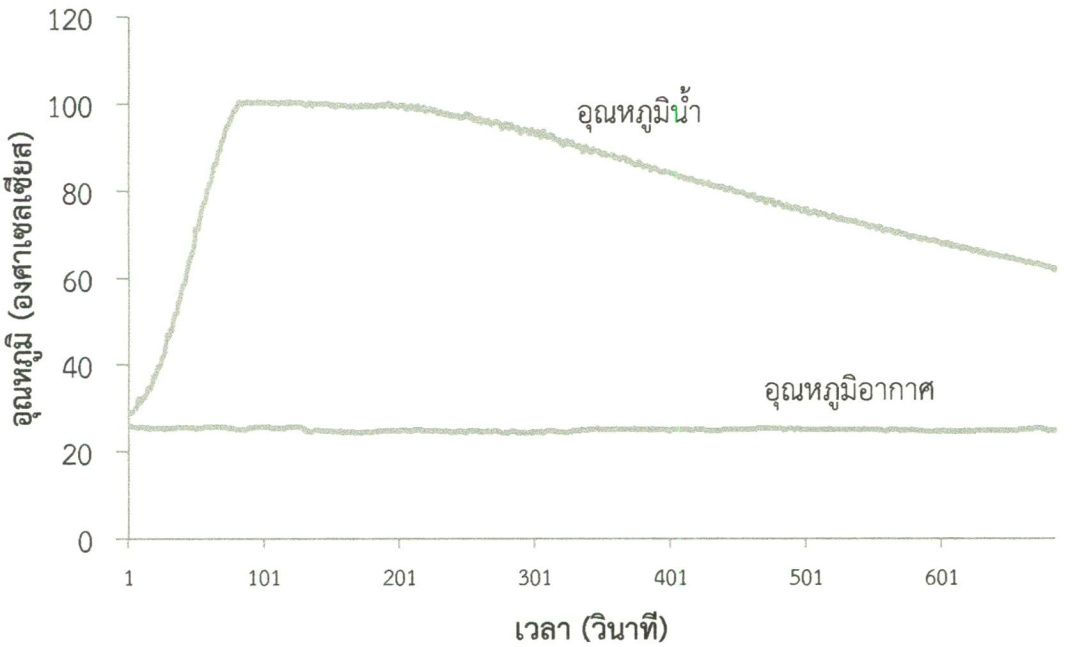
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงความหนาแน่น และอัตราส่วนเถ้าของวัสดุตาลโตนด

4.4 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำ

นำเชื้อเพลิงตาลโตนดไปทำการต้มน้ำและทำการตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำ ณ เวลาทุกๆ 1 นาทีหลังจากการเริ่มจุดไฟจนน้ำเดือดและนำอุณหภูมิและเวลามาทำการวิเคราะห์ค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำ ($^{\circ}$C/นาที) ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำระหว่างการทดสอบ Water Boiling Test แสดงดังรูปที่ 4.5 โดยพบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเมื่อนำวัสดุตาลโตนดเป็นเชื้อเพลิงมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 3.29 - 4.39°C/นาที โดยน้ำที่ใช้ลูกแห้งตาลโตนดในการต้มมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 4.39±0.40°C/นาที ส่วนอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเมื่อนำวัสดุตาลโตนดชนิดอื่นๆ เป็นเชื้อเพลิง แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเมื่อนำวัสดุตาลโตนดเป็นเชื้อเพลิง ($^{\circ}$C/นาที)

การทดสอบ	วัสดุตาลโตนด				
	ทาง	ลูกแห้ง	กาบ	ทะลายตัวผู้	ทะลายตัวเมีย
ครั้งที่ 1	3.86	4.78	3.65	3.98	3.7
ครั้งที่ 2	4.11	4.41	3.02	3.04	4.13
ครั้งที่ 3	4.59	3.99	3.19	4.23	4.51
AV±SD	4.19±0.37	4.39±0.40	3.29±0.33	3.75±0.63	4.11±0.41



รูปที่ 4.5 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำระหว่างการทดสอบ Water Boiling Test

4.5 องค์ประกอบที่ติดไฟได้ของวัสดุตาลโตนด

ในชีวมวลสามารถแบ่งองค์ประกอบตามคุณสมบัติของการติดไฟได้เป็น 2 องค์ประกอบคือ องค์ประกอบที่ติดไฟได้ (คาร์บอนคงตัว (FC) และสารระเหย (V)) และองค์ประกอบที่ติดไฟไม่ได้ (ความชื้น (MC) และเถ้า (A)) จากการทดสอบเบื้องต้นโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงในอากาศปรกติ และการอบแห้งเพื่อหาความชื้นสามารถบอกถึงสัดส่วนขององค์ประกอบทั้ง 2 ได้ แต่ไม่สามารถบอกถึงสัดส่วนของ คาร์บอนคงตัว และสารระเหย ทั้งนี้หากต้องการทราบสัดส่วนของ คาร์บอนคงตัว และสารระเหย ต้องทำการทดสอบ ด้วยเทคนิค (เครื่อง) Thermogravimetric Analyzer ต่อไป

องค์ประกอบที่ติดไฟได้ของวัสดุตาลโตนด กรณีการเผาไหม้ในอากาศปรกติแสดงในตารางที่ 4.6 โดยพบว่ามีปริมาณที่ใกล้เคียงกันโดยมีค่า 65.98 - 69.70 % โดยมวล ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับชีวมวลชนิดอื่นๆ แต่ทั้งนี้สามารถเพิ่มองค์ประกอบที่ติดไฟได้ของวัสดุตาลโตนดขึ้นได้โดยการลดความชื้นของวัสดุตาลโตนดลงก่อนการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง เพราะค่าความชื้นของวัสดุตาลโตนดที่ร่วงหล่นเองตามธรรมชาติยังมีค่าค่อนข้างสูง (มากกว่า 20%มาตรฐานแห้ง)

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบที่ติดไฟได้ของวัสดุตาลโตนด กรณีการเผาไหม้ในอากาศปรกติ

องค์ประกอบ		วัสดุตาลโตนด				
		ทาง	ลูกแห้ง	กาบ	ทะลายตัวผู้	ทะลายตัวเมีย
องค์ประกอบที่ติดไฟไม่ได้ (% โดยมวล)	A	3.60	4.13	6.53	5.07	6.40
	MC	26.70	26.76	27.49	26.25	26.54
องค์ประกอบที่ติดไฟได้ (% โดยมวล)	FC+V	69.70	69.11	65.98	68.68	67.06

4.6 ค่าความร้อนและองค์ประกอบธาตุของวัสดุตาลโตนด

ค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV) ของวัสดุตาลโตนดมีค่าเฉลี่ย 21.9658 ± 0.1807 MJ/kg โดยวัสดุแต่ละชนิดมีค่าความร้อนสูงอยู่ระหว่าง 20.9797 - 22.7386 MJ/kg ส่วนค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value, LHV) มีค่าระหว่าง 19.9827 - 21.5570 MJ/kg ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.8891 ± 0.1713 MJ/kg โดยค่าความร้อนของวัสดุตาลโตนดทุกชนิดมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับชีวมวลชนิดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบ ที่มีค่าความร้อนเท่ากับ 14.27 MJ/kg หรือ ทะลายปาล์มเปล่า ที่มีค่าความร้อนเท่ากับ 17.86 MJ/kg เป็นต้น และมีค่าใกล้เคียงกับชีวมวลชนิดไม้เช่น ยางพารา ขี้เลื่อย ลูกแห้งมะพร้าว (19-20 MJ/kg) ทั้งนี้ค่าความร้อนของวัสดุตาลโตนดทั้งค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำ แสดงดังตารางที่ 4.7

ถึงแม่ว่าค่าความร้อนของวัสดุตาลโตนดจะมีค่าสูงเทียบเท่าไม้ชนิดอื่นๆ แต่ก็มีข้อเสียในด้านของปริมาณเฉพาะวัสดุตาลโตนดที่พิจารณาในงานวิจัยนี้จะเกิดขึ้นจากการร่วงหล่นเองตามธรรมชาติ ดังนั้นในด้านศักยภาพทางด้านปริมาณจึงมีค่าน้อยมาก

ตารางที่ 4.8 แสดงองค์ประกอบของธาตุของวัสดุตาลโตนด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุตาลโตนดเป็นวัสดุที่มีความเป็นเชื้อเพลิงที่ดี เนื่องจากมีค่าองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในปริมารที่สูง และมีค่าองค์ประกอบของกำมะถัน ซึ่งถ้านำไปเผาไหม้จะก่อให้เกิดมลพิษต่ำ ทั้งนี้พบว่าองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน มีค่า 41-45% โดยมวล ไฮโดรเจน 4.2-5.5% โดยมวล และออกซิเจน 27.5 - 31.0% โดยมวล และมีค่ากำมะถันในสัดส่วน 0-0.02% โดยมวล

ตารางที่ 4.7 ค่าความร้อนของวัสดุตาลโตนด (หน่วย MJ/kg)

ชนิดของวัสดุตาลโตนด	Heat value (MJ/kg)	
	HHV	LHV
ทาง	22.1386 ± 0.0591	21.1570 ± 0.0604
ลูกแห้ง	22.3039 ± 0.3256	21.2726 ± 0.3063
กาบ	21.8557 ± 0.0918	20.7403 ± 0.0850
ทะลายตัวผู้	21.9511 ± 0.2173	20.8929 ± 0.2131
ทะลายตัวเมีย	20.9797 ± 0.2098	19.9827 ± 0.1918
เฉลี่ย	21.9658 ± 0.1807	20.8891 ± 0.1713

ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบของธาตุของวัสดุตาลโตนด

ชนิดของวัสดุตาลโตนด	%ธาตุ (±SD) โดยมวล				
	ไนโตรเจน	คาร์บอน	ไฮโดรเจน	กำมะถัน	ออกซิเจน
ทาง	0.22±0.0021	43.16±0.22	5.50±0.0272	น้อยกว่า 0.01	31.01±0.12
ลูกแห้ง	0.48±0.0015	44.82±0.55	4.80±0.0964	0.02±0.00039	27.53±0.13
กาบ	0.23±0.0019	41.88±0.14	5.19±0.0346	น้อยกว่า 0.01	30.38±0.079
ทะลายตัวผู้	1.03±0.0348	43.26±0.57	4.93±0.0238	0.05±0.00165	29.52±0.23
ทะลายตัวเมีย	1.17±0.0045	41.61±0.25	4.64±0.0886	0.07±0.00248	27.97±0.14