

รายงานผลการทดลองการหาค่าความร้อนของเปลือกข้าว

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการปลูกข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจหลัก ผลผลิตได้จากการสีข้าวเปลือกคือ "แกลบ" (Rice Husk) ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 20-22% ของน้ำหนักข้าวเปลือก ในอดีตแกลบอาจถูกมองว่าเป็นของเหลือทิ้ง แต่ในปัจจุบัน แกลบถือเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) ที่สำคัญมากในการผลิตกระแสไฟฟ้าและความร้อนในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากมีราคาถูกและหาได้ง่ายในท้องถิ่น

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

เพื่อให้เข้าใจถึงค่าความร้อน จำเป็นต้องทราบองค์ประกอบพื้นฐานของแกลบ ดังนี้

ความชื้น (Moisture Content) โดยปกติแกลบที่ออกจากโรงงานจะมีความชื้นประมาณ 9-12% ซึ่งถือว่าต่ำเมื่อเทียบกับชีวมวลชนิดอื่น ทำให้จุดติดไฟได้ง่าย

ความหนาแน่น (Density) แกลบมีความหนาแน่นรวม (Bulk Density) ต่ำ ประมาณ $90-150 \text{ kg/m}^3$ ทำให้เปลืองพื้นที่ในการจัดเก็บและขนส่ง

ปริมาณเถ้า (Ash Content) แกลบมีปริมาณเถ้าสูงมากถึง 15-20% โดยองค์ประกอบหลักของเถ้าคือ ชิลิกา ซึ่งต่างจากไม้ทั่วไปที่มีเถ้าน้อยกว่า

ค่าความร้อนของแกลบ (Calorific Value)

ค่าความร้อนคือตัวชี้วัดความสามารถในการให้พลังงานงาน โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

ค่าความร้อนสูง (High Heating Value - HHV) คือค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้อายุ่งสมบูรณ์โดยรวมความร้อนแห้งของการถ่ายเป็นน้ำไว้ด้วย ค่าเฉลี่ยประมาณ $3,300 - 3,600 \text{ kcal/kg}$ (หรือประมาณ $13.8 - 15.1 \text{ MJ/kg}$) ในสภาวะแห้ง (Dry Basis)

ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value - LHV) คือค่าความร้อนที่หักลบความร้อนแห้งของไอน้ำออกไป (ซึ่งเป็นค่าที่สะท้อนการใช้งานจริงในเตาเผามากกว่า) ค่าเฉลี่ยประมาณ $3,000 - 3,200 \text{ kcal/kg}$ (ณ ความชื้นมาตรฐานโรงงานโรงสี)

ค่าความร้อนของเปลือกข้าว (แกลบ) ที่นิยมใช้เป็นค่ามาตรฐานอ้างอิงในประเทศไทย

ค่ามาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป (Standard Reference) ค่ากลางที่นิยมนิยมนำมาใช้ในการคำนวณทางพลังงานและเศรษฐศาสตร์สำหรับแกลบในไทยคือ

ค่าความร้อนต่ำ (LHV): ประมาณ $\$3,300$ กิโลแคลอรี่ต่อ กิโลกรัม (kcal/kg) ที่ความชื้นประมาณ 10-12%

การเปรียบเทียบกันเชื้อเพลิงชนิดอื่น (Comparison)

ตารางเปรียบเทียบค่าความร้อนโดยประมาณของแกลบกับเชื้อเพลิงอื่น ๆ

ชนิดเชื้อเพลิง (Fuel Type)	ค่าความร้อนโดยประมาณ (kcal/kg)	หมายเหตุ
แกลบ (Rice Husk)	3,300 - 3,600	ขี้เหล้าสูงมาก
ไม้พิน / ไม้สักบ	2,500 - 3,800	ขึ้นอยู่กับความชื้นอย่างมาก
ถ่านหิน (Lignite)	2,500 - 4,000	ค่ากำมะถันสูง
ถ่านหิน (Bituminous)	6,000 - 7,000	ให้พลังงานสูง
น้ำมันเตา	9,800 - 10,000	ราคาสูง

แกลบเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีศักยภาพสูงมากสำหรับประเทศไทย ด้วยค่าความร้อนเฉลี่ยที่ 3,300 - 3,600 kcal/kg ซึ่งเพียงพอสำหรับการใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวล (Biomass Power Plant) และหม้อไอน้ำอุตสาหกรรม (Boiler) แม้จะมีข้อจำกัดเรื่องบริมาณเหล้าสูง แต่หากมีการบริหารจัดการระบบเผาไหม้ที่ดี แกลบจะช่วยลดต้นทุนพลังงานและลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลได้อย่างยั่งยืน

ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 1

	วันที่	เวลา (นาที : วินาที)	อุณหภูมิ (°C)
จุด a ₀	0	00:00	26.2
	60	01:00	26.2
	120	02:00	26.3
	180	03:00	26.3
	240	04:00	26.3
	300	05:00	26.3
	15	05:15	26.3
	30	05:30	26.3
	45	05:45	26.5
	60	06:00	26.7
จุด b	75	06:15	26.8
	90	06:30	26.9
	105	06:45	27.1
	120	07:00	27.2
	135	07:15	27.3
	150	07:30	27.3
	165	07:45	27.3
	180	08:00	27.4
	195	08:15	27.4
จุด d	210	08:30	27.5
	225	08:45	27.5
	240	09:00	27.5
	255	09:15	27.5
	270	09:30	27.5
	285	09:45	27.5
	300	10:00	27.5
	315	10:15	27.5
	330	10:30	27.5
	345	10:45	27.5
	360	11:00	27.5
	375	11:15	27.5
	390	11:30	27.5
	405	11:45	27.5
	420	12:00	27.5
จุด c	435	12:15	27.5
	450	12:30	27.5
	465	12:45	27.5
	480	13:00	27.5
	495	13:15	27.5
	510	13:30	27.5
	525	13:45	27.5
	540	14:00	27.5
	555	14:15	
	570	14:30	
	585	14:45	
	600	15:00	
	615	15:15	
	630	15:30	
	645	15:45	
	660	16:00	
	675	16:15	
	690	16:30	
	705	16:45	
	720	17:00	
	735	17:15	
	750	17:30	
	765	17:45	

ชนิดของเชื้อเพลิงที่ทำการทดลองคือ เปลือกข้าว

ความยาวของ漉ดความร้อนที่เผาไหม้ เท่ากับ	6.5..... cm
อุณหภูมิห้องขณะทำการทดลอง.....	25..... °C
อุณหภูมิน้ำในแคลอริเมเตอร์ก่อนการทดลอง.....	26.2..... °C
น้ำหนักของเชื้อเพลิง.....	1.0..... g

จากตารางข้อมูลการทดลอง จะได้ค่าต่างๆดังนี้

$$t_{a0} = 26.2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad ta = 26.3 \text{ } ^\circ\text{C} \quad tc = 27.4 \text{ } ^\circ\text{C} \quad td = 27.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

a = เวลาที่เริ่มเผาไหม้ = 0 s

c = เวลาที่อุณหภูมิเริ่มคงที่หลังการเผาไหม้ = 180 s

b = เวลาที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 60% ซึ่งมีวิธีการหาค่าดังนี้

1. หาค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น 60% จากสูตรดังนี้

$$\begin{aligned} tC &= [(tc - ta) \times 0.6] + ta \\ &= [(27.4 - 26.3) \times 0.6] + 26.3 \\ &= 26.96 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

2. หาเวลาที่มีอุณหภูมิประมาณ 26.96 $^\circ\text{C}$ จากข้อมูลการทดลอง ซึ่งพบว่าเวลาที่มี อุณหภูมิใกล้เคียงกับ 26.9 คือวินาทีที่ 90 ดังนั้น b = 90

$r_1 = (\text{oุณหภูมิสุดท้ายก่อนเผาไหม้ - อุณหภูมิที่เริ่มกวนน้ำ})$

$$\begin{aligned} &= ta - ta_0 = 26.30 - 26.20 \\ &= 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}/5 \text{ min} \\ &= 0.02 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$r_2 = \text{oุณหภูมิสุดท้ายก่อนหยุดกวนน้ำ - อุณหภูมิที่เริ่มคงที่}$

$$\begin{aligned} &= td - tc = 27.5 - 27.4 \\ &= 0.01 \text{ } ^\circ\text{C}/5 \text{ min} \\ &= 0.02 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$c_3 = \text{ความยาวของฟิล์มที่ถูกเผาไหม้} = 6.5 \text{ cm}$

$W = \text{พลังงานสมมูลของ Bomb Calorimeter} = 2,426 \text{ cal}/^\circ\text{C}$

$m = \text{มวลของเชื้อเพลิง} = 1.0 \text{ g}$

e_3 = ค่าความร้อนของพิวร์ส ซึ่งหาได้จากสมการดังนี้

$$e_3 = 2.3 \times 6.5$$

$$e_3 = 14.95 \text{ cal}$$

จากข้อมูลที่ได้สามารถคำนวณหาค่าความร้อนเชื้อเพลิงได้ดังนี้ คำนวณหาค่า t จะได้ดังนี้

$$t = tc - ta - [r1(b-a)] - [r2(c-b)]$$

$$= 27.4 - 26.3 - [0.02(90-0)] - [0.02(180-90)]$$

$$= 1.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

คำนวณหาค่าความร้อนสูงสุดของเชื้อเพลิง จะได้ดังนี้

จาก

$$H_g = \frac{t \cdot w - e_3}{m}$$
$$H_g = \frac{(1.1) \cdot (2426 - 14.95)}{1.0}$$
$$H_g = 2652.155 \text{ Btu/lb}$$

ปริมาณความชื้น(ร้อยละ)

$$M = 100 \times \left(\frac{w_1 - w_2}{w_2 - w_0} \right)$$
$$M = 100 \times \left(\frac{1 - 0.87}{0.87 - 0} \right)$$
$$M = 14.94$$

ปริมาณถ้า

$$\text{ปริมาณถ้า} (\%) = \left(\frac{\text{น้ำหนักถ้าหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \right) \times 100$$

$$\text{ปริมาณถ้า} (\%) = 15$$

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง

$$\rho = \frac{m}{v}$$
$$\rho = \frac{1}{6.77}$$
$$\rho = 0.15 \text{ g/cm}^3$$

ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 2

	วินาที	เวลา (นาที : วินาที)	อุณหภูมิ (°C)
จุด a ₀	0	00:00	26.5
	60	01:00	26.5
	120	02:00	26.5
	180	03:00	26.5
	240	04:00	26.5
	300	05:00	26.5
	15	05:15	26.6
	30	05:30	26.6
	45	05:45	26.6
	60	06:00	26.8
จุด b	75	06:15	27.1
	90	06:30	27.1
	105	06:45	27.3
	120	07:00	27.4
	135	07:15	27.5
	150	07:30	27.5
	165	07:45	27.6
	180	08:00	27.6
	195	08:15	27.6
จุด c			
	210	08:30	27.7
	225	08:45	27.7
	240	09:00	27.7
	255	09:15	27.7
	270	09:30	27.8
	285	09:45	27.8
	300	10:00	27.8
	315	10:15	27.8
	330	10:30	27.8
จุด d	345	10:45	27.8
	360	11:00	27.8
	375	11:15	27.8
	390	11:30	27.8
	405	11:45	27.8
	420	12:00	27.8
	435	12:15	27.8
	450	12:30	27.8
	465	12:45	27.8
	480	13:00	27.8

ชนิดของเชื้อเพลิงที่ทำการทดลองคือ	เปลือกข้าว
ความยาวของ漉ดความร้อนที่เผาไหม้ เท่ากับ	5.7 cm
อุณหภูมิห้องขณะทำการทดลอง.....	25 °C
อุณหภูมน้ำในแคลอริมิเตอร์ก่อนการทดลอง.....	26.5 °C
น้ำหนักของเชื้อเพลิง.....	1.0 g

จากตารางข้อมูลการทดลอง จะได้ค่าต่างๆดังนี้

$$t_{a0} = 26.5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad ta = 26.5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad tc = 27.7 \text{ } ^\circ\text{C} \quad td = 27.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

a = เวลาที่เริ่มเผาไหม้ = 0 s

c = เวลาที่อุณหภูมิเริ่มคงที่หลังการเผาไหม้ = 255 s

b = เวลาที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 60% ซึ่งมีวิธีการหาค่าดังนี้

1. หาค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น 60% จากสูตรดังนี้

$$\begin{aligned} tC &= [(tC - ta) \times 0.6] + ta \\ &= [(27.7 - 26.5) \times 0.6] + 26.5 \\ &= 27.22 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

2. หาเวลาที่มีอุณหภูมิประมาณ 27.22 °C จากข้อมูลการทดลอง ซึ่งพบว่าเวลาที่มี อุณหภูมิใกล้เคียงกับ 27.1 คือวินาทีที่ 90 ดังนั้น b = 90

$r_1 = (\text{oุณหภูมิสุดท้ายก่อนเผาไหม้ - อุณหภูมิที่เริ่มงาน})$

$$\begin{aligned} &= ta - ta_0 \\ &= 26.5 - 26.5 \\ &= 0 \text{ } ^\circ\text{C}/5 \text{ min} \\ &= 0. \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$r_2 = \text{oุณหภูมิสุดท้ายก่อนหยุดการงาน - อุณหภูมิที่เริ่มคงที่}$

$$\begin{aligned} &= td - tc = 27.8 - 27.7 \\ &= 0.01 \text{ } ^\circ\text{C}/5 \text{ min} \\ &= 0.02 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$c_3 = \text{ความยาวของฟิล์มที่ถูกเผาไหม้} = 5.7 \text{ cm}$

$W = \text{พลังงานสมมูลของ Bomb Calorimeter} = 2,426 \text{ cal}/^\circ\text{C}$

$m = \text{มวลของเชื้อเพลิง} = 1.0 \text{ g}$

e_3 = ค่าความร้อนของพิวร์ส ซึ่งหาได้จากสมการดังนี้

$$e_3 = 2.3 \times 5.7$$

$$e_3 = 13.11 \text{ cal}$$

จากข้อมูลที่ได้สามารถคำนวณหาค่าความร้อนเชื้อเพลิงได้ดังนี้ คำนวณหาค่า t จะได้ดังนี้

$$t = tc - ta - [r1(b-a)] - [r2(c-b)]$$

$$= 27.7 - 26.5 - [0(90-0)] - [0.02(255-90)]$$

$$= 3.72^\circ\text{C}$$

คำนวณหาค่าความร้อนสูงสุดของเชื้อเพลิง จะได้ดังนี้

จาก

$$H_g = \frac{t \cdot w - e_3}{m}$$
$$H_g = \frac{(3.72) \cdot (2426) - (13.11)}{1.0}$$
$$H_g = 9011.61 \text{ Btu/lb}$$

ปริมาณความชื้น(ร้อยละ)

$$M = 100 \times \left(\frac{w_1 - w_2}{w_2 - w_0} \right)$$
$$M = 100 \times \left(\frac{1 - 0.04}{0.04 - 0} \right)$$
$$M = 2400$$

ปริมาณถ้า

$$\text{ปริมาณถ้า} (\%) = \left(\frac{\text{น้ำหนักถ้าหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \right) \times 100$$

$$\text{ปริมาณถ้า} (\%) = 4$$

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง

$$\rho = \frac{m}{v}$$
$$\rho = \frac{1}{6.77}$$
$$\rho = 0.15 \text{ g/cm}^3$$

ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 3

วินาที	เวลา (นาที : วินาที)	อุณหภูมิ (°C)
จุด a ₀	0	00:00
	60	01:00
	120	02:00
	180	03:00
	240	04:00
	300	05:00
	15	05:15
	30	05:30
	45	05:45
	60	06:00
จุด b	75	06:15
	90	06:30
	105	06:45
	120	07:00
	135	07:15
	150	07:30
	165	07:45
	180	08:00
	195	08:15
จุด c		

วินาที	เวลา (นาที : วินาที)	อุณหภูมิ (°C)
210	08:30	27.5
225	08:45	27.5
240	09:00	27.5
255	09:15	27.5
270	09:30	27.5
285	09:45	27.5
300	10:00	27.5
315	10:15	27.5
330	10:30	27.5
345	10:45	27.5
360	11:00	27.5
375	11:15	27.5
390	11:30	27.5
405	11:45	27.5
420	12:00	27.5
435	12:15	27.5
450	12:30	27.5
465	12:45	27.5
480	13:00	27.5

วินาที	เวลา (นาที : วินาที)	อุณหภูมิ (°C)
495	13:15	27.5
510	13:30	27.5
525	13:45	27.5
540	14:00	27.5
555	14:15	
570	14:30	
585	14:45	
600	15:00	
615	15:15	
630	15:30	
645	15:45	
660	16:00	
675	16:15	
690	16:30	
705	16:45	
720	17:00	
735	17:15	
750	17:30	
765	17:45	

ชนิดของเชื้อเพลิงที่ทำการทดลองคือ เปลือกข้าว

ความยาวของ漉ดความร้อนที่เผาไหม้ เท่ากับ 5 cm

อุณหภูมิห้องขณะทำการทดลอง..... 25 °C

อุณหภูมน้ำในแคลอร์มิเตอร์ก่อนการทดลอง..... 26.5 °C

น้ำหนักของเชื้อเพลิง..... 1.0 g

จากตารางข้อมูลการทดลอง จะได้ค่าต่างๆดังนี้

$$t_{a0} = 26.5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad ta = 26.5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad tc = 27.5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad td = 27.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

a = เวลาที่เริ่มเผาไหม้ = 0 s

c = เวลาที่อุณหภูมิเริ่มคงที่หลังการเผาไหม้ = 195 s

b = เวลาที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 60% ซึ่งมีวิธีการหาค่าดังนี้

1. หาค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น 60% จากสูตรดังนี้

$$\begin{aligned} tC &= [(tC - ta) \times 0.6] + ta \\ &= [(27.5 - 26.5) \times 0.6] + 26.5 \\ &= 27.1 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

2. หาเวลาที่มีอุณหภูมิประมาณ 27.1 °C จากข้อมูลการทดลอง ซึ่งพบว่าเวลาที่มี อุณหภูมิใกล้เคียงกับ 27.1 คือวินาทีที่ 105 ดังนั้น b = 105

$r_1 = (\text{o}\text{un}\text{h}\text{u}\text{m}\text{i}\text{s}\text{u}\text{d}\text{t}\text{h}\text{a}\text{y}\text{g}\text{o}\text{n}\text{p}\text{e}\text{a}\text{m}\text{i}\text{h}\text{m}\text{a}\text{y}\text{ - }\text{o}\text{un}\text{h}\text{u}\text{m}\text{i}\text{t}\text{h}\text{e}\text{r}\text{e}\text{m}\text{c}\text{o}\text{ng}\text{t}\text{h}\text{e})$

$$\begin{aligned} &= ta - ta_0 \\ &= 26.5 - 26.5 \\ &= 0 \text{ } ^\circ\text{C}/5 \text{ min} \\ &= 0. \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$r_2 = \text{o}\text{un}\text{h}\text{u}\text{m}\text{i}\text{s}\text{u}\text{d}\text{t}\text{h}\text{a}\text{y}\text{g}\text{o}\text{n}\text{h}\text{y}\text{u}\text{d}\text{g}\text{w}\text{a}\text{n}\text{n}\text{a}\text{y}\text{ - }\text{o}\text{un}\text{h}\text{u}\text{m}\text{i}\text{t}\text{h}\text{e}\text{r}\text{e}\text{m}\text{c}\text{o}\text{ng}\text{t}\text{h}\text{e}$

$$\begin{aligned} &= td - tc = 27.5 - 27.5 \\ &= 0 \text{ } ^\circ\text{C}/5 \text{ min} \\ &= 0 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$c_3 = \text{ค}\text{ว}\text{า}\text{ล}\text{ว}\text{ของ}\text{พ}\text{ิ}\text{ว}\text{ส}\text{ท}\text{ี่}\text{ถ}\text{ูก}\text{เผ}\text{า}\text{ม}\text{า}\text{y}\text{ = 5 cm}$

$W = \text{พ}\text{ล}\text{ั}\text{ง}\text{จ}\text{า}\text{น}\text{ส}\text{ม}\text{ม}\text{ู}\text{l}\text{ของ}\text{B}\text{o}\text{m}\text{b}\text{ C}\text{a}\text{l}\text{o}\text{r}\text{i}\text{m}\text{e}\text{t}\text{e}\text{r} = 2,426 \text{ cal}/^\circ\text{C}$

$m = \text{ม}\text{ว}\text{า}\text{ล}\text{ของ}\text{เช}\text{ื}\text{อ}\text{เพ}\text{ล}\text{ิ}\text{ง} = 1.0 \text{ g}$

e_3 = ค่าความร้อนของพิวร์ส ซึ่งหาได้จากสมการดังนี้

$$e_3 = 2.3 \times 5$$

$$e_3 = 11.5 \text{ cal}$$

จากข้อมูลที่ได้สามารถคำนวณหาค่าความร้อนเชื้อเพลิงได้ดังนี้ คำนวณหาค่า t จะได้ดังนี้

$$t = tc - ta - [r1(b-a)] - [r2(c-b)]$$

$$= 27.5 - 26.5 - [0(105-0)] - [0(195-105)]$$

$$= 1^\circ\text{C}$$

คำนวณหาค่าความร้อนสูงสุดของเชื้อเพลิง จะได้ดังนี้

จาก

$$H_g = \frac{t \cdot w - e_3}{m}$$
$$H_g = \frac{(1) \cdot (2426) - (11.5)}{1.0}$$
$$H_g = 2414.5 \text{ Btu/lb}$$

ปริมาณความชื้น(ร้อยละ)

$$M = 100 \times \left(\frac{w_1 - w_2}{w_2 - w_0} \right)$$
$$M = 100 \times \left(\frac{1 - 0.11}{0.11 - 0} \right)$$
$$M = 809.09$$

ปริมาณถ้า

$$\text{ปริมาณถ้า} (\%) = \left(\frac{\text{น้ำหนักถ้าหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \right) \times 100$$

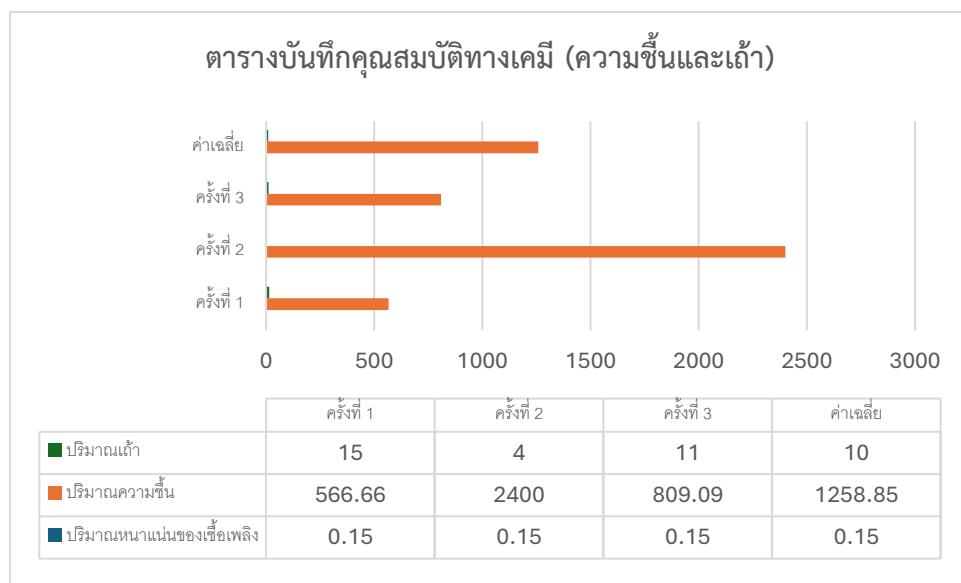
$$\text{ปริมาณถ้า} (\%) = 11$$

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง

$$\rho = \frac{m}{v}$$
$$\rho = \frac{1}{6.77}$$
$$\rho = 0.15 \text{ g/cm}^3$$

ตารางบันทึกคุณสมบัติทางเคมี (ความชื้นและถ้า)

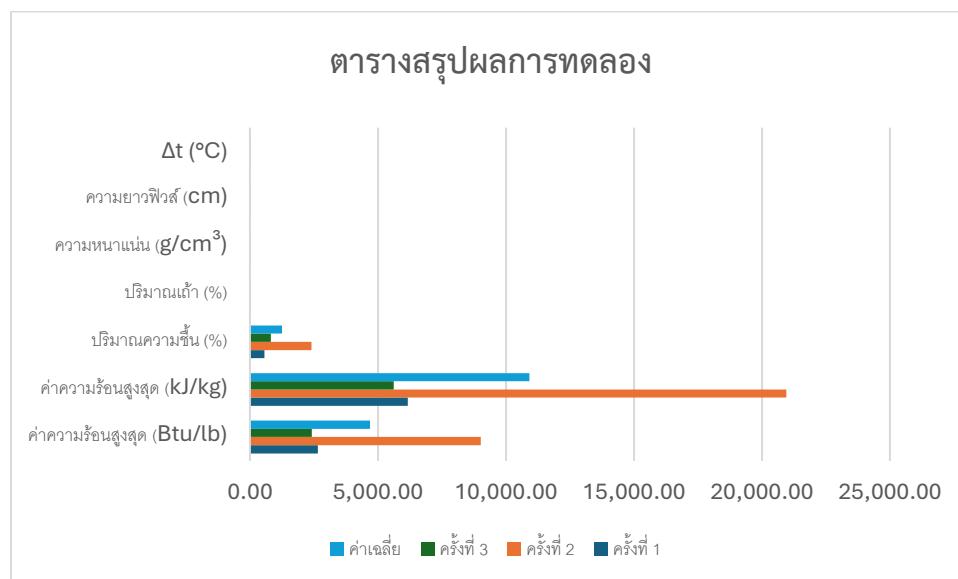
ปริมาณการวิเคราะห์	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
ปริมาณหนาแน่นของ เชือเพลิง	0.15	0.15	0.15	0.15
ปริมาณความชื้น	566.66	2400	809.09	1258.85
ปริมาณถ้า	15	4	11	10



จากการทดลอง พบร่วมกับความชื้น มีผลต่อปริมาณความชื้นอย่างชัดเจน โดยครั้งที่ 2 ที่มีความชื้นต่ำสุด (4%) ให้ค่าสูงสุดถึง 2,400 ส่วนครั้งที่ 1 ที่มีความชื้นสูง (15%) ให้ค่าเพียง 566.66 แสดงว่าการลดความชื้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้มาก ปริมาณความหนาแน่นคงที่ (0.15) ยืนยันว่าวัสดุมีความสม่ำเสมอ

ตารางสรุปผลการทดลอง

พารามิเตอร์	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
ค่าความร้อนสูงสุด (Btu/lb)	2,652.16	9,011.61	2,414.50	4692.75
ค่าความร้อนสูงสุด (kJ/kg)	6,168.5	20,958.0	5,615.5	10914
ปริมาณความชื้น (%)	566.66	2,400	809.09	1,258.85
ปริมาณเนื้า (%)	15	4	11	10
ความหนาแน่น (g/cm³)	0.15	0.15	0.15	0.15
ความยาวพิวส์ (cm)	6.5	5.7	5.0	5.73
Δt (°C)	1.1	3.72	1.0	1.94



จากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง พบร่วมกับค่าความร้อนสูงสุดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยครั้งที่ 2 ให้ค่าความร้อนสูงสุดที่ 9,011.61 Btu/lb (20,958.0 kJ/kg) ซึ่งสูงกว่าครั้งอื่นๆ มาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยที่ 4692.75 Btu/lb ความแตกต่างนี้น่าจะสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นที่แตกต่างกัน โดยครั้งที่ 2 มีความชื้นเพียง 4% ซึ่งต่ำที่สุด ในขณะที่ครั้งที่ 1 มีความชื้นถึง 15% ปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ เนื่องจากความชื้นสูงจะดูดซับพลังงานความร้อนไปใช้ในการระเหยน้ำ ทำให้ค่าความร้อนที่ได้จริงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ครั้งที่ 1 (ความชื้น 15%) ให้ค่าความร้อนเพียง 2,652.16 Btu/lb ปริมาณเหล่านี้ในทุกครั้ง มีความคงที่ที่ 0.15 g/cm^3 และกว่าองค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ทดลองมีความสม่ำเสมอ ส่วนความหนาของฟิล์ม มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 5.0-6.5 cm โดยไม่แสดงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับค่าความร้อนค่า Δt (การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ) ที่ครั้งที่ 2 สูงถึง 3.72°C ซึ่งสูงกว่าครั้งอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด สอดคล้องกับค่าความร้อนสูงสุด ที่วัดได้ในครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าการควบคุมความชื้นให้ต่ำสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้สรุปได้ว่า ปริมาณความชื้นเป็นตัวแปรสำคัญที่สุดที่ส่งผลต่อค่าความร้อนสูงสุดของวัสดุ การลดความชื้นลงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้และการถ่ายเทความร้อนได้อย่างมีนัยสำคัญ

พื้นที่การวิเคราะห์

จากการทดลองวัดค่าความร้อนของเปลือกข้าวตัวอย่างเครื่อง Bomb Calorimeter ทั้ง 3 ครั้ง พบร่วมกับค่าความร้อนสูงสุด (Higher Heating Value: HHV หรือ H_o) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยครั้งที่ 1 ได้ค่า 2,652.16 Btu/lb (6,168.5 kJ/kg) ครั้งที่ 2 ได้ค่าสูงสุดที่ 9,011.61 Btu/lb (20,958.0 kJ/kg) และครั้งที่ 3 ได้ค่าต่ำสุดที่ 2,414.50 Btu/lb (5,615.5 kJ/kg) ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยทั้ง 3 ครั้งอยู่ที่ 4,692.76 Btu/lb หรือประมาณ 10,914 kJ/kg

เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของเปลือกข้าวตามเอกสารอ้างอิงทางวิชาการ ซึ่งระบุว่าเปลือกข้าวมีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 3,000-3,500 Btu/lb หรือประมาณ 12,000-16,000 kJ/kg พบร่วมกับผลการทดลองมีความผันแปรสูง โดยครั้งที่ 2 ให้ค่าสูงกว่ามาตรฐานมาก ในขณะที่ครั้งที่ 1 และ 3 ให้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานอย่างเห็นได้ชัด การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความร้อนพบว่า ปริมาณเถ้า (Ash Content) และค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Δt) มีความสัมพันธ์แบบผกผันอย่างชัดเจน ในครั้งที่ 2 ที่มีปริมาณเถ้าต่ำสุดเพียง 4% ให้ค่า Δt สูงถึง 3.72°C ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าความร้อนสูงสุด ขณะที่ครั้งที่ 1 ที่มีปริมาณเถ้าสูงถึง 15% ให้ค่า Δt เพียง 1.1°C และครั้งที่ 3 ที่มีเถ้า 11% ให้ค่า Δt ที่ 1.0°C ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้น (M) ที่คำนวณได้ พบร่วมกับครั้งที่ 2 ให้ค่าสูงถึง 2,400 ซึ่งสูงกว่าครั้งที่ 1 (566.66) และครั้งที่ 3 (809.09) อย่างมาก แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างการลดปริมาณความชื้นในตัวอย่าง กับการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการเผาไหม้ ทั้งนี้ ความชื้นในเชื้อเพลิงจะดูดซับพลังงานความร้อนจำนวนมากไปใช้

ในกระบวนการระเหย (Latent Heat of Vaporization) ซึ่งมีค่าประมาณ 2,260 kJ/kg ส่งผลให้พลังงานที่วัดได้จากการเผาไหม้ลดลง

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงคงที่ที่ 0.15 g/cm^3 ในทุกครั้งการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างมีโครงสร้างทางกายภาพที่สม่ำเสมอ แต่คุณสมบัติทางเคมี โดยเฉพาะปริมาณเหล้าและความชื้น มีความแปรปรวนสูง ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของชีมวลที่ได้จากแหล่งธรรมชาติ

ความยาวของพิวร์ที่ถูกเผาไหม้แตกต่างกันในแต่ละครั้ง ($6.5, 5.7$ และ 5.0 cm) และมีผลต่อค่าพลังงานที่ต้องหักออก ($e_3 = 14.95, 13.11$ และ 11.5 cal/gram) แต่เมื่อพิจารณาจากค่า Δt ที่แตกต่างกันมาก ปัจจัยนี้มีผลรองต่อคุณภาพของเชื้อเพลิง

อภิปราย

ความแตกต่างของค่าความร้อนในแต่ละครั้งสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของคุณภาพเชื้อเพลิง โดยเฉพาะปริมาณความชื้นและเหล้า เปลือกข้าวที่มีความชื้นและเหล้าสูงจะให้ค่าความร้อนต่ำกว่า เนื่องจากพลังงานส่วนหนึ่งถูกใช้ไปในการระเหยน้ำ และเหล้าไม่สามารถเผาไหม้ได้ ผลการทดลองครั้งที่ 2 ที่ให้ค่าความร้อนสูงผิดปกติ ($9,011.61 \text{ Btu/lb}$) อาจเกิดจากหลายสาเหตุ ได้แก่

- (1) การเตรียมตัวอย่างที่มีคุณภาพดีกว่า โดยเฉพาะการลดปริมาณเหล้าและความชื้น
- (2) การควบคุมสภาพการทดลองที่แม่นยำกว่า เห็นได้จากค่า $r_1 = 0$ และ $r_2 = 0.02$ ที่แสดงถึงความเสถียรของระบบ

(3) ความแปรปรวนตามธรรมชาติของวัตถุดิบ เนื่องจากเปลือกข้าวแต่ละแบบอาจมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันตามสายพันธุ์ข้าว สภาพการเก็บเกี่ยว และวิธีการแปรรูป

เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีมวลชนิดอื่น เช่น แกลบข้าว (Rice Straw: $\sim 14-15 \text{ MJ/kg}$) จี๊เลือยไม้ (Wood Sawdust: $\sim 18-19 \text{ MJ/kg}$) หรือเปลือกถั่ว (Peanut Shell: $\sim 17-18 \text{ MJ/kg}$) พบว่าเปลือกข้าวมีค่าความร้อนอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงความพร้อมใช้ (Availability) ของเปลือกข้าวในประเทศไทยซึ่งเป็นผู้ผลิตข้าวยรายใหญ่ของโลก การใช้เปลือกข้าวเป็นเชื้อเพลิงยังคงเป็นทางเลือกที่มีความเป็นไปได้สูงทางเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

ข้อจำกัดของการทดลองนี้คือ จำนวนครั้งที่ยังน้อย ($n=3$) ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Deviation) และค่าความเชื่อมั่น (Confidence Interval) อาจไม่สะท้อนความแปรปรวนที่แท้จริงของเปลือกข้าว การศึกษาในอนาคตควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างและควบคุมตัวแปรกรุนให้เข้มงวดขึ้น นอกจากนี้ ควรศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่อาจส่งผล เช่น ระยะเวลาการเก็บรักษา สภาพการอบแห้ง และขนาดของอนุภาคเชื้อเพลิง

สรุปการทดลอง

การทดลองวัดค่าความร้อนของเปลือกข้าวด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter พบว่าค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4,692.76 Btu/lb หรือประมาณ 10,914 kJ/kg ซึ่งแปรปรวนตามบริมาณถ้าและความชื้น โดยบริมาณถ้าที่ต่ำ (4%) ให้ค่าความร้อนสูงสุดถึง 9,011.61 Btu/lb ในขณะที่บริมาณถ้าสูง (15%) ให้ค่าเพียง 2,652.16 Btu/lb แสดงให้เห็นว่าการควบคุมคุณภาพเชือเพลิงเป็นปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ เชือเพลิงมีศักยภาพเป็นเชือเพลิงชีวมวลทางเลือกที่ยั่งยืนสำหรับประเทศไทย

ข้อเสนอแนะในการทดลองครั้งต่อไป

- เพิ่มจำนวนการทดลองน้ำคราวทำการทดลองอย่างน้อย 5 ครั้งและใช้การวิเคราะห์ทางสำนักสถิติเพื่อคัดค่าผิดปกติ (outliers) ออก
- ปรับปรุงวิธีการวัดความชื้นใช้เตาอบที่ควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำ ($105\pm2^{\circ}\text{C}$) อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และซึ่งน้ำหนักซ้ำๆ ได้น้ำหนักคงที่
- ใช้พิวส์ความยาวเท่ากัน เพื่อลดตัวแปรที่ไม่จำเป็นและทำให้สามารถเปรียบเทียบผลได้ง่ายขึ้น
- สอบเทียบอุปกรณ์ตรวจสอบค่าคงที่ของแคลอริมิเตอร์ (W) โดยใช้สารมาตรฐานเช่น benzoic acid ก่อนทำการทดลองจริง
 - ควบคุมสภาพแวดล้อมทำการทดลองในห้องที่มีอุณหภูมิก�ที่และหลีกเลี่ยงการเปิดหน้าต่างหรือใช้เครื่องปรับอากาศในระหว่างทดลอง
 - บันทึกข้อมูลอย่างละเอียดบันทึกน้ำหนักตัวอย่างทั้งก่อนและหลังการทดลอง, สภาพอากาศ, ความชื้น, สัมพทธ์, และข้อสังเกตอื่นๆ ที่อาจมีผลต่อผลการทดลอง