บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ทดลอง

เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนที่ใช้ในการทดลองจะเป็นเตาแก๊สแบบ Vertical port ที่ผ่านตามแบบมาตรฐาน มอก. 2312-2549 [7] และได้รับฉลากเบอร์ 5 ของกระทรวงพลังงาน [1] โดยใช้เตาแก๊สยี่ห้อ UD รุ่น UD-725 ดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 เตาแก๊ส UD รุ่น UD-725 (รุ่นประหยัดพลังงานประสิทธิภาพสูง)

3.1.2 ระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส

ระบบป้อนเชื้อเพลิงแก๊สจะใช้แก๊สบรรจุถังขนาด 36.3 kg ซึ่งจะใช้ Pressure regulator เป็นตัวควบคุมปริมาณการไหลของแก๊ส การเชื่อมต่อระหว่างจุดต่างๆ ของระบบจะใช้สายยางที่ใช้กับแก๊สและข้อต่อทองเหลืองเป็นตัวเชื่อมต่อรวมทั้งใช้เข็มขัดรัดสายยางบริเวณข้อต่อทุกจุด ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 ถังแก๊ส หัวปรับความดัน (Pressure regulator) พร้อมสายแก๊ส

3.1.3 ภาชนะทดสอบ

หม้ออะลูมิเนียมแบบหม้อแขก ขนาดหม้ออะลูมิเนียมเบอร์ 18 cm เบอร์ 20 cm เบอร์ 22 cm เบอร์ 26 cm เบอร์ 32 cm กระทะขนาด 33 cm และกระทะขนาด 35 cm พร้อมฝาหม้อเจาะรูใส่เทอร์โมมิเตอร์มีช่วงการวัดอุณหภูมิตั้งแต่ 0 ถึง 100 $^{\circ}$C และอ่านค่าได้ละเอียดสูงสุด 0.1 $^{\circ}$C ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 หม้ออะลูมิเนียมเบอร์ 18 cm เบอร์ 20 cm เบอร์ 22 cm เบอร์ 26 cm เบอร์ 32 cm กระทะขนาด 33 cm และกระทะขนาด 35 cm พร้อมฝาหม้อเจาะรูใส่เทอร์โมมิเตอร์

3.1.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก

แบบสเกลสามารถอ่านค่าความละเอียดได้ 0.1 g อ่านค่าได้สูงสุด 10 kg ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

3.1.5 นาฬิกาจับเวลา

นาฬิกาจับเวลาหน้าปัทเป็นแบบดิจิตอล สามารถจับเวลาได้ละเอียดถึง 0.01 วินาที ดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 นาฬิกาจับเวลา

3.1.6 เครื่องวัดอัตราการไหลโดยปริมาตรของแก๊ส (Gas flow meter)

ใช้ยี่ห้อ NITTO รุ่น DK800S-6 (propane gas) เป็นเครื่องวัดแบบลูกลอย วัดอัตราการไหลของแก๊สได้ในช่วง 100-1000 LPH (0.5-5 LPM) ดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 เครื่องวัดอัตราการไหลของแก๊ส (Gas flow meter)

3.1.7 Thermometer แบบ sheiled

ใช้วัดอุณหภูมิของน้ำที่ต้มช่วงของการวัดอยู่ที่ 0-100 $^{\circ}$C ดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 Thermometer

3.1.8 อุปกรณ์ดักก๊าซไอเสีย

อุปกรณ์ดักก๊าซสำหรับเตาก๊าซประเภทหัวเดียวทำด้วยโลหะ เช่น อะลูมิเนียม เหล็ก มีลักษณะและขนาดตามแบบมาตรฐาน มอก. 2312-2549 [3] และสามารถวางครอบลงบนหม้ออะลูมิเนียมตามกำหนดตารางที่ 3.1 ได้พอดี ดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ดักก๊าซไอเสียสำหรับเตาก๊าซประเภทหัวเดียว

3.1.9 เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Exhaust analyzer)

เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย (Exhaust analyzer) ใช้ในการวิเคราะห์แก๊สไอเสียที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ ยี่ห้อ Testo 350 ในการวัดค่า CO, O_2, NO_x ในลักษณะไอเสียแห้ง โดยจะวัดที่ทางออกของไอเสีย ดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 วิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Exhaust analyzer)

3.1.10 U-tube manometer

เครื่องวัดความดันของแก๊ส (U-tube manometer) ใช้หลักการของ มานอมิเตอร์ ภายในใส่น้ำเป็นของเหลวเพื่อแสดงระดับความดันของแก๊สแอลพีจี สามารถวัดความดันอ่านค่าความละเอียดได้ 1 mmH_2O อ่านได้สูงสุด 100 mmH_2O ดังรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 หลอดวัดความดันรูปตัวยู (U-tube manometer)

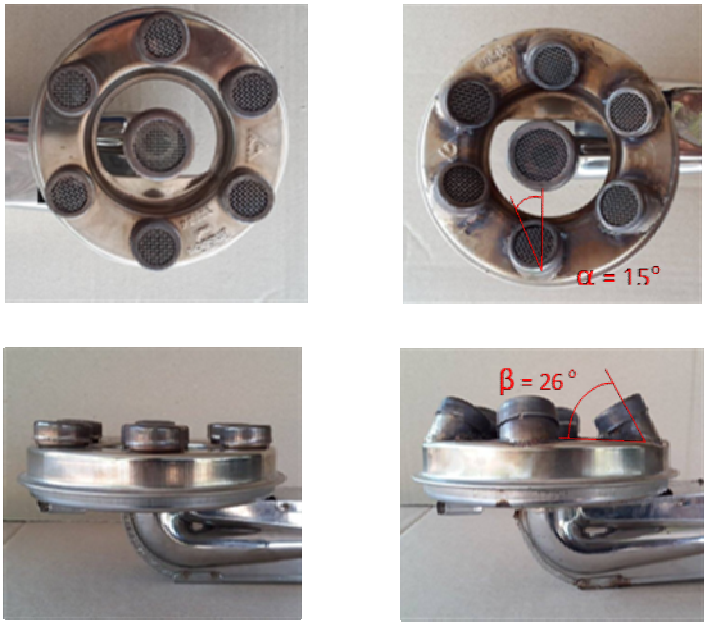
3.1.9 ลวดตาข่ายสแตนเลส (Wire mesh)

ลวดตาข่ายสแตนเลส (Wire mesh) ลักษณะลวดตาข่ายสแตนเลสที่ใช้ในการทดสอบโดยมีขนาด (Mesh size) คือ 14, 16, และ 18 mpi (mesh/inch) ดังรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 ลักษณะลวดตาข่ายสแตนเลส (Wire mesh)

3.1.12 หัวเตาแก๊สแบบ Vertical port

ในการศึกษานี้ได้ทำการปรับปรุงหัวเตาจากหัวเตา Vertical Ports แบบมาตรฐาน (Conventional burner, CB) มีลักษณะของลวดตาข่ายสแตนเลสทั้งหมด 7 port ของหัวเตาดังแสดงในรูปที่ 3.12a มาเป็นหัวเตาแบบหมุนวน (Swirl burner, SB) ที่ทำมุมเงย (β) เท่ากับ 26 องศา มุมเอียง (α) เท่ากับ 15 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.12b และมีการเปลี่ยนขนาดของลวดตาข่ายสแตนเลสทั้ง 7 port อีกด้วย



(a) (b)

รูปที่ 3.12 (a) หัวเตาแบบ Vertical Ports (Conventional Burner, CB) (b) หัวเตาแบบ (Swirl Burner, SB)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ภาวะทดสอบ

1. เริ่มต้นก่อนการทดสอบเตาแก๊สจะต้องปรับแต่งตามสภาวะที่ได้ออกแบบไว้ และตลอดการทดสอบต้องไม่เปลี่ยนแปลงสภาวะที่ได้ปรับตั้งไว้ ก่อนการทดสอบต้องจุดเตาแก๊สโดยเปิดลิ้นควบคุมแก๊สที่ตำแหน่งเปลวไฟสูงสุดเป็นเวลา 15 นาที เพื่อขจัดสิ่งที่เคลือบหรือตกแต่งไว้เป็นการชั่วคราว ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อการทดสอบ จากนั้นตั้งไว้ให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วจึงนำไปทดสอบ

2. ห้องทดสอบต้องมีอากาศถ่ายเทพอสมควรโดยไม่มีลมโกรกมีอุณหภูมิระหว่าง 23 $^{\circ}$C - 27 $^{\circ}$C

3. แก๊สที่ใช้ทดสอบมีส่วนผสมของโพรเพนร้อยละ 50 โดยมวล และบิวเทนร้อยละ 50 โดยมวล การส่งแก๊สเข้าเตาแก๊สต้องผ่านอุปกรณ์ควบคุมความดันและมีมาตรความดัน แล้วปรับความดันที่ทางเข้าเตาเป็น 2.47 ± 0.01 kPa ซึ่งจะให้ปริมาณความร้อน 49,573 kJ/kg กรณีที่มีส่วนผสมต่างจากนี้ ให้ปรับสภาวะด้วยวิธีคำนวณโดยใช้ตัวเลขที่กำหนดในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของแก๊สที่ใช้ทดสอบ [8]

แก๊ส	ค่าความร้อน (kJ/kg)	ความหนาแน่น (Kg/m^3)	หมายเหตุ
โพรเพน	50002	1.984	วัดที่ความดัน 101.3 kPa อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$C
บิวเทน	49144	2.606	

ตารางที่ 3.2 ขนาดหม้ออะลูมิเนียมและมวลน้ำ [8]

ขนาดระบุของเตาแก๊ส (kg/hr)	ขนาดภายในของหม้อ (mm.)	มวลของน้ำ (kg)
ไม่เกิน 0.090	140	0.65
มากกว่า 0.090-0.115	160	1.00
มากกว่า 0.115-0.145	180	1.40
มากกว่า 0.145-0.175	200	2.00
มากกว่า 0.175-0.210	220	2.70
มากกว่า 0.210-0.250	240	3.50
มากกว่า 0.250-0.300	260	4.40
มากกว่า 0.300-0.375	280	5.60
มากกว่า 0.375	300	6.90

3.2.2 วิธีการทดสอบ

การวัดค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน ในที่นี้อ้างอิงตามมาตรฐาน มอก. 2312-2549 [8] ซึ่งใช้หลักการ Boiling test ประสิทธิภาพเชิงความร้อนหาได้จาก ค่าความร้อนสัมผัสที่น้ำได้รับ โดยวิธีการต้มน้ำจากอุณหภูมิห้องจนใกล้จุดเดือดของน้ำ (ประมาณ 90°C) แล้ววัดค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งหาได้จากเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำและอัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง วิธีการนี้จะได้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงของหัวเตาหุงต้มจริง เนื่องจากวิธีนี้จะมีการอุ่นเตาให้ร้อนก่อนการทดสอบ ซึ่งสามารถลดความร้อนที่สูญเสียให้กับอุปกรณ์ประกอบเตา เช่น ท่อผสม ฐานตั้งภาชนะ ให้น้อยลง

1. นำเตา UD รุ่น 725 (รุ่นประหยัดพลังงานประสิทธิภาพสูง) ที่ใช้ทดลองติดตั้งอุปกรณ์การทดลองทั้งหมดให้เรียบร้อย

2. ทำการอุ่นหัวเตาแก๊สด้วยการเผาเชื้อเพลิงโดยที่ไม่มีภาระทางความร้อน ใช้เวลาประมาณ 15นาที

3. ชั่งน้ำหนักของน้ำเพื่อใช้ในการทดลองให้มีน้ำหนักตามขนาดของภาชนะ (ตาราง 3.2) พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิของน้ำก่อนน้ำไปต้ม

4. ปรับอัตราการไหลของแก๊สให้ได้ตามที่ต้องการ แล้วบันทึกค่าไว้

5. นำหม้อที่ใส่น้ำแล้วตั้งบนเตา พร้อมทั้งเริ่มจับเวลาและเริ่มวัดอุณหภูมิของน้ำด้วย

6. ต้มน้ำจนกระทั่งน้ำมีอุณหภูมิสูงประมาณ 90 องศาเซลเซียส บันทึกเวลาที่ใช้ในการทดสอบ

7. นำอุปกรณ์ดักก๊าซไอเสียครอบหัวเตา แล้วนำเครื่องวิเคราะห์ไอเสีย (Exhaust analyzer) วิเคราะห์แก๊สไอเสียที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ บันทึกค่าที่ได้ในการทดสอบ

8. ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อแรกโดยเปลี่ยนอัตราการไหล

3.2.3 การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th})

การหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2312-2549 [8] ซึ่งใช้หลักการ Boiling test มีรายละเอียดการทดสอบ คือ ก่อนการทดสอบต้องต่อเตาแก๊สเข้ากับมาตรปริมาณแก๊ส มาตรความดันแก๊ส อุปกรณ์ควบคุมความดันแก๊ส มาตรวัดอุณหภูมิแก๊สและแหล่งจ่ายแก๊สให้เรียบร้อยดังรูปที่ 2.8 วางหม้ออะลูมิเนียมซึ่งใส่น้ำขนาดตามที่กำหนดในตารางที่ 2 บนเตาแก๊สแล้วติดเตา โดยเปิดแก๊สในอัตราการใช้แก๊สสูงสุดเป็นเวลา 15 นาที จึงปิดเตาแล้วเปลี่ยนหม้อทดสอบพร้อมฝาเทอร์โมมิเตอร์และก้านกวนให้เสร็จภายใน 3 นาที เปิดเตาในอัตราการใช้แก๊สตามสภาวะการออกแบบการทดลอง โดยต้มจนน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากเริ่มต้น 45 °C เริ่มกวนน้ำด้วยก้านกวนจนอุณหภูมิสูงขึ้นจากเริ่มต้น เป็น 90 °C ให้ปิดแก๊สและทำการกวนต่อไปจนได้อุณหภูมิสูงสุด วัดค่าการใช้แก๊สระหว่างการทดสอบและค่าต่างๆ และบันทึกผล นำค่าที่ได้จากการทดสอบ แทนลงในสูตรการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนดังสมการที่ 3.1

$$\eta_{th} = \left\{ \frac{m \times C \times (t_2 - t_1)}{V \times Q} \times \frac{273 + t_g}{298} \times \frac{101.3}{B + P_m - S} \right\} \times 100 \qquad (3.1)$$

เมื่อ

m คือ มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ (kg)

C คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำที่ใช้ทดสอบ ซึ่งเท่ากับ 4.186×10^{-3} MJ/kg·K

t_1 คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (^{o}C)

t_2 คือ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ (^{o}C)

V คือ ปริมาณของแก๊สที่ใช้ทดสอบ (m^3)

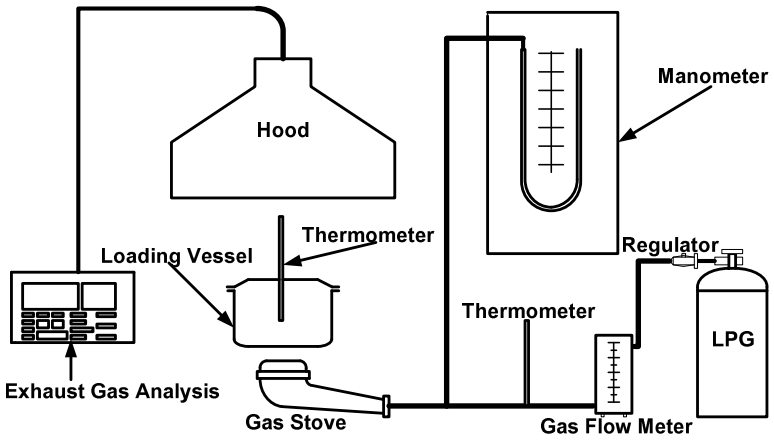
Q คือ ค่าความร้อนทางต่ำของแก๊สทดสอบที่ใช้ (MJ/m^3) ที่ความดัน 101.3 kPa และอุณหภูมิ 25 ^{o}C

t_g คือ อุณหภูมิของแก๊สทดสอบในมาตรวัดปริมาณแก๊สในระหว่างทดสอบ (^{o}C)

B คือ ความดันบรรยากาศในขณะทดสอบ (kPa)

P_m คือ ความดันของแก๊สทดสอบในมาตรวัดปริมาณแก๊สในระหว่างทดสอบ (kPa)

S คือ ความดันของไอน้ำอิ่มตัวที่ t_g ^{o}C (kPa)



รูปที่ 3.13 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

3.2.4 การประหยัดพลังงาน (% Energy saving)

การประหยัดพลังงานของเตาแก๊สหุงต้มสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.2 คือ

$$\%\,\text{Energy saving} = \frac{\eta_{th,2} - \eta_{th,1}}{\eta_{th,2}}\,\% \qquad (3.2)$$

เมื่อ

$\eta_{th,1}$ คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาตัวที่ 1, %

$\eta_{th,2}$ คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาตัวที่ 2, %

ตารางที่ 3.3 ค่าความดันของไอน้ำอิ่มตัวที่ t_g °C (kPa)

อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (kPa)	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (kPa)
0.15	0.661	52	13.51
2	0.697	57	17.19
7	0.990	62	21.67
12	1.387	67	27.13
17	1.917	72	33.13
22	2.617	77	41.63
27	3.531	82	51.00
32	4.712	87	62.09
37	6.221	92	75.14
42	8.132	97	90.40
47	10.530	100.15	101.33