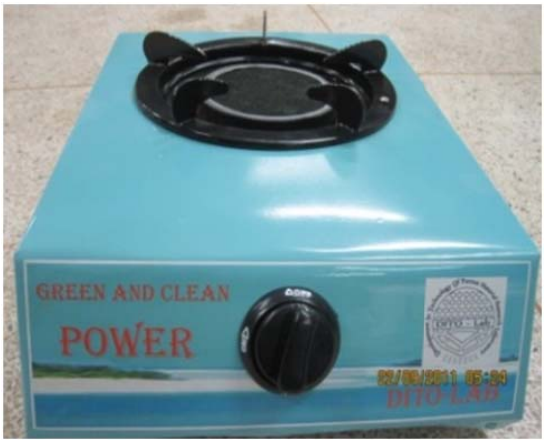
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ภาพถ่ายอุปกรณ์การทดลอง

(ก) เตาแก๊สแบบวัสดุพรุนแบบรังผึ้ง

(ข) เตาแก๊สแบบหัวฟู่



(ค) เตาแก๊สแบบวัสดุพรุนชนิดดลหะเซลลูลาร์เปิด

ภาพที่ ก.1 เตาแก๊สที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ ก.2 ถังแก๊สและหัวปรับความดัน (pressure regulator)

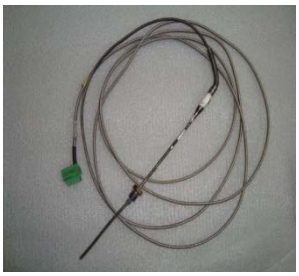
ภาพที่ ก.3 หม้อหุงต้มขนาดเบอร์ 22 cm

ภาพที่ ก.4 นาฬิกาจับเวลา

ภาพที่ ก.5 เครื่องวัดความดันแก๊สแบบดิจิตอล

ภาพที่ ก.6 เครื่องวัดอัตราการไหลของแก๊ส (gas flow meter)

ภาพที่ ก.7 เครื่องเก็บข้อมูล (data logger)



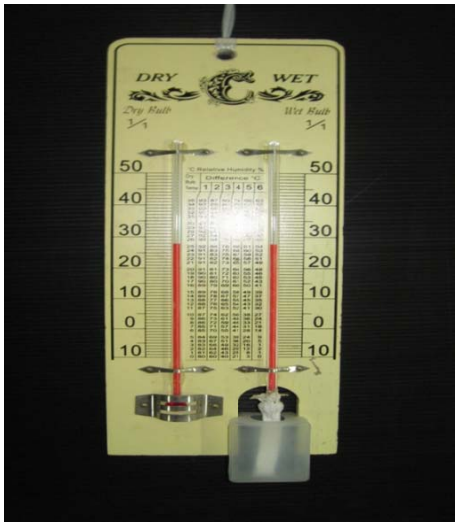
ภาพที่ ก.8 หัววัดอุณหภูมิหรือเทอร์โมคัปเปิล (thermocouples)

ภาพที่ ก.9 เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (exhaust analyzer)

ภาพที่ ก.10 น้ำกลั่น

ภาพที่ ก.11 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

ภาพที่ ก.12 เครื่องวัดความเร็วลม



ภาพที่ ก.13 อุปกรณ์วัดความชื้น

ภาพที่ ก.14 อุปกรณ์ช่วยจุดไฟ

ภาพที่ ก.15 ภาพถ่ายการทดสอบการต้มน้ำของเตาแก๊ส

ภาพที่ ก.16 ภาพถ่ายการทดสอบการวัดปริมาณแก๊สไอเสีย

ภาคผนวก ข
ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 การทดลองกรณีเตาแก๊ส MOB#1 (ปลายคอคอดเท่ากับ 2.7 cm) ที่น้ำ 2.7 ลิตร

	ก่อนเข้าคอคอด	ก่อนเผาไหม้	บนแผ่นวัสดุ			ก้นหม้อ				ต้มเดือด
เวลา (S)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	T8 (°C)	T9 (°C)	T10 (°C)
0	30.1	30.5	41.6	43.5	39.8	28.3	28.3	28.1	28.3	30.3
30	30.1	32.0	639.7	641.7	660.7	46.1	46.8	47.1	40.1	32.9
60	30.0	35.6	798.8	826.5	819.8	269.8	256.1	222.9	138.9	34.8
90	30.1	38.5	820.4	852.1	843.1	422.2	398.4	303.0	189.8	37.0
120	29.8	40.6	821.4	852.8	843.5	484.1	461.0	333.9	199.4	39.8
150	29.8	42.3	820.5	852.7	844.0	503.2	481.9	355.7	212.4	42.1
180	30.1	43.8	821.9	854.0	845.5	509.7	489.2	364.9	220.3	44.2
210	29.8	45.4	822.2	853.9	844.4	512.1	492.0	368.7	225.0	47.0
240	29.8	46.7	820.9	852.7	843.1	513.4	493.1	374.8	232.8	48.8
270	29.6	47.5	817.4	849.1	839.4	513.1	494.1	382.0	253.3	50.7
300	30.0	48.6	820.4	852.2	842.7	515.1	495.5	384.6	262.7	52.8
330	30.4	49.7	822.7	854.5	844.8	515.7	495.9	382.8	263.3	55.3
360	30.1	50.4	819.8	851.7	841.4	515.8	496.3	383.2	262.6	57.8
390	30.1	51.3	819.0	851.0	841.1	516.0	496.4	386.1	263.7	60.2
420	30.3	51.2	821.3	853.2	843.1	516.2	496.4	391.1	264.2	62.4
450	30.3	52.0	821.4	853.4	843.6	517.8	497.2	386.5	270.0	64.9
480	30.2	52.2	818.6	850.1	839.9	518.0	498.0	390.2	270.5	67.2
510	30.5	53.1	817.1	849.1	839.2	519.5	499.7	388.5	270.9	69.7
540	30.0	52.8	818.2	850.1	839.6	520.4	500.2	387.6	272.8	72.1
570	30.1	52.9	818.6	850.3	840.1	520.8	500.6	386.9	275.8	74.1
600	30.1	53.5	819.9	851.5	841.1	521.3	501.3	390.3	275.8	76.5
630	30.4	53.6	818.7	850.3	839.9	521.1	501.3	391.1	279.0	78.7
660	30.4	53.4	821.1	852.8	843.1	521.8	502.1	390.3	277.3	81.0
690	30.0	53.8	820.0	851.9	841.4	522.5	502.6	393.2	278.4	83.4
720	30.1	54.0	819.4	851.4	840.9	522.9	502.9	391.5	281.5	85.5
750	29.9	53.9	819.0	850.6	840.0	523.1	503.5	392.6	282.8	88.0
780	30.4	54.2	818.3	850.3	840.5	523.5	503.9	392.6	282.9	90.0
810	30.6	54.4	818.9	850.6	840.5	524.8	505.4	395.4	284.5	92.7
840	30.4	54.4	819.8	851.5	841.3	524.8	505.7	393.4	286.5	95.2
870	31.0	54.8	820.8	852.3	842.5	526.5	507.1	395.4	284.4	97.5
900	30.8	54.9	819.6	851.0	841.0	525.0	506.0	399.0	286.7	99.1

ปริมาณแก๊สไอเสีย

O_2 (%)	CO (ppm)	CO_2 (%)	NO (ppm)	NO_2(ppm)	NO_x(ppm)	SO_2(ppm)
19.57	6	1.05	1	0	0	0

หมายเหตุ: Q = 82 L/hr $m_{น้ำ}$ = 2.7 kg P_1 = 0.043 bar P_2 = 0.013 bar
T_g = 31.0°C $T_{ห้อง}$ = 30.0 °C v = 0.010 m^3

ตารางที่ ข.2 การทดลองกรณีเตาแก๊ส MOB#2 (ปลายคอคอดเท่ากับ 3.5 cm) ที่น้ำ 2.7 ลิตร

เวลา (S)	ก่อนเข้าคอคอด T1 (°C)	ก่อนเผาไหม้ T2 (°C)	บนแผ่นวัสดุ T3 (°C)	บนแผ่นวัสดุ T4 (°C)	บนแผ่นวัสดุ T5 (°C)	ก้นหม้อ T6 (°C)	ก้นหม้อ T7 (°C)	ก้นหม้อ T8 (°C)	ก้นหม้อ T9 (°C)	ต้มเดือด T10 (°C)
0	33.3	33.1	87.6	89.8	97.4	28.7	28.3	28.4	28.4	28.4
30	33.2	33.9	628.6	630.7	681.3	46.2	46.9	47.5	44.3	46.2
60	33.0	36.0	781.5	811.3	819.7	232.0	226.2	191.5	147.3	188.4
90	33.0	38.0	813.6	848.4	845.0	392.9	377.2	252.7	192.0	273.9
120	33.0	39.5	822.6	856.7	851.4	470.0	455.0	277.7	209.1	313.9
150	33.6	41.5	826.4	860.4	854.7	494.0	482.0	291.7	218.1	330.6
180	33.7	43.0	825.2	860.0	854.0	501.7	490.3	300.5	223.9	338.3
210	33.0	43.9	830.6	865.6	858.4	503.7	492.9	306.6	223.9	341.1
240	32.8	45.0	832.6	867.3	859.8	506.2	495.2	310.7	234.2	346.7
270	33.2	45.8	832.8	866.8	859.8	506.4	496.6	313.8	238.3	349.6
300	33.4	47.0	833.2	867.6	860.3	508.1	497.7	314.6	238.8	350.4
330	33.2	48.1	834.9	870.4	862.3	506.7	497.5	313.4	236.3	349.1
360	33.2	48.7	836.1	870.7	862.8	508.2	499.0	315.9	240.9	351.9
390	33.1	49.1	835.9	870.4	862.5	510.3	500.5	317.3	241.6	353.1
420	33.4	49.8	836.1	870.5	862.5	511.7	501.1	316.8	242.4	353.4
450	33.6	50.3	836.2	870.3	862.2	511.7	500.9	318.9	244.6	354.8
480	34.1	50.8	836.3	870.4	862.1	511.7	501.4	318.6	248.1	356.0
510	34.7	51.5	837.3	871.8	862.0	513.2	502.9	318.5	247.8	356.4
540	33.7	51.3	836.5	870.7	862.0	515.0	503.6	317.6	248.8	356.6
570	33.4	51.4	836.2	870.5	862.3	515.0	504.1	319.2	249.9	357.7
600	33.1	51.4	836.7	870.9	862.4	515.1	503.8	319.3	254.3	359.1
630	34.9	53.2	837.2	871.8	862.5	515.8	505.2	321.7	257.8	361.6
660	35.4	53.7	836.9	872.3	862.6	516.0	505.7	322.2	259.1	362.3
690	34.4	53.4	837.3	871.6	862.8	516.3	506.5	323.3	258.9	362.9
720	34.5	52.9	837.4	871.7	862.3	515.8	506.5	323.0	259.2	362.9
750	34.7	53.2	837.1	871.7	861.7	516.4	507.3	323.5	259.7	363.5
780	34.6	53.6	836.7	871.2	862.2	517.5	507.9	324.4	262.2	364.8
810	34.9	53.9	836.8	871.9	862.5	519.4	508.9	325.1	262.5	365.5
840	34.9	54.0	836.5	871.2	861.4	519.4	509.5	326.0	265.6	367.0
870	33.9	53.4	835.9	870.4	861.6	520.8	510.9	330.0	265.9	368.9
900	33.4	53.0	835.3	869.9	861.0	520.4	510.7	332.3	267.9	370.3

ปริมาณแก๊สไอเสีย

O_2 (%)	CO (ppm)	CO_2 (%)	NO (ppm)	NO_2(ppm)	NO_x(ppm)	SO_2 (ppm)
19.34	7	1.22	0	0.0	0	0

หมายเหตุ: Q = 82 L/hr $m_{น้ำ}$ = 2.7 kg P_1 = 0.043 bar P_2 = 0.01 bar

T_g = 31.6°C $T_{ห้อง}$ = 30.6 °C v = 0.010 m^3

ตารางที่ ข.3 การทดลองกรณีเตาแก๊ส MOB#3 (ปลายคอคอดเท่ากับ 4.3 cm) ที่น้ำ 2.7 ลิตร

	ก่อนเข้าคอคอด	ก่อนเผาไหม้	บนแผ่นวัสดุ			ก้นหม้อ				ต้มเดือด
เวลา	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
(S)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
0	28.0	28.1	39.8	42.8	40.2	27.7	27.7	27.6	27.8	28.2
30	27.6	29.9	636.2	622.9	667.9	52.5	54.1	51.5	42.7	30.6
60	27.9	33.7	764.5	779.9	794.3	309.0	279.3	252.7	150.7	34.4
90	27.8	38.3	778.6	801.4	809.5	447.3	395.2	340.4	209.3	36.8
120	27.8	40.8	782.4	806.3	814.5	489.2	437.7	387.6	243.5	38.4
150	28.1	44.4	780.6	803.6	812.1	507.9	454.4	402.6	252.4	41.7
180	27.6	45.9	775.8	798.4	807.8	514.2	461.7	405.0	263.9	43.4
210	27.8	50.0	772.8	795.3	805.2	514.0	463.5	410.0	271.4	46.3
240	27.9	50.8	774.0	796.9	806.6	510.2	462.9	413.1	283.9	48.9
270	28.2	52.6	778.0	801.6	810.5	513.2	466.4	423.6	289.3	51.4
300	27.8	54.0	778.0	801.7	810.5	511.9	465.5	426.5	299.2	54.8
330	28.4	55.3	778.3	801.6	810.7	513.4	467.2	429.6	299.9	56.9
360	28.7	56.3	779.6	803.3	812.0	514.2	468.4	430.7	302.4	59.3
390	29.3	56.2	781.3	805.4	813.7	513.6	469.2	433.2	308.5	62.3
420	28.9	57.3	784.7	809.0	816.4	511.9	468.6	433.5	310.3	64.8
450	28.8	58.2	784.2	808.3	815.5	512.1	469.1	433.8	311.0	67.2
480	28.3	59.0	784.5	808.1	815.5	510.8	469.4	435.2	315.6	70.2
510	28.7	62.2	779.1	802.4	810.0	515.7	472.8	434.4	309.8	73.1
540	28.2	62.1	778.2	801.5	809.7	514.4	472.2	435.4	314.2	75.5
570	28.1	63.4	775.9	798.9	807.6	512.2	471.0	437.8	317.9	77.7
600	28.0	62.2	774.0	796.6	806.5	512.0	471.3	439.3	318.0	80.5
630	28.1	62.6	775.4	798.1	807.2	512.0	471.4	441.0	322.0	82.7
660	28.0	62.2	775.1	797.7	806.6	512.2	472.1	441.1	322.8	85.4
690	28.1	61.3	777.0	800.1	809.1	514.5	473.7	440.2	318.9	87.8
720	28.4	61.3	774.9	798.2	807.5	515.0	474.4	440.6	321.6	90.0
750	28.2	60.9	775.8	799.2	807.8	515.2	475.0	442.9	325.0	92.6
780	29.5	63.9	773.0	795.9	805.0	517.0	476.4	443.7	323.2	94.8
810	29.2	62.9	777.9	801.2	809.4	518.8	477.5	442.8	323.2	97.6
840	28.7	64.6	775.6	798.8	807.8	518.6	478.1	442.1	323.0	99.7
870	28.7	63.7	773.6	796.7	806.1	517.1	478.1	442.7	324.2	99.8
900	28.6	63.6	772.3	795.2	804.3	517.5	478.0	441.5	323.7	100.2

ปริมาณแก๊สไอเสีย

O_2 (%)	CO (ppm)	CO_2 (%)	NO (ppm)	NO_2(ppm)	NO_x(ppm)	SO_2 (ppm)
19.58	8	1.04	0	0.0	0	0

หมายเหตุ: Q = 82 L/hr $m_{น้ำ}$ = 2.7 kg P_1 = 0.032 bar P_2 = 0.01 bar

T_g = 29.5°C $T_{ห้อง}$ = 29.0 °C v = 0.010 m^3

ตารางที่ ข.4 การทดลองกรณีเตาแก๊สชนิดเซรามิกส์ (PB) ที่น้ำ 2.7 ลิตร

เวลา (S)	ก่อนเข้าคอคอด T1 (°C)	ก่อนเผาไหม้ T2 (°C)	บนแผ่นวัสดุ T3 (°C)	บนแผ่นวัสดุ T4 (°C)	บนแผ่นวัสดุ T5 (°C)	ก้นหม้อ T6 (°C)	ก้นหม้อ T7 (°C)	ก้นหม้อ T8 (°C)	ก้นหม้อ T9 (°C)	ต้มเดือด T10 (°C)
0	28.0	28.1	39.8	42.8	40.2	29.7	29.7	29.8	29.9	26.5
30	27.6	29.9	636.2	622.9	667.9	40.6	46.8	47.8	36.8	28.9
60	27.9	33.7	764.5	779.9	794.3	240.5	254.3	301.1	121.2	31.3
90	27.8	38.3	764.5	779.9	794.3	347.4	363.4	417.5	165.9	33.9
120	27.8	40.8	764.5	779.9	794.3	402.1	414.6	464.5	209.5	36.4
150	28.1	44.4	764.5	779.9	794.3	435.8	442.9	493.7	235.5	39.2
180	27.6	45.9	764.5	779.9	794.3	451.7	454.3	513.3	243.0	41.7
210	27.8	50.0	764.5	779.9	794.3	457.7	459.3	515.4	251.8	44.5
240	27.9	50.8	764.5	779.9	794.3	463.4	463.8	513.2	269.6	47.2
270	28.2	52.6	764.5	779.9	794.3	465.0	464.3	517.1	271.1	50.0
300	27.8	54.0	764.5	779.9	794.3	469.0	468.2	510.8	285.2	52.6
330	28.4	55.3	764.5	779.9	794.3	471.1	468.4	522.4	288.3	55.7
360	28.7	56.3	764.5	779.9	794.3	470.9	471.5	514.3	296.3	58.0
390	29.3	56.2	764.5	779.9	794.3	474.0	473.8	509.4	309.8	60.8
420	28.9	57.3	764.5	779.9	794.3	476.9	475.5	519.4	309.5	63.6
450	28.8	58.2	764.5	779.9	794.3	476.8	473.7	513.2	311.0	66.0
480	28.3	59.0	764.5	779.9	794.3	476.9	472.2	516.8	308.1	69.0
510	28.7	62.2	764.5	779.9	794.3	484.0	478.7	519.4	301.8	71.6
540	28.2	62.1	764.5	779.9	794.3	483.2	477.2	522.3	310.3	74.2
570	28.1	63.4	764.5	779.9	794.3	480.7	479.7	505.8	317.7	76.7
600	28.0	62.2	764.5	779.9	794.3	484.2	483.0	512.5	320.3	79.2
630	28.1	62.6	764.5	779.9	794.3	480.7	483.8	523.7	315.9	81.7
660	28.0	62.2	764.5	779.9	794.3	481.6	482.2	518.4	307.6	84.3
690	28.1	61.3	764.5	779.9	794.3	488.8	484.1	514.8	298.9	87.0
720	28.4	61.3	764.5	779.9	794.3	490.0	485.3	505.7	289.3	89.4
750	28.2	60.9	764.5	779.9	794.3	486.0	481.4	529.1	298.6	91.9
780	29.5	63.9	764.5	779.9	794.3	486.6	480.6	517.5	311.1	94.3
810	29.2	62.9	764.5	779.9	794.3	480.0	477.4	527.8	304.0	97.0
840	28.7	64.6	764.5	779.9	794.3	481.0	476.3	524.2	304.9	99.4
870	28.7	63.7	764.5	779.9	794.3	481.5	479.9	520.6	313.4	99.8
900	28.6	63.6	764.5	779.9	794.3	484.5	480.7	522.6	316.8	100.2

ปริมาณแก๊สไอเสีย

O_2 (%)	CO (ppm)	CO_2 (%)	NO (ppm)	NO_2(ppm)	NO_x(ppm)	SO_2 (ppm)
19.88	12	0.82	2	0.0	2	0

หมายเหตุ: Q = 82 L/hr $m_{น้ำ}$ = 2.7 kg P_1 = 0.03 bar P_2 = 0.019 bar

T_g = 26.7 °C $T_{ห้อง}$ = 26.7 °C v = 0.013 m^3

ตารางที่ ข.5 การทดลองกรณีเตาแก๊สชนิดหัวฟู่ (RB) ที่น้ำ 2.7 ลิตร

เวลา (S)	ก่อนเข้าคอคอด T1 (°C)	ก่อนเผาไหม้ T2 (°C)	บนแผ่นวัสดุ T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	ก้นหม้อ T6 (°C)	T7 (°C)	T8 (°C)	T9 (°C)	ต้มเดือด T10 (°C)
0	28.0	28.1	28.0	27.5	28.0	29.5	29.4	29.2	29.1	26.9
30	27.6	29.9	293.5	253.0	340.1	29.6	29.5	29.3	29.0	28.7
60	27.9	33.7	551.2	504.5	653.1	139.2	116.0	124.8	113.9	30.9
90	27.8	38.3	670.8	628.3	701.3	278.2	231.3	258.2	218.4	33.6
120	27.8	40.8	692.8	677.7	715.2	343.7	293.8	320.8	266.6	36.8
150	28.1	44.4	705.4	702.4	717.8	372.9	326.4	349.1	291.4	39.7
180	27.6	45.9	716.4	702.4	718.9	386.4	344.3	360.0	301.0	42.8
210	27.8	50.0	713.4	709.5	716.8	392.9	352.9	364.5	306.0	46.0
240	27.9	50.8	714.5	711.7	723.1	397.0	354.0	366.0	310.1	48.6
270	28.2	52.6	716.6	707.0	725.4	401.4	358.5	367.6	312.7	51.4
300	27.8	54.0	718.7	706.1	722.1	403.9	359.9	367.5	314.7	54.2
330	28.4	55.3	714.7	707.9	725.2	404.9	359.4	371.0	317.4	57.0
360	28.7	56.3	715.5	709.0	725.9	405.5	357.9	373.8	318.0	59.7
390	29.3	56.2	720.8	709.8	729.1	405.2	356.5	373.6	317.6	62.6
420	28.9	57.3	717.5	708.8	728.2	405.3	358.2	375.8	317.0	65.3
450	28.8	58.2	718.0	710.5	729.2	406.8	361.3	378.2	318.7	67.9
480	28.3	59.0	718.1	715.1	730.5	408.4	359.1	378.2	318.3	70.4
510	28.7	62.2	718.6	713.8	735.4	410.7	360.6	379.0	318.6	73.1
540	28.2	62.1	718.0	714.4	735.8	412.8	362.9	379.4	321.0	75.8
570	28.1	63.4	718.9	719.3	730.1	413.2	361.5	379.0	321.3	78.3
600	28.0	62.2	718.6	717.3	725.0	412.1	362.9	383.5	322.8	81.2
630	28.1	62.6	717.8	714.3	727.9	410.0	361.6	385.5	322.7	83.4
660	28.0	62.2	721.7	715.2	726.5	409.5	362.9	390.7	330.3	86.0
690	28.1	61.3	720.9	715.6	724.3	410.1	362.6	387.9	326.0	88.5
720	28.4	61.3	722.5	717.4	724.3	410.7	359.3	387.9	326.3	90.9
750	28.2	60.9	721.0	717.5	729.0	412.0	362.2	386.3	327.0	93.6
780	29.5	63.9	718.4	722.0	724.9	411.9	362.5	389.1	327.1	96.0
810	29.2	62.9	718.8	718.5	724.8	413.5	363.4	388.6	327.3	98.3
840	28.7	64.6	720.5	717.7	722.5	411.9	361.1	388.9	330.7	100.2
870	28.7	63.7	719.9	717.1	724.1	412.6	362.5	389.6	330.9	100.2
900	28.6	63.6	721.1	717.1	726.2	412.2	365.3	393.5	329.5	100.2

ปริมาณแก๊สไอเสีย

O_2 (%)	CO (ppm)	CO_2 (%)	NO (ppm)	NO_2(ppm)	NO_x(ppm)	SO_2 (ppm)
19.87	5	0.83	3	0.0	3	0

หมายเหตุ: Q = 100 L/hr $m_{น้ำ}$ = 2.7 kg P_1 = 0.03 bar P_2 = 0.006 bar

T_g = 26.0 °C $T_{ห้อง}$ = 27.0 °C v = 0.0127 m^3

ภาคผนวก ค
ตัวอย่างการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ค.1 การหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th})

1) การหาค่าประสิทธิภาพของเตาแก๊สหุงต้มแบบวัสดุพรุนกรณีปลายคอคอดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.7 cm (MOB#1) ที่น้ำ 2.7 ลิตร อ้างอิงการทดสอบตามมาตรฐานมอก. 2312–2549 (Thai Industrial Standard, TIS) ซึ่งใช้หลักการ Boiling test ดังสมการ ที่ (ค.1) ตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

$$\eta_{th},\% = \left\{ \frac{m \times C \times (T_2 - T_1)}{V \times LHV} \times \frac{273 + T_g}{298} \times \frac{101.3}{B + P_m - S} \right\} \times 100 \qquad \text{(ค.1)}$$

เมื่อ m คือ มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ = 2.7 kg
C คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ = 4.186 kJ/kg·K
T_1 คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ = 29.6°C
T_2 คือ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ = 80.2°C
V คือ ปริมาตรของแก๊สที่ใช้ทดสอบ (m^3) = 0.01073 m^3
LHV คือ ค่าความร้อนทางต่ำของแก๊สทดสอบ = 113770 kJ/m^3
T_g คือ อุณหภูมิของแก๊สทดสอบ = 31°C
B คือ ความดันบรรยากาศในขณะทดสอบ = 100.4kPa
P_m คือ ความดันของแก๊สทดสอบ = 2.9483kPa
S คือ ความดันของไอน้ำอิ่มตัวที่T_g°C = 4.4758kPa

แทนค่าลงในสมการ (ค.1) จะได้

$$\eta_{th},\% = \left\{ \frac{2.7 \times 4.186 \times (80.2 - 29.6)}{0.01073 \times 113770} \times \frac{273 + 31}{298} \times \frac{101.3}{100.4 + 2.9483 - 4.4758} \right\} \times 100$$

η_{th} = 49.23 %

2) การหาค่าประสิทธิภาพของเตาแก๊สหุงต้มแบบวัสดุพรุนกรณีปลายคอคอดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3.5 cm (MOB#2) ที่น้ำ 2.7 ลิตร อ้างอิงการทดสอบตามมาตรฐานมอก. 2312–2549 (Thai Industrial Standard, TIS) ซึ่งใช้หลักการ Boiling test อ้างอิงตามสมการที่ (ค.1) ตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

เมื่อ m คือ มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ = 2.7 kg
C คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ = 4.186 kJ/kg·K
T_1 คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ = 30.6°C
T_2 คือ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ = 81.3°C

V คือ ปริมาตรของแก๊สที่ใช้ทดสอบ (m^3) = 0.01073 m^3
LHV คือ ค่าความร้อนทางต่ำของแก๊สทดสอบ = 113770 kJ/m^3
T_g คือ อุณหภูมิของแก๊สทดสอบ = 31.7°C
B คือ ความดันบรรยากาศในขณะทดสอบ = 100.4kPa
P_m คือ ความดันของแก๊สทดสอบ = 2.55kPa
S คือ ความดันของไอน้ำอิ่มตัวที่T_g°C = 4.63kPa

แทนค่าลงในสมการ (ค.1) จะได้

$$\eta_{th},\% = \left\{\frac{2.7\times4.186\times(81.3-30.6)}{0.01073\times113770}\times\frac{273+31.7}{298}\times\frac{101.3}{100.4+2.55-4.63}\right\}\times100$$

η_{th} = 50.86 %

3) การหาค่าประสิทธิภาพของเตาแก๊สหุงต้มแบบวัสดุพรุนกรณีปลายคอคอดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4.3 cm (MOB#3) ที่น้ำ 2.7 ลิตร อ้างอิงการทดสอบตามมาตรฐานมอก. 2312–2549 (Thai Industrial Standard, TIS) ซึ่งใช้หลักการ Boiling test อ้างอิงตามสมการที่ (ค.1) ตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

เมื่อ m คือ มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ = 2.7 kg
C คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ = 4.186 kJ/kg·K
T_1 คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ = 28.8°C
T_2 คือ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ = 79.3°C
V คือ ปริมาตรของแก๊สที่ใช้ทดสอบ (m^3) = 0.0101 m^3
LHV คือ ค่าความร้อนทางต่ำของแก๊สทดสอบ = 113770 kJ/m^3
T_g คือ อุณหภูมิของแก๊สทดสอบ = 29.3°C
B คือ ความดันบรรยากาศในขณะทดสอบ = 100.4kPa
P_m คือ ความดันของแก๊สทดสอบ = 2.27kPa
S คือ ความดันของไอน้ำอิ่มตัวที่T_g°C = 4.0821kPa

แทนค่าลงในสมการ (ค.1) จะได้

$$\eta_{th},\% = \left\{\frac{2.7\times4.186\times(79.3-28.8)}{0.0101\times113770}\times\frac{273+29.3}{298}\times\frac{101.3}{100.4+2.27-4.0821}\right\}\times100$$

η_{th} = 51.77 %

4) การหาค่าประสิทธิภาพของเตาแก๊สหุงต้มแบบเซรามิกส์ที่น้ำ 2.7 ลิตร อ้างอิงการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 2312-2549 (Thai Industrial Standard, TIS) ซึ่งใช้หลักการ Boiling test อ้างอิงตามสมการที่ (ค.1) ตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

เมื่อ	m	คือ	มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ	=	2.7 kg
	C	คือ	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ	=	4.186 kJ/kg·K
	T_1	คือ	อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ	=	26.7°C
	T_2	คือ	อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ	=	77.2°C
	V	คือ	ปริมาตรของแก๊สที่ใช้ทดสอบ (m^3)	=	0.0133 m^3
	LHV	คือ	ค่าความร้อนทางต่ำของแก๊สทดสอบ	=	113770 kJ/m^3
	T_g	คือ	อุณหภูมิของแก๊สทดสอบ	=	26.2°C
	B	คือ	ความดันบรรยากาศในขณะทดสอบ	=	100.4kPa
	P_m	คือ	ความดันของแก๊สทดสอบ	=	2.65kPa
	S	คือ	ความดันของไอน้ำอิ่มตัวที่T_g°C	=	3.3787kPa

แทนค่าลงในสมการ (ค.1) จะได้

$$\eta_{th},\% = \left\{\frac{2.7\times4.186\times(77.2-26.7)}{0.0133\times113770}\times\frac{273+26.2}{298}\times\frac{101.3}{100.4+2.65-3.3787}\right\}\times100$$

η_{th} = 38.98 %

5) การหาค่าประสิทธิภาพของเตาแก๊สหุงต้มแบบหัวฟู่ที่น้ำ 2.7 ลิตร อ้างอิงการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 2312-2549 (Thai Industrial Standard, TIS) ซึ่งใช้หลักการ Boiling test อ้างอิงตามสมการที่ (ค.1) ตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

เมื่อ	m	คือ	มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ	=	2.7 kg
	C	คือ	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ	=	4.186 kJ/kg·K
	T_1	คือ	อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ	=	27.1°C
	T_2	คือ	อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ	=	78.8°C
	V	คือ	ปริมาตรของแก๊สที่ใช้ทดสอบ (m^3)	=	0.0127 m^3
	LHV	คือ	ค่าความร้อนทางต่ำของแก๊สทดสอบ	=	113770 kJ/m^3
	T_g	คือ	อุณหภูมิของแก๊สทดสอบ	=	26.0°C
	B	คือ	ความดันบรรยากาศในขณะทดสอบ	=	100.4kPa
	P_m	คือ	ความดันของแก๊สทดสอบ	=	1.80kPa
	S	คือ	ความดันของไอน้ำอิ่มตัวที่T_g°C	=	3.3482kPa

แทนค่าลงในสมการ (ค.1) จะได้

$$\eta_{th},\% = \left\{\frac{2.7\times4.186\times(78.8-27.1)}{0.0127\times113770}\times\frac{273+26}{298}\times\frac{101.3}{100.4+1.80-3.3482}\right\}\times100$$

η_{th} = 41.44 %

ค.2 การหาค่าอัตราความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (Heat flux)

1) การหาค่าความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (Heat flux) ของเตาแก๊สหุงต้มแบบวัสดุพรุน กรณีปลายคอคอดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.7 cm (MOB#1) ที่น้ำ 2.7 ลิตร สมการที่ (ค.2) ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

$$\dot{q} = \frac{mC_p(T_2-T_1)}{A\times\Delta t} \qquad \text{(ค.2)}$$

เมื่อ m คือ มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ = 2.7kg

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ = 4.186 kJ/kg·K

T_1 คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ = 29.6°C

T_2 คือ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ = 80.2°C

A คือ พื้นที่ผิววัสดุที่ทดสอบ (m^2) = 8.99×10^{-3} m^2

Δt คือ ระยะเวลาที่ทดสอบ (s) = 618s

แทนค่าลงในสมการ (ค.2) จะได้

$$\dot{q} = \frac{2.7\ kg\times4.186\ kJ/kg\cdot{}^{\circ}C\times(78.8-27.1)^{\circ}C}{8.99\times10^{-3}m^2\times618s}$$

$\dot{q}$ = 103.103×10^3 W/m^2

2) การหาค่าความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (Heat flux) ของเตาแก๊สหุงต้มแบบวัสดุพรุน กรณีปลายคอคอดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.7 cm (MOB#1) ที่น้ำ 2.7 ลิตร สมการที่ (ค.2) ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

เมื่อ m คือ มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ = 2.7 kg

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ = 4.186 kJ/kg·K

T_1 คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ = 30.6°C

T_2 คือ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ = 81.4°C

A คือ พื้นที่ผิววัสดุที่ทดสอบ (m^2) = 8.99×10^{-3} m^2

Δt คือ ระยะเวลาที่ทดสอบ (s) = 602s

แทนค่าลงในสมการ (ค.2) จะได้

$$\dot{q} = \frac{2.7\ kg \times 4.186\ kJ/kg \cdot {}^{\circ}C \times (81.4 - 30.6)\,{}^{\circ}C}{8.99 \times 10^{-3} m^2 \times 602 s}$$

$\dot{q}$ = 105.462 x 10^3 W/m^2

3) การหาค่าความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (Heat flux) ของเตาแก๊สหุงต้มแบบวัสดุพรุน กรณีปลายคอคอดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4.3 cm (MOB#3) ที่น้ำ 2.7 ลิตร สมการที่ (ค.2) ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

เมื่อ m คือ มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ = 2.7 kg

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ = 4.186 kJ/kg•K

T_1 คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ = 28.8°C

T_2 คือ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ = 79.3°C

A คือ พื้นที่ผิววัสดุที่ทดสอบ (m^2) = 8.99×10^{-3} m^2

Δt คือ ระยะเวลาที่ทดสอบ (s) = 582s

แทนค่าลงในสมการ (ค.2) จะได้

$$\dot{q} = \frac{2.7\ kg \times 4.186\ kJ/kg \cdot {}^{\circ}C \times (79.3 - 28.8)\,{}^{\circ}C}{8.99 \times 10^{-3} m^2 \times 582 s}$$

$\dot{q}$ = 109.086 x 10^3 W/m^2

4) การหาค่าอัตราความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (Heat flux) ของเตาแก๊สหุงต้มแบบเซรามิกส์ที่น้ำ 2.7 ลิตร สมการที่ (ค.2) ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

เมื่อ m คือ มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ = 2.7 kg

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ = 4.186 kJ/kg•K

T_1 คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ = 26°C

T_2 คือ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ = 78°C

A คือ พื้นที่ผิววัสดุที่ทดสอบ (m^2) = 21.4 x 10^{-3} m^2

Δt คือ ระยะเวลาที่ทดสอบ (s) = 532s

แทนค่าลงในสมการ (ค.2) จะได้

$$\dot{q} = \frac{2.7\ kg \times 4.186\ kJ/kg \cdot {}^{\circ}C \times (78-26)^{\circ}C}{21.4 \times 10^{-3} m^2 \times 532 s}$$

$\dot{q}$ = 51.027 x 10^3 W/m^2

5) การหาค่าอัตราความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (Heat flux) ของเตาแก๊สหุงต้มแบบหัวฟู่ ที่น้ำ 2.7 ลิตร สมการที่ (ค.2) ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

เมื่อ	m	คือ	มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ	=	2.7 kg
	C_p	คือ	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ	=	4.186 kJ/kg·K
	T_1	คือ	อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ	=	27.1°C
	T_2	คือ	อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ	=	78.8°C
	A	คือ	พื้นที่ผิววัสดุที่ทดสอบ (m^2)	=	13.745 x 10^{-3} m^2
	Δt	คือ	ระยะเวลาที่ทดสอบ (s)	=	554s

แทนค่าลงในสมการ (ค.2) จะได้

$$\dot{q} = \frac{2.7\ kg \times 4.186\ kJ/kg \cdot {}^{\circ}C \times (78.8-27.1)^{\circ}C}{13.754 \times 10^{-3} m^2 \times 554 s}$$

$\dot{q}$ = 76.735 x 10^3 W/m^2

ค.3 การหาค่าปริมาณการใช้แก๊ส (Firing rate)

1) การคำนวณค่าปริมาณการใช้แก๊ส (Firing rate) ของเตาแก๊สหุงต้มแบบวัสดุพรุน (กรณีปลายคอคอดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.7 cm, MOB#1) ที่น้ำ 2.7 ลิตร ดังสมการที่ (ค.3) ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

ปริมาณการใช้แก๊ส $$Fr = \rho \nu \times \frac{LHV}{\Delta t} \qquad \text{(ค.3)}$$

เมื่อ	ρ	คือ	ค่าความหนาแน่นของแก๊ส	=	2.295 kg/m^3
	ν	คือ	ปริมาณของแก๊สที่ใช้ทดสอบ (m^3)	=	0.01073m^3
	LHV	คือ	ค่าความร้อนทางต่ำของแก๊สที่ใช้ทดสอบ	=	49,573kJ/kg·K
	Δt	คือ	ระยะเวลาที่ทดสอบ (s)	=	618s

แทนค่าลงในสมการ (ค.3) จะได้

ปริมาณการใช้แก๊ส $Fr = 2.295\ kg/m^3 \times 0.01073\ m^3 \times \frac{49,573\ kJ/kg \cdot K}{618s}$

ปริมาณการใช้แก๊ส Fr = 1.98kW

2) การคำนวณค่าปริมาณการใช้แก๊ส (Firing rate) ของเตาแก๊สหุงต้มแบบวัสดุพรุน (กรณีปลายคอคอดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3.5 cm, MOB#2) ที่น้ำ 2.7 ลิตร ดังสมการที่ (ค.3) ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

เมื่อ ρ คือ ค่าความหนาแน่นของแก๊ส = 2.295 kg/m^3
ν คือ ปริมาณของแก๊สที่ใช้ทดสอบ (m^3) = 0.01073m^3
LHV คือ ค่าความร้อนทางต่ำของแก๊สที่ใช้ทดสอบ = 49,573kJ/kg•K
Δt คือ ระยะเวลาที่ทดสอบ (s) = 602s

แทนค่าลงในสมการ (ค.3) จะได้

ปริมาณการใช้แก๊ส $Fr = 2.295\ kg/m^3 \times 0.01073\ m^3 \times \frac{49,573\ kJ/kg \cdot K}{602s}$

ปริมาณการใช้แก๊ส Fr = 2.02kW

3) การคำนวณค่าปริมาณการใช้แก๊ส (Firing rate) ของเตาแก๊สหุงต้มแบบวัสดุพรุน (กรณีปลายคอคอดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4.3 cm, MOB#3) ที่น้ำ 2.7 ลิตร ดังสมการที่ (ค.3) ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

เมื่อ ρ คือ ค่าความหนาแน่นของแก๊ส = 2.295 kg/m^3
ν คือ ปริมาณของแก๊สที่ใช้ทดสอบ (m^3) = 0.0101m^3
LHV คือ ค่าความร้อนทางต่ำของแก๊สที่ใช้ทดสอบ = 49,573kJ/kg•K
Δt คือ ระยะเวลาที่ทดสอบ (s) = 582s

แทนค่าลงในสมการ (ค.3) จะได้

ปริมาณการใช้แก๊ส $Fr = 2.295\ kg/m^3 \times 0.0101\ m^3 \times \frac{49,573\ kJ/kg \cdot K}{582s}$

ปริมาณการใช้แก๊ส Fr = 1.97kW

4) การคำนวณค่าอัตราการไหลของแก๊ส (Firing rate) ของเตาแก๊สหุงต้มแบบเซรามิกส์ที่น้ำ 2.7 ลิตร ดังสมการที่ (ค.3) ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

เมื่อ	ρ	คือ	ค่าความหนาแน่นของแก๊ส	=	2.295 kg/m^3
	ν	คือ	ปริมาณของแก๊สที่ใช้ทดสอบ (m^3)	=	0.013m^3
	LHV	คือ	ค่าความร้อนทางต่ำของแก๊สที่ใช้ทดสอบ	=	49,573kJ/kg•K
	Δt	คือ	ระยะเวลาที่ทดสอบ (s)	=	532s

แทนค่าลงในสมการ (ค.3) จะได้

ปริมาณการใช้แก๊ส $Fr = 2.295\ kg/m^3 \times 0.013\ m^3 \times \frac{49,573\ kJ/kg \cdot K}{602s}$

ปริมาณการใช้แก๊ส Fr = 2.02kW

5) การคำนวณค่าอัตราการไหลของแก๊ส (Firing rate) ของเตาแก๊สหุงต้มแบบหัวฟู่ที่น้ำ 2.7 ลิตร ดังสมการที่ (ค.3) ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

เมื่อ	ρ	คือ	ค่าความหนาแน่นของแก๊ส	=	2.295 kg/m^3
	ν	คือ	ปริมาณของแก๊สที่ใช้ทดสอบ (m^3)	=	0.0127m^3
	LHV	คือ	ค่าความร้อนทางต่ำของแก๊สที่ใช้ทดสอบ	=	49,573kJ/kg•K
	Δt	คือ	ระยะเวลาที่ทดสอบ (s)	=	554s

แทนค่าลงในสมการ (ค.3) จะได้

ปริมาณการใช้แก๊ส $Fr = 2.295\ kg/m^3 \times 0.0127\ m^3 \times \frac{49,573\ kJ/kg \cdot K}{554s}$

ปริมาณการใช้แก๊ส Fr = 2.61kW

ค.4 การคำนวณหา Peclet number (Pe)

1) การคำนวณหาค่า Peclet number (Pe) ของหัวเตาแก๊สวัสดุพรุนแบบวัสดุพรุน (กรณีปลายคอคอดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.7 cm, MOB#1) ที่น้ำ 2.7 ลิตร ดังสมการที่ (ค.4) ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

$$Pe = \frac{S_L d_m C_p \rho_m}{k} \qquad \text{(ค.4)}$$

เมื่อ S_L คือ ความเร็วของเปลวไฟที่เป็นการไหลแบบราบเรียบ = 0.75m/s

d_m คือ เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล = 0.415x10^{-3}m

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของผสมระหว่างแก๊สกับอากาศ = 1.6815 kJ/kg·K

ρ_m คือ ค่าความหนาแน่นของผสมระหว่างแก๊สกับอากาศ = 1.26 kg/m^3

k คือ ค่าการนำความร้อนของผสมระหว่างแก๊สกับอากาศ = 0.0172 W/m·K

แทนค่าลงในสมการ (ค.4) จะได้

$$Pe = \frac{0.75\ m/s \times 0.415\ x\ 10^{-3} m \times 1.6815\ kJ/\text{kg}\cdot K \times 1.26\ kg/m^3}{0.0172\ W/m\cdot K}$$

Pe = 38.34

2) การคำนวณหาค่า Peclet number (Pe) ของหัวเตาแก๊สวัสดุพรุนแบบวัสดุพรุน (กรณีปลายคอคอดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3.5 cm, MOB#2) ที่น้ำ 2.7 ลิตร ดังสมการที่ (ค.4) ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

เมื่อ S_L คือ ความเร็วของเปลวไฟที่เป็นการไหลแบบราบเรียบ = 0.75m/s

d_m คือ เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล = 0.415x10^{-3}m

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของผสมระหว่างแก๊สกับอากาศ = 1.6815 kJ/kg·K

ρ_m คือ ค่าความหนาแน่นของผสมระหว่างแก๊สกับอากาศ = 1.244 kg/m^3

k คือ ค่าการนำความร้อนของผสมระหว่างแก๊สกับอากาศ = 0.0172 W/m·K

แทนค่าลงในสมการ (ค.4) จะได้

$$Pe = \frac{0.75\ m/s \times 0.415\ x\ 10^{-3} m \times 1.6815\ kJ/\text{kg}\cdot K \times 1.244\ kg/m^3}{0.0172\ W/m\cdot K}$$

Pe = 37.85

3) การคำนวณหาค่า Peclet number (Pe) ของหัวเตาแก๊สวัสดุพรุนแบบวัสดุพรุน (กรณีปลายคอคอดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4.3 cm, MOB#3) ที่น้ำ 2.7 ลิตร ดังสมการที่ (ค.4) ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

เมื่อ S_L คือ ความเร็วของเปลวไฟที่เป็นการไหลแบบราบเรียบ = 0.75m/s

d_m คือ เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล = 0.415x10^{-3}m

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของผสมระหว่างแก๊สกับอากาศ = 1.6815 kJ/kg·K

ρ_m คือ ค่าความหนาแน่นของผสมระหว่างแก๊สกับอากาศ = 1.275 kg/m^3

k คือ ค่าการนำความร้อนของผสมระหว่างแก๊สกับอากาศ = 0.0172 W/m·K

แทนค่าลงในสมการ (ค.4) จะได้

$$Pe = \frac{0.75\ m/s \times 0.415\ x\ 10^{-3} m \times 1.6815\ kJ/\text{kg}\cdot K \times 1.275\ kg/m^3}{0.0172\ W/m\cdot K}$$

Pe = 38.796

4) การคำนวณหาค่าการติดไฟ Peclet number (Pe) ของหัวเตาแก๊สหุงต้มแบบเซรามิกส์ที่น้ำ 2.7 ลิตร ดังสมการที่ (ค.4) ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

เมื่อ S_L คือ ความเร็วของเปลวไฟที่เป็นการไหลแบบราบเรียบ = 0.75m/s
d_m คือ เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล = 0.415x10^{-3}m
C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของผสมระหว่างแก๊สกับอากาศ = 1.293 kJ/kg•K
ρ_m คือ ค่าความหนาแน่นของผสมระหว่างแก๊สกับอากาศ = 1.244 kg/m^3
k คือ ค่าการนำความร้อนของผสมระหว่างแก๊สกับอากาศ = 0.0172 W/m•K

แทนค่าลงในสมการ (ค.4) จะได้

$$Pe = \frac{0.75\ m/s \times 0.415\ x\ 10^{-3} m \times 1.6815\ kJ/\text{kg}\cdot K \times 1.293\ kg/m^3}{0.0172\ W/m\cdot K}$$

Pe = 13.75

5) การคำนวณหาค่า Peclet number (Pe) ของหัวเตาแก๊สหุงต้มแบบหัวฟู่ที่น้ำ 2.7 ลิตร ดังสมการที่ (ค.4) ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

เมื่อ S_L คือ ความเร็วของเปลวไฟที่เป็นการไหลแบบราบเรียบ = 0.75m/s
d_m คือ เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล = 0.415x10^{-3}m
C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของผสมระหว่างแก๊สกับอากาศ = 1.6815 kJ/kg•K
ρ_m คือ ค่าความหนาแน่นของผสมระหว่างแก๊สกับอากาศ = 1.34 kg/m^3
k คือ ค่าการนำความร้อนของผสมระหว่างแก๊สกับอากาศ = 0.0172 W/m•K

แทนค่าลงในสมการ (ค.4) จะได้

$$Pe = \frac{0.75\ m/s \times 0.415\ x\ 10^{-3} m \times 1.6815\ kJ/\text{kg}\cdot K \times 1.34\ kg/m^3}{0.0172\ W/m\cdot K}$$

Pe = 192.57

ภาคผนวก ง
ผลงานบางส่วนของโครงการวิจัยที่ทำการเผยแพร่

บทความวิจัยที่เสนอตีพิมพ์ในวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา วสท.

การประยุกต์ใช้วัสดุพรุนชนิดเซลลูลาร์เปิดในเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน

Application of Open-cellular Porous Media on Domestic Cooking Stove

บัณฑิต กฤตาคม พิพัฒน์ อมตฉายา และรพีพงศ์ เปี่ยมสุวรรณ

Bundit Krittacom, Pipatana Amatachaya and Pathiwat Waramit

ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพรุน

(Development in Technology of Porous Materials Research Laboratory: DITO-Lab)

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถนนสุรนารายณ์ ต. ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 โทรศัพท์: 044-233-073, โทรสาร: 044-233-074

E-mail: bundit.kr@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน(Thermal efficiency, η_{th}) ของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน (Domestic gas stove) ที่มีปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจี (Liquefied petroleum gas, LPG) สูงสุดไม่เกิน 5.78kW ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.2312-2549) โดยทำการออกแบบและสร้างหัวเตาแก๊สแบบวัสดุพรุนชนิดเซลลูลาร์เปิด (Open-cellular porous burner, OB) ที่ทำมาจากอลูมินา-คอร์ดิไรท์ (Alumina-Cordierite, Al-Co) ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับเตาแก๊สที่มีใช้กันในท้องตลาด (Commercial cooking burner) จำนวน 2 แบบ ได้แก่ หัวเตาแก๊สแบบเซรามิกส์รังผึ้ง (Honey comb ceramic burner, HB) และแบบหัวฟู่ (Radial slotted ports burner, RB) จากการทดลองพบว่าเตาแก๊สแบบ OB มีค่า η_{th} สูงสุดเมื่อเทียบกับอีก 2 แบบ คือ 55.2 % ในขณะที่ HB และ RB มีค่า η_{th} อยู่ที่ 50.1%และ 36.5% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณCO ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเตาแก๊สแบบ OB จะต่ำกว่าทั้งสองแบบ ซึ่งแสดงให้ทราบว่ามีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า

Abstract

This research aims to improve the thermal efficiency (η_{th}) of the domestic gas stove, which used the highest amount of Liquefied Petroleum Gas (LPG) not excess 5.78 kW exceed based on Thailand Industrial Standard (TIS. 2312-2549). The gas stove was designed and reconstructed with Alumina-Cordierite (Al-Co) open-cellular porous material. The present burner was defined as open-cellular porous burner (OB). The results of the present gas stove was compared with two commercial cooking burners including of honey comb ceramic porous burner (HB) and radial slotted ports burner (RB). From the experiment, the value of η_{th} of the OB type was highest in among the examination which become 55.2 %. But, value of η_{th} of the PB and RB type were 50.1% and 36.5% respectively. Moreover, a level of CO emitted by OB was lower than two commercial burners. Thus, it was confirmed that a better of completed combustion was achieved by the OB type.

1. บทนำ

เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน [1] กล่าวได้ว่าเป็นเตาที่มีบทบาทสำคัญต่อความเป็นอยู่ในชีวิตประจำวันของคนไทยและนิยมใช้หุงต้มในครัวเรือนอย่างแพร่หลายเมื่อเทียบกับเตาแบบอื่น ๆ ซึ่งเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ในประเทศไทยจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2312-2549 โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน คือ แก๊สปิโตรเลียมเหลว หรือ แอลพีจี (Liquefied petroleum gas, LPG) จากความนิยมใช้อย่างแพร่หลายของเตาหุงต้มในครัวเรือน จึงส่งผลให้มีการใช้แอลพีจีเพิ่มมากขึ้นทุกปี ดังสถิติการใช้พลังงานของกระทรวงพลังงาน [2] ซึ่งพบว่า

ในปี พ.ศ. 2555 ประเทศไทยมีการใช้ LPG คิดเป็นปริมาณมากถึง 4,393 ล้านตันและมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในทุก ๆ ปี พร้อมกันนี้ราคาของ LPG มีแนวโน้มสูงขึ้นในทุก ๆ ปีเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ภาคครัวเรือนจะเป็นภาคส่วนที่ใช้ LPG ในอัตราส่วนที่สูงที่สุดของทุกปี โดยในปี พ.ศ. 2550 ภาคครัวเรือนใช้ LPG คิดเป็นร้อยละ 42.89 ดังนั้นหากต้องการลดการใช้ LPG ในประเทศไทย ภาคครัวเรือนจึงควรได้รับความสนใจก่อนเป็นอันดับแรกซึ่งเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีการเผาไหม้แบบเปิด (Open combustion) จึงไม่สามารถนำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากเปลวไฟไปยังภาชนะถูกจำกัดโดยการพาความร้อน (Heat convection) เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงทำให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน(Thermal efficiency, η_{th}) ค่อนข้างต่ำ

สำหรับการวิจัยเพื่อศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มค่า η_{th} ของเตาแก๊สหุงต้มได้กระทำกันมาอย่างต่อเนื่องในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา [3-7] โดยส่วนใหญ่จะใช้หลักการหมุนเวียนของพลังงานความร้อนจากไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้นำกลับมาอุ่นอากาศ (Preheat) ก่อนที่จะเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้เป็นการอาศัยหลักการของการแผ่รังสีความร้อนจากวัสดุพรุน [3] มีบางงานวิจัยที่ปรับปรุงหัวเผาให้เปลวไฟที่พุ่งออกมีลักษณะของการหมุนวนเข้าสู่ศูนย์กลาง (Swirl burner, SB) [4] พบว่า Swirl burner สามารถเพิ่ม η_{th} ให้สูงขึ้นได้โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 30 เมื่อเปรียบเทียบกับเตาแก๊ส ที่ใช้กันอยู่ทั่ว ๆ ไป ระยะห่างระหว่างเตาแก๊สกับก้นภาชนะ (H) ระยะห่างทางออกของหัวเตาและตำแหน่งที่เหมาะสมของหัวฉีดแก๊สก็ถูกทำการศึกษาเช่นกัน [5, 6] นอกจากการพัฒนาที่หัวเตาโดยตรงแล้วยังมีการประยุกต์ใช้วัสดุพรุนเป็นฝาครอบกับเตาแก๊สหุงต้มเพื่อเพิ่ม η_{th} ให้มีค่าสูงขึ้น [7]

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการเพิ่ม η_{th} ของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนโดยอ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2312-2549 [1] เตาแก๊สที่ทดลองจะมีปริมาณการใช้ LPG สูงสุดของแต่ละหัวเตาไม่เกิน 5.78kW ดังนั้นเพื่อบรรลุตามแนวคิดนี้จึงได้ทำการออกแบบและสร้างหัวเตาแก๊สแบบวัสดุพรุนชนิดเซลลูลาร์เปิดขึ้น โดยวัสดุพรุนที่เลือกใช้ คือ อลูมินา-คอร์ดิไรท์ (Alumina-Cordierite, Al-Co) ซึ่งมีค่าความพรุน (Porosity, ϕ) และจำนวนรูต่อหนึ่งหน่วยนิ้ว (Pores per inches, PPI) เท่ากับ 0.92 และ 8.5 ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ จะนำไปเปรียบเทียบกับเตาแก๊สที่มีใช้กันในท้องตลาด 2 แบบ [8] ได้แก่หัวเตาแก๊สแบบเซรามิกส์รังผึ้ง (Honey comb ceramic burner, HB) และแบบหัวฟู่ (Radial slotted ports burner, RB)

2. รายการสัญลักษณ์

B ความดันบรรยากาศขณะทดสอบ (kPa)
C ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.186 kJ/kg K)
LHV ค่าความร้อนทางต่ำของแก๊สที่ใช้ (MJ/m^3)
m มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ (kg)
P_m ความดันของแก๊ส (kPa)
PPI จำนวนรูต่อหนึ่งหน่วยนิ้ว
S ความดันของไอน้ำอิ่มตัวที่T_g (kPa)
T_1 อุณหภูมิอากาศส่วนแรก (°C)
T_2 อุณหภูมิอุ่นก่อนการเผาไหม้ (°C)
T_g อุณหภูมิของแก๊ส (°C)
V ปริมาณของแก๊สที่ใช้ทดสอบ (m^3)
x ความหนาของแผ่นวัสดุพรุน (mm)
ϕ ค่าความพรุน
η_{th} ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

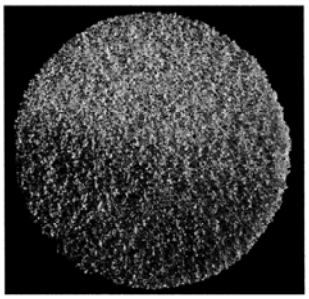
รูปที่ 1 เป็นภาพถ่ายของวัสดุพรุนชนิดเซลลูลาร์เปิดที่ทำมาจากอลูมินา-คอร์ดิไรท์ (Alumina-Cordierite, Al-Co) โดยมีสมบัติทางกายภาพแสดงอย่างละเอียดในตารางที่ 1

รูปที่ 2 แสดงหลักการทำงานของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบวัสดุพรุนเซลลูลาร์เปิด (Open-cellular porous burner, OB) โดยทำการติดตั้งวัสดุพรุนด้านบนของหัวเตา ซึ่งสามารถอธิบายได้นี้ เริ่มจากแก๊สความดันต่ำถูกพ่นออกจากรูพ่นแก๊สเข้าไปในท่อผสม ขณะเดียวกันอากาศส่วนแรก

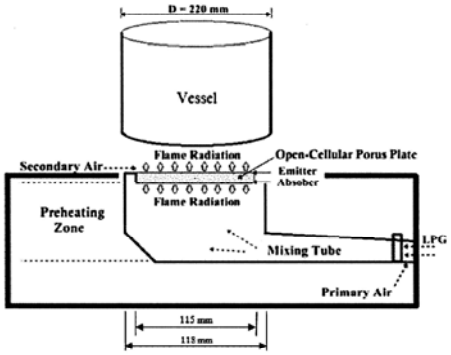
(Primary air) ที่อยู่บริเวณใกล้ ๆ จะถูกชักนำผ่านช่องอากาศส่วนแรก เข้าไปในท่อผสมพร้อม ๆ กับแก๊ส โดยอาศัยการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างแก๊สและอากาศโดยรอบ ด้วยวิธีการดังกล่าวอากาศส่วนแรกจะมีค่าประมาณ 50 - 70% ของปริมาณอากาศที่จำเป็นเพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (Stoichoimetric air) และมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้อากาศส่วนแรกนี้มีค่าถึง 100% ขึ้นอยู่กับความดันของแก๊สที่ใช้ จากนั้นส่วนผสมของอากาศส่วนแรกและแก๊สจะไหลผ่านแผ่นวัสดุพรุนชนิดเซลลูลาร์เปิด แก๊สและถูกจุดประกายไฟ ซึ่งการจุดติดไฟจะใช้วิธีเปลวไฟล่อ (Pilot flame) ขณะเดียวกันอากาศส่วนที่สอง (Secondary air) จะถูกชักนำเข้ามาจากทางด้านข้างเปลวไฟ โดยอาศัยการถ่ายเทโมเมนตัมและแรงลอยตัวของแก๊สร้อนที่จะขยายตัวและลอยสูงขึ้น ช่วยทำให้อากาศโดยรอบที่เย็นกว่าถูกดูดเข้ามาผสมกับเปลวไฟได้มากขึ้นและส่งผลให้เกิดการเผาไหม้สมบรูณ์ดียิ่งขึ้น โดยทั่วไปสมบัติของวัสดุพรุนเซลลูลาร์เปิดสามารถเป็นได้ทั้งตัวรับ (Absorber) และตัวแผ่รังสีความร้อน (Emitter) แต่สำหรับหัวเตาแก๊สแบบวัสดุพรุนของงานวิจัยนี้จะทำหน้าที่เป็น Absorber เนื่องจากวัสดุพรุนได้รับความร้อนจากเปลวไฟที่เสถียรอยู่ในหรือบนผิวหน้าวัสดุพรุน (Stability inside or on the surface of porous plate) การแผ่รังสีจะแผ่ออกไปทุกทิศทุกทาง โดยเฉพาะสองทิศทางที่สำคัญคือการแผ่รังสีไปด้านบนหมายถึงจะส่งความร้อนไปยังก้นภาชนะ และอีกด้านหนึ่งแผ่รังสีความร้อนลงด้านล่างมายังส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิง (LPG) และอากาศส่วนแรก (Primary Air) ดังนั้นส่วนผสมนี้เมื่อไหลเข้ามาก่อนถึงวัสดุพรุนจะเกิดการอุ่นหรือเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นก่อนเข้าสู่การเผาไหม้ เรียกบริเวณนี้ว่า ช่วงการอุ่นความร้อน (Preheating zone)

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของวัสดุพรุนเซลลูลาร์เปิด [9]

สมบัติทางกายภาพ	ปริมาณ
1. ค่าความพรุน(ϕ)	0.93
2. จำนวนรูต่อหนึ่งหน่วยนิ้ว (PPI)	21.50
3. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (mm)	107
4. ความหนา (x, mm)	10.30



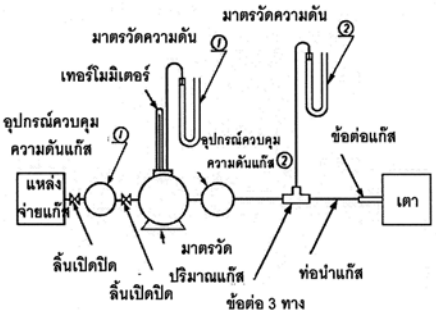
รูปที่ 1 ภาพถ่ายวัสดุพรุนชนิดเซลลูลาร์เปิดที่ทำมาจากอลูมินา-คอร์ดิไรท์ (Al-Co)



รูปที่ 2 หลักการทำงานของหัวเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบวัสดุพรุนเซลลูลาร์เปิด

3.2 วิธีการทดลอง

รูปที่ 3 แสดงรายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ของการทดลองเพื่อหาค่า η_{th} โดยจะดำเนินการเริ่มต้นด้วยการจ่ายแก๊ส LPG จากแหล่งจ่ายแก๊สไหลผ่านอุปกรณ์ควบคุมความดันเข้าสู่มาตรวัดปริมาณแก๊สในอัตรา 100 L/h เมื่อแก๊สไหลมาถึงเตาทำการจุดไฟเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ โดยที่ตำแหน่งหัวเตาจะมีหม้อเบอร์ 22 ซึ่งบรรจุน้ำกลั่น 1 kg วางตั้งอยู่ และหลังจากนั้นทำการบันทึกค่าอุณหภูมิ อัตราการสิ้นเปลืองแก๊ส เวลาการต้มน้ำเดือด อ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2312-2549 [1]



รูปที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน [1]

3.3 การหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน

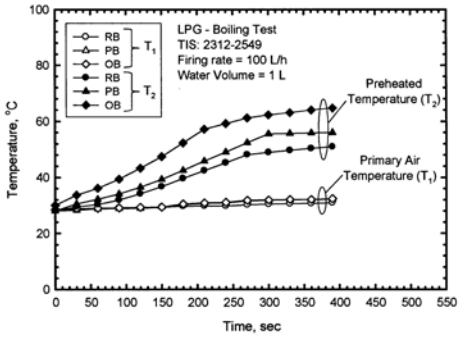
การหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ของเตาแก๊สหุงต้มในประเทศไทยนั้นได้กำหนดวิธีการทดลองอ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมอก.2312-2549 ซึ่งก็คือหลักการ Boiling test มีวิธีการคำนวณหาค่า η_{th} ตามสมการที่ (1) ดังนี้

$$\eta_{th}=\left\{\frac{m\times C\times(T_2-T_1)}{V\times LHV}\times\frac{273+T_g}{298}\times\frac{101.3}{B+P_m-S}\right\}\times 100 \qquad (1)$$

4. ผลการทดลอง

4.1 อุณหภูมิช่วงการอุ่นความร้อนของเตาแก๊ส

รูปที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศส่วนแรก (Primary air, T_1) และอุณหภูมิอุ่นก่อนการเผาไหม้ (Preheated primary air, T_2) เทียบกับเวลาโดยทำการทดลองที่สภาวะปริมาณน้ำหรือภาระ (Load) 1 ลิตร ค่าปริมาณการจ่าย LPG คือ 100 L/hr จากการทดลองพบว่า T_1 ของเตาแก๊สทั้ง 3 แบบมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 28 °C ถึง 30 °C ซึ่งเป็นไปตามหลักธรรมชาติทั่วไปที่ตำแหน่งนี้จะเป็นอุณหภูมิของอากาศจากสิ่งแวดล้อมที่ถูกชักนำเข้าสู่เตาแก๊ส แต่เมื่อพิจารณา T_2 จะเห็นได้ว่า ณ เวลาเดียวกันอุณหภูมิของเตาแก๊สแบบ OB (วัสดุพรุนเซลลูลาร์เปิด) มีอุณหภูมิสูงที่สุด โดยมีอุณหภูมิของเตาแก๊สแบบ HB (เซรามิกส์รังผึ้ง) สูงรองลงมาและแบบ RB (หัวฟู่) มีค่าต่ำสุด นอกจากนี้ยังพบว่า T_2 ของเตาแก๊สแบบ OB มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ จึงอาจกล่าวได้ว่ากลไกการอุ่นอากาศในช่วง Preheating zone ของเตาแก๊สแบบ OB ที่ได้รับจากการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุพรุนแบบเซลลูลาร์เปิดช่วยยกระดับอุณหภูมิไอดีให้เพิ่มขึ้นและพร้อมเกิดการเผาไหม้ได้ดียิ่งขึ้นตามทฤษฎีของการเผาไหม้ที่มีการหมุนเวียนความร้อน (Heat-recirculating combustion) [10]



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ T_1 และ T_2 เทียบกับเวลา

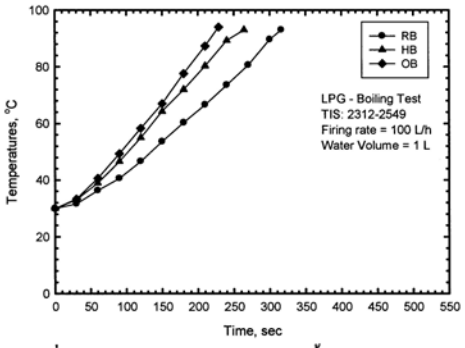
4.2 อุณหภูมิน้ำกับเวลาในการทดลองแบบต้มเดือด

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่ปริมาณ 1 ลิตรกับเวลาที่ใช้ทดลองของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนทั้ง 3 แบบ (OB, HB และ RB) ค่าปริมาณการจ่าย LPG คือ 100 L/hr จากการทดลองพบว่าเวลาที่ทดลองของเตาแก๊สแบบ OB (วัสดุพรุนเซลลูลาร์เปิด) ใช้เวลาในการต้มเดือดที่อุณหภูมิ 90 °C เพียง 229 วินาที ในขณะที่เตาแก๊สแบบ HB (เซรามิกส์รังผึ้ง) และแบบ RB (หัวฟู่) ใช้เวลาในการต้มเดือดที่ 90 °C เป็นเวลา 264 และ 306 วินาที ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการต้มน้ำเดือดที่เร็วกว่า ซึ่งเตาแก๊สแบบ OB จะใช้พลังงานที่ประหยัดมากกว่าเนื่องจากอิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนและการอุ่นอากาศที่ดีของวัสดุพรุนชนิดเซลลูลาร์เปิด ดังอธิบายในหัวข้อที่ 4.1

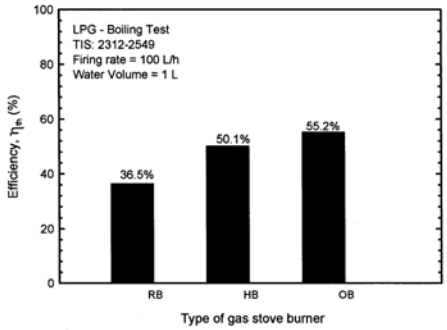
4.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

รูปที่ 6 แสดงแผนภูมิแท่งประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) ของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนทั้ง 3 แบบ (OB, HB และ RB) ในการทดลองอ้างอิงตามมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2312-2549 จากผลการทดลองพบว่าที่กรณีน้ำ 1 ลิตรเตาแก๊สแบบ OB (วัสดุพรุนเซลลูลาร์เปิด) มีค่า η_{th} คือ 55.2% แต่เตาแก๊สแบบ HB (เซรามิกส์รังผึ้ง) และแบบ RB (หัวฟู่) มีประสิทธิภาพเพียง 50.1% และ 36.5% ตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่าเกิดจากอิทธิพลของกลไกการแผ่รังสีความร้อนที่ออกมาจากแผ่นวัสดุพรุนเซลลูลาร์เปิด ซึ่งสอดคล้องกับกรณีของอุณหภูมิช่วงการอุ่นความร้อนในรูปที่ 4 ดังนั้นจากผลการอุ่นไอดีของเตาแก๊สแบบ OB นี้จึงช่วยส่งเสริมการเผาไหม้ให้ดียิ่งขึ้นและยกระดับ η_{th} ของเตาแก๊สให้เพิ่มขึ้น



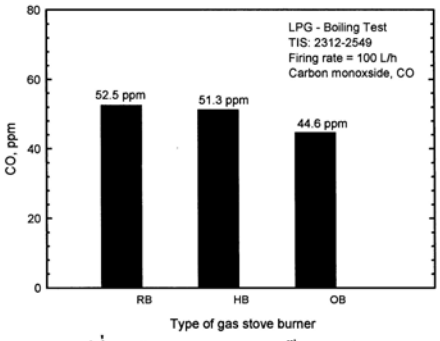
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำกับเวลาทดลอง



รูปที่ 6 แผนภูมิแท่งประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th})

4.4 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

รูปที่ 7 แสดงแผนภูมิแท่งปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนทั้ง 3 แบบ จากผลการทดลองพบว่าปริมาณ CO ของเตาแก๊สแบบ OB (วัสดุพรุนเซลลูลาร์เปิด) มีค่าน้อยกว่าแบบ HB (เซรามิกส์รังผึ้ง) และแบบ RB (หัวฟู่) แสดงให้เห็นว่าเตาแก๊สแบบ OB มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าและส่งผลให้มี η_{th} ที่ดีขึ้น [11]



รูปที่ 7 ปริมาณ CO ของเตาแก๊สแบบต่าง ๆ

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาที่ได้รับ ประเด็นสำคัญของงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1) เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบ OB จะมีอุณหภูมิที่ตำแหน่ง Preheating zone และ Primary air สูงกว่าแบบอื่น ๆ เนื่องจากอิทธิพลการแผ่รังสีที่เข้มข้นของวัสดุพรุนตามทฤษฎีของการเผาไหม้ที่มีการหมุนเวียนความร้อน

2) เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบ OB ใช้เวลาในการต้มน้ำเดือดน้อยกว่าแบบ RB และแบบ HB เนื่องจากอิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนและการอุ่นอากาศที่ดีของวัสดุพรุนชนิดเซลลูลาร์เปิด

3) พฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบ OB มีความสมบูรณ์มากที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 แบบในการศึกษาของบทความวิจัยนี้ เพราะปริมาณ CO ของเตาแก๊สแบบ OB มีระดับต่ำกว่าแบบ RB และ HB

4) เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบ OB มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) มีค่าสูงกว่าแบบ RB และ HB โดยมีค่าเท่ากับ 55.2% แต่เตาแก๊สแบบ RB และ HB มีค่า η_{th} คือ 50.1 และ 36.5% ตามลำดับ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ได้ให้เงินทุนสนับสนุนในการจัดทำงานวิจัยครั้งนี้ และคณะผู้เขียนบทความขอขอบคุณ นายจิรวัฒน์ โคนโพธิ์ นายสุรศักดิ์ โชตินิกร และนายวรวุฒิ โคขุนทด นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ซึ่งทำงานวิจัยภายในห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพรุน (Development in Technology of Porous Materials Research Laboratory: DITO-Lab) ที่ได้ช่วยเก็บข้อมูลการทดลองบางส่วนจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงอุตสาหกรรม, "มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเตาหุงต้มในครัวเรือนใช้กับก๊าซปิโตรเลียมเหลว", [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http:/ / www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2550/E/040/17.PDF, เข้าดูเมื่อวันที่ 1/07/2557.

[2] กระทรวงพลังงาน, "ข้อมูลการใช้พลังงานในประเทศไทย", [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.energy.go.th, เข้าดูเมื่อวันที่ 2/07/2557.

[3] Jugjai, S. and Sanijai, S.Parametric, "Studies of Thermal Efficiency in a Proposed Porous Radiant Recirculated Burner (PRRB): A Design Concept for the Future Burner", International Energy Journal, vol. 18, 1996, pp.97-111.

[4] ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ, "การประยุกต์ใช้วัสดุพรุนเพื่อการประหยัดพลังงานในเตาแก๊สหุงต้ม", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 2544.

[5] วสันต์ โยคเสนะกุล, "หัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สที่มีการหมุนเวียนความร้อนและการไหลแบบหมุนวน", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 2548.

[6] จารุณี จาบกลาง, "การพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มที่มีประสิทธิภาพสูงชนิดที่มีการหมุนเวียนความร้อน",วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 2549.

[7] จรินทร์ เจนจิตต์, "การเพิ่มประสิทธิภาพของเตาแก๊สโดยวัสดุพรุน", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2553.

[8] U. Makmool, S. Jugjai, S. Tia, P. Vallikul, and Fungtammasan, "Performance and Analysis by Particle Image Velocimetry (PIV) of Cooker-Top Burners in Thailand", Energy, vol.32, 2007, pp.1986-1995.

[9] B. Krittacom and K. Kamiuto, "Radiation Emission Characteristics of an Open-cellular Porous Burner', JSME Journal of Thermal Science and Technology, vol. 4, 2009, pp. 13-24.

[10] F. J. Weinberg, "Heat - recirculating Burners: Principles and Some Recent Developments", Combustion Science and Technology, vol. 121, 1996, pp. 3-22.

[11] สำเริง จักรใจ, "การเผาไหม้", กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรมหาวิทยาลัย, 2547.