

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| ใบรับรองโครงการ   | ก    |
| บทคัดย่อ  | ข    |
| Abstract  | ค    |
| กิตติกรรมประกาศ   | ง    |
| สารบัญ  | ฉ    |
| สารบัญตาราง   | ช    |
| สารบัญรูปภาพ  | ฌ    |
| สารบัญกราฟ  | ญ    |
| ลำดับสัญลักษณ์  | ฎ    |
| <br>  |      |
| <b>บทที่ 1 บทนำ</b>   |      |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ   | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์  | 2    |
| 1.3 ขอบข่ายของโครงการ   | 2    |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน   | 2    |
| 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ   | 2    |
| <b>บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี</b>  |      |
| 2.1 การนำความร้อน   | 4    |
| 2.2 การพาความร้อนตามธรรมชาติ  | 5    |
| 2.3 การสันดาป   | 9    |
| 2.4 คุณสมบัติทางกายภาพแลทางเคมีของก๊าซ LPG                                | 11   |
| 2.5 การเดือดของของเหลว โดยที่ของเหลวไม่ได้ถูกทำให้เคลื่อนที่โดยกลไกภายนอก | 12   |
| 2.6 ประสิทธิภาพเตาสำหรับหุงต้ม  | 13   |
| <b>บทที่ 3 การออกแบบ</b>  |      |
| 3.1 การวิเคราะห์หม้อก๋วยเตี๋ยวแบบทั่วไป                                   | 15   |
| 3.2 การวิเคราะห์หม้อก๋วยเตี๋ยวแบบหุ้มฉนวน                                 | 23   |

|  |    |
|--|----|
| 3.3 การวิเคราะห์หม้อถ้วยเดี่ยวแบบมีพื้นที่รับความร้อนทางด้านข้าง | 29 |
| 3.4 การเลือกหม้อถ้วยเดี่ยว ที่ออกแบบมาสร้าง                      | 51 |
| บทที่ 4 การดำเนินงาน   |    |
| 4.1 อุปกรณ์การทดลองและเครื่องมือวัด                              | 52 |
| 4.2 วิธีการทดสอบ   | 55 |
| บทที่ 5 การวิเคราะห์การทดลอง                                     |    |
| 5.1 วิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ                               | 57 |
| 5.2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อถ้วยเดี่ยว            | 59 |
| 5.3 วิเคราะห์การใช้งานของร้านขายถ้วยเดี่ยวที่นำหม้อไปทดลองใช้    | 61 |
| บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ                              |    |
| 6.1 สรุปผลการทดลอง   | 62 |
| 6.2 ข้อเสนอแนะ   | 62 |
| บรรณานุกรม   | 63 |
| ภาคผนวก  | 64 |



## สารบัญตาราง

|  | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 1 ผลการทดลองตั้งแต่เริ่มต้มน้ำจนน้ำเริ่มเดือดของหม้อแบบมีปล่อง            | 64   |
| ตารางที่ 2 ผลการทดลองตั้งแต่เริ่มต้มน้ำจนน้ำเริ่มเดือดของหม้อแบบทั่วไป             | 65   |
| ตารางที่ 3 ผลการทดลองการต้มน้ำในช่วงน้ำเดือดของหม้อแบบมีปล่อง                      | 66   |
| ตารางที่ 4 ผลการทดลองการต้มน้ำในช่วงน้ำเดือดของหม้อแบบทั่วไป                       | 69   |
| ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นกับเวลา                              | 72   |
| ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ก๊าซหุงต้มกับประสิทธิภาพของหม้อก๋วยเตี๋ยว | 73   |
| ตารางที่ 7 ตารางคุณสมบัติทางอุณหพลวัตของไอน้ำ                                      | 76   |
| ตารางที่ 8 Metallic Solids   | 77   |
| ตารางที่ 9 Nonmetallic Solids  | 78   |



## สารบัญรูปภาพ

|  | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.1 ผังหลายชั้นรูปทรงกระบอกที่มีแกนร่วมกัน                                  | 4    |
| รูปที่ 3.1 หม้อที่ใช้ตามร้านทั่วไป   | 15   |
| รูปที่ 3.2 แสดงปริมาณความร้อนของหม้อแบบทั่วไป                                      | 16   |
| รูปที่ 3.3 หม้อกัวยเดี่ยวที่มีการหุ้มฉนวนด้วยฉนวน                                  | 24   |
| รูปที่ 3.4 แสดงปริมาณความร้อนของหม้อกัวยเดี่ยวแบบหุ้มฉนวน                          | 25   |
| รูปที่ 3.5 แสดงรูปแบบของปล่องที่ใช้สวกับหม้อกัวยเดี่ยวแบบทั่วไป                    | 29   |
| รูปที่ 3.6 การเคลื่อนตัวของก๊าซร้อนภายในปล่อง                                      | 30   |
| รูปที่ 3.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในแต่ละจุดภายในปล่อง                | 31   |
| รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของความร้อนในช่วงความสูง $H_{design1}$                        | 41   |
| รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของความร้อนในช่วงความสูง $H_{design2}$                        | 50   |
| รูปที่ 4.1 เตาแก๊ส   | 53   |
| รูปที่ 4.2 หม้อกัวยเดี่ยวแบบมีปล่องเพิ่มพื้นที่รับความร้อน                         | 53   |
| รูปที่ 4.3 แสดงกันหม้อระหว่างหม้อแบบทั่วไปและหม้อที่มีปล่องเพิ่มพื้นที่รับความร้อน | 54   |
| รูปที่ 4.4 คาดาล็อกเกอร์   | 54   |
| รูปที่ 4.5 แสดงการตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ  | 55   |

## สารบัญกราฟ

|   | หน้า |
|---|------|
| กราฟที่ 3.1 ความร้อนที่สูญเสียในแต่ละความหนาของฉนวน                       | 24   |
| กราฟที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มอุณหภูมิกับเวลาในการต้ม            | 58   |
| กราฟที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ก๊าซหุงต้มกับประสิทธิภาพของหม้อ | 60   |



## ลำดับสัญลักษณ์

| สัญลักษณ์      | ความหมาย   | หน่วย          |
|----------------|--|----------------|
| A              | พื้นที่ผิวของกันหม้อถ้วยเดี่ยว   | m <sup>2</sup> |
| A <sub>s</sub> | พื้นที่ผิวด้านข้างของหม้อถ้วยเดี่ยว  | m <sup>2</sup> |
| A <sub>1</sub> | พื้นที่ผิวด้านข้าง ทางด้านในของหม้อถ้วยเดี่ยว<br>ในส่วนที่มีความสูงเท่ากับ H <sub>design1</sub>      | m <sup>2</sup> |
| A <sub>2</sub> | พื้นที่ผิวด้านข้างทางด้านนอกของหม้อถ้วยเดี่ยว<br>ในส่วนที่มีความสูงเท่ากับ H <sub>design1</sub>      | m <sup>2</sup> |
| A <sub>3</sub> | พื้นที่ผิวด้านข้างทางด้านในของปล่องหม้อถ้วยเดี่ยว<br>ในส่วนที่มีความสูงเท่ากับ H <sub>design1</sub>  | m <sup>2</sup> |
| A <sub>4</sub> | พื้นที่ผิวด้านข้างทางด้านนอกของปล่องหม้อถ้วยเดี่ยว<br>ในส่วนที่มีความสูงเท่ากับ H <sub>design1</sub> | m <sup>2</sup> |
| A <sub>5</sub> | พื้นที่ผิวด้านข้างทางด้านในของหม้อถ้วยเดี่ยว<br>ในส่วนที่มีความสูงเท่ากับ H <sub>design2</sub>       | m <sup>2</sup> |
| A <sub>6</sub> | พื้นที่ผิวด้านข้างทางด้านนอกของหม้อถ้วยเดี่ยว<br>ในส่วนที่มีความสูงเท่ากับ H <sub>design2</sub>      | m <sup>2</sup> |
| A <sub>7</sub> | พื้นที่ผิวด้านข้างทางด้านในของปล่องหม้อถ้วยเดี่ยว<br>ในส่วนที่มีความสูงเท่ากับ H <sub>design2</sub>  | m <sup>2</sup> |

|                |   |          |
|----------------|---|----------|
| $A_g$          | พื้นที่ผิวด้านข้างทางด้านนอกของปล่องหม้อไถ่เดี่ยว<br>ในส่วนที่มีความสูงเท่ากับ $H_{design2}$            | $m^2$    |
| $c$            | ค่าคงที่สำหรับการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่นในแนวตั้ง   | $J/kgK$  |
| $c_p$          | ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่   | $J/kgK$  |
| $c_{p,Tgas2}$  | ความร้อนจำเพาะที่อุณหภูมิ $T_{gas2}$  | $J/kgK$  |
| $c_{p,Tmean1}$ | ความร้อนจำเพาะที่อุณหภูมิ $T_{mean1}$   | $J/kgK$  |
| $c_{p,Tmean2}$ | ความร้อนจำเพาะที่อุณหภูมิ $T_{mean2}$   | $J/kgK$  |
| $c_{p,CO2}$    | ความร้อนจำเพาะของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์   | $J/kgK$  |
| $c_{p,H2O}$    | ความร้อนจำเพาะของน้ำ  | $J/kgK$  |
| $c_{p,N2}$     | ความร้อนจำเพาะของก๊าซไนโตรเจน   | $J/kgK$  |
| $d$            | เส้นผ่านศูนย์กลางของหม้อไถ่เดี่ยว   | $m$      |
| $D_{design}$   | ความกว้างของปล่องที่ออกแบบ  | $m$      |
| $E$            | พลังงานที่สูญเสียโดยการระเหยกลายเป็นไอของน้ำในหม้อไถ่เดี่ยว   | $W$      |
| $E$            | พลังงานภายในของน้ำในหม้อไถ่เดี่ยว   | $J$      |
| $g$            | ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก  | $m/s^2$  |
| $Gr_L$         | ตัวเลขกราชอฟ (Grashof Number)   |          |
| $h_a$          | สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ   | $W/m^2K$ |
| $h_g$          | สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศไปยังก้นหม้อ   | $W/m^2K$ |
| $h_w$          | สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำที่ การเดือดของของเหลวโดยที่ของเหลวไม่ได้ถูกทำให้เคลื่อนที่โดยกลไกภายนอก | $W/m^2K$ |
| $h_2$          | สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศภายในปล่องในส่วนที่มีความสูง $H_{design}$                              | $W/m^2K$ |

|                |  |          |
|----------------|--|----------|
| $h_3$          | สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ<br>ที่ออกจากปล่องในส่วนที่มีความสูง $H_{design}$         | $W/m^2K$ |
| $h_4$          | สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ<br>ภายในปล่องในส่วนที่มีความสูง $H_{design2}$            | $W/m^2K$ |
| $h_5$          | สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ<br>ที่ออกจากปล่องในส่วนที่มีความสูง $H_{design2}$        | $W/m^2K$ |
| $H_{design}$   | ความสูงของปล่องที่ออกแบบในช่วงที่มีอุณหภูมิ<br>ตั้งแต่ $T_{gas3}$ จนถึงอุณหภูมิ $T_{gas4}$ | m        |
| $H_{design2}$  | ความสูงของปล่องในส่วนที่มีอุณหภูมิ<br>ตั้งแต่ $T_{gas4}$ ถึง $T_{gas5}$                    | m        |
| $H_1$          | ความสูงของหม้อไถ้เตี้ย   | m        |
| $k$            | สภาพการนำความร้อน  | $W/mK$   |
| $k_{ash}$      | สภาพการนำความร้อนของขี้เถ้า  | $W/mK$   |
| $k_s$          | สภาพการนำความร้อนของสแตนเลส  | $W/mK$   |
| $L_a$          | ความหนาของขี้เถ้า  | m        |
| $L_s$          | ความหนาของสแตนเลส  | m        |
| $LHV_{C_3H_8}$ | ค่าความร้อนต่ำของ โพรเพน   | $kJ/kg$  |
| $m_a$          | มวลของอากาศต่อเวลา   | $kg/s$   |
| $m_f$          | มวลของเชื้อเพลิงต่อเวลา  | $kg/s$   |
| $\Delta m$     | อัตราการเปลี่ยนแปลงมวลของน้ำ   | $kg/s$   |
| $n$            | ค่าเลขยกกำลังของการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่นในแนวตั้ง  |          |
| $N_{um}$       | ตัวเลขนัสเซลท์(Nusselt number)   |          |



|                  |  |   |
|------------------|--|---|
| $Pr$             | ตัวเลขพรานเดิล (Prandtl number)  |   |
| $Q_f$            | อัตราการถ่ายเทความร้อน<br>ที่ได้จากการเผาไหม้ก๊าซ LPG  | W |
| $Q_{in}$         | อัตราการถ่ายเทความร้อน<br>ที่หม้อ ได้รับทางกันหม้อ   | W |
| $Q_{inside}$     | อัตราการถ่ายเทความร้อน<br>ที่หม้อก่อวเต็ยว ได้รับทางด้านข้าง   | W |
| $Q_{loss1}$      | อัตราการถ่ายเทความร้อน<br>ที่สูญเสียไปทางด้านข้างของหม้อก่อวเต็ยวแบบหุ้มฉนวนจี๊ด                                   | W |
| $Q_{loss.s}$     | อัตราการถ่ายเทความร้อน<br>ที่สูญเสียไปของหม้อก่อวเต็ยวแบบทั่วไป  | W |
| $Q_{loss.side}$  | อัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูญเสียไปทางด้านข้าง<br>หม้อก่อวเต็ยวในส่วนที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ $T_{gas3}$ ถึง $T_{gas4}$ | W |
| $Q_{loss.side2}$ | อัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูญเสียไปทางด้านข้าง<br>หม้อก่อวเต็ยวในส่วนที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ $T_{gas4}$ ถึง $T_{gas5}$ | W |
| $Q_{loss.side3}$ | อัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูญเสียออกจากปล่อง ไปสู่อากาศ<br>ในส่วนที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ $T_{gas4}$ ถึง $T_{gas5}$     | W |
| $r_3$            | รัศมีจากจุดกึ่งกลางถึงขอบด้านใน<br>ของฉนวนหม้อก่อวเต็ยว  | m |
| $r_4$            | รัศมีจากจุดกึ่งกลางถึงขอบด้านนอก<br>ของฉนวนหม้อก่อวเต็ยว   | m |
| $r_{w1}$         | รัศมีภายในของหม้อก่อวเต็ยว   | m |
| $r_{w2}$         | รัศมีภายนอกของหม้อก่อวเต็ยว  | m |

|                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| $r_{w3}$         | รัศมีจากจุดกึ่งกลางถึงขอบด้านใน<br>ของปล่องหม้อไถ่เดี่ยว  | m   |
| $r_{w4}$         | รัศมีจากจุดกึ่งกลางถึงขอบด้านนอก<br>ของปล่องหม้อไถ่เดี่ยว   | m   |
| $R_{inside}$     | ความต้านทานรวมของการถ่ายเทความร้อนเข้า<br>ทางด้านข้างของหม้อไถ่เดี่ยว   | K/W |
| $R_{loss.side}$  | ความต้านทานรวมของการถ่ายเทความร้อนออก<br>ทางด้านข้างของปล่องหม้อไถ่เดี่ยว ในส่วนที่มี<br>อุณหภูมิตั้งแต่ $T_{gas3}$ จนถึง $T_{gas4}$              | K/W |
| $R_{loss.side2}$ | ความต้านทานรวมของการถ่ายเทความร้อนออก<br>ทางด้านข้างของปล่องหม้อไถ่เดี่ยวในส่วนที่มี<br>อุณหภูมิตั้งแต่ $T_{gas4}$ จนถึง $T_{gas5}$               | K/W |
| $R_{loss.side3}$ | ความต้านทานรวมของการถ่ายเทความร้อน<br>ออกทางด้านข้างของปล่องหม้อไถ่เดี่ยวออก<br>สู่บรรยากาศในส่วนที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ $T_{gas4}$ จนถึง $T_{gas5}$ | K/W |
| $t$              | เวลา  | s   |
| $T_{air}$        | อุณหภูมิของอากาศ  | K   |
| $T_{assume}$     | อุณหภูมิที่สมมติว่ามีอุณหภูมิ<br>ต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำภายในหม้อไถ่เดี่ยว  | K   |
| $T_f$            | อุณหภูมิเฉลี่ย  | K   |
| $T_{gas1}$       | อุณหภูมิของเปลวไฟ   | K   |
| $T_{gas2}$       | อุณหภูมิของอากาศที่กั้นหม้อไถ่เดี่ยว  | K   |
| $T_{gas3}$       | อุณหภูมิของอากาศที่เข้าปล่อง  | K   |

|               |   |          |
|---------------|---|----------|
| $T_{gas4}$    | อุณหภูมิของอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจนน้ำในหม้อ | K        |
| $T_{gas5}$    | อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากปล่อง                          | K        |
| $T_{mean1}$   | อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง $T_{water}$ กับ $T_{gas3}$        | K        |
| $T_{mean2}$   | อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง $T_{assume}$ กับ $T_{gas4}$       | K        |
| $T_{room}$    | อุณหภูมิห้อง  | K        |
| $T_{w1}$      | อุณหภูมิของผนังก้นหม้อกั่วเดียว                         | K        |
| $T_{w2}$      | อุณหภูมิของผนังหม้อกั่วเดียวด้านนอกช่วง $H_{design1}$   | K        |
| $T_{w3}$      | อุณหภูมิของผนังปล่องด้านใน ช่วง $H_{design1}$           | K        |
| $T_{w4}$      | อุณหภูมิของผนังหม้อกั่วเดียวด้านนอกช่วง $H_{design2}$   | K        |
| $T_{w5}$      | อุณหภูมิของผนังปล่องด้านใน ช่วง $H_{design2}$           | K        |
| $T_{wall}$    | อุณหภูมิของผนังด้านข้างหม้อกั่วเดียวแบบธรรมดา           | K        |
| $T_{water}$   | อุณหภูมิของน้ำเดือด                                     | K        |
| $\alpha$      | ค่าการแผ่กระจายความร้อน                                 | $m^2/s$  |
| $\beta$       | สัมประสิทธิ์การขยายตัว                                  | $K^{-1}$ |
| $\eta_{comb}$ | ประสิทธิภาพการเผาไหม้                                   |          |
| $\eta_{o,p}$  | ประสิทธิภาพของหม้อกั่วเดียว                             |          |
| $\mu$         | ความหนืดพลศาสตร์  | kg/ms    |
| $\nu$         | ความหนืดจลศาสตร์  | $m^2/s$  |
| $\rho$        | ความหนาแน่น   | $kg/m^3$ |
| $\phi$        | ค่าอัตราส่วนสมมูล                                       |          |