# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| ใบรับรองโครงงาน | ก |
| บทคัดย่อ | ข |
| Abstract | ง |
| กิตติกรรมประกาศ | จ |
| สารบัญ | ช |
| สารบัญตาราง | ฌ |
| สารบัญรูปภาพ | ญ |
| สารบัญกราฟ | ฎ |
| ลำดับสัญลักษณ์ | ฏ |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 หลักการและเหตุผล | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของโครงงาน | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน | 2 |
| 1.5 ผลที่คาดว่าได้รับ | 2 |
| บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี | |
| 2.1 รูปร่างและลักษณะของเครื่องขัดข้าว | 3 |
| 2.2 เทอร์โมไซฟอน | 4 |
| 2.3 สมมติฐานสมการพลังงานของหินขัดข้าวขาว | 20 |
| **บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน** | |
| **3.1 การออกแบบเทอร์โมไซฟอน** | **22** |
| **3.2 การออกแบบในการทดลอง** | **22** |
| **3.3 การสร้างชุดทดลอง** | **25** |
| **3.4 อุปกรณ์ประกอบและเครื่องมือวัด** | **26** |

3.5 วิธีการทดลอง 27
3.6 วิธีการวิเคราะห์ 29
บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลอง
4.1 การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากท่อเทอร์โมไซฟอน 30
4.2 การวิเคราะห์สมการพลังงานของหินขัดข้าวขาว 32
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการทดลอง 36
5.2 ข้อเสนอแนะ 36
บรรณานุกรม 37
ภาคผนวก 38

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ผลการทดลอง 38

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากหินขัดข้าวขาว ของเครื่องขัดข้าวขาวที่อุณหภูมิผิวหินขัดต่าง ๆ 43

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากหินขัดข้าวขาว ของเครื่องขัดข้าวขาวทางด้านล่างที่อุณหภูมิผิวหินขัดต่าง ๆ 43

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากหินขัดข้าวขาว ของเครื่องขัดข้าวขาวทางด้านบนที่อุณหภูมิผิวหินขัดต่าง ๆ 44

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากหินขัดข้าวขาว ของเครื่องขัดข้าวขาวที่อุณหภูมิผิวหินขัดต่าง ๆ 44

ตารางที่ 5 การประมาณอุณหภูมิจากหินขัดข้าวขาวของเครื่องขัดข้าวขาว ที่จะเกิดขึ้นจริงเมื่อทำการติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนเข้าไปภายในหินขัดข้าวขาว ของเครื่องขัดข้าวขาว 45

ตารางที่ 6 อุณหภูมิของหินขัดก่อนและหลังติดเทอร์โมไซฟอนและจากการออกแบบ 45

ตารางที่ 7 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ 45

# สารบัญรูปภาพ


| | หน้า |
|---|---|
| รูป 2.1 เครื่องขัดข้าวขาวแบบหินกากเพชรและหินขัดข้าวขาวแบบหินกากเพชร | 3 |
| รูป 2.2 ตะแกรงหินขัดข้าวขาว | 4 |
| รูป 2.3 ท่อเทอร์โมไซฟอนแบบแนวดิ่งและแบบเอียง | 5 |
| รูป 2.4 แบบจำลองเทอร์โมไซฟอนสองสถานะหมุนร่วมศูนย์แบบผนังขนาน | 7 |
| รูป 2.5 ตำแหน่งค่าความต้านทานความร้อนและการเขียนวงจรความต้านทานความร้อน | 9 |
| รูป 2.6 ลักษณะของอุณหภูมิในส่วนทำระเหย | 15 |
| รูป 2.7 ผลกระทบของ Hydrostatic Head ที่ Saturation Temperature | 16 |
| รูป 2.8 การเปลี่ยนแปลงของ f1 ในสมการ 2.36 กับ BOND NUMBER | 19 |
| รูป 2.9 การเปลี่ยนแปลงของ f1 ในสมการ 2.36 กับมุมเอียง | 20 |
| รูป 2.10 การถ่ายเทความร้อนของหินขัดข้าวขาวก่อนติดเทอร์โมไซฟอน | 21 |
| รูป 2.11 การถ่ายเทความร้อนของหินขัดข้าวขาวเมื่อติดเทอร์โมไซฟอน | 21 |
| รูป 3.1 ผังการทำงานของชุดทดสอบ | 23 |
| รูป 3.2 ตำแหน่งค่าความต้านทานความร้อนและการเขียนวงจรความต้านทานความร้อนที่ได้จากการทดลอง | 24 |
| รูป 3.3 โครงสร้างชุดทดสอบ | 25 |
| รูป 3.4 ชุดทดสอบ | 26 |
| รูป 3.5 ชุดเทอร์โมไซฟอน | 27 |
| รูป 3.6 ชุดควบคุมอุณหภูมิ | 28 |
| รูป 3.7 กล่องระบบปิดหุ้มฉนวนกันความร้อน | 28 |

# สารบัญกราฟ


หน้า

กราฟ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อน ของท่อเทอร์โมไซฟอนกับอุณหภูมิอากาศส่วนทำระเหย 29

กราฟ 4.2 ผลต่างอุณหภูมิของหินขัดข้าวขาวจากการทดลอง และการคำนวณของท่อเทอร์โมไซฟอน 32

# ลำดับสัญลักษณ์

| | | | |
|---|---|---|---|
| $A$ | = | พื้นที่หน้าตัดภายในท่อ | ($m^2$) |
| $A_{fin}$ | = | พื้นที่ผิวครีบรับและระบายความร้อน | ($m^2$) |
| $A_X$ | = | พื้นที่หน้าตัดของผนังท่อ | ($m^2$) |
| $A_{ผิวนอก}$ | = | พื้นที่ผิวหินขัดข้าวขาวรอบนอก | ($m^2$) |
| $A_{เหล็ก}$ | = | พื้นที่ผิวเหล็กประกบด้านบนและด้านล่าง | ($m^2$) |
| $Bo$ | = | Bond number | |
| $C$ | = | ค่าคงที่ความต้านทานในความร้อนที่ฟิล์มของเหลวในส่วนควบแน่นมีค่า 0.235 | |
| $C_{pl}$ | = | ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารทำงานที่เป็นของเหลว | (J/kgK) |
| $C_v$ | = | ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่ | (kJ/kgK) |
| $D_o$ | = | เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ | (m) |
| $D$ | = | เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ | (m) |
| $F$ | = | อัตราการเติมสารทำงาน | |
| $f_1$ | = | function of the Bond number | |
| $f_2$ | = | function of the dimensionless pressure parameter | |
| $f_2$ | = | *function of the inclination of the pipe* | |
| $f(Ts)$ | = | ฟังก์ชันของอุณหภูมิหินขัด | |
| $g$ | = | ค่าคงที่แรงโน้มถ่วงของโลก | ($m/s^2$) |
| $\bar{h}$ | = | สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย | ($W/m^2K$) |
| $h_{eo}$ | = | ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของส่วนทำระเหย | ($W/m^2K$) |
| $h_{co}$ | = | ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของส่วนควบแน่น | ($W/m^2K$) |
| $h_{อากาศ}$ | = | ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของอากาศ | ($W/m^2K$) |
| $Kp$ | = | dimensionless pressure parameter | |
| $k_{เหล็กแผ่น}$ | = | ค่าการนำความร้อน | (W/mK) |
| $L$ | = | ค่าความร้อนแฝงจำเพาะของไอ | (J/kgK) |
| $l_e$ | = | ความยาวส่วนทำระเหย | (m) |
| $l_c$ | = | ความยาวส่วนควบแน่น | (m) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $l_a$ | = | ความยาวส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน | (m) |
| $N_{ul}^{-}$ | = | Nusselt number avage | |
| $P_r$ | = | Prandtl number | |
| $p_a$ | = | ความดันบรรยากาศ | ($N/m^2$) |
| $p_p$ | = | ความดันที่ด้านล่างของท่อความร้อน | ($N/m^2$) |
| $p_v$ | = | ความดันไอของสารทำงาน | ($N/m^2$) |
| $Q$ | = | อัตราการถ่ายเทความร้อน | (W) |
| $Q_{in}$ | = | อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผิวหินขัดข้าวขาว | (W) |
| $Q_{loss}$ | = | อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากผิวกล่องระบบปิดที่ส่วนควบแน่น | (W) |
| $Q_{max}$ | = | อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด | (W) |
| $Q_{out1}$ | = | อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากผิวหินขัดข้าวขาว | (W) |
| $Q_{out2}$ | = | อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากเหล็กด้านล่างของหินขัด | (W) |
| $Q_{out3}$ | = | อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากเหล็กด้านบนของหินขัด | (W) |
| $Re_f$ | = | Reynolds number | |
| $r$ | = | รัศมีของท่อเทอร์โมไซฟอน | (mm) |
| $r_a$ | = | รัศมีเฉลี่ยของท่อเทอร์โมไซฟอน | (mm) |
| $s_e$ | = | พื้นที่ผิวภายในของส่วนทำระเหย | ($m^2$) |
| $s_{eo}$ | = | พื้นที่ผิวของส่วนทำระเหย | ($m^2$) |
| $s_{co}$ | = | พื้นที่ผิวของส่วนควบแน่น | ($m^2$) |
| $\Delta T$ | = | ผลต่างอุณหภูมิประสิทธิผลรวม | (°C) |
| $\Delta T_h$ | = | ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเนื่องจาก hydrostatic head | (°C) |
| $T_{so}$ | = | แหล่งความร้อน | (°C) |
| $T_{si}$ | = | แหล่งระบายความร้อน | (°C) |
| $T_{eo}$ | = | อุณหภูมิผิวภายนอกของท่อที่แหล่งจ่ายความร้อน | (°C) |
| $T_{co}$ | = | อุณหภูมิผิวภายนอกของท่อที่แหล่งระบายความร้อน | (°C) |
| $T_p$ | = | อุณหภูมิที่ด้านล่างของส่วนทำระเหย | (°C) |
| $T_{me}$ | = | อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลในส่วนทำระเหย | (°C) |
| $T_v$ | = | อุณหภูมิของไอ | (°C) |
| $T_{ve}$ | = | อุณหภูมิของไอในส่วนควบแน่น | (°C) |
| $T_{ผิวหิน}$ | = | อุณหภูมิของผิวหิน | (°C) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{อากาศ}$ | = | อุณหภูมิอากาศ | (°C) |
| $T_\infty$ | = | อุณหภูมิอากาศ | (°C) |
| $t1$ | = | ความหนาของท่อเทอร์โมไซฟอน | (mm) |
| $u_\infty$ | = | ความเร็วของอากาศ | (m/s) |
| $V_l$ | = | ปริมาตรสารทำงานที่เป็นของเหลว | ($m^3$) |
| $Z$ | = | ค่าความต้านทานความร้อนรวม | (K/W) |
| $Z_1$ | = | ค่าความต้านทานความร้อนระหว่างแหล่งความร้อน (Heat source) กับผิวนอกของส่วนทำระเหย | (K/W) |
| $Z_2$ | = | ค่าความต้านทานความร้อนตลอดความหนาของผนังท่อในส่วนทำระเหย | (K/W) |
| $Z_3$ | = | ค่าความต้านทานความร้อนของชั้นของเหลวที่กลั่นตัวมาจากไอในส่วนของส่วนทำระเหย | (K/W) |
| $Z_{3f}$ | = | ค่าความต้านทานความร้อนที่ฟิล์มของของเหลวในส่วนทำระเหย | (K/W) |
| $Z_{3p}$ | = | ค่าความต้านทานความร้อนที่แอ่งของของเหลวในส่วนทำระเหย | (K/W) |
| $Z_4$ | = | ค่าความต้านทานความร้อนของผิวของเหลวกับไอภายในท่อความร้อน | (K/W) |
| $Z_5$ | = | ค่าความต้านทานความร้อนเนื่องจากความดันที่ลดลงของไอที่ไหลจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่น | (K/W) |
| $Z_6$ | = | ค่าความต้านทานความร้อนของผิวของเหลวกับไอภายในท่อความร้อน | (K/W) |
| $Z_7$ | = | ค่าความต้านทานความร้อนของชั้นของเหลวที่กลั่นตัวมาจากไอในส่วนของส่วนควบแน่น | (K/W) |
| $Z_8$ | = | ค่าความต้านทานความร้อนตลอดความหนาของผนังท่อในส่วนควบแน่น | (K/W) |
| $Z_9$ | = | ค่าความต้านทานความร้อนระหว่างผิวนอกของส่วนควบแน่นกับแหล่งระบายความร้อน (Heat Sink) | (K/W) |
| $Z_{10}$ | = | ค่าความต้านทานความร้อนในแนวแกนของผนังท่อความร้อน | (K/W) |
| $\lambda_x$ | = | ค่าการนำความร้อนของผนังท่อ | (W/mK) |
| $\lambda_l$ | = | ค่าการนำความร้อนของสารทำงานที่เป็นของเหลว | (W/mK) |
| $\mu_l$ | = | ความหนืดพลศาสตร์ของสารทำงานที่เป็นของเหลว | ($Ns/m^2$) |
| $\Phi_2$ | = | Figure of Merit for Condensation | |
| $\Phi_3$ | = | Figure of Merit for nucleate boiling | |
| $\beta$ | = | มุมเอียงของท่อความร้อนจากแนวระดับ | (องศา) |
| $\rho_l$ | = | ความหนาแน่นของสารทำงานที่เป็นของเหลว | ($kg/m^3$) |

$\rho_v$ = ความหนาแน่นของสารทำงานที่เป็นไอ (kg/m$^3$)

$\sigma$ = แรงตึงผิวของของเหลว (N/m)

$\sigma_i$ = ค่าความเค้นของเหล็กที่ใช้ทำท่อเทอร์โมไซฟอน (Pa)

$\varepsilon$ = ความพรุน

$\nu$ = ความหนืดจลน์ของของไหล (m$^2$/s)