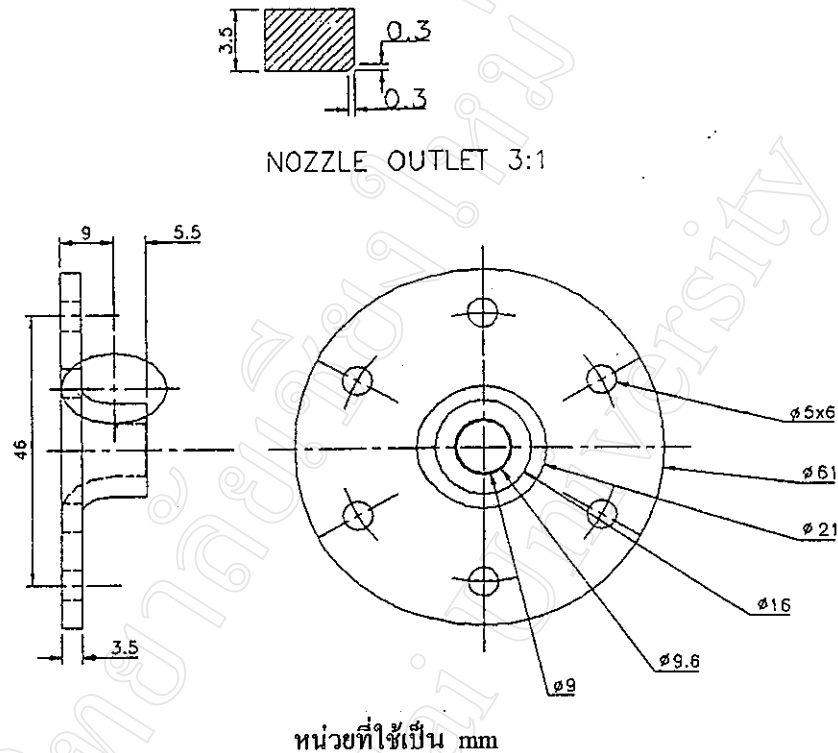


ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

- * เครื่องวัดอัตราการไหลแบบหัวฉีด
- * ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพหัวฉีดไอน้ำ
- * รายละเอียดและคุณลักษณะเฉพาะของระบบทำความเย็นด้วยสูญญากาศ
โดยใช้หัวฉีดไอน้ำ

เครื่องวัดอัตราการไหลแบบหัวฉีด สร้างตามมาตรฐานของ ASME Power Test Code



รูป ก.1 เครื่องวัดอัตราการไหลแบบหัวฉีด

การวัดความดันแตกต่างจะใช้แท็บ (Tab) ติดตั้งที่ทางเข้าและทางออก โดยที่ความดันแตกต่างของเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านหัวฉีดจะใช้ U-tube Manometer ภายในบรรจุด้วยปรอทและทำสเกลเพื่ออ่านค่าความดันแตกต่าง หาได้จากสมการต่าง ๆ ดังนี้

$$\Delta P = (\gamma_{Hg} - \gamma_{air})h \quad \dots\dots\dots \text{ก - 1}$$

เมื่อ $\gamma = \rho g$ จะได้ว่า

$$\Delta P = g(\rho_{Hg} - \rho_{air})h \quad \dots\dots\dots \text{ก - 2}$$

ดังนั้นให้ ρ_{air} หาคancel จะได้ว่า

$$\frac{\Delta P}{\rho_{air}} = g\left(\frac{\rho_{Hg}}{\rho_{air}} - 1\right)h \quad \dots\dots\dots \text{ก - 3}$$

โดยที่

ΔP = ความดันแตกต่างของอากาศที่ไหลผ่านหัวฉีด, kPa

ρ_{air} = ความหนาแน่นของอากาศที่ทางเข้า (ρ_i), kg/m^3

ρ_{Hg} = ความหนาแน่นของปรอท ($\rho_{Hg} = 13600$), kg/m^3

g = ความโน้มถ่วงเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก = 9.81 m/s^2

h = ความสูงของ U - tube Manometer, m

สำหรับของไหลที่อัดตัวได้ อัตราการไหลของของไหลที่ผ่านหัวฉีดจะตั้งอยู่บนพื้นฐานคุณสมบัติของของไหลที่ทางเข้า สำหรับอัตราการไหลเชิงปริมาตร หาได้จากสมการ

$$Q_1 = CEYA_2 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_1}} \quad \text{..... ก - 4}$$

อัตราการไหลเชิงมวล

$$\dot{m} = Q_1 \rho_1 \quad \text{..... ก - 5}$$

สำหรับตัวแปรต่าง ๆ ของเครื่องวัดอัตราการไหลแบบหัวฉีด ตามมาตรฐานการออกแบบของ ASME Power Test Code หาได้ดังนี้

$C = 0.9975 - 0.00653 (10^6/R_d)^a$ เมื่อ $a = 1/2$ สำหรับ $R_d < 10^6$ และ $a = 1/5$ สำหรับ $R_d > 10^6$ ในการหาค่า C ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับตัวเลขเรย์โนลด์ส์ (R_d) และคุณสมบัติของของไหลที่ทางเข้าเครื่องวัดอัตราการไหลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง d หาค่าต่างๆ ดังนี้

เลขเรย์โนลด์ส์

$$R_d = \frac{4\rho_1 Q_1}{\pi d \mu_1} \quad \text{..... ก - 6}$$

$$E = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}}, \quad \beta = \frac{d}{D} \quad \text{..... ก - 7}$$

Y = Expansion Factor (หาได้จากกราฟรูป ก.2)

โดยที่

Q_1 = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ทางเข้า, m^3/s

$\dot{m}$ = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, kg/s

ρ_1 = ความหนาแน่นของอากาศที่ทางเข้า, kg/m^3

A_2 = พื้นที่หน้าตัดของเครื่องวัดอัตราการไหล, m^2

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องวัดอัตราการไหล, m

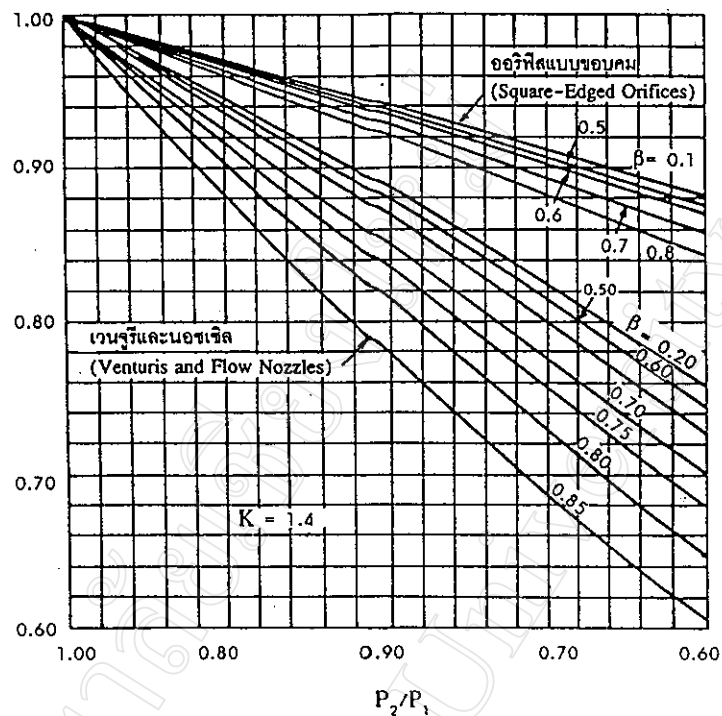
D = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ, m

R_d = ตัวเลขเรย์โนลด์ส์

β = อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องวัดอัตราการไหลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (d/D)

Y = ตัวแปรของการขยายตัวของเครื่องวัดอัตราการไหล

μ_1 = ความหนืดสมมูลของอากาศที่ทางเข้า, Pa. s



รูป ก.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Expansion Factor (Y) กับอัตราส่วนระหว่าง P_2/P_1 ที่เปลี่ยนแปลงในตัววัดแบบออร์ฟิส เวนจูรี และหัวฉีด (6)

ในการทดสอบหัวฉีดไอน้ำในจะใช้อากาศแห้งเป็นภาระทางด้านดูด โดยได้ออกแบบให้ภาระอากาศแห้งทางด้านดูดเท่ากับ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 37, 40 และ 45 kg/h แต่อากาศในบรรยากาศจะมีไอน้ำหรืออากาศชื้นผสมกับอากาศแห้ง ดังนั้นถ้ารู้ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิบรรยากาศที่ใช้ทดสอบก็จะสามารถหาความชื้นจำเพาะของอากาศ (Specific Humidity of Air) ได้จากแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart) หรือหาได้จากสมการต่าง ๆ ดังนี้

$$\omega = \frac{0.622 \phi P_g}{P - \phi P_g}$$

..... ก - 8

เมื่อ

$$P_g = P_{sat@T}$$

โดยที่

ω = ความชื้นจำเพาะของอากาศ, $\text{kg}_{\text{steam}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$

ϕ = เปอร์เซนต์ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, %

P = ความดันที่บรรยากาศ, kPa

P_g = ความดันไออิ่มตัวของไอน้ำ, kPa

$P_{sat@T}$ = ความดันของไออิ่มตัวที่อุณหภูมิขณะนั้น, kPa

ข้อกำหนดการออกแบบเครื่องวัดอัตราการไหล (ดูรูป ก.1 ประกอบด้วย)

เส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้าของท่อ, $D = 25 \text{ mm}$

เส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องวัดอัตราการไหล, $d = 9 \text{ mm}$

อัตราส่วนของการสูญเสียความดันของเครื่องวัดอัตราการไหล, $P_2/P_1 = 0.80$

อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องวัดอัตราการไหลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ หาได้จากสมการ ก - 7

$$\beta = \frac{9}{25} = 0.36$$

โดยที่

$$E = \frac{1}{\sqrt{1-0.36^4}} = 1.009$$

$$Y = 0.882 \text{ (จากรูป ก.2)}$$

ข้อกำหนดสภาวะของอากาศที่ทางเข้าเครื่องวัดอัตราการไหล

ความดันบรรยากาศ, $P_1 = 99.8 \text{ kPa}$

อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้า, $T_1 = 303 \text{ K } (30^\circ\text{C})$

ความชื้นสัมพัทธ์, $\phi = 72 \%$

ความดันไออิ่มตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิ 30°C , $P_g = 4.246 \text{ kPa}$ (จากตาราง ข.1 ในภาคผนวก ข)

ความหนืดสมมูลของอากาศที่ทางเข้า, $\mu_1 = 184.016 \times 10^{-7} \text{ Pa.s}$ (จากตาราง ข.3 ในภาคผนวก ข)

ค่าคงที่ของอากาศ, $R = 0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$

สามารถคำนวณหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

ความหนาแน่นของอากาศที่ทางเข้า

$$\rho_1 = \frac{P_1}{RT_1} = \frac{99.8}{0.287 \times 303} = 1.148 \text{ kg/m}^3$$

ความชื้นจำเพาะของอากาศ หาได้จากสมการ ก - 8

$$\omega = \frac{0.622 \times 0.72 \times 4.246}{99.8 - 0.72 \times 4.246} = 0.020 \text{ kg}_{\text{steam}} / \text{kg}_{\text{dry air}}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

สำหรับอัตราการไหลของอากาศที่ภาระอากาศแห้งค่าต่าง ๆ อัตราการไหลของอากาศที่บรรยากาศเท่ากับ 5 kg/h ซึ่งมีไอน้ำและอากาศแห้งไหลผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลแบบหัวฉีด สามารถคำนวณหาอัตราการไหลของไอน้ำและอากาศแห้ง ได้ดังนี้

อัตราการไหลของไอน้ำ

$$\dot{m}_v = 0.02 \times 5 = 0.10 \text{ kg}_{\text{steam}}/\text{h}$$

อัตราการไหลของอากาศแห้ง

$$\dot{m}_a = 5 - 0.10 = 4.900 \text{ kg}_{\text{dry air}}/\text{h}$$

ในการคำนวณหาภาระของอากาศแห้ง เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของอากาศแห้ง = 29 และน้ำหนักโมเลกุลของไอน้ำ = 18 จากรูป 2.6 อ่านค่า Entrainment Ratio Curve สำหรับอากาศแห้ง = 1.0 และไอน้ำ = 0.8 และจากรูป 2.7 ที่อุณหภูมิบรรยากาศ 30°C (86°F) อ่านค่า Entrainment Ratio Curve สำหรับอากาศ = 1.0 และไอน้ำ = 1.0 ดังนั้นอัตราการไหลของอากาศแห้งที่อัตราการไหลของอากาศด้านดูด 5 kg/h หาได้ดังนี้

$$\dot{m}_a = \frac{4.900}{1.0 \times 1.0} + \frac{0.1}{0.8 \times 1.0} = 5.025 \text{ kg}_{\text{dry air}} / \text{h}$$

นั่นก็คือ ที่อัตราการไหลของอากาศ 5 kg/h จะทำให้อัตราการไหลของอากาศแห้งเกินเข้ามา 0.025 kg_{dry air}/h จะต้องควบคุมให้อัตราการไหลของอากาศเข้าเครื่องวัดอัตราการไหลลดลงเท่ากับ 5 - 0.025 = 4.975 kg_{dry air}/h ซึ่งความสูงของ U - tube Manometer ของเครื่องวัดอัตราการไหลแบบหัวฉีด ที่มีภาระอากาศแห้งทางด้านดูดเท่ากับ 4.975 kg_{dry air}/h หาได้จากสมการต่างๆ ดังนี้

$$Q_1 = \frac{4.975}{1.148 \times 3600} = 0.001 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$R_d = \frac{4 \times 1.148 \times 0.001}{\pi \times 0.009 \times 186.016 \times 10^{-7}} = 8730.908$$

เมื่อ $R_d < 10^6$ จะได้ $a = 0.5$

$$C = 0.9975 - 0.00653 (10^6 / 8730.908)^{0.5} = 0.928$$

แทนค่าในสมการ ก - 4

$$\frac{2\Delta P}{\rho_1} = \left[\frac{0.001}{0.928 \times 1.009 \times 0.882 \times \frac{\pi}{4} (0.009)^2} \right]^2 = 362.241 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\frac{\Delta P}{\rho_1} = \frac{362.241}{2} = 181.120 \text{ m}^2/\text{s}^2 \quad \dots\dots\dots \text{ก - 9}$$

แทนค่าในสมการ ก - 3 โดยที่ $\rho_{\text{air}} = \rho_1$

$$\frac{\Delta P}{\rho_1} = 9.81 \left(\frac{13600}{1.148} - 1 \right) h = 116206.218 h \text{ m}^2/\text{s}^2 \quad \dots\dots\dots \text{ก - 10}$$

ดังนั้น สมการที่ ก - 9 = ก - 10 จะได้ว่า

$$181.120 = 116206.218 h$$

$$h = 0.002 \text{ m}$$

ดังนั้น ที่อัตราการไหลของอากาศแห้งเท่ากับ 5 kg/h ขณะที่ไหลผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลแบบหัวฉีด จะต้องควบคุมให้ระดับความแตกต่างความสูงของปรอทใน U - tube Manometer ไว้ที่ระดับ 2 mm

การคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลแบบหัวฉีด ที่ภาระอากาศ
 แห่งที่จุดออกแบบของค่าต่าง ๆ สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกัน โดยที่ระดับความแตกต่างความสูงของระดับ
 โปรทใน U – tube Manometer จะต้องถูกควบคุมไว้ ดังนี้

ตาราง ก.1 แสดงอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านหัวฉีดกับระดับความแตกต่าง
 ของโปรทใน U – tube Manometer ที่ค่าต่าง ๆ ของการออกแบบ

อัตราการไหลของอากาศที่ค่า ต่าง ๆ ของการออกแบบ(kg/h)	อัตราการไหลของ อากาศแห่ง (kg/h)	ระดับความแตกต่างของ U – tube Manometer (mm)
0	0	0
5	4.975	2
10	9.950	6
15	14.925	18
20	19.900	33
25	24.875	51
30	29.850	74
35	34.825	101
37	36.815	112
40	39.800	131
45	44.775	165

อัตราการไหลของเครื่องวัดอัตราการไหลแบบหัวฉีดที่สามารถวัดได้สูงสุด
 ข้อมูลของการออกแบบ

$$Y = 0.882$$

$$E = 0.36$$

$$A_2 = 6.362 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$P_2/P_1 = 0.8$$

เมื่อ ความดันบรรยากาศ, $P_1 = 99.8 \text{ kPa}$

$$P_2 = 0.8 \times 99.8 = 79.640 \text{ kPa}$$

ดังนั้น

$$\frac{\Delta P}{\rho_1} = \frac{P_1 - P_2}{\rho_1} = \frac{(99.8 - 79.640) \times 1000}{1.148} = 17386.760 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

เนื่องจากสมการที่ใช้คำนวณหาค่าอัตราการไหลเชิงมวล จะมีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลเชิงปริมาตร จึงกำหนดให้ $10^6/R_d = 0$ จะได้ $C = 0.9975$ ดังนั้นอัตราการไหลเชิงปริมาตรของเครื่องวัดอัตราการไหล หาได้จากสมการ ก-4 ดังนี้

$$Q_1 = 0.9975 \times 1.009 \times 0.882 \times 6.362 \times 10^{-5} \times (2 \times 17386.760)^{0.5} \\ = 0.011 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$R_d = \frac{4 \times 1.148 \times 0.011}{\pi \times 0.009 \times 186.016 \times 10^{-7}} = 91949.600$$

เมื่อ $R_d < 10^6$ จะได้ $a = 0.5$

$$C = 0.9975 - 0.00653 (10^6/91949.6)^{0.5} = 0.977$$

ดังนั้นอัตราการไหลสูงสุดของเครื่องวัดอัตราการไหลแบบหัวฉีด

$$Q_1 = \frac{0.011 \times 0.977}{0.9975} = 0.011 \text{ m}^3/\text{s}$$

อัตราการไหลเชิงมวล

$$\dot{m} = \rho_1 Q_1 = 1.148 \times 0.011 = 0.013 \text{ kg/s} = 45.461 \text{ kg/h}$$

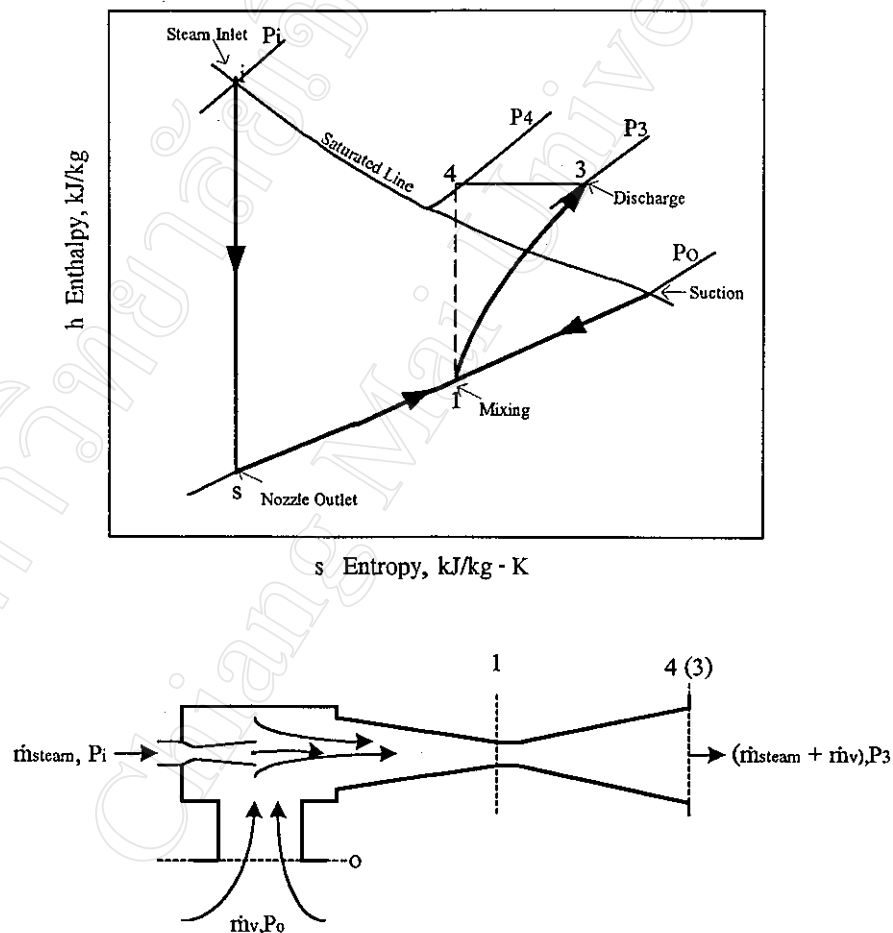
ดังนั้น เครื่องวัดอัตราการไหลแบบหัวฉีดวัดได้สูงสุด 45.461 kg/h ซึ่งมีค่ามากกว่าอัตราการไหลที่ต้องการ จึงสามารถใช้วัดอัตราการไหลของภาวะอากาศแห้งที่ค่าต่างๆ ของการออกแบบได้

ประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำ

การหาประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำ ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างพลังที่ใช้ในการอัดไอแบบไอคลอเดียเบติกต่อพลังงานของการขยายตัวของไอน้ำผ่านหัวฉีดในทางทฤษฎี ตามสมการ 2.15 คือ

$$\eta_E = \frac{(h_3 - h_o)(\dot{m}_{\text{steam}} + \dot{m}_v)}{\dot{m}_{\text{steam}}(h_i - h_s)} \times 100$$

จากการออกแบบจะใช้หัวฉีดไอน้ำจำนวนสามสแตจต่ออนุกรมกันโดยตรง โดยมีอากาศแห้งและไอน้ำที่ออกจากสแตจก่อนหน้านี้เป็นภาระทางด้านดูดของสแตจต่อไป เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการคำนวณหาประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำ จึงได้กำหนดสภาวะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในหัวฉีดไอน้ำจากแผนภาพเอนทัลปี-เอนโทรปี ดังนี้



รูป ก.3 แสดงสภาวะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในหัวฉีดไอน้ำบน h - s Diagram

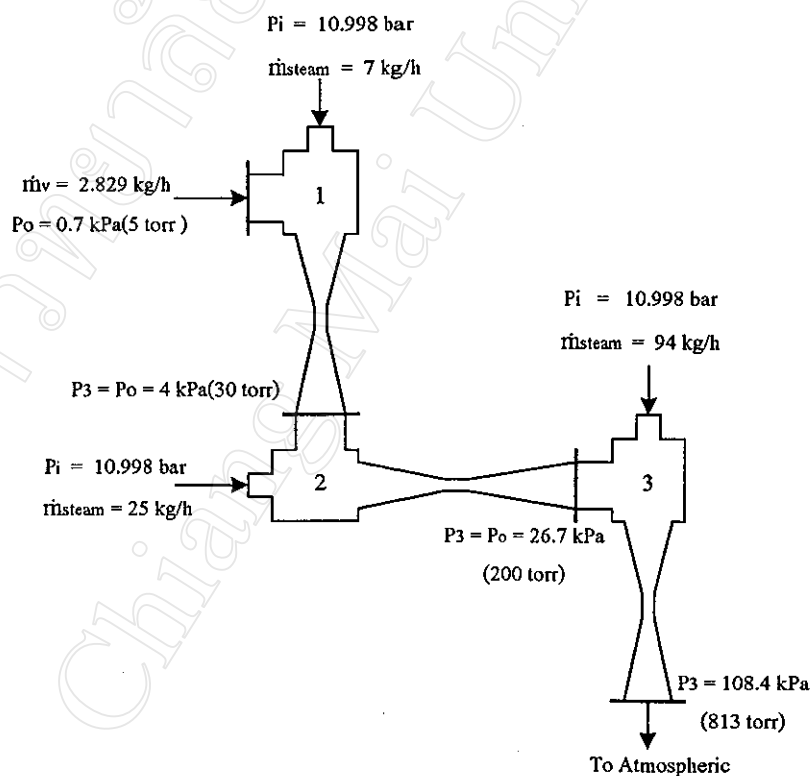
เงื่อนไขที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพหัวฉีดไอน้ำ ซึ่งตั้งอยู่บนสมมติฐาน ดังต่อไปนี้

1. ไอน้ำที่ใช้แต่ละสแตจเป็นไอน้ำแห้งอิ่มตัว ที่ความดันสมบูรณ์ (P_i) 1099.8 kPa อุณหภูมิอิ่มตัว 184°C คือสภาวะ i

2. ให้น้ำขยายตัวผ่านหัวฉีดเป็นแบบไอเซนทรอปิก โดยให้ความดันสมบูรณ์ที่ออกจากหัวฉีดเท่ากับ ความดันสมบูรณ์ของด้านดูดของแต่ละสเตจ ($P_s = P_o$) คือสภาวะ s
3. ให้น้ำในบรรยากาศทางด้านดูดและน้ำที่ออกจากหัวฉีดมีสภาวะเป็นไออิ่มตัว
4. การผสมของกระแสการไหล 1 มิติ แบบความดันคงที่ และเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ของทางเข้าตัว กระจาย ที่สภาวะ 1

ประสิทธิภาพหัวฉีดไอน้ำทางทฤษฎี

ประสิทธิภาพหัวฉีดไอน้ำทางทฤษฎี คือ ประสิทธิภาพของการอัดไอเป็นแบบอเดียเบติก ซึ่งได้จากการคำนวณที่สภาวะของการออกแบบ ที่อุณหภูมิบรรยากาศ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70% ความดันบรรยากาศ 99.8 kPa ในการลดอุณหภูมิผลิตผลจำนวน 30 kg ในถังบรรจุปริมาตร 0.539 m^3 ใช้เวลา 30 นาที จะมีไอน้ำระเหยออกจากผลิตผลและไอน้ำที่อยู่ในอากาศเท่ากับ 2.829 kg/h แสดงในรูปดังนี้



รูป ก.4 แสดงสภาวะต่างๆ ของการออกแบบหัวฉีดไอน้ำทางทฤษฎี

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 1 มีค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 P_i &= 1099.8 \text{ kPa} & P_o &= 0.7 \text{ kPa (5 torr)} \\
 P_3 &= 4 \text{ kPa (30 torr)} & \dot{m}_v &= 2.829 \text{ kg/h} \\
 \dot{m}_{\text{steam}} &= 7 \text{ kg/h}
 \end{aligned}$$

หาค่าเอนทัลปี ที่สภาวะต่าง ๆ ในภาคผนวก ข ตาราง ข.1 จะได้ค่าดังนี้

สภาวะ i $P_i = 1099.8 \text{ kPa}$ (Dry and Saturated Steam) จะได้

$$h_i = h_g @ 1099.8 \text{ kPa} = 2781.45 \text{ kJ/kg}$$

$$s_i = s_g @ 1099.8 \text{ kPa} = 6.5540 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

เนื่องจากการขยายตัวของไอน้ำแห้งอัดผ่านหัวฉีดเป็นแบบไอเซนทรอปิก เอนทัลปีของการขยายตัวแบบไอเซนทรอปิก หาได้จากสมการ

$$h_s = h_f + x h_{fg @ P_s} \quad \text{..... ก - 11}$$

เมื่อ

$$s = s_f + x s_{fg @ P_s} \quad \text{..... ก - 12}$$

$$x = \frac{s - s_f}{s_{fg}} \quad \text{..... ก - 13}$$

โดยที่

h_f = เอนทัลปีที่สภาวะของเหลว, kJ/kg

h_{fg} = เอนทัลปีที่สภาวะของผสม, kJ/kg

s_f = เอนโทรปีที่สภาวะของเหลว, kJ/kg · K

s_{fg} = เอนโทรปีที่สภาวะของผสม, kJ/kg · K

x = ความแห้งของไอ

สภาวะ s $P_s = 0.7 \text{ kPa}$, $s = 6.5540 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ จะได้

$$s_f = 0.0306 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$h_f = 8.39 \text{ kJ/kg}$$

$$s_{fg} = 9.0716 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$h_{fg} = 2496.05 \text{ kJ/kg}$$

แทนค่าในสมการ ก - 13 จะได้ว่า

$$x = \frac{6.5540 - 0.0306}{9.0716} = 0.719$$

$$h_s = 8.39 + 0.719 \times 2496.05 = 1803.05 \text{ kJ/kg}$$

สภาวะ o $P_o = 0.7 \text{ kPa}$ (Saturated Vapor)

$$h_o = h_g @ 0.7 \text{ kPa} = 2504.44 \text{ kJ/kg}$$

สภาวะ 3 เอนทัลปีของผสมด้านจ่าย (ออกจากตัวกระจาย) ไม่คิดผลการถ่ายเทความร้อน การเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ และพลังงานจลน์ และไม่มีการเกิดขึ้น จะได้ว่า

$$h_3 = \frac{\dot{m}_{\text{steam}} h_i + \dot{m}_v h_o}{\dot{m}_{\text{steam}} + \dot{m}_v} \quad \text{..... ก - 14}$$

สภาวะ 1 เอนทัลปีของผสมที่ทางเข้าตัวกระจาย คือผลของเอนทัลปีด้านจ่ายลบกับพลังงานจลน์ของของผสม จะได้ว่า

$$h_1 = h_3 - \frac{(h_i - h_s)}{(1 + \dot{m}_v / \dot{m}_{\text{steam}})^2} \quad \text{..... ก - 15}$$

เอนทัลปีทางด้านจ่าย คือ

$$h_3 = \frac{7 \times 2781.45 + 2.829 \times 2504.44}{7 + 2.829} = 2701.720 \text{ kJ/kg}$$

เอนทัลปีของผสมที่ทางเข้าตัวกระจาย

$$h_1 = 2701.720 - \frac{(2781.45 - 1803.05)}{(1 + 2.829/7)^2} = 2205.48 \text{ kJ/kg}$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 1 คือ

$$\eta_E = \frac{(2701.720 - 2504.44)(7 + 2.829)}{7(2781.45 - 1803.05)} \times 100 = 28.31 \%$$

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 2 มีค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$P_i = 1099.8 \text{ kPa} \quad P_o = 4 \text{ kPa (30 torr)}$$

$$P_3 = 26.7 \text{ kPa (200 torr)} \quad \dot{m}_v = 7 + 2.829 = 9.829 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{\text{steam}} = 25 \text{ kg/h}$$

หาค่าเอนทัลปี ที่สภาวะต่าง ๆ เช่นเดียวกับสเตจที่ 1 ได้ดังนี้

$$h_1 = h_g @ 1099.8 \text{ kPa} = 2781.45 \text{ kJ/kg}$$

$$h_s = 1974.854 \text{ kJ/kg (} P_3 = 4 \text{ kPa, } s = 6.5540 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K)}$$

$$h_o = h_g @ 4 \text{ kPa} = 2553.71 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 2717.18 \text{ kJ/kg, } h_i = 2301.46 \text{ kJ/kg}$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 2 คือ

$$\eta_E = \frac{(2717.18 - 2553.71)(25 + 9.829)}{25(2781.45 - 1974.854)} \times 100 = 28.23 \%$$

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 3 มีค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$P_i = 1099.8 \text{ kPa} \quad P_o = 26.7 \text{ kPa (200 torr)}$$

$$P_3 = 108.4 \text{ kPa (813 torr)} \quad \dot{m}_v = 25 + 9.829 = 34.289 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{\text{steam}} = 94 \text{ kg/h}$$

หาค่าเอนทัลปี ที่สภาวะต่าง ๆ เช่นเดียวกับสเตจที่ 1 ได้ดังนี้

$$h_1 = h_g @ 1099.8 \text{ kPa} = 2781.45 \text{ kJ/kg}$$

$$h_s = 2193.73 \text{ kJ/kg (} P_3 = 26.7 \text{ kPa, } s = 6.5540 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K)}$$

$$h_o = h_g @ 26.7 \text{ kPa} = 2619.94 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 2737.785 \text{ kJ/kg, } h_i = 2424.811 \text{ kJ/kg}$$

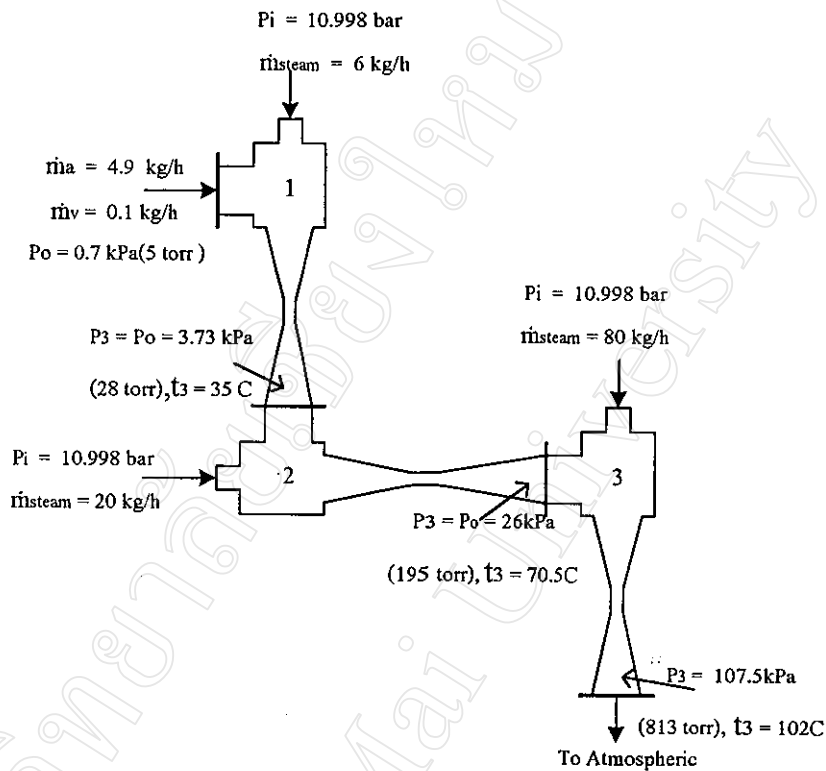
ดังนั้น ประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 3 คือ

$$\eta_E = \frac{(2737.785 - 2619.94)(94 + 34.289)}{94(2781.45 - 2193.73)} \times 100 = 27.48 \%$$

ประสิทธิภาพหัวฉีดไอน้ำที่ได้จากการทดสอบ

ประสิทธิภาพหัวฉีดไอน้ำที่ได้จากการทดสอบนี้ เป็นประสิทธิภาพของการอัดไอและอากาศแห้งที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งได้จากการวัดค่าความดัน และอุณหภูมิด้านจ่ายของแต่ละสเตจ ขณะที่หัวฉีดไอน้ำทำงานทั้งสามสเตจ ทดสอบที่ภาระทางด้านดูดของอากาศที่บรรยากาศ 5 kg/h ซึ่งมีอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % ความดันบรรยากาศ 99.8 kPa ที่สภาวะดังกล่าวมีไอน้ำในอากาศ 0.1 kg/h และอากาศแห้ง

4.9 kg/h สภาวะต่าง ๆ จากการทดสอบมีดังนี้



รูป ก.5 แสดงสภาวะต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบหัวฉีดไอน้ำ

เมื่อใช้อากาศที่บรรยากาศเป็นภาระทางด้านดูด ซึ่งประกอบด้วยอากาศแห้ง ($\dot{m}_a$) และไอน้ำ ($\dot{m}_v$) ที่มีอยู่ในบรรยากาศตามภาระด้านดูดที่จุดออกแบบ ดังนั้นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำจะเปลี่ยนไป ซึ่งอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้งคงที่ และมีเอนทัลปีของอากาศแห้ง (h_a) โดยที่ไอน้ำทางด้านดูดและไอน้ำที่ออกจากหัวฉีด ($\dot{m}_{steam}$) มีสภาวะเป็นไออิ่มตัว (h_o) จากนิยามการหาประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำ จะได้ว่า

$$\eta_E = \frac{(\dot{m}_{steam} + \dot{m}_v)(h_3 - h_o) + \dot{m}_a(h_{3a} - h_a)}{\dot{m}_{steam}(h_i - h_s)} \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{ก - 16}$$

และ

$$h_a = 1.006t \quad \dots\dots\dots \text{ก - 17}$$

โดยที่

h_i = เอนทัลปีสำหรับอากาศแห้ง, kJ/kg

h_{3a} = เอนทัลปีสำหรับอากาศแห้งด้านจ่าย, kJ/kg

$\dot{m}_a$ = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้ง, kg/h

t = อุณหภูมิผสมของของไหล, °C

ขั้นตอนในการหาค่าเอนทัลปีที่สภาวะต่าง ๆ เช่นเดียวกับการหาค่าประสิทธิภาพทางทฤษฎี
ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 1 มีค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$\begin{aligned} P_i &= 1099.8 \text{ kPa} & P_o &= 0.7 \text{ kPa (5 torr)} \\ P_3 &= 3.73 \text{ kPa (28 torr)} & \dot{m}_v &= 0.1 \text{ kg/h} \\ \dot{m}_a &= 4.9 \text{ kg/h} & \dot{m}_{\text{steam}} &= 6 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

หาค่าเอนทัลปี ที่สภาวะต่าง ๆ ในภาคผนวก ข ตาราง ข.1 และรูป ข.1 จะได้ค่าดังนี้

$$\begin{aligned} h_i &= h_g @ 1099.8 \text{ kPa} = 2781.45 \text{ kJ/kg} \\ h_s &= 1803.050 \text{ kJ/kg} (P_i = 0.7 \text{ kPa}, s = 6.5540 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \\ h_o &= h_g @ 0.7 \text{ kPa} = 2504.44 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

หาค่าเอนทัลปีของอากาศแห้ง ที่ด้านดูดอุณหภูมิ 30°C และด้านจ่ายที่อุณหภูมิ 35°C จากสมการ ก - 17 จะได้ว่า

$$\begin{aligned} h_a &= 1.006 \times 30 = 30.18 \text{ kJ/kg} \\ h_{3a} &= 1.006 \times 35 = 35.21 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

สภาวะ 3: $P_3 = 3.73 \text{ kPa}$ ($t_{\text{sat}} = 28^\circ\text{C}$) $t_3 = 35^\circ\text{C}$ ที่สภาวะดังกล่าวจะอยู่ในช่วงไอคง มีอุณหภูมิไอคง 7°C
อ่านค่าเอนทัลปีจากรูป ข.1 แผนภาพมอลเลียร์สำหรับไอน้ำ จะได้ค่า $h_3 = 2570 \text{ kJ/kg}$ และมีเอนทัลปีของ
ผสมทางเข้าตัวกระจาย, $h_i = 2278.809 \text{ kJ/kg}$

ดังนั้น ประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 1 คือ

$$\begin{aligned} \eta_E &= \frac{(6 + 0.1)(2570 - 2504.44) + 4.9(35.21 - 30.18)}{6(2781.45 - 1803.050)} \times 100 \\ &= 7.23 \% \end{aligned}$$

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 2 มีค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$\begin{aligned} P_i &= 1099.8 \text{ kPa} & P_3 &= 3.73 \text{ kPa (28 torr)} \\ P_3 &= 26 \text{ kPa (195 torr)} & \dot{m}_v &= 6.1 \text{ kg/h} \\ \dot{m}_a &= 4.9 \text{ kg/h} & \dot{m}_{\text{steam}} &= 20 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

หาค่าเอนทัลปี ที่สภาวะต่าง ๆ ในภาคผนวก ข ตาราง ข.1 และรูป ข.1 จะได้ค่าดังนี้

$$\begin{aligned} h_i &= h_g @ 1099.8 \text{ kPa} = 2781.45 \text{ kJ/kg} \\ h_s &= 1964.605 \text{ kJ/kg} (P_i = 3.37 \text{ kPa}, s = 6.5540 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \\ h_o &= h_g @ 3.37 \text{ kPa} = 2552.8 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

หาค่าเอนทัลปีของอากาศแห้ง ที่ด้านดูดอุณหภูมิ 35°C และด้านจ่ายที่อุณหภูมิ 70.5°C จากสมการ ก - 17 จะได้ว่า

$$\begin{aligned} h_a &= 1.006 \times 35 = 35.21 \text{ kJ/kg} \\ h_{3a} &= 1.006 \times 70.5 = 70.923 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

สภาวะ 3: $P_3 = 26 \text{ kPa}$ ($t_{\text{sat}} = 66^\circ\text{C}$) $t_3 = 70.5^\circ\text{C}$ ที่สภาวะดังกล่าวจะอยู่ในช่วงไอคง มีอุณหภูมิไอคง 4.5°C
อ่านค่าเอนทัลปีจากรูป ข.1 แผนภาพมอลเลียร์สำหรับไอน้ำ จะได้ค่า $h_3 = 2637 \text{ kJ/kg}$ และมีเอนทัลปี
ของผสมทางเข้าตัวกระจาย, $h_i = 2297 \text{ kJ/kg}$

ดังนั้น ประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 2 คือ

$$\eta_E = \frac{(20 + 6.1)(2637 - 2552.8) + 4.9(70.923 - 35.21)}{20(2781.45 - 1964.605)} \times 100$$

$$= 14.52 \%$$

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 3 มีค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$P_i = 1099.8 \text{ kPa} \quad P_s = 26 \text{ kPa (195 torr)}$$

$$P_3 = 107.5 \text{ kPa (807 torr)} \quad \dot{m}_v = 26.1 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_a = 4.9 \text{ kg/h} \quad \dot{m}_{\text{steam}} = 80 \text{ kg/h}$$

หาค่าเอนทัลปี ที่สภาวะต่าง ๆ ในภาคผนวก ข ตาราง ข.1 และรูป ข.1 จะได้ค่าดังนี้

$$h_i = h_g @ 1099.8 \text{ kPa} = 2781.45 \text{ kJ/kg}$$

$$h_s = 2190.925 \text{ kJ/kg (} P_s = 26 \text{ kPa, } s = 6.5540 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K)}$$

$$h_o = h_g @ 26 \text{ kPa} = 2618.92 \text{ kJ/kg}$$

หาค่าเอนทัลปีของอากาศแห้ง ที่ด้านดูดอุณหภูมิ 70.5°C และด้านจ่ายที่อุณหภูมิ 102°C จากสมการ ก-17 จะได้ว่า

$$h_1 = 1.006 \times 70.5 = 70.923 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 1.006 \times 102 = 102.612 \text{ kJ/kg}$$

สภาวะ 3: $P_3 = 107.5 \text{ kPa (} t_{\text{sat}} = 101.6^\circ\text{C)}$ $t_3 = 102^\circ\text{C}$ ที่สภาวะดังกล่าวจะอยู่ในช่วงไอคง มีอุณหภูมิไอคง 0.4°C อ่านค่าเอนทัลปีจากรูป ข.1 แผนภาพมอลเลียร์สำหรับไอน้ำ จะได้ค่า $h_3 = 2680 \text{ kJ/kg}$ และมีเอนทัลปีของผสมทางเข้าตัวกระจาย, $h_1 = 2373.24 \text{ kJ/kg}$

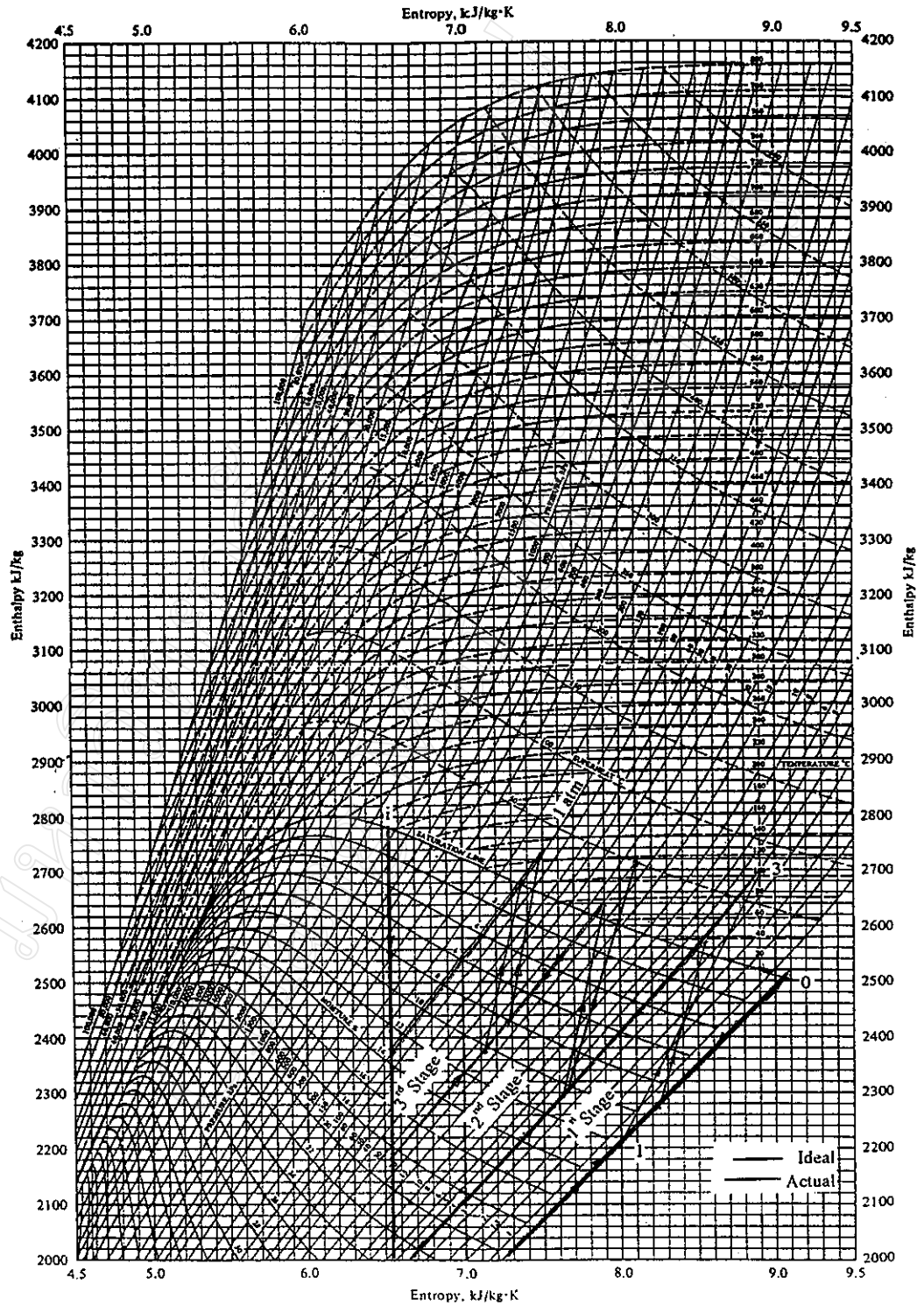
ดังนั้น ประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 3 คือ

$$\eta_E = \frac{(80 + 26.1)(2680 - 2618.92) + 4.9(102.612 - 70.923)}{80(2781.45 - 2190.925)} \times 100$$

$$= 14.05 \%$$

ตาราง ก.2 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำ
ทางทฤษฎีกับการทดสอบ

Efficiency	Steam Jet Ejector		
	Stage 1	Stage 2	Stage 3
Theoretical (%)	28.31	28.23	27.48
Test (%)	7.23	14.52	14.05



รูป ก.6 แสดงการหาประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำแบบ 3 สเตจ
ต่อเนื่องกัน บน h - s Diagram

รายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะของระบบทำความเย็นด้วยสูญญากาศโดยใช้หัวฉีดไอน้ำ
(Vacuum Cooling System Using Steam Jet Ejector Specifications)

รายละเอียดทั่วไป (General Information)

ระบบทำความเย็นด้วยสูญญากาศโดยใช้หัวฉีดไอน้ำ เป็นระบบทำความเย็นที่สร้างขึ้นมาเพื่อประยุกต์ใช้ในการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จำพวกผักใบ ที่มีก้านใบหรือก้านใบซ้อนกันเป็นชั้นหนา ๆ ซึ่งจะถูกรวบรวมไว้ในถังปิดสนิท แล้วดูดอากาศและไอน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ โดยใช้หัวฉีดไอน้ำทำหน้าที่เป็นปั๊มสูญญากาศเพื่อทำให้ความดันภายในถังลดลงต่ำกว่าบรรยากาศมาก ๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยอาศัยหลักความจริงที่ว่า น้ำที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์จะเดือดและระเหยกลายเป็นไอออกจากผิวของผลิตภัณฑ์ที่ความดันต่ำ จึงทำให้ทุกส่วนของก้านใบมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ ซึ่งจะสัมพันธ์กับความดันไออิ่มตัวที่เกิดขึ้นภายในถังบรรจุ

รายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะ (Specifications) ของระบบ

สภาวะการทำงานของระบบ	ความดันบรรยากาศ 99.8 kPa (748 torr) อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70 %
ผลิตภัณฑ์ที่ใส่ลดอุณหภูมิ	ผักใบ เช่น ผักกาดหอม ผักกระหล่ำปลี และผักกาดขาวปลี เป็นต้น
จำนวนผลิตภัณฑ์	30 kg
อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์	30°C
อุณหภูมิเก็บรักษา	2°C (ที่ความดันไออิ่มตัว 5 torr)
ขนาดถังบรรจุ	เส้นผ่านศูนย์กลาง 850 mm ยาว 950 mm
การสร้างสูญญากาศ	หัวฉีดไอน้ำจำนวน 3 สเตจ ต่ออนุกรมกันโดยตรง ไม่มีการควบแน่น
ของไหลทำงาน	ไอน้ำแห้งอิ่มตัว ที่ความดันเกจใช้งาน 10 bar อุณหภูมิอิ่มตัว 184°C
ภาระทางด้านจุด (อากาศแห้ง)	5 kg/h
ความสิ้นเปลืองไอน้ำที่ใช้ออกแบบ	126 kg/h (ใช้จริง 106 kg/h)
เวลาในการลดอุณหภูมิ	30 min

ภาคผนวก ข

ตารางข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

ตาราง ข.1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำและไอน้ำ

Temp, °C t	Absolute Pressure, kPa P	Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg - K		
		Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
0	0.6112	-0.04	2500.81	2500.77	-0.0002	9.1555	9.1553
1	0.6571	4.18	2498.43	2502.61	0.0163	9.1134	9.1289
2	0.7060	8.39	2496.05	2504.45	0.0306	9.0716	9.1022
3	0.7580	12.60	2493.68	2506.28	0.0459	9.0302	9.0761
4	0.8135	16.81	2491.31	2508.12	0.0611	8.9890	9.0501
5	0.8725	21.02	2488.94	2509.96	0.0763	8.9482	9.0244
6	0.9353	25.22	2486.57	251.79	0.0913	8.9077	8.9990
7	1.0020	29.42	2484.20	2513.62	0.1064	8.8674	8.9738
8	1.0728	33.62	2481.84	2515.46	0.1213	8.8273	8.9488
9	1.1481	37.82	2479.47	2517.29	0.1362	8.7878	8.9245
10	1.2280	42.01	2477.11	2519.12	0.1511	8.7484	8.8995
11	1.3127	46.21	2474.74	2520.95	0.1659	8.7093	8.8752
12	1.4026	50.40	2472.38	2522.78	0.1806	8.6705	8.8511
13	1.4978	54.59	2470.02	2524.61	0.1953	8.6319	8.8272
14	1.4987	58.78	2467.66	2526.44	0.2099	8.5936	8.8035
15	1.7055	62.97	2465.30	2528.26	0.2244	8.556	8.7801
16	1.8184	67.16	2462.93	2530.09	0.2389	8.5178	8.7568
17	1.9380	71.34	2460.57	2531.92	0.2534	8.4804	8.7338
18	2.0643	75.53	2458.21	2533.74	0.2678	8.4431	8.7109
19	2.1978	79.72	2455.85	2535.56	0.2821	8.0461	8.6883
20	2.3388	83.90	2443.48	2537.38	0.2964	8.3694	8.6658
21	2.4877	88.08	2441.12	2539.20	0.3107	8.3329	8.6436
22	2.6448	92.27	2448.75	2541.02	0.3249	8.2967	8.6215
23	2.8104	96.45	2446.39	2542.84	0.3390	8.2607	8.5996
24	2.9851	100.63	2444.02	2544.65	0.3531	8.2249	8.5780
25	3.1692	104.81	2441.66	2546.47	0.3672	8.1894	8.5565
26	3.3631	108.99	2439.29	2548.28	0.3812	8.1541	8.5352
27	3.5673	113.18	2436.92	2550.09	0.3951	8.1190	8.5141
28	3.7822	117.36	2434.55	2551.90	0.4090	8.0842	8.4932
29	4.0083	121.54	2432.17	2553.71	0.4229	8.0496	8.4724
30	4.2460	125.72	2429.80	2555.52	0.4367	8.0152	8.4519
31	4.4959	129.90	2427.43	2557.32	0.4505	7.9810	8.4315
32	4.7585	134.08	2425.05	2559.13	0.4642	7.9471	8.4112
33	5.0343	138.26	2422.67	2560.93	0.4779	7.9133	8.3912
34	5.3239	142.44	2410.29	2562.73	0.4915	7.8790	8.3713

ตาราง ข.1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำและไอน้ำ (ต่อ)

Temp, °C t	Absolute Pressure,kPa P	Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg - K		
		Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
35	5.6278	146.62	2417.91	2564.53	0.5051	7.8465	8.3516
36	5.9466	150.80	2415.53	2566.33	0.5186	7.8134	8.3320
37	6.2810	154.98	2413.14	2568.12	0.5321	7.7805	8.3127
38	6.6315	159.16	2410.76	2569.91	0.5456	7.7479	8.2934
39	6.9987	163.34	2408.37	2571.71	0.5590	7.7154	8.2744
40	7.3835	167.52	2405.98	2573.50	0.5724	7.6831	8.2555
41	7.7863	171.70	2403.58	2575.28	0.5857	7.6510	8.2367
42	8.2080	175.88	2401.19	2577.07	0.5990	7.6191	8.2181
43	8.6492	180.06	2398.79	2578.85	0.6122	7.5875	8.1997
44	9.1107	184.24	2396.39	2580.63	0.6254	7.5560	8.1814
45	9.4932	188.42	2393.99	2582.41	0.6386	7.5247	8.1632
46	10.0976	192.78	2391.59	2584.19	0.6517	7.4936	8.1452
47	10.6246	196.78	2389.18	2585.96	0.6648	7.4626	8.1274
48	11.1751	200.97	2386.77	2587.74	0.6778	7.4319	8.1097
49	11.7500	205.15	2384.36	2589.51	0.6908	7.4013	8.0921
50	12.3499	209.33	2381.94	2591.27	0.7038	7.3709	8.0747
51	12.9759	213.51	2379.53	2593.04	0.7167	7.3407	8.0574
52	13.6290	217.70	2377.10	2594.80	0.7296	7.3107	8.0403
53	14.3100	221.88	2374.68	2596.56	0.7424	7.2809	8.0233
54	15.0200	226.06	2372.26	2598.32	0.7552	7.2512	8.0064
55	15.7597	230.25	2369.83	2600.07	0.7680	7.2217	7.9897
56	16.5304	234.43	2367.39	2601.82	0.7807	7.1924	7.9731
57	17.3331	238.61	2364.96	2603.57	0.7934	7.1632	7.9566
58	18.1690	242.99	2362.52	2605.32	0.8061	7.1342	7.9403
59	19.0387	246.99	2360.08	2607.06	0.8187	7.1054	7.9240
60	19.944	251.17	2357.63	2608.80	0.8313	7.0767	7.9079
61	20.885	255.36	2355.19	2610.54	0.8438	7.0482	7.8920
62	21.864	259.54	2352.73	2612.28	0.8563	7.0198	7.8761
63	22.882	263.73	2350.28	2614.01	0.8688	6.9916	7.8604
64	23.940	267.92	2347.82	2615.74	0.8812	6.9636	7.8448
65	25.040	272.11	2345.36	2617.46	0.8936	6.9357	7.8293
66	26.180	276.30	2342.89	2619.19	0.9060	6.9080	7.8140
67	27.366	280.49	2340.42	2620.90	0.9183	6.8804	7.7987
68	28.596	284.68	2337.95	2622.62	0.9306	6.8530	7.7836
69	29.873	288.87	2335.47	2624.33	0.9429	6.8257	7.7686

ตาราง ข.1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำและไอน้ำ (ต่อ)

Temp, °C t	Absolute Pressure, kPa P	Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg - K		
		Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
70	31.198	293.06	2332.99	2626.04	0.9551	6.7986	7.7537
71	32.572	297.25	2330.50	2627.75	0.9673	6.7716	7.7389
72	33.997	301.44	2328.01	2629.45	0.9795	6.7448	7.7242
73	35.475	305.63	2325.51	2631.15	0.9916	6.7181	7.7097
74	37.006	309.83	2323.02	2632.84	1.0037	6.6915	7.6952
75	38.592	314.02	2320.51	2634.53	1.0157	6.6651	7.6809
76	40.236	318.22	2318.01	2636.22	1.0278	6.6389	7.6666
77	41.938	322.41	2315.49	2637.90	1.0398	6.6127	7.6525
78	43.700	326.61	2312.98	2639.58	1.0517	6.5867	7.6384
79	45.524	330.81	2310.46	2641.26	1.0636	6.5609	7.6245
80	47.412	335.00	2307.93	2642.93	1.0755	6.5351	7.6107
81	49.364	339.20	2305.40	2644.60	1.0874	6.5095	7.5969
82	51.384	343.40	2302.86	2646.26	1.0993	6.4841	7.5833
83	53.473	347.60	2300.32	2647.92	1.1111	6.4587	7.5698
84	55.633	351.80	2297.78	2649.58	1.1228	6.4335	7.5563
85	57.868	356.01	2295.22	2651.23	1.1346	6.4084	7.5430
86	60.171	350.21	2292.67	2652.88	1.1463	6.3834	7.5297
87	62.554	364.41	2290.11	2654.52	1.1580	6.3586	7.5166
88	65.015	368.62	2287.54	2656.16	1.1696	6.3339	7.5035
89	67.556	372.82	2284.97	2657.79	1.1812	6.3093	7.4905
90	70.180	377.03	2282.39	2659.42	1.1928	6.2848	7.4776
91	72.888	381.24	2279.81	2661.04	1.2044	6.2605	7.4648
92	75.683	385.45	2277.22	2662.66	1.2159	6.2362	7.4521
93	78.566	389.66	2274.62	2664.28	1.2274	6.2121	7.4395
94	81.541	393.87	2272.02	2665.89	1.2389	6.1881	7.4270
95	84.608	398.08	2269.41	2667.49	1.2504	6.1642	7.4146
96	87.770	402.29	2266.80	2669.09	1.2618	6.1404	7.4022
97	91.030	406.51	2264.18	2670.69	1.2732	6.1168	7.3899
98	94.390	410.72	2261.55	2672.28	1.2845	6.0932	7.3777
99	97.852	414.94	2258.92	2673.86	1.2959	6.0697	7.3656
100	101.419	419.16	2256.28	2675.44	1.3072	6.0464	7.3536
101	105.092	423.38	2253.64	2677.02	1.3185	6.0232	7.3416
102	108.875	427.60	2250.99	2678.58	1.3297	6.0000	7.3298
103	112.770	431.82	2248.33	2680.15	1.3410	5.9770	7.3180
104	116.779	436.04	2245.66	2681.71	1.3522	5.9541	7.3062

ตาราง ข.1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำและไอน้ำ (ต่อ)

Temp, °C t	Absolute Pressure, kPa P	Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg - K		
		Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
105	120.906	440.27	2242.99	2683.26	1.3634	5.9313	7.2946
106	125.152	444.49	2240.31	2684.80	1.3745	5.9086	7.2830
107	129.520	448.72	2237.63	2686.35	1.3856	5.8860	7.2716
108	134.012	452.95	2234.93	2687.88	1.3967	5.8635	7.2601
109	138.633	457.18	2232.23	2689.41	1.4078	5.8410	7.2488
110	143.384	461.41	2229.52	2690.93	1.4188	5.8187	7.2375
111	148.267	465.64	2226.81	2692.45	1.4298	5.7965	7.2263
112	153.287	469.88	2224.09	2693.96	1.4408	5.7744	7.2152
113	158.445	474.11	2221.35	2695.47	1.4518	5.7524	7.2402
114	163.745	478.35	2218.62	2696.97	1.4627	5.7304	7.1931
115	169.190	482.59	2215.87	2698.46	1.4737	5.7086	7.1822
116	174.782	486.83	2213.12	2699.95	1.4846	5.6868	7.1714
117	180.525	491.07	2210.35	2701.43	1.4954	5.6652	7.1606
118	186.420	495.32	2207.58	2702.90	1.5063	5.6436	7.1499
119	192.473	499.56	2204.80	2704.37	1.5171	5.6221	7.1392
120	198.685	503.81	2202.02	2705.83	1.5279	5.6007	7.1286
122	211.601	512.31	2196.42	2706.73	1.5494	5.5582	7.1076
124	225.194	520.82	2190.78	2711.60	1.5709	5.5160	7.0869
126	239.490	529.33	2185.11	2714.44	1.5922	5.4742	7.0664
128	254.515	537.86	2179.40	2717.26	1.6135	5.4326	7.0461
130	270.298	546.39	2173.66	2720.05	1.6347	5.3914	7.0261
132	286.866	554.93	2167.87	2722.80	1.6557	5.3505	7.0063
134	304.247	563.48	2162.05	2725.53	1.6767	5.3099	6.9867
136	322.470	572.04	2156.18	2728.22	1.6977	5.2697	6.9673
138	341.566	580.60	2150.28	2730.88	1.7185	5.2296	6.9481
140	361.565	589.18	2144.33	2733.51	1.7393	5.1899	6.9292
142	382.497	597.76	2138.34	2736.11	1.7599	5.1505	6.9104
144	404.394	606.36	2132.31	2736.67	1.7805	5.1113	6.8918
146	427.288	614.97	2126.23	2741.19	1.8011	5.0724	6.8735
148	451.211	623.58	2120.10	2743.68	1.8215	5.0338	6.8553
150	476.198	632.21	2113.92	2746.13	1.8419	4.9954	6.8373
152	502.281	640.85	2107.70	2748.55	1.8622	4.9573	6.8194
154	529.495	649.50	2101.43	2750.93	1.8824	4.9194	6.8017
156	557.875	658.16	2095.11	2753.27	1.9026	4.8817	6.7842
158	587.456	666.83	2088.73	2755.57	1.9226	4.8443	6.7669

ตาราง ข.1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำและไอน้ำ (ต่อ)

Temp, °C t	Absolute Pressure, kPa P	Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg - K		
		Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
160	618.275	675.52	2082.31	2757.82	1.9427	4.8070	6.7497
162	650.368	684.22	2075.82	2760.04	1.9626	4.7701	6.7327
164	683.772	692.93	2069.29	2762.22	1.9825	4.7333	6.7158
166	718.526	701.65	2062.70	2764.35	2.0023	4.6967	6.6990
168	754.667	710.39	2056.05	2766.44	2.0221	4.6603	6.6824
170	792.235	719.14	2049.34	2768.48	2.0418	4.6242	6.6659
172	831.268	727.91	2042.57	2770.48	2.0614	4.5882	6.6496
174	871.808	736.69	2035.74	2772.43	2.0810	4.5524	6.6334
176	913.894	745.48	2028.85	2774.33	2.1005	4.5168	6.6173
178	947.568	754.29	2021.89	2776.19	2.1200	4.4813	6.6013
180	1002.871	763.12	2014.87	2777.99	2.1394	4.4460	6.5854
182	1049.846	771.96	2007.78	2779.74	2.1587	4.4109	6.5691
184	1098.535	780.82	2000.63	2781.45	2.1780	4.3760	6.5540
186	1148.982	789.69	1993.40	2783.10	2.1973	4.3412	6.5385
188	1201.230	798.59	1986.11	2784.70	2.2165	4.3065	6.5230
190	1255.324	807.50	1978.74	2786.24	2.2356	4.2720	6.5076
192	1311.309	816.43	1971.30	2787.72	2.2547	4.2376	6.4924
194	1369.230	825.37	1963.78	2789.15	2.2738	4.2034	6.4772
196	1429.133	834.34	1956.19	2790.52	2.2928	4.1693	6.4621
198	1491.066	843.32	1948.52	2791.83	2.3118	4.1353	6.4471
200	1555.074	852.33	1940.76	2793.09	2.3307	4.1014	6.4321

ตาราง ข.2 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำ

Temp. (K)	Pressure (bar)	Specific Volume (m ³ /kg)		Heat of Vaporization (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg·K)		Viscosity (N·s/m ²)		Thermal Conductivity (W/m·K)		Prandtl No		Surface Tension (N/m)	Expansion Coefficient (K ⁻¹)
		$v_f \cdot 10^{-3}$	v_g		c_{pf}	c_{pg}	$\mu_f \cdot 10^{-4}$	$\mu_g \cdot 10^{-4}$	$k_f \cdot 10^{-3}$	$k_g \cdot 10^{-3}$	Pr_f	Pr_g		
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.834	1750	8.02	559	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.28	0.825	74.6	46.04
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1
290	0.01917	1.001	89.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	596	19.3	7.66	0.841	73.7	174.0
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.161	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.53	0.857	71.7	278.1
305	0.04712	1.005	27.90	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.18	0.883	69.2	400.4
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7
325	0.1351	1.013	11.08	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2
330	0.1719	1.016	5.62	2366	4.184	1.911	469	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.188	1.920	453	10.49	656	22.0	2.68	0.916	65.8	535.5
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0
345	0.3372	1.024	4.883	2329	4.191	1.941	389	10.89	666	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4
350	0.4163	1.027	3.848	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2
355	0.5100	1.030	3.160	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.990	308	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1
370	0.9040	1.041	1.661	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.6	1.80	0.976	59.5	728.7
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	278	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1

ตาราง ข.2 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำ (ต่อ)

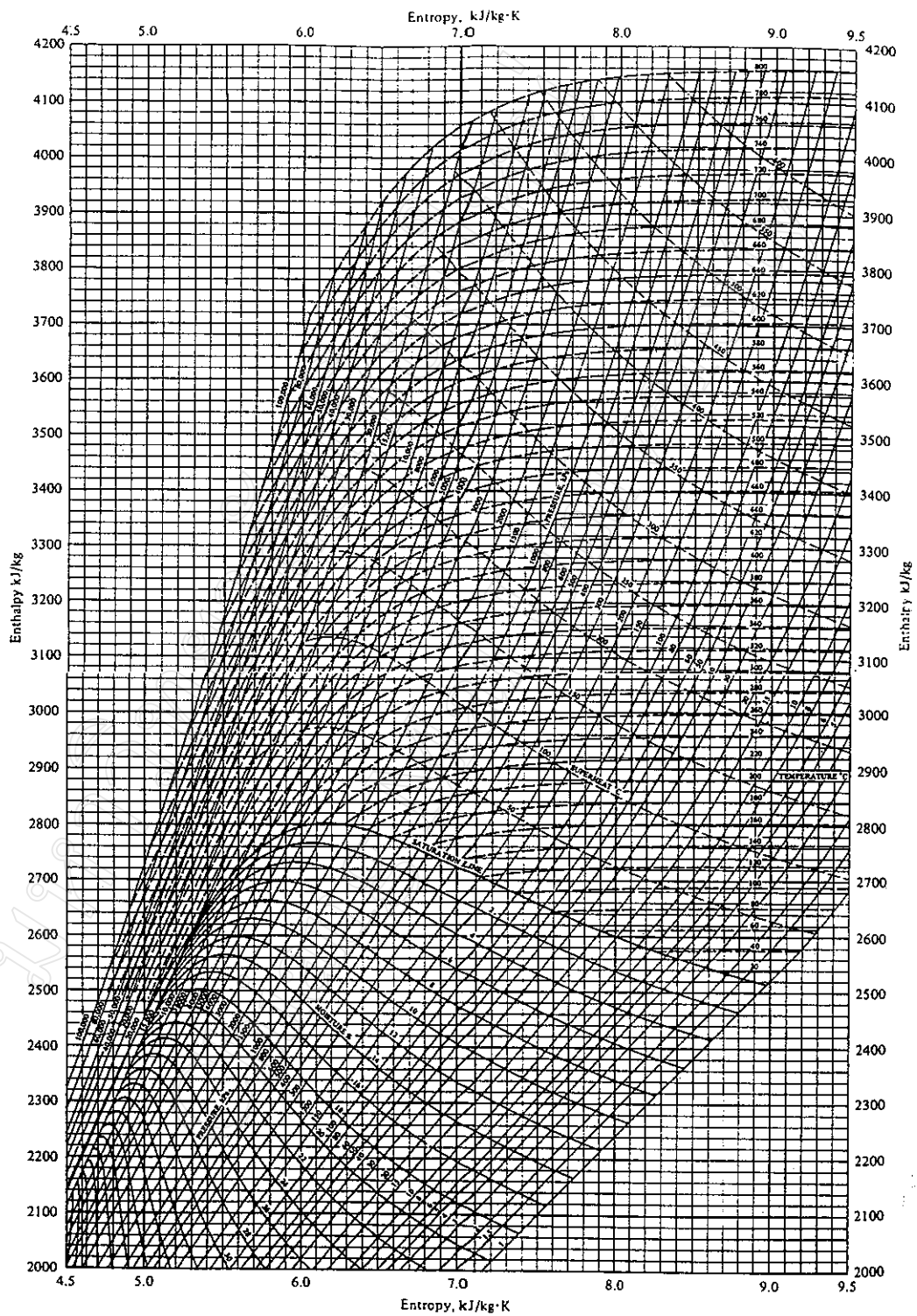
Temp. (K)	Pressure (bar)	Specific Volume (m ³ /kg)		Heat of Vaporization (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N·s/m ²)		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl No		Surface Tension (N/m)	Expansion Coefficient (K ⁻¹)
		$v_f \cdot 10^{-3}$	v_g		c_{pf}	c_{pg}	$\mu_f \cdot 10^{-4}$	$\mu_g \cdot 10^{-4}$	$k_f \cdot 10^{-3}$	$k_g \cdot 10^{-3}$	Pr_f	Pr_g		
375	1.0015	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.8	761
380	1.2889	1.049	1.337	2238	4.228	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.8	788
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814
390	1.794	1.058	0.960	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2	-
440	7.333	1.110	0.261	2059	4.36	2.46	162	14.50	682	31.7	1.04	1.12	45.1	-
450	9.319	1.123	0.206	2024	4.40	2.56	152	14.85	678	33.1	0.99	1.14	42.9	-
460	11.71	1.137	0.167	1989	4.44	2.68	143	15.19	673	34.6	0.95	1.17	40.7	-
470	14.55	1.152	0.136	1951	4.48	2.79	136	15.54	667	38.3	0.92	1.20	38.8	-
480	17.90	1.167	0.111	1912	4.53	2.94	129	15.88	660	38.1	0.89	1.23	38.2	-

ตาราง ข.3 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศ

Temp. (K)	Density (Kg/m ³)	Specific Heat (KJ/kg – K)	Absolute Viscosity (N.s/m ²)	Dynamic Viscosity (m ² /s)	Thermal Conductivity (W/m – K)	Prandtl No
T	ρ	c_p	$\mu \cdot 10^{-7}$	$\nu \cdot 10^{-6}$	$k \cdot 10^{-3}$	pr
Air						
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	0.536

ตาราง ข.4 คุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์

Product	Water Content, % (mass)	Highest Freezing Point, °C	Specific Heat		Latent Heat of Fusion, KJ/kg
			Above Freezing, KJ/kg - K	Below Freezing, kJ/kg - K	
Artichokes, Globe	84	-1.2	3.78	1.90	281
Asparagus	93	-0.6	4.00	2.01	312
Broccoli	90	-0.6	3.93	1.97	302
Cabbage, Late	92	-0.9	3.98	2.00	308
Carrots, Roots	88	-1.4	3.88	1.95	295
Cauliflower	92	-0.8	3.98	2.00	308
Celery	94	-0.5	4.03	2.02	315
Corn, Sweet	74	-0.6	3.53	1.77	248
Lettuce	95	-0.2	4.06	2.04	318
Onions, Green	89	-0.9	3.90	1.96	298
Potatoes, Early	81	-0.6	3.70	1.86	271



รูป ข.1 แผนภาพมอเลียสำหรับไอน้ำ

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดสอบระบบทำความเย็นด้วยสูญญากาศโดยใช้หัวฉีดไอน้ำ

ตาราง ค.1 ข้อมูลการทดสอบการลดความดันของหัวฉีดไอน้ำ

อุณหภูมิห้อง 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 72 % ความดันบรรยากาศ 748 torr (0.998 bar)

Dry Air Suction Load, m_1 (kg/h)	Steam Jet Ejector Stage 3					Steam Jet Ejector Stage 2					Steam Jet Ejector Stage 1				
	$P_{0(g)}$ (bar)	$P_{0(abs)}$ (torr)	$P_{3(g)}$ (bar)	$P_{3(abs)}$ (torr)	t_3 ($^{\circ}$ C)	$P_{0(g)}$ (bar)	$P_{0(abs)}$ (torr)	$P_{3(g)}$ (bar)	$P_{3(abs)}$ (torr)	t_3 ($^{\circ}$ C)	$P_{0(g)}$ (bar)	$P_{0(abs)}$ (torr)	$P_{3(g)}$ (bar)	$P_{3(abs)}$ (torr)	t_3 ($^{\circ}$ C)
45	-0.745	190	0.040	778	102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-0.755	182	0.032	772	102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	-0.770	171	0.027	768	102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	-0.778	165	0.027	768	102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-0.805	145	0.023	766	102	-0.905	70	-0.817	135	62	-	-	-	-	-
25	-0.820	134	0.021	763	101	-0.957	31	-0.824	130	61	-0.950	35	-0.945	40	35
20	-0.832	124	0.016	760	101	-0.970	21	-0.834	122	61	-0.960	28	-0.946	38	34
15	-0.850	111	0.012	757	101	-0.982	11	-0.853	108	59	-0.972	19	-0.950	36	33
10	-0.866	98	0.008	754	100	-0.990	6	-0.877	90	59	-0.984	10	-0.952	34	33
5	-0.890	81	0.003	750	100	-0.993	4	-0.925	54	56	-0.991	5	-0.960	28	32
0	-0.910	66	0.000	748	100	-0.996	1.5	-0.961	27	47	-0.994	2	-0.972	17	28

หมายเหตุ ทดสอบที่ตำแหน่งการติดตั้งปลายหัวฉีดกับปากกรวยแนวรูของหัวฉีดไอน้ำแสดงที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 1.5, 1.5 และ 3 mm ตามลำดับ

$P_{0(g)}$ = Suction Pressure Gage $P_{3(abs)}$ = Absolute Discharge Pressure

$P_{0(abs)}$ = Absolute Suction Pressure t_3 = Discharge Temperature

$P_{3(g)}$ = Discharge Pressure Gage

ตาราง ก.2 ข้อมูลการทดสอบการลดความดันของหัวฉีดไอน้ำ

อุณหภูมิห้อง 31°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % ความดันบรรยากาศ 745 torr (0.993 bar)

Dry Air Suction	Steam Jet Ejector Stage 3					Steam Jet Ejector Stage 2					Steam Jet Ejector Stage 1				
	$P_{0(g)}$ (bar)	$P_{0(abs)}$ (torr)	$P_{3(g)}$ (bar)	$P_{3(abs)}$ (torr)	t_3 (°C)	$P_{0(g)}$ (bar)	$P_{0(abs)}$ (torr)	$P_{3(g)}$ (bar)	$P_{3(abs)}$ (torr)	t_3 (°C)	$P_{0(g)}$ (bar)	$P_{0(abs)}$ (torr)	$P_{3(g)}$ (bar)	$P_{3(abs)}$ (torr)	t_3 (°C)
45	-0.740	190	0.040	775	102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-0.751	182	0.033	770	102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	-0.765	171	0.031	768	102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	-0.772	166	0.031	768	102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-0.795	148	0.027	765	101	-0.900	70	-0.810	138	62	-	-	-	-	-
25	-0.810	137	0.023	762	101	-0.950	32	-0.820	130	61	-0.955	29	-0.940	40	35
20	-0.825	126	0.020	760	101	-0.965	21	-0.833	120	60	-0.961	24	-0.942	38	34
15	-0.845	111	0.017	758	100	-0.977	12	-0.849	108	60	-0.970	17	-0.946	35	34
10	-0.860	100	0.013	755	100	-0.985	6	-0.870	92	59	-0.980	10	-0.950	32	33
5	-0.884	82	0.003	747	100	-0.989	3	-0.920	55	56	-0.986	5	-0.956	28	32
0	-0.905	66	0.000	745	100	-0.991	1.5	-0.956	28	48	-0.990	2	-0.970	17	28

หมายเหตุ ทดสอบที่ตำแหน่งการติดตั้งปลายหัวฉีดกับปากกรวยเวนจูร์ของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 1.5, 1.5 และ 3 mm ตามลำดับ

$P_{0(g)}$ = Suction Pressure Gage $P_{3(abs)}$ = Absolute Discharge Pressure

$P_{0(abs)}$ = Absolute Suction Pressure t_3 = Discharge Temperature

$P_{3(g)}$ = Discharge Pressure Gage

ตาราง ค.3 ข้อมูลการทดสอบการลดความดันของหัวฉีดไอน้ำพร้อมกันทั้งสามสเถจ ที่กระอากาศแห้งด้านดูดที่จุดออกแบบ 5 kg/h

อุณหภูมิห้อง 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % ความดันบรรยากาศ 748 torr (0.998 bar)

Steam Jet Ejector Stage 1				Steam Jet Ejector Stage 2				Steam Jet Ejector Stage 3					
$P_{0(g)}$ (bar)	$P_{0(abs)}$ (torr)	$P_{3(g)}$ (bar)	t_3 (°C)	$P_{0(g)}$ (bar)	$P_{0(abs)}$ (torr)	$P_{3(g)}$ (bar)	t_3 (°C)	$P_{0(g)}$ (bar)	$P_{0(abs)}$ (torr)	$P_{3(g)}$ (bar)	t_3 (°C)		
-0.991	5	-0.960	28	35	-0.960	28	-0.738	195	70.5	-0.738	195	807	102

ตาราง ค.4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าต่างๆ ที่ออกแบบกับค่าที่ได้จากการทดสอบหัวฉีดไอน้ำ

ที่กระอากาศแห้งของจุดออกแบบ

Item	Steam Jet Ejector Stage 1			Steam Jet Ejector Stage 2			Steam Jet Ejector Stage 3			Steam Jet Ejector Stage 4		
	Design	Test	% Different	Design	Test	% Different	Design	Test	% Different	Design	Test	% Different
Absolute Suction Pressure (torr)	200	171	-14.50	30	6	-80	30	6	-80	5	5	0
Absolute Discharge Pressure (torr)	813	768	-5.54	200	90	-55	200	90	-55	30	28	-6.67
Compression Ratio	4.065	4.49	9.49	6.67	15	55.55	6.67	15	55.55	6.0	5.6	-6.67
Steam Requirement (kg/h)	94	80	-14.89	25	20	-20	25	20	-20	7	6	-14.28

หมายเหตุ

ที่จุดออกแบบของการกระอากาศแห้งหัวฉีดไอน้ำสเถจที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 5 kg/h, 10 kg/h และ 37 kg/h ตามลำดับ

ตาราง ค.5 ข้อมูลการทดสอบการลดอุณหภูมิของผักกาดหอม ที่เวลา 30 นาที

ผลการทดสอบการลดอุณหภูมิของผักกาดหอม จำนวน 1 kg อุณหภูมิห้อง 30°C อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ 28°C ความชื้นสัมพัทธ์ 72 % ความดันบรรยากาศ 745 torr (0.993 bar)	
เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)
0	28.0
5	12.8
10	8.6
15	5.6
20	3.4
25	2.9
30	2.0

ปริมาณไอน้ำที่ระเหย

มวลเริ่มต้น	1000 g
มวลสุดท้าย	949 g
ดังนั้น ไอน้ำระเหยออกจากผักกาดหอม	51 g

ตาราง ค.6 ข้อมูลการทดสอบการลดอุณหภูมิของผักกระหล่ำปลี ที่เวลา 30 นาที

ผลการทดสอบการลดอุณหภูมิของผักกระหล่ำปลี จำนวน 1 kg อุณหภูมิห้อง 30°C อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ 29°C ความชื้นสัมพัทธ์ 72 % ความดันบรรยากาศ 745 torr (0.993 bar)	
เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)
0	29.0
5	20.6
10	16.9
15	12.8
20	10.2
25	8.6
30	6.5

ปริมาณไอน้ำที่ระเหย

มวลเริ่มต้น	1000 g
มวลสุดท้าย	957.5 g
ดังนั้น ไอน้ำระเหยออกจากผักกระหล่ำปลี	42.5 g

ตาราง ก.7 ข้อมูลการทดสอบการลดอุณหภูมิของผักกาดขาวปลี ที่เวลา 30 นาที

ผลการทดสอบการลดอุณหภูมิของผักกาดขาวปลี จำนวน 1 kg อุณหภูมิห้อง 31°C อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ 29°C ความชื้นสัมพัทธ์ 72 % ความดันบรรยากาศ 745 torr (0.993 bar)	
เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)
0	29.0
5	13.6
10	10.8
15	8.2
20	6.7
25	4.8
30	2.9

ปริมาณไอน้ำที่ระเหย

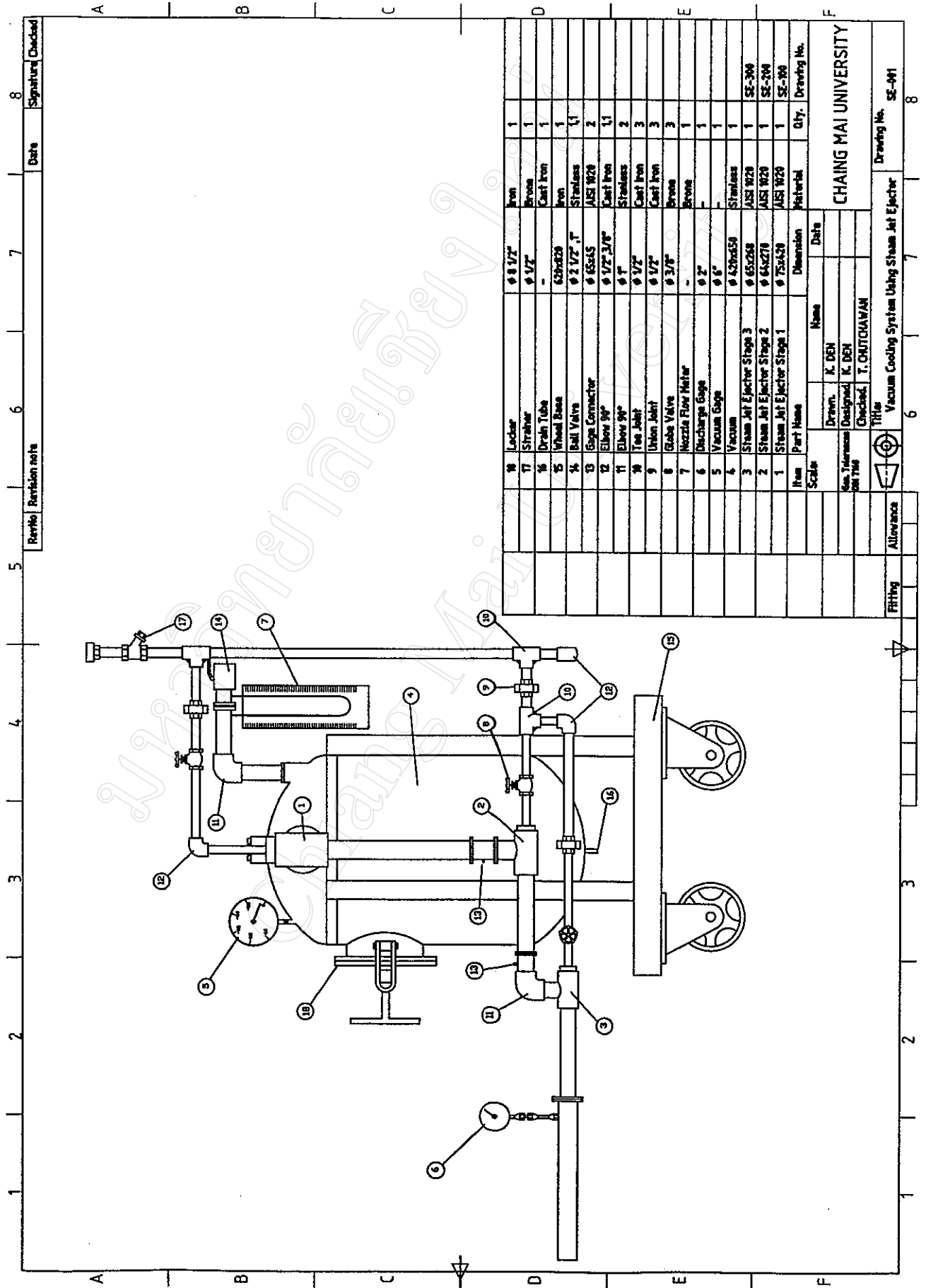
มวลเริ่มต้น 1000 g

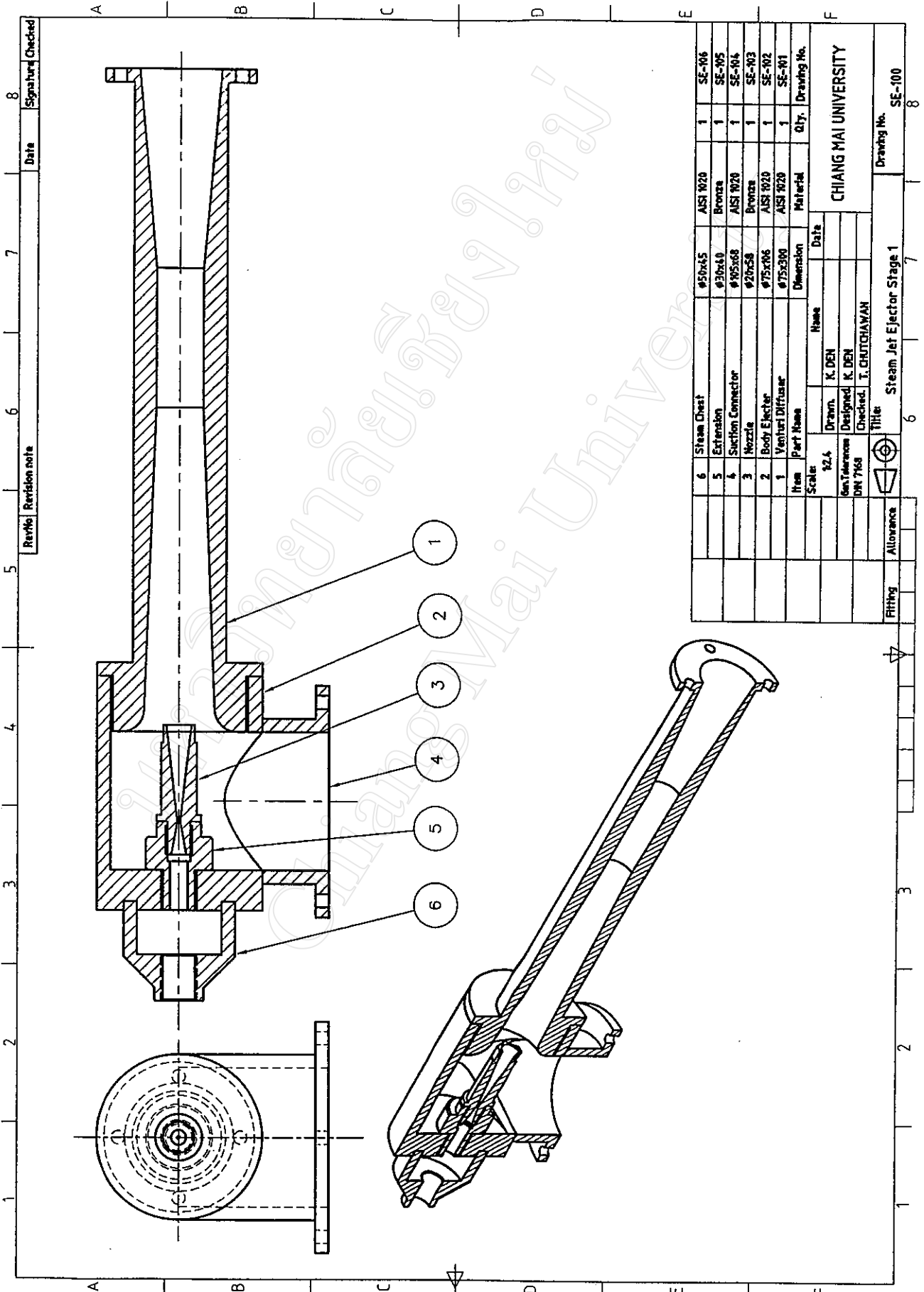
มวลสุดท้าย 952 g

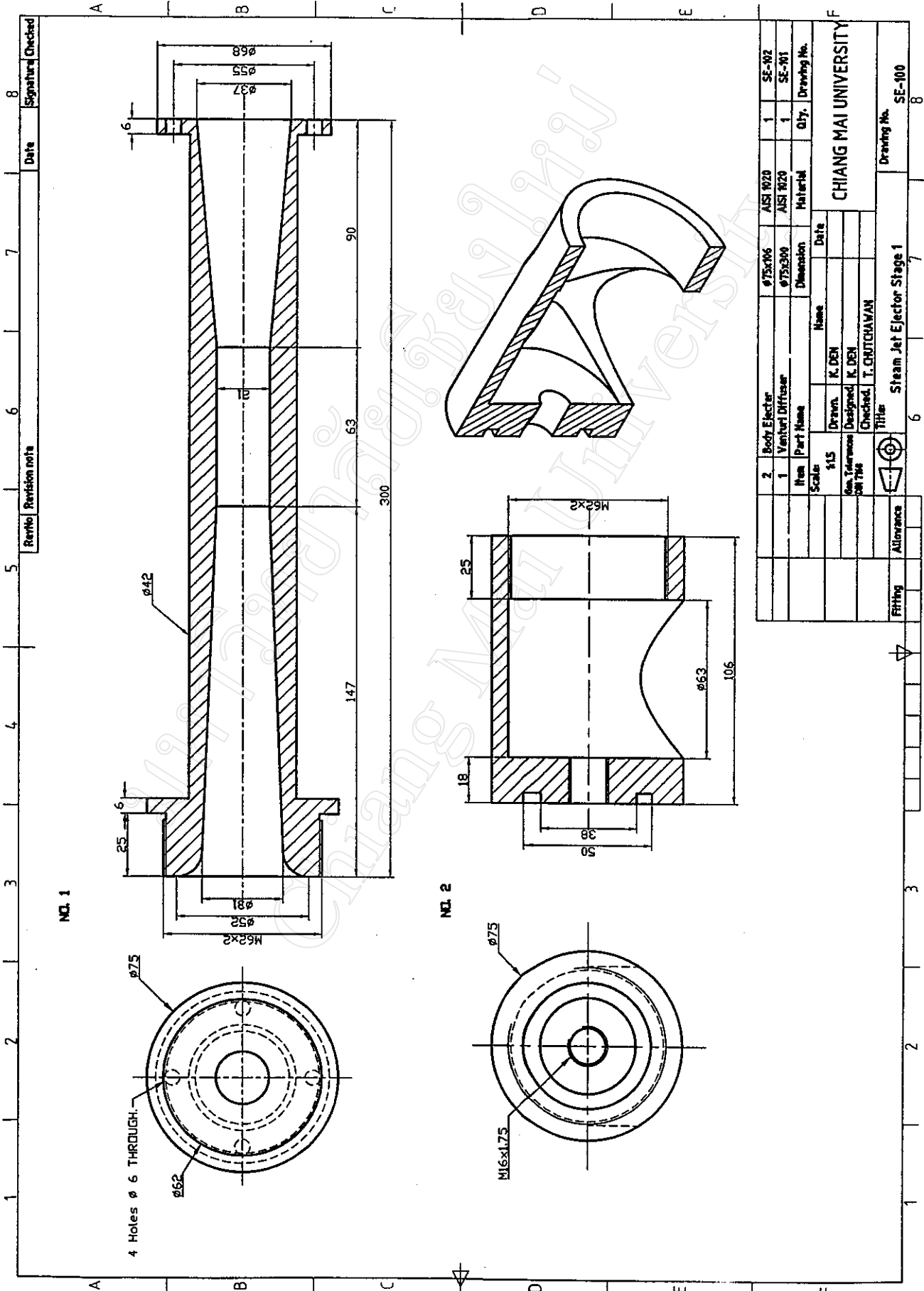
ดังนั้น ไอน้ำระเหยออกจากผักกาดขาวปลี 48 g

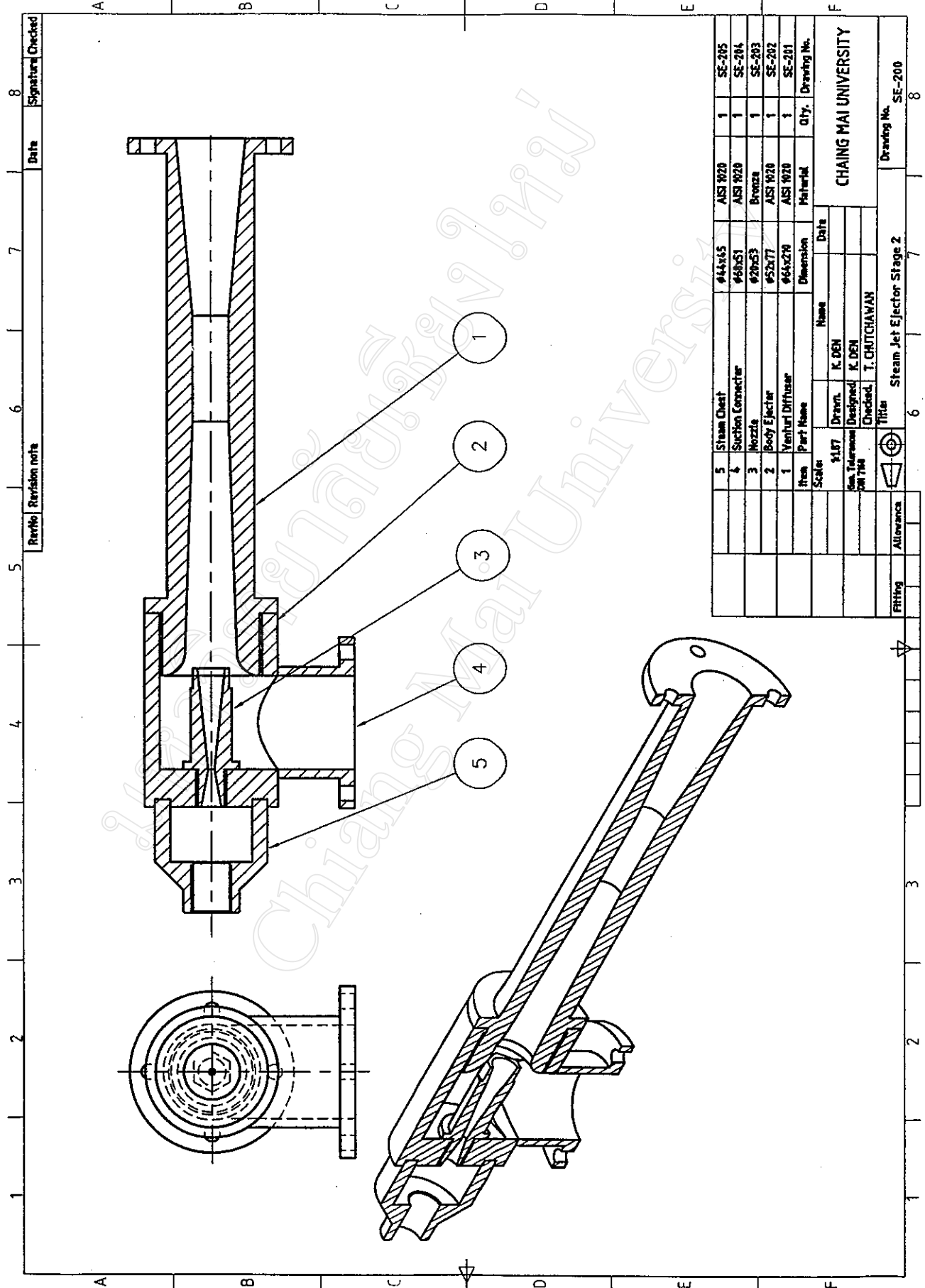
ภาคผนวก ง

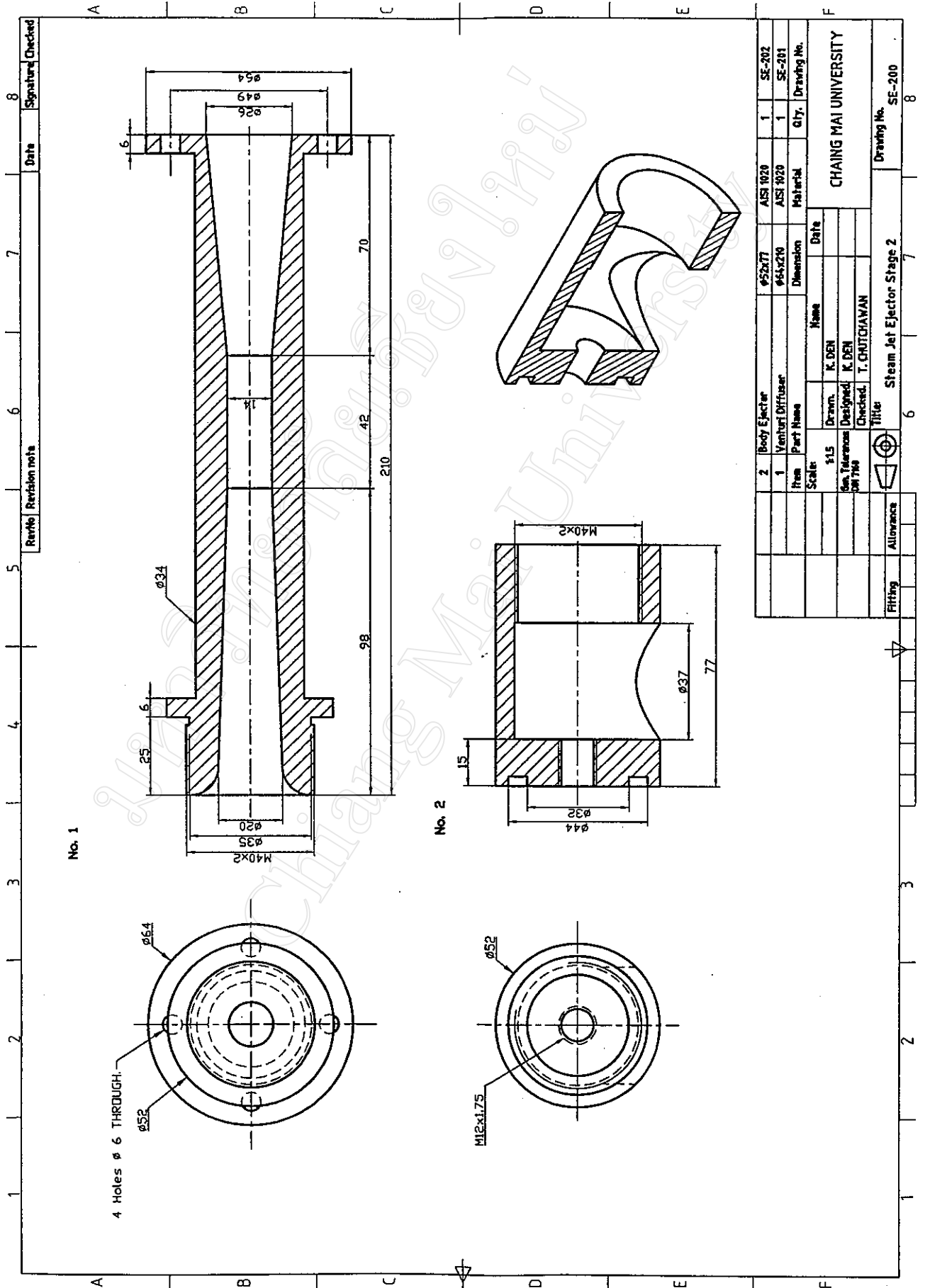
แบบการสร้างระบบการทำความเย็นด้วยสุญญากาศโดยใช้หัวฉีดไอน้ำ











ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายเด่น คอกพินาย
วัน เดือน ปี สถานที่เกิด	13 เมษายน 2515 จังหวัดนครราชสีมา
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษา โรงเรียนพินายวิทยา ปีการศึกษา 2530 สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิค นครราชสีมา ปีการศึกษา 2533 สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา ปีการศึกษา 2535 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปีการศึกษา 2537
ประวัติการทำงาน	อาจารย์ประจำแผนกวิชา ช่างจักรกลหนัก คณะเทคนิคเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา พ.ศ. 2538 ถึง ปัจจุบัน