

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

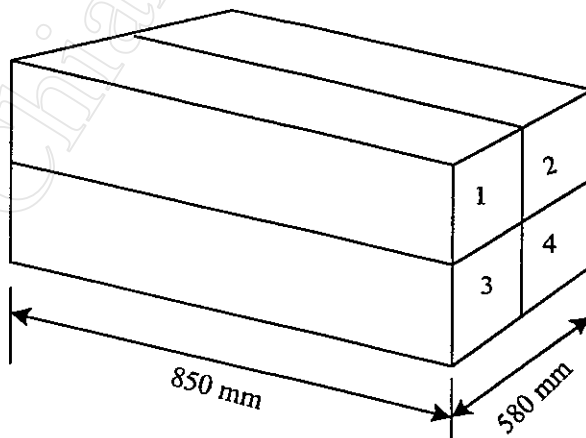
3.1 การคำนวณและออกแบบ

ในการคำนวณและออกแบบระบบทำความเย็นด้วยตู้เย็นตู้แช่โดยใช้หัวฉีดไอน้ำ โดยได้คำนึงถึงความสิ้นเปลืองของไอน้ำเป็นสำคัญ เนื่องจากเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) ที่ใช้เป็นแหล่งให้พลังงาน เพื่อให้ความดันภายในระบบเป็นความดันตู้เย็นตู้แช่ สามารถจ่ายไอน้ำได้สูงสุดเพียง 150 kg/h ขั้นตอนการคำนวณที่ใช้ออกแบบ ประกอบด้วย การคำนวณหาขนาดถังบรรจุผลิตภัณฑ์หรือเรียกว่าถังตู้เย็นตู้แช่ การคำนวณหาภาระทางด้านอุณหภูมิต่อระบบที่มีอยู่ในถังบรรจุผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบไปด้วย ภาระของอากาศแห้ง ภาระของไอน้ำที่มีอยู่ในบรรยากาศและไอน้ำที่ไฉ่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ซึ่งทำการลดความดันภายในระบบ การคำนวณและออกแบบชุดหัวฉีดไอน้ำตามสภาวะที่ได้ออกแบบไว้ โดยมีข้อกำหนดสภาวะการทำงานของระบบที่ออกแบบ เป็นดังนี้

ต้องการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์จำพวกผักใบ เช่น ผักกาดหอม ผักกระหล่ำปลี และผักกาดขาวปลี ได้ครั้งละประมาณ 30 kg ที่ความดันบรรยากาศออกแบบให้อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70 % เพื่อต้องการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ให้มีอุณหภูมิเก็บรักษาไว้ที่ 2°C โดยใช้เวลาในการทำความเย็นประมาณ 30 นาที ผลการคำนวณและออกแบบระบบทำความเย็นด้วยตู้เย็นตู้แช่โดยใช้หัวฉีดไอน้ำ มีดังนี้

3.1.1 ขนาดถังบรรจุผลิตภัณฑ์

ถังที่ใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์ออกแบบให้มีขนาด 850 mm x 290 mm x 290 mm จะสามารถบรรจุผลิตภัณฑ์ได้ครั้งละประมาณ 18 หัว/ถัง สมมติให้เป็นผักกาดหอมซึ่งมีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 0.45 kg/หัว ดังนั้นหนึ่งถังจะหนักประมาณ 8.1 kg ในการออกแบบต้องการลดอุณหภูมิครั้งละประมาณ 30 kg ซึ่งจะได้ครั้งละ 4 ถัง โดยจัดวางถังบรรจุผลิตภัณฑ์ในถังตู้เย็นตู้แช่ดังนี้



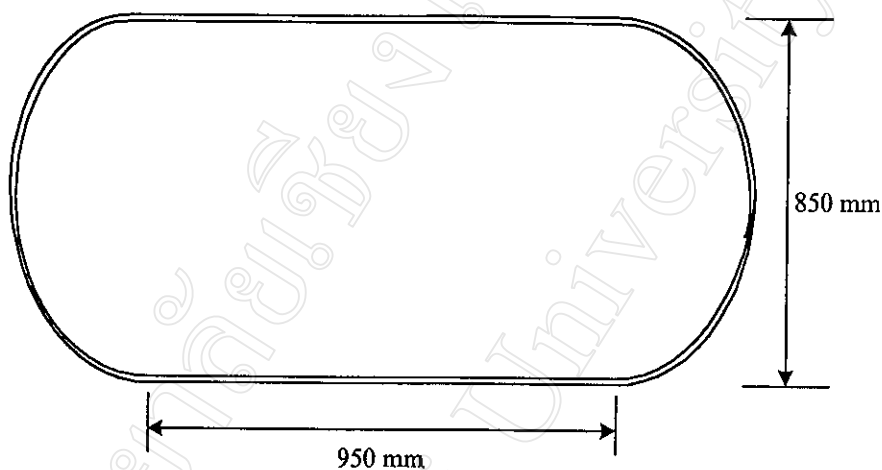
รูป 3.1 ขนาดและการจัดวางถังบรรจุผลิตภัณฑ์ภายในตู้ตู้เย็นตู้แช่

3.1.1.1 คำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของถังบรรจุ

$$\begin{aligned}\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังเล็กที่สุด} &= [(580^2) + (580)^2]^{0.5} \\ &= 820.244 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{ออกแบบเผื่อไว้ (สำหรับทำรางเลื่อนเข้าออก)} = 850 \text{ mm}$$

$$\text{ความยาวของถังบรรจุออกแบบเผื่อไว้ (รวมความยาวหัวถังสองด้าน)} = 950 \text{ mm}$$



รูปที่ 3.2 แสดงขนาดถังสูญญากาศที่ออกแบบ

3.1.1.2 คำนวณหาปริมาตรถังบรรจุผลิตผล โดยออกแบบให้เป็นถังทรงกระบอก หัวถังครึ่งทรงรี 2 : 1 (อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางหัวถึงต่อความสูงหัวถึง)

$$\text{ปริมาตรถังทั้งหมดของถังบรรจุผลิตผล} = \frac{\pi}{4} \times (0.85)^2 \times 0.95 = 0.539 \text{ m}^3$$

3.1.2 ภาระทางคานูดของระบบ

3.1.2.1 คำนวณหาภาระอากาศที่อยู่ในถังบรรจุ

เนื่องจากอากาศที่อยู่ภายในถังเป็นอากาศชื้น ซึ่งเป็นของผสมระหว่างอากาศแห้งและไอน้ำ โดยออกแบบให้อุณหภูมิภายในถังบรรจุเท่ากับอุณหภูมิบรรยากาศ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70 % จากตาราง ข.1 ในภาคผนวก ข ที่อุณหภูมิ 30°C จะได้ความดันไออิ่มตัว $P_{\text{sat}} = 4.246 \text{ kPa}$ ความดันย่อยของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ หาได้จากสมการ 2.5

$$P_v = 0.7 \times 4.246 = 2.972 \text{ kPa}$$

ขณะที่ความดันรวมของอากาศในบรรยากาศของจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งใช้เป็นสถานที่ของการทดสอบ มีความดันบรรยากาศวัดได้อยู่ในช่วงระหว่าง 98.90 – 99.80 kPa หรือ 742 – 748 torr โดยเลือกค่าความดันบรรยากาศสูงสุดมาใช้ในการคำนวณ คือ 99.80 kPa หรือ 748 torr ความดันย่อยของอากาศแห้ง หาได้จากสมการ 2.4

$$P_a = 99.8 - 2.972 = 96.828 \text{ kPa}$$

ดังนั้นมวลของอากาศแห้งและมวลของไอน้ำที่อยู่ในถังปิดสนิท ที่มีปริมาตรเท่ากัน $V_a = V_v = 0.539 \text{ m}^3$ หาได้จากสมการ 2.2 และ 2.3 โดยที่ค่าคงที่ของอากาศแห้งและไอน้ำ $R_a = 0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ และ $R_v = 0.461$

$\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$ ตามลำดับ

$$m_u = \frac{96.828 \times 0.539}{0.287 \times 303} \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^3 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{K}}{\text{kJ} \cdot \text{K}} \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kJ} \cdot \text{m}} = 0.60 \text{ kg}$$

$$m_v = \frac{2.972 \times 0.539}{0.461 \times 303} \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^3 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{K}}{\text{kJ} \cdot \text{K}} \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kJ} \cdot \text{m}} = 0.011 \text{ kg}$$

3.1.2.2 คำนวณหาภาระของไอน้ำที่ระเหยออกจากผิวของผลิตภัณฑ์

เนื่องจากความดันภายในถังบรรจุผลิตภัณฑ์จะถูกลดลงมาจนกระทั่งถึงความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิ 30°C และความดันจะถูกลดต่ำลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 2°C ข้อกำหนดของการออกแบบ มีดังนี้

มวลของผลิตภัณฑ์, $m = 30 \text{ kg}$

อุณหภูมิสมบูรณ์เริ่มต้นผลิตภัณฑ์, $T_{amb} = 303 \text{ K}$

อุณหภูมิสมบูรณ์ที่ความดันไออิ่มตัวหรืออุณหภูมิเก็บรักษา, $T_{sat} = 275 \text{ K}$

ความร้อนจำเพาะของผักกาดหอม, $c_p = 4.06 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ (จากตาราง ข.4 ในภาคผนวก ข)

ความร้อนแฝงของการกลายเปลี่ยนไอของน้ำ, $L = 2429.80 \text{ kJ/kg}$ (จากตาราง ข.1 ในภาคผนวก ข ที่อุณหภูมิ 30°C)

มวลของไอน้ำที่ระเหยออกจากผิวของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการลดอุณหภูมิ หาได้จากสมการ 2.8

$$m_v = \frac{30 \times 4.06 \times (303 - 275)}{2429.80} \text{ kg} \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \text{K} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kJ}} = 1.404 \text{ kg}$$

สมมติให้เวลาในการลดอุณหภูมิของระบบออกแบบไว้ที่ 30 นาที ดังนั้นภาระทางด้านจุดของอากาศที่ออกจากถังบรรจุ จะหาได้ดังนี้

$$\text{ภาระของอากาศแห้ง} = \frac{0.60 \times 60}{30} \frac{\text{kg}}{\text{min}} \cdot \frac{\text{min}}{\text{h}} = 1.20 \text{ kg/h}$$

$$\text{ภาระของไอน้ำ} = \frac{(0.011 + 1.404) \times 60}{30} \frac{\text{kg}}{\text{min}} \cdot \frac{\text{min}}{\text{h}} = 2.829 \text{ kg/h}$$

แต่เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบหัวฉีดไอน้ำ ค่าของการออกแบบที่อ่านได้จากรูป 2.9 เป็นหน่วยอังกฤษ ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนหน่วย โดยที่ $1 \text{ kg} = 2.2046 \text{ lb}_m$ ภาระทางด้านจุดที่ออกแบบ หาได้ดังนี้

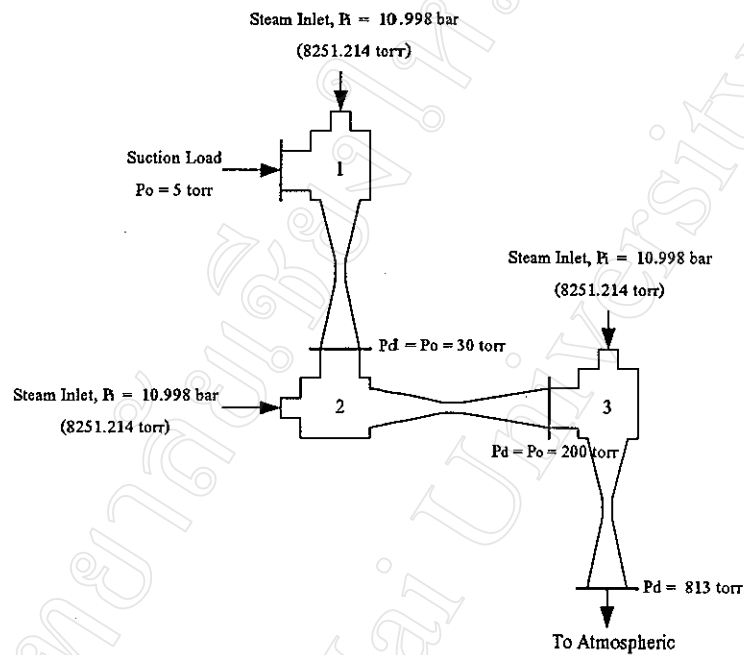
$$\text{ภาระของอากาศแห้ง} = 1.20 \times 2.2046 = 2.646 \text{ pph (Pound Per Hour)}$$

$$\text{ภาระของไอน้ำ} = 2.829 \times 2.2046 = 6.237 \text{ pph}$$

3.1.3 การออกแบบชุดหัวฉีดไอน้ำ

การออกแบบหัวฉีดไอน้ำมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ อัตราส่วนการอัดจะต้องไม่เกิน 10 : 1 สำหรับในแต่ละสเตจ ตามหลักเกณฑ์การออกแบบหัวฉีดไอน้ำของ Power R. B. (16) โดยทั่วไปจะออกแบบให้มีอัตราส่วนการอัดอยู่ระหว่าง 5 : 1 ถึง 8 : 1 ดังนั้นที่สภาวะการทำงานของระบบทำความเย็นด้วยสูญญากาศ เพื่อทำให้เกิดความดันสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 2°C ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความดันไออิ่มตัว 5 torr โดยออกแบบหัวฉีดไอน้ำให้มีจำนวน 3 สเตจต่อเนื่องกันไม่มีการควบแน่น (Three Stage Non - condensing) พบว่าค่าอัตราส่วนการอัดของการออกแบบหัวฉีดไอน้ำในแต่ละสเตจที่เหมาะสม คือ หัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 1 (First Stage Steam Jet Ejector) ออกแบบให้มีความดันสมบูรณ์ทางด้านจุด 5 torr ความดันสมบูรณ์ทางด้านจ่าย 30 torr มีอัตราส่วนการอัด 6.0 หัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 2 (Second Stage Steam Jet Ejector) ออกแบบให้มีความดันสมบูรณ์ทางด้านจุด

30 torr ความดันสมบูรณ์ด้านจ่าย 200 torr มีอัตราส่วนการอัด 6.667 และหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 3 (Third Stage Steam Jet Ejector) ออกแบบให้มีความดันสมบูรณ์ทางด้านดูด 200 torr ความดันสมบูรณ์ทางด้านจ่ายออกที่บรรยากาศ 813 torr มีอัตราส่วนการอัด 4.065 ดังแสดงในรูป 3.3



รูป 3.3 สถานะการทำงานของหัวฉีดไอน้ำแบบ 3 สเตจที่ไม่มีการควบแน่น

3.1.3.1 การออกแบบหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 1

ก. คำนวณหาภาระอากาศแห้งทางด้านดูดของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 1 ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลของอากาศแห้งเท่ากับ 29 และน้ำหนักโมเลกุลของไอน้ำเท่ากับ 18 อ่านค่า Entrainment Ratio Curve จากรูป 2.6 สำหรับอากาศแห้ง = 1.0 และไอน้ำ = 0.8 และจากรูป 2.7 ออกแบบให้อุณหภูมิภายในถังบรรจุผลิตภัณฑ์เท่ากับอุณหภูมิบรรยากาศ 30°C (86°F) สำหรับอากาศ = 1.0 และไอน้ำ = 1.0 ดังนั้น ภาระอากาศแห้งของสเตจที่ 1

$$= \frac{2.646}{1.0 \times 1.0} + \frac{6.237}{0.8 \times 1.0} \text{ pph}$$

$$= 10.442 \text{ pph} = 4.736 \text{ kg/h}$$

ดังนั้นออกแบบให้ภาระของอากาศแห้งทางด้านดูดสเตจที่ 1 เท่ากับ 5 kg/h หรือ 11 pph

ข. คำนวณหาปริมาณของไอน้ำที่ต้องการ ซึ่งกำหนดสถานะการทำงานของหัวฉีดไอน้ำ ออกแบบให้มีความดันด้านดูด 5 torr จ่ายออก 30 torr จากรูป 2.9 อัตราส่วนระหว่างไอน้ำต่ออากาศแห้ง จะได้ค่า $R_a = 1.4 \text{ lb}_{\text{steam}}/\text{lb}_{\text{dry air}}$ และจากรูป 2.10 และ 2.11 เมื่อใช้ไอน้ำแห้งอิ่มตัวที่ความดันสมบูรณ์ 8251.214 torr (10.998 bar) จะได้ M_{pi} และ $M_{pi/po} = 1.0$ สำหรับหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 1 ออกแบบให้มีสถานะการทำงานเป็นแบบเสถียร (Stable Operation) จะได้ M_{stab} และ $M_{p3=0} = 1.0$ ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ต้องการ หาได้จาก

สมการ 2.16

$$\begin{aligned} \dot{R} &= 1.4 \times 11.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times \frac{\text{lb}_{\text{steam}}}{\text{lb}_{\text{dry air}}} \times \frac{\text{lb}_{\text{dry air}}}{\text{h}} \\ &= 15.40 \text{ lb}_{\text{steam}}/\text{h} = 6.985 \text{ kg}_{\text{steam}}/\text{h} \end{aligned}$$

ดังนั้นออกแบบให้อัตราการไหลของไอน้ำที่ต้องการสำหรับหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 1 เท่ากับ 7 kg/h

ค. คำนวณหาขนาดต่าง ๆ ของหัวฉีดไอน้ำ ซึ่งประกอบด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

คอคอดหัวฉีด ข้อต่อด้านดูดและคอคอดตัวกระจาย จากสมการ 2.18 – 2.20

ข้อกำหนดของการออกแบบ มีดังนี้

ความดันสมบูรณ์ด้านดูด, $P_o = 5 \text{ torr}$

ความดันสมบูรณ์ด้านจ่าย, $P_s = 30 \text{ torr}$

ไอน้ำแห้งอิ่มตัวความดันสมบูรณ์, $P_i = 10.998 \text{ bar}$

อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้งที่ด้านดูด, $\dot{m}_s = 5 \text{ kg/h}$

อัตราการไหลเชิงมวลวิกฤตของไอน้ำที่ผ่านหัวฉีด, $\dot{m}_p = 7 \text{ kg/h}$

อัตราการไหลเชิงมวลสุทธิของผสมที่ด้านจ่าย, $\dot{m}_d = 7 + 0.8 \times 5 = 11 \text{ kg/h}$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดของหัวฉีด หาได้จากสมการ 2.18

$$D_i = \frac{1.477 (7)^{0.5}}{(10.998)^{0.48}} = 1.236 \text{ mm}$$

ดังนั้นออกแบบให้เส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดหัวฉีดเท่ากับ 1 mm (ตามขนาดดอกสว่านมาตรฐาน)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดของตัวกระจาย หาได้จากสมการ 2.19

$$D_d = 33.942 \left[\frac{11}{30} \right]^{0.5} = 20.553 \text{ mm}$$

ดังนั้นออกแบบให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดตัวกระจายเท่ากับ 21 mm

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางข้อต่อด้านดูด หาได้จากสมการ 2.20

$$D_s = 60.342 \left[\frac{5}{5} \right]^{0.5} = 60.342 \text{ mm}$$

ดังนั้นออกแบบให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางข้อต่อด้านดูดเท่ากับ 63 mm (ใช้ต่อกับวาล์ว 2 1/2 inch)

ง. คำนวณหาขนาดและลักษณะรูปร่างของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 1 ดังนี้

หัวฉีด ซึ่งเป็นแบบลู่เข้าและบานออก เมื่อรู้มุมรวมของกรวยหัวฉีดส่วนที่ลู่เข้า และบานออกของหัวฉีด จะสามารถคำนวณหาขนาดและรูปร่างของหัวฉีดได้ดังนี้

ข้อกำหนดของการออกแบบหัวฉีด มีดังนี้

มุมรวมของกรวยที่ลู่เข้า, $\theta = 20 \text{ องศา}$

มุมรวมของกรวยที่บานออก, $\theta = 12 \text{ องศา}$

ความยาวทางเข้าหัวฉีด, $l = 15 \text{ mm}$ (ความยาวเกลียว)

ความดันสมบูรณ์ของไอน้ำที่ออกจากหัวฉีด, $P_e = 5 \text{ torr}$

ความดันสมบูรณ์ของไอน้ำที่เข้าหัวฉีด, $P_i = 8251.214 \text{ torr}$ (10.998 bar)

เส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดหัวฉีด, $D_i = 1 \text{ mm}$

ไอน้ำแห้งอิ่มตัว, $k = 1.3$

การไหลของไอน้ำที่ออกจากหัวฉีดเป็นแบบความเร็วเหนือเสียง เมื่อพื้นที่เป็นฟังก์ชันกับความดันของของไหล ดังนั้นอัตราส่วนพื้นที่ที่สอดคล้องพื้นที่ทางออกของหัวฉีด หาได้จากสมการ 2.9

$$\left[\frac{A_t}{A_e} \right]^2 = \left[\frac{2}{1.3-1} \left[\frac{1.3+1}{2} \right]^{\frac{1.3+1}{1.3-1}} \left[\frac{5}{8251.214} \right]^{\frac{2}{1.3}} \left[1 - \left(\frac{5}{8251.214} \right)^{\frac{1.3-1}{1.3}} \right] \right]$$

$$= 0.00017$$

$$\frac{A_t}{A_e} = [0.00017]^{0.5} = 0.0130$$

กำหนดให้อัตราส่วนพื้นที่ในทางทฤษฎี $\frac{A_e}{A_t} = \frac{1}{0.013} = 76.696$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางออกของหัวฉีด หาได้จากสมการ 2.10

$$\frac{D_e}{D_t} = \left[\frac{A_e}{A_t} \right]^{0.5} = (76.696)^{0.5} = 8.758$$

$$D_e = 8.758 \times 1 = 8.758 \text{ mm}$$

ดังนั้นออกแบบให้เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกหัวฉีดเท่ากับ 10 mm (ตามขนาดมาตรฐานริมเมอร์)

ความยาวของกรวยหัวฉีดส่วนที่บานออก หาได้จากสมการ 2.11

$$l = \frac{10-1}{2 \tan(12/2)} = 42.815 \text{ mm}$$

ดังนั้นออกแบบให้ความยาวของกรวยหัวฉีดส่วนที่บานออกเท่ากับ 43 mm

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางเข้าหัวฉีด หาได้จากการประยุกต์สมการ 2.10

$$D_i = 2 \times 15 \times \tan(20/2) + 1 = 6.29 \text{ mm}$$

ดังนั้นออกแบบให้เส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางเข้าหัวฉีดเท่ากับ 6 mm

เนื่องจากหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 1 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางข้อต่อด้านดุมมากกว่าความยาวของหัวฉีด ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์ขยายความยาวหัวฉีด (Extension) ต่อร่วมกับหัวฉีด ซึ่งความยาวทั้งหมดจะต้องไม่น้อยกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของข้อต่อด้านดุม เพื่อให้ระยะที่ปากทางออกของหัวฉีดไหลเข้าไปที่ปากทางเข้าของตัวกระจาย

ดังนั้นออกแบบให้ส่วนขยายความยาวหัวฉีดเท่ากับ 22 mm

เวนจูรี ซึ่งมีลักษณะรูปร่างเป็นแบบลู่เข้าและบานออก บริเวณคอคอจะมีพื้นที่คงที่ ดังนั้นเมื่อรู้มุมรวมของกรวยลู่เข้าและบานออก เส้นผ่านศูนย์กลางคอคอตัวกระจาย และความยาวของแต่ละส่วนซึ่งประกอบด้วย ช่วงการผสม คอคอตัวกระจายและตัวกระจาย โดยทั้งหมดแสดงอยู่ในทอมของเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอตัวกระจาย จะสามารถหาเส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้าและออกของตัวกระจายได้ (ดูรูป 1.2 ประกอบด้วย)

ข้อกำหนดของการออกแบบช่วงผสม มีดังนี้

มุมรวมของกรวยที่ทางเข้า (ตำแหน่ง x) $\theta = 12$ องศา

มุมรวมของปลายกรวย (ตำแหน่ง 1) $\theta = 4$ องศา

ความยาวของช่วงผสม = 7 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอตัวกระจาย

ข้อกำหนดของการออกแบบคอคอดตัวกระจาย มีดังนี้

ความยาวคอคอดของตัวกระจาย = 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดตัวกระจาย

ข้อกำหนดของการออกแบบตัวกระจาย มีดังนี้

มุมรวมของกรวยที่บานออก (ตำแหน่งที่ 2) $\theta = 10$ องศา

ความยาวตัวกระจาย = 4.286 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดตัวกระจาย

เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดของตัวกระจายสำหรับหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 1 เท่ากับ 21 mm ดังนั้น

$$\text{ความยาวของช่วงผสม} = 7 \times 21 = 147 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{เส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางเข้า (ตำแหน่ง x)} &= 2 \times 147 \times \tan(12/2) + 21 \\ &= 51.901 \approx 52 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เส้นผ่านศูนย์กลางที่ลู่อู่เข้า} &= 2 \times (147 - 10) \times \tan(4/2) + 21 \\ &= 30.568 \approx 31 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{ความยาวคอคอดตัวกระจาย} = 3 \times 21 = 63 \text{ mm}$$

$$\text{ความยาวของตัวกระจาย} = 4.286 \times 21 = 90 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{เส้นผ่านศูนย์กลางที่บานออก (ตำแหน่ง 3)} &= 2 \times 90 \times \tan(10/2) + 21 \\ &= 36.748 \approx 37 \text{ mm} \end{aligned}$$

3.1.3.2 การออกแบบหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 2

ก. คำนวณหาภาระอากาศแห้งทางด้านดูดของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 2 ซึ่งต่ออนุกรมโดยตรงกับสเตจที่ 1 ดังนั้นอุณหภูมิทางออกจึงเป็นอุณหภูมิของผสมระหว่างไอน้ำและอากาศแห้ง ซึ่งถือว่าเป็นก๊าซสมบูรณ์ อุณหภูมิของก๊าซผสม หาได้จากสมการ 2.23

ข้อกำหนดของการออกแบบ มีดังนี้

อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำสเตจที่ 1, $\dot{m}_p = 7 \text{ kg/h}$

อุณหภูมิสมบูรณ์ของไอน้ำ, $T_p = 184 + 273 = 457 \text{ K}$

ความร้อนจำเพาะของไอน้ำแห้งอิ่มตัว, $c_{pp} = 2.63 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ (จากตารางข.2 ในภาคผนวก ข ที่อุณหภูมิ 457 K)

อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้งที่ด้านดูด, $\dot{m}_s = 5 \text{ kg/h}$

อุณหภูมิสมบูรณ์ของอากาศแห้ง, $T_s = 30 + 273 = 303 \text{ K}$

ความร้อนจำเพาะอากาศแห้ง, $c_{ps} = 1.007 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ (จากตาราง ข.3 ในภาคผนวก ข ที่อุณหภูมิ 303 K)

อุณหภูมิของก๊าซผสมที่ทางเข้าหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 2

$$T_m = \frac{(7 \times 2.63 \times 457) + (5 \times 1.007 \times 303)}{(7 \times 2.63) + (5 \times 1.007)} = 424 \text{ K} = 151^\circ\text{C}$$

อุณหภูมิของก๊าซผสมที่ทางเข้าหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 2 เป็น $151^\circ\text{C} = 303.8^\circ\text{F}$ จากรูป 2.7 สำหรับอากาศ = 0.947 และไอน้ำ = 0.926 ภาระอากาศแห้งของสเตจที่ 2

$$= \frac{2.646}{0.947 \times 1.0} + \frac{15.40}{0.8 \times 0.926} = 22.405 \text{ pph} = 10.163 \text{ kg/h}$$

ดังนั้นออกแบบให้ภาระของอากาศแห้งทางด้านดูดสเตจที่ 2 เท่ากับ 10 kg/h หรือ 22.046 pph

ข. คำนวณหาปริมาณไอน้ำที่ต้องการ ซึ่งกำหนดสภาวะการทำงานของหัวฉีดไอน้ำ ออกแบบให้มีความดันด้านดูด 30 torr จ่ายออกที่ความดัน 200 torr จากรูป 2.9 จะได้ $\dot{m}_a = 2.5 \text{ lb}_{\text{steam}}/\text{lb}_{\text{dry air}}$ และจากรูป 2.10 และ 2.11 เมื่อใช้ไอน้ำแห้งอิ่มตัวที่มีความดันเดียวกับสเตจที่ 1 จะได้ M_{pi} และ $M_{pi/po} = 1.0$ สำหรับหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 2 ออกแบบให้มีสภาวะการทำงานเป็นแบบเสถียรจะได้ M_{stab} และ $M_{p3-o} = 1.0$ ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ต้องการ หาได้จากสมการ 2.16

$$\begin{aligned}\dot{R} &= 2.5 \times 22.046 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times \frac{\text{lb}_{\text{steam}}}{\text{lb}_{\text{dry air}}} \times \frac{\text{lb}_{\text{dry air}}}{\text{h}} \\ &= 55.015 \text{ pph} = 25 \text{ kg/h}\end{aligned}$$

ดังนั้นออกแบบให้อัตราการไหลของไอน้ำที่ต้องการสำหรับหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 2 เท่ากับ 25 kg/h

ค. คำนวณหาขนาดต่างๆ ของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 2

ข้อกำหนดของการออกแบบ มีดังนี้

ความดันสมบูรณ์ด้านดูด, $P_o = 30 \text{ torr}$

ความดันสมบูรณ์ด้านจ่าย, $P_3 = 200 \text{ torr}$

ไอน้ำแห้งอิ่มตัวความดันสมบูรณ์, $P_i = 10.998 \text{ bar}$

อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้งที่ด้านดูด, $\dot{m}_s = 10 \text{ kg/h}$

อัตราการไหลเชิงมวลวิกฤตของไอน้ำที่ผ่านหัวฉีด, $\dot{m}_p = 25 \text{ kg/h}$

อัตราการไหลเชิงมวลสุทธิของผสมที่ด้านจ่าย, $\dot{m}_d = 25 + 0.8 \times 10 = 33 \text{ kg/h}$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอของหัวฉีด หาได้จากสมการ 2.18

$$D_i = 1.477 \frac{(25)^{0.5}}{(10.998)^{0.48}} = 2.336 \text{ mm}$$

ดังนั้นออกแบบให้เส้นผ่านศูนย์กลางคอคอของหัวฉีดเท่ากับ 2 mm (ตามขนาดคอคอส่วนมาตรฐาน)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอตัวกระจาย หาได้จากสมการ 2.19

$$D_d = 33.942 \left(\frac{33}{200} \right)^{0.5} = 13.787 \text{ mm}$$

ดังนั้นออกแบบให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอตัวกระจายเท่ากับ 14 mm

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางข้อต่อด้านดูด หาได้จากสมการ 2.20

$$D_s = 60.342 \left(\frac{10}{30} \right)^{0.5} = 34.837 \text{ mm}$$

ดังนั้นออกแบบให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางข้อต่อด้านดูดเท่ากับด้านจ่ายของสเตจที่ 1 เท่ากับ 37 mm.

ง. คำนวณหาขนาดและลักษณะรูปร่างของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 2 ดังนี้

ข้อกำหนดของการออกแบบหัวฉีด มีดังนี้

มุมรวมของกรวยที่ถู่เข้า, $\theta = 20$ องศา

มุมรวมของกรวยที่บานออก, $\theta = 12$ องศา

ความยาวทางเข้าหัวฉีด, $l = 15 \text{ mm}$ (ความยาวเกลียว)

ความดันสมบูรณ์ของไอน้ำที่ออกจากหัวฉีด, $P_e = 30 \text{ torr}$

ความดันสมบูรณ์ของไอน้ำที่เข้าหัวฉีด, $P_i = 8251.214 \text{ torr}$

เส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดหัวฉีด, $D_t = 2 \text{ mm}$

ไอน้ำแห้งอิ่มตัว, $k = 1.3$

การคำนวณหาขนาดต่าง ๆ ของหัวฉีดสแตงที่ 2 ก็กระทำเช่นเดียวกับสแตงที่ 1 เมื่ออัตราส่วนพื้นที่คอคอดต่อพื้นที่ทางออกของหัวฉีด หาได้จากสมการ 2.9

$$\left[\frac{A_t}{A_e} \right]^2 = \left[\frac{2}{1.3-1} \right] \left[\frac{1.3+1}{2} \right]^{\frac{1.3+1}{1.3-1}} \left[\frac{30}{8251.214} \right]^{\frac{2}{1.3}} \left[1 - \left(\frac{30}{8251.214} \right)^{\frac{1.3-1}{1.3}} \right]$$

$$\frac{A_t}{A_e} = (0.002)^{0.5} = 0.045$$

กำหนดให้อัตราส่วนพื้นที่ในทางทฤษฎี $\frac{A_e}{A_t} = \frac{1}{0.045} = 22.222$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางออกของหัวฉีด หาได้จากสมการ 2.10

$$\frac{D_e}{D_t} = \left[\frac{A_e}{A_t} \right]^{0.5} = (22.222)^{0.5} = 4.714$$

$$D_e = 4.714 \times 2 = 9.428 \text{ mm}$$

ดังนั้นออกแบบให้เส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางออกหัวฉีดเท่ากับ 10 mm (ตามขนาดมาตรฐานริมเมอร์)

ความยาวของกรวยหัวฉีดตรงส่วนที่บานออก หาได้จากสมการ 2.11

$$l = \frac{10 - 2}{2 \tan(12/2)} = 38.057 \text{ mm}$$

ดังนั้นออกแบบให้ความยาวของกรวยหัวฉีดตรงส่วนที่บานออกเท่ากับ 38 mm

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางเข้าหัวฉีด หาได้จากการประยุกต์สมการ 2.10

$$D_i = 2 \times 15 \times \tan(20/2) + 2 = 7.29 \text{ mm}$$

ดังนั้นออกแบบให้เส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้าหัวฉีดเท่ากับ 7 mm

ข้อกำหนดของการออกแบบช่วงผสมของเวนจูรี มีดังนี้

มุมรวมของกรวยที่ทางเข้า (ตำแหน่ง x) $\theta = 12$ องศา

มุมรวมของปลายกรวย (ตำแหน่ง 1) $\theta = 4$ องศา

ความยาวของช่วงผสม = 7 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดตัวกระจาย

ข้อกำหนดของการออกแบบคอคอดตัวกระจาย มีดังนี้

ความยาวคอคอดตัวกระจาย = 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดตัวกระจาย

ข้อกำหนดของการออกแบบตัวกระจาย มีดังนี้

มุมรวมของกรวยที่บานออก (ตำแหน่ง 2) $\theta = 10$ องศา

ความยาวตัวกระจาย = 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดตัวกระจาย

เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดตัวกระจายสำหรับหัวฉีดไอน้ำสแตงที่ 2 เท่ากับ 14 mm ดังนั้น

$$\text{ความยาวของช่วงผสม} = 7 \times 14 = 98 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{เส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางเข้าเวนจูรี (ตำแหน่ง x)} &= 2 \times 98 \times \tan(12/2) + 14 \\ &= 34.6 \approx 35 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เส้นผ่านศูนย์กลางที่ลู่อเข้า} &= 2 \times (98 - 10) \times \tan(4/2) + 14 \\ &= 20.146 \approx 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{ความยาวคอคอดตัวกระจาย} = 3 \times 14 = 42 \text{ mm}$$

$$\text{ความยาวของตัวกระจาย} = 5 \times 14 = 70 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{เส้นผ่านศูนย์กลางที่บานออก (ตำแหน่งที่ 3)} &= 2 \times 70 \times \tan(10/2) + 14 \\ &= 26.248 \approx 26 \text{ mm} \end{aligned}$$

3.1.3.3 การออกแบบหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 3

ก. คำนวณหาภาระอากาศแห้งทางด้านดูดของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 3 ซึ่งต่ออนุกรมโดยตรงกับหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 2

ข้อกำหนดของการออกแบบ มีดังนี้

$$\text{อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำสเตจที่ 2, } \dot{m}_p = 25 \text{ kg/h}$$

$$\text{อุณหภูมิสมบูรณ์ของไอน้ำ, } T_p = 184 + 273 = 457 \text{ K}$$

$$\text{ความร้อนจำเพาะของไอน้ำ, } c_{pp} = 2.63 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \text{ (จากตาราง ข.2 ในภาคผนวก ข ที่อุณหภูมิ 457 K)}$$

$$\text{อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้งทางด้านดูด, } \dot{m}_s = 10 \text{ kg/h}$$

$$\text{อุณหภูมิสมบูรณ์ของอากาศแห้ง, } T_s = 424 \text{ K}$$

$$\text{ความร้อนจำเพาะอากาศแห้ง, } c_{ps} = 1.017 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \text{ (จากตาราง ข.3 ในภาคผนวก ข ที่อุณหภูมิ 424 K)}$$

อุณหภูมิของก๊าซผสมที่ทางเข้าหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 3

$$T_m = \frac{(25 \times 2.63 \times 457) + (10 \times 1.017 \times 424)}{(25 \times 2.63) + (10 \times 1.017)} = 452.579 \text{ K} \approx 180^\circ\text{C}$$

อุณหภูมิของก๊าซผสมที่ทางเข้าหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 3 เป็น $180^\circ\text{C} = 356^\circ\text{F}$ จากรูป 2.7 สำหรับอากาศ = 0.932 และไอน้ำ = 0.908 ภาระอากาศแห้งของสเตจที่ 3

$$= \frac{2.646}{0.932 \times 1.0} + \frac{55.015}{0.8 \times 0.908} = 81.570 \text{ pph} = 37 \text{ kg/h}$$

ดังนั้นออกแบบให้ภาระของอากาศแห้งทางด้านดูดสเตจที่ 2 เท่ากับ 37 kg/h หรือ 81.570 pph

ข. คำนวณหาปริมาณไอน้ำที่ต้องการ ซึ่งกำหนดสภาวะการทำงานของหัวฉีดไอน้ำออกแบบให้มีความดันด้านดูด 200 torr จ่ายออกที่ความดัน 813 torr จากรูป 2.9 จะได้ $\dot{R}_a = 2.0 \text{ lb}_{\text{steam}}/\text{lb}_{\text{dry air}}$ และจากรูป 2.10 และ 2.11 เมื่อใช้ไอน้ำแห้งอิมคิวที่ความดันเดียวกับสเตจที่ 1 และ 2 จะได้ M_{pi} และ $M_{pi/po} = 1.0$ สำหรับหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 3 ออกแบบให้จ่ายออกที่ความดันบรรยากาศ โดยที่ไอน้ำที่ออกมาจะต้องปะทะกับอากาศภายนอก ดังนั้นเพื่อให้การทำงานของสเตจนี้มีความเสถียรเหมือนกับสเตจที่ 1 และ 2 จึงกำหนดให้ $M_{sub} = 1.15$ และ $M_{p3-o} = 1.10$ ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ต้องการ หาได้จากสมการ 2.16

$$\begin{aligned} \dot{R} &= 2.0 \times 81.570 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.15 \times 1.10 \times \frac{\text{lb}_{\text{steam}}}{\text{lb}_{\text{dry air}}} \times \frac{\text{lb}_{\text{dry air}}}{\text{h}} \\ &= 206.372 \text{ pph} = 93.864 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

ดังนั้นออกแบบให้อัตราการไหลของไอน้ำที่ต้องการสำหรับหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 3 เท่ากับ 94 kg/h

ค. คำนวณหาขนาดต่าง ๆ ของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 3

ข้อกำหนดของการออกแบบ มีดังนี้

ความดันสมบูรณ์ด้านดูด, $P_o = 200$ torr

ความดันสมบูรณ์ด้านจ่าย, $P_j = 813$ torr

ไอน้ำแห้งอิ่มตัวความดันสมบูรณ์, $P_i = 10.998$ bar

อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้งที่ด้านดูด, $\dot{m}_s = 37$ kg/h

อัตราการไหลเชิงมวลวิกฤตของไอน้ำที่ผ่านหัวฉีด, $\dot{m}_p = 94$ kg/h

อัตราการไหลเชิงมวลสุทธิของผสมที่ด้านจ่าย, $\dot{m}_d = 94 + 0.8 \times 37 = 123.6$ kg/h

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอของหัวฉีด หาได้จากสมการ 2.18

$$D_i = 1.477 \frac{(94)^{0.5}}{(10.998)^{0.48}} = 4.53 \text{ mm}$$

ดังนั้นออกแบบให้เส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางออกหัวฉีดเท่ากับ 4 mm (ตามขนาดคอขวานมาตรฐาน)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอตัวกระจาย หาได้จากสมการ 2.19

$$D_d = 33.942 \left(\frac{123.6}{813} \right)^{0.5} = 15.340 \text{ mm}$$

ดังนั้นออกแบบให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอตัวกระจายเท่ากับ 15 mm

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางข้อต่อด้านดูด หาได้จากสมการ 2.20

$$D_s = 60.342 \left(\frac{37}{200} \right)^{0.5} = 25.954 \text{ mm}$$

ดังนั้นออกแบบให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางข้อต่อด้านดูดเท่ากับด้านจ่ายสแตงที่ 2 เท่ากับ 26 mm

ง. กำหนดหาขนาดและลักษณะรูปร่างของหัวฉีดไอน้ำสแตงที่ 3 ดังนี้

ข้อกำหนดของการออกแบบหัวฉีด มีดังนี้

มุมรวมของกรวยที่ถูเข้า, $\theta = 20$ องศา

มุมรวมของกรวยที่บานออก, $\Theta = 12$ องศา

ความยาวทางเข้าหัวฉีด, $l = 15$ mm (ความยาวเกลียว)

ความดันสมบูรณ์ของไอน้ำที่ออกจากหัวฉีด, $P_e = 200$ torr

ความดันสมบูรณ์ของไอน้ำที่เข้าหัวฉีด, $P_i = 8251.214$ torr

เส้นผ่านศูนย์กลางคอคอหัวฉีด, $D_i = 4$ mm

ไอน้ำแห้งอิ่มตัว, $k = 1.3$

การคำนวณหาขนาดต่าง ๆ ของหัวฉีดสแตงที่ 3 ก็กระทำเช่นเดียวกับสแตงที่ 1 และ 2 เมื่ออัตราส่วนพื้นที่คอคอต่อพื้นที่ทางออกของหัวฉีด หาได้จากสมการ 2.9

$$\left[\frac{A_t}{A_e} \right]^2 = \left[\frac{2}{1.3-1} \right] \left[\frac{1.3+1}{2} \right]^{\frac{1.3+1}{1.3-1}} \left[\frac{200}{8251.214} \right]^{\frac{2}{1.3}} \left[1 - \left(\frac{200}{8251.214} \right)^{\frac{1.3-1}{1.3}} \right]$$

$$\frac{A_t}{A_e} = (0.035)^{0.5} = 0.187$$

กำหนดให้อัตราส่วนพื้นที่ในทางทฤษฎี $\frac{A_e}{A_t} = \frac{1}{0.187} = 5.348$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางออกของหัวฉีด หาได้จากสมการ 2.10

$$\frac{D_e}{D_t} = \left[\frac{A_e}{A_t} \right]^{\frac{1}{2}} = (5.348)^{0.5} = 2.312$$

$$D_e = 2.312 \times 4 = 9.248 \text{ mm}$$

ดังนั้นออกแบบให้เส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางออกหัวฉีดเท่ากับ 10 mm (ตามขนาดมาตรฐานรีมเมอร์)
ความยาวของกรวยหัวฉีดตรงส่วนที่บานออก หาได้จากสมการ 2.11

$$l = \frac{10 - 4}{2 \tan(12/2)} = 28.435 \text{ mm}$$

ดังนั้นออกแบบให้ความยาวของกรวยหัวฉีดตรงส่วนที่บานออกเท่ากับ 28 mm
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางเข้าหัวฉีด หาได้จากการประยุกต์สมการ 2.10

$$D_i = 2 \times 15 \times \tan(20/2) + 4 = 9.29 \text{ mm}$$

ดังนั้นออกแบบให้เส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้าหัวฉีดเท่ากับ 9 mm

ข้อกำหนดของการออกแบบช่วงผสมของเวนจูรี มีดังนี้

มุมรวมของกรวยที่ทางเข้า (ตำแหน่ง x) $\theta = 12$ องศา

มุมรวมของปลายกรวย (ตำแหน่ง 1) $\theta = 4$ องศา

ความยาวของช่วงผสม = 7 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอขวดตัวกระจาย

ข้อกำหนดของการออกแบบคอขวดตัวกระจาย มีดังนี้

ความยาวคอขวดตัวกระจาย = 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอขวดตัวกระจาย

ข้อกำหนดของการออกแบบตัวกระจาย มีดังนี้

มุมรวมของกรวยที่บานออก (ตำแหน่ง 2) $\theta = 10$ องศา

ความยาวตัวกระจาย = 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอขวดตัวกระจาย

เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอขวดตัวกระจายสำหรับหัวฉีดไอน้ำสเตรจที่ 3 เท่ากับ 15 mm ดังนั้น

$$\text{ความยาวของช่วงผสม} = 7 \times 15 = 105 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{เส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางเข้าเวนจูรี (ตำแหน่ง x)} &= 2 \times 105 \times \tan(12/2) + 15 \\ &= 34.072 \approx 34 \text{ mm} \end{aligned}$$

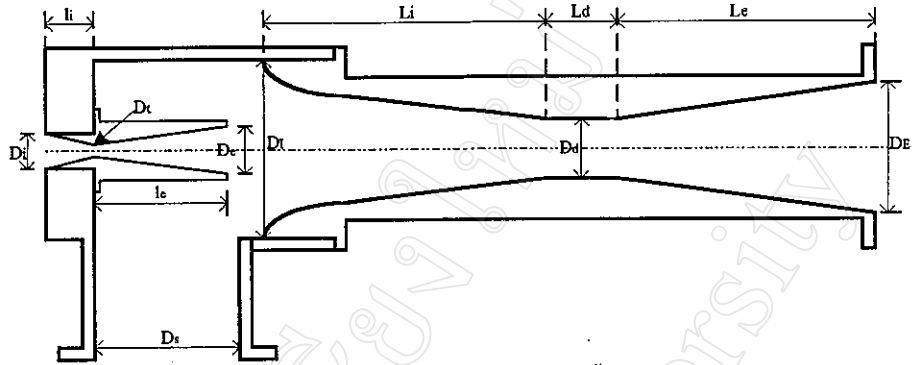
$$\begin{aligned} \text{เส้นผ่านศูนย์กลางที่ลู่เข้า} &= 2 \times (105 - 10) \times \tan(4/2) + 15 \\ &= 21.635 \approx 22 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{ความยาวคอขวดตัวกระจาย} = 3 \times 15 = 45 \text{ mm}$$

$$\text{ความยาวของตัวกระจาย} = 5 \times 15 = 75 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{เส้นผ่านศูนย์กลางที่บานออก (ตำแหน่งที่ 3)} &= 2 \times 75 \times \tan(10/2) + 15 \\ &= 28.123 \approx 28 \text{ mm} \end{aligned}$$

3.2 สรุปผลการออกแบบและดำเนินการสร้าง



ตาราง 3.1 แสดงขนาดต่าง ๆ ของหัวฉีดไอน้ำที่ออกแบบ

Steam Jet Ejector Section	Dimension			Symbol
	Stage 1	Stage 2	Stage 3	
1. Nozzle Section				
Throat Diameter (mm)	1	2	4	D_t
Convergent Cone Diameter (mm)	6	7	9	D_i
Divergent Cone Diameter (mm)	10	10	10	D_e
Convergent Cone Length (mm)	15	15	15	l_i
Divergent Cone Length (mm)	43	38	28	L_e
2. Venturi Section				
Throat Diameter (mm)	21	14	15	D_d
Convergent Cone Diameter (mm)	52	35	34	D_i
Divergent Cone Diameter (mm)	37	26	28	D_e
Throat Length (mm)	63	42	45	L_d
Mixing Section Length (mm)	147	98	105	L_i
Diffuser Section Length (mm)	90	70	75	L_e
3. Suction Connector				
Diameter (mm)	63	37	26	D_s
4. Steam Requirement (kg/h)				Total
Theoretical (Equation 2.16)	7	25	94	126
Calculation (Equation 2.17)	4.586	18.345	73.382	96.31

การออกแบบและสร้างชุดหัวฉีดไอน้ำ จะใช้วัสดุเหล็กกล้าผสม (AISI 1020) ซึ่งมีคุณสมบัติเหนียว สามารถกลึงขึ้นรูปได้ง่าย เนื่องจากหัวฉีดไอน้ำที่ออกแบบและสร้างเป็นเพียงต้นแบบ ดังนั้นจึงไม่ได้คำนึงถึงผลของการเกิดสนิมและการกัดกร่อนของไอน้ำที่เกิดขึ้นขณะใช้งาน หัวฉีดทำจากทองเหลืองซึ่งสามารถกลึงขึ้นรูป

ได้ง่าย และชุดหัวฉีดไอน้ำที่สร้างจะต้องมีความสะดวกในการปรับค่าตำแหน่งที่เหมาะสม ซึ่งทำให้หัวฉีดไอน้ำสามารถสร้างสูญญากาศได้ดีที่สุด จึงได้ทำเกลียวสำหรับปรับเลื่อนเข้าออกได้ โดยใช้ปะเก็นหรือตัวรอง (Gasket and Spacer) จากการออกแบบใช้หัวฉีดไอน้ำจำนวน 3 ชุดต่ออนุกรมกันไม่มีอุปกรณ์ควบแน่น ซึ่งมีรายละเอียดของการออกแบบและดำเนินการสร้างตามแบบที่อยู่ในภาคผนวก ง ดังนี้

3.2.1 หัวฉีด เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานโดยใช้ไอน้ำที่ออกจากปลายของหัวฉีด ซึ่งมีความเร็วที่สูงมาก ทำให้เกิดการดูดเอาของไหลที่เป็นภาระทางด้านดูดออกไปจากถังบรรจุ จึงทำให้ความดันลดต่ำลง การออกแบบรูปร่างภายในของหัวฉีดเป็นแบบทรงกรวย ซึ่งมีลักษณะรูเข้าและบานออก โดยออกแบบให้มุมรวมของกรวยหัวฉีดส่วนที่รูเข้า 20 องศา และมุมรวมของกรวยส่วนที่บานออก 12 องศา ทำจากเพลาทองเหลืองกลมตัน แล้วนำมากลึงขึ้นรูปตามแบบของการคำนวณหัวฉีดในแต่ละสเถจ แสดงในภาคผนวก ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอของหัวฉีดออกแบบให้มีขนาดน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ ชิดตามขนาดคอคอส่วนมาตรฐานที่มีจำหน่าย

3.2.2 เวนจูรี เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานโดยอาศัยการเปลี่ยนพลังงานที่อยู่ในรูปของความเร็วที่ออกจากหัวฉีด ไปเป็นพลังงานความดัน กล่าวคือ ไอน้ำที่ออกจากหัวฉีดจะผสมเข้ากับภาระของอากาศทางด้านดูดในห้องผสม ซึ่งมีลักษณะรูปร่างทรงกรวยรูเข้า โดยออกแบบให้มุมรวมทางเข้าของปากกรวย 12 องศา และมุมรวมที่ปลายของกรวย 4 องศา ความยาวของช่วงผสมประมาณ 7 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอคอตัวกระจาย คอคอตัวกระจายคือส่วนที่มีพื้นที่คงที่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอคอจะขึ้นอยู่กับปริมาณของไหลผสม โดยออกแบบให้มีความยาวเป็น 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอคอ จากนั้นของไหลผสมที่ออกจากคอคอคอของตัวกระจายจะไหลเข้าสู่ตัวกระจาย ซึ่งมีลักษณะรูปร่างทรงกรวยบานออก โดยออกแบบให้มุมรวมของกรวยบานออก 10 องศา ความยาวของตัวกระจายประมาณ 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอคอตัวกระจาย เวนจูรีทำจากเพลากลมตันของเหล็กกล้าผสม (AISI 1020) นำมากลึงขึ้นรูปตามแบบที่ได้ออกแบบไว้

3.2.3 ตัวเรือนหัวฉีดไอน้ำ ทำจากวัสดุเดียวกันกับเวนจูรี เป็นส่วนที่ใช้สำหรับประกอบหรือยึดอุปกรณ์ต่าง ๆ ของหัวฉีดไอน้ำเข้าด้วยกัน ซึ่งจะมีข้อต่อทางเข้าของไอน้ำ ข้อต่อทางด้านดูด เชื่อมติดเป็นชุดเดียวกับตัวเรือนหัวฉีด โดยทำเป็นเกลียวไว้สำหรับประกอบเข้าด้วยกัน

3.2.4 อุปกรณ์ส่วนควบ ประกอบด้วย ตัวรองและปะเก็น มีไว้สำหรับรองหรือเสริมเปลี่ยนตำแหน่งปลายหัวฉีดกับปากทางเข้าของเวนจูรี เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งปะเก็นจะช่วยป้องกันการรั่วของอากาศจากภายนอกเข้าสู่หัวฉีดไอน้ำ และตัวขยาย มีไว้สำหรับขยายหรือต่อให้ปลายของหัวฉีดยื่นออกมาให้พ้นปากทางเข้าของข้อต่อด้านดูด กรณีที่หัวฉีดมีความยาวน้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางข้อต่อทางด้านดูด

3.2.5 ถังบรรจุ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบรรจุผลผลิตในขณะลดอุณหภูมิ ทำจากเหล็กกล้าสแตนเลส เนื่องจากไม่มีงบประมาณในการสร้างตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้ ปริมาตร 0.539 m^3 จึงได้ทำการดัดแปลงโครงสร้างของถังที่มีอยู่แล้ว ปริมาตร 0.09 m^3 ให้สามารถใส่บรรจุผลผลิตได้ โดยทำข้างต้งยึดติดกับฐานรอง และทำหน้าแปลนยึดเข้ากับข้อต่อทางด้านดูดของหัวฉีดไอน้ำสเถจที่ 1