สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โครงการวิจัย

เรื่อง

เครื่องแยกเมทานอลออกจากไบโอดีเซล

โครงการวิจัยโดยใช้เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ประจำปี (2551)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร. ประกอบ กิจไชยา
นายกฤตย์ ไทยธีระเสถียร
นายวิฒวัฒณ์ นพรัตน์
นายพิสันติ์ ผลโพธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
TP
359
.B46
A1753

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 105811
วัน เดือน ปี - 2 S.A. 2552

b.12116926
i.....

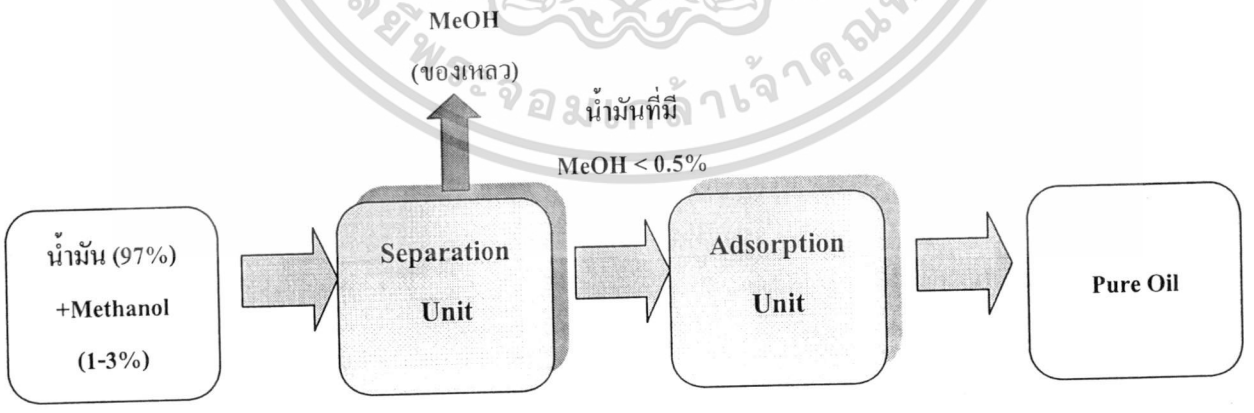
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

กระบวนการแยกสารเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างมากไม่เพียงแต่การแยกเมทานอลออกจากน้ำมันเท่านั้น สำหรับกระบวนการทางอุตสาหกรรมก็มีความจำเป็นเช่นกัน กระบวนการแยกสารแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือการแยกโดยอาศัยสมบัติทางกายภาพที่สามารถสังเกตเห็นได้ง่ายจากรูปร่างลักษณะเช่น ขนาด สี รูปร่าง จุดเดือด จุดหลอมเหลว คุณสมบัติทางเคมีจะเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบภายในของสาร และการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น มีขั้วไม่มีขั้ว จากสมบัติทั้งสองนี้จึงทำให้เกิดวิธีการแยกสารเช่น การกลั่น (Distillation) การสกัด(Extraction) การตกผลึก (Crystallization) การดูดซับ (Adsorption) การดูดซึม (Absorption) การแยกโดยใช้เยื่อเลือกผ่าน (Membrane separation) การคายซึม (Stripping) การแฟลช (Flash) เป็นต้น

สำหรับโครงงานนี้ เป็นการออกแบบหน่วยแยกสาร (Separations Unit) โดยต้องการแยกเมทานอล (methanol) ออกจากน้ำมันที่มีเมทานอลละลายอยู่ 1-3 % (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)โดยต้องการให้เมทานอลที่ออกมามีปริมาณน้อยกว่า 0.5%

ที่มาของงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบหน่วยแยกสาร (Separations Unit) เพื่อแยกเมทานอลออกจากน้ำมันไบโอดีเซลที่มีเมทานอลละลายอยู่ 1-3 %(เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)โดยต้องการให้น้ำมันไบโอดีเซลที่ออกมามีปริมาณเมทานอลน้อยกว่า 0.5% ก่อนที่จะนำไปกำจัดเมทานอลที่เหลืออยู่ในขั้นตอนต่อไปดัง diagram นี้



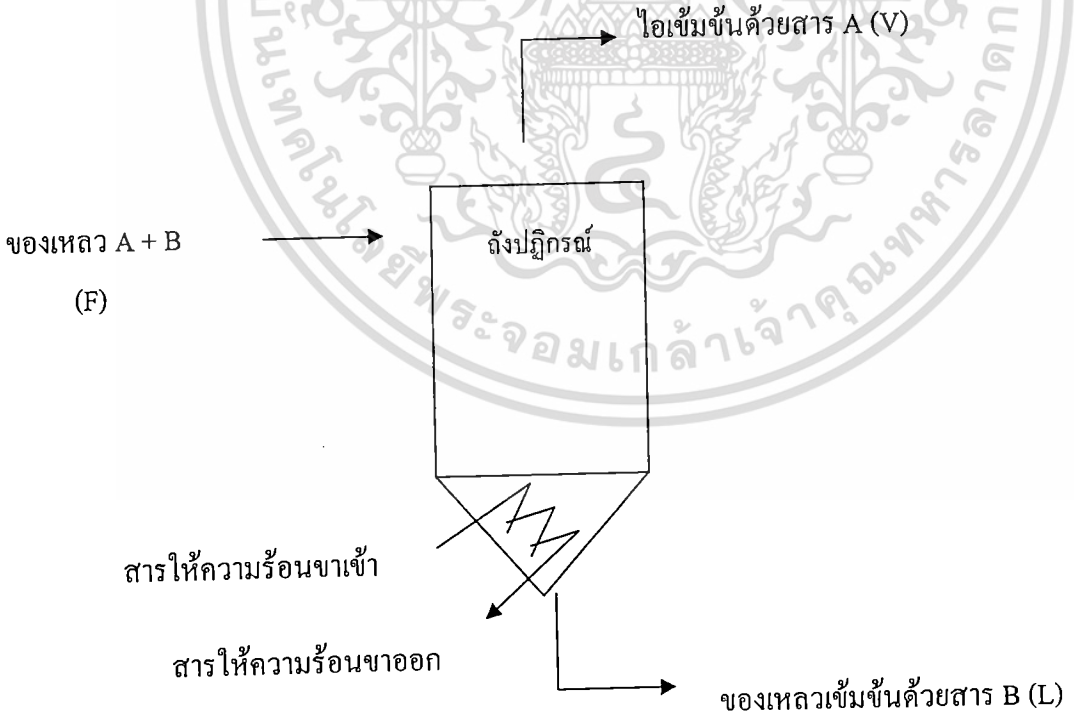
สำหรับหน่วยแยกสารจำเป็นต้องแยกให้ได้น้ำมันที่มีเมทานอลน้อยกว่า 0.5 % เนื่องมาจาก Adsorption unit ที่ใช้กำจัดเมทานอลสามารถดูดซับปริมาณเมทานอลที่มีค่าน้อยกว่า 0.5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการแฟลช

พลังงานจลน์ของการถ่ายเท (Kinetics energy of translation) เป็นพลังที่ทำให้ก๊าซแพร่กระจายไปทั่วปริมาตร พลังงานนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ นอกจากนี้โมเลกุลของก๊าซยังมีแรงดึงดูดระหว่างกัน (force of attraction) ซึ่งแรงนี้ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างโมเลกุล หากมีการเพิ่มอุณหภูมิให้กับของเหลวจนกระทั่งโมเลกุลของของเหลวมีพลังงานสูงพอที่จะเอาชนะพลังงานภายในมวลของของเหลวนั้น โมเลกุลของของเหลวจะหลุดออกจากผิวของของเหลวเรียกว่า การระเหย หรือถ้าลดระยะทางระหว่างโมเลกุลโดยการเพิ่มความดันทำให้โมเลกุลเข้ามารวมตัวกันอย่างหนาแน่นจะเกิดการควบแน่นขึ้นกลายเป็นวัฏภาคของเหลวต่อไป [2]

แฟลชเป็นการแยกสารที่ผสมกันอยู่ในวัฏภาคของเหลวโดยอาศัยหลักการความแตกต่างของความดันไอย่อยของสารแต่ละสารที่ผสมกันอยู่ ซึ่งความดันไอย่อยที่ต่างกันนี้จะส่งผลให้อัตราการระเหยของสารไม่เท่ากันภายใต้สภาวะเดียวกันโดยที่ถังปฏิกรณ์นั้นจะถูกควบคุมอุณหภูมิและความดันให้เหมาะสมกับสภาวะที่ทำให้สารที่ต้องการแยกระเหยเป็นไอได้ง่าย โดยที่สารอีกตัวต้องมีอัตราการระเหยเป็นไอได้น้อยๆ รูปแบบการทำงานของเครื่องแฟลชได้แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะอย่างง่ายของ Flash

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณการแฟลช (Flash Calculation) [5]

F เป็นสารป้อน

Z_i เป็นเศษส่วนมวล ขององค์ประกอบ I ในสารป้อน F

V เป็นจำนวนโมล ของไอที่แยกได้

L เป็นจำนวนโมล ของของเหลวที่แยกได้

y_i เป็นเศษส่วนโมล ขององค์ประกอบ I ในไอ V

x_i เป็นเศษส่วนโมล ขององค์ประกอบ I ในของเหลว L

อาจพิจารณาได้จากการทำดุลมวลสาร โดยเมื่อทำการดุลมวลสารทั้งหมดจะได้ว่า

$$V + L = F \qquad \text{----------(3.1)}$$

และเมื่อพิจารณาการดุลมวลองค์ประกอบดุลมวลองค์ประกอล

$$y_i V + x_i L = Z_i F \qquad \text{----------(3.2)}$$

โดยที่เมื่อทำการแทนสมการ 3.1 ลงใน 3.2 จะได้ว่า

$$x_i L \left[1 + \frac{y_i V}{x_i L}\right] = Z_i F \qquad \text{----------(3.3)}$$

และแทนค่าคงที่การกระจาย (Distribution Factor, $K_i = \frac{y_i}{x_i}$) จะได้ว่า

$$x_i L \left[1 + \frac{V}{L} K_i\right] = Z_i F \qquad \text{----------(3.4)}$$

$$x_i L = \frac{Z_i F}{1 + K_i \frac{V}{L}} \qquad \text{----------(3.5)}$$

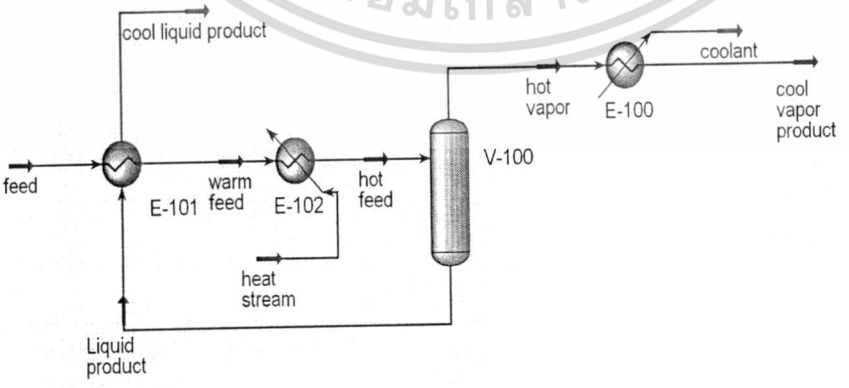
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนการออกแบบเครื่องแฟลช

3.1 การออกแบบเบื้องต้น

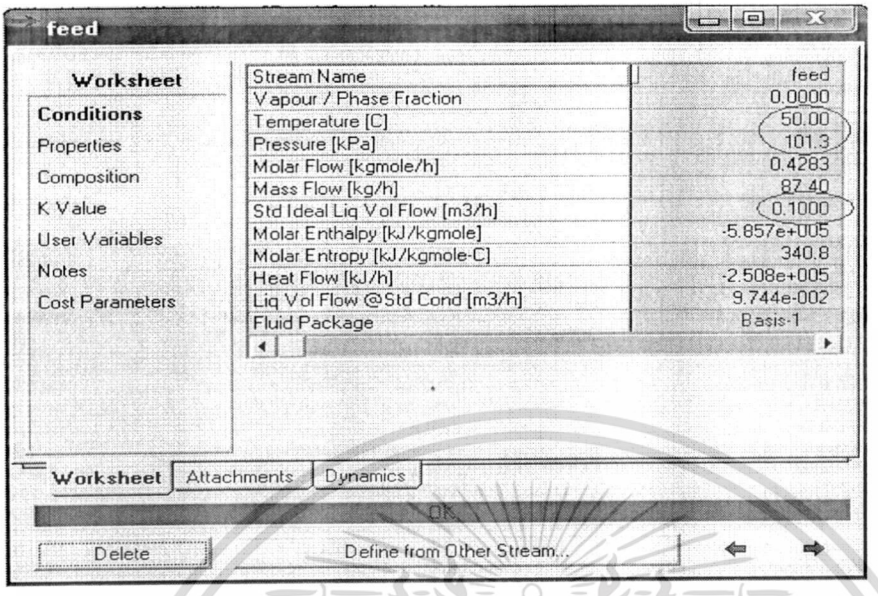
การออกแบบเบื้องต้นนั้น ได้ทำการจำลองสถานะต่างๆด้วยโปรแกรม HYSIS เพื่อการออกแบบเครื่องแฟลชและหาภาวะที่เหมาะสม หลังจากนั้นได้มีการคำนวณหาการดุลพลังงาน โดยใช้ภาวะจาก HYSIS เป็นแนวทางเพื่อคำนวณหาพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อควบแน่นเมทานอลและอัตราการไหลของน้ำในชิลเลอร์

สำหรับการออกแบบด้วย HYSIS นั้นจะทำการจำลองรูปแบบของเครื่องแฟลชและหาภาวะที่เหมาะสมเริ่มจากการกำหนดภาวะของ feed ขาเข้าให้ใกล้เคียงกับภาวะในโรงงานอุตสาหกรรมจริง แล้วกำหนดให้น้ำมันขาออกมีองค์ประกอบของเมทานอลน้อยกว่า 0.5% โดยมวล โปรแกรม HYSIS จะประมวลผลแล้วแสดงค่าภาวะของผลิตภัณฑ์ขาออก จากนั้นพิจารณาปรับหาภาวะที่เหมาะสมที่ใช้พลังงานน้อยเสี่ยงต่ออันตรายน้อย เพราะเมทานอลนั้นเป็นสารที่สามารถติดไฟและระเบิดได้ในภาวะที่เหมาะสม จึงจำเป็นที่จะต้องระวังเป็นพิเศษ สำหรับผลิตภัณฑ์จะมีสองสถานะ สถานะของเหลวจะเป็นน้ำมันที่มีเมทานอลเจือปนอยู่น้อย ส่วนสถานะไอจะมีส่วนประกอบของเมทานอลเป็นหลักต้องทำการควบแน่นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป โดยพบว่าภาวะที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิ feed ขาเข้า 115°C ความดันในเครื่องแฟลช 17 kPa ที่อัตราการไหลของสารขาเข้า 100 l / h การออกแบบด้วยโปรแกรม HYSIS จะเป็นดังรูปที่ 3.1 ถึง 3.5

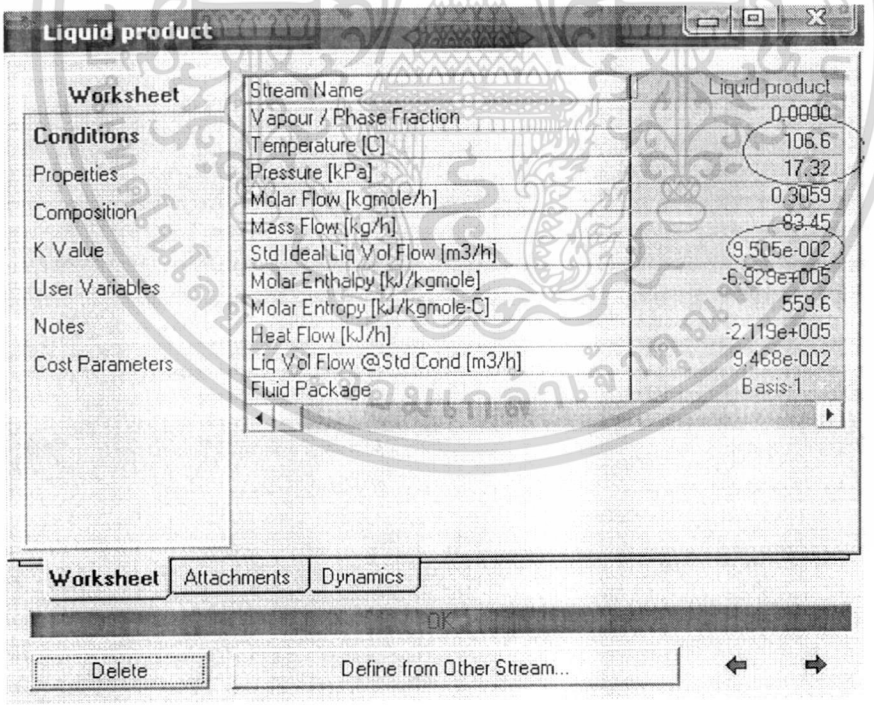


รูปที่ 3.1 การจำลองรูปแบบของเครื่องแฟลช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

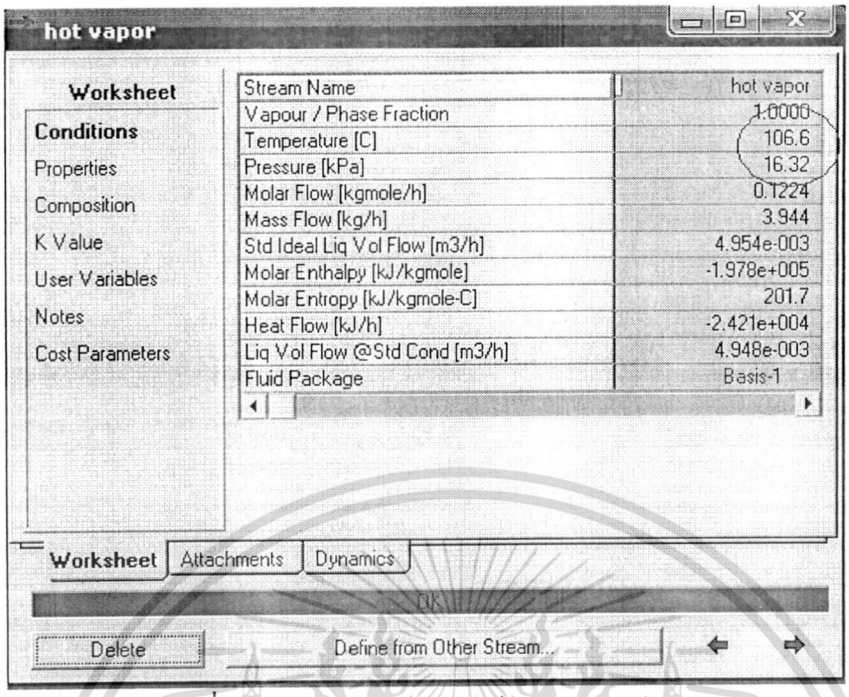


รูปที่ 3.2 การกำหนดภาวะของของไหลขาเข้า

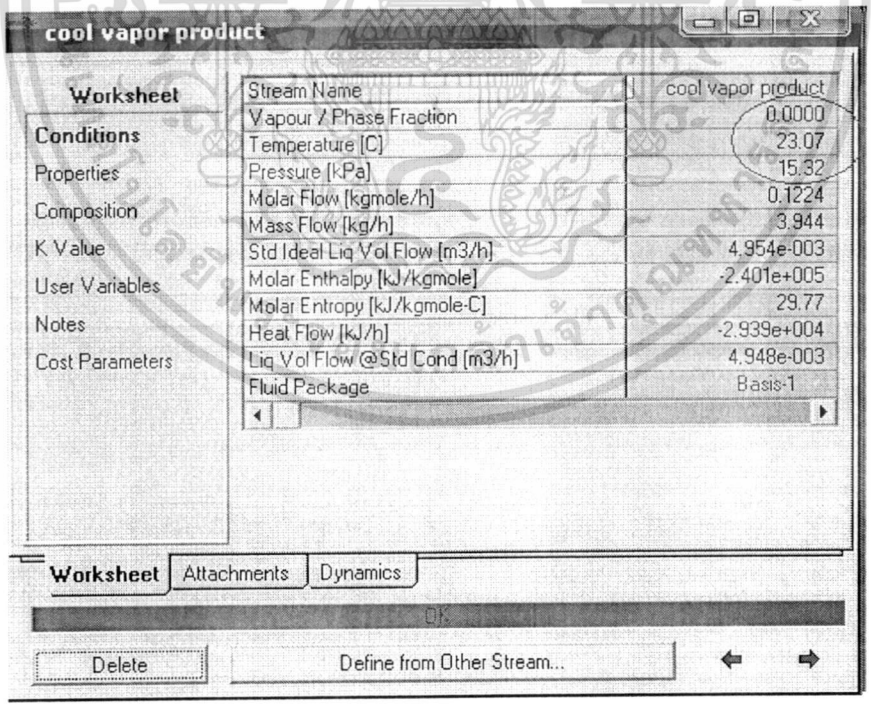


รูปที่ 3.3 ภาวะของผลิตภัณฑ์ขาออก (เฟสของเหลว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ภาวะของผลิตภัณฑ์ขาออก (เฟสไอ)



รูปที่ 3.5 ภาวะของเมทานอลที่ต้องการควบแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการดุลมวลและพลังงาน โดยใช้ภาวะจาก HYSIS

หาปริมาณ flow ของน้ำที่อุณหภูมิ 10 °C ที่ทำการควบแน่นเมทานอลให้กลับมาเป็นของเหลว

$\dot{Q}_{\text{เมทานอล}} = \dot{Q}_{\text{น้ำ}}$

$\dot{Q}_{\text{เมทานอล}} = \dot{Q}$ จากการเปลี่ยนอุณหภูมิ + $\dot{Q}$ จากการเปลี่ยนสถานะ

$= 5600$ kJ / h

$5600 \text{ kJ / h} = \dot{m}_{H_2O} C_{p\, h_2O} (T_2 - T_1)$

$= \dot{m}_{H_2O} (4.184 \text{ kJ / kg .K})(T_2 - 283)$

$1338.43 \text{ kg. K/ h} = \dot{m}(T_2 - 283)$

จากสมการจะหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ($\dot{m}$) กับอุณหภูมิของน้ำขาออก(T_2) ได้ ดังตารางที่ 4.1

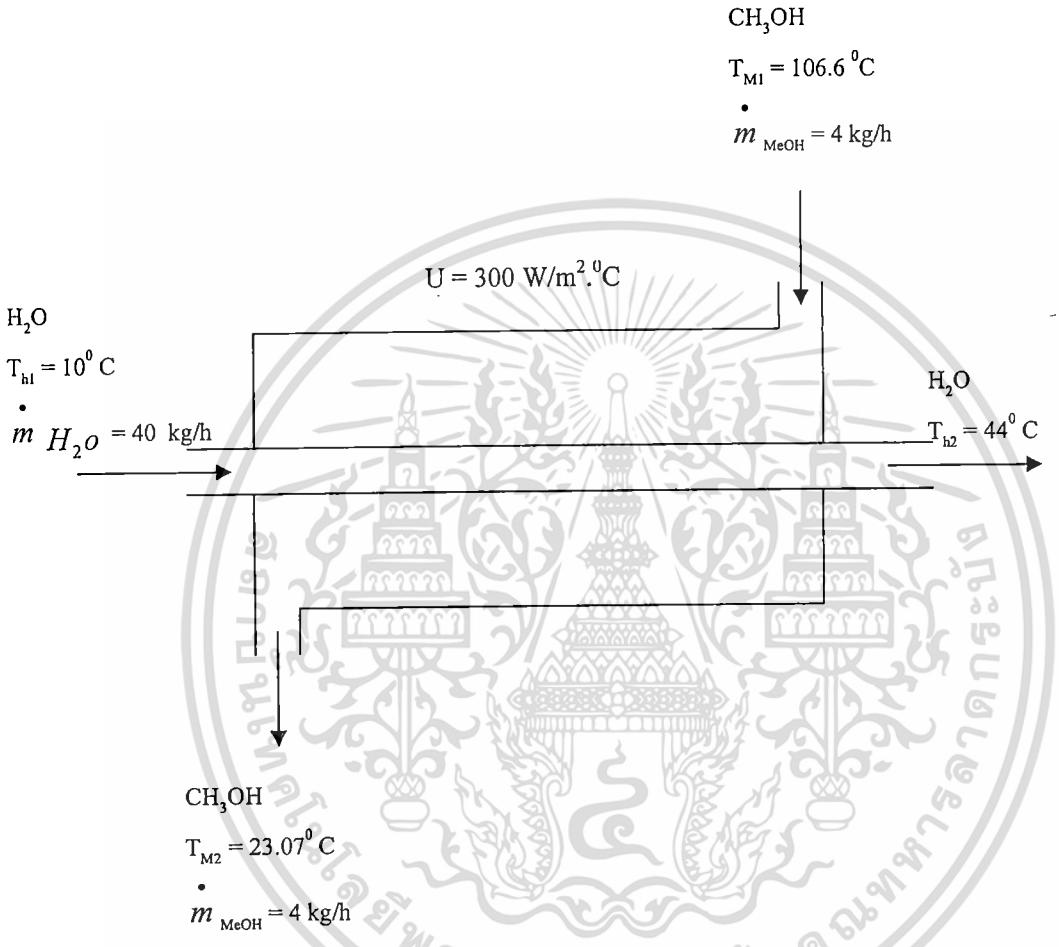
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ ($\dot{m}$) กับอุณหภูมิของน้ำขาออก (T_2)

$\dot{m}_{h_2O}$ (kJ / h)	T_2 (°C)
20	76.9
30	54.6
40	43.5
50	36.8
60	32.3
70	29.1
80	26.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การออกแบบเครื่องควบแน่นไอเมทานอล

เริ่มจากการหาพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องควบแน่นไอเมทานอลเป็นดังรูปที่ 4.6 โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้



รูปที่ 4.6 รูปแบบและภาวการณ์คำนวณของเครื่องควบแน่นไอเมทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ΔT_1 = $T_{M2} - T_{h1}$ = 23.07 – 10 °C = 13.07 °C

ΔT_2 = $T_{M1} - T_{h2}$ = 106.6 – 44 °C = 62.6 °C

คำนวณหาค่า log mean temperature difference ได้จาก

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

$$= \frac{13.07 - 62.6}{\ln(13.07/62.6)}$$

$$= 31.62$$

สามารถคำนวณพลังงานการถ่ายเทความร้อนได้จาก

$$\dot{Q} = UA\Delta T_{lm}$$

จึงสามารถหาพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนจาก

$$A = \frac{\dot{Q}}{U\Delta T_{lm}}$$

$\dot{Q}$ = 1.5 kw เป็นตัวเลขที่ประมาณเผื่อเอาไว้ ค่าจริงนั้น Q = 1.34 kw

$$A = (1.5\ \text{kW})\left(\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{300W}\right)\left(\frac{1}{31.62^\circ C}\right)\left(\frac{1000W}{1KW}\right)$$

$$= 0.158\ m^2$$

จากพื้นที่ผิวที่ได้เมื่อนำมาคำนวณหาความยาวของท่อ โดยใช้ท่อขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้วจะได้ว่า

$$= (0.25\ \text{in})\left(\frac{m}{39.37in}\right) = 0.00635\ \text{m}$$

$$A = \pi DL$$

$$l = (0.158\ m^2) / \pi (0.00635\ m)$$

$$= 7.92\ m$$

ดังนั้นต้องใช้ท่อขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้วยาว 7.92 เมตร

สำหรับการออกแบบชิลเลอร์

ปริมาณพลังงานที่ใช้ลดอุณหภูมิของน้ำจากอุณหภูมิห้อง(30°C) ไปเป็น 10 °C

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p \Delta T$$

$$= \dot{m} (4.184\ kJ / kg.K)(20K)$$

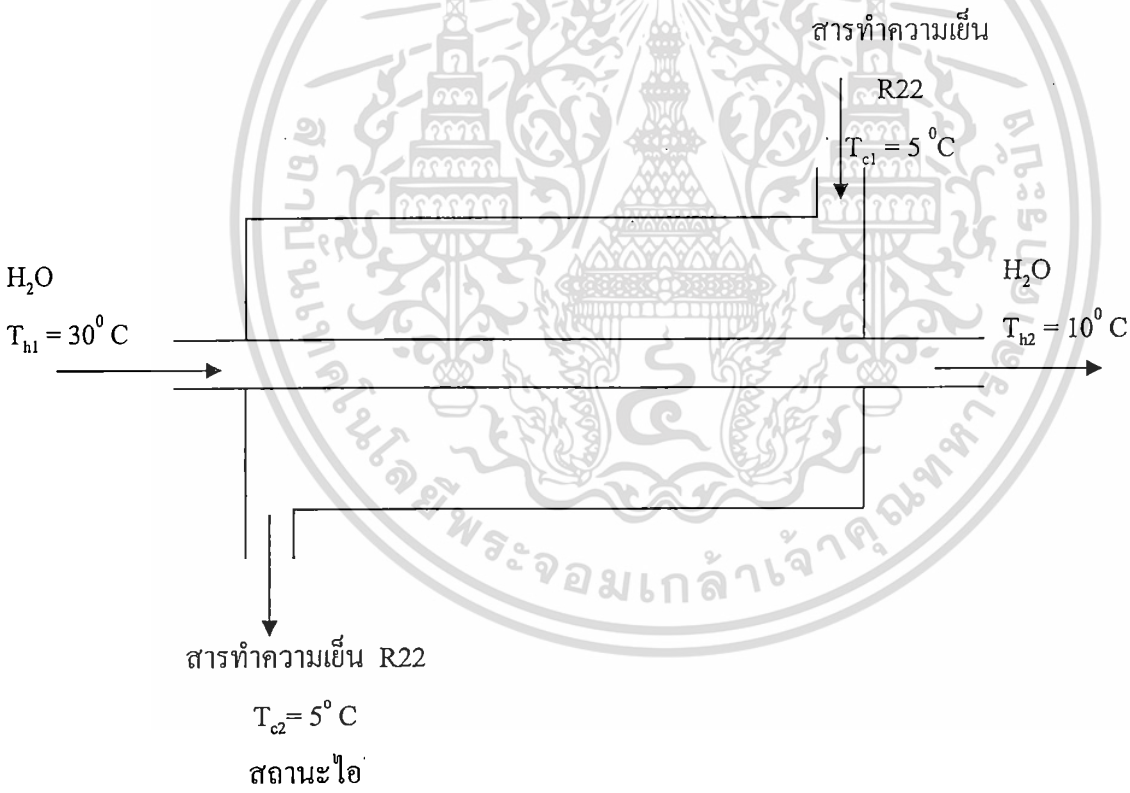
จากสมการ จะหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน ($\dot{Q}$) กับอัตราการไหลของน้ำ ($\dot{m}$) ได้ดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน ($\dot{Q}$) กับอัตราการไหลของน้ำ ($\dot{m}$)

$\dot{m}$ (kJ / h)	$\dot{Q}$ (kW)
20	0.46
30	0.70
40	0.93
50	1.16
60	1.39
70	1.63
80	1.86

จากนั้นจะสามารถหาพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน (A) ของชิลเลอร์ได้ดังรูป 4.6 และมีวิธีคำนวณดังนี้



รูปที่ 4.7 รูปแบบและสภาวะของเครื่องชิลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\Delta T_1 = T_{h1} - T_{c2} = 30 - 5 = 25°C$

$\Delta T_2 = T_{h2} - T_{c1} = 10 - 5 = 5°C$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

$$= \frac{25 - 5}{\ln(\frac{25}{5})}$$

$$= 12.43 \ °C$$

$$\dot{Q} = UA \Delta T_{lm}$$

กำหนดให้ $U = 400 \ W/m^2.°C$

$$\dot{Q} = (400 \ W/m^2.°C)(A)(12.43°C)$$

$$= (4972 \ W/m^2)(A)$$

จากสมการจะหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน($\dot{Q}$) กับ พื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน(A) ได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน ($\dot{Q}$) กับ พื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน (A)

$\dot{Q}$ (KW)	A (m^2)
0.46	0.0925
0.70	0.1408
0.93	0.1871
1.16	0.2333
1.39	0.2796
1.63	0.3278
1.86	0.3741

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาความยาวของท่อหากใช้ท่อขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว

$$= (0.25\ \text{in})(\frac{m}{39.37in}) = 0.00635\ \text{m}$$

$$A = \pi DL$$

$$= \pi (0.00635\text{m})L$$

$$A = 0.01994\ (L)$$

จากสมการ จะหาความสัมพันธ์ของพื้นที่(A) กับความยาวของท่อ(L) ได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของพื้นที่ (A) กับความยาวของท่อ (L)

A (m^2)	L (m)
0.0925	4.64
0.1408	7.06
0.1871	9.39
0.2333	11.70
0.2796	14.03
0.3278	16.44
0.3741	18.77

จากตารางที่ 4.1 – 4.4 จะสรุปได้ดังตารางที่ 4.5

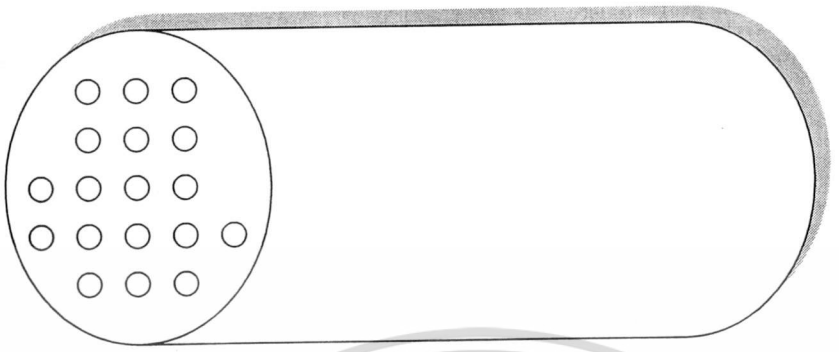
ตารางที่ 4.5 การออกแบบชิลเลอร์

$\dot{m}$ (KJ / h)	$\dot{Q}$ (KW)	A (m^2)	L (m)
20	0.46	0.0925	4.64
30	0.70	0.1408	7.06
40	0.93	0.1871	9.39
50	1.16	0.2333	11.70
60	1.39	0.2796	14.03
70	1.63	0.3278	16.44
80	1.86	0.3741	18.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่นำมาใช้งานจริง

มีลักษณะดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 รูปแบบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่นำมาใช้งานจริง

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(เครื่องที่ 1)

จำนวนท่อ(n) 18 ท่อ

ความยาวท่อ(l) 95 cm

เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ(D) 1.6 cm

พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน (A) = π Dln

= 3.142 | 1.6 cm | 95 cm | 18

= 8596.512 ตารางเซนติเมตร

= 0.859651 ตารางเมตร

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(เครื่องที่ 2)

จำนวนท่อ(n) 18 ท่อ

ความยาวท่อ(l) 109 cm

เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ(D) 1.6 cm

พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน (A) = π Dln

= 3.142 | 1.6 cm | 109 cm | 18

= 9863.366 ตารางเซนติเมตร

= 0.986337 ตารางเมตร

รวมพื้นที่ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด = 0.859651 + 0.986337 ตารางเมตร

= 1.845988 ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การคำนวณหากำลังของคอมเพลสเซอร์

จากโปรแกรม HYSIS

อัตราการไหลของเมทานอลจากการแฟลชน้ำมันที่ 100 l/h = 0.1224 kmol/h

อุณหภูมิของเมทานอลขาเข้า (T_1) = 106.6 °C = 379.6 K

อุณหภูมิของเมทานอลขาออก (T_2) = 23.07 °C = 296.07 K

คำนวณหา C_p เฉลี่ย

จากสูตร

ที่ T_1 = 379.6 K :

$C_p / R = 2.211 + 12.216 \times 10^{-3}(379.6\ K) - 3.45\ 10^{-6}(379.6\ K)^2$

$C_p = 52.83\ J/mol.K$

ที่ T_2 = 296.07 K :

$C_p / R = 2.211 + 12.216 \times 10^{-3}(296.07\ K) - 3.45\ 10^{-6}(296.07\ K)^2$

$= 45.90\ J/mol.K$

คิด C_p เฉลี่ย $= (52.83 + 45.90)/2$

$= 49.37\ J/mol.K$

พลังงานที่ทำให้เมทานอลควบแน่นเป็นของเหลวสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\dot{Q} = \dot{m}\ C_p\ \Delta T + \dot{m}\ La$$

$$= (0.1224\ \frac{kmol}{h})(45.9\frac{kJ}{kmol.K})(85.53K) + (0.1224\frac{kmol}{h})(38000\frac{kJ}{kmol})$$

$$= (4651.2\ \frac{kJ}{h})(\frac{h}{3600s})$$

$$= (1.29\ kW)(0.95\frac{BTU}{s.kW})(\frac{3600s}{h})(\frac{ton.L}{12000BTU})$$

$$= 0.37\ ton$$

ดังนั้น ต้องใช้คอมเพลสเซอร์ขนาด 0.37 ton

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ขั้นตอนการทดลอง

อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์

1. เครื่อง Flash Drum
2. นาฬิกาจับเวลา
3. ปิเปต
4. บีกเกอร์
5. กระบอกตวง
6. เทอร์โมมิเตอร์
7. ท่อน้ำและสายยาง
8. ถ้วยสแตนเลสหน้ากว้าง
9. ตู้อบ

สารเคมี

10. น้ำมัน
11. น้ำ
12. เมทานอล
13. ซิลิกาเจล

<u>ส่วนที่ 1</u> การทดลองเพื่อหาความเข้มข้นของเมทานอลหลังจากผ่านเครื่องแฟลช

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมน้ำมันในหม้อต้มแล้วต้มให้น้ำมันให้มีอุณหภูมิที่ต้องการแฟลชเป็น 70 ^{o}C
2. ฉีดน้ำมันที่ต้มแล้วเข้าเครื่อง แฟลช ในอัตราการไหล 100 ลิตร / ชั่วโมง พร้อมทั้งลดความดันในเครื่องแฟลชให้เหลือ 40 mmHg เพื่อให้แฟลชได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. เก็บตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการแฟลชแล้วไปหา ความเข้มข้นของเมทานอลในน้ำมัน
4. ทำการทดลองซ้ำโดยให้อุณหภูมิขาเข้าเป็นเท่าเดิมคือ 70 ^{o}C แต่เปลี่ยนความดันในเครื่องแฟลชเป็น 80 mmHg สังเกตผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

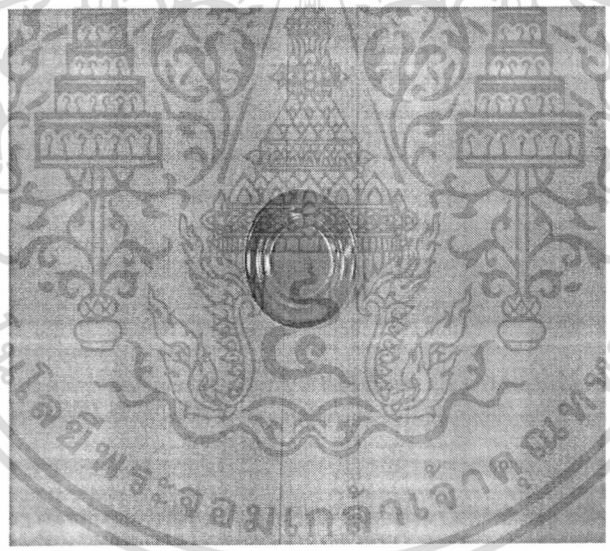
5. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนอุณหภูมิขาเข้าเป็น 80 °C แล้วทำการทดลองที่ความดัน 40 mmHg และ 80 mmHg สังเกตผล
6. นำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกัน

ส่วนที่ 2 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ผลเพื่อทำให้ทราบว่ามีเมทานอลอยู่ในน้ำมันกี่เปอร์เซ็นต์(เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำน้ำมันที่ได้จากการแฟลชเทใส่ถ้วยสแตนเลสหน้ากว้างซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 5.1 ประมาณ 5 g ชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึกผล
2. นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
3. นำน้ำมันที่อบแล้วมาทิ้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้นที่บรรจุซิลิกาเจลเป็นเวลาครึ่งชั่วโมง
4. นำน้ำมันมาชั่งหาน้ำหนักที่หายไป ซึ่งน้ำหนักที่หายไปคือเมทานอล



รูปที่ 5.1 ถ้วยสแตนเลสหน้ากว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

105811

บทที่ 6

ผลการทดลอง

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลอง flash ที่อุณหภมิ 70 C ความดัน 40 mmHg ทำการทดลองน้ำมัน 140ลิตร

ตัวอย่าง น้ำมัน	ถ้วยที่	น้ำหนักถ้วย เปล่า	น้ำหนัก รวม น้ำมัน ก่อน อบ	น้ำหนัก รวมน้ำมัน หลังอบ	น้ำหนัก สาร	น้ำหนัก สารที่ หายไป	% ของสาร ที่หายไป
ก่อนแฟลช	1	11.3791	15.8801	15.7945	4.5010	0.0856	1.9018
	2	10.2459	15.6443	15.5447	5.3984	0.0996	0.1850
	3	11.2160	15.2151	15.1435	3.9991	0.0716	0.1790
						Average =	1.8457
ใต้หอแฟลช	4	10.4087	14.6453	14.6309	4.2366	0.0144	0.3399
	5	11.3510	16.3637	16.3442	5.0127	0.0195	0.3890
	6	10.3816	15.6728	15.6581	5.2912	0.0147	0.2778
						Average =	0.3356
ถังผลิตภัณฑ์ (เมทานอล)	7	11.3349	14.4109	14.3967	4.0760	0.0142	0.3484
	8	11.3066	17.0038	16.9888	5.6972	0.0150	0.2633
	9	10.3095	16.9324	16.9088	6.6229	0.0236	0.3563
						Average =	0.3227

ได้เมทานอลจากการทดลอง = 1.9 ลิตร

= 1.482 กิโลกรัม

น้ำมันที่ใช้ในการทดลอง = 140 ลิตร

= 124.6 กิโลกรัม

เมทานอลทั้งหมด = (124.6)(1.8457/100)

= 2.3 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 ผลการทดลอง flash ที่อุณหภมิ 80 C ความดัน 40 mmHg ทำการทดลองน้ำมัน 140ลิตร

ตัวอย่างน้ำมัน	ถ้วยที่	น้ำหนักถ้วยเปล่า	น้ำหนักรวม น้ำมันก่อน อบ	น้ำหนักรวมน้ำมันหลังอบ	น้ำหนักสาร	น้ำหนักสารที่หายไป	% ของสารที่หายไป
ก่อนแฟลช	1	11.3462	16.5163	16.4047	5.1701	0.1116	2.1586
	2	11.3258	17.2215	17.0943	5.8957	0.1272	2.1575
	3	11.2099	16.1683	16.0675	4.9584	0.1008	2.0330
						Average =	2.1163
ใต้หอแฟลช	4	11.3505	17.7029	17.6852	6.3524	0.0177	0.2786
	5	11.9248	17.8099	-	5.8851	-	-
	6	11.4650	15.9779	15.9679	4.5129	0.0100	0.2216
						Average =	0.2501
ถังผลิตภัณฑ์ (เมทานอล)	7	11.4540	16.3871	16.3740	4.9331	0.0131	0.2656
	8	10.2658	16.6422	16.6300	6.3764	0.0122	0.1913
	9	11.3954	17.3250	-	5.9296	-	-
						Average =	0.2284

ได้เมทานอลจากการทดลอง = 2.1 ลิตร

= 1.638 กิโลกรัม

น้ำมันที่ใช้ในการทดลอง = 140 ลิตร

= 124.6 กิโลกรัม

เมทานอลทั้งหมด = (124.6)(2.1163/100)

= 2.63 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 ผลการทดลอง flash ที่อุณหภมิ 70 C ความดัน 80 mmHg ทำการทดลองน้ำมัน 140ลิตร

ตัวอย่างน้ำมัน	ถ้วยที่	น้ำหนักถ้วยเปล่า	น้ำหนักรวม น้ำมันก่อน อบ	น้ำหนักรวมน้ำมันหลังอบ	น้ำหนักสาร	น้ำหนักสารที่หายไป	% ของสารที่หายไป
ก่อนแฟลช	1	11.3787	16.6673	16.5846	5.2886	0.0827	1.5637
	2	10.2452	16.9957	16.8868	6.7505	0.1089	1.6132
	3	11.2152	17.0459	16.9616	5.8307	0.0843	1.4458
						Average =	1.5409
ใต้หอแฟลช	4	10.4079	15.5509	15.5222	5.1430	0.0287	0.5580
	5	11.3503	18.1410	18.1045	6.7907	0.0365	0.5375
	6	10.3807	16.2313	16.2027	5.8506	0.0286	0.4888
						Average =	0.5281
ถังผลิตภัณฑ์ (เมทานอล)	7	10.3340	16.6818	16.6499	6.3478	0.0319	0.5025
	8	11.2802	16.6435	16.6200	5.3633	0.0235	0.4382
	9	10.3088	16.1144	16.0900	5.0856	0.0244	0.4203
						Average =	0.4537

ได้เมทานอลจากการทดลอง = 1.6 ลิตร

= 1.248 กิโลกรัม

น้ำมันที่ใช้ในการทดลอง = 140 ลิตร

= 124.6 กิโลกรัม

เมทานอลทั้งหมด = (124.6)(1.5409/100)

= 1.92 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 ผลการทดลอง flash ที่อุณหภมิ 80 C ความดัน 80 mmHg ทำการทดลองน้ำมัน 140ลิตร

ตัวอย่างน้ำมัน	ถ้วยที่	น้ำหนักถ้วยเปล่า	น้ำหนักรวม น้ำมันก่อน อบ	น้ำหนักรวมน้ำมันหลังอบ	น้ำหนักสาร	น้ำหนักสารที่หายไป	% ของสารที่หายไป
ก่อนแฟลช	1	11.3461	17.4574	17.3403	6.1113	0.1171	1.9161
	2	11.3253	15.6505	15.5716	4.3252	0.0789	1.8242
	3	11.2093	15.7389	15.6532	4.5296	0.0857	1.8920
						Average =	1.877
ใต้หอแฟลช	4	11.3501	16.2123	16.1881	4.8622	0.0242	0.4977
	5	11.9244	17.7068	17.6811	5.7824	0.0257	0.4445
	6	11.4646	17.0922	17.0664	5.6276	0.0258	0.4585
						Average =	0.4669
ถังผลิตภัณฑ์ (เมทานอล)	7	11.4534	17.0411	17.0109	5.5877	0.0302	0.5405
	8	10.2652	16.4323	16.4083	6.1671	0.0240	0.3892
	9	11.3951	17.8812	17.8539	6.4861	0.0273	0.4209
						Average =	0.4502

ได้เมทานอลจากการทดลอง = 2.1 ลิตร

= 1.638 กิโลกรัม

น้ำมันที่ใช้ในการทดลอง = 140 ลิตร

= 124.6 กิโลกรัม

เมทานอลทั้งหมด = (124.6)(1.877/100)

= 2.34 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง flash ที่อุณหภมิ 70 และ 80 °C ความดัน 40 และ 80 mmHg

ภาวะ / ผลการทดลอง	อุณหภูมิ (T) = 70 °C		อุณหภูมิ (T) = 80 °C	
	P = 40 mmHg	P = 80 mmHg	P = 40 mmHg	P = 40 mmHg
เมทานอลที่ได้จากการทดลอง (kg)	1.482	1.638	1.248	1.638
เมทานอลทั้งหมดในน้ำมัน (kg)	2.3	2.63	1.92	2.34
% เมทานอลในน้ำมัน	0.329	0.239	0.491	0.458
% เมทานอลที่ควบแน่นได้	64.43	62.28	65.00	70.0000
% เมทานอลที่สูญเสียไป	35.23	37.48	34.51	29.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากน้ำมันสามารถดูดความชื้นได้ดี ดังนั้นการชั่งน้ำหนักของน้ำมันเพื่อวิเคราะห์ผลทุกครั้งจะต้องทำในภาชนะปิด และหลังจากการอบทุกครั้งต้องนำน้ำมันมาใส่ในภาชนะปิดที่มีซิลิกาเจลเป็นสารดูดความชื้นเพื่อไม่ให้น้ำหนักที่ชั่งได้ผิดพลาดไปมาก

เนื่องจากน้ำมันเป็นตัวทำละลายที่ดี ดังนั้นใบพัดของปั๊มต้องเป็นวัสดุที่ทนต่อสารเคมี เช่น สแตนเลส ฯลฯ

เอกสารอ้างอิง

[1] เบ็ญจมาพร สัมฤทธิ์ และ มงคล ตันติวิวัฒนวงศา **"ความสัมพันธ์ทางด้านพลศาสตร์ของการ ดูดซึม โดยใช้หอดูดซึมแบบบรรจุ"** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547

[2] กัญจนา บุญเกรียติ, **การคำนวณขั้นต้นในวิชาวิศวกรรมเคมี**, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่ 6, 2004. pp 87 – 89

[3] Christie John Geankoplis, **Transport Processes and Separation Process Principles**, Prentice Hall, Forth Edition, 2003. pp 654 – 662

[4] Yunus A. cengel, **Heat Transfer**, McGraw – Hill, Second Edition, International Edition 2003.

[5] J.M. Smith, H.C. Van Ness, M.M. Abbott, **Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics**, Seventh Edition, International Edition 2003. pp 350-368

[6] Norman P. Lieberman, Elizabeth T. Lieberman, A working Guide to Process Equipment, McGraw – Hill. Pp 75-79

[6] http://msds.pcd.go.th/name.asp

[7] http://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html

[8] http://www.amistco.com/PRODUCTS/PACKING_S/index.html

[9] http://www.school.net.th/library/create-web/10000/science/10000-4849.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

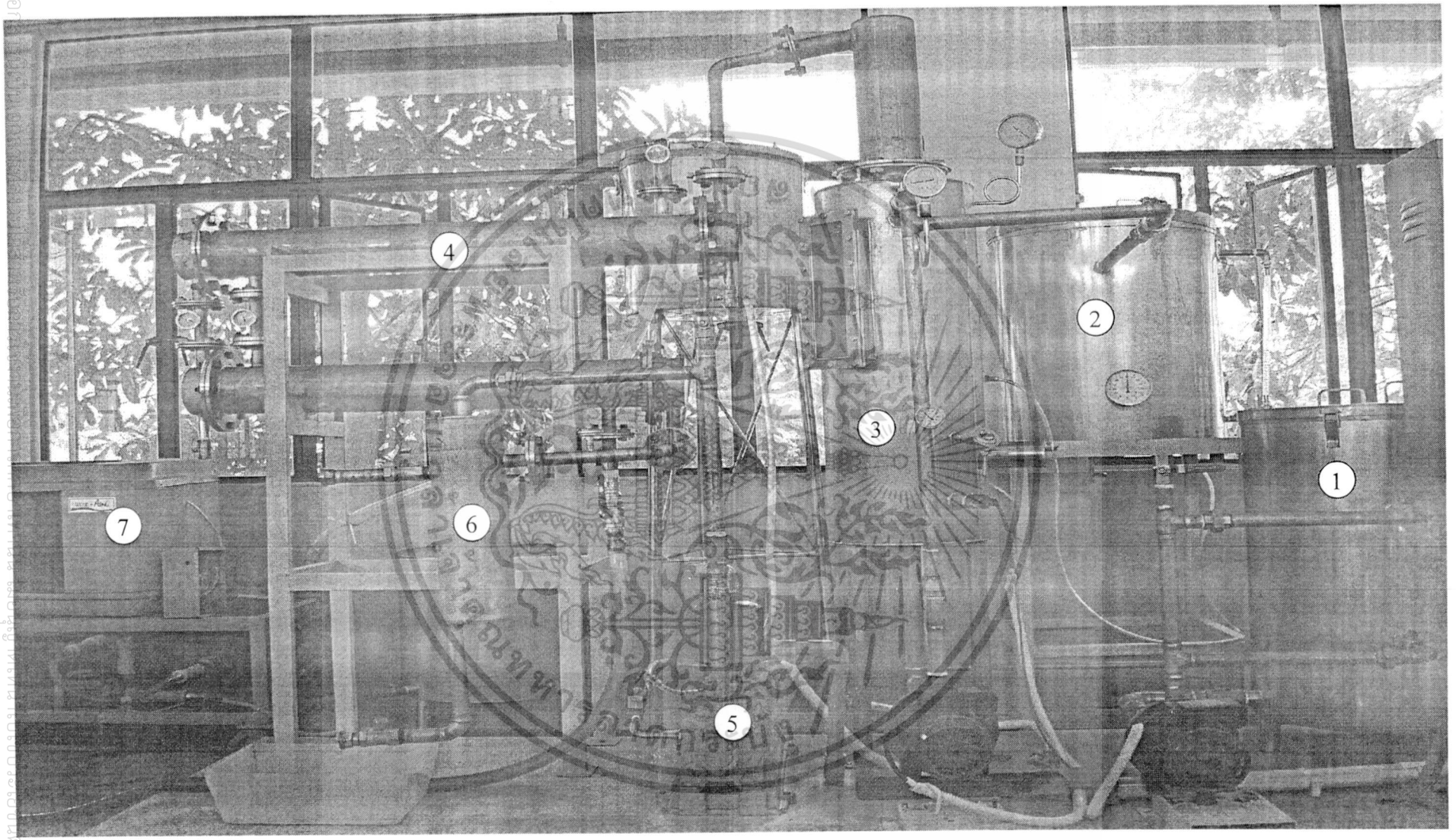
คุณสมบัติของเมทานอล [6]

- มีสูตรโมเลกุล CH_3OH
- น้ำหนักโมเลกุล 32 กรัม
- มีจุดเดือด 64.6 °C
- จุดหลอมเหลว -97.8 °C
- จุดวาบไฟ 12.2 °C
- จุดลุกติดไฟได้ 464 °C
- ค่า LEL 5.5%
- ค่า UFL 36.5%
- เป็นของเหลวใส ไม่มีสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
ส่วนประกอบของเครื่องแฟลช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 ส่วนประกอบต่างๆ

ส่วนประกอบของเครื่องแฟลช

หมายเลข 1 ถังป้อน

หมายเลข 2 ถังเก็บผลิตภัณฑ์ (น้ำมันที่แฟลชแล้ว)

หมายเลข 3 หอแฟลช

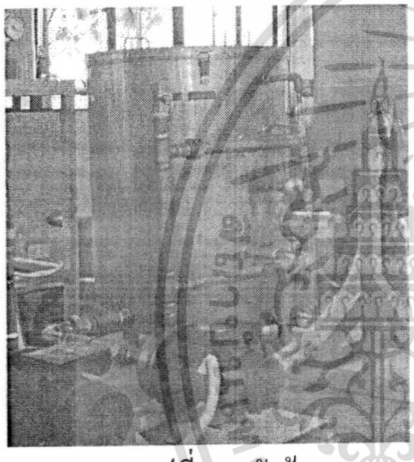
หมายเลข 4 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

หมายเลย 5 ปั๊มสุญญากาศ

หมายเลข 6 ถังเก็บผลิตภัณฑ์ (เมทานอล)

หมายเลข 7 เครื่องทำความเย็น

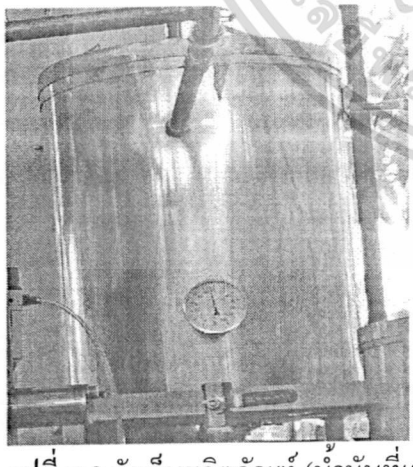
หน้าที่ของส่วนประกอบของเครื่องแฟลช



รูปที่ ข.2 ถังป้อน

หมายเลข 1 ถังป้อน

ถังป้อน ประกอบด้วยเครื่องทำความร้อนเพื่อให้ความร้อนแก่น้ำมัน และ มีปั๊มเพื่อปั๊มวนเป็นการกระจายความร้อนให้แก่น้ำมัน

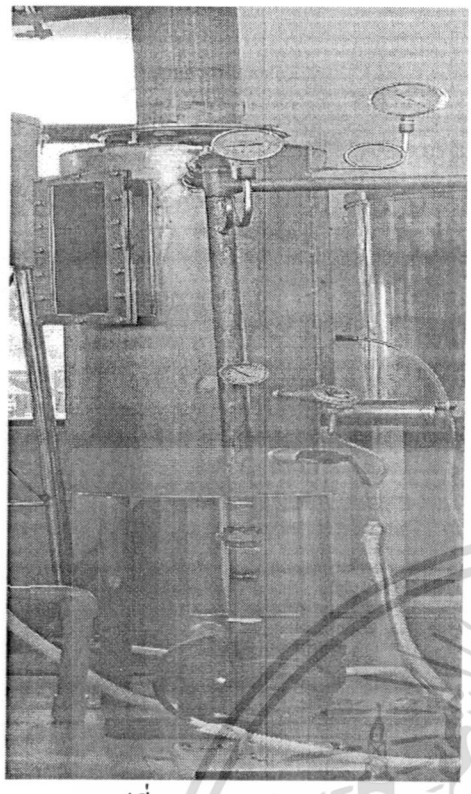


รูปที่ ข.3 ถังเก็บผลิตภัณฑ์ (น้ำมันที่แฟลชแล้ว)

หมายเลข 2 ถังเก็บผลิตภัณฑ์ (น้ำมันที่แฟลชแล้ว)

ถังเก็บผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยอุปกรณ์บอกระดับเพื่อใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำมันเข้าหอแฟลช

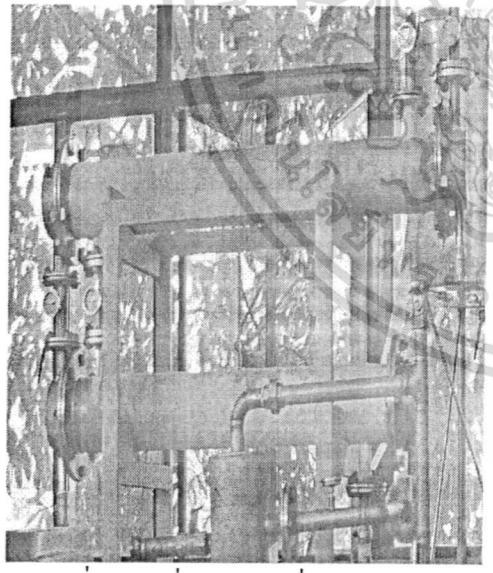
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4 หอแฟลช

หมายเลข 3 หอแฟลช

หอแฟลช ประกอบด้วย เครื่องทำความร้อนเพื่อเป็นการรักษาอุณหภูมิภายในหอแฟลช และ มีปั๊มเพื่อวนน้ำมันในหอและส่งน้ำมันที่แฟลชแล้วไปเก็บที่ถังเก็บผลิตภันฑ์ (หมายเลข 2) หน้าที่ของหอแฟลช คือ เมื่อน้ำมันถูกฉีดมาในหอแฟลชที่มีความดันและอุณหภูมิที่กำหนด เมทานอลจะระเหยกลายเป็นไอถูกแยกออกจากน้ำมัน เมทานอลจะลอยตัวไปด้านบนส่วนน้ำมันจะถูกส่งไปเก็บที่ถังเก็บผลิตภันฑ์ (หมายเลข 2)

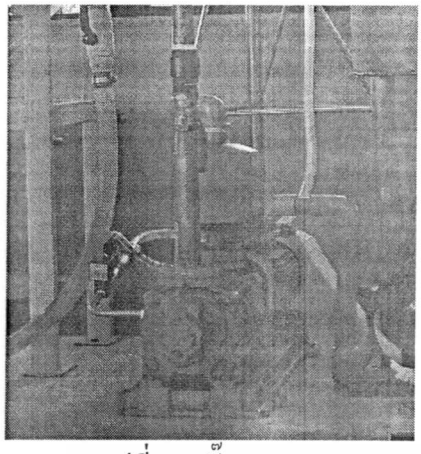


รูปที่ ข.5 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

หมายเลข 4 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

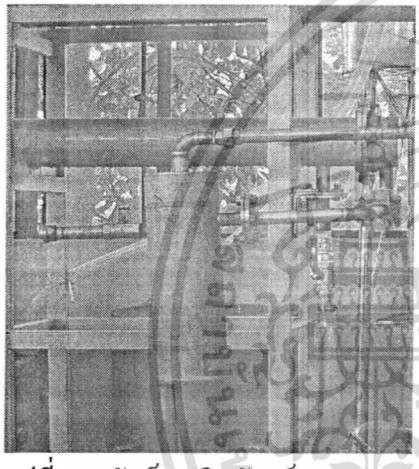
หน้าที่ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ การควบแน่นเมทานอลที่อยู่ในสถานะไอจากหอแฟลชให้กลายเป็นของเหลวแล้วส่งไปเก็บที่ ถังเก็บผลิตภัณฑ์ (เมทานอล) หมายเลข 6 แต่เนื่องจากในการทำงานจริง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้สามารถทำน้ำให้เย็นได้ถึง -5 °C จึงต้องมีการเติมสารเพื่อป้องกันการแข็งตัว โดยสารที่นำมาผสมกับน้ำคือ ethylene glycol ซึ่งจะผสมในอัตราส่วน 20% โดยปริมาตรจะทำให้น้ำมีจุดเยือกแข็งที่ -8 °C [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



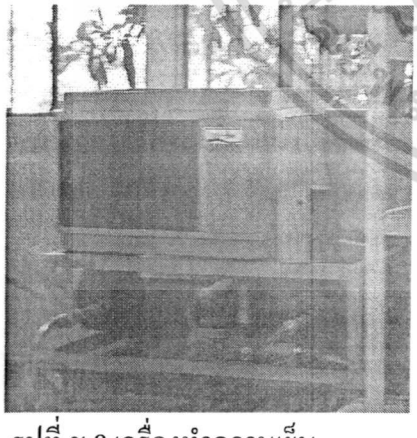
รูปที่ ข.6 ปั๊มสุญญากาศ

หมายเลข 5 ปั๊มสุญญากาศ
หน้าที่ของปั๊มสุญญากาศ คือ ลดความดันภายในหอแฟลชให้ได้ตามต้องการเพื่อลดจุดเดือดของเมทานอลให้เดือดกลายเป็นไอง่ายขึ้น



รูปที่ ข.7 ถังเก็บผลิตภัณฑ์ (เมทานอล)

หมายเลข 6 ถังเก็บผลิตภัณฑ์ (เมทานอล)
ถังเก็บผลิตภัณฑ์ (เมทานอล) ทำหน้าที่เก็บเมทานอลที่ควบแน่นเป็นของเหลว และยังทำหน้าที่แยกก๊าซที่ควบแน่นไม่หมดออกจากของเหลวด้วย



รูปที่ ข.8 เครื่องทำความเย็น

หมายเลข 7 เครื่องทำความเย็น
เครื่องทำความเย็น ทำหน้าที่ ผลิตน้ำเย็นเพื่อใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อควบแน่นเมทานอล โดยสารทำความเย็นที่ใช้คือ R-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้