



บทที่ 3

ทฤษฎีการถ่ายเทมวลสารและการออกแบบหอแยกด้วยแอร์สตรีปปิง

3.1 บทนำ

การใช้แอร์สตรีปปิงในหอแยก ภาพที่ (3-1) โดยให้มันไหลในทิศทางตรงกันข้ามนั้น ใช้ได้ดีในการควบคุมสารปนเปื้อนอินทรีย์ ซึ่งได้แก่ ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethane) ตัวทำละลายอินทรีย์คลอรีนผสม (Chlorinated solvent) และสารระเหยชนิดอื่น ๆ ภาพที่ (3-1) ได้นิยมใช้แอร์สตรีปปิงในการบำบัดน้ำเสีย และการควบคุมมลภาวะทางน้ำ มักเกี่ยวข้องกับกระบวนการออกจากสารละลายเจือจาง ยิ่งไปกว่านั้นในหลายกรณีตัวถูกละลายที่สามารถระเหยได้ พอดีกับความต้านทานของก๊าซ ก็จะไม่นำมาคำนวณในการถ่ายเทมวล จริง ๆ แล้วข้อสมมตินี้ก็ได้รับการใช้กันทั่ว ๆ ไปในเรื่องการแยกตัวถูกละลายอินทรีย์ที่ระเหยได้ ซึ่งมีอยู่ในปริมาณเล็กน้อยจากน้ำโดยใช้แอร์สตรีปปิง ในการวิจัยนี้เป็นแบบจำลองของการถ่ายเทมวลโดยใช้แอร์สตรีปปิงในทิศทางไหลสวนกันในหอแยก

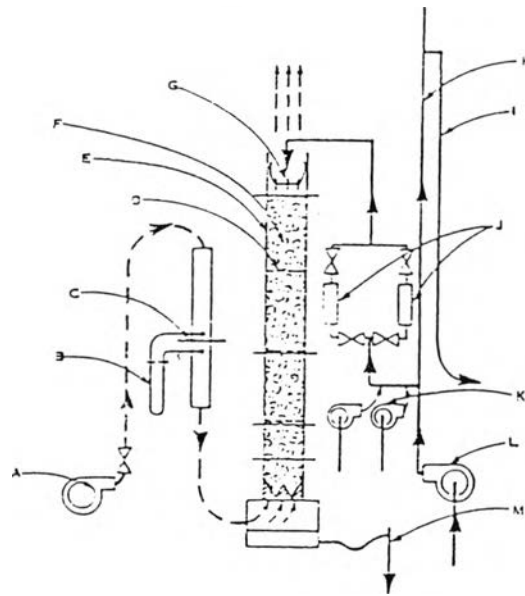
3.2 ทฤษฎีการไหลสวนทางกัน โดยใช้แอร์สตรีปปิง (Air stripping)

3.2.1 สมการการออกแบบ (Design equations) แอร์สตรีปปิงสามารถหาได้ในหอแยกที่อากาศและน้ำจะเคลื่อนที่ไหลสวนทางกัน โดยที่น้ำจะเคลื่อนที่ลงเหนือแพคกิ้งเป็นฟิล์ม ในขณะที่อากาศเคลื่อนที่ขึ้นทำหน้าที่เป็นเฟสต่อเนื่อง (ภาพที่ 3-2) สมการที่สร้างขึ้นถูกเขียนขึ้นมาแล้วสำหรับในกรณีของการดูดกลืน และการแยกออก (stripping) สมการที่แสดงในที่นี้ใช้ในกรณีของกระบวนการแยกที่อุณหภูมิคงที่ (isothermal desorption) สำหรับตัวถูกละลายที่ระเหยได้ และมีปริมาณน้อย ๆ ความสูงแพคกิ้ง สำหรับการแยกคือ

$$Z = HTU \times NTU \quad (4)$$

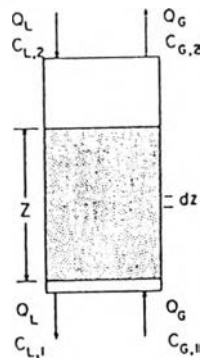
เมื่อ $HTU =$ ความสูงของหน่วยถ่ายเท (m) ซึ่งก็คืออัตราส่วนของความเร็วที่ผิว, μ_o (m/s) ต่ออัตราคงที่ในการถ่ายเท $K_L a$ (s^{-1})

$$\text{HTU} = \mu_o / (K_L a) = K_m / \rho_L (K_L a) \quad (6)$$



- A - Fan, 0-300 cfm
- B - Inclined Manometer
- C - 10 inch Flange Orifice air Flow Meter
- D - Redistributor
- E - 12 inch Diameter, Plexiglass Tower Shell
- F - Packing
- G - Water Distributor
- H - 14 ft. Standpipe
- I - Standpipe Overflow to Waste
- J - 0-6 and 5 to 40 gpm Rotameters
- K - Chemical Feed Pumps, Tygon tubing
- L - Influent Water Pump 40 gpm
- M - Adjustable Height Tower Effluent Overflow

ภาพที่ 3-1 ผังแสดงหอแยกแบบสตรีปิงคอล์มน์ระดับไหล้อตสเกล⁽⁵⁾



ภาพที่ 3-2 ภาพแสดงการไหลสวนทางกันในหอแพค⁽⁵⁾

เมื่อ $L_M =$ อัตราการไหลของของเหลวต่อหน่วยพื้นที่ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
 $\rho_L =$ ความหนาแน่นของของเหลว ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
 $K_L a =$ อัตราการถ่ายเททั้งหมดโดยอาศัยแรงผลักดันของเฟสของเหลว (liquid - phase) เป็นเกณฑ์
 นั่นคือ $K_L a = K_L (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \times a (\text{m}^{-1})$
 $K_L a =$ สัมประสิทธิ์ทั้งหมด ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 $a =$ พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^{-1})
 NTU หมายถึง จำนวนหน่วยถ่ายเท (ซึ่งไม่มีมิติ) มีนิยามเป็น

$$\text{NTU} = \frac{S}{S-1} \ln \frac{(C_{L,2} - C_{G,1}/H_C)(S-1) + 1}{(C_{L,1} - C_{G,1}/H_C) S} \quad (5)$$

เมื่อ $C_{L,2}$ และ $C_{L,1}$ เป็นความเข้มข้นของตัวถูกละลายในของเหลวภายใน และภายนอกตามลำดับ

$C_{G,1} =$ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในก๊าซภายใน ภาพที่ (3-2)
 $H_C =$ ค่าคงที่ของเฮนรี ซึ่งก็คือ สัมประสิทธิ์การแบ่งปัน (partition coefficient) ที่ไม่มีหน่วย
 $= \frac{\text{มวล (หรือโมลาร์) ความเข้มข้นในเฟส}}{\text{มวล (หรือโมลาร์) ความเข้มข้นในเฟสของเหลว}} = \frac{y}{x}$
 $S = \frac{Q_G H_C}{Q_L} =$ แอร์สตรippingแฟกเตอร์ (air stripping factor) (7)
 $Q_G, Q_L =$ อัตราเร็วโดยปริมาตรของก๊าซ และของเหลว ตามลำดับ

ในงานวิจัยนี้ก็คล้ายๆ กับงานบำบัดน้ำเสียอื่น ๆ กล่าวคือ การพ่นอากาศเข้าไปต้องไม่มีการเจือปนของสารที่เราสนใจ ดังนั้นจึงแทนค่า $C_{G,1} = 0$ ลงในสมการที่ (5) จะได้

$$Z = \frac{L_M}{\rho_L K_L a} \frac{S'}{S-1} \ln \frac{C_{L,2}/C_{L,1} (S-1) + 1}{S} \quad (9)$$

สมการที่ (9) นี้สามารถนำไปใช้คำนวณเพื่อประมาณค่าความสูงของแพคกิ้ง ซึ่งเป็นค่าที่สำคัญมากในกระบวนการแยกสารด้วยหอแพค ในบางกรณีอาจกำหนดค่า S ขึ้นมาได้เลยด้วย เทรย์บัล⁽¹⁸⁾ ได้ใช้สมการที่ (4) โดยจัดให้อยู่ในรูปกราฟ เพื่อสะดวกในการใช้

3.2.2 สตรีปปิงแฟคเตอร์ (Stripping factor) อาจกล่าวได้ว่าเป็นแฟคเตอร์ของความสามารถในการเกิดสมดุล (equilibrium capacity factor)

ตัวอย่างเช่น $\frac{Q_G}{Q_L} \times H_C$ ถ้า $S > 1$ หมายถึงสถานะก๊าซมีความจุที่เหมาะสมที่จะแยก

ตัวถูกละลายทั้งหมดออกจากของเหลวที่ผ่านเข้าไป นั่นคือ สามารถแยกออกโดยวิธีนี้ได้อย่างสมบูรณ์ แต่ถ้า $S < 1$ ระบบจะถูกจำกัดโดยสมดุล และการแยกออกได้บางส่วน (fractional removal) จะมีค่าใกล้เคียงกับสตรีปปิงแฟคเตอร์ นั่นคือ

$$(1 - C_{L1}/C_{L2}) \rightarrow S \quad \text{เมื่อ} \quad Z \rightarrow \alpha \quad (10)$$

เห็นได้ชัดเจนว่า สตรีปปิงแฟคเตอร์เป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพของการส่งอากาศ, การหาปริมาณของของเหลวภายในของสตรีปปิงแฟคเตอร์ต่อคุณภาพของของเหลว

3.3 ทฤษฎีของความต้านทานสองชนิด

ความต้านทานทั้งหมดต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างเฟส (interphase mass transfer) นั้น

อาจกล่าวได้ว่าเป็นผลรวมของความต้านทานของสถานะก๊าซ และของเหลว เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าว สามารถนำเอาทฤษฎีนี้มาใช้ได้คือ

$$R_T = R_L + R_G \quad (11)$$

เมื่อ T, L, G คือ ผลรวม, ในเฟสของเหลวและในเฟสก๊าซ

การให้คำนิยามความต้านทานเป็นสัดส่วนกลับของค่าคงที่ต่าง ๆ ข้างต้นตามลำดับ และสมมติว่าสมดุลเฟสถูกควบคุมโดยกฎของเฮนรี (Henry) ที่ผิวสัมผัส (interface) จะได้

$$(K_L a)^{-1} = (k_L a)^{-1} + (H_C k_G a)^{-1} \quad (12)$$

เมื่อ $K =$ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวม
 $k =$ สัมประสิทธิ์ของแต่ละเฟส
 ดังนั้นอัตราส่วนของความต้านทานจะเป็น

$$\frac{R_L}{R_G} = \frac{H_C k_G a}{k_L a} = \frac{H_C k_C}{k_L} \quad (13)$$

$$\text{หรือ } \frac{R_L}{R_T} = 1 + \frac{k_L}{H_C k_C} \quad (14)$$

ถ้า $(H_C k_C / k_L) \gg 1$ ความต้านทานของสถานะก๊าซจะน้อยมากจนตัดทิ้งได้ สถานะของเหลวจะเป็นตัวควบคุม แต่ถ้าความต้านทานทั้ง 2 มีค่าใกล้เคียงกัน ต้องใช้ทั้ง 2 ค่าในการพิจารณาการถ่ายเทมวลสารด้วย

3.4 แบบจำลองสำหรับใช้ทำนายค่าคงที่อัตราการถ่ายเทมวล (Mass transfer rate constant)

ในรายงานนี้ได้ใช้แบบจำลอง 3 แบบในการทำนายค่าคงที่อัตราการถ่ายเทมวล (mass transfer rate constant) ได้แก่ แบบจำลองของเซอร์วูด และฮอลโลเวย์ (Sherwood & Holloway)⁽²¹⁾ ชัลแมน (Shulman)⁽²²⁾ และอนดา (Onda)⁽²³⁾ แบบจำลองของเซอร์วูด - ฮอลโลเวย์ มีสมมติฐานว่า ให้ใช้ความต้านทานของสถานะของเหลวเป็นตัวควบคุม ตัดความต้านทานของสถานะก๊าซทิ้งแบบจำลองนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน ในการศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดสารอินทรีย์ที่ระเหยได้เพื่อการบำบัดน้ำเสีย ส่วนแบบจำลองของชัลแมนและคณะ และอนดาและคณะนั้น พิจารณาความต้านทานของทั้งสองสถานะ จึงเรียกได้ว่าเป็นแบบจำลองของความต้านทานสองชนิด

3.4.1 แบบจำลองของเซอร์วูด - ฮอลโลเวย์

เซอร์วูด - ฮอลโลเวย์ ได้ศึกษาถึงการแยกไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนจากน้ำ โดยให้อากาศไหลสวนทางกับน้ำในคอลัมน์ที่บรรจุด้วยเฟสนิ่งหลายชนิด ให้อัตราการไหลของน้ำ และอากาศเป็น $0.27 < L_M < 43 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ และ $0.04 < G_M < 1.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ตัวถูกละลายทั้งหมดเป็นก๊าซ ซึ่งมีค่าคงที่ของเฮนรี (Henry) มาก ($H_C > 1$) ดังนั้น

ตัวควบคุมคือความต้านทานของสถานะของเหลว ซึ่งข้อนี้เป็นการยอมรับว่าอัตราการไหลของก๊าซไม่มีผลต่ออัตราคงที่การถ่ายเทมวล⁽²¹⁾ ดังนั้นอัตราคงที่การถ่ายเทมวล จึงขึ้นกับอัตราการไหล และคุณสมบัติของของเหลวเท่านั้น ทำให้

$$\frac{k_L a}{D_L} = \frac{10.746\alpha}{\mu_L} \frac{0.3048L_M^{1-n}}{\rho_L D_L} \mu_L^{0.5} \quad (15)$$

เมื่อ D = การแพร่เชิงโมเลกุล ($m^2 \cdot S^{-1}$)
 μ = ความเร็วของของไหล (Pa.S)
 ρ = ความหนาแน่นของของไหล ($kg \cdot m^{-3}$)

สัมประสิทธิ์ α และเลขยกกำลัง n ในสมการที่ (15) เป็นค่าสำหรับแพคกิ้งที่ได้จากการทดลอง เซอร์วูด - ฮอลโลเวย์ และคนอื่น ๆ ใช้แพคกิ้งเป็น เซรามิก เบิร์ล รูปอานม้าขนาด $1\frac{1}{2}$ นิ้ว มีค่า $\alpha = 150$, $n = 0.28$ จากสมการที่ (15) จะได้ค่า L_M/μ_L มีหน่วยเป็น (ความยาว)⁻¹ $k_L a/D_L$ มีหน่วยเป็น (ความยาว)⁻² ค่าคงที่ 10.764 (มาตราอังกฤษ) เลขยกกำลัง 0.5 คือ ชมิดซ์ นัมเบอร์ (Schmidt number) ที่ไม่มีหน่วย

$$S_c = \mu_L / (\rho_L D_L) \quad \text{ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการทะลุทะลวง}^{(24)}$$

3.4.2 แบบจำลองของชัลแมน (Shulman)

แบบจำลองนี้ให้ความสำคัญกับการประมาณค่า k_L , k_C และ a ออกจากกันโดยนำความคิดของเทอร์ย์บอลมาพิจารณาในกรณีที่มีความต้านทานของทั้งก๊าซ และของเหลวมีส่วนในการคำนวณความสัมพันธ์ของชัลแมนต่อสัมประสิทธิ์ของสถานะของเหลว (liquid phase coefficient), k_L แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มที่ไม่มีหน่วย คือ

$$\text{เซอร์วูด นัมเบอร์, } Sh = k_L d_s / D_L$$

$$\text{เรโนลด์ นัมเบอร์, } Re = d_s L_M / \mu_L$$

$$\text{ชมิดซ์ นัมเบอร์, } Sc = \mu_L / (\rho_L D_L)$$

$$\frac{k_L d_s}{D_L} = 25.1 \frac{d_s L_M^{0.45}}{\mu_L} \frac{\mu_L^{0.5}}{\rho_L D} \quad (16)$$

โดยค่าความยาวเฉพาะ d_s คือเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของแพคกิ้ง ซึ่งมีพื้นที่ผิวเท่ากัน สัมประสิทธิ์ 25.1 เป็นค่าคงที่ที่ได้จากการทดลองซึ่งไม่ขึ้นกับหน่วยที่เลือก สมการที่ (16) ได้ถูกตรวจสอบโดย ซัลแมนและคณะ⁽²²⁾ โดยใช้ข้อมูลจากรายงานที่มีอยู่ก่อนหน้านี้ ซึ่งครอบคลุมช่วงของ L_M เดียวกันกับของเซอร์วูด - ฮอลโลเวย์ ซัลแมนและคณะ ได้หาความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ของสถานะก๊าซ โดยอาศัยหลักการกลายเป็นไอเหนือแพคกิ้ง ซึ่งเตรียมมาจากแนวพลาตินที่เป็นของแข็งซึ่งมีค่า G_M อยู่ระหว่าง $0.14 - 1.4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ เคารายงานผลในรูปที่ไม่มีหน่วยสำหรับของผสมของก๊าซที่เจือจางสามารถจัดสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{k_G d_s}{D_G} = 1.195(1-G)^{0.36} \frac{d_s G_M^{0.64}}{\mu_G} \frac{\mu_G^{0.33}}{D_G \rho_L} \quad (17)$$

สมการที่ (17) สำหรับค่า k_G ก็คล้าย ๆ กับ k_L ในสมการที่ (16) ซึ่งทั้งสองแทนความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มที่ไม่มีหน่วยเหมือนกันคือ Sh , Re และ Sc อย่างไรก็ตามขณะที่ k_L เป็นสัดส่วนกับ $D^{1/2}$ ตามทฤษฎีการทะลุทะลวง แต่ k_G ขึ้นกับ $D_G^{2/3}$ ตามความคาดหมายของการถ่ายเทมวล ในชั้นขอบเขตที่ปั่นป่วนหรือไม่สามารถควบคุมได้ (Turbulent boundary layer) ซึ่งมีค่า Sc น้อย ๆ

ซัลแมนและคณะ ได้อธิบายถึงความหมายของการประมาณพื้นที่ผิวสัมผัส แต่ข้อมูลแสดงในรูปของกราฟที่ยู่ยาก จึงไม่สามารถนำมาแสดงในที่นี้ได้

3.4.3 แบบจำลองของออนดา

ออนดาและคณะ ก็ให้ความสำคัญกับการประมาณค่า k_L , k_G และ a แยกออกจากกัน พื้นที่ผิวสัมผัสเฉพาะที่ใช้เฉพาะพื้นที่ผิวที่เปียกของแพคกิ้ง (a_w) ซึ่งประมาณได้จากอัตราการไหลของของเหลว และคุณสมบัติของแพคกิ้ง และของเหลว

$$\frac{a_w}{a_t} = 1 - \exp [-1.45(\sigma_c/\sigma_L) \times (L_M/a_t \mu_L)]^{0.1} \left[\frac{L_M^2 a_t}{(\rho_L^2 g)} \right]^{-0.5} \left[\frac{L_M^2}{(\rho_L \sigma_L a_t)} \right]^{0.2} \quad (18)$$

เมื่อ a_t = พื้นที่ผิวเฉพาะของแพคกิ้ง
 σ_c = พื้นที่ผิววิกฤตของแพคกิ้ง

$$\begin{aligned}\rho_L &= \text{ความหนาแน่นของของเหลว} \\ \mu_L &= \text{ความหนืด} \\ \sigma_L &= \text{ความตึงผิว}\end{aligned}$$

3 เทอมสุดท้ายที่เป็นเลขยกกำลังในสมการที่ (18) เป็นค่าที่ตกลงกันว่าเป็น เรโนลด์ (Reynolds) ฟราวด์ (Froude) และ เวเบอร์ นัมเบอร์ (Weber number) ซึ่งไม่มีหน่วย สมการที่ (18) นี้มีความถูกต้องเป็น $\pm 20\%$ สำหรับเซรามิกแก้ว และพีวีซี ที่มีรูปร่างเป็นอานม้า ทรงกลม และแท่ง รวมทั้งสารที่เคลือบแว็กซ์ (wax) สำหรับวัสดุแพคกิ้งของเหลว และอุณหภูมิที่กำหนด พื้นที่ผิวจำเพาะจะเพิ่มตามอัตราเร็วของของเหลวที่เพิ่มขึ้น และ a_t มีค่าเข้าใกล้ L_M ซึ่งมีค่ามาก ๆ

ค่า k_L หาได้จากข้อมูลจำนวนมาก ๆ (โดยรวมถึงงานของเซอร์วูด และฮอลโลเวย์ ด้วย) โดยใช้วงแหวน ทรงกลม แท่ง และอานม้าที่มีขนาด 4-50 mm. อัตราการไหลของของเหลวคือ $0.8-43 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ออเนดาและคณะ รายงานผลในรูปแบบที่ไม่มีหน่วย

$$k_L \frac{\rho_L^{1/3}}{\mu_L g} = 0.0051 \frac{L_M^{2/3}}{a_w \mu_L} \frac{\mu_L^{0.5}}{\rho_L D_L} (a_t d_p)^{0.4} \quad (19)$$

เมื่อ d_p = ขนาดของแพคกิ้ง (m)

ความถูกต้องของการประมาณค่า $k_L = \pm 20\%$ ⁽¹⁹⁾ ออเนดาและคณะ ได้หาความสัมพันธ์ของสมการที่ (19) โดยแสดงว่าเทอมทางซ้ายมีค่าเป็น

$$k \frac{\rho_L^{1/3}}{\mu_L g} = \frac{k_L}{a_t D_L} \frac{\mu^{2/3} a_t^{3/3}}{\rho g} = \frac{\text{Sh} \cdot \text{Ga}}{\rho_L D_L S_C} \quad (20)$$

เมื่อ Sh = เซอร์วูด นัมเบอร์ (Sherwood number) นิยามโดยใช้ a_t^{-1} เป็นค่าความยาวเฉพาะ
Sc = ชมิดซ์ นัมเบอร์ (Schmidt number)

G_a = กาลิเลโอ นัมเบอร์ (Galileo number) ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนของแรงหนืดต่อแรงเร่งโน้มถ่วง

จากสมการที่ (19) มีเทอมที่อยู่ในรากที่ 2 คือ D_L เหมือนสมการที่ (15), (16) ตามทฤษฎีการทะลุทะลวง แต่ขึ้นกับ L_M นั่นคือ

$$k_L \propto L_M^{2/3} \quad \text{มีค่ามากกว่าตามสมการที่ (16) คือ}$$

$$k_L \propto L_M^{0.45}$$

สำหรับสัมประสิทธิ์ของสถานะก๊าซ ออเนคาและคณะ ได้ใช้ข้อมูลของการถ่ายเทมวลหาความสัมพันธ์ สำหรับการดูดกลืน และการกลายเป็นไอโดยใช้อัตราการไหลของก๊าซ $0.014 < G_M < 1.7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ใช้แพคเกจที่มีรูปร่างต่าง ๆ กัน ซึ่งมีขนาด 4-50 mm. และได้ความสัมพันธ์เป็น

$$\frac{k_G}{a_t D_G} = 5.23 \frac{G_M^{0.7}}{a_t \mu_G} \frac{\mu_G^{1/3}}{\rho_G D_G} (a_t d_p)^{-2} \quad (21)$$

แต่พวกเขาได้กล่าวว่า ค่าคงที่ในสมการที่ (21) จะเปลี่ยนแปลงไปถ้าแพคเกจมีขนาดเล็ก ๆ ($d_p < 15$ มิลลิเมตร) โดยเปลี่ยนจาก 5.23 เป็น 20 ค่า k_G ในแบบจำลองของออเนคาสมการที่ (21) มีค่าใกล้เคียงกับค่าในแบบจำลองของซัลแมน โดยที่ค่า k_G ขึ้นกับ G_M และ D_G

3.5 เปรียบเทียบการใช้งานแบบจำลอง

แบบจำลองทั้ง 3 แบบ นับว่ามีศักยภาพดีสำหรับการประมาณ และทำนายถึงการถ่ายเทมวลในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ที่มีอยู่ในปริมาณน้อย ๆ จากนั้นโดยการพ่นอากาศเข้าไป แบบจำลองของซัลแมนนำมาจากเทรย์บอล (Treybal) ขณะที่ของออเนคานั้นนำมาจากคู่มือวิศวกรรมเคมี (Chemical Engineers' Handbook⁽²⁶⁾) สำหรับการออกแบบการคำนวณการดูดกลืนและกำจัด อย่างไรก็ตามข้อมูลพื้นฐานนั้น ไม่ได้รวมการกำจัดสารอินทรีย์จากสารละลายในน้ำ ดังนั้นการนำเอาแบบจำลองเหล่านี้มาใช้กับตัวอย่างเหล่านี้จะต้องหาเงื่อนไขที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้

อุมแพร์ (Umpere) และคณะ⁽²⁷⁾ พบว่าข้อมูลแอร์สตรีปปีงของไตรฮาโลมีเทน, CHCl_3 , CHBrCl_2 , CHBr_2Cl , CHBr_3 ที่มีอัตราส่วนของอากาศ/น้ำสูง ๆ สามารถใช้แบบจำลองเซอร์วูด-ฮอลโลเวย์ (สมการที่ 15) ได้ แต่ค่าที่ได้จากการทดลองจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณ

จากเซอร์วูด-ฮอลโลเวย์ ถึง 2 เท่า

บอล (Ball) และคณะ⁽²⁸⁾ ก็ประสบความสำเร็จกับการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล แอร์สตริปปีงสำหรับสารประกอบกลุ่มฮาโลจีนเนตเต็ด อลิฟาติก (halogenated aliphatic) โดยใช้แบบจำลองของเซอร์วูด - ฮอลโลเวย์ แต่เขาก็พบว่าต้องมีการปรับค่า α และ n เพื่อให้ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ คิวมิโน (Cummino) และเวสตรีก (Westrick)⁽²⁹⁾ ก็แสดงให้เห็นว่าการใช้แบบจำลองของอนดำนัน ให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลจากการสตริปปีงของ $\text{CHCl} = \text{CCl}_2$ โดยที่ $\sigma < L_M < 20 \text{ kg.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ โดยมีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานสัมพันธ์ (relative standard error) = 17.8% แต่ถ้าลดค่าคงที่ของเฮนรี (Henry) ลง 3 เท่าก็จะได้ผลใกล้เคียงกัน รายงานนี้ได้รวบรวมงานของโรบัทส์และคณะ⁽³⁰⁾ ซึ่งได้ทดสอบแบบจำลองการถ่ายเทมวล 3 แบบ ซึ่งได้กล่าวมาแล้ว โดยไม่ได้มีการปรับค่าตัวแปร (parameter) ต่าง ๆ

3.8 ส่วนประกอบสำหรับห่อแพค (packed bed component)

ห่อแพค (ภาพที่ 3-3) อาจประกอบด้วยแพคกิ้งเบดเดี่ยว หรือหลายเบด เพื่อให้เกิดการสัมผัสกันของของเหลว ซึ่งก่อให้เกิดการถ่ายเทมวลและความร้อยภายในห่อ สำหรับห่อแพคแบบเบดเดี่ยวที่มีการไหลสวนทางกันของเฟสแก๊ส และของเหลวภายในห่อแล้ว โดยทั่วไปจะมีองค์ประกอบภายในคือ

1. แพคกิ้ง (Packing)
2. ตัวกระจายของเหลว (Liquid Distributer)
3. แผ่นโฮลด์ดาวน์ (Packing Hold-down)
4. อุปกรณ์รองรับแพคกิ้ง (Packing Support)

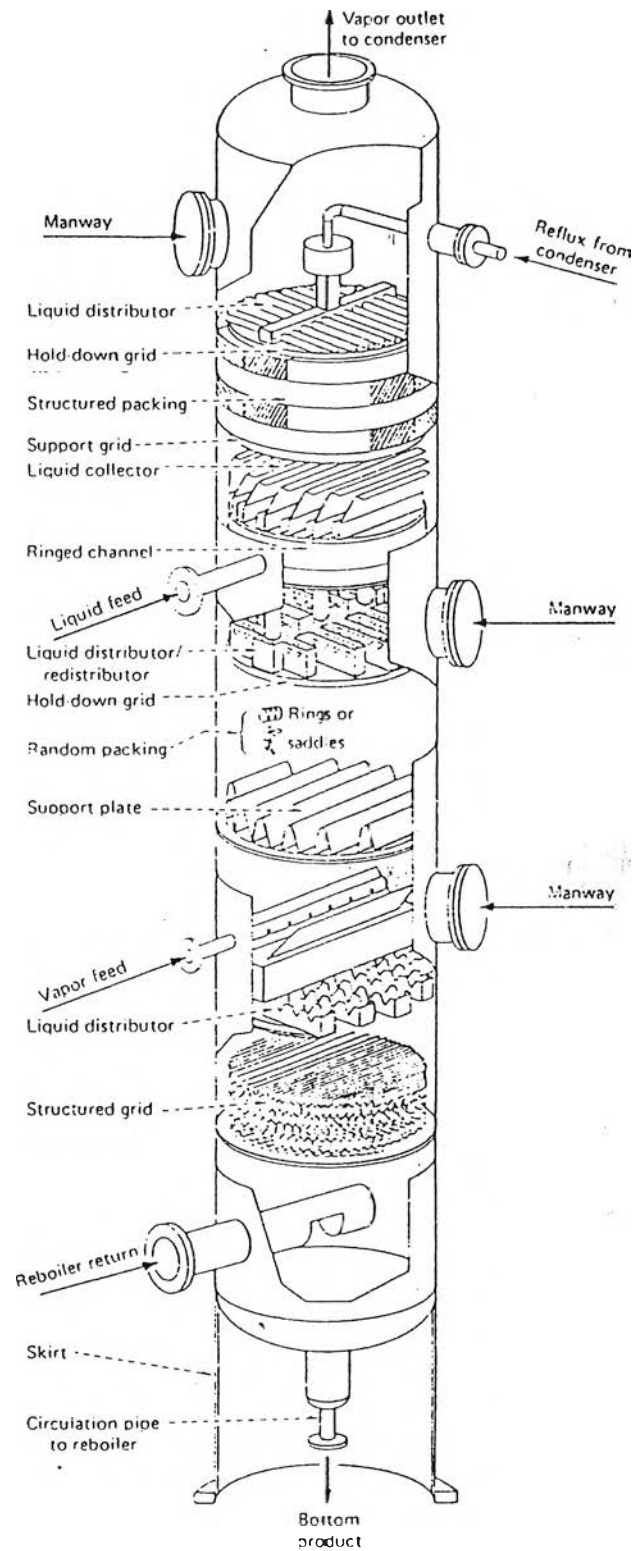
รายการ 1, 2, 4 อาจจะแยกเป็นส่วนของอุปกรณ์เสริมสำหรับแพคกิ้ง แต่โดยภาพรวมแล้วสมรรถนะการสัมผัสกันของของเหลวกับก๊าซไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับแพคกิ้งเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยเสริมเหล่านี้ด้วยเป็นสำคัญ จึงไม่ควรมองข้ามเป็นอย่างยิ่ง ภาพที่ 3-3 เป็นภาพส่วนประกอบภายในห่อแพคแบบหลายเบด ซึ่งจะอธิบายในตอนต่อไป⁽³²⁾

3.7 ชนิดและประเภทของแพคกิ้ง

3.7.1 ชนิดของแพคกิ้ง (Types of Packing)

โดยทั่วไปมักแบ่งแพคกิ้ง เป็นสองประเภท คือ แพคกิ้งแบบสะแตก (stacked or structured packings) และแพคกิ้งแบบรานคอม

แพคกิ้งแบบสะแตก ตัวอย่างเช่น กริด (grids) จะมีโครงสร้างที่เปิด และสามารถใช้กับอัตราไหลของแก๊สที่สูงได้โดยมีความดันตกไม่มากนัก ตัวอย่างเช่น ใช้ในหอทำให้เย็น (cooling tower) ส่วนของแพคกิ้งแบบรานคอม ใช้กันอย่างกว้างขวางในกระบวนการของอุตสาหกรรม ชนิดหลัก ๆ ของแพคกิ้งแบบรานคอมดูได้จากภาพที่ 3-4 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบสำหรับแพคกิ้งเหล่านี้ แสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2

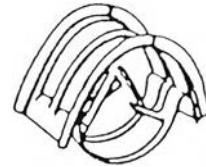


ภาพที่ 3-3 ภาพแสดงภายในของหอแยก

ราสจิก ริง ดังในภาพที่ 3-4 เป็นแบบที่ใช้ในอุตสาหกรรมเก่าแก่แบบหนึ่งของรานคอมแพคกิ้ง และขณะนี้ยังคงใช้อยู่ทั่วไป แพลริง (Pall ring) ดังในภาพที่ 3-4 B เป็นราสจิกริงพิเศษซึ่งรูปเปิดทำโดยการพับของพื้นผิวในวงแหวน สิ่งนี้จะเพิ่มพื้นที่อิสระและปรับปรุงลักษณะการกระจายของเหลว



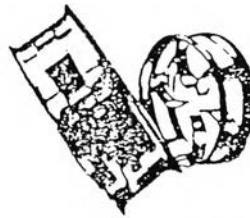
Berl Saddle

Intalox Saddle
(Ceramic)Intalox Saddle
(Metal)

B. CYLINDERS



Pall Ring

Cascade Mini-Ring^R

Raschig Ring

C. SPHERICAL SHAPES



Tellerette



Maspac

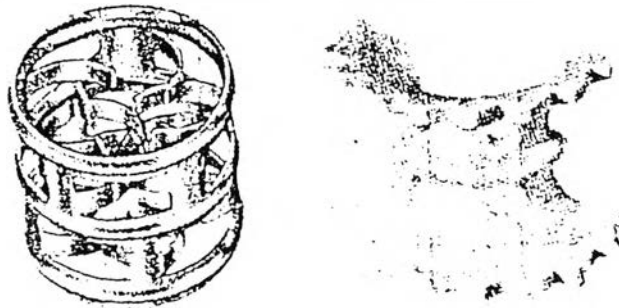
ภาพที่ 3-4 แพคกิ้งแบบรานคอมชนิดต่าง ๆ ⁽⁹⁵⁾

แบร์ล สาดเดอส์ (Berl saddles) ดังภาพที่ 3-4 A พัฒนามาเพื่อให้มีการกระจายของของเหลวดีกว่าราสจิกริง อินทาลอค สาดเดอส์ (intalox saddles) ดังภาพที่ 3-4 A เป็นแบบที่ปรับปรุงมาจากแบบ แบร์ล สาดเดอส์ ไฮแพค (Hypac) และซูเปอร์อินทาลอค (Super Intalox) แพคกิ้ง ดังแสดงในภาพที่ 3-5 ซึ่งปรับปรุงมาจากแบบแพลริง และอินทาลอค สาดเดอส์ ตามลำดับ แบบอินทาลอค สาดเดอส์ ซูเปอร์อินทาลอค และไฮแพคแพคกิ้ง เป็น

ตารางที่ 3.2 แนวทางการเลือกและการออกแบบโดยทั่วไปสำหรับแพคกิ้งแบบเรณูดอม⁽⁸³⁾

Factor	Packing			
	Raschig Ring	Berl Saddle	Intalox Saddle	Slotted Ring
Capacity	Low	High (plastic) Moderate (ceramic)	High (plastic) Moderate (ceramic)	High (plastic and metal) Moderate (ceramic)
"In bed" redistribution	Poor	Good	Good	Good
Turndown	Poor	Good	Good	Good
Efficiency	Poor	Good	Good	Good
Pressure drop	High	Low (plastic) Moderate (ceramic)	Low (plastic) Moderate (ceramic)	Low (plastic and metal) Moderate (ceramic)
Material of construction:				
Plastic	No	Yes	Yes	Yes
Metal	Yes	No	No	Yes
Ceramic	Yes	Yes	Yes	Yes
Carbon	Yes	Yes	No	No
Cost:				
Plastic	—	Low	High	Low
Metal	Moderate	—	—	Moderate
Ceramic	Low	Moderate	High	High
Carbon	High	High	—	—

ชื่อเชิงการค้าของบริษัทนอร์ตัน เคมีคัล โพรเซสส์ โปรดักท์ (Norton Chemical Process Products Ltd.)⁽³⁵⁾

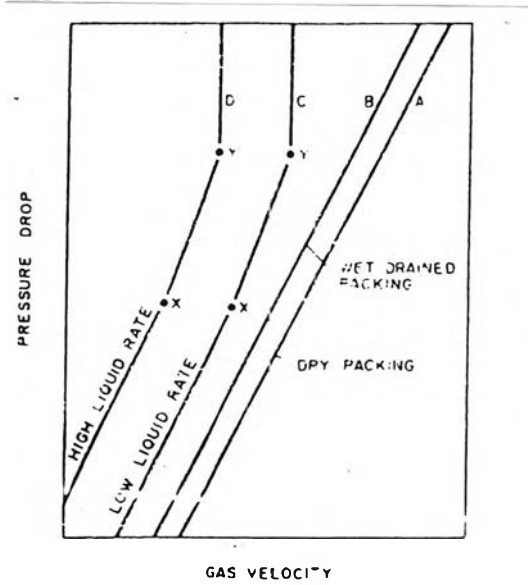


ภาพที่ 3-5 แสดงภาพที่แพคกิ้งแบบไฮแพค และ ซุปเปอร์อินทาลอค

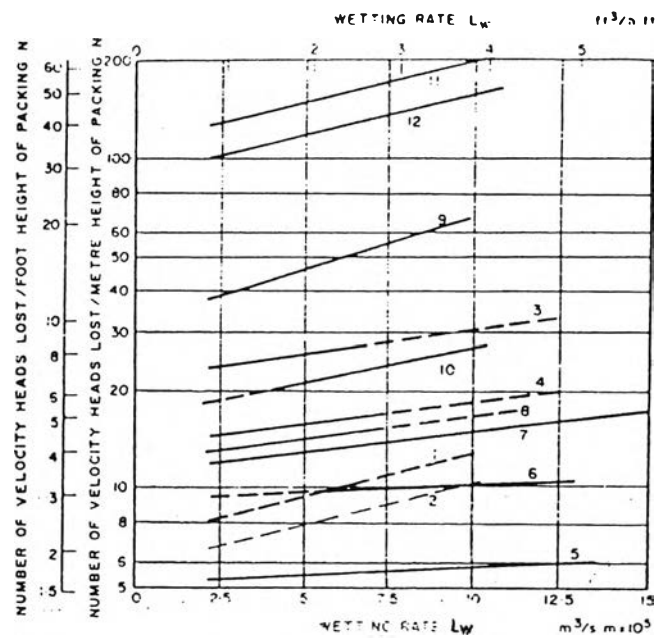
3.7.2 ความดันลดของหอแพค (Pressure Drop)⁽³⁵⁾

ปรากฏการณ์การเกิดความดันลดภายในหอแพค สามารถอธิบายได้ในภาพที่แบบ ความสัมพันธ์โดยทั่วไป ระหว่างความดันลด ($-\Delta P$) และอัตราไหลเชิงปริมาตรของแก๊สต่อพื้นที่หน้าตัดหอ (U_G) ดังแสดงในภาพที่ 3-6 โดยที่ $-\Delta P$ จะเป็นสัดส่วนกับประมาณ $U_G^{1.8}$ ถ้าขณะที่แก๊สไหลขึ้นมีของเหลวเริ่มไหลลงในหอ จะพบว่าที่อัตราไหลของของเหลวต่ำ ๆ เส้นความดันลดจะคล้ายกับกรณีที่ไม่มีของเหลวไหลอยู่ด้วย นั่นคือการไหลของของเหลวไม่มีผลต่อทางเดินของแก๊ส แต่เมื่อความเร็วของแก๊สเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่ง $-\Delta P$ จะเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและ $-\Delta P \propto U_G^{2.5}$ ดังแสดงในช่วง xy บนเส้นกราฟ C บนช่วง xy นี้ การไหลของของเหลว มีผลต่อการไหลของแก๊สและค่าโฮลด์ อัพ (Hold-up) ของของเหลวจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และของเหลวจะบรรจุอยู่ในช่องว่างของแพคกิ้งเรื่อย ๆ การต้านทานการไหลจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ และที่การไหลของแก๊สที่เหนือจุด y จะทำให้ค่า $-\Delta P$ สูงขึ้นมากและจะทำให้ของเหลวในหอหยุดไหล จุด x เรียกชื่อว่า จุดโหลด (loading point) และจุด y เรียกว่า จุดท่วม สำหรับการไหลของของเหลวที่ค่าหนึ่ง ๆ ถ้าการไหลของของเหลวเพิ่มขึ้นจะได้เส้นกราฟใหม่คือ เส้นกราฟ D ซึ่งจะพบว่าจุดการท่วมจะเกิดขึ้นที่ค่าการไหลของแก๊สต่ำกว่าแต่ค่า $-\Delta P$ ยังคงเป็นค่าเดิม โดยปกติหอแพคจะทำงานอยู่ในช่วง xy นั่นคือ กำหนดค่าโฮลด์ อัพ ค่าหนึ่ง เพื่อให้การสัมผัสระหว่างของเหลวกับแก๊สเกิดได้ดีและหอแพคจะไม่ทำงานที่สภาวะการท่วม จากภาพที่ 3-6 จะพบว่าช่วง xy นี้ มีช่วงการไหลของแก๊สสั้นมาก

ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการออกแบบจะกำหนดให้การทำงานของหออยู่ที่จุดการไหลลด (จุด x)



ภาพที่ 3-6 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความดันลด กับ ความเร็วของแก๊สในหอแพคที่เปียก⁽⁸⁵⁾



ภาพที่ 3-7 ความดันลดผ่าน กริด และวงแหวน สะแตก เส้นโค้งที่เป็นเส้นประ แสดงถึงค่าประมาณ (ตัวเลขของเส้นโค้ง ดูได้จากภาพที่ 3-8)⁽⁸⁵⁾

นายบี โรส (B. Rose) และนายยัง (Young) ได้เสนอสมการความสัมพันธ์ของแพคกิ้งแบบราสซิงริง (Raschig Ring) ระหว่างความดันลด และห่อเปียกและแห้ง ดังนี้

$$-\Delta P_w = -\Delta P_d (1 + 3.30/d_n) \quad \dots\dots\dots (22)$$

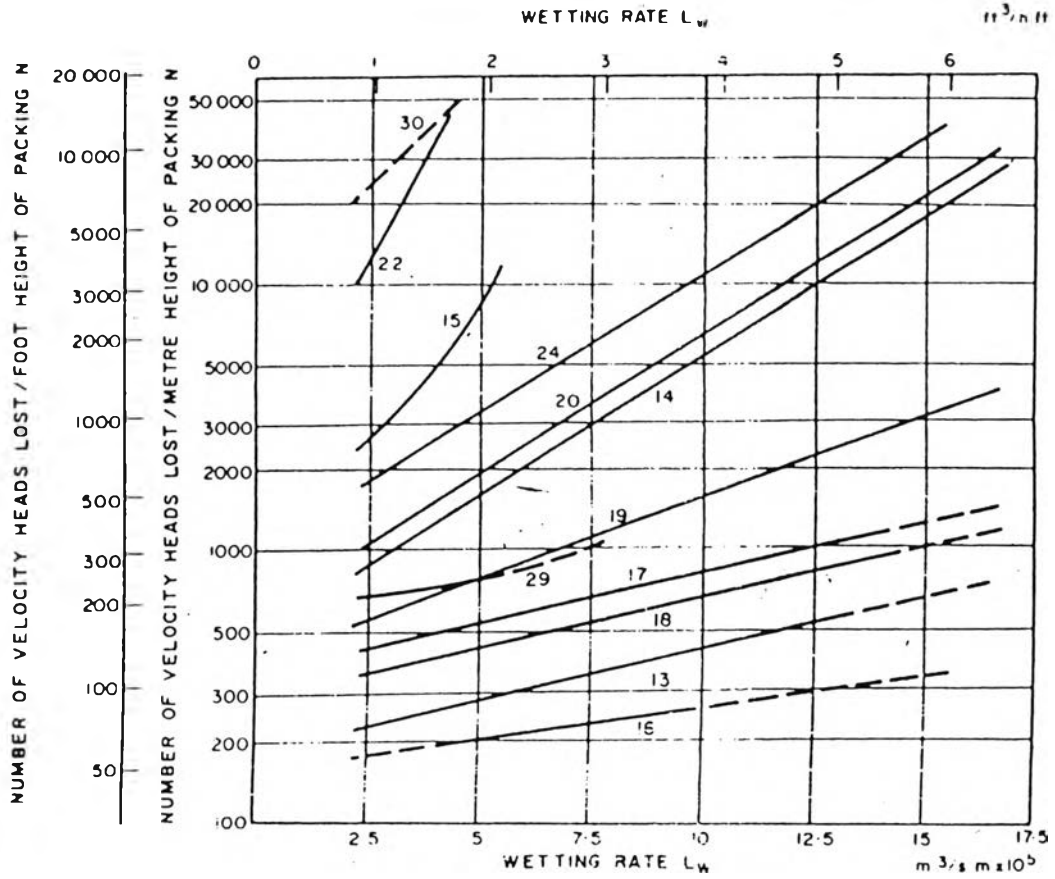
โดยที่ $-\Delta P_w$ = ความดันลดเมื่อห่อเปียก

$-\Delta P_d$ = ความดันลดเมื่อห่อแห้ง

d_n = ขนาดนอมินัล (nominal) ของราสซิงริง, ม.ม.

หมายเหตุ สมการนี้จะใช้ได้กับขนาดแพคกิ้งเล็ก ๆ

การคำนวณความดันลดคร่อมห่อแพคเมื่อมีการไหลของของเหลวและแก๊สอย่างต่อเนื่องและเมื่อการทำงานของห่ออยู่ในสภาวะต่ำกว่าจุดการไหลทำได้หลายวิธีด้วยกัน หนึ่งในวิธีนั้น ได้แก่ การคำนวณความดันลดสำหรับการไหลของแก๊สเท่านั้น เสร็จแล้วจะคูณค่าความดันลดนี้ด้วย แฟกเตอร์ ซึ่งรวมถึงผลการไหลของของเหลว ส่วนอีกวิธีหนึ่งนั้นหาโดย นายมอร์ริส และนายแจคสัน⁽³⁷⁾ ซึ่งได้จัดข้อมูลที่ทดลองในช่วงกว้างของแพคกิ้งแบบวงแหวนที่เป็นของแข็ง และแพคกิ้งแบบกริด (grid) ลงในภาพที่กราฟเพื่อความสะดวกในการคำนวณ ภาพที่กราฟดังแสดงในภาพที่ 3-7 และ 3-8 ตามลำดับ



Plain grids

- 1 25 mm x 25 mm x 1.6 mm
- 2 25 mm x 50 mm x 1.6 mm
- 3 25 mm x 25 mm x 6.4 mm
- 4 25 mm x 50 mm x 6.4 mm

Random metal rings:

- 13 50 mm x 50 mm x 1.6 mm
- 14 25 mm x 25 mm x 1.6 mm
- 15 12.5 mm x 12.5 mm x 0.8 mm

Random carbon rings:

- 23 50 mm x 50 mm x 6.4 mm*
- 24 25 mm x 25 mm x 4.8 mm
- 25 12.5 mm x 12.5 mm x 1.6 mm†

Serrated grids

- 5 100 mm x 100 mm x 12.5 mm
- 6 50 mm x 50 mm x 9.5 mm
- 7 38 mm x 38 mm x 4.8 mm

Random stoneware rings:

- 16 75 mm x 75 mm x 9.5 mm
- 17 50 mm x 50 mm x 6.4 mm
- 18 50 mm x 50 mm x 4.8 mm
- 19 38 mm x 38 mm x 4.8 mm
- 20 25 mm x 25 mm x 2.4 mm
- 22 12.5 mm x 12.5 mm x 1.6 mm

Quartz:

- 29 50 mm
- 30 12.5-32 mm

Stacked stoneware rings:

- 8 100 mm x 100 mm x 9.5 mm
- 9 75 mm x 75 mm x 9.5 mm
- 10 75 mm x 75 mm x 6.4 mm
- 11 50 mm x 50 mm x 6.4 mm
- 12 50 mm x 50 mm x 4.8 mm

ภาพที่ 3-8 ความดันตก ผ่าน วงแหวนและของแข็งรานคอม เส้นโค้งที่เป็นเส้นประ แสดงถึงค่าประมาณ⁽⁸⁵⁾

จำนวนของเฮดเนื่องจากความเร็ว (Velocity head) N ที่หายไปต่อหน่วยความสูงของแพคกิ้งหาได้จากกราฟที่ค่าอัตราการเปียก (wetting rate) ใด ๆ (ดูได้จากสมการ 24) แล้วนำค่า N มาแทนลงในสมการนี้

$$-\Delta P = \frac{1}{2} N \rho_G U_G^2 Z \quad \dots\dots\dots (23)$$

โดยที่ $-\Delta P$ = ความดันลด

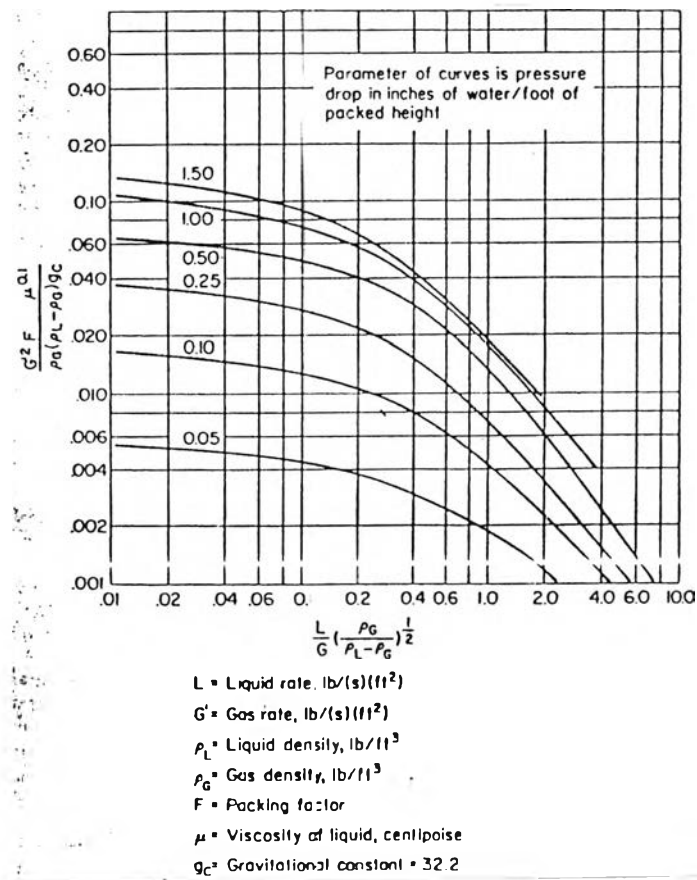
ρ_G = ความหนาแน่นของแก๊ส

U_G = ความเร็วของแก๊ส (โดยใช้พื้นที่หน้าตัดของหอเปล่า)

Z = ความสูงของแพคกิ้ง

หมายเหตุ สมการ (23) สามารถใช้ได้กับทุกหน่วย เช่น $-\Delta P$ (N/m^2) ρ_G (kg/m^3) U_G (m/s) และ $N(m^{-1})$ เป็นต้น

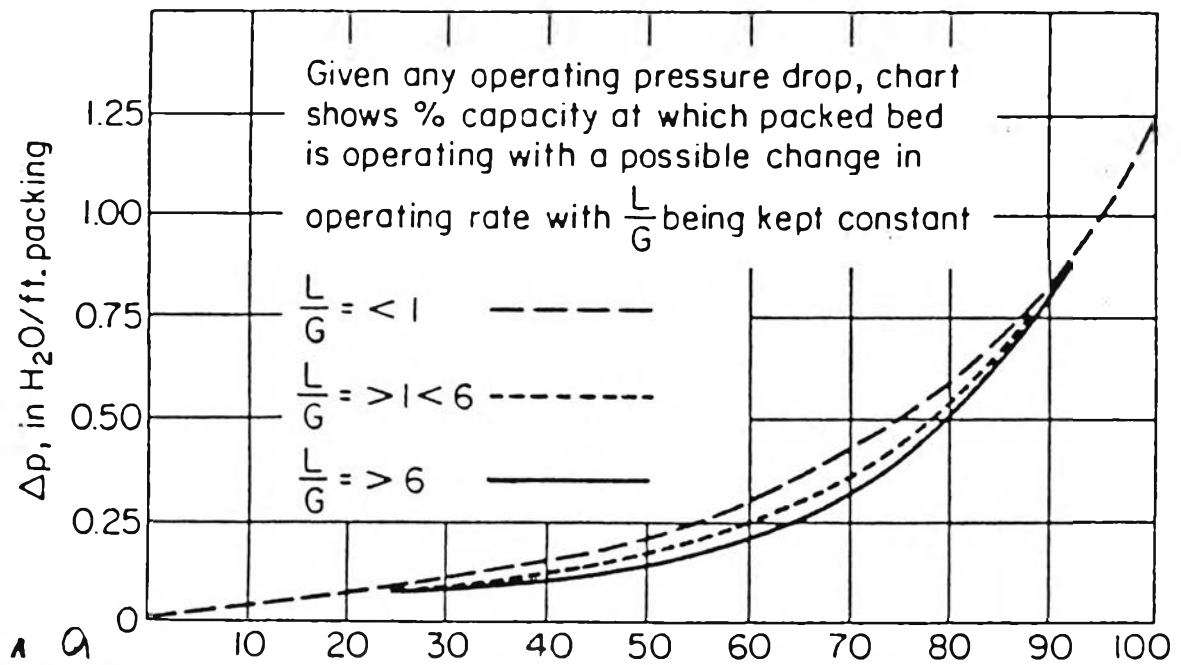
โดยทั่วไปแล้วผู้ผลิตจะสร้างกราฟความสัมพันธ์ที่อธิบายถึงความดันลดกับอัตราการไหลของแก๊สโดยที่มีอัตราการไหลของของเหลวเป็นตัวแปรพิจารณา ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นจะเหมาะกับกรณีที่อยู่ที่ได้จุดไหล สำหรับกรณีเหนือจุดไหลนั้น พบว่าค่าความดันจะต่ำเกินไป ฉะนั้นต้องพิจารณาก่อนว่า หอแพคกิ้งทำงานอยู่ในสภาวะที่หรือได้จุดไหลหรือไม่ ภาพที่ 3-9 แสดงความดันลดที่เกิดขึ้นต่อความสูงของแพคกิ้ง 1 ฟุต



ภาพที่ 3-9 ความสัมพันธ์ของความดันลดกับตัวแปรต่าง ๆ ⁽⁸⁵⁾

3.8 ค่าความดันลดที่ยอมได้ (Allowable pressure drop) ⁽⁷⁾

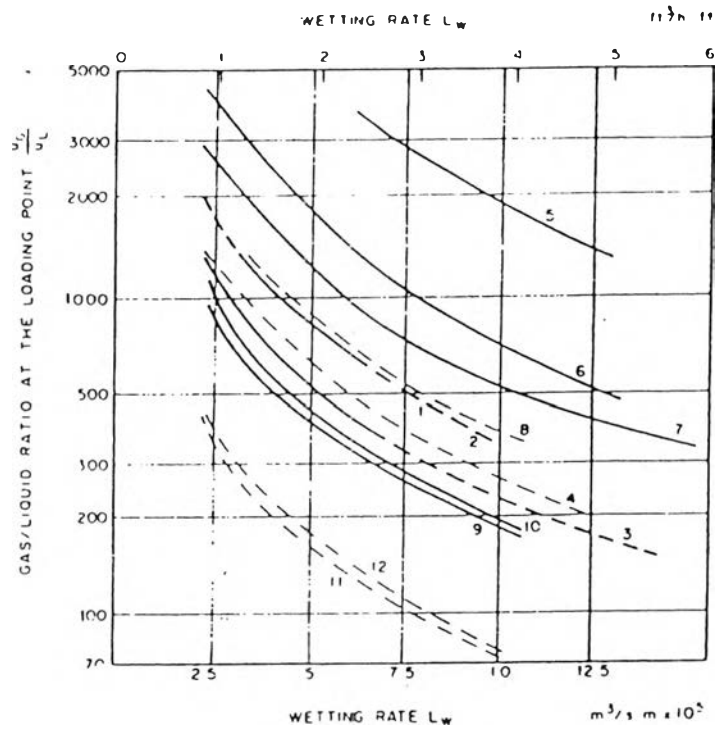
ได้มีการศึกษาถึงความดันลดที่เหมาะสม หรือที่ยอมรับได้สำหรับหอแบบแพคเพื่อการทำงานของหอให้ได้ประสิทธิภาพหรือความสามารถ (capacity) ตามต้องการ พิจารณาภาพที่ 3-10



ภาพที่ 3-10 ช่วงการทำงานที่สามารถทำงานกับหอแพคได้⁽¹⁷⁾

3.9 จุดการโหลด (Loading Point)

นายมอร์ริส (Morris) และนายแจคสัน (Jackson)⁽³⁸⁾ ได้สร้างกราฟความสัมพันธ์ของฟังก์ชัน ψ (U_G/U_L) ที่จุดโหลด และสำหรับอัตราการเปียกหลาย ๆ ค่า (Lw) (พิจารณาสมการ 24) ค่า U_G , U_L เป็นค่าเฉลี่ยของความเร็วแก๊ส และของเหลวขณะที่ห่อว่างเปล่า $\psi (= \sqrt{\rho_g/\rho_l})$ คือแฟกเตอร์ปรับค่าความหนาแน่นของแก๊ส และ ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศที่ 293 K



Plain grids	Serrated grids	Stacked stoneware rings
1 25 mm × 25 mm × 1.6 mm	5 100 mm × 100 mm × 12.5 mm	8 100 mm × 100 mm × 9.5 mm
2 25 mm × 50 mm × 1.6 mm	6 50 mm × 50 mm × 9.5 mm	9 75 mm × 75 mm × 9.5 mm
3 25 mm × 25 mm × 6.4 mm	7 38 mm × 38 mm × 4.8 mm	10 75 mm × 75 mm × 6.4 mm
4 25 mm × 50 mm × 6.4 mm		11 50 mm × 50 mm × 6.4 mm
		12 50 mm × 50 mm × 4.8 mm

ภาพที่ 3-11 ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนแก๊สต่อของเหลว กับอัตราการเปียก ที่จุดการไหล สำหรับกริด และวงแหวนระแนง (เส้นโค้งประเป็นค่าโดยประมาณ)

3.10 จุดท่วม (Flooding Point)

นายโลโบ (Lobo) และเพื่อน⁽³⁹⁾ ได้พัฒนาความสัมพันธ์สำหรับจุดท่วม สำหรับแพคกิ้งอย่างรานดอม แสดงในภาพที่ 3-12 ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง

$$\frac{U_G^2 S_B \rho_c (\mu_L)^{0.2}}{g_C^3 \rho_L (\mu_L)^{0.2}} \quad \text{กับ} \quad \frac{L}{G} \quad \frac{\rho_c}{\rho_L}$$

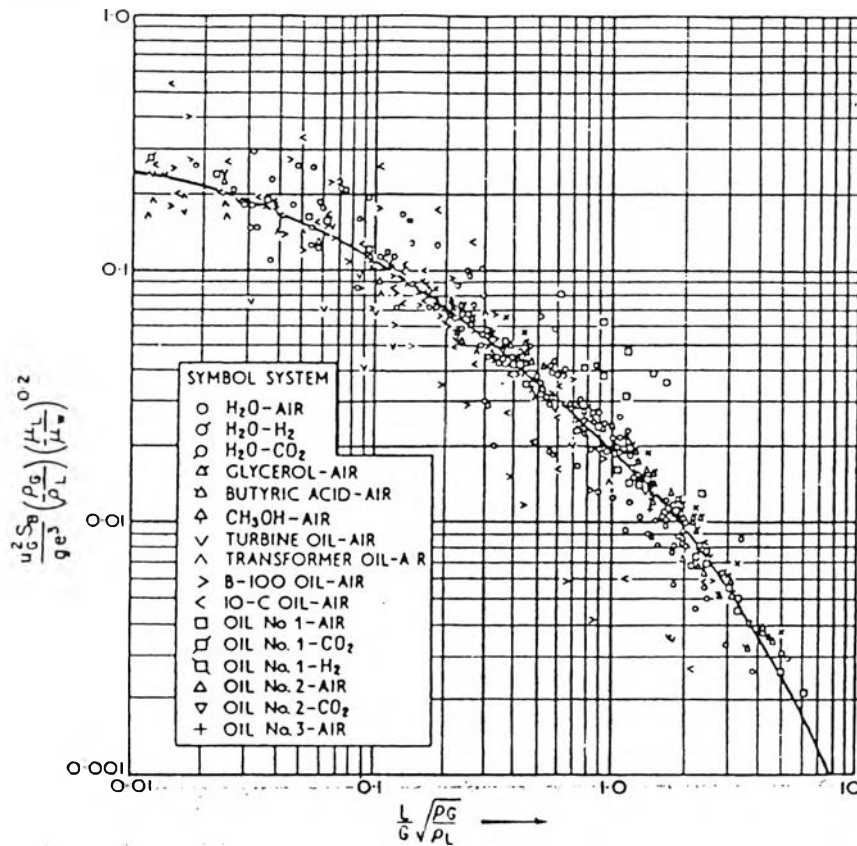
- โดยที่ U_G คือ ความเร็วของแก๊สคำนวณโดยใช้พื้นที่หน้าตัดของเบด (หรือหอ)
- S_B คือ พื้นที่ผิวของแพคกิ้งต่อหน่วยปริมาตรของเบด
- g_C คือ ความเร่งเนื่องจากความถ่วง
- L คือ อัตราเชิงมวลของการไหลของของเหลว

G คือ อัตราเชิงมวลของการไหลของแก๊ส

μ_L คือ ความหนืดของน้ำที่ 293 K (ประมาณ 1 mNs/m^2)

ตัวแปรที่ห้อยท้าย G แทนแก๊ส และ L แทนของเหลว

พื้นที่ภายในเส้นโค้งแทนภาวะของการเดินหอที่เป็นไปได้ ในสมการข้างบนมีเทอมอัตราส่วนของ ρ_G/ρ_L และ ρ_L/ρ_w อยู่ด้วย ซึ่งจะสามารถใช้ได้ ในของเหลวและแก๊สหลายชนิด



ภาพที่ 3-12 สหสัมพันธ์สำหรับอัตราการท่วมในหอแพค (85)

3.11 การกระจายของของเหลวในหอแพค

สำหรับแพคกึ่งชนิดหนึ่ง ๆ จะมีค่าอัตราการไหลของเหลวต่ำสุด สำหรับการใช้อย่างได้ผลของพื้นที่ผิวของแพคกึ่ง การยังผล (effectiveness) ของการเปียกของพื้นที่ใช้งาน วัตถุประสงค์ โดยค่าอัตราการเปียก (wetting rate) (L_w) โดยกำหนดให้

$$L_w = \frac{\text{อัตราการไหลเชิงปริมาตรของของเหลวต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดของหอ}}{\text{พื้นที่ผิวของแพคกึ่งต่อหน่วยปริมาตรของหอ}}$$

$$L_w = \frac{L}{A\rho_L S_B} = U \quad \dots\dots\dots(24)$$

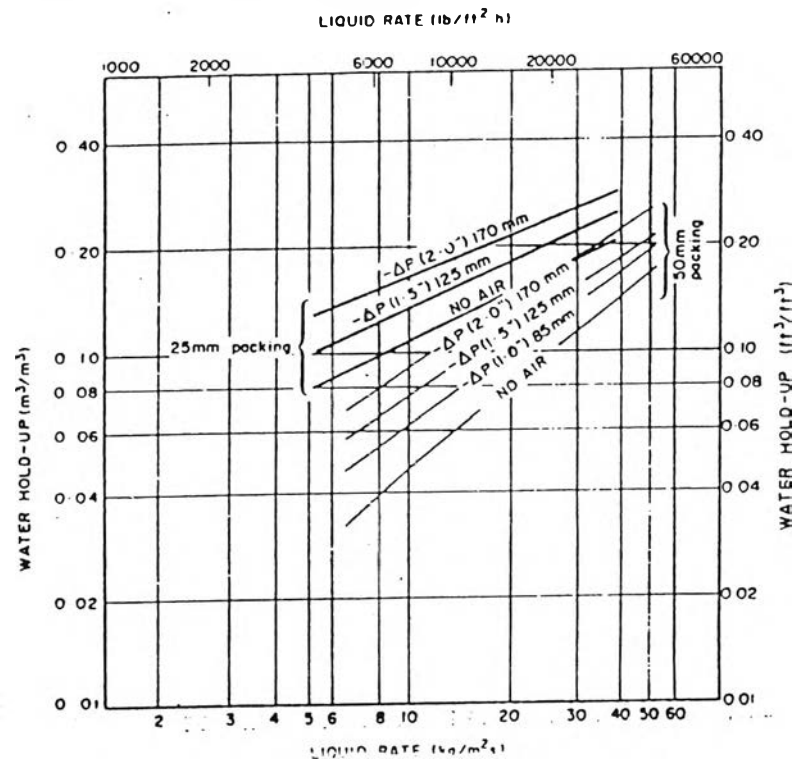
จะเห็นได้ว่า อัตราการเป็ยกก็เหมือนกับอัตราการไหลเชิงปริมาตรของของเหลว ต่อหน่วยความยาวของเส้นรอบวงในหอที่มีผนังเป็ยก โดยที่ของเหลวจะไหลลงบนผิวของ ทรงกระบอก ถ้าอัตราการไหลของของเหลวต่ำเกินไป ชันบาง ๆ ที่ต่อเนื่องของของเหลวจะ ไม่เกิดขึ้นรอบเส้นรอบวงของทรงกระบอก และพื้นที่ผิวบางพื้นที่จะ ไม่มีผลต่อการถ่ายเทมวล

8.12 โฮลด์ อัฟ (Hold - up)⁽⁴⁾

ค่าปริมาตรของเฟสของเหลวในหอมีความจำเป็นต้องทราบ โดยเฉพาะ ถ้าของเหลวที่ เกี่ยวข้องมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นด้วย หรือใช้ในการออกแบบระบบควบคุมหอ สำหรับระบบ แก๊ส ของเหลว ค่าโฮลด์ อัฟ ของของเหลว (H_w) สำหรับภาวะต่ำกว่าจุดไหลจะแปรผันเป็น กำลังที่ 0.6 ของอัตราไหลของของเหลว และสำหรับแบบบราสซิกริง หรือสาดเคอร์ ค่า H_w จะ ประมาณได้จากสมการ

$$H_w = 0.143 (L'/d)^{0.6} \quad \dots\dots\dots (25)$$

โดยที่ L' คือ อัตราการไหลของของเหลว (กก./ม.²วินาที)
 d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางเสมือน (equivalent diameter) (เส้นผ่าศูนย์กลาง ทรงกลมที่มีพื้นที่ผิวเท่ากับพื้นที่ผิวแพคกิ้งนั้น ๆ)
 H_w คือ โฮลด์ อัฟ (ม.³ ของเหลว/ ม.³ ของหอ)

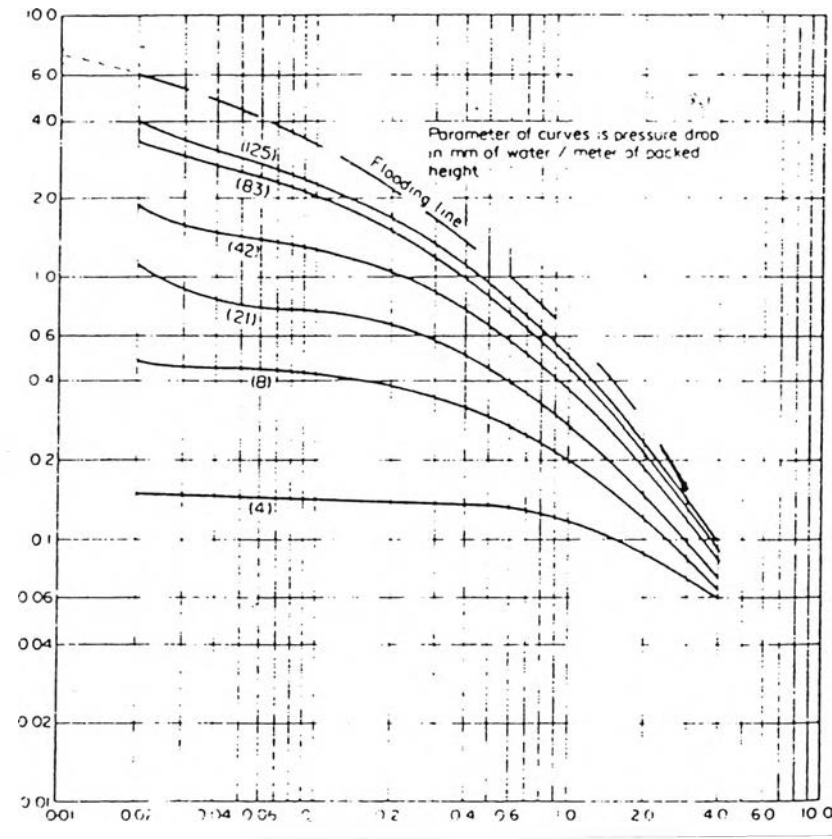


ภาพที่ 3-13 โฮลด์ อัพ ของของเหลว ที่หอแพคใช้แพคกิ้งแบบซูเปอร์อินทาลอด สาดเดอส์ ที่ทำด้วยเซรามิก⁽³⁵⁾

3.13 การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดขวางหอแพค⁽³⁵⁾

พื้นที่หน้าตัดของหอขึ้นอยู่กับขีดจำกัดในการไหลของของไหลในแต่ละเฟส สถานะที่เป็นขีดจำกัด เช่น การท่วมของของเหลวในหอแพค

ในหอซึ่งประกอบด้วยวัสดุที่เป็นแพคกิ้งและมีการไหลของของเหลวค่าหนึ่ง ซึ่งพบว่า ความเร็วของแก๊ส จะมีอยู่ค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า ความเร็วที่ทำให้เกิดการท่วมขึ้นภายในหอ (Flooding Velocity)



ภาพที่ 3-14 สหสัมพันธ์สำหรับการท่วม และความดันลดของหอแพค

ภาพที่ 3-15 แสดงสหสัมพันธ์สำหรับการท่วม และความดันลด โดยแสดงอยู่ในภาพที่ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลของของเหลว ไอ สมบัติทางกายภาพของระบบและลักษณะของแพคกิ้ง กับอัตราไหลเชิงมวลของแก๊สต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด โดยมีความดันลดเป็นตัวพารามิเตอร์ ค่า K_4 ในภาพที่ 3-14 เป็นฟังก์ชัน ดังนี้

$$K_4 = \frac{42.9 G_v^2 F_p \rho_p (\mu / \rho_L)^{0.1}}{\rho_v (\rho_L - \rho_v)} \dots \dots \dots (26)$$

- โดยที่
- G_v = อัตราไหลเชิงมวลของแก๊สต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด (กิโลกรัม/ตร.เมตรวินาที)
 - G_w = อัตราไหลเชิงมวลของของเหลวต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด (กิโลกรัม/ตร.เมตรวินาที)
 - F_p = แฟกเตอร์ของแพคกิ้ง เป็นคุณลักษณะของขนาดและชนิดของแพคกิ้ง (ดูค่าจากตารางที่ 3.1)

μ_L = ความหนืดของของเหลว (นิวตัน - วินาที/ตร.เมตร)

ρ_L, ρ_v = ความหนาแน่นของของเหลวและไอ ตามลำดับ (กิโลกรัม/ลบ.เมตร)

เมื่อทราบค่า $\frac{G_L}{G}$ $\frac{\rho_v}{\rho_L}$ ค่าใดค่าหนึ่ง จะสามารถหาค่าอัตราไหลเชิงมวลของแก๊สต่อหน่วยพื้นที่

หน้าตัด (G_v) ขณะที่มีการท่วมเกิดขึ้นได้ทันที โดยลากเส้นตรงในแนวดิ่งไปตัดกับเส้นการท่วม แล้วอ่านค่า K_d จากแกนตั้งอาศัยสมการ (26) กำหนดหาค่า G_v ขณะที่มีการท่วมได้ และโดยทั่วไปในการออกแบบ จะออกแบบให้ป้อนของเหลวที่ 70% ของจุดท่วม⁽³⁵⁾ ดังนั้น จะสามารถคำนวณหาค่า G_v ขณะที่หอทำงานจริง ๆ ได้ และถ้าทราบค่าอัตราไหลของแก๊ส (V) จะสามารถคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของหอได้ทันที เพราะพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ V/G_v ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของหอหาได้จากพื้นที่หน้าตัดของหอ

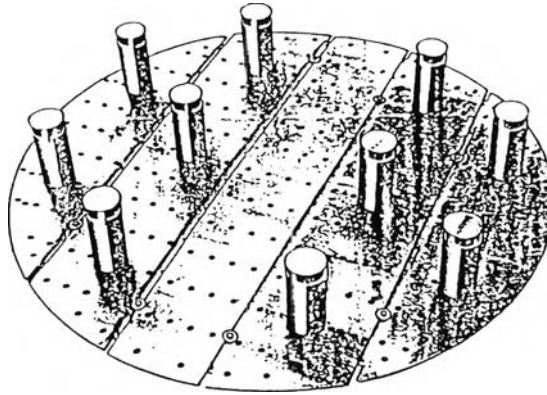
3.14 ตัวกระจายของเหลว (Liquid Distributer)⁽¹⁾

ทำหน้าที่กระจายของเหลวให้กระจายอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอบนแพคกิ้ง ซึ่งจะช่วยให้หอแพคสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง พบว่ามีอยู่หลายแบบ กรณีที่เป็นหอเล็ก ก็จะมีเพียงรูเปิดตรงกลางบนยอดหอเท่านั้น สำหรับกรณีหอแบบใหญ่นั้น การออกแบบตัวกระจายค่อนข้างยุ่งยาก เพื่อให้ได้บรรลุวัตถุประสงค์ตามต้องการ โดยที่แก๊สจะสามารถไหลขึ้นอย่างสะดวก หรือการใช้ความดันดันส่ง (pressure drop) น้อยที่สุด ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะการไหลลง การเกิดความดันคร่อม แนวทางการพิจารณาเลือกจะพิจารณาจาก 1. อัตราไหลของของเหลว 2. แนวโน้มของการเกิดการอุดตัน หรือปริมาณสิ่งสกปรกเจือปนในเฟสของเหลว 3. ลักษณะการป้อนของเหลว ตัวอย่างเช่น แบบออริฟิซ ซึ่งให้ของเหลวไหลผ่านรูเล็ก ๆ คล้าย ๆ ตะแกรง ส่วนแก๊สหรืออากาศให้ไหลผ่านช่องปล่อง (port) (ดูภาพประกอบที่ 3-15) และแบบรูเล็ก ๆ ตามท่อเป็นการปล่อยไหลด้วยแรงโน้มถ่วงโดยส่วนมาก (ภาพที่ 3-16) เป็นต้น

3.15 ตัวกระจายของเหลวอีกครั้ง⁽³⁵⁾

ของเหลว หรือแก๊สจะมีปริมาณไม่น้อยที่ไหลออกทางด้านข้างหอ ที่มีช่องว่าง (void space) มากกว่าในบริเวณที่เป็นแพคกิ้ง เพราะจะไหลได้สะดวกกว่า จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์

ช่วยกระจายของเหลว และแก๊สที่บริเวณดังกล่าวเข้าไปในแพคกิ้งอีกครั้ง (Liquid Redistributor) มักจะใช้สำหรับหอที่มีขนาดเล็กกว่า 0.6 ม. ดังแสดงในภาพที่ 3-17 เป็นต้น



ภาพที่ 3-15 ตัวกระจายของเหลวแบบออริฟิต

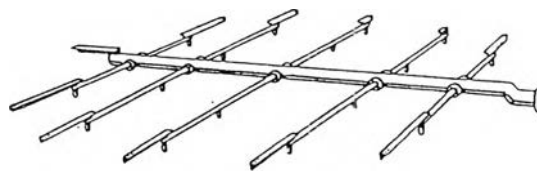


FIG. 8. Spray nozzle-type liquid distributor.

ภาพที่ 3-16 ตัวกระจายของเหลวแบบนอสเชิล

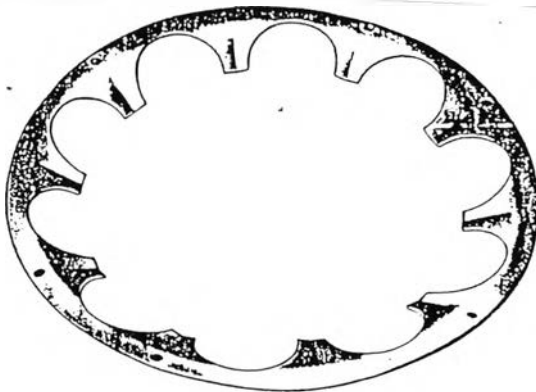
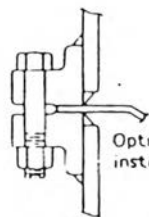


FIG. 11 Waf wiper liquid distributor

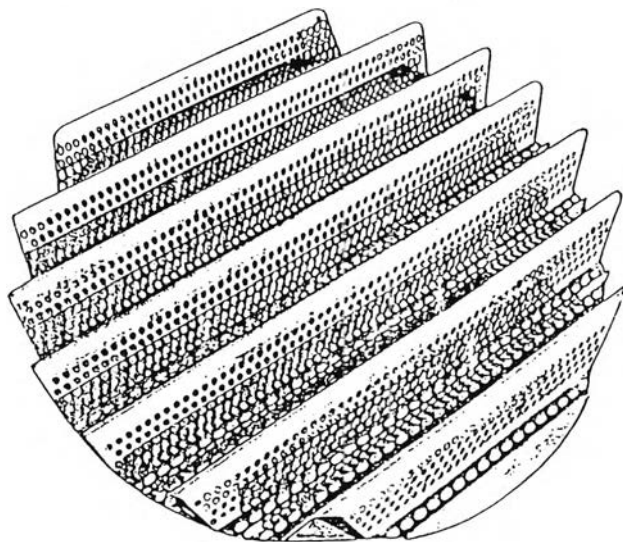


Optional installation
installed between lower flanges

ภาพที่ 3-17 ตัวกระจายของเหลวอีกครั้ง

3.16 ตัวรองรับแพคกิ้ง (Packing Support)

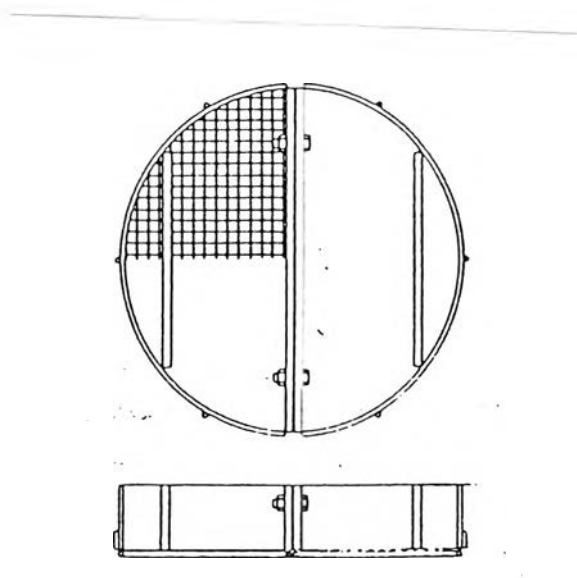
มีหน้าที่รองรับน้ำหนักของแพคกิ้งในทุกสภาวะทั้งแห้งและเปียก และทั้งขณะทำงานอยู่ โดยที่ตัวรองรับแพคกิ้งที่ดีจะต้องมีค่าความดันลดตกคร่อมน้อยที่สุด และการออกแบบที่ดีจะมีการแยกช่องทางไหลของแก๊สออกจากช่องเหลวเพื่อลดความดันลด และป้องกันการเกิดการท่วมของของเหลวดังแสดงในภาพที่ 3-18 เป็นต้น



ภาพที่ 3-18 ตัวรองรับแพคกิ้งแบบเวเปอร์อินเจคชั่น

3.17 แผ่นโฮลด์ ดาวน์ (Hold-down Plate)⁽⁵⁵⁾

มีหน้าที่เพื่อป้องกันสภาพการเกิดสภาพหลอติดไคเบคของแพคกิ้ง โดยที่ไม่ทำให้เกิดความดันลมมาก เพื่อป้องกันความเสียหายต่อแพคกิ้งอันเกิดจากการที่มีการไหลของอากาศที่อัตราป้อนสูง ๆ แล้วจะไปอุดช่องทางเดินทางของไหล ดังแสดงในภาพที่ 3-19



ภาพที่ 3-19 แผ่นโฮลด์ ดาวน์ วางอยู่บนแพคกิ้งเบด