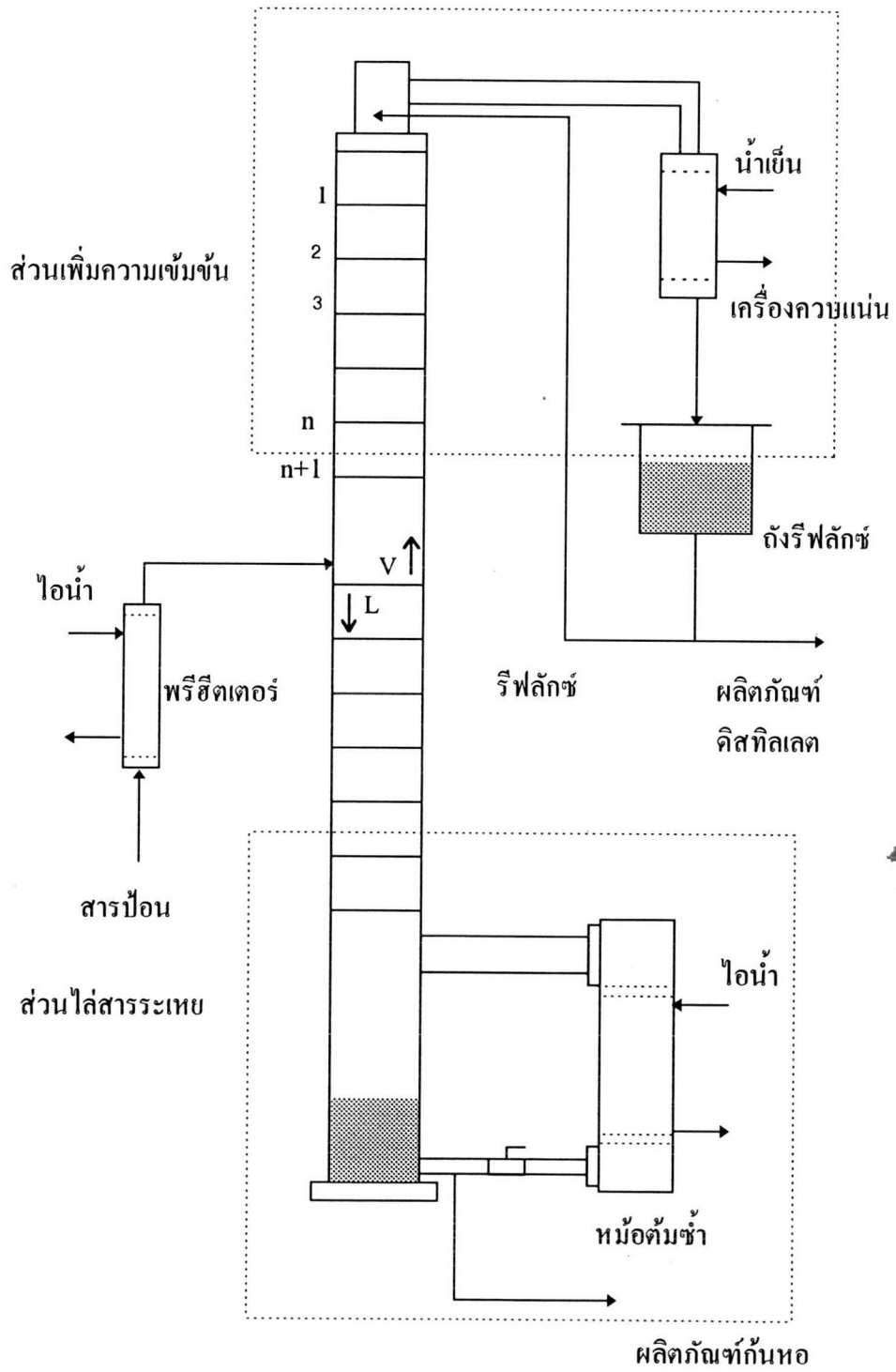


บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้นของการกลั่น

2.1 บทนำ

การกลั่นเป็นกระบวนการแยกสารที่ต้องการออกจากสารละลาย โดยอาศัยความแตกต่างของความดันไอของของเหลวแต่ละชนิด ภายในหอกลั่นประกอบด้วยเทรย์ (Tray) และท่อคาวน์คัมเมอร์ (Downcomer Tube) โดยของเหลวไหลลงจากเทรย์ป้อนมายังเทรย์ล่างผ่านทางท่อคาวน์คัมเมอร์ ซึ่งมีไอร้อนไหลสวนทางขึ้นมาผ่านรูพรุนบนชั้นเทรย์ ไอและของเหลวถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลสารกันบนเทรย์ ของเหลวที่มีความดันไอบนชั้นสูงจะระเหยเป็นไอได้ง่ายกว่าของเหลวที่มีความดันไอน้อย ดังนั้น เมื่อสารละลายได้รับความร้อนสารระเหยง่ายซึ่งมีความดันไอบนชั้นสูงจะระเหยออกมา ส่วนสารหนักในไอจะควบแน่นลงมาในของเหลวบนเทรย์ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ของเหลวที่ไหลลงมาด้านล่างของหอกลั่นถูกส่งเข้าหม้อต้มซ้ำ (Reboiler) (ดังแสดงในรูปที่ 2.1) ภายในหม้อต้มซ้ำของเหลวได้รับความร้อนทำให้บางส่วนกลายเป็นไอกลับเข้าไปในหอกลั่น ส่วนของเหลวที่เหลือจะถูกนำออกจากหอกลั่นเป็นผลิตภัณฑ์ก้นหอ (Bottom Product) ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นสารหนักที่ระเหยยาก ตำแหน่งจากเทรย์ป้อนถึงหม้อต้มซ้ำเป็นส่วนที่สารระเหยง่ายส่วนใหญ่ถูกไล่ออกจากของเหลว ดังนั้น ของเหลวจะมีสารหนักมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามเทรย์ที่ไหลลงมาและมากที่สุดที่หม้อต้มซ้ำ ส่วนนี้เรียกว่า



รูปที่ 2.1 แบบจำลองของหอกลั่น

ส่วนไล่สารระเหย (Stripping Section) ส่วนจากเหนือเทรย์ป้อนขึ้นไปนั้น สารหนักส่วนใหญ่ ถูกควบแน่นออกจากไอทำให้ไอบริสุทธิ์มากขึ้นเรื่อย ๆ เรียกส่วนนี้ว่า ส่วนเพิ่มความเข้มข้น (Enriching Section) ไอทั้งหมดถูกควบแน่นเป็นของเหลวควบแน่นภายในเครื่องควบแน่น (Condenser) ที่ยอดหอ ของเหลวควบแน่นบางส่วนนำกลับเข้าหอกลั่น เรียกว่า รีฟลักซ์ (Reflux) ของเหลวที่เหลือถูกนำออกจากหอกลั่นเป็นผลิตภัณฑ์คิสทิลเลต (Distillate Product)

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นและแบบจำลองเชิงพลวัตของการกลั่น รวมทั้งตัวแปรปรับเปลี่ยนที่สำคัญที่มีผลต่อพฤติกรรมเชิงพลวัตของการกลั่น โดยสังเขปดังนี้

2.2 ความรู้เบื้องต้น

รายละเอียดของสมการสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานในหอกลั่นเป็นสิ่งที่ยุ่งยากอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้ลำบาก ดังนั้น จึงมีการตั้งข้อตกลงเพื่อสมมุติพฤติกรรมบางอย่างของกระบวนการกลั่นขึ้นเพื่อที่จะทำให้ได้รูปแบบสมการที่ง่ายขึ้น นั่นคือ สมมุติว่า แต่ละเทรย์ในหอกลั่นอยู่ในภาวะสมดุลทางอุณหพลศาสตร์ ของเหลวและไอที่อยู่บนเทรย์สมดุลซึ่งกันและกัน ในการกลั่นแยกถ้าเป็นในระบบสององค์ประกอบจะพิจารณาถึงความแตกต่างของจุดเดือดของแต่ละองค์ประกอบ ในรูปที่ 2.2 เป็นแผนภูมิแสดงจุดเดือดสำหรับสารผสมสององค์ประกอบ A และ B ในสภาวะสมดุลไอและของเหลวที่ความดันคงที่ เมื่อสัดส่วนขององค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำ (องค์ประกอบ A) เพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิที่สมดุลลดลง เส้นโค้งบนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลในเฟสไอกับอุณหภูมิ เรียกว่า เส้นโค้งจุดกลั่นตัว

(Dewpoint Curve) เส้นโค้งล่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลในเฟสของเหลวกับอุณหภูมิ เรียกว่า เส้นโค้งจุดเดือด (Bubble Point Curve) ที่สถานะสมดุลระหว่างเฟสของเหลวและไอที่ความดันคงที่สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นในเฟสไอและความเข้มข้นในเฟสของเหลวได้ในรูปของค่าการระเหยสัมพัทธ์ (Relative Volatility, α_{AB}) ดังนี้

$$\begin{aligned}\alpha_{AB} &= \frac{\frac{y_A}{x_A}}{\frac{y_B}{x_B}} \\ &= \frac{\frac{y_A}{x_A}}{\frac{1-y_A}{1-x_A}} \\ &= \frac{y_A(1-x_A)}{x_A(1-y_A)}\end{aligned}\quad (2.1)$$

เมื่อ y_A คือ สัดส่วนโมลขององค์ประกอบ A ในไอ

y_B คือ สัดส่วนโมลขององค์ประกอบ B ในไอ

x_A คือ สัดส่วนโมลขององค์ประกอบ A ในของเหลว

x_B คือ สัดส่วนโมลขององค์ประกอบ B ในของเหลว

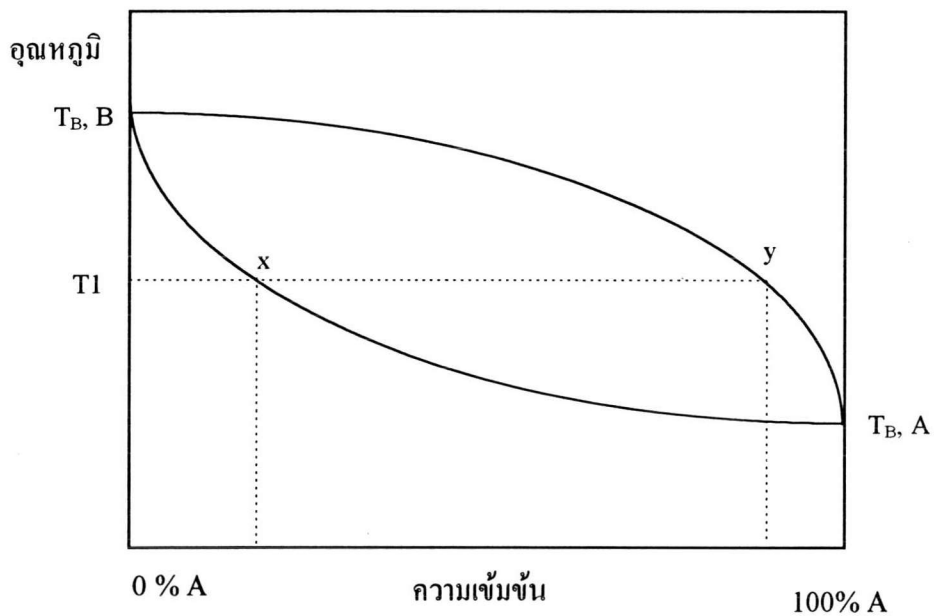
ค่าการระเหยสัมพัทธ์ในหอกล่างจะไม่เท่ากันตลอดทั้งหอกล่าง แต่เพื่อความง่ายจะสมมติให้ค่าการระเหยสัมพัทธ์ของกรกล่างมีค่าคงที่เท่ากับค่าเฉลี่ยของค่าการระเหยสัมพัทธ์ที่ฐานหอกกับค่าการระเหยสัมพัทธ์ที่ยอดหอ

$$\bar{\alpha}_{AB} = \frac{\alpha_{AB}^{(1)} + \alpha_{AB}^{(N)}}{2} \quad (2.2)$$

จะได้

$$y_A = \frac{\bar{\alpha}_{AB} x_A}{1 + (\bar{\alpha}_{AB} - 1)x_A} \quad (2.3)$$

ค่าการระเหยสัมพัทธ์ของการกลั่นนี้เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการแยกสาร ซึ่งโดยทั่วไปถ้าค่าการระเหยสัมพัทธ์ของสารคู่หนึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.1 บ่งบอกได้ว่า สารคู่นั้นสามารถแยกด้วยกระบวนการกลั่นได้ยาก และถ้าค่าการระเหยสัมพัทธ์มีค่ามากกว่า 2.0 บ่งบอกได้ว่า สารคู่นั้นสามารถแยกด้วยกระบวนการกลั่นได้ง่าย



รูปที่ 2.2 แผนภูมิจุดเดือดสำหรับสารสององค์ประกอบ

2.3 แบบจำลองเชิงพลวัตของการกลั่น (Dynamic Model Of Distillation)

แบบจำลองเชิงพลวัตของการควบคุมหอกลั่น โดยสารป้อนเป็นสารหลายองค์ประกอบ ที่ถูกป้อนเข้าหอกลั่นเพื่อแยกออกมาเป็นผลิตภัณฑ์สองชนิด สมมุติว่า ความดันภายในหอกลั่น

คงที่ และไม่มีพลวัตของหม้อต้มซ้ำและเครื่องควบแน่น รวมทั้งไม่มีผลของโฮลด์อัฟของไอ (Vapor Holdup) บนเทรย์ แบบจำลองเชิงพลวัตของการกลั่นสามารถแสดงได้ ดังนี้ (Deshpande and Arnold, 1985)

2.3.1 เครื่องควบแน่นและถังเก็บรีฟลักซ์ (Condenser and Reflux Drum)

เครื่องควบแน่นถือว่ามีพลวัตน้อยมากเมื่อเทียบกับพลวัตของหอกกลั่น ไอที่เข้าเครื่องควบแน่นถือว่าเป็นไออิ่มตัวที่อุณหภูมิจุดเดือด และของเหลวอิ่มตัวออกจากเครื่องควบแน่นที่อุณหภูมิเดียวกัน ดังนั้นพลังงานความร้อนที่ถูกลงจากกระบวนการควบแน่นเท่ากับพลังงานแฝงของการกลายเป็นไอของสาร สมมุติว่า ในถังเก็บรีฟลักซ์ไม่มีไอออกมาจากถัง และไม่มีความร้อนที่เข้าและออกจากถังรองรับรีฟลักซ์ คูรอบตำแหน่งที่ 1 ในรูปที่ 2.3 ได้ สมการสมดุลมวลสาร ได้แก่

$$\frac{dM_D}{dt} = V_{N_T} - L_{N_{T+1}} - D \quad (2.4)$$

สมดุลองค์ประกอบของสาร A รอบวงตำแหน่งที่ 1 ได้แก่

$$\frac{dM_D x_{D,A}}{dt} = V_{N_T} y_{N_T,A} - L_{N_{T+1}} x_{N_{T+1},A} - D x_{D,A} \quad (2.5)$$

โดยที่ M_D คือ โมลของเหลวในถังเก็บรีฟลักซ์

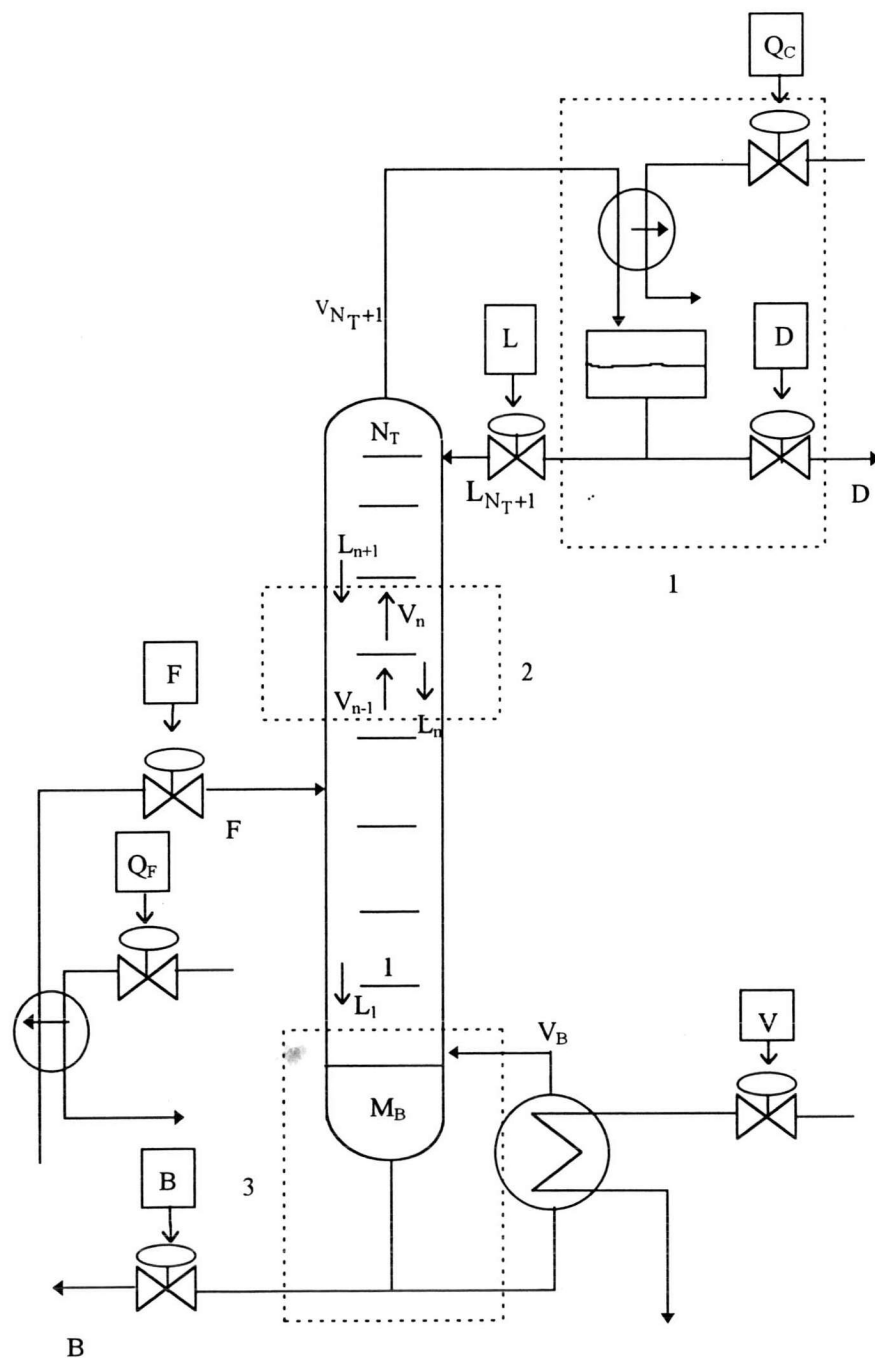
V_{N_T} คือ อัตราการไหลของไอโดยโมลที่ออกจากชั้นบนสุดของหอกกลั่น

$L_{N_{T+1}}$ คือ อัตราการไหลของรีฟลักซ์โดยโมล

$x_{D,A}$ คือ สัดส่วนโมลของ A ในผลิตภัณฑ์คัสทิลเลต

$y_{N_T,A}$ คือ สัดส่วนโมลของ A ในไอที่ออกจากชั้นบนสุดของหอกกลั่น

$x_{N_T+1,A}$ คือ สัดส่วนโมลของ A ในรีฟลักซ์



รูปที่ 2.3 ระบบการควบคุมหอกลิ้นเพื่อแสดงแบบจำลองเชิงพลวัต

2.3.2 เทรย์ (Tray)

สมการดุลมวลสารที่ตำแหน่งชั้น n ที่อยู่เหนือเทรย์ป้อน แสดงในรูปที่ 2.3 ตำแหน่งที่ 2 ได้แก่

$$\frac{dM_n}{dt} = L_{n+1} - L_n + V_{n-1} - V_n \quad (2.6)$$

สมการดุลมวลสารขององค์ประกอบที่ระเหยง่าย A ที่ตำแหน่งชั้นที่ n ได้แก่

$$\frac{d(M_n x_{n,A})}{dt} = L_{n+1} x_{n+1,A} - L_n x_{n,A} + V_{n-1} y_{n-1,A} - V_n y_{n,A} \quad (2.7)$$

จากสมการที่ (2.2) จะได้

$$y_{n,A} = \frac{\bar{\alpha} x_{n,A}}{1 + (\bar{\alpha} - 1) x_{n,A}} \quad (2.8)$$

โดยที่ M_n คือ โมลของเหลวบนเทรย์ที่ n

V_n คือ อัตราการไหลของไอโดยโมลที่ออกจากเทรย์ที่ n

L_n คือ อัตราการไหลของของเหลวโดยโมลที่ไหลออกจากเทรย์ที่ n

x_n คือ สัดส่วนโมลของ A ในเฟสของเหลวที่ไหลออกจากเทรย์ที่ n

y_n คือ สัดส่วนโมลของ A ในไอที่ออกจากเทรย์ที่ n

สมการดุลพลังงานบนเทรย์ที่ n ได้แก่

$$\frac{dh_n M_n}{dt} = L_{n+1} h_{n+1} + V_{n-1} H_{n-1} - L_n h_n - V_n H_n = 0 \quad (2.9)$$

$$H_n = H(T_n, P, y_{n,A}, y_{n,B}) \quad (2.10)$$

$$h_n = h(T_n, P, x_{n,A}, x_{n,B}) \quad (2.11)$$

$$\rho_n = \rho(T_n, P, x_{n,A}, x_{n,B}) \quad (2.12)$$

เมื่อ h_n เท่ากับ เอนทาลปีโดยโมลของของเหลวที่เทรย์ที่ n

H_n เท่ากับ เอนทาลปีโดยโมลของไอที่ออกจากเทรย์ที่ n

ρ เท่ากับ ความหนาแน่นโดยโมลของของเหลว

2.3.3 เทรย์ป้อน (Feed Tray)

จากสมการที่ (2.6) (2.7) และ (2.9) สามารถหาสมการที่เทรย์ป้อนได้ โดยการแทนเทรย์ที่ n ด้วยเทรย์ป้อน N_F โดยกำหนดให้ F เป็นมวลของสารที่เข้าหอกลับ จะได้ สมการดุลมวลสารรวม ได้แก่

$$\frac{dM_{N_F}}{dt} = L_{N_F+1} - L_{N_F} + V_{N_F-1} - V_{N_F} + F \quad (2.13)$$

สมการดุลมวลสารขององค์ประกอบที่ระเหยง่าย A ได้แก่

$$\frac{d(M_{N_F} x_{N_F,A})}{dt} = L_{N_F+1} x_{N_F+1,A} - L_{N_F} x_{N_F,A} + V_{N_F-1} y_{N_F-1,A} - V_{N_F} y_{N_F,A} + F x_{F,A} \quad (2.14)$$

สมการดุลพลังงานบนเทรย์ ได้แก่

$$\frac{dh_{N_F} M_{N_F}}{dt} = L_{N_F+1} h_{N_F+1} + V_{N_F-1} H_{N_F-1} - L_{N_F} h_{N_F} - V_{N_F} H_{N_F} + F h_F \quad (2.15)$$

2.3.4 ฐานหอ (Column Base)

สมดุลมวลสารรอบตำแหน่งที่ 3 ในรูปที่ 2.3 ได้สมการ ได้แก่

$$\frac{dM_B}{dt} = L_1 - V_B - B \quad (2.16)$$

สมดุลองค์ประกอบของสาร A รอบตำแหน่งที่ 3 ได้แก่

$$\frac{dM_B x_{B,A}}{dt} = L_1 x_{1,A} - V_B y_{B,A} - B x_{B,A} \quad (2.17)$$

สมดุลพลังงาน ได้แก่

$$\frac{dh_B M_B}{dt} = h_1 L_1 - H_B V_B - h_B B + Q_R \quad (2.18)$$

เมื่อ M_B เท่ากับ โมลของของเหลวที่ฐานหอ

L_1 เท่ากับ อัตราการไหลของของเหลวจากเทรย์ 1 โดยโมล

V_B เท่ากับ อัตราการไหลของไอโดยโมลที่ฐานหอ

B เท่ากับ อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ก้นหอโดยโมล

Q_B เท่ากับ อัตราการให้ความร้อนแก่หม้อต้มซ้ำ

2.3.5 ไฮดรอลิกส์ของเทรย์ (Tray Hydrolics)

สมการที่เหมาะสมที่จะใช้แสดงไฮดรอลิกส์ของเทรย์นั้น ต้องเป็นสมการที่สามารถแสดงความสัมพันธ์ของระดับของเหลวบนเทรย์ที่ n กับของเหลวที่ไหลออกจากเทรย์ที่ n ได้ ซึ่งถ้าใช้ Francis Weir Formula จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$L_n = 3.331 h_n^{1.5} \quad (2.19)$$

เมื่อ l คือ ความยาวฝาย (Weir) ในหน่วย ฟุต

h_n คือ ความสูงของของเหลวที่ท่วมฝาย ในหน่วย ฟุต

L_n คือ ปริมาตรของเหลวที่ไหลออกจากเทรย์ที่ n ในหน่วย ลบ.ฟุต/วินาที

2.3.6 สมดุลระหว่างเฟส (Phase Equilibrium)

สำหรับสารอุดมคติ กฎของราอูลท์ (Raoult) กล่าวว่า

$$P_{n,A} = P_{n,A}^* x_{n,A} \quad (2.20)$$

จากกฎของดาลตัน (Dalton) สำหรับก๊าซอุดมคติ กล่าวว่า

$$P_{n,A} = P_T y_{n,A} \quad (2.21)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลในชั้นไอกับสัดส่วนโมลในชั้นของเหลวที่อยู่ในสถานะสมดุล ได้แก่

$$y_{n,A} = \frac{P_{n,A}}{P_T} x_{n,A} \quad (2.22)$$

$$y_{n,A} = K_{n,A} x_{n,A} \quad (2.23)$$

โดยสมมุติว่า $K_{n,A} = f(T)$ เพียงอย่างเดียว โดยมีความสัมพันธ์ของสมดุลระหว่างเทรย์ ดังนี้

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} = \frac{p_i/P_T}{p_i/P_i} = \frac{P_i}{P_T} \quad (2.24)$$

เมื่อ $p_{n,A}$ คือ ความดันย่อยในชั้นไอขององค์ประกอบ A ที่เทรย์ n

$P_{n,A}$ คือ ความดันไอของของเหลวบริสุทธิ์ A ที่เทรย์ n

P_T คือ ความดันรวม

$K_{n,A}$ คือ อัตราส่วนสมดุลขององค์ประกอบ A ที่เทรย์ n

ถ้าเทรย์เป็นแบบไม่อุดมคติ สมการที่เหมาะสมในการคำนวณความเข้มข้นต้องคำนึงถึงประ

สิทธิภาพของเทรย์ (η) ซึ่งถ้าใช้ Murphree Vapor-Phase Efficiency สมการนั้นได้แก่

$$y_{n,A}^{AC} = y_{n-1,A}^{AC} + \eta(y_{n,A} - y_{n-1,A}^{AC}) \quad (2.25)$$

เมื่อ $y_{n,A}^{AC}$ คือ สัดส่วนโมลที่แท้จริงขององค์ประกอบ A ที่เทรย์ n ส่วนประกอบที่สถานะสมดุล

ในภาวะอุดมคติสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.23) และใช้สมการที่ (2.25) คำนวณหาความ

เข้มข้นที่แท้จริงขององค์ประกอบที่ต้องการในไอที่ออกจากเทรย์ที่ n หม้อต้มจะถูกรักษา

เป็นเทรย์อุดมคติเพื่อใช้หาความเข้มข้นขององค์ประกอบในไอที่ออกจากหม้อต้ม ซึ่งใช้เป็น

จุดเริ่มของสมการที่ (2.25) ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาส่วนประกอบที่เทรย์ต่าง ๆ ได้

2.4 พฤติกรรมเชิงพลวัตของหอกลั่น (The Dynamic Behavior Of A Distillation Column)

ตัวแปรปรับเปลี่ยนที่ส่งผลต่อพฤติกรรมเชิงพลวัตของหอกลั่นที่สำคัญโดยทั่วไปมีอยู่ 7 ตัวแปร ได้แก่ 1. กำลังความร้อนที่ให้แก่ม้อต้มซ้ำ (V) 2. กำลังความร้อนที่ดึงออกจากหอกลั่น (Q_C) 3. อัตราการไหลออกของผลิตภัณฑ์ก้นหอ (B) 4. อัตราการไหลออกของผลิตภัณฑ์คิสทิลเลต (D) 5. อัตราการไหลของรีฟลักซ์ (L) 6. กำลังที่ให้แก่วงแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อปรับเอทาลปีของสารป้อน (Q_F) 7. อัตราการไหลของสารป้อน (F) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เราสามารถอธิบายพฤติกรรมสำคัญที่เกิดขึ้นจากตัวแปรปรับเปลี่ยนเหล่านี้ได้พอสังเขป (Balchen and Mumme, 1988) ดังนี้

2.4.1 พลังงานความร้อนที่ให้แก่ม้อต้มซ้ำ

พลังงานความร้อนที่ให้แก่ม้อต้มซ้ำมีผลโดยตรงต่อการเกิดของไอ และให้ผลตรงข้ามกับระดับของเหลวที่ฐานหอ นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลต่อความดันและอุณหภูมิในหอกลั่น รวมทั้งความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ การเพิ่มความร้อนให้แก่ม้อต้มซ้ำจะทำให้ของเหลวกลายเป็นไอน้ำได้มากขึ้นซึ่งเป็นผลให้ระดับของเหลวที่ฐานหอลดลง ไอที่เพิ่มมากขึ้นนี้จะทำให้ความดันภายในหอกลั่นสูงขึ้น รวมทั้งสารเบาจะระเหยกลายเป็นไอน้ำได้มากขึ้นซึ่งทำให้ความเข้มข้นของสารหนักในเฟสของเหลวเพิ่มมากขึ้น ภายใต้สภาวะที่ปกติการเพิ่มพลังงานความร้อนให้แก่ม้อต้ม

เข้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการเกิดผลิตภัณฑ์ในการกลั่น นั่นคือ เมื่อสารป้อนมีปริมาณมากขึ้น พลังงานความร้อนที่ให้แก่มอเตอร์จะถูกใช้เพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น

2.4.2 พลังงานความร้อนที่ดึงออกจากหอกลั่น

พลังงานความร้อนที่ดึงออกจากหอกลั่นเป็นตัวแปรที่นิยมตัวหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมความดันเนื่องจากเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลสำคัญต่อความดันที่ยอดหอเป็นอันดับแรก การสูญเสียพลังงานในหอกลั่นนั้นต้องให้พลังงานที่ใส่เข้าหอกลั่นคู่กับพลังงานที่ดึงออก ดังนั้น ถ้าพลังงานความร้อนถูกเพิ่มเข้าแก่มอเตอร์ซึ่งทำให้ความดันในหอกลั่นสูงขึ้น เครื่องควบคุมจะต้องดึงพลังงานออกจากหอกลั่นมากขึ้นด้วยเพื่อรักษาความดันภายในหอกลั่นให้คงที่

2.4.3 อัตราการไหลออกของผลิตภัณฑ์กันหอ

อัตราการไหลออกของผลิตภัณฑ์กันหอเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้ในการรักษาสมดุลสารของระบบ โดยมวลของสารป้อนเท่ากับมวลของผลิตภัณฑ์คิสทิลเลตรวมกับมวลของผลิตภัณฑ์กันหอ อัตราการไหลออกของผลิตภัณฑ์กันหอมีผลกระทบเกี่ยวเนื่องโดยตรงกับระดับของเหลวที่ฐานหอกลั่น โดยที่ถ้าอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์กันหอมีค่ามากขึ้นจะทำให้ระดับของเหลวที่ฐานหอกลั่นลดลง ดังนั้นจึงนิยมใช้อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์กันหอเป็นตัวแปรปรับเปลี่ยนเพื่อการควบคุมระดับที่กันหอ

2.4.4 อัตราไหลออกของผลิตภัณฑ์คิสทิลเลต

อัตราการไหลออกของผลิตภัณฑ์คิสทิลเลตมีผลโดยตรงกับปริมาตรของผลิตภัณฑ์ยอดหอในถังเก็บรีฟลักซ์ซึ่งปริมาตรนี้จะส่งผลต่อการควบคุมอัตราไหลของรีฟลักซ์ ถ้าอัตราส่วน

ของรีฟลักซ์กับผลิตภัณฑ์คิสทิลเลตมีค่ามาก และโดยเฉพาะสำหรับหอกลับที่มีจำนวนเทรย์มาก รวมทั้งใช้ในการกลั่นองค์ประกอบที่มีค่าการระเหยสัมพัทธ์ต่ำแล้ว ระดับของของเหลวในถังเก็บรีฟลักซ์จะถูกควบคุมด้วยอัตราไหลของรีฟลักซ์ ถ้าอัตราส่วนของรีฟลักซ์กับผลิตภัณฑ์คิสทิลเลตมีค่าน้อยหรืออัตราการไหลของผลิตภัณฑ์คิสทิลเลตมีค่ามากกว่าอัตราการไหลของรีฟลักซ์แล้ว ระดับของของเหลวในถังเก็บรีฟลักซ์มักจะถูกควบคุมด้วยอัตราไหลของผลิตภัณฑ์คิสทิลเลต การไหลของผลิตภัณฑ์คิสทิลเลตของระบบสามารถหาได้จากคุณสมบัติของทั้งหอกลับ โดยมวลของผลิตภัณฑ์คิสทิลเลตเท่ากับผลต่างระหว่างมวลของสารป้อนกับมวลของผลิตภัณฑ์ก้นหอ ดังนั้นการควบคุมผลิตภัณฑ์คิสทิลเลตสามารถใช้การควบคุมแบบป้อนหน้า โดยใช้อัตราการไหลของสายสารป้อนหรืออัตราการไหลของรีฟลักซ์ร่วมกับการควบคุมแบบป้อนกลับได้

2.4.5 อัตราการไหลของรีฟลักซ์

อัตราการไหลของรีฟลักซ์เป็นตัวแปรที่มีบทบาทสำคัญในการตัดสินใจการปฏิบัติการของการกลั่นเพราะว่าอัตราส่วนของรีฟลักซ์สามารถใช้หาค่าความชันของเส้นปฏิบัติการในส่วนบนของหอกลับ การเพิ่มขึ้นของอัตราไหลของรีฟลักซ์เป็นผลให้ระดับของเหลวในถังรองรับรีฟลักซ์ลดลง และระดับของเหลวบนเทรย์บนสุดสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของอัตราไหลของรีฟลักซ์เป็นผลทำให้ของเหลวไหลลงหอกลับมากขึ้นพร้อม ๆ กับการลดลงของอุณหภูมิที่เทรย์ชั้นบนของหอกลับซึ่งจะทำให้ความดันลดลงด้วย เราสามารถใช้อัตราการไหลของรีฟลักซ์หรืออัตราส่วนของรีฟลักซ์กับผลิตภัณฑ์คิสทิลเลตในการควบคุมอุณหภูมิยอดหอกลับได้

2.4.6 พลังงานความร้อนที่ให้แก่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของสารป้อน

พลังงานความร้อนที่ให้แก่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นการปรับอุณหภูมิของสารป้อนเพื่อปรับค่าเอนทัลปีให้ได้ตามต้องการ ส่วนนี้มีความจำเป็นโดยเฉพาะเมื่อสายสารป้อนที่มาจากกระบวนการอื่น สารป้อนที่ถูกทำให้เย็นจนอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดจะทำให้ไอและของเหลวบนเทรย์เหนือเทรย์ป้อนน้อยกว่าไอและของเหลวบนเทรย์ล่างเทรย์ป้อนซึ่งอาจทำให้เกิดการท่วมในส่วนการไล่สารระเหยของหอกลั่นได้ สารป้อนที่มีอุณหภูมิสูงเกินไปจนมีเฉพาะไอยุ่จะเป็นเหตุให้ของเหลวที่ป้อนกลับที่ส่วนบนของหอกลั่นมากขึ้นเพื่อให้ได้ของเหลวไหลกลับมาในส่วนไล่สารระเหยซึ่งอาจทำให้เกิดการท่วมในส่วนเพิ่มความเข้มข้นได้ ปกติโดยทั่วไปสายสารป้อนจะอยู่ในรูปความดันย่อยซึ่งควบคุมได้โดยตัวแปรควบคุมกำลังที่ให้แก่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อปรับเอนทัลปีของสารป้อน

2.4.7 อัตราการไหลของสารป้อน

โดยปกติอัตราการไหลของสารป้อนจะไม่ใช่ตัวแปรอิสระส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับกระบวนการอื่นก่อนหน้าจึงไม่ค่อยถูกใช้เป็นตัวแปรควบคุม ถ้าอัตราไหลของสารป้อนถูกเพิ่มมากขึ้น การไหลไปยังส่วนล่างของหอกลั่นจะมากขึ้นแม้ว่าจะมีคิเลเย์จากผลทางพลวัตของไฮโดลิดส์บนเทรย์ที่ตำแหน่งใต้เทรย์ป้อนก็ตาม ซึ่งจะทำให้ระดับของเหลวบนเทรย์เพิ่มขึ้นและทำให้ระดับของเหลวที่ก้นหอเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจะต้องเพิ่มอัตราไหลออกของผลิตภัณฑ์ก้นหอหรือเพิ่มพลังงานความร้อนให้แก่หม้อต้มซ้ำ แต่ถ้ามีการให้ความร้อนแก่หม้อต้มซ้ำมากขึ้นเพื่อให้เกิดการกลายเป็นไอได้มากเมื่อระดับของเหลวที่ก้นหอสูงขึ้นนั้นจะทำให้การไหลของไอมากขึ้นซึ่งผลในที่สุดอาจจะทำให้อัตราการไหลของรีฟลักซ์เพิ่มขึ้น ดังนั้นจะมีของเหลวไหลลงสู่เทรย์

มากขึ้นซึ่งอาจเกิดผลการกระทำย้อนกลับได้ จะเห็นได้ว่ามีพลวัตที่สำคัญระหว่างการเปลี่ยน อัตราการป้อนกับการไหลของของเหลวได้เทอร์ย์ป้อนและเกี่ยวเนื่องถึงการไหลของของเหลว จากเทอร์ย์เหนือเทอร์ย์ป้อนด้วย

2.5 สรุป

เรื่องทฤษฎีเบื้องต้นของการกลั่น และแบบจำลองเชิงพลวัตของการกลั่น รวมทั้งพฤติกรรมเชิงพลวัตของหอกกลั่น ดังที่อธิบายไว้ข้างต้นนั้น เป็นพื้นฐานความรู้เบื้องต้นในการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการกลั่น สำหรับพฤติกรรมเชิงพลวัตของหอกกลั่นบางหอกกลั่นอาจมีตัวแปรปรับเปลี่ยนอื่น ๆ ที่มีผลต่อพลวัตของหอกกลั่นนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งแล้วแต่ลักษณะเฉพาะของแต่ละหอกกลั่น เช่น หอกกลั่นที่สามารถเลือกตำแหน่งของเทอร์ย์ป้อนได้ หรือหอกกลั่นที่สามารถเอาผลิตภัณฑ์ออกข้างหอกกลั่นระหว่างส่วนยอดหอกกับฐานหอกกลั่น เป็นต้น

สำหรับในส่วนของบทต่อไปจะกล่าวถึงระบบการควบคุมแบบกระจายส่วนซึ่งจะทำให้ทราบถึงประวัติความเป็นมา โครงสร้างและการแสดงผลของระบบการควบคุมแบบกระจายส่วน รวมทั้งการควบคุมแบบป้อนกลับด้วยระบบการควบคุมแบบกระจายส่วนด้วย