

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

1. บทนำ (Introduction) (Miller, D.N. : 1987)

การดูดซึมในโตรเจนออกไซด์เพื่อผลิตกรดไนตริก เป็นปฏิบัติการทั่วไปที่ใช้ในอุตสาหกรรมเคมี นับว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการผลิตกรดดินประสิวจากโรงงานที่มีการออกซิไดซ์แอมโมเนีย และนอกจากนี้ยังใช้กับอีกหลาย ๆ กระบวนการที่ต้องการลดปริมาณก๊าซเสีย และต้องการนำกรดไนตริกกลับมาใช้ใหม่ ถึงแม้ว่าจะได้มีการศึกษาถึงเรื่องนี้มามากเพียงไรก็ตาม ก็ยังไม่สามารถเข้าใจถึงการถ่ายเทมวลสารระหว่างก๊าซและของเหลว ซึ่งเป็นสารตั้งต้นได้อย่างลึกซึ้ง โดยเฉพาะในทางอุตสาหกรรมแล้ว ยังขาดข้อมูลที่เพียงพอ ในการพยากรณ์ถึงประสิทธิผลของการดูดซึมในทางอุตสาหกรรม

ในอดีตเป็นการศึกษาถึง การถ่ายเทมวลสารที่มีผลต่อประสิทธิผล โดยศึกษาจากประสิทธิภาพของเพลท (Plate efficiency) ซึ่งหมายถึง ร้อยละของอัตราการดูดซึมก๊าซในโตรเจนออกไซด์จริง ๆ ที่เข้าใกล้จุดสมดุล ซึ่งความสัมพันธ์เหล่านี้ เป็นการประมาณการที่ทำให้ค่าความถูกต้องที่นำเชื่อถือได้มากพอในการออกแบบ และใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติ

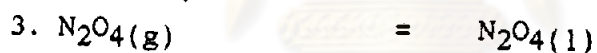
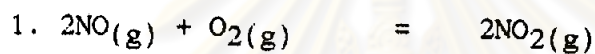
ได้มีการศึกษาถึงอัตราการถ่ายเทมวลสารของ N_2O_4 ในระดับอุตสาหกรรม โดยศึกษากับหอดูดซึมแบบซีฟเพลท (sieve plate) และแบบบับเบิ้ลแคป (Bubble cap) และได้ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเหล่านี้ ว่ามีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของกรด, อุณหภูมิ

สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้หอดูดซึมแบบแพค โดยเป็นการทดลองหาอัตราการถ่ายเทมวลสารในอุตสาหกรรมจริงข้อมูลหนึ่ง เพื่อเปรียบเทียบกับหอดูดซึมแบบอื่น ๆ ทั้งในระดับอุตสาหกรรม และในห้องปฏิบัติการ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการหาประสิทธิผลของหอดูดซึมออกมาได้

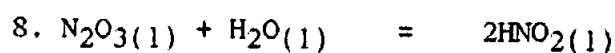
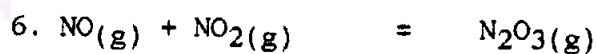
2. กลไกการเกิดปฏิกิริยา (Mechanism)

การดูดซึมก๊าซไนโตรเจนออกไซด์เจือจาง เพื่อผลิตเป็นกรดดินประสิวนั้น มีความสลับซับซ้อนมาก รวมถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ทั้งในเฟสก๊าซและเฟสของเหลว และการถ่ายเทมวลระหว่างผิวสัมผัส ระหว่างเฟสของสารหลาย ๆ ชนิด (Chilton, 1968 : Sherwood et al., 1975.) โดยมีแนวทางแรกเกี่ยวข้องกับสารตั้งต้น N_2O_4 ในเฟสของเหลว ซึ่งได้จากการรวมตัวกันในเฟสก๊าซ

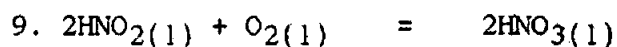
สำหรับการถ่ายเทมวลและปฏิกิริยาในเฟสของเหลวเกิดขึ้นตามลำดับดังนี้



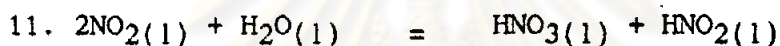
แนวทางที่สองเกี่ยวข้องกับสารตั้งต้น N_2O_3 ในเฟสของเหลว :



ผลที่ตามมาเกิดการแตกตัวของ HNO_2 ในปฏิกิริยาที่ 5 หรือการออกซิไดซ์ HNO_2 ในเฟสของเหลว :



องค์ประกอบ NO_2 ถูกดูดซึมและทำปฏิกิริยาในเฟสของเหลว ;



และสามารถผลิตกรดไนตริกในเฟสก๊าซได้:



สำหรับแนวทางของ NO_2 ในขั้นตอนที่ 10, 11, 12 และ 13 นั้น เกิดขึ้นซ้ำเมื่อเทียบกับแนวทางอื่นที่เกี่ยวข้องกับสารตั้งต้น N_2O_4 และ N_2O_3 และไม่ต้องนำมาใช้ในการหาประสิทธิภาพของการดูดซึมกรดไนตริก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. จลนพลศาสตร์เชิงเคมี (Chemical Kinetics)

การออกซิไดซ์ NO ในขั้นตอนที่ 1 ได้มีการศึกษาทางด้านจลนพลศาสตร์ และสมดุลมาแล้วโดย Bodenstein ,1918, 1922 ; อัตราการเกิดปฏิกิริยาแสดงไว้ดังนี้

$$R(1) = k_1 \left(P_{NO}^2 P_{O_2} - \frac{P_{NO_2}}{K_1} \right), \text{ kPa/s} \quad (1)$$

เมื่อ $k_1 = \exp. (1,468/T - 10.9043), \text{ kPa}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

$$K_1 = \exp. (-8.002 + 1.75 \ln T - 0.000217 T - 2,496/T), \text{ kPa}^{-2}$$

$$P_{NO}, P_{NO_2}, P_{O_2} = \text{ความดันย่อย}, \text{ kPa}$$

$$T = \text{อุณหภูมิ}, \text{ K}$$

ในช่วงอุณหภูมิปกติสำหรับการดูดซึมแบบเฉื่อยอาจ ปฏิกิริยาย้อนกลับสามารถตัดทิ้งได้ ไม่ต้องนำมาคิด

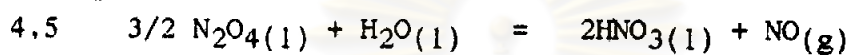
ขั้นที่ 2 จะเข้าสู่สมดุลอย่างรวดเร็ว ค่าสมดุลนี้ก็ได้ศึกษาโดย Bodenstein (1922)

$$K_2 = \frac{P_{N_2O_4}}{P_{NO_2}^2}, \text{ kPa}^{-1} \quad (2)$$

$$\text{เมื่อ } K_2 = \exp. (6,893/T - 25.865) , \text{ kPa}^{-1}$$

$$P_{N_2O_4} = \text{ความดันย่อย} , \text{ kPa}$$

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขั้นที่ 4 และ 5 ในเฟสของเหลว สามารถรวมสมการเข้าด้วยกัน ดังนี้



ได้มีการหาค่าสมดุลของสมการทั้งสองที่รวมกันโดยผู้เขียนหลายคนไว้ (Burdick and Freed, 1921 ; Chambers and Sherwood, 1937 ; Denbigh and Prince, 1947 ; Epshtein, 1939)

$$K_{4,5} = \frac{P_{NO}}{P_{NO_2}^3} \cdot \frac{a_{HNO_3}^2}{a_{H_2O}} , \text{ kmol/M}^3 \cdot \text{kPa}^2 \quad (3)$$

$$\text{เมื่อ } a_{HNO_3} , a_{H_2O} = \text{แอกทิวิตี้} , \text{ kmol/M}^3$$

นิยามการวัดความดันย่อยของ NO_2 ในเฟสก๊าซกับความเข้มข้นของ N_2O_4 ในเฟสของเหลว ดังนั้นจึงมีการหาอัตราส่วนสมดุลของ $K_{4,5} a = P_{NO} / P_{NO_2}^3$ ว่าเป็นฟังก์ชันกับความเข้มข้นของกรดไนตริก และอุณหภูมิ

เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากการทดลอง คาร์เบอร์รี่ (Carberry, 1959) ได้นำค่าสมมูลในขั้นที่ 2 มาช้กับข้อมูลเหล่านี้ เพื่อตัดปัญหาในเรื่องของอุณหภูมิที่เข้ามาเกี่ยวข้อง

$$K_0 = \frac{K_{4.5} a}{K^{2.5/2}} = \frac{P_{NO}}{P^{1.5} N_{2O_4}}, \text{ kPa}^{-1/2} \quad (4)$$

เมื่อ

$$K_0 = \exp(23.39 - 134.98 W_{HNO_3} + 434.69 W_{HNO_3}^2 - 789.84 W_{HNO_3}^3 + 675.65 W_{HNO_3}^4 - 221.89 W_{HNO_3}^5), \text{ kPa}^{-1/2}$$

$$W_{HNO_3} = \text{สัดส่วนน้ำหนัก (weight fraction)}$$

ขั้นตอนที่ 6 ค่าสมมูลของการรวมตัวกันของ N_2O_3 ในเฟสก๊าซ ศึกษาโดย Hisatsune, 1961 :

$$K_6 = \frac{P_{N_2O_3}}{P_{NO} P_{NO_2}}, \text{ kPa}^{-1} \quad (5)$$

เมื่อ

$$K_6 = \exp. (4,869/T - 21.61), \text{ kPa}^{-1}$$

ค่าสมมูลของเฟสของเหลวในชั้นที่ 8 สามารถหาได้จากงานของ Theobald .1968 ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดไนตริกและออกทงมิ

$$K_8 = \frac{W_{\text{HNO}_2}^2}{P_{\text{NO}} P_{\text{NO}_2} K_6}, \text{ kPa}^{-1} \quad (6)$$

เมื่อ $K_8 = \exp. (8,378/T - 4.68 W_{\text{HNO}_3} - 38.81)/K_6$

$$W_{\text{HNO}_2} = \text{สัดส่วนน้ำหนัก}$$

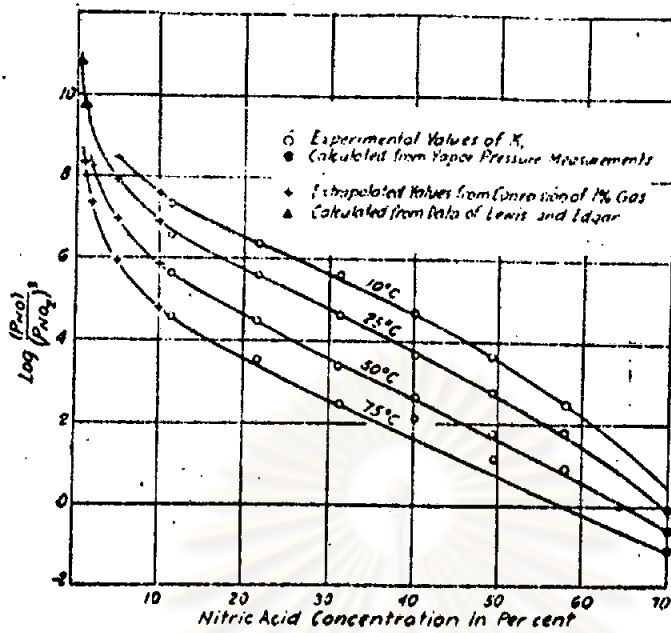
ข้อมูลทางด้านจลนพลศาสตร์ของการออกซิไดซ์ HNO_2 ในเฟสของเหลวยังไม่มีการศึกษา

Denbigh และ Prince ; 1947 ; ได้ทำการทดลองเพิ่มและหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาของ NO_2 ออกมา

$$\frac{-d(\text{NO}_2)}{dt} = 3/2 k_1 [\text{H}_2\text{O}] ([\text{NO}_2]^2 - C[\text{NO}_2]^{1/2} [\text{NO}]^{1/2}) \quad (7)$$

แต่พจน์หลังของสมการที่ (7) มีค่าน้อยมากจึงได้

$$\begin{aligned} \frac{-d(\text{NO}_2)}{dt} &= 3/2 k_1 [\text{H}_2\text{O}] [\text{NO}_2]^2 \\ &= k [\text{H}_2\text{O}] [\text{NO}_2]^2 \end{aligned} \quad (8)$$



รูปที่ 2.1 แสดงถึงความเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ k_g กับความเข้มข้นของกรดและอุณหภูมิ ¹

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่สมดุลที่ความดันบรรยากาศจากข้อมูลทางสมดุลและความดันไอ ¹

TABLE 2.1
Constants Expressed in Atmospheres Calculated from Equilibrium Data and Vapor Pressures.

Conc. HNO ₃ by wt. %	Log $\frac{(P_{HNO_3})^2}{(P_{H_2O})}$			Log $\frac{(P_{NO})}{(P_{NO_2})^2}$			Log $\frac{(P_{NO})(P_{HNO_3})^2}{(P_{NO_2})^2(P_{H_2O})}$		
	• C. 25.	50.	75.	25.	50.	75.	25.	50.	75.
24.1	-7.77	-6.75	-5.66	+5.37	+4.20	+3.17	-2.40	-2.55	-2.49
33.8	-6.75	-5.65	-4.66	+4.36	+3.18	+2.19	-2.39	-2.47	-2.47
40.2	-5.91	-4.80	-3.97	+3.70	+2.58	+1.63	-2.21	-2.28	-2.35
45.1	-5.52	-4.44	-3.50	+3.20	+2.10	+1.18	-2.30	-2.34	-2.32
49.4	-5.12	-3.93	-3.11	+2.75	+1.67	+0.77	-2.38	-2.26	-2.34
69.9	-2.12	-1.69	-1.27	-0.13	-0.69	-1.12			
					Mean.		-2.34	-2.38	-2.39

¹ CHARLES, L., BURDICK AND STANLEY FREED, E., (J. Am. Chem. Soc., VOL 43, 1921)

$$\text{เมื่อ } k = \frac{(P_{NO})(P_{HNO_3})^2}{(P_{NO_2})^3(P_{H_2O})} = kgk_{10} \quad , \quad kPa^{-1} \quad (9)$$

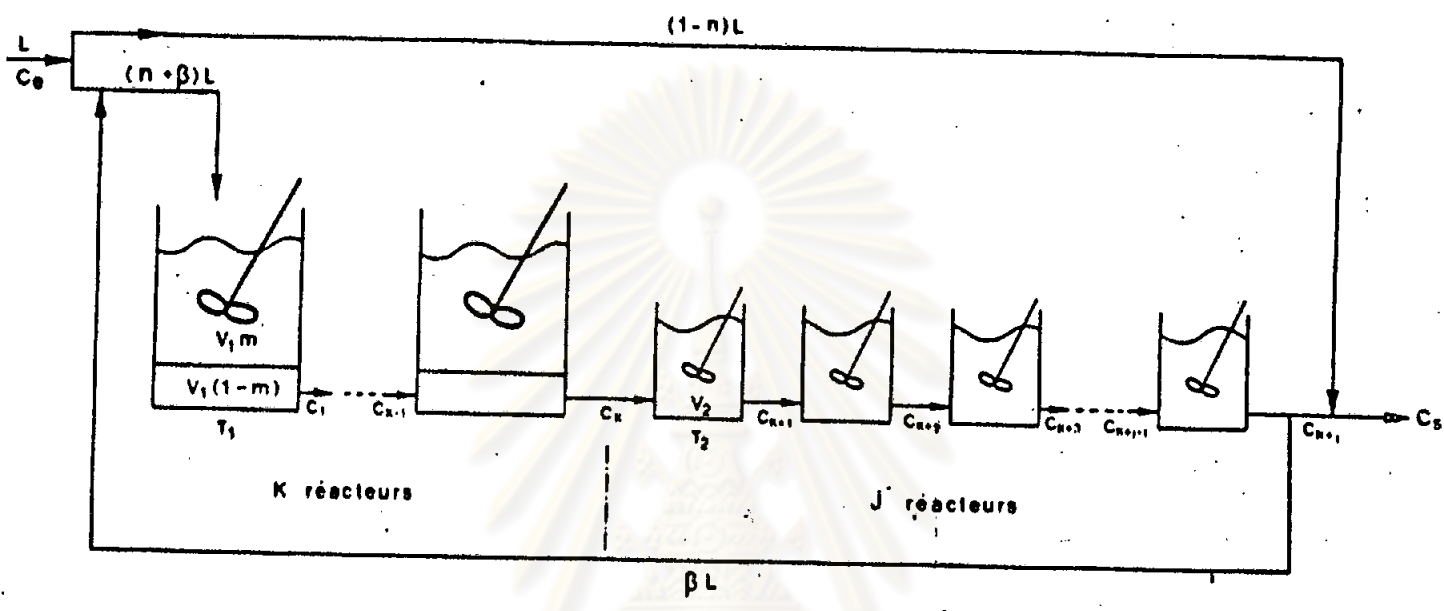
$$\text{และ } kg = \frac{(P_{NO})}{(P_{NO_2})^3} \quad , \quad kPa^{-2} \quad (10)$$

$$k_{10} = \frac{(P_{HNO_3})^2}{(P_{H_2O})} \quad , \quad kPa$$

จากรูปที่ 2.1 และตารางที่ 2.1 จากการทดลองของ Charles , Burdick , Stanless Freed , 1921 ; แสดงถึงค่าคงที่สมมูลต่าง ๆ ซึ่งพบว่าค่า kg และ k₁₀ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของกรดไนตริก แต่ค่า k ค่อนข้างจะคงที่เพิ่มขึ้นกับอุณหภูมิหรือความเข้มข้นของกรด

การหาค่าความเข้มข้นในเฟสก๊าซและ เฟสของเหลวจะหาค่าได้ ก็ต่อเมื่อทราบลักษณะการไหล (Hydrodynamic) ของของไหลด้วยว่าเป็นแบบใด อาจจะเป็นการไหลในลักษณะผสมผสาน (well mixed) ในลักษณะคล้ายลูกสูบ (Plug flow) , ในลักษณะแบบกระจาย (dispersed) หรือแบบถังผสมต่ออนุกรม (Tank in series) เป็นต้น ศ.ดร.ปิยะสาร ได้เสนอสมการทั่วไปเพื่อใช้หาลักษณะการไหลของของเหลว โดยอาศัยหลักการทางด้าน ไคเนติกส์และไดนามิกส์ ในการหา Transfer Function ออกมาแล้วใช้การแก้สมการโดยอาศัยวิธีการแปลงรูปของลาปลาซ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาและความเข้มข้นออกมา

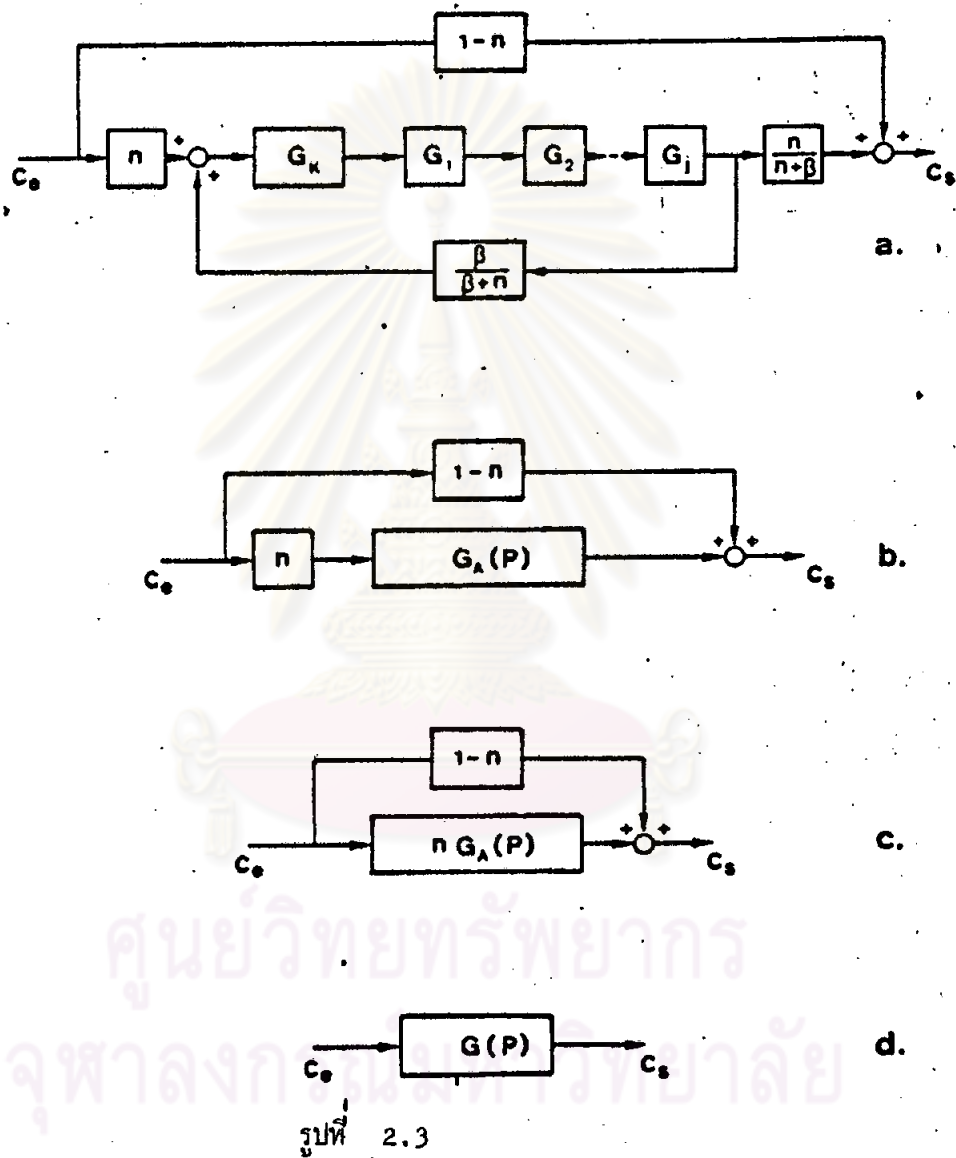
จากรูปที่ 2.2 และ 2.3 หาค่า Transfer Function ออกมาได้ ดังนี้ (Piyasan , 1979)



รูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 แผนภาพการไหลของของเหลวผ่านเครื่องปฏิกรณ์แบบต่าง ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 แผนภาพทางไดนามิคส์ของการไหลของของเหลวแบบต่าง ๆ

$$G(P) = \frac{n^2}{(n+\beta) (\tau_1 P+1)^K (\tau_2 P+1)^j - \beta} - (1-n) \quad (11)$$

$$T_L = \frac{KV_1 + V_2 j}{L} = \frac{(n+\beta) [K\tau_1 + mj\tau_2]}{m} \quad (12)$$

เมื่อ

$G(P)$ = Transfer Function

n = แพลตเตอร์ของการไหลลัดเส้นทาง (short circuit)

β = แพลตเตอร์การกลับมาซ้ำใหม่ (recycle)

τ_1, τ_2 = เวลาที่ผ่านเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดใหญ่, เล็กตามลำดับ

T_L = เวลาเฉลี่ยที่ผ่านเข้าไปในหอดูดซึม

m = แพลตเตอร์ของจุดอับ (dead zone)

j = จำนวนของเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก

K = จำนวนของเครื่องปฏิกรณ์ขนาดใหญ่

L = อัตราการไหลของของเหลว

V_1, V_2 = ปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ขนาดใหญ่, ขนาดเล็ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. การถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer)

ได้มีผู้สนใจหลายท่าน ทำการวิจัยเกี่ยวกับการ ดูดซึมในโรตารเจนออกไซด์ ด้วยน้ำ และได้เสนอสมการเกี่ยวกับการถ่ายเทมวลสาร และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารไว้ รวมถึงสมการพื้นฐาน ที่ใช้ในการหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารต่างๆ ไปด้วย ซึ่งพอจะยกตัวอย่างมาได้ ดังนี้

1) สมการที่ใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลเฉพาะที่ของนายออนดา (ONDA) (บิยะสาร : 2530)

ได้รวบรวมข้อมูลการถ่ายเทมวลในหลายๆ ระบบมารวบรวมสร้างสมการ ขึ้นดังนี้

สมการสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลเฉพาะที่ในเฟสของเหลว :

$$\frac{(k_{l,loc} \mu_L)(\rho_L)^{1/3}}{\rho_L \mu_L g} = 0.0051 \frac{(G_L)^{2/3}}{a_w \mu_L} \frac{(\mu_L)^{-1/2}}{\rho_L D_L} (a_v D_p)^{0.4} \quad (13)$$

และ
$$\frac{a_w}{a_v} = 1 - \exp. \left[-1.45 \frac{(\sigma_c)^{0.75}}{6} \frac{(G_L)^{0.1}}{a_v \mu_L} \frac{(G_L^2 a_v)^{-0.05}}{\rho_L^2 g} \frac{(G_L^2)^{0.2}}{\rho_L^6 a_v} \right] \quad (14)$$

สมการสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลเฉพาะที่ในเฟสกาซ :

$$\frac{k_{g,loc} RT}{P a_v D_v} = C_1 \frac{(G_v)^{0.7}}{a_v \mu_v} \frac{(\mu_v)^{1/3}}{\rho_v D_v} (a_v D_p)^{-2.0} \quad (15)$$

2) สมการที่ใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารของ CHAMBERS และ SHERWOOD (Chambers, F.S., Sherwood, T.k. : 1937)

ได้ทำการทดลองหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารของ NO_2 ใน Wetted-wall Tower และ Batch Absorption Vessel โดยได้สมการสรุปออกมาดังนี้

$$k_g = \frac{P}{RT P_B} [2D_{\text{N}_2\text{O}_4} P_{\text{N}_2\text{O}_4} + D_{\text{NO}_2} P_{\text{NO}_2}] \quad (16)$$

3) สมการที่ใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารของ DENBIGH และ PRINCE (Denbigh, K.G., Prince, A.J. : 1947)

เขาได้ทำการทดลองหาอัตราการดูดซึม NO_2 ใน falling film tower และได้ความสัมพันธ์ออกมา ดังนี้

สมการสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารในเฟสของเหลว :

$$k_1 = k_a [\text{N}_2\text{O}_4] \quad (17)$$

หรือ $k_1 = k_a' [\text{NO}_2] \quad (18)$

สมการสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารในเฟสก๊าซ :

$$k_g = k_g' (2.86 [\text{N}_2\text{O}_4] + [\text{NO}_2]) \quad (19)$$

4) สมการที่ใช้หาอัตราการถ่ายเทมวลของนาย มิลเลอร์ (Miller, D.N. : 1987)

จากกลไกการเกิดปฏิกิริยาขั้นตอนที่ 1 นับว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซึมที่สำคัญมากในกลไกการดูดซึมทั้งหมด (Chilton, 1968 ; Sherwood et al ., 1975) ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเคมีอื่น ๆ ในแนวทางแรกของ N_2O_4 จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจึงถือว่าเข้าสู่สมดุลแล้ว การถ่ายเทมวลสารของ N_2O_4 ในขั้นที่ 3 ของการดูดซึมก็ถือว่าไม่เป็นขั้นการกำหนดอัตราการดูดซึม

ในอดีตนักจะใช้ประสิทธิภาพของเพลท (E) มาเป็นตัวศึกษาถึงผลของการถ่ายเทมวลโดย E เป็นร้อยละของการดูดซึมจริงต่ออัตราการดูดซึมที่สมดุลของ NO_2 สมมูลย์ เมื่อ

$$NO_{2equiv.} = NO_2 + 2N_2O_4 + N_2O_3$$

แอนดรูและแฮนสัน (Andrew and Hanson , 1961) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของเพลทโดยทดลองในระดับเล็ก ๆ (small-scale) โดยรวมเอาการดูดซึม NO_2 โดยตรง การเกิดปฏิกิริยาของ NO_2 ในเฟสก๊าซและการรวมตัวกันของหยดกรดในตริคเข้าด้วยกัน และเขาได้สรุปว่า การดูดซึม NO_2 โดยตรงมีผลต่อประสิทธิภาพของเพลทโดยตรงที่ความเข้มข้นของ NO_x ต่ำมาก ๆ ข้อมูลของเขาถูกจำกัดที่ความเข้มข้นของกรดเจือจางมาก ๆ และไม่สามารถนำมาใช้ในการหาประสิทธิภาพทั้งหมดของการดูดซึมกรดในตริคได้

ความสัมพันธ์สำหรับการถ่ายเทมวลของ N_2O_4 สามารถหาได้โดยอาศัยทฤษฎีของฟิล์มหรือการแทรกซึม (Film or penetration theory) ในขั้นตอนที่ 4,5 การรวมตัวกับน้ำของ N_2O_4 จะเกิดขึ้นได้กับน้ำที่มีปริมาณมากเกินพอ และสามารถพิจารณาว่าเป็น ปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งแบบเทียม (pseudo-first-order)

ที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ N_2O_4 ได้มีการนำเอาทฤษฎีของฟิล์ม (Lewis and Whitman , 1924) มาใช้ในการแก้สมการแบบวิเคราะห์ (Analytical Solution) เป็นครั้งแรกโดย Hatta (1928) สำหรับปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งแบบไม่มี การย้อนกลับ นอกจากนั้นก็ยังมีผู้ทำการศึกษาเพิ่มเติมอีก เช่น Danckwerts (1970) , Higbie (1935) อาศัยทฤษฎีการแทรกซึมมาใช้ในการอธิบายถึงระยะเวลาในการสัมผัสกัน, Danckwerts และ Kennedy (1954) ศึกษาถึงปฏิกิริยาอันดับ ที่หนึ่งแบบย้อนกลับได้ สำหรับกรณีที่สัมประสิทธิ์การแพร่ของสารตั้งต้นเท่ากับของ ผลิตภัณฑ์

จากการแก้สมการเหล่านี้ ทำให้ได้อัตราการดูดซึม N_2O_4 ที่ลดรูปออกมาได้ ดังสมการที่ (8) เมื่อปฏิกิริยาของ N_2O_4 เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ ในฟิล์มของ เหลวที่เกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสระหว่างเฟส

$$R(3) = H_{N_2O_4} \sqrt{k_{4,5} D_{N_2O_4} A [P_{N_2O_4} - (P_{NO})^{2/3}]}, \text{ kmol/s (20)}$$

(KO)

เมื่อ

$$H_{N_2O_4} = \text{ค่าคงที่ของกฎเฮนรี}, \text{ kmol/m}^3 \cdot \text{kPa}$$

$$k_{4,5} = \text{ค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งแบบเทียม}, \text{ s}^{-1}$$

$$D_{N_2O_4} = \text{สัมประสิทธิ์การแพร่}, \text{ m}^2/\text{s}$$

$$A = \text{พื้นที่ผิวสัมผัส}, \text{ m}^2$$

สำหรับอัตราการดูดซึม N_2O_3 แสดงได้ดังนี้ :

$$R(7) = H_{N_2O_3} \sqrt{k_{8,5} D_{N_2O_3} A (P_{N_2O_3} - P_{HNO_2}^2 / K_8)}, \text{ kmol/s (21)}$$

เมื่อ $H_{N_2O_3} = \text{ค่าคงที่ของกฎเฮนรี}, \text{ kmol/m}^3 \cdot \text{kPa}$

$$k_{8,5} = \text{ค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งแบบเทียม}, \text{ s}^{-1}$$

$$D_{N_2O_3} = \text{สัมประสิทธิ์การแพร่}, \text{ m}^2/\text{s}$$

ได้มีการทดลองเพื่อหาค่าของ $H_{N2O4} \sqrt{k_{4,5} D_{N2O4}}$ ในกรดเจือจางหลายการทดลอง (Wendel และ Pigford, 1958; Dekker et al., 1959; Kramers et al., 1961; Gerstacker, 1961; Corriveau, 1971; Kameoka, 1973) และ Corriveau ได้ทดลองหาค่า $H_{N2O3} \sqrt{k_{8,5} D_{N2O3}}$ ในปี ค.ศ. 1971 วัตถุประสงค์หนึ่ง การทดลองของ Lefer และ Van den Berg ในปี ค.ศ. 1982 ได้วัดค่า $H_{N2O4} \sqrt{k_{4,5} D_{N2O4}}$ ในกรดไนตริกเข้มข้น โดยทำการทดลองในหลอดซีมแบบผนังเปียกขนาดเล็ก (small-scale wetted-wall) หรือแบบหน้าสัมผัสทรงกลมเปียกและหัวฉีดของเหลว (wetted-sphere contactors and liquid jets) โดยมีเวลาที่ใช้สัมผัสกันสั้น ๆ ใช้ในกรณีเจือจางที่ถูกละลายให้เจือจางโดยผสมกับก๊าซไนโตรเจน และไม่มีก๊าซออกซิเจนผสมอยู่เป็นสารตั้งต้นป้อนเข้าไป พื้นผิวหน้าสัมผัสระหว่างของเหลว และก๊าซเป็นไปอย่างดี การถ่ายเทมวลสารที่ฟิล์มของของเหลว สันนิษฐานว่าเกิดขึ้นแบบการแพร่ในระดับโมเลกุล (Molecular diffusion)

5) สมการที่ใช้หาลิมิตประสิทธิภาพถ่ายเทมวลสารจากแบบจำลองการไหลของของเหลว (Piyasan : 1979)

จากรูปที่ 2.2 คร. ปิยะสารได้หาค่าความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารออกมาได้ ดังนี้

$$C_s = \frac{n}{(n+\beta)} C_e + Y \sum_{d=1}^k x^{d-1} \bar{C}_d^* + W X^K \sum_{m=1}^j z^{m-1} \bar{C}_{K+m}^* \quad (22)$$

$$x^K z^j - [\beta / (n+\beta)]$$

โดยที่

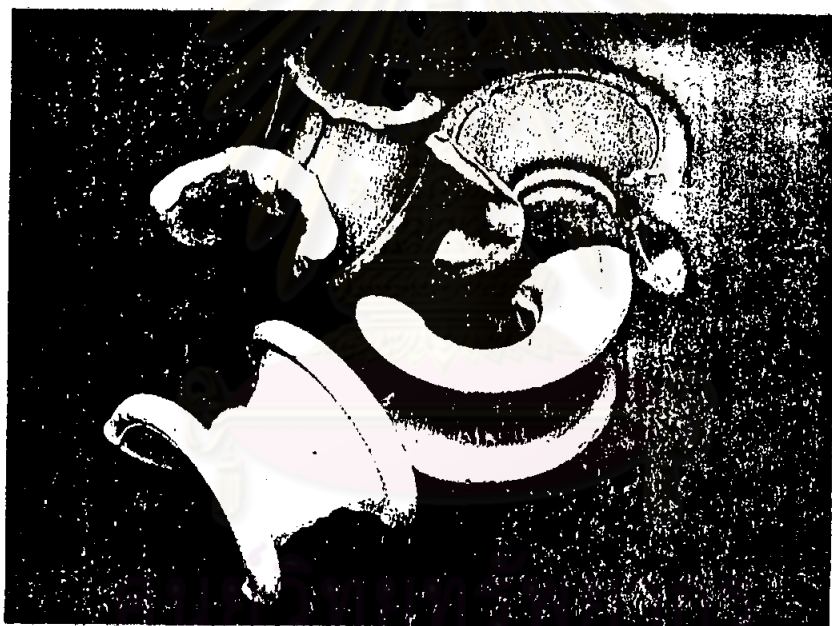
$$X = (1+T_1k_1a) \quad , \quad Z = (1+T_2k_1a)$$

$$Y = T_1k_1a \quad , \quad W = T_2k_1a$$

$$T_1 = \frac{mv_1}{L(n+\beta)} \quad , \quad T_2 = \frac{V_2}{L(n+\beta)}$$

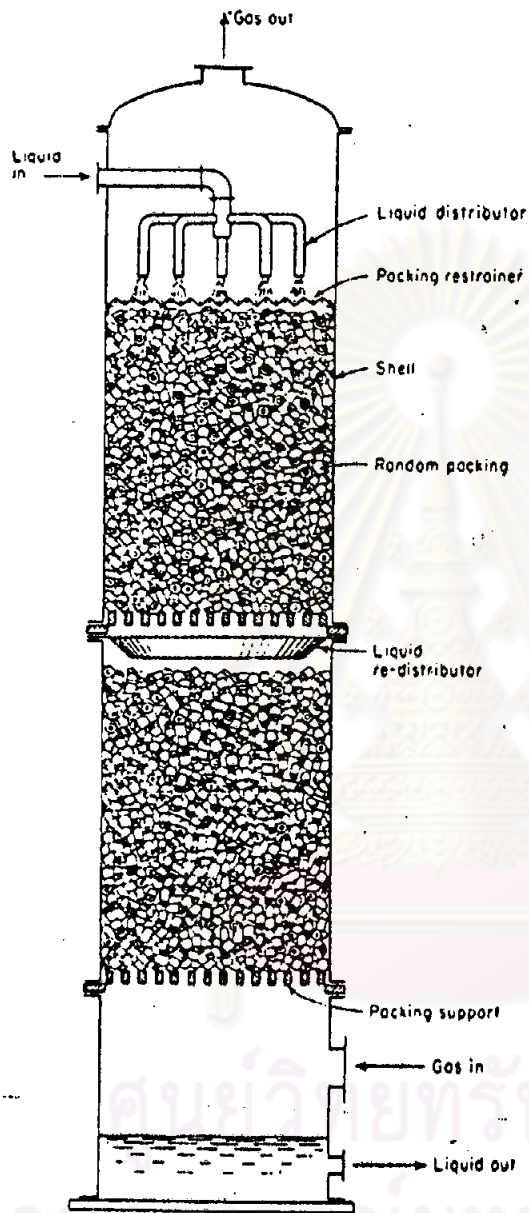
5. หอดูดซึมแบบแพค (Packed Tower)

หอดูดซึมแบบแพคเป็นหอดูดซึมที่ใช้สำหรับการทดลองครั้งนี้ ซึ่งภายในจะบรรจุด้วยแพคกิ้ง (packing) ประเภทอินทาลอค แซดเดิล (Intalox Saddle) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยมีการจัดเรียงแพคกิ้งในหอเป็นแบบแรนดอม (Random packing) เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนมวลสาร โดยของเหลวจะถูกพ่นกระจายทางด้านบนแล้วไหลผ่านแพคกิ้งลงไبد้านล่าง ส่วนก๊าซจะไหลจากด้านล่างของหอดูดซึมผ่านแพคกิ้งขึ้นไبد้านบน เป็นการไหลสวนทางกัน (counter current) ทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างของเหลวและก๊าซที่พื้นผิวปริมาณมากของแพคกิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.5 หอดูดซึมที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1,200 มม. ความสูงทั้งหมดประมาณ 8,000 มม. โดยมีส่วนที่บรรจุแพคกิ้งสูง 4,000 มม.



รูปที่ 2.4 แสดงรูปแตกกิ่งแอม อินทาลอกแคคเคิล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 แสดงรูปของหอดูดซึมแบบแพค