

ภาคที่ ๒

บทที่ ๖

การถ่ายเทมวลสารระหว่างก๊าซและของเหลว

๖.๑ คำนำ

เพื่อเป็นการสนับสนุนข้อสมมติฐานที่ได้กล่าวไว้แล้วในภาคที่ ๑ ว่า เม็ดของแข็งมีส่วนทำให้ปริมาณของก๊าซเพิ่มขึ้นในเบต และยังทำให้ฟองก๊าซขนาดใหญ่แตกตัวเป็นฟองเล็กได้ ปรากฏการณ์เช่นนี้ เป็นประโยชน์ในการศึกษาการถ่ายเทมวลสารเป็นอย่างมาก เพราะพื้นที่สัมผัสระหว่างก๊าซและของเหลว เพิ่มมากกว่าในการทำงานด้วยหอตดลองแบบอื่นๆ

พิจารณาฟองก๊าซขณะหลุดจาก orifice แล้วลอยขึ้นมาอยู่ที่ท่ามกลางของเหลวในเบต โมเลกุลของก๊าซจะฟุ้งกระจายมายังผิวของฟอง แล้วซึมผ่านผิวหน้านี้เข้าไปอยู่ในเนื้อของของเหลว BAIRD et al (32) และ VOGTLANDER et al (33) ต่างก็ทำการศึกษาในหอตดลอง Bubble column เขาพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวลสาร เปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของฟองก๊าซ แต่ในฟลูอิดไดเซชันสามสถานะที่มีการไหลของก๊าซและของเหลวไปทางเดียวกัน ซึ่งทำการทดลองโดย VANDERSCHURER et al (34) เขาได้ทำการทดลองดูดกลืนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลคลอไรด์ด้วยน้ำ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวลสาร เพิ่มตามขนาดของฟองก๊าซและความเร็วของฟองก๊าซ ทั้งนี้เขาได้ให้เหตุผลว่า คุณสมบัติของฟลูอิดไดเซชันเบต คล้ายกับการทำงานของระบบ non-newtonian pseudoplastic กลไกของการถ่ายเทมวลสารมีขบวนการที่ยุ่งยาก ถ้าเป็นกรณีที่มีฟองก๊าซหลายๆฟองลอยขึ้นมาพร้อมๆกัน กลไกการทำงานยิ่งซับซ้อนมากขึ้น เพราะการไหลเวียนของของเหลวและฟองก๊าซค้ำเคียง จะมีอิทธิพลต่อการถ่ายเทของมวลสารเป็นอย่างมาก เพื่อความสะดวก การทำงานวิจัยครั้งนี้ พยายามที่จะลดปัญหาอื่นๆให้หมดไป จึงได้ตกลงใจทำการศึกษาดูดกลืนทางกายภาพระหว่างก๊าซแอมโมเนียด้วยน้ำ

เพราะเหตุที่ว่าก๊าซแอมโมเนีย เป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้ง่าย การดูดกลืนจะเป็นแบบ gas film control ระหว่างที่มีการถ่ายเทมวลสารนั้นได้ตั้งข้อสมมติฐานไว้ดังนี้

- ๑) การระเหยของไอน้ำมีน้อยมาก
- ๒) ความเข้มข้นของก๊าซในน้ำที่ผิวสัมผัส เป็นความเข้มข้นสมดุลย์
- ๓) ความต้านทานการถ่ายเทมวลสารในน้ำไม่มีเลย
- ๔) ความร้อนที่เกิดจากการละลายของแอมโมเนียในน้ำมีน้อย

๖.๒ พื้นที่สัมผัสเฉพาะ (Specific area = a)

พื้นที่สัมผัสเฉพาะคือพื้นที่ผิวของฟองก๊าซทั้งหมด ที่ใช้ในการถ่ายเทมวลสาร ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของ เเบค เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \pi d_{B_i}^2}{V_T} \quad (50)$$

d_{B_i} = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของฟองก๊าซใดๆ

V_T = ปริมาตรทั้งหมดของ เเบค

ในระบบที่พยายามบังคับให้ฟองก๊าซมีขนาดใกล้เคียงกันมากๆ ปริมาตรของพื้นที่สัมผัสเฉพาะคำนวณได้จาก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของฟองก๊าซคือ

$$a = \frac{n \pi \bar{d}_B^2}{V_T} \quad (51)$$

\bar{d}_B = ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของฟองก๊าซ

n = จำนวนฟองก๊าซ

มีความสัมพันธ์กับปริมาณก๊าซต่างๆดังนี้

$$\epsilon_G = \frac{n \pi \bar{d}_B^3}{V_T} \quad (52)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad a = \frac{6 \epsilon_G}{\bar{a}_B} \quad (53)$$

โดยทั่วไปแล้ว ค่าของ a คำนวณได้ยากมาก เพราะขนาดของฟองก๊าซไม่แน่นอน บางครั้งมีรูปร่างทรงกลม หรือเป็นรูปรี หรือรูปไต เป็นต้น ยิ่งในฟลูอิดโคเซชันสามสถานะด้วยแล้วรูปร่างของฟองจะเปลี่ยนแปลงไปมากเพราะบางครั้งไปอยู่ในระหว่าง เม็ดของแข็ง เข้ารูปร่าง เดิมก็เปลี่ยนไป สำหรับเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของฟองก๊าซก็ขึ้นอยู่กับขนาดความเร็วของก๊าซโดยตรง ดังนั้นสมการโดยทั่วไปของการคำนวณพื้นที่สัมผัสเฉพาะ เขียน เป็น

$$a = f(\epsilon_G, U_G) \quad (54)$$

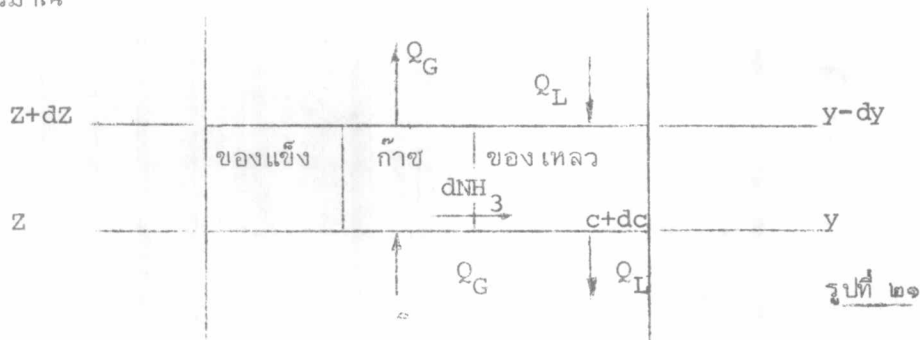
๖.๓ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร

(Volumetric mass transfer coefficient, $k_G a$)

การถ่ายเทมวลสารระหว่างก๊าซและของเหลวมีกลไกเกิดขึ้น ๓ ขั้นตอนด้วยกัน ขั้นตอนแรก โมเลกุลของก๊าซภายในฟอง เดินทางไปยังพื้นที่ผิวของฟอง ขั้นที่สอง โมเลกุลของก๊าซละลายผ่านผิวระหว่างก๊าซและของเหลว ขั้นที่สาม โมเลกุลเดินทางจากผิวสัมผัสไปอยู่ท่ามกลางของเหลว ที่ผิวสัมผัสอัตราการดูดกลืนจะอยู่ในรูปของอัตราการฟุ้งกระจาย และความเข้มข้นที่บริเวณนี้จะอยู่ในสมดุลย์ในเวลารวดเร็ว

เพราะว่าการศึกษาค้างนี้ เป็นระบบที่ควบคุมด้วยก๊าซฟิล์ม ดังนั้นการพิจารณาถึงปริมาณการถ่ายเทมวลสาร จะคิดจากปริมาณของแอมโมเนียสูญหายไปจากก๊าซผสมด้านเดียว

เมื่อทำการหาดุลยภาพของแอมโมเนียในส่วนหนึ่งของ เขตที่มีความสูง เท่ากับ dz ให้คิดว่าปริมาณ



การไหลของก๊าซไม่เปลี่ยนแปลง เพราะความเข้มข้นของแอมโมเนียน้อย เมื่อ
ทุกอย่างอยู่ในสภาวะสมดุล

$$Q_G y = Q_G (y-dy) + dN_{NH_3} \quad (55)$$

ปริมาณของก๊าซแอมโมเนียถูกดูดกลืนไป

$$dN_{NH_3} = k_G dAP (y-y_i) \quad (56)$$

หรือ

$$dN_{NH_3} = k_G a \frac{\pi D_c^2 dz}{4} P (y-y_i) \quad (57)$$

ดังนั้น

$$Q_G dy = k_G a \frac{\pi D_c^2 dz}{4} P (y-y_i) \quad (58)$$

$$\begin{aligned} k_G a dz &= \frac{Q_G}{\frac{\pi D_c^2 P}{4}} \frac{dy}{(y-y_i)} \\ &= \frac{U_G}{P} \frac{dy}{(y-y_i)} \end{aligned} \quad (59)$$

ปริมาณก๊าซแอมโมเนียที่หายไปจากก๊าซผสมตลอดทั้ง เบน

$$k_G a \int_{Z=0}^{Z=H} dz = \frac{U_G}{P} \int_{Y_1}^{Y_2} \frac{dy}{Y-Y_i} \quad (60)$$

ดังนั้น

$$k_G a = \frac{U_G}{PH} \int_{Y_1}^{Y_2} \frac{dy}{Y-Y_i} \quad (61)$$

สังเกตจากสมการที่ (๕๖) และ (๖๑) จะพบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร
แบบปริมาตรไม่เพียงแต่เป็นสัดส่วนกับปริมาณก๊าซค้างในหอทดลองเท่านั้น ยังขึ้นอยู่กับตัวแปร
สำคัญๆ อีก ซึ่งรวมทั้งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อปริมาณก๊าซค้างอีกด้วย ดังนั้นในสมการของการ

ถ่ายเทมวลสารรวมตัวแปรทั้งหมดไว้ด้วยกันแทนการเสนอในรูปของปริมาณแต่อย่างใด
สมการดังกล่าวแล้วข้างบนนี้ใช้ได้กับระบบที่มีการไหลของของเหลวแบบต่อเนื่อง ถ้าเป็นระบบ
ที่ของเหลวไหลไม่ต่อเนื่องจะมีเวลาเป็นตัวแปรเพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเท
ทั้งสองระบบไม่ควรนำมาเปรียบเทียบกัน เหมือนอย่างในการศึกษาหาปริมาณก๊าซค้างในภาค
แรก สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวลสารแบบการไหลไม่ต่อเนื่องคำนวณได้จาก

$$\frac{dN_{\text{NH}_3}}{dt} = k_G a V_T P \frac{dy}{dt} \quad (62)$$

หรือ

$$dN_{\text{NH}_3} = V_G P (y - y_i) \quad (63)$$

ดังนั้น

$$k_G a \int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{(y - y_i)} = \epsilon_G \int_0^t dt \quad (64)$$

$$k_G a = \frac{\epsilon_G t}{\int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{(y - y_i)}} \quad (65)$$

๖.๔ ผลการทดลองที่ทำมาแล้วในอดีต

การดูดกลืนของก๊าซที่ละลายได้ง่ายในของเหลว มีนักวิทยาศาสตร์ได้กระทำการ
ค้นคว้ามาแล้ว ด้วยระบบต่างๆกันหลายระบบ ดังเห็นได้จากเครื่องมือที่ถูกออกแบบและ
พัฒนาขึ้นอย่างมากมาย เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของงานอุตสาหกรรม วิธีการที่
ทำการทดลองนั้น พอจะแบ่งตามลักษณะ เครื่องมือและวิธีการดำเนินการทดลองดังนี้

- ๖.๔.๑ Wetted - wall column or falling film
- ๖.๔.๒ Bubble contacting
- ๖.๔.๓ Packed column
- ๖.๔.๔ Fluidization three-phase

๖.๔.๑ Wetted wall column or falling film

ของเหลวถูกปล่อยให้ไหลเป็นฟิล์มบางๆ ลงตามผนังของท่อทดลอง หรือไหลไปบนลูกทรงกลมหรือแผ่นกลมที่ซ้อนเป็นแถวไว้ตรงกลางท่อทดลอง ก๊าซผสมระหว่างก๊าซเฉื่อยและก๊าซที่จะถูกดูดกลืน (ตัวถูกละลาย) ไหลสวนทางกับของเหลว โมเลกุลของก๊าซจะฟุ้งกระจายผ่านผิวสัมผัสเข้าไปในเนื้อของของเหลวโดยไม่มีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้น เมื่อทำดูสภาพของก๊าซตัวถูกทำละลายในของเหลวจะได้ดังสมการ

$$\text{ปริมาณฟุ้งกระจายเข้า} - \text{ปริมาณฟุ้งกระจายออก} = \text{ปริมาณที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง} \quad (66)$$

$$\text{หรือ} \quad -D_f \frac{\partial c}{\partial x} + D_f \left(\frac{\partial c}{\partial x} + dx \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \right) = dx \frac{\partial c}{\partial t} \quad (67)$$

$$D_f \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{\partial c}{\partial t} \quad (68)$$

นั่นก็คือสมการของ Fick นั้นเอง แต่ในที่นี้เป็นระบบที่ถูกควบคุมด้วยก๊าซฟิล์ม ปริมาณการฟุ้งกระจายที่เกิดขึ้นในของเหลวจึงไม่สำคัญมาก จะคิดแต่ส่วนที่เกิดการถ่ายเทเฉพาะในส่วนที่อยู่ในสภาพเป็นก๊าซเท่านั้น

จากผลการทดลองที่ปรากฏในเอกสารอ้างอิง พบว่าผลการทดลองด้วยก๊าซชนิดที่ละลายในของเหลวได้ง่ายนั้น แตกต่างจากผลการทดลองที่กระทำด้วยก๊าซชนิดที่ละลายในของเหลวได้น้อย ประการหลังนี้นักวิทยาศาสตร์พบว่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวลสารเป็นสัดส่วนกับปริมาณการไหลของของเหลวอย่างเดียว แต่การทดลองในแบบแรกนักวิทยาศาสตร์พบว่า k_G นั้นแปรผันโดยตรงกับความเร็วของก๊าซและของของเหลวด้วย [STEPHENS et al (35), PRATT (36), NORMAN et al (37)] ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในสมการ

$$k_G = \propto G^{m_L n} \quad (69)$$

ค่าคงที่ \propto และค่ายกกำลัง m และ n นั้นแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะการทดลองของนักวิทยาศาสตร์แต่ละท่าน สำหรับ GILLILAND et al (38) ทำการศึกษาการระเหยของของเหลวในกระแสม เขาพบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของก๊าซยกกำลัง 0.๘๓ เท่านั้น ซึ่งแตกต่างไปจากกรณีที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างบน จะเห็นได้ว่าผลการทดลองที่นักวิทยาศาสตร์กระทำมาได้ ยังไม่สามารถสรุปผลลงไปแน่นอนได้

๖.๔.๒ Bubble contacting column

ก๊าซก่อตัวเป็นฟองแล้วผ่านชั้นของเหลวไปออกส่วนบน วิธีการนี้ทำให้เกิดพื้นที่สัมผัสระหว่างก๊าซกับของเหลว TAKEUCHI et al (39) ได้ใช้ก๊าซผสมระหว่างไนโตรเจนไดออกไซด์และอากาศผ่านไปตามชั้นที่มีของเหลวอยู่หุ้ม cap ก๊าซผสมจะก่อตัวเป็นฟองที่ cap TAKEUCHI et al (39) พบว่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวลสารเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อความเร็วของก๊าซ ส่วนปริมาณของของเหลวไม่มีอิทธิพลต่อ $k_G a$ เลย ซึ่งคล้ายกับผลการทดลองของ GILLILAND et al (38) ผลงานเกี่ยวกับ Bubble contacting column ที่ศึกษาเกี่ยวกับก๊าซละลายง่ายนั้นมีน้อยมาก อาจเป็นเพราะการดูดกลืนถึงสมดุลเร็วมาก ยากต่อการทำการทดลองและคำนวณ

๖.๔.๓ Packed column

ตามธรรมชาติของแข็งที่บรรจุอยู่ในหอทดลอง จะทำให้ช่องสำหรับของเหลวไหลผ่านหอทดลองเล็กลงมาก โอกาสที่ช่องไหลทั้งสองจะสัมผัสกันมีมากขึ้น ทางด้านของเหลวเองเกิด renewal surface ขึ้นใหม่ตลอดเวลา เมื่อเป็นดังนี้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารแบบปริมาตร น่าจะมีค่าสูงในกรณีที่เป็นก๊าซละลายง่าย พบว่า $k_G a$ ที่ได้จากการทดลองด้วยหอทดลองบรรจุของแข็งมีค่าต่ำกว่าใน Bubble column แต่ในกรณีของก๊าซที่ละลายได้ง่ายไม่มีผลงานพอที่จะนำมาเปรียบเทียบกันได้ ที่ปรากฏเหตุการณ์เช่นนี้คงเป็นเพราะในหอทดลองที่บรรจุของแข็งอยู่แล้วอาจเกิด preferential passage

หรือเกิด *multidistribution* ขึ้นภายในหอทดลอง จะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้พื้นที่สัมผัสลดลง หรือเป็นเพราะปรากฏการณ์การไหลวนของก๊าซ โดยมันถูกชักนำไหลย้อนกลับมาพร้อมกับของเหลวในบางส่วนของหอทดลอง หรือเพราะเกิดจากแรงเสียดทานของก๊าซกับของเหลวขณะไหลสวนทางกัน

ดังปรากฏผลการทดลองของ SHERWOOD และ HOLLOWAY (40) ที่ทำการทดสอบกับก๊าซออกซิเจนและไฮโดรเจน ที่เป็นก๊าซประเภทละลายในของเหลวได้น้อย เขาทั้งสองพบว่า รูปร่างลักษณะทางกายภาพของของแข็งที่บรรจุในหอทดลอง มีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร HUTCHINGS et al (41) ได้ทำการทดลองกับ อาซิโตน, อากาศและน้ำ โดยใช้ *rashing ring* ขนาด ๐.๘ ซม., ๑.๒ ซม., ๑.๘ ซม. และ ๓.๒ ซม. ในหอทดลองขนาดผ่าศูนย์กลาง ๑๐ ซม. ถึง ๒๕ ซม. เขากล่าวไว้ว่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับความเร็วของก๊าซกับของเหลว และขนาดของของแข็งที่ใช้บรรจุ เขาได้รวบรวมผลการทดลอง แล้วแสดงไว้เป็นสมการดังนี้

$$k_G a = 0.102 d^{0.055} L^{0.059} d - 0.045 G^{0.8} \quad (70)$$

$$\text{และ } k_L a = 0.283 L^{0.8} \quad (71)$$

เมื่อ d = ขนาดของของแข็ง ที่บรรจุในหอทดลอง

G = อัตราการไหลของก๊าซ

L = อัตราการไหลของของเหลว

ผลการทดลองที่ใช้ก๊าซแบบละลายในของเหลวได้ง่ายในหอทดลองแบบบรรจุของแข็งเป็นแบบอยู่นิ่งนี้ นักวิทยาศาสตร์หลายท่าน WHITNEY et al (42), VIDWANS et al (43), DWYER et al (44) ต่างก็พบว่า ทั้งความเร็วของก๊าซและของเหลวต่างก็เป็นตัวแปรสำคัญของสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวลสาร แต่ SUROSKY et al (45) ทำการทดลองการระเหยของน้ำ, เบนซินและสารอื่นๆ ในอากาศเขากลับพบว่า ความเร็วของของเหลวไม่มีอิทธิพลอะไรเลยต่อค่า $k_G a$ จะเห็นว่า ข้อขัดแย้ง

ของนักวิทยาศาสตร์นั้น เกิดจากวิธีการทำการทดลอง และระบบที่ใช้ทำงานรวมทั้งสารที่ใช้แต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันมาก จึงเป็นสาเหตุอีกประการหนึ่งที่การทดลองใหม่นี้พยายามใช้ก๊าซแอมโมเนียกับน้ำ คิดว่าผลการทดลองที่ได้คงพอที่จะมาผูกเป็นสมการที่จะใช้ได้กับกรณีทั่วไป

๖.๔.๔ แบบฟลูอิดโตเซชัน

เท่าที่ปรากฏใน เอกสารอ้างอิง เกี่ยวกับการทดลองการดูดกลืนก๊าซละลายง่ายในของเหลว ในหอทดลองแบบฟลูอิดโตเซชันสามสถานะ มีอยู่เพียงเรื่องเดียวเท่านั้นคือ ผลงานของ DOUGLAS (46) ที่ทำการทดลองในหอทดลองแบบสี่เหลี่ยมที่มีพื้นที่หน้าตัดหนึ่งตารางฟุต ของแข็งที่ใช้เป็น polystyrene กลมและกลวงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑.๕ นิ้ว ความถ่วงจำเพาะเพียง ๐.๑๕ จะเห็นว่าลูกพลาสติกกลมนี้ เกิดฟลูอิดโตเซชันง่ายมาก เพียงแค่ใช้กระแสลมเล็กน้อยเท่านั้นก๊าซที่ใช้เป็นแอมโมเนียผสมอากาศ ละลายในน้ำ จากการทดลองเขาพบว่า k_{Ga} เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของน้ำ แต่ผกผันกับความเร็วของก๊าซ นอกจากนี้ยังพบอีกด้วยว่า ถ้าความสูงของเบดเพิ่มขึ้น k_{Ga} จะมีค่าน้อยลง ซึ่งเหมือนกับผลการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ที่ใช้แก๊ซละลายง่าย ข้อที่น่าสังเกตก็คือ ความเร็วของก๊าซมากขึ้น ทำให้ k_{Ga} น้อย ซึ่งตรงข้ามกับผลการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น อาจเป็นเพราะความเร็วของแก๊ซที่ใช้สูงมากจนน้ำไม่สามารถดูดกลืนก๊าซแอมโมเนียได้ทัน ตัวแปรในระบบฟลูอิดโตเซชันสามสถานะมีเพิ่มมากขึ้นจากระบบต่างๆที่กล่าวมาแล้วสามระบบแรก ความเข้มข้นของก๊าซผสมก็เป็นตัวแปรอีกตัวหนึ่งด้วยสำหรับแก๊ซละลายง่าย ดังที่ NORMAN et al (37) พบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารระหว่างก๊าซแอมโมเนีย และน้ำ เป็นสัดส่วนผกผันกับความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในก๊าซผสม

สำหรับฟลูอิดโตเซชันสามสถานะแบบเบดที่เป็นเนื้อเดียวกันยังไม่เคยมีผลการทดลองปรากฏไว้ในเอกสารอ้างอิงเลย จะเห็นว่าการทดลองคราวนี้เป็นการทดลองแบบผู่ก เบิก คงจะมีปัญหาเกี่ยวกับการทดลองไม่น้อยทีเดียว

๖.๕ อิทธิพลของสัมประสิทธิ์การฟุ้งกระจายของก๊าซ ((Diffusivity of gas)

เมื่ออุณหภูมิของก๊าซหรือภายในหอทดลองเปลี่ยนไป ย่อมต้องกระทบกระเทือนต่อปริมาณการดูดกลืนของก๊าซในของเหลว SHERWOOD et al (40) พบว่าเมื่ออุณหภูมิภายในหอทดลองสูงขึ้น สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวลสารจะสูงขึ้น เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า การฟุ้งกระจายของก๊าซมีค่ามากขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวลสารจึงควรที่จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัมประสิทธิ์การฟุ้งกระจายของก๊าซด้วย จึงมีนักวิทยาศาสตร์ที่สนใจในความสัมพันธ์ทั้งสอง เเทมนี้ เป็นอย่างมาก และได้ทำการทดลองกับก๊าซหลายชนิดด้วยกัน โดยเฉพาะสำหรับก๊าซที่ละลายได้ง่ายในของเหลวนักวิทยาศาสตร์พบว่า ทั้งสอง เเทมแปรผันกันโดยตรงเป็นแบบยกกำลัง ดังแสดงไว้ในตารางที่ ๘

๖.๖ สรุป

การศึกษาการถ่ายเทมวลสารในหอทดลองที่มีการดูดกลืนก๊าซด้วยของเหลว มีมานานและกระทำกันอย่างกว้างขวางมาก จนปัจจุบันได้มีการพัฒนาทางเทคโนโลยีใหม่ๆ เกิดขึ้นเสมอ โดยเฉพาะการศึกษาเกี่ยวกับก๊าซที่ละลายง่ายในของเหลว สามารถจัดแบ่งเป็นพวกตามลักษณะการทดลองได้ ๔ แบบ คือ

- 1) Wetted-wall-column or falling film
- 2) Bubble contacting
- 3) Packed column
- 4) Fluidization three-phase

ในแต่ละระบบก็จะมีคุณสมบัติภายในตัวมันเอง อย่างเช่นใน Bubble contacting การทำงานเป็นไปอย่างง่าย ๆ แต่จะมีการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้นอย่างมาก เพราะมีการเพิ่มพื้นผิวสัมผัสของก๊าซและของเหลว และการไหลเวียนของของเหลวภายในหอทดลองมีส่วนช่วยให้ความเร็วของฟองก๊าซลดช้าลง ประโยชน์ของการศึกษาเรื่องการดูดกลืนนี้สามารถนำไปประยุกต์กับการศึกษาในสาขาวิชาอื่นๆ อีกหลายทางด้วยกัน อาทิเช่น ศึกษาทางเคมีชีวภาพ การหมัก และการกำจัดน้ำเสีย เป็นต้น สิ่งที่ยังเป็นปัญหาอยู่จนถึง

ตารางที่ ๘

ลำดับที่	ผู้รายงาน	ระบบ	กำลังของ ส.ป.ส. ฟุ้งกระจาย
1.	SUROSKY, A.E and DODGE, B.F. (45)	แอลกอฮอล์, เบนซิน อากาศและน้ำ	0.15
2.	SCHEIBEL, E.G and OTHMER, D.F. (47)	เมธิลดีโตน, อากาศ และน้ำ	0.5-1.0
3.	VANKREVELEN, D.M. and HOFTYZER, P.J. (4)		0.67
4.	SHERWOOD, T.K and HOLLOWAY, F.A.L. (40)	คาร์บอนไดออกไซด์, ออกซิเจน	0.5
5.	PRATT, H.R.C. (36)	แอลกอฮอล์, น้ำ แอมโมเนีย, น้ำ	0.667
6.	GILLILAND, E.R. and SHERWOOD, T.K	ไอน้ำ, อากาศ	0.56
7.	STEPHENS, E.J and MORRIS, G.A. (35)	แอมโมเนีย, น้ำ	0.56

ปัจจุบันก็คือ การหาปริมาณพื้นผิวสัมผัสที่มีอยู่ในหอทดลอง ทั้งนี้เกิดจากกลไกของฟองก๊าซ การไหลของของเหลว ลักษณะของฟองก๊าซ หรือช่องทางที่ก๊าซผ่าน เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาที่ทำการทดลองอยู่

สำหรับฟลูอิดไดเซชันสามสถานะ เป็นปรากฏการณ์ที่เพิ่งพัฒนามาไม่นานนี้เอง จะพบว่าผลการทดลองยังสับสนอยู่มาก และนักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่มักจะศึกษาในแบบการไหลทางเดียวกันของก๊าซและของเหลว เนื่องจากวิธีการทำการทดลองง่าย สามารถใช้ของแข็งที่มีความถ่วงจำเพาะสูงๆได้ กำลังเป็นที่สนใจของวงการอุตสาหกรรมอยู่มาก ซึ่งได้เริ่มประยุกต์ใช้กับงานทาง petrochemical เป็นส่วนใหญ่ เพราะระบบการทำงานมีประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตามก็ยังมีใครสามารถอธิบายถึงกลไกที่เกิดขึ้นในเบดได้ทั้งหมด ทั้งนี้เพราะจำนวนตัวแปรมีอยู่มากมาย

โดยเฉพาะการศึกษาถึงการถ่ายเทมวลสารแล้วยังมีผู้น้อยมาก จากการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ปรากฏอยู่ในเอกสารอ้างอิงนั้นก็เป็นการศึกษาในหลายระบบ แต่ก็พอสรุปได้ว่า ผลงานทดลองของนักวิทยาศาสตร์ที่ทำไปแล้ว สามารถแสดงอยู่ในสมการของ

$$k_G a = a_{21} L^n G^m Y^{-p} H^{-q}$$

สมการข้างบนนี้ถ้านำมาใช้กับระบบฟลูอิดไดเซชันนั้น คิดว่ายังขาดตัวแปรอีกหลายตัวที่เดียว อย่างเช่น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของของแข็ง ความถ่วงจำเพาะของของแข็ง ซึ่งในภาคแรกของการทดลองนี้พบว่ามีส่วนช่วยให้ปริมาณก๊าซค้างเพิ่มขึ้น เป็นสิ่งแน่นอนที่พื้นที่สัมผัสระหว่างก๊าซและของเหลวต้องเพิ่มขึ้นด้วย ในบทความต่อไป จะได้นำตัวแปรที่สำคัญมาวิเคราะห์และผูกเป็นสมการสำหรับการศึกษากายถ่ายเทของมวลสารในฟลูอิดไดเซชันสามสถานะต่อไป