หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ ๒

การวิเคราะห์ทางทฤษฎี ปริมาณก๊าซค้างในหอทดลอง

จากการศึกษาและวิเคราะห์ ระบบการทำงานของหอทดลองแบบ Bubble Column ที่ไม่มีการไหลต่อเนื่องของของเหลว พบว่าปริมาณก๊าซค้างในเบดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับตัวแปรทั้งหมด ๗ ตัวด้วยกันดังนี้คือ ความเร็วของก๊าซ (U_G), ความหนืดของของเหลว (μ_L), ความหนาแน่นของของเหลว (ρ_L), อัตราเร่งที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก (g), แรงดึงผิวระหว่างก๊าซและของเหลว (σ), ความสูงของเบด (H) และขนาดผ่าศูนย์กลางของหอทดลอง (D_c) ถ้าเขียนเป็นสมการของความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณก๊าซค้างกับตัวแปรต่าง ๆ จะได้ดังนี้

$$\epsilon_G = f(U_G, \mu_L, \rho_L, g, \sigma, H, D_c) \qquad (27)$$

พิจารณาในสมการที่ (27) แล้วพบว่า หน่วยของตัวแปรทั้งหมดใช้หน่วยมาตรฐานเพียง ๓ หน่วย อาศัยการวิเคราะห์แบบ dimensional analysis ตัวแปรทางด้านขวามือเมื่อนำมาจับรวมเป็นกลุ่มแล้วจะมีอยู่ ๔ กลุ่มดังนี้

$$\epsilon_G = f\left[\left(\frac{U_G}{\sqrt{g D_c}}\right), \left(\frac{D_c}{H}\right), \left(\frac{\rho_L D_c^2 g}{\sigma}\right), \left(\frac{D_c^3 \rho_L^2 g}{\mu_L^2}\right)\right] \qquad (28)$$

หรือ

$$\epsilon_G = f\left[Fr, Bo, \frac{D_c}{H}, \frac{D_c^3 \rho_2^2 g}{\mu_L^2}\right] \qquad (29)$$

$$Fr = \text{Froude number} = \frac{U_G}{\sqrt{g D_c}}$$

และ

$$Bo = \text{Bond number} = \frac{\rho_L D_c^2 g}{\sigma}$$

ผลงานที่พอปรากฏในเอกสารอ้างอิงนั้น ส่วนมากนักวิทยาศาสตร์พบว่าปริมาณก๊าซค้าง เป็นสัดส่วนกับตัวแปรแบบยกกำลัง ดังนั้นสมการที่ (29) เมื่อนำมาเขียนเป็นสมการยกกำลังจะได้ดังข้างล่างนี้

$$\epsilon_G = a_1 Fr^{b_1} Bo^{b_2} \left(\frac{D_c}{H}\right)^{b_3} \left(\frac{D_c^3 \rho_L^2 g}{\mu_L^2}\right)^{b_4} \qquad (30)$$

คราวนี้ปล่อยให้ของเหลวไหลสวนทางกับก๊าซ เป็นที่ทราบแล้วว่าการไหลของของเหลวมีส่วนช่วยให้ปริมาณก๊าซค้างมากขึ้น ความเร็วของเหลวจะเป็นตัวแปรอีกตัวหนึ่งด้วย สมการที่ (27) กลายเป็น

$$\epsilon_G = f(U_G, \mu_L, \rho_L, g, \sigma, H, D_c, U_L) \qquad (31)$$

ถ้าเขียนเป็นสมการแบบ dimensionless ก็จะได้

$$\epsilon_G = f\left(Fr, Bo, \frac{D_c}{H}, \frac{D_c^3 \rho_L^2 g}{\mu_L^2}, Re_L\right) \qquad (32)$$

$$Re_L = \text{Liquid Reynolds number} = \frac{\rho_L D_c U_L}{\mu_L}$$

ส่วนของปริมาณก๊าซค้างที่เพิ่มขึ้นนี้เมื่อนำมาเขียนเป็นสมการยกกำลังโดยให้ทุกเทอมอยู่ในผลคูณดังนี้

$$\epsilon_G = a_2 Fr^{b_1} Bo^{b_2} \left(\frac{D_c}{H}\right)^{b_3} \left(\frac{D_c^3 \rho_L^2 g}{\mu_L^2}\right)^{b_4} (Re_L)^{b_5} \qquad (33)$$

ก็จะผิดความจริงไป เพราะถ้าลดความเร็วของของเหลวจนเป็นศูนย์ ผลคูณทางขวามือของสมการที่ (33) จะกลายเป็นศูนย์ไปด้วย แต่จริง ๆ แล้วจะกลายไปเป็นระบบแรก ดังนั้นเทอมของ Liquid Reynolds number ควรอยู่ในรูปของผลบวกมากกว่า ดังนั้นสมการที่ (33) เขียนใหม่ให้อยู่ในรูป

$$\epsilon_G = a_2 Fr^{b_1} Bo^{b_2} \left(\frac{D_c}{H}\right)^{b_3} \left(\frac{D_c^3 \rho_L^2 g}{\mu_L^2}\right)^{b_4} \left[1 + a_3 Re_L^{b_5}\right] \qquad (34)$$

จัดการปิดไม่ให้ของเหลวไหล แต่เติมเม็ดของแข็งลงไปโดยใช้เม็ดของแข็งที่มีค่าของ $\frac{\rho_S U_B^2 d_p}{\sigma}$ มากกว่า ๓ ขึ้นไป เม็ดของแข็งนอกจากจะช่วยให้ฟองก๊าซแตกตัวแล้ว ยังทำให้เกิดการหมุนเวียนของฟองก๊าซมากขึ้นภายในเบดด้วย จะมากน้อยเท่าไรก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดของแข็งที่ใช้ ซึ่งประกอบด้วยความหนาแน่นของของแข็ง ρ_S , ขนาดผ่าศูนย์กลางของทรงกลม d_p , จำนวนของเม็ดทรงกลม $\frac{V_S}{V_P}$ และความสูงของเบดจะรวมอยู่ในเทอมหลังนี้ด้วย เพราะเป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่า ยิ่งเบดสูงขึ้นขนาดของฟองก๊าซจะเล็กลง ผิดกับของ Bubble Column ดังนั้นสมการสำหรับฟลูอิดไดเซชั่นสามสถานะแบบไม่มีของเหลวไหลแบบต่อเนื่องแสดงได้เป็น

$$\epsilon_G = f\left(U_G, \mu_L, \rho_L, g, \sigma, H, D_c, \rho_S, \frac{V_S}{V_P}, d_p, \frac{H}{D_c}\right) \qquad (35)$$

สมการลักษณะ dimensionless และยกกำลังควรคล้ายกับระบบ Bubble Column ที่มีการไหลของของเหลวแบบต่อเนื่องดังนี้

$$\epsilon_G = a_4 Fr^{b_1} Bo^{b_2} \left(\frac{D_c}{H}\right)^{b_3} \left(\frac{D_c^3 \rho_L^2 g}{\mu_L^2}\right)^{b_4} \left[1 + a_5 (Mv)^{b_6} (Ga)^{b_7} \left(\frac{V_S}{V_P}\right)^{b_8} \left(\frac{H}{D_c}\right)^{b_9}\right] \qquad (36)$$

$$Mv = \text{Mass volumigue number} = \frac{\rho_S - \rho_L}{\rho_L}$$

$$Ga = \text{Galileo number} = \frac{\rho_L^2 d_p^3 g}{\mu_L^2}$$

ฟลูอิดไดเซชั่นสามสถานะแบบที่มีของเหลวไหลต่อเนื่อง จะเป็นแบบที่รวมเอาระบบทั้งสามดังกล่าวแล้วมาไว้ในหอทดลองเดียวกัน ดังนั้นสมการสำหรับการคำนวณหา

ปริมาณก๊าซค้าง ก็เท่ากับนำสมการที่ (27), (31) และ (35) มารวมไว้เป็นสมการที่มีตัวแปรทั้งหมด ๑๒ ตัว และเมื่อเขียนเป็นสมการยกกำลังของ dimensionless group ก็จะได้เป็น

$$\epsilon_G = a_6 Fr^{b_1} Bo^{b_2} \left(\frac{D_c}{H}\right)^{b_3} \left(\frac{D_c^3 \rho_L^2 g}{\mu_L^2}\right)^{b_4} \left[1 + a_7 Re_L^{b_5} + a_8 (Mv)^{b_6} (Ga)^{b_7} \left(\frac{V_S}{V_P}\right)^{b_8} \left(\frac{H}{D_c}\right)^{b_9}\right] \quad (37)$$

การศึกษาครั้งนี้จะทำการทดลองในหอทดลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเดียว ของเหลวใช้น้ำ ก๊าซใช้อากาศ และขนาดของเม็ดของแข็งก็มีขนาดเดียว ดังนั้น เทอม $\frac{D_c^3 \rho_L^2 g}{\mu_L^2}$, Bo, Mvและ Ga จะเป็นเทอมมีค่าคงที่ สามารถเขียนรวมกับค่าคงที่ a_6 และ a_8 ได้เป็นสมการใหม่คือ

$$\epsilon_G = a_9 Fr^{b_1} \left(\frac{D_c}{H}\right)^{b_3} \left[1 + a_7 Re_L^{b_5} + a_{10} \left(\frac{V_S}{V_P}\right)^{b_8} \left(\frac{H}{D_c}\right)^{b_9}\right] \quad (38)$$