

บทที่ ๕

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

๕.๑ การศึกษาถึงอิทธิพลของ Froude number

ในหัวข้อที่แล้วได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซในเบคเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ Froude number (หรือความเร็วของก๊าซ) ในมาตราส่วนแบบ logarithmics ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยของความชันของเส้นตรงเท่ากับ ๐.๕๐๙ ค่านี้สามารถนำมาใช้เป็นค่ายกกำลังของ Froude number ได้ ดังนั้นสมการที่ (43) เขียนใหม่ได้เป็น

$$\epsilon_G = a_{11} Fr^{0.509} \quad (44)$$

พบว่าค่ายกกำลังของ Froude number นี้ น้อยกว่าของ DAMRONGLERD⁽³⁰⁾ เล็กน้อย ทั้งนี้เพราะขนาดของหอตทดลองครั้งนี้เล็กกว่า ๑๐ ซม. และความเร็วของก๊าซในการทดลองครั้งนี้อยู่ในระหว่าง ๒.๖ ถึง ๘ ซม.ต่อวินาที ซึ่งสูงกว่าของ DAMRONGLERD อาจเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลง hydrodynamics ของเบคเกิดขึ้น ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณความเร็วของก๊าซมากขึ้นจนถึงระดับหนึ่งแล้ว ปริมาณ hold-up ของก๊าซจะไม่เพิ่มขึ้นอีกเลย ดังนั้นการทดลองครั้งนี้จึงสอดคล้องกับผลงานของนักวิทยาศาสตร์หลายท่านดังกล่าวแล้ว

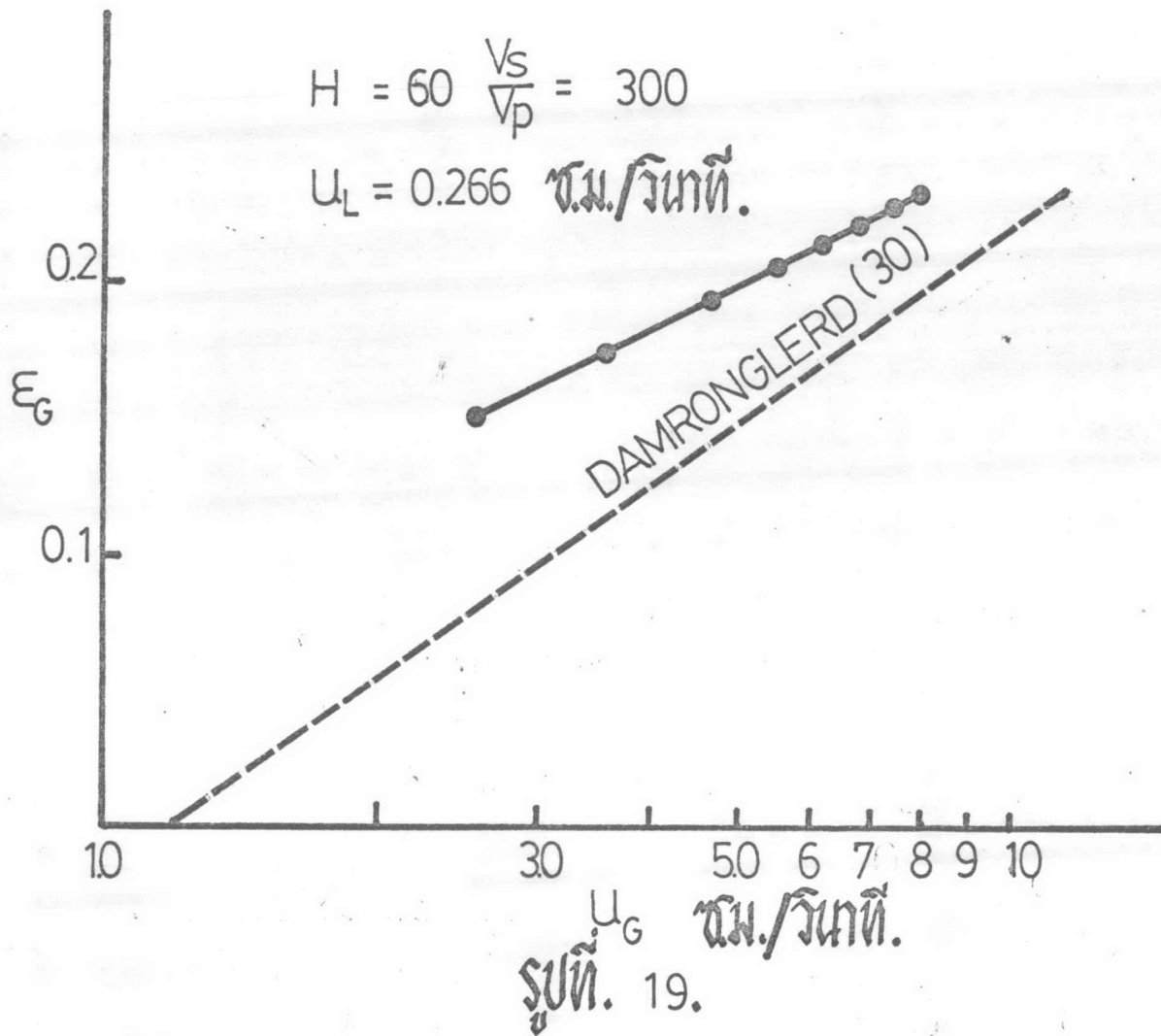
เทอมต่าง ๆ ที่วัดเป็นค่าคงที่จะรวมอยู่ในเทอมของ a_{11} ทั้งหมด

๕.๒ การศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราส่วนของ D_c/H

จากการเทียบผลการทดลองของ DAMRONGLERD⁽³⁰⁾ และผลการทดลองครั้งนี้ พบว่าผลการทดลองครั้งนี้มีค่า hold-up สูงกว่า (รูปที่ ๑๔) เพราะขนาดของหอตทดลองที่ใช้มีขนาดเล็กกว่า ๑๐ ซม. จะเห็นได้ว่าผลการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับ

$$H = 60 \frac{V_s}{V_p} = 300$$

$$u_L = 0.266 \text{ ซม./วินาที.}$$



ผลการทดลองของ YOSHIDA et al⁽³¹⁾ และ HUGHMARK⁽¹⁶⁾ คงเป็นเพราะเกิดอิทธิพลของ wall effect ภายในหอทดลองก็ได้ จึงทำให้ปริมาณของก๊าซในหอทดลองเล็กมีปริมาณมากกว่าในหอทดลองที่ใหญ่ YOSHIDA และผู้ร่วมงานได้กล่าวว่าเกิดจากการไหลหมุนเวียนของของเหลวภายในหอทดลอง ก็มีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณของก๊าซให้คงอยู่ในหอทดลองได้มากขึ้น ในการทดลองของ DAMRONGLERD⁽³⁰⁾ กับ HOUGHTON-et al⁽⁶⁾ พบว่า ปริมาณของก๊าซในหอทดลองแปรผกผันกับความสูงของเบด เนื่องจากความเร็วของฟองก๊าซยิ่งใกล้ผิวหน้าของเบดยิ่งเร็วมากขึ้น เพราะขนาดของฟองอากาศใหญ่ขึ้น และความกดดันที่กระทำต่อฟองอากาศน้อยลง การทดลองครั้งนี้จึงได้นำตัวแปรทั้งสองมาผูกกันเป็นเทอมเดียว แล้วจึงศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรทั้งสองนี้ หัวข้อที่แล้วได้แสดงให้เห็นว่าตัวแปรทั้งสองนี้แปรผันโดยตรงกับปริมาณของแก๊สที่คงอยู่ในหอทดลองในมาตราส่วนแบบ semi logarithmics ความสัมพันธ์ทั้งสองเขียนได้ดังนี้

$$\epsilon_G = a_{12} \exp 1.44 \frac{D_c}{H} \quad (45)$$

ในเทอมของ a_{12} จะมีปริมาณของ Froude number อยู่ด้วยเพราะในแต่ละอนุกรมของการทดลองได้จำกัดความเร็วของก๊าซให้คงที่ ดังนั้น สมการที่ (45) จึงเขียนใหม่เป็น

$$\epsilon_G = a_{13} Fr^{0.509} \exp 1.44 \frac{D_c}{H} \quad (46)$$

สำหรับค่าคงที่ a_{13} นี้ จะมีเทอมของ $Bo, Re_L, \frac{V_S}{V_P}, Mv, \frac{H}{D_c}$ และ Ga รวมอยู่ด้วย

๔.๓ การศึกษาถึงอิทธิพลของ Liquid Reynolds number (Re_L)

ขณะที่ของเหลวไหลสวนทางกับก๊าซลงมานั้น เปรียบเสมือนกับการเกิดการเปลี่ยนระบบการทำงานจากระบบ static เป็นระบบ continuous ซึ่ง DAMRONGLERD⁽³⁰⁾ ได้ขยายสมการที่จะใช้หาความสัมพันธ์ของ Gas hold-up กับ

Liquid Reynolds number ออกไปจากระบบแรกดังนี้

$$\epsilon_G = a_{13} Fr^{0.509} \exp 1.44 \frac{D}{H} (1 + a_7 Re_L^{b_5}) \quad (47)$$

ปริมาณของ a_7 นี้ DAMRONGLERD⁽³⁰⁾ ได้พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.004 และ b_5 เท่ากับ 0.346 เมื่อนำค่าที่ได้ทั้งสองแทนค่าลงในสมการที่ (47) แล้ว นำมาตรวจสอบกับผลการทดลองครั้งนี้ ซึ่งได้ทำการทดลองโดยเปลี่ยนความเร็วเชิงเส้นของน้ำ ตั้งแต่ 0.266 ซม.ต่อวินาที จนถึง 0.324 ซม.ต่อวินาที พบว่า a_{13} ที่ได้จะเพิ่มตามความเร็วของน้ำด้วยดังผลการคำนวณในตารางที่ ๔ ทดลองคำนวณใหม่ ใช้วิธี Trial and error จนในที่สุดได้ค่าของ a_{13} มีค่าใกล้เคียงกันทุกความเร็วของน้ำดังตารางที่ ๖ จึงสรุปได้ว่า ค่า b_5 สำหรับการทดลองในหอทดลองขนาดเล็กกว่า ๑๐ ซม. ควรจะใช้ค่าเท่ากับ 0.๕๘ สมการที่ (47) เขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\epsilon_G = a_{13} Fr^{0.509} \exp 1.44 \frac{D}{H} (1 + 0.015 Re_L^{0.58}) \quad (48)$$

๕.๔ ศึกษาอิทธิพลของของแข็ง $\left(\frac{V_S}{V_P}\right)$ และ $\left(\frac{H}{D}\right)$

ตามธรรมดาเมื่อเติมของแข็งลงไปใน Bubble Column และขนาดเม็ดทรงกลมมันโตพอสมควรแล้ว โอกาสที่จะพบกับฟองก๊าซแล้วทำให้ฟองนั้นแตกกระจายเป็นฟองเล็กได้มากขึ้นเท่าไรก็ขึ้นอยู่กับจำนวนเม็ดทรงกลมที่ใช้ และถ้าเบตยิ่งสูงโอกาสพบกันของทั้งสามสถานะยิ่งมีมากขึ้น ดังนั้นคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดทรงกลมจึงมีอิทธิพลต่อการเกิดฟองก๊าซเป็นอย่างมาก จึงสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (37) และ (38) หลังจากได้ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรบางตัวแล้ว ก็สรุปเป็นความสัมพันธ์ใหม่ดังนี้

ตารางที่ ๕

ความเร็วอากาศ ๒.๖๔ ชม.ต่อวินาที ค่า a_{13} ในสมการที่ (46)

U_L ชม./วินาที H ชม.	0.266	0.333	0.388	0.436	0.480	0.554	0.633	0.728
70	0.596	0.612	0.620	0.635	0.650	0.686	0.670	0.678
60	0.602	0.609	0.620	0.636	0.655	0.653	0.670	0.677
50	0.604	0.590	0.619	0.641	0.655	0.657	0.673	0.676
40	0.603	0.622	0.627	0.644	0.657	0.656	0.677	0.676
30	0.603	0.621	0.634	0.645	0.649	0.662	0.674	0.682
25	0.601	0.621	0.630	0.649	0.666	0.668	0.681	0.688
20	0.609	0.624	0.642	0.651	0.669	0.669	0.678	0.697

ตารางที่ ๖

$$b_5 = 0.58, \quad H = 70 \text{ ซม.}, \quad a_7 = 0.015$$

U_L	0.266	0.333	0.388	0.436	0.480	0.554	0.633	0.728
a_{13}	0.429	0.498	0.499	0.502	0.501	0.498	0.503	0.499

$$\epsilon_G = a_9 Fr^{0.509} \exp. 1.44 \frac{D}{H} \left[1 + 0.015 Re_L^{0.58} + a_8 \left(\frac{v_s}{v_p} \right)^{b_8} Mv^{b_6} \left(\frac{H}{D_c} \right)^{b_9} Ga^{b_7} \right] \quad (49)$$

การศึกษาค้นคว้านี้ได้ใช้ขนาดของ เม็ดทรงกลมขนาดเดียว, ความหนาแน่นของเม็ดทรงกลมก็มีได้เปลี่ยนแปลง แม้กระทั่งจำนวนที่ใช้ก็ เปลี่ยนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การทดลองเปลี่ยนแปลงเพียงส่วนสูงเท่านั้นเอง สำหรับค่าของ a_8 , b_6 , b_7 และ b_8 จากการทดลองของ DAMRONGLERD⁽³⁰⁾ ที่ได้ศึกษาอย่างละเอียดถึงอิทธิพลต่าง ๆ มา และได้พบค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$a_8 = 9.26 \times 10^{-3}$$

$$b_6 = 0.375$$

$$b_7 = 0.225$$

$$b_8 = 0.306$$

การทดลองนี้จะนำค่าทั้งหมดนี้มาใช้เลย และศึกษาถึงอิทธิพลของ $\frac{H}{D_c}$ โดยคำนวณหาค่าของ a_9 และ b_9 ต่อไป

พบว่าค่าคงที่ a_9 ที่คำนวณจากผลการทดลองครั้งนี้ โดยใช้สมการที่แนะนำโดย DAMRONGLERD⁽³⁰⁾ นั้น มีค่าลดลงเมื่อเบดสูงขึ้น เหมือนกับค่า a_{13} ในตารางที่ ๕ จึงต้องใช้วิธี

คำนวณแบบ Trial and error โดยกำหนดค่าต่าง ๆ ของ b_G แล้วคำนวณหาค่า a_G จนกว่าจะได้ค่าคงที่ ดังในตารางที่ ๗ ค่าเฉลี่ยของ a_G เท่ากับ ๐.๕๐๕ ดังนั้นสมการที่ (49) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

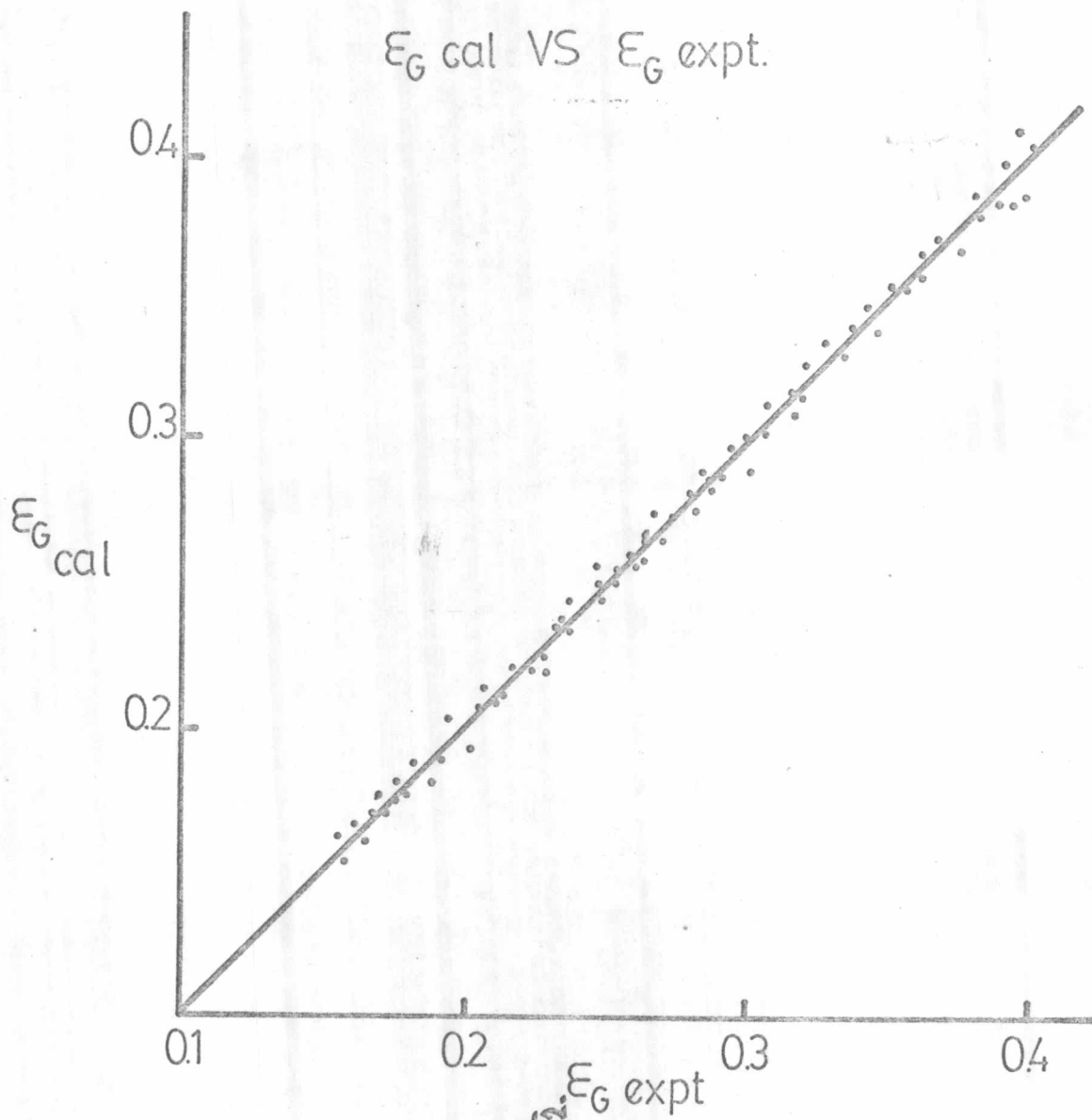
$$\epsilon_G = 0.505 Fr^{0.509} \exp. 1.44 \frac{D}{H} \left[1 + 0.015 Re_L^{0.58} + 9.26 \times 10^{-3} \left(\frac{V_S}{V_P} \right)^{0.306} MV^{0.375} \left(\frac{H}{D} \right)^{0.02} Ga^{0.225} \right] \quad (50)$$

๕.๕ เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและผลที่ได้จากการคำนวณ

จากผลการทดลองที่ได้นำมาคำนวณหาค่าปริมาณก๊าซค้างจากสมการที่ (50) แล้วนำมา plot กับค่าปริมาณก๊าซค้างที่ได้จากการทดลองในมาตราส่วนเส้นตรง พบว่าจุดที่ได้วางเรียงกันอยู่บนเส้นทะแยงมุม ความผิดพลาดไปไม่เกิน ๕ เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสมการที่ (50) นี้ สามารถใช้หาปริมาณของก๊าซในหอทดลองได้ในช่วงความเร็วของน้ำและของก๊าซตามที่ได้กำหนดไว้ในภาคทดลอง รวมทั้งยังสามารถใช้กับความสูงของเบคจนถึง ๗๐ ซม. ส่วนขนาดของหอทดลองควรใช้ไม่เกิน ๑๐ ซม.

สรุปและวิจารณ์

การศึกษาภาค Hydrodynamics ของฟลูอิดไดเซชันนี้ มีความละเอียดอ่อนมาก ดังจะเห็นได้จากผลงานที่ปรากฏอยู่ในเอกสารอ้างอิงทั้งหลายมีอยู่น้อยมาก งานนี้ นับได้ว่าเป็นอีกก้าวหนึ่งสำหรับการศึกษาแบบ Particulate fluidized bed ทั้งยังพบผลการทดลองสอดคล้องกับนักวิทยาศาสตร์หลายท่านที่ได้พบว่า ปริมาณของก๊าซที่ค้างอยู่ในหอทดลองมีปริมาณมากขึ้นเมื่อใช้ขนาดของหอทดลอง เล็กลง และยังพบอีกว่าปริมาณของก๊าซ hold-up นี้ จะมีปริมาณคงที่เมื่อเพิ่มความเร็วของก๊าซสูงขึ้น สิ่งที่น่ายินดีเป็นอย่างยิ่งก็คือ การทดลองครั้งนี้สามารถหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ และผูกกันเข้าเป็นสมการที่ใช้ได้ในกรณีเกือบทั่วไป ดังนี้



SUN. 20.

ตารางที่ ๗

$$U_L = 0.266$$

กำหนดให้ $b_g = 0.25$

	H	70	60	50	40	30	25	20
$U_L = 0.266$	a_g	0.498	0.502	0.504	0.505	0.503	0.501	0.506
$U_L = 0.333$	a_g	0.498	0.495	0.478	0.504	0.503	0.503	0.505

$$b_g = 0.02$$

	H	70	60	50	40	30	25	20
$U_L = 0.266$	a_g	0.504	0.506	0.507	0.508	0.508	0.506	0.508
$U_L = 0.333$	a_g	0.503	0.502	0.500	0.505	0.506	0.506	0.506

$$\epsilon_G = 0.505 Fr^{0.509} \exp. 1.44 \frac{D_c}{H} \left[1 + 0.015 Re_L^{0.58} + 9.26 \times 10^{-3} \left(\frac{V_s}{V_p} \right)^{0.306} MV^{0.375} \left(\frac{H}{D_c} \right)^{0.02} Ga^{0.225} \right]$$

เมื่อนำผลที่ได้มาคำนวณตามสมการข้างบนนี้แล้ว นำไป plot กับค่า gas hold-up ที่วัดได้จากการทดลองดังแสดงไว้ในรูปที่ ๒๐ พบว่าจุดได้เรียงตัวกันอยู่บนเส้นตรงของมาตราส่วนเส้นตรง มีค่าผิดพลาดไม่เกินร้อยละ ๕.๐