

การศึกษาพฤติกรรมการไหลภายในเครื่องปฏิกรณ์สเป้าเต็ดเบด
3 ภูมิภาคแบบ 2 และ 3 มิติ

STUDY OF FLOW BEHAVIOR IN 2 AND 3 DIMENSIONAL,
THREE PHASE SPOUTED BED REACTORS

วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา, สุวิทย์ เตีย, พงศนรินทร์ จำรัส และอรรถศักดิ์ จารีย์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถนนสุขสวัสดิ์ 48 กรุงเทพฯ 10140

Virote Boonamnuayvitaya, Suvit Tia, Pongnarin Jamrak and Attasak Jaree
*King Mongkut's Institution of
Technology Thonburi Suksawat 48 Rd., Bangkok 10140*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลและ Gas Holdup ภายในปฏิกรณ์สเป้าเต็ดเบด 3 ภูมิภาค แบบ 2 และ 3 มิติ เพื่อดูผลกระทบของความเร็วอากาศ ผลการทดลองพบว่าสามารถแบ่งพฤติกรรมการไหลเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงความเร็วอากาศต่ำ (ยังไม่เกิดฟองอากาศหลัก) เกิดฟองอากาศเล็กๆ ขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอเคลื่อนที่ขึ้นแบบเป็นเกลียวเมื่อมองจากปฏิกรณ์ 3 มิติหรือโค้งกลับไปกลับมาเมื่อมองจากปฏิกรณ์ 2 มิติ และช่วงความเร็วอากาศสูง (เกิดฟองอากาศหลัก) เกิดฟองอากาศขนาดใหญ่กว่าฟองที่มีอยู่ทั่วไปเคลื่อนที่ในลักษณะเดียวกับความเร็วอากาศต่ำ นอกจากนั้น Gas Holdup มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร็วอากาศ โดยที่ขนาดและสัดส่วนมวลของถ่านหินไม่มีอิทธิพลต่อ Gas Holdup ปรากฏอย่างเด่นชัด

ABSTRACT

The objectives of this work are to study the characteristics of the flow patterns and gas holdup in three phase spouted bed of 2 and 3 dimensions under the effect of air velocity. We found that flow patterns could be divided in two regimes. The first was dispersed bubble regime (low gas velocity) where small bubble presented and rised spirally in three dimensional reactor or rised sinusoidally in two dimensional reactor. The second one was coalesced bubble regime (high gas velocity) where large bubble presented and rised in the same manner as in low gas velocity. In addition, Gas Holdup increased with the increasing air velocity, while coal size and mass fraction almost had no effect on the Gas Holdup.

บทนำ

ปัจจุบันผู้วิจัยกำลังดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดกำมะถันในถ่านหิน โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้จะมีลักษณะเป็นแบบ 3 ภูมิภาค มี ถ่านหิน, สารอาหาร และอากาศ โดยที่อากาศจะถูก ป้อนจากส่วนล่างของปฏิกรณ์แบบสะเปาเต็ดเบต เนื่องจากข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการออกแบบเครื่อง ปฏิกรณ์ประเภทนี้ยังไม่มีปรากฏ ผู้วิจัยจึงเริ่มงานวิจัย จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วอากาศที่มีต่อการ กระจายตัวของอนุภาคถ่านหินในเครื่องปฏิกรณ์ เนื่องจากการกระจายตัวของของแข็ง

การกระจายตัวของของแข็งในของเหลวจะขึ้น อยู่กับความเร็วก๊าซซึ่งนอกจากจะป้อนเข้ามาเพื่อถ่าย โอนมวลให้กับของเหลวแล้วยังทำหน้าที่กวนให้อนุภาค ของแข็งลอยตัวอยู่ในของเหลวด้วย โดยทั่วไปของแข็งที่ กระจายตัวในของเหลวอย่างสม่ำเสมอจะช่วยให้เกิด ปฏิกริยาได้ดี เพราะถ้าของแข็งมีการกระจายตัวหนา แน่นในบางบริเวณของเครื่องปฏิกรณ์ จะทำให้ของ เหลวไม่สามารถสัมผัสกับผิวของแข็งบริเวณที่เกิดเป็น กลุ่มก้อน ปฏิกริยาบนของแข็งเกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ และได้การแปลงผัน (conversion) แตกต่างกัน ดังนั้นการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบ 3 เฟสนี้จำเป็นต้องศึกษาความเร็ววิกฤตของก๊าซที่ทำให้ของแข็ง กระจายตัวในของเหลวอย่างสม่ำเสมอ ตลอดจน พฤติกรรมการไหลภายในปฏิกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์

1. ถ่านหิน

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกถ่านหินเป็นอนุภาค ของแข็ง เพื่อเป็นข้อมูลขั้นพื้นฐาน ทำโดยบดย่อยถ่าน หินให้ละเอียดด้วย Ball Mill แล้วจึงคัดขนาดของ ถ่านหินโดยใช้ตะแกรง เพื่อให้ได้อนุภาคถ่านหินขนาด 100-150, 150-200 และ 210-290 ไมครอน โดยใช้ถ่านหินลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะ มีองค์ประกอบดังนี้

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของกำมะถันในถ่าน หินลิกไนต์

องค์ประกอบ	สัดส่วนโดยน้ำหนัก
Moisture	18.75%
Ash	46.16%
Total sulfur	5.83%
Organic sulfur	1.13%
Pyrite sulfur	2.4%
Sulfate sulfur	2.3%

2. เครื่องปฏิกรณ์สะเปาเต็ดเบต มีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ

2.1 คอลัมน์หน้าตัดกลม ทำจากอะคริลิกใส มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 14.4 ซม. หนา 3 ซม. สูง 100 ซม. ด้านล่างติดหน้าแปลนกลมขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง 25 ซม. หนา 1 ซม. เหนือขอบบนของ ฐานหน้าแปลน 3 ซม. เจาะรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มม. แต่ละรูห่างกัน 7 ซม. ที่หน้าแปลนเจาะรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม. 8 รูสำหรับสวมนอต

2.2 กรวยหน้าตัดกลม ทำจากอะคริลิกใส ด้านบนสุดมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 14.4 ซม. ติด หน้าแปลนกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 ซม. หนา 1 ซม. ด้านล่างสุดมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.5 ซม. ติด หน้าแปลนกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. หนา 1 ซม. ความหนาของผนังกรวย 4 มม. กรวยเอียงทำมุม 60° กับแนวระดับ ความสูงของส่วนกรวยในแนวตั้ง 11.8 ซม.

2.3 หัวฉีดอากาศ (Nozzle) เป็นท่อ อะคริลิกใส เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.5 ซม. ด้าน บนและล่างติดหน้าแปลนเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. เจาะรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม. 4 รูสำหรับสวมนอต ความสูงของส่วนหัวฉีดอากาศ 5 ซม.

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาพฤติกรรมการไหล

เนื่องจากพฤติกรรมการไหลภายในสระเป็ดเตด-เบต 3 มิติมีความซับซ้อนและเข้าใจยาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาพฤติกรรมการไหลในสระเป็ดเตดเบต 2 มิติ โดยบันทึกพฤติกรรมการไหลภายในปฏิกรณ์ด้วยกล้องวิดีโอ เพื่อนำมาอธิบายพฤติกรรมการไหลภายในสระเป็ดเตดเบต 3 มิติ

1.1 เติมน้ำ 3.5 ลิตร ในปฏิกรณ์ 2 มิติ และเติมน้ำ 10 ลิตร ในปฏิกรณ์ 3 มิติ

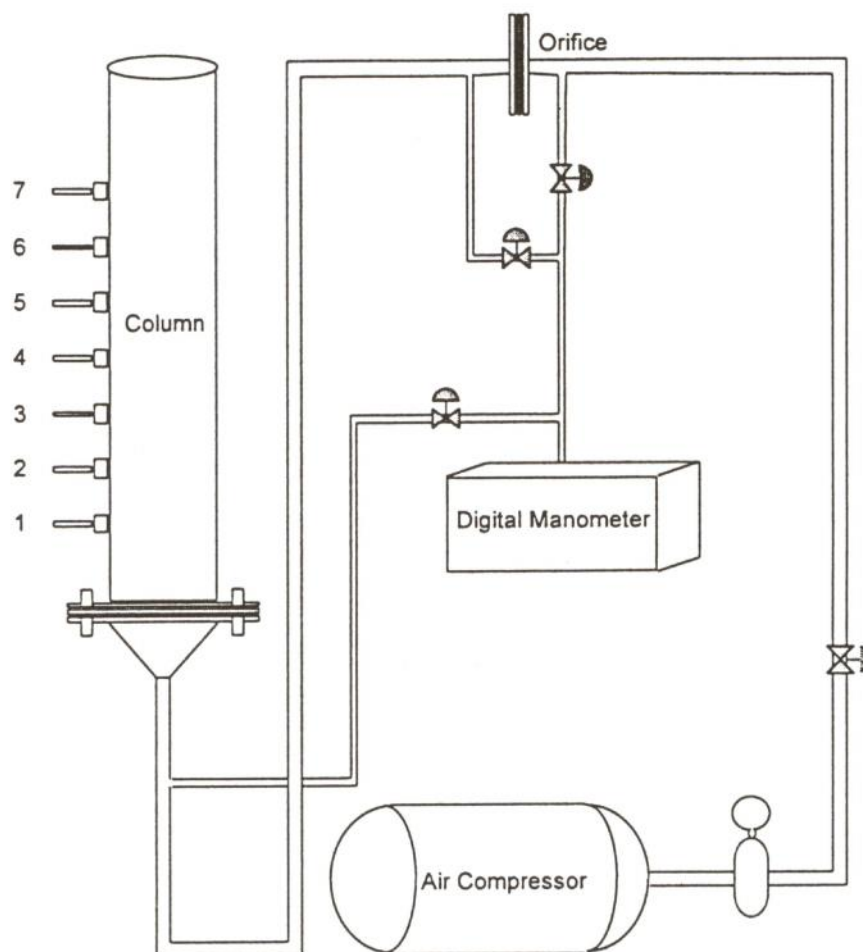
1.2 ใส่ผงถ่านหินขนาด 512 ไมครอน ปริมาณ 1 กรัม เพื่อเป็นตัวติดตามการเคลื่อนที่ ที่เกิดขึ้นภายในปฏิกรณ์

1.3 ปรับความเร็วอากาศค่าต่างๆ ระหว่าง

1.67-5.84 ซม./วินาที รอให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว หรือรอให้ความดันคร่อมเบตคงที่ แล้วจึงสังเกต พฤติกรรมการไหลของอนุภาคถ่านหิน

2. การศึกษาผลกระทบของความเร็วก๊าซต่อ Gas Holdup

Gas Holdup คือ เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ของก๊าซที่อยู่ภายใต้ระดับของเหลวในปฏิกรณ์ เมื่อเพิ่มความเร็วของก๊าซจะทำให้ Gas Holdup เปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของฟองก๊าซที่เกิดขึ้นและความเร็วของฟองก๊าซนั้นด้วย เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดอนุภาคถ่านหินและสัดส่วนถ่านหินไปพร้อมกัน จึงได้แบ่งการทดลองเป็น 12 ชุดดังนี้



รูปที่ 1 ระบบที่ใช้ศึกษา

ตารางที่ 2 การควบคุมตัวแปรต่างๆ แต่ละชุดการทดลอง

ชุดที่	ช่วงขนาดของอนุภาค	สัดส่วนมวลของถ่านหิน (%น้ำหนัก/น้ำหนัก)
1	210-290 μm	5
2	210-290 μm	10
3	210-290 μm	15
4	210-290 μm	20
5	150-210 μm	5
6	150-210 μm	10
7	150-210 μm	15
8	150-210 μm	20
9	100-150 μm	5
10	100-150 μm	10
11	100-150 μm	15
12	100-150 μm	20

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. พฤติกรรมการไหลภายในสระเป่าเต็ดเบด

พฤติกรรมการไหลในที่นี้หมายถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของก๊าซและของเหลวภายในสระเป่าเต็ดเบด ในระบบที่ทดลองนี้พบว่าอนุภาคถ่านหินมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ไปตามของเหลวที่อยู่ล้อมรอบ ดังนั้นของเหลวมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาคถ่านหินมากกว่าอิทธิพลอื่นๆ เช่น แรงโน้มถ่วงของโลก หรือแรงลอยตัวของก๊าซในของเหลว ดังนั้นสามารถใช้รูปแบบการเคลื่อนที่ของของเหลวทำนายการเคลื่อนที่ของเม็ดถ่านหินได้

ลักษณะการไหลเป็นสิ่งสำคัญที่จะใช้ในการออกแบบหรือศึกษาในด้านอื่นๆ ต่อไป เช่น กลไกการถ่ายโอนความร้อนหรือถ่ายโอนมวล ล้วนมีพื้นฐานจากพฤติกรรมการไหลทั้งสิ้น ซึ่งพฤติกรรมการไหลเป็นอย่างไรนั้นขึ้นกับความเร็วของก๊าซ ขนาดฟองก๊าซที่เคลื่อนที่ผ่านของเหลวไปยังด้านบน แรงเฉือนระหว่าง

ฟองก๊าซและของเหลวและแรงเสียดทานระหว่างผนังหอกับของเหลว การศึกษาพฤติกรรมการไหลภายในสระเป่าเต็ดเบดในที่นี้เป็นการสังเกตด้วยตาเปล่าจากปฏิกรณ์ 2 และ 3 มิติ ด้วยการผสมถ่านหินปริมาณเล็กน้อยลงในของเหลวเพื่อช่วยให้มองเห็นการเคลื่อนที่ของน้ำ โดยสังเกตจากอนุภาคถ่านหินที่ใส่เข้าไป จากนั้นเปลี่ยนความเร็วอากาศแล้วสังเกตพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลง

1.1 พฤติกรรมของไหลที่สังเกตจากสระเป่าเต็ดเบด 2 มิติ (แบ่งเป็น 2 ช่วงความเร็ว)

ช่วงที่ 1 ยังไม่เกิดฟองหลัก

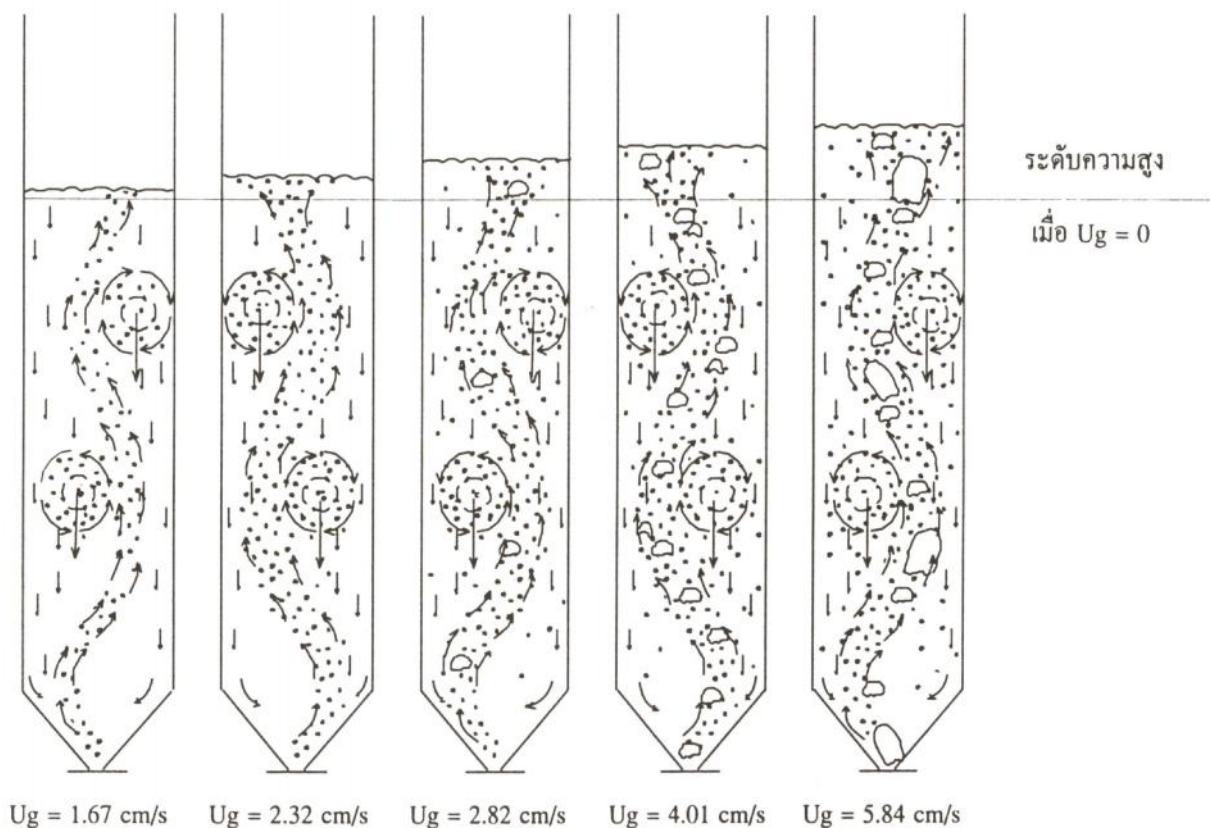
ที่ความเร็วอากาศน้อยมาก (Superficial Velocity อยู่ในช่วง $0 \leq U_g \leq 2.32$ ซม./วินาที) เกิดฟองอากาศเล็กๆ ขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอลอยขึ้นสู่ผิวของเหลว โดยแนวทางการเคลื่อนที่ของฟองอากาศเหล่านั้นจะส่ายไปมาขึ้นสู่ด้านบน เมื่อเพิ่มความเร็ว

อากาศจะทำให้ฟองอากาศเหล่านี้มีจำนวนมากขึ้นและเคลื่อนที่ต่อเนื่องมากขึ้น

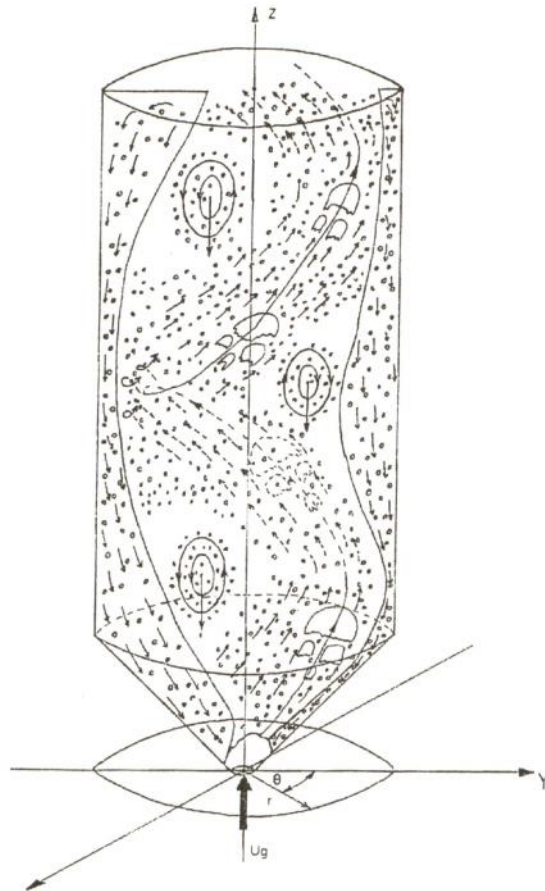
จากการสังเกตลักษณะการเคลื่อนที่ของเม็ดถ่านหินพบว่าบริเวณใกล้กับผนังปฏิกรณ์มีการเคลื่อนที่เป็นวงกลม โดยจุดศูนย์กลางของวงเคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่างเป็นเส้นตรง ส่วนถ่านหินซึ่งอยู่ในแนวการเคลื่อนที่ของฟองอากาศก็จะเคลื่อนที่ฟองอากาศนั้นขึ้นสู่ผิวน้ำ (ดูรูปที่ 2)

ช่วงที่ 2 เกิดฟองหลัก

เมื่อความเร็วอากาศสูงขึ้น (Superficial Velocity, $U_g > 2.32$ ซม./วินาที) เริ่มเกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าฟองทั่วไปเคลื่อนที่เป็นแกนของฟองทั้งหมด ซึ่งขนาดของฟองหลักจะใหญ่ขึ้นและต่อเนื่องมากขึ้นเมื่อความเร็วอากาศเพิ่มขึ้น ส่วนฟองอากาศเล็กๆ จะเคลื่อนที่ตามของเหลวที่อยู่ล้อมรอบ เช่น บริเวณใกล้กับผนังท่อก็เคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่าง ส่วนบริเวณที่ของเหลวมีการหมุนวนก็หมุนตามของเหลว



รูปที่ 2 พฤติกรรมการไหลภายในหอสัมผัสสเปาเต็ดเบด 2 มิติ



รูปที่ 3 พฤติกรรมการไหลภายในหอสัมผัสสะเปาเต็ดเบต 3 มิติ

การเคลื่อนที่ของของเหลวเป็นในลักษณะเดิม (เหมือนกรณีความเร็วอากาศน้อยๆ) แต่เมื่อเพิ่มความเร็วอากาศสูงขึ้นบริเวณที่ของเหลวเคลื่อนที่ลงและบริเวณที่มีการหมุนวนจะถูกบีบให้แคบขึ้น เนื่องจากฟองอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนั้นบริเวณที่มีการหมุนวนยังถูกทำลายด้วยฟองอากาศขนาดใหญ่ซึ่งเคลื่อนที่เร็วมากมากระทบเป็นบางครั้ง (ดูรูปที่ 2)

อย่างไรก็ดี สะเปาเต็ดเบต 2 มิตินี้สามารถเพิ่มความเร็วอากาศได้สูงถึง 20 ซม./วินาที ถ้ามากกว่านี้จะทำให้ของเหลวกระเด็นหลุดออกจากคอลัมน์ ซึ่งที่ความเร็วสูงสุดนี้พฤติกรรมก็ยังเป็นแบบช่วงที่ 2 อยู่ โดยที่ฟองอากาศจะใหญ่มาจนเกือบเต็มคอลัมน์และเคลื่อนที่เร็วมาก แต่รายงานของผู้ที่ค้นคว้ามาก่อนพบว่าที่ความเร็วก๊าซสูงถึงจุดหนึ่งและเส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์เล็กพอ จะเกิดฟองก๊าซขนาดใหญ่จนเต็มคอลัมน์เคลื่อนที่เป็นชั้นสลับกับของเหลว (Slugging Flow)

1.2 พฤติกรรมของไหลที่สังเกตจากสะเปาเต็ดเบต 3 มิติ

การไหลของของเหลวในสะเปาเต็ดเบต 3 มิติ มีลักษณะคล้ายคลึงกับ 2 มิติ แต่เป็นการไหลที่ไม่ถูกบังคับด้วยความบางของปฏิกรณ์ มีการแบ่งพฤติกรรมเป็น 2 ช่วงเช่นเดียวกัน (ดูรูปที่ 3)

ช่วงที่ 1 ยังไม่เกิดฟองหลัก

เมื่อความเร็วอากาศน้อยมาก (Superficial Velocity อยู่ในช่วง $0 \leq U_g \leq 0.71$ ซม./วินาที) เกิดฟองอากาศขนาดเล็กสม่ำเสมอลอยขึ้นสู่ผิวของเหลว โดยแนวการเคลื่อนที่ของฟองเหล่านั้นเป็นลักษณะควงส่วด้วยรัศมีไม่มาก เมื่อเพิ่มความเร็วอากาศจะทำให้เกิดฟองอากาศหนาแน่นขึ้น และเคลื่อนที่ต่อเนื่องมากขึ้นของเหลวบริเวณใกล้กับผนังปฏิกรณ์เคลื่อนที่ลง ส่วนบริเวณกลางปฏิกรณ์ ของเหลวจะเคลื่อนที่ตามอากาศขึ้นสู่ด้านบน

ช่วงที่ 2 เกิดฟองหลัก

ที่ความเร็วอากาศสูงขึ้น (Superficial Velocity, $U_g > 0.71$ ซม./วินาที) เริ่มเกิดฟองอากาศหลักเคลื่อนที่ขึ้น โดยฟองหลักนี้เคลื่อนที่ลักษณะควงสว่านที่มีรัศมีมากขึ้นและมีขนาดฟองใหญ่ขึ้นตามความเร็วอากาศที่มากขึ้น ส่วนฟองอากาศเล็กๆ ซึ่งมีกระจายอยู่ทั่วไปจะเคลื่อนที่ตามของเหลวที่อยู่ล้อมรอบ ส่วนการเคลื่อนที่ของน้ำสามารถแบ่งได้เป็น 3 บริเวณ คือ

- * ของเหลวบริเวณใกล้ผนังปฏิกรณ์จะเคลื่อนที่จากบนลงล่าง เมื่อเพิ่มความเร็วอากาศขึ้นทำให้บริเวณนี้แคบลง

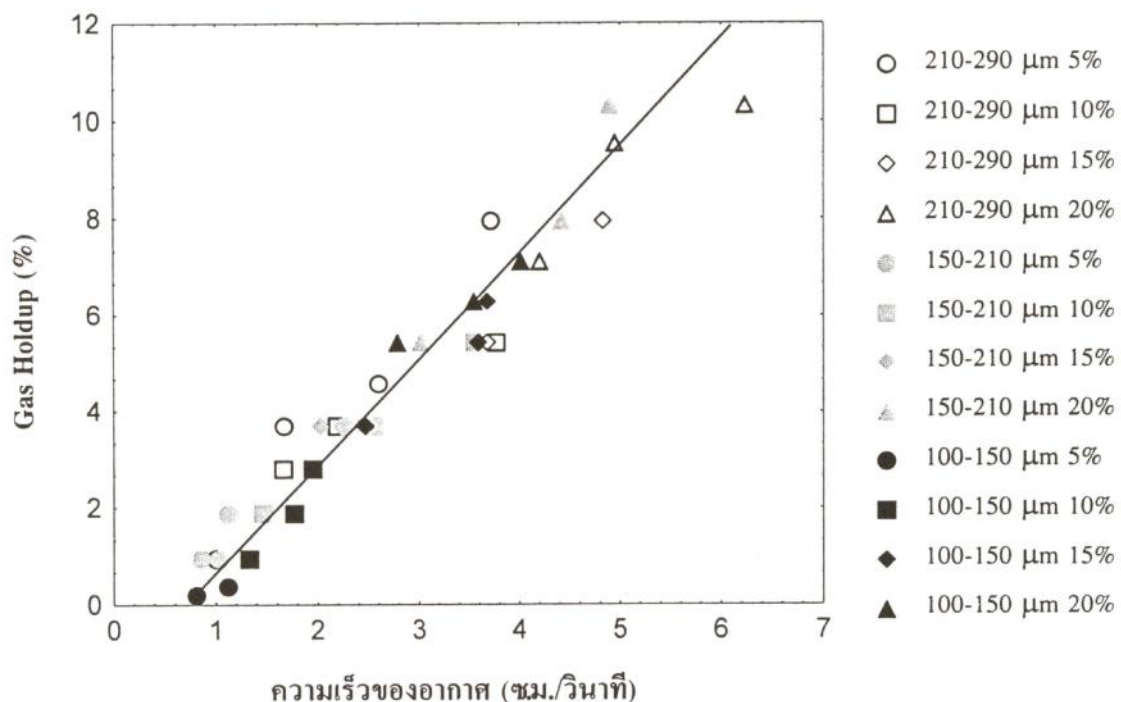
- * ของเหลวบริเวณแนวการเคลื่อนที่ของฟองอากาศหลัก จะเคลื่อนที่ขึ้นตามการเคลื่อนที่ของฟองอากาศหลัก

- * บริเวณหมุนวน ของเหลวจะเคลื่อนที่ที่หมุนวนรอบแกนซึ่งมีแนวอยู่ระหว่างร่องเกลียวสว่านของการเคลื่อนที่ของฟองอากาศหลักกับผนังปฏิกรณ์

2. Gas Holdup

ความสัมพันธ์ระหว่าง Gas Holdup กับความเร็วอากาศในกรณีที่เปลี่ยนขนาดและสัดส่วนมวลของอนุภาคถ่านหินดังรูปที่ 4 พบว่าช่วงความเร็วอากาศที่ทดลอง คือ ประมาณ 1-6 ซม./วินาที Gas Holdup มีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงกับความเร็วอากาศ โดยที่ขนาดและสัดส่วนมวลของอนุภาคที่ทดลองมีผลกระทบบต่อ Gas Holdup น้อยมาก

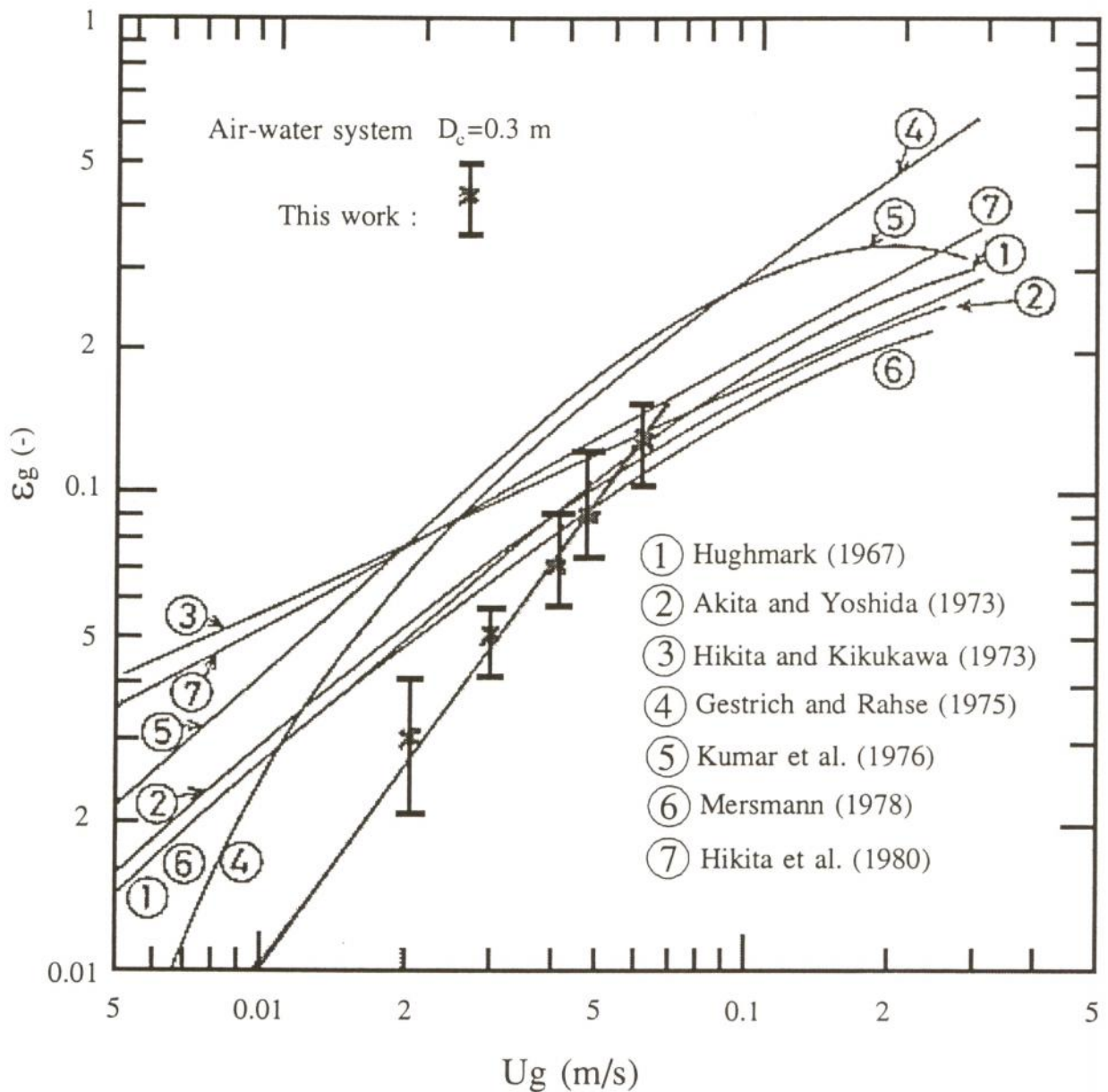
จะเห็นว่าเส้นกราฟที่ได้จากการทดลองนี้ต่ำกว่าระบบน้ำ-อากาศ ที่มีผู้วิจัยมาก่อน เนื่องจากอนุภาคถ่านหินเอื้อต่อการเกิดฟองขนาดใหญ่ กล่าวคืออนุภาคถ่านหินมีส่วนเพิ่มความต้านทานในการเคลื่อนที่ของฟองก๊าซขนาดเล็ก หน่วงฟองก๊าซขนาดเล็กให้เคลื่อนที่ได้ช้าลง ทำให้ฟองก๊าซข้างล่างพุ่งตามมาทันและเกิดการรวมตัวกลายเป็นฟองใหญ่ขึ้น จึงมีเวลาอยู่ใต้ระดับของเหลวน้อยลง ส่งผลให้ Gas Holdup ต่ำกว่าระบบที่ไม่มีอนุภาคถ่านหิน



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศกับ Gas Holdup

หมายเหตุ : $\text{Gas Holdup} = \frac{\text{ปริมาตรอากาศ}}{\text{ปริมาตรอากาศ} + \text{ปริมาตรน้ำ} + \text{ปริมาตรของแข็ง}}$

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาจะได้กราฟดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบ Gas Holdup กับผลงานวิจัยที่ผ่านมา

สรุป

พฤติกรรมการไหลภายในหอสัมผัสสะเปาเต็ด-เบดแบบสามวัฏภาค สามารถแบ่งได้เป็น 2 พฤติกรรม ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วอากาศ คือ ช่วงความเร็วอากาศน้อย (ไม่เกิดฟองอากาศหลัก) กับช่วงความเร็วอากาศมาก (เกิดฟองอากาศหลัก) โดยที่ในปฏิกรณ์ 2 มิติ มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการไหลที่ความเร็วอากาศ 2.32 ซม./วินาที หรืออัตราการไหลเชิงปริมาตร 124.74 ลบ.ซ.ม./วินาที ส่วนหอสัมผัส 3 มิติ มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการไหลที่ความเร็วอากาศ 0.71 ซม./วินาที หรืออัตราการไหลเชิงปริมาตร 115.62 ลบ.ซ.ม./วินาที ซึ่งอัตราการไหลของอากาศขณะมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการไหลภายในปฏิกรณ์ทั้งสองนี้มีค่าใกล้เคียงกัน

ในช่วงความเร็วอากาศที่ทดลอง คือ ประมาณ 1-6 ซม./วินาที พบว่า Gas Holdup มีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามความเร็วอากาศที่เพิ่มขึ้น โดยที่ขนาดและสัดส่วนมวลของอนุภาคถ่านหินในช่วงที่ทดลอง (100-150, 150-210, 210-290 ไมครอน : 5-20%) มีผลกระทบต่อ Gas Holdup น้อยมาก

เอกสารอ้างอิง

1. Hughmark, G.A., I&EC Process Des. & Dev., 6, 218, 1967.
2. Akita, K., and F. Yoshida, I & EC Process Des. & Dev., 12, 76, 1973.
3. Hikita, H., and H. Kikukawa, Bull. University of Osaka Prefecture, Ser. A, 22, 76, 1973.
4. Gestrich, W., and W. Rahse, Chem. Ing. Tech., 47, 8, 1975.
5. Kumar, A., T.E. Degaleesan, G.S. Laddha, and H.E. Hoelscher, Can. J. Chem. Eng., 54, 503, 1976.
6. Mersmann, T., S. Yoshida, and T. Mizushima, J. Chem. Eng. Japan, 14, 352, 1981.
7. Hikita, H., S. Asai, K. Tanigawa, K. Segawa, and M. Kitao Chem. Eng. J., 20, 59, 1980.