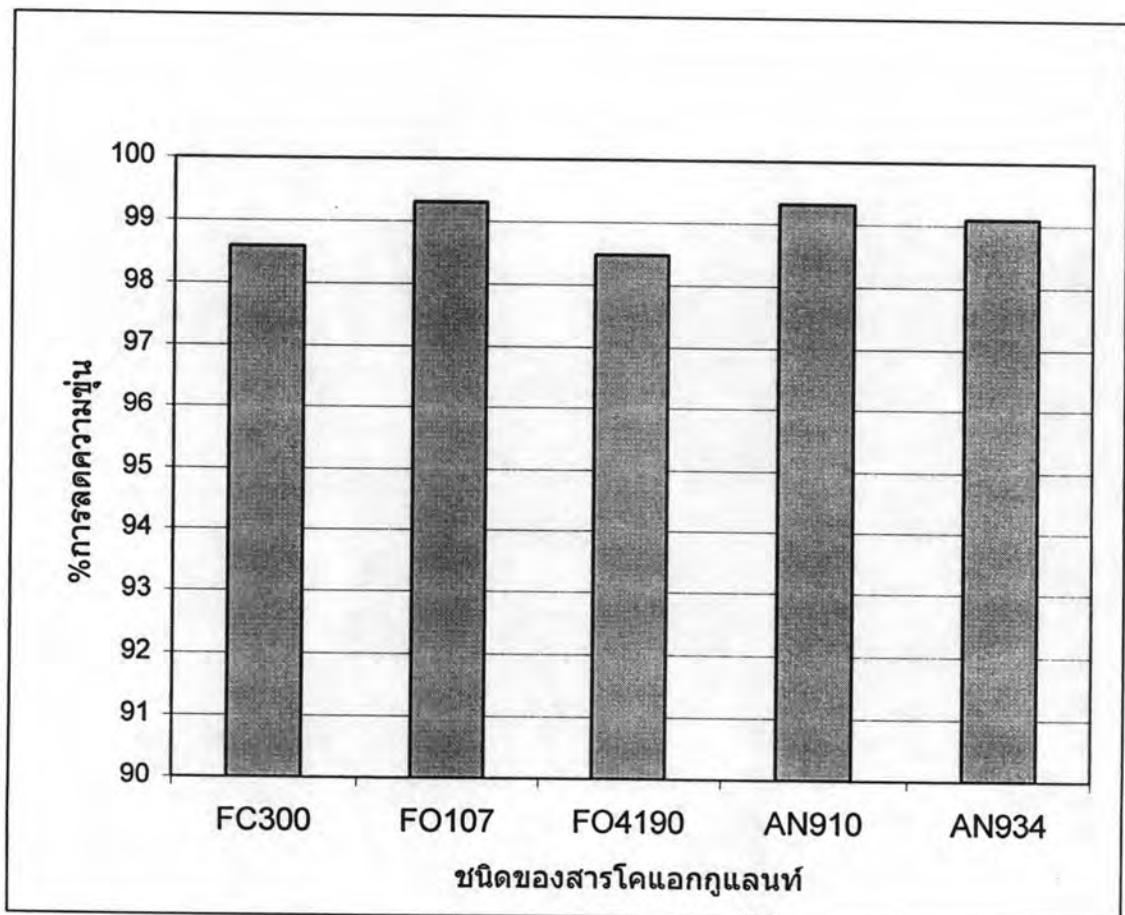


บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารโคแอกกูแลนต์โพลีเมอร์ที่เหมาะสม ด้วยวิธีจาร์เทสต์

งานวิจัยนี้ เลือกใช้โพลีเมอร์เป็นสารโคแอกกูแลนต์ แทนการใช้สารโคแอกกูแลนต์ชนิดอื่น ๆ เช่น สารส้ม เนื่องจากโพลีเมอร์มีประสิทธิภาพดีกว่าสารส้ม และในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กระบวนการไฮบริด จึงต้องการให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้เลือกโพลีเมอร์ที่แตกต่างกันในแง่ของประจุ 5 ชนิด ซึ่งมีชื่อทางการค้าได้แก่ FO107, FO300, AN910, AN934 และ FO4190 เพื่อทดสอบหาชนิดและปริมาณที่จะนำไปใช้วิจัยกับถังปฏิกรณ์ไฮบริด โดยทำการทดลองที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตรของสารโพลีเมอร์แต่ละชนิด ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีจาร์เทสต์แสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การทำจาร์เทสต์ด้วยสารโคแอกกูแลนต์ 5 ชนิด

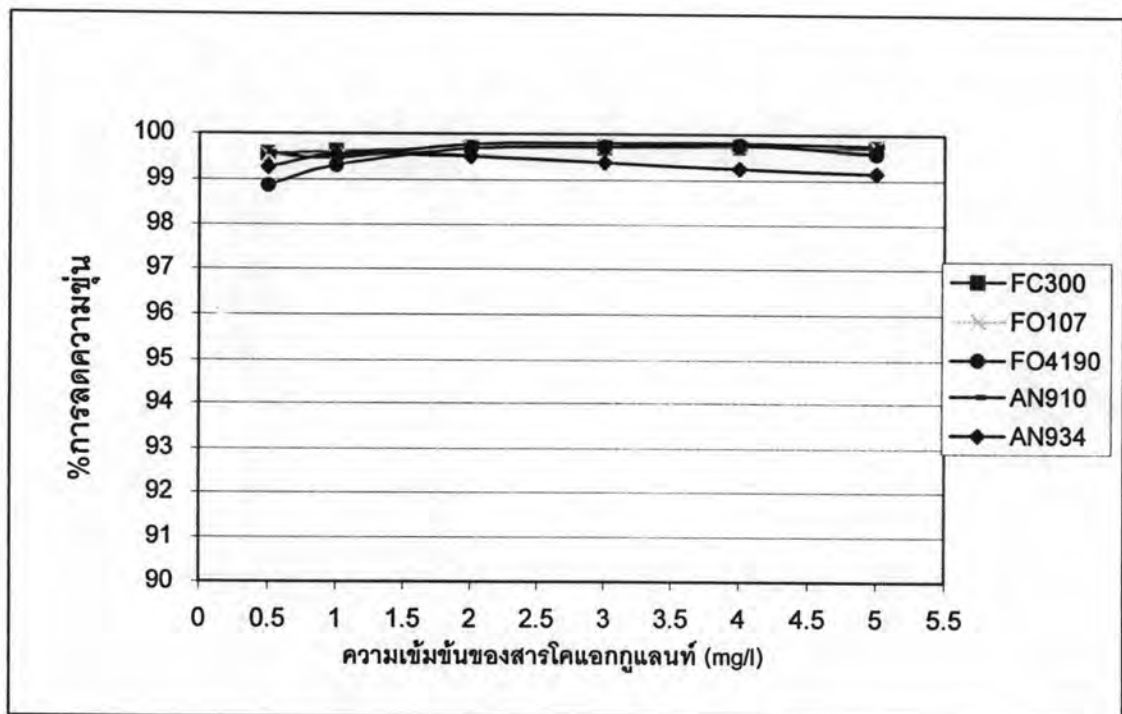
จากรูปที่ 4.1 ได้แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของโพลีเมอร์แต่ละชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงลักษณะการเกิดฟล็อกของ แต่ละชนิดโดยการสังเกตพบว่า FO107 ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ประจุบวกสามารถสร้างฟล็อกได้ทันทีใน ขั้นตอนการกวนเร็ว และฟล็อกตกตะกอนอย่างรวดเร็วลงที่ก้นของบีกเกอร์ภายในเวลา 1 นาที

สำหรับ FO4190 การเกิดฟล็อกเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ขนาดของฟล็อกเล็ก อีกทั้งการ ตกตะกอนของฟล็อกที่เกิดขึ้นช้ากว่า FO107 ถึงแม้ว่าเปอร์เซ็นต์การลดความขุ่นจะไม่แตกต่างกับ สารโคแอกกูแลนต์โพลีเมอร์ชนิดอื่น

สำหรับโพลีเมอร์ชนิด AN910 เกิดฟล็อกรวดเร็วในช่วงการกวนเร็วดีเช่นเดียวกับ FO107 อีกทั้งฟล็อกที่เกิดขึ้นสามารถตกตะกอนได้รวดเร็วในขั้นตอนการตกตะกอน

โพลีเมอร์ชนิด AN934 การเกิดฟล็อกสามารถสังเกตได้ชัดเจนในขั้นตอนการกวนช้า ขนาด ของฟล็อกเล็กกว่าฟล็อกที่เกิดจาก FO107 และ AN910

นอกจากนี้ ผลการสังเกตยังพบว่าขนาดของฟล็อกที่รวมตัวกันหนาแน่นไม่ได้ขึ้นกับความ เข้มข้นของสารละลายโคแอกกูแลนต์ที่เติมลงไปดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลการทำจาร์เทสต์ด้วยโพลีเมอร์ทั้ง 5 ชนิด ในแต่ละความเข้มข้น

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของฟล็อกที่เกิดขึ้นและชนิดของประจุของโพลีเมอร์ ทำให้สามารถเลือกชนิดของโพลีเมอร์ที่เหมาะสมมาได้ 3 ชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติด้านประจุแตกต่าง

กัน ได้แก่ โพลีเมอร์ ประจุบวก FO107 โพลีเมอร์ประจุลบและไม่มีประจุ AN910 และ AN934 เพื่อนำไปศึกษาผลของประจุของสารโคเอกกุลแลนท์ต่อกระบวนการไฮบริด และจากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นของสารโคเอกกุลแลนท์ที่เพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นในแต่ละชนิด รวมทั้งประจุของโพลีเมอร์แต่ละชนิดเช่นกัน เพราะค่าความเข้มข้นในช่วงที่ใช้ ให้เปอร์เซ็นต์การลดความชื้นสูงกว่า 99 เปอร์เซ็นต์เกือบทั้งหมด อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป เพื่อจะได้เลือกใช้ความเข้มข้นสุดท้ายที่เหมาะสมต่อกระบวนการโคเอกกุลแลชั่นและฟลอกกุลแลชั่น คือ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะเป็นความเข้มข้นที่ให้เปอร์เซ็นต์การลดความชื้นสูงถึง 99 เปอร์เซ็นต์ สร้างฟลอกที่ตกตะกอนได้ดี และไม่เป็นภาระสิ้นเปลืองเพราะหากใช้ความเข้มข้นที่สูงกว่านี้ ผลการกำจัดความชื้นก็ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม แม้ว่าที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดความชื้นสูงเช่นกัน แต่ผู้วิจัยพิจารณาเลือกความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อให้มั่นใจว่าความเข้มข้นที่ใช้นั้นสามารถทำให้เกิดกระบวนการโคเอกกุลแลชั่นและฟลอกกุลแลชั่นได้ดีภายในถังปฏิกิริยาไฮบริด และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นนี้เทียบกับคุณสมบัติของสารโคเอกกุลแลนท์ ถือว่าความเข้มข้นที่ใช้น้อยมากจนไม่พิจารณาความหนืดจากโพลีเมอร์เหล่านี้

นอกจากนี้ เนื่องจากการทำจาร์เทสต์ เป็นการทดลองที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรหรืออัตราการไหล ดังนั้นจึงต้องคำนวณหาความเข้มข้นของโคเอกกุลแลนท์ ก่อนที่จะจ่ายเข้าสู่ถังปฏิกิริยาไฮบริด ให้ขึ้นกับอัตราการไหลอื่นๆ ด้วย เช่น อัตราการจ่ายเข้าน้ำดิบสังเคราะห์ และน้ำที่อิมตัวด้วยอากาศ เพื่อคงความเข้มข้นสุดท้ายให้มีค่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่ากับทุกอัตราการไหลและชนิดของสารโคเอกกุลแลนท์ เพื่อให้มั่นใจว่าตัวแปรที่ต้องทำการศึกษานั้น คือชนิดของสารโคเอกกุลแลนท์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น

ดังนั้น เมื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาทำสมดุลมวล (Mass balance) ได้ค่าความเข้มข้นของสารละลายโคเอกกุลแลนท์ก่อนจ่ายเข้าสู่ถังปฏิกิริยาไฮบริด มีค่า 0.274 กรัมต่อลิตร และนำไปคำนวณหาอัตราการจ่ายสารละลายโคเอกกุลแลนท์เข้าสู่ถังปฏิกิริยาไฮบริด ซึ่งวิธีการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ก

ผลการคำนวณสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1 กล่าวคือ อัตราการจ่ายสารละลายโคเอกกุลแลนท์ ซึ่งสัมพันธ์กับอัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์ และทำให้ความเข้มข้นสุดท้ายหรือความเข้มข้นของสารละลายโคเอกกุลแลนท์ที่ออกทางด้านบนของถังปฏิกิริยาไฮบริด มีค่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นจะต้องจ่ายสารละลายโคเอกกุลแลนท์เข้าสู่ถังปฏิกิริยาไฮบริด ด้วยอัตราการไหลดังแสดงตามตารางที่ 4.1

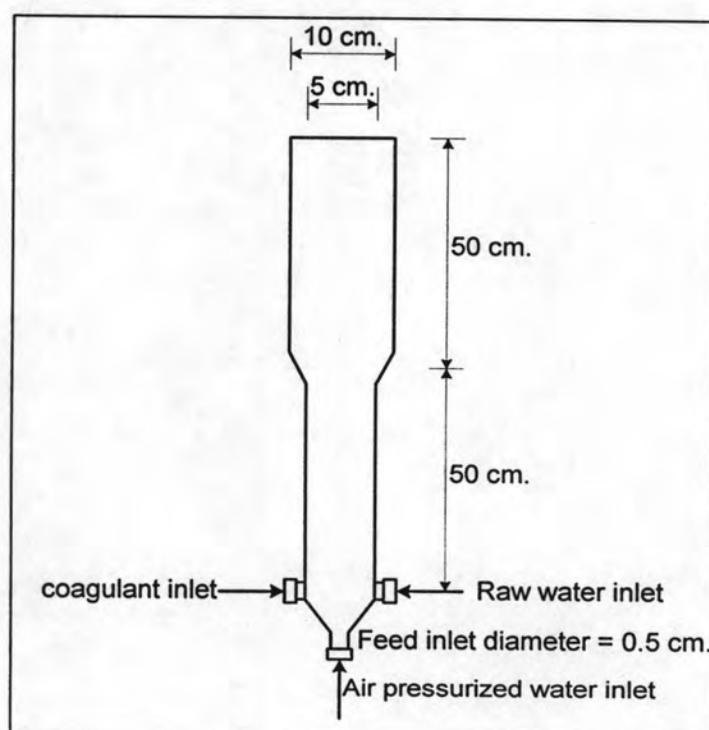
ตารางที่ 4.1 อัตราการจ่ายสารละลายโคแอกกูแลนต์เข้าสู่ถังปฏิกริยาไฮบริด

| อัตราการไหลน้ำดิบสังเคราะห์ (ลิตรต่อชั่วโมง) | อัตราการไหลสารละลายโคแอกกูแลนต์ (ลิตรต่อชั่วโมง) ความเข้มข้นคงที่เท่ากับ 0.274 กรัมต่อลิตร |
|---|---|
| 150 | 0.681 |
| 200 | 0.864 |
| 300 | 1.230 |
| 400 | 1.600 |
| 500 | 1.963 |
| 550 | 2.144 |

ค่าที่แสดงในตารางที่ 4.1 จะนำไปใช้ในการทดลองต่อไป เพื่อให้คงความเข้มข้นสุดท้ายของสารโคแอกกูแลนต์ ให้มีค่าเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังได้กล่าวไปแล้วข้างต้น

4.2 ผลการทดลองด้วยถังปฏิกริยาไฮบริดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสองขนาด

ลักษณะของถังปฏิกริยาไฮบริดทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสองขนาดแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ลักษณะและขนาดของถังปฏิกริยาไฮบริดทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสองขนาด

4.2.1 ผลการทดลองกับสารโคแอกกูแลนต์ชนิดต่างๆ

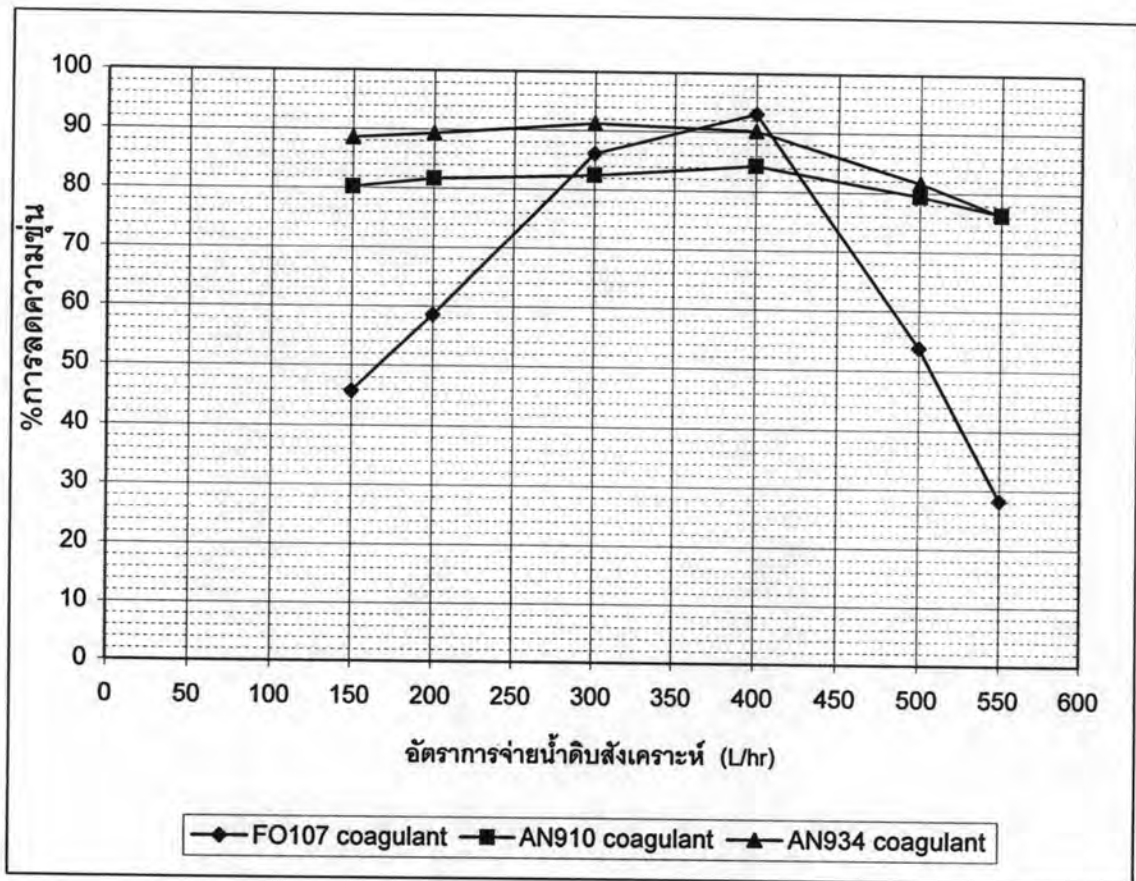
สำหรับการทดลองนี้ได้แบ่งเป็นสองแบบคือ การทดลองแบบแบตช์ เพื่อพิจารณาลักษณะการเกิดฟลอกชนิดพิเศษที่มีฟองอากาศแทรกอยู่ภายใน และการทดลองด้วยการไหลแบบต่อเนื่อง เพื่อพิจารณาความแตกต่างของความชุ่มระหว่างบริเวณแกนกลาง กับบริเวณผิวด้านในของถังปฏิกรณ์

4.2.1.1 โพลีเมอร์ทั้งสามชนิด ด้วยการทดลองแบบแบตช์

ในขั้นตอนนี้ ใช้วิธีการดำเนินการทดลองแต่ละอัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์โดยเดินระบบให้มีเวลากักเก็บภายในถังปฏิกรณ์นานเกินกว่าค่าเวลากักเก็บตามที่ได้คำนวณและได้ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข (หัวข้อ ข2.) เพื่อให้แน่ใจว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ก่อนหยุดระบบเพื่อสังเกตผลและเก็บตัวอย่าง โดยที่ผลทดลองได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์การลดความชุ่มด้วยโพลีเมอร์สามชนิด

| อัตราการไหล (ลิตรต่อชั่วโมง) | โคแอกกูแลนต์ FO107 | โคแอกกูแลนต์ AN910 | โคแอกกูแลนต์ AN934 |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 150 | 46 | 80 | 89 |
| 200 | 59 | 82 | 89 |
| 300 | 86 | 83 | 91 |
| 400 | 93 | 84 | 90 |
| 500 | 54 | 80 | 82 |
| 550 | 28 | 77 | 63 |



รูปที่ 4.4 เปรอร์เซ็นต์การลดความขุ่นด้วยการทดลองแบบแบตช์และโพลีเมอร์สามชนิด

เมื่อพิจารณาผลการทดลองด้วยโคแอกกูแลนต์ FO107 อัตราการไหลที่ทำให้เปอร์เซ็นต์การลดความขุ่นสูงสุดคือ 400 ลิตรต่อชั่วโมง และมีค่าเท่ากับ 93 เปอร์เซ็นต์ โดยที่อัตราการไหลค่านี้นี้ให้ค่าความเร็วแกรเดียนท์เท่ากับ 109 ต่อวินาที

สำหรับผลการทดลองด้วยโคแอกกูแลนต์ AN910 อัตราการไหลที่ทำให้เปอร์เซ็นต์การลดความขุ่นสูงสุดอยู่ที่ 400 ลิตรต่อชั่วโมงเช่นกัน โดยให้เปอร์เซ็นต์การลดความขุ่นเท่ากับ 84 เปอร์เซ็นต์

ส่วนผลการทดลองด้วยโคแอกกูแลนต์ AN934 อัตราการไหลที่ให้เปอร์เซ็นต์การลดความขุ่นสูงสุดคือ 300 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งให้เปอร์เซ็นต์การลดความขุ่นเท่ากับ 91 เปอร์เซ็นต์ โดยที่อัตราการไหลนี้ให้ค่าความเร็วแกรเดียนท์เท่ากับ 82 ต่อวินาที

เมื่อพิจารณาผลการทดลองรวมด้วยโคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิด แสดงให้เห็นว่าเกิดกระบวนการโคแอกกูแลชันและฟล็อกกูเลชันขึ้นได้ในทุกๆชนิดของโคแอกกูแลนต์ เพราะเกิดฟล็อกขึ้นทุกสภาวะดำเนินการและค่าเปอร์เซ็นต์การลดความขุ่นสูงดังแสดงดังรูปที่ 4.4 โดยเฉพาะในช่วง 300 - 400 ลิตรต่อชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์สูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งที่อัตราการไหลนี้มีค่าความเร็วแกรเดียนท์เท่ากับ 82 และ 108 ต่อวินาทีตามลำดับ แต่ค่าในทางทฤษฎีแล้ว ความเร็ว

แกรเดียนท์ที่ต้องการสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชันเท่ากับ 300 ต่อวินาที นั่นคือในทางทฤษฎีแล้ว ค่าความเร็วแกรเดียนท์ยังไม่เพียงพอ อีกทั้งยังไม่สามารถสรุปลักษณะการลอยของฟลอกได้ เพราะผลการทดลองมีทั้งฟลอกที่ลอยขึ้นด้านบนหลังจากที่หยุดดำเนินการและฟลอกที่ตกตะกอนลงสู่ด้านล่างในเวลาเดียวกัน

ผลการสังเกตการลอยของฟลอกแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 ผลการสังเกตฟลอกที่ลอยด้านบนดังปฏิกิริยาด้วยการทดลองแบบแบตซ์

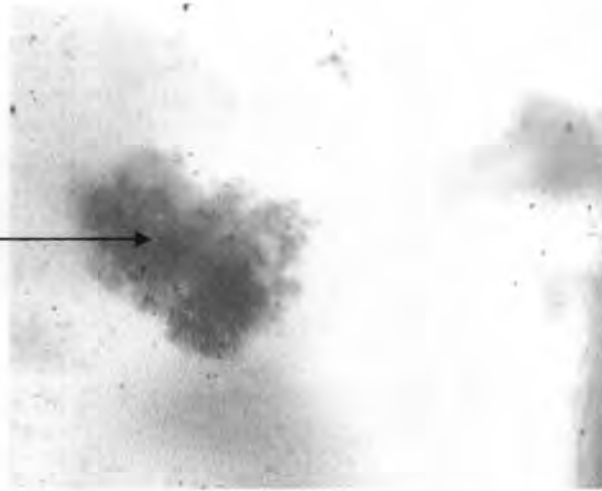
| ชนิดของ โคแอกกูแลนท์ | อัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์ (ลิตรต่อชั่วโมง) | | | | | |
|-------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 150 | 200 | 300 | 400 | 500 | 550 |
| FO107 | ไม่มี | มี | มี | มี | มี | มี |
| AN910 | ไม่มี | มี | มี | มี | มี | มี |
| AN934 | มี | มี | มี | มี | มี | มี |

ตารางที่ 4.4 ผลการสังเกตฟลอกตกตะกอนด้านล่างของถังปฏิกิริยาด้วยการทดลองแบบแบตซ์

| ชนิดของ โคแอกกูแลนท์ | อัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์ (ลิตรต่อชั่วโมง) | | | | | |
|-------------------------|---|-------|-------|-------|-----|-------|
| | 150 | 200 | 300 | 400 | 500 | 550 |
| FO107 | มี | มี | มี | ไม่มี | มี | ไม่มี |
| AN910 | มี | มี | ไม่มี | ไม่มี | มี | มี |
| AN934 | ไม่มี | ไม่มี | ไม่มี | ไม่มี | มี | มี |

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ในการทดลองแบบแบตซ์นี้ ส่วนใหญ่มีฟลอกลอยขึ้นอยู่ด้านบนของถังปฏิกิริยา แสดงว่าสามารถสร้างฟลอกชนิดพิเศษที่มีฟองอากาศแทรกอยู่ภายในได้ ซึ่งฟลอกชนิดพิเศษดังกล่าวนี้จะมีน้ำหนักแน่นต่อน้ำ เพราะมีฟองอากาศเล็กๆที่แทรกอยู่ภายในโครงสร้างของฟลอกนั่นเอง และจากการที่ฟลอกดังกล่าวมีความน้ำหนักแน่นต่อน้ำทำให้การไหลหมุนวน (Vortex flow) ภายในถังปฏิกิริยาสามารถแยกฟลอกพิเศษนี้มารวมอยู่บริเวณแกนกลางได้ตามปรากฏการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ทั้งนี้ โครงสร้างฟลอกดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 4.5 ซึ่งถ่ายด้วยกล้องความเร็วสูง โดยที่จุดสีดำกลมเล็กๆที่เห็นนั่นคือฟองอากาศ ซึ่งแทรกอยู่ภายในก้อนฟลอก

ฟองอากาศที่แทรกอยู่ใน
โครงสร้างของฟลอก



รูปที่ 4.5 ฟลอกชนิดพิเศษที่มีฟองอากาศเล็กๆ แทรกอยู่ภายใน

เมื่อพิจารณาผลจากตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำดิบ แนวโน้มที่ฟลอกจะตกตะกอนด้านล่างของไฮโดรไซโคลนลดลงจนกระทั่งที่อัตราการไหล 400 ลิตรต่อชั่วโมง ไม่ปรากฏมีฟลอกตกตะกอนด้านล่างไม่ว่าจะโคแอกกูแลนท์ชนิดใด แสดงว่าที่สภาวะนี้สามารถสร้างฟลอกชนิดพิเศษได้หมด ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.31

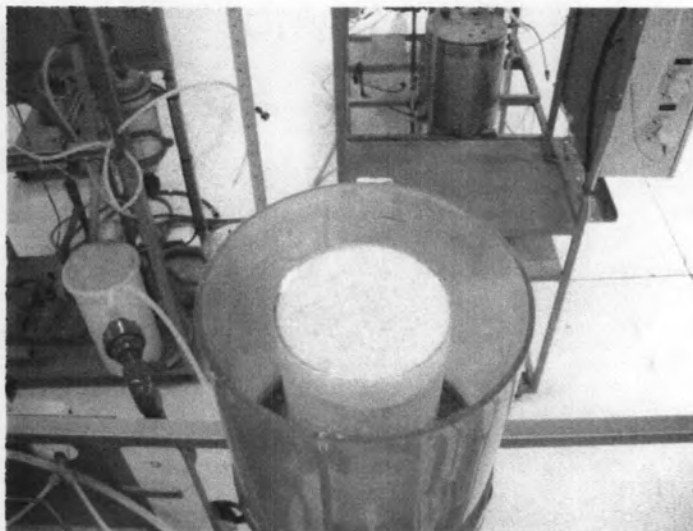
$$G = \frac{Q \cdot \alpha \cdot n}{A, R} \quad (2.31)$$

โดยที่อัตราการไหล 400 ลิตรต่อชั่วโมงดังกล่าว คำนวณเป็นความเร็วแกรเดียนท์ได้มีค่าเท่ากับ 109 ต่อวินาที จากการทดลองนี้เห็นจะเห็นว่าเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความเร็วแกรเดียนท์สูงขึ้นตามไปด้วย โดยค่าความเร็วแกรเดียนท์นี้ เป็นตัวแปรสำคัญสำหรับกระบวนการโคแอกกูแลชั่น ทำให้เกิดฟลอกได้ดียิ่งขึ้นตามไปด้วย

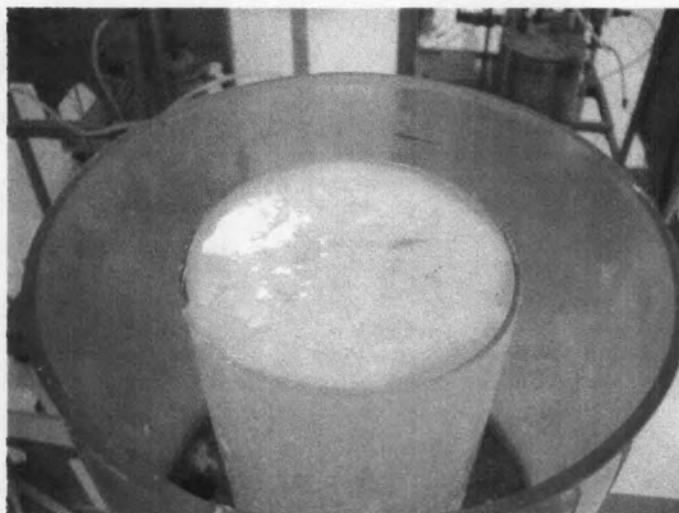
แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลสูงขึ้นเป็น 500 ลิตรต่อชั่วโมง ผลกลับตรงกันข้ามนั่นคือมีฟลอกตกตะกอนด้านล่าง ซึ่งขัดแย้งกับข้อสันนิษฐานที่ว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลทำให้เพิ่มความเร็วแกรเดียนท์ตามสมการที่ 2.31 และควรส่งผลให้กระบวนการสร้างฟลอกดีขึ้นด้วย

จากผลดังกล่าว จึงอาจสามารถอธิบายผลของการตกตะกอนของฟลอกโดยใช้แนวคิดที่แตกต่างไปคือแนวคิดของปริมาณอากาศที่เหมาะสม โดยปริมาณอากาศจากน้ำที่อิมตัวด้วยอากาศอาจไม่เพียงพอต่ออัตราการไหลเข้าทั้งหมด เพราะอัตราการไหลของน้ำที่อิมตัวด้วยอากาศถูกจำกัดให้คงที่ด้วยค่าสูงสุดเท่าที่เครื่องมือจะสามารถผลิตได้ที่ 36 ลิตรต่อชั่วโมง เมื่อเพิ่มอัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์เข้าไป ทำให้อัตราส่วนระหว่างน้ำที่อิมตัวด้วยอากาศต่ออัตราการไหลที่

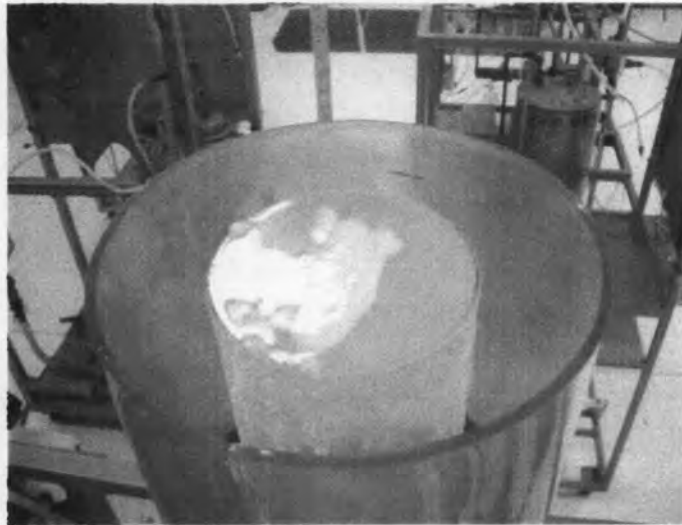
จ่ายเข้าทั้งหมด (Air volume flowrate/Inlet flows fraction) ลดต่ำลง จึงทำให้ฟลอกที่เกิดขึ้น มีฟองอากาศแทรกอยู่ไม่เพียงพอ เมื่อมีอากาศแทรกอยู่ไม่เพียงพอ ทำให้ความหนาแน่นระหว่างฟลอกชนิดพิเศษกับน้ำ ไม่แตกต่างกันมากเพียงพอที่จะสามารถแยกได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการไหลแบบหมุนเวียนที่เกิดขึ้นภายในถังปฏิกรณ์



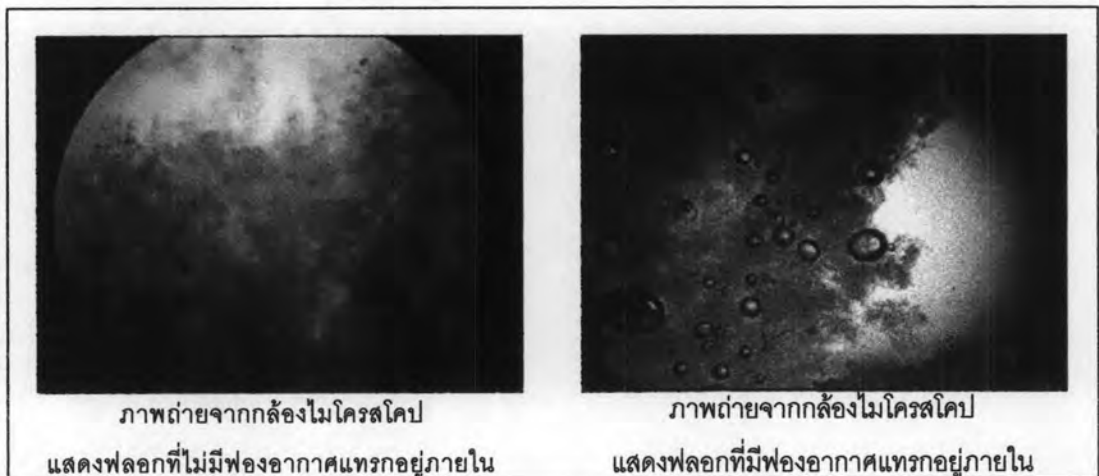
รูปที่ 4.6 ฟลอกชนิดพิเศษที่ลอยขึ้นด้านบนของถังปฏิกรณ์



รูปที่ 4.7 สถานะที่มีฟลอกชนิดพิเศษเกิดขึ้นน้อย



รูปที่ 4.8 สภาวะที่ไม่เกิดฟลอกชนิดพิเศษและไม่สามารถลอยขึ้นสู่ด้านบนได้



ภาพถ่ายจากกล้องไมโครสโคป
แสดงฟลอกที่ไม่มีฟองอากาศแทรกอยู่ภายใน

ภาพถ่ายจากกล้องไมโครสโคป
แสดงฟลอกที่มีฟองอากาศแทรกอยู่ภายใน

รูปที่ 4.9 รูปถ่ายจากกล้องไมโครสโคปของฟลอกที่ไม่มีฟองอากาศแทรกภายใน
และฟลอกที่มีฟองอากาศ

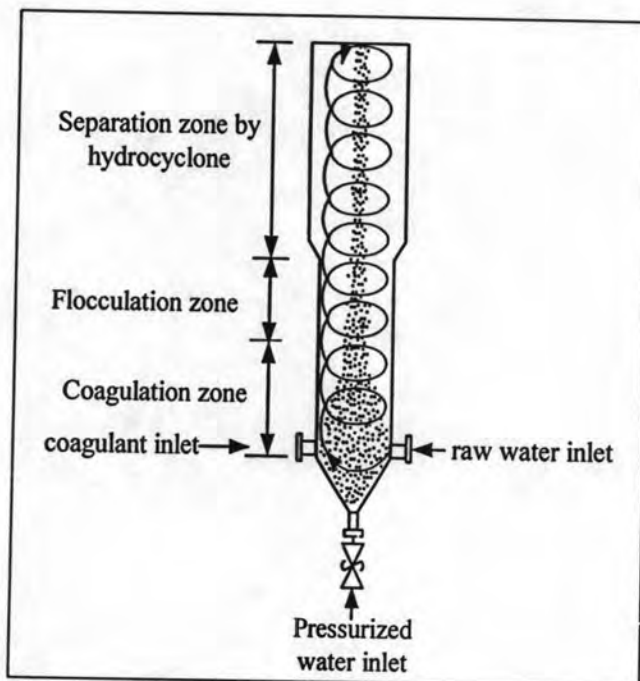
ด้วยเหตุนี้ จึงทำการทดลองเพื่อศึกษาแนวคิดดังกล่าว โดยทำการเปลี่ยนแปลงความดันในถังความดันสำหรับระบบการทำน้ำที่อิมิตัวด้วยอากาศ แล้วสังเกตผลของการลอยของฟลอกภายในถังปฏิกรณ์ไฮบริด ซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 4.2.2

อย่างไรก็ตาม จากการสังเกตเมื่อเปรียบเทียบผลการเกิดฟลอกด้วยโคแอกกูแลนท์ทั้งสามชนิด แม้ว่าอัตราการลดความขุ่นจะไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แต่ FO107 เป็นโพลีเมอร์ที่ทำให้เกิดลักษณะของฟลอกมีขนาดใหญ่ หนาแน่นมากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 4.6 เนื่องจาก FO107 เป็นสารโคแอกกูแลนท์โพลีเมอร์ประจุบวก ทำให้สามารถทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งมีประจุเป็นลบและทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่ไร้เสถียรภาพแล้วมารวมตัวกันเป็นฟลอกขนาดใหญ่ได้

ดี ดังนั้นในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบตัวแปรอื่นๆเช่น ความดัน จะใช้ FO107 ในการทดลองเพียงชนิดเดียวเพื่อง่ายต่อการทำความเข้าใจและศึกษาผลของตัวแปรอื่นๆได้อย่างชัดเจน

4.2.1.2 ผลของโพลิเมอร์ทั้งสามชนิด ในการทดลองการไหลแบบต่อเนื่อง

ในการศึกษาขั้นตอนนี้ ทำการเก็บตัวอย่างและวัดค่าความขุ่นระหว่างบริเวณผิวของถังปฏิกิริยาไฮบริดกับบริเวณแกนกลางของถังปฏิกิริยาไฮบริดเพื่อสังเกตการแยกระหว่างฟลอกชนิดพิเศษกับน้ำใส โดยปรากฏการณ์ที่คาดหวังไว้ คือ ฟลอกชนิดพิเศษที่เกิดจากกระบวนการโคแอกกูเลชัน ฟล็อกกูเลชัน และฟองอากาศจากน้ำที่อิ่มตัวด้วยอากาศ แยกออกจากน้ำโดยมารวมตัวที่บริเวณแกนกลางของถังปฏิกิริยาด้วยการไหลแบบหมุนวน เนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจากการที่มีฟองอากาศแทรกอยู่ภายในโครงสร้าง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ปรากฏการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการทดลองด้วยการไหลแบบต่อเนื่อง

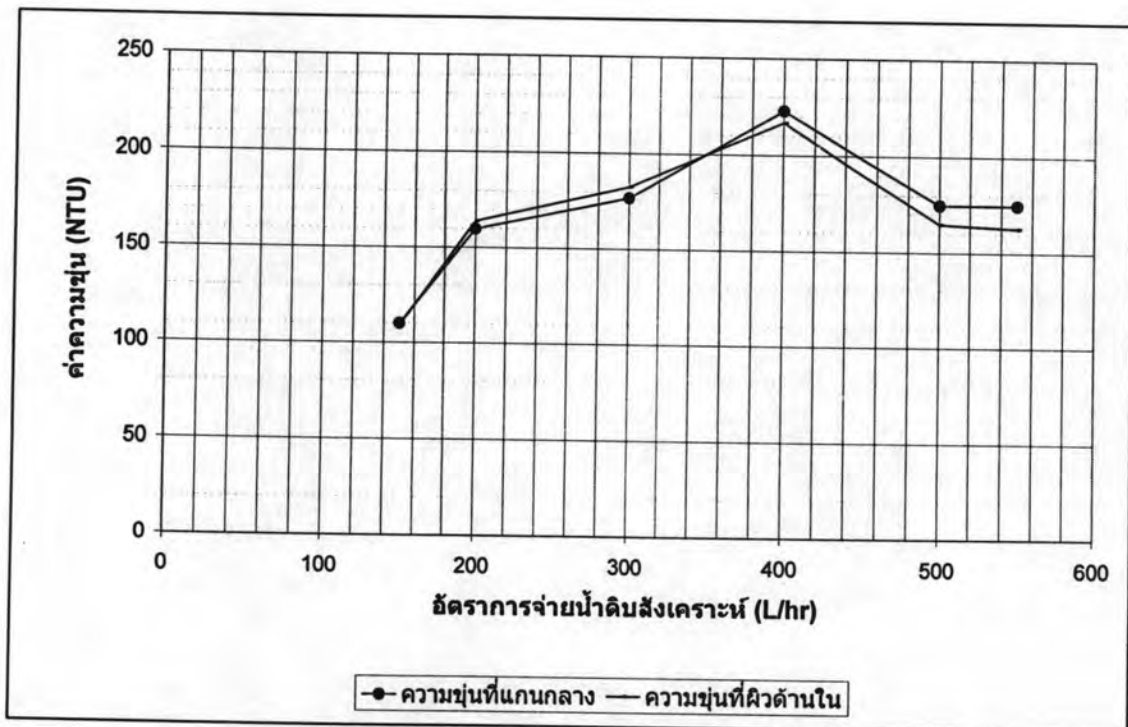
4.2.1.2.1. โคแอกกูแลนท์โพลิเมอร์ประจุบวก FO107

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าความขุ่นบริเวณแกนกลางและบริเวณผิวด้านในไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองวัดความขุ่นด้วยการไหลแบบต่อเนื่อง

| อัตราการไหลน้ำดิบ สังเคราะห์ (ล./ชม.) | ความเร็วแกรเดียนท์ ที่ช่องจ่ายน้ำเข้า * (ต่อวินาที) | ความขุ่นบริเวณ แกนกลาง (NTU) | ความขุ่นบริเวณ ผิวด้านใน (NTU) |
|---|---|------------------------------------|--------------------------------------|
| 150 | 41 | 110 | 109 |
| 200 | 54 | 160 | 164 |
| 300 | 82 | 177 | 183 |
| 400 | 109 | 223 | 217 |
| 500 | 136 | 175 | 165 |
| 550 | 150 | 175 | 163 |

* คำนวณจากสมการที่ 2.31 $G = \frac{Q \times \alpha \times n}{A_i R}$



รูปที่ 4.11 ค่าความขุ่นของน้ำที่บริเวณแกนกลาง
และผิวด้านในของถังปฏิกริยาไฮบริดสำหรับโพลีเมอร์ FO107

จากรูปที่ 4.11 พบว่า ความขุ่นของน้ำระหว่างบริเวณแกนกลางและบริเวณผิวด้านในของถังปฏิกริยา ในระหว่างการดำเนินการนั้น ที่อัตราการไหล 150-300 ลิตรต่อชั่วโมง ความขุ่นที่บริเวณผิวด้านในของถังปฏิกริยาสูงกว่าบริเวณแกนกลาง ซึ่งแสดงแนวโน้มการแยกระหว่างฟลอกกับน้ำใส อย่างไรก็ตามค่าความขุ่นที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่า

เกิดปรากฏการณ์การแยกระหว่างฟลอกชนิดพิเศษกับน้ำใสอย่างสมบูรณ์ในการทดลองด้วยการไหลแบบต่อเนื่องนี้

ที่อัตราการไหล 400 ลิตรต่อชั่วโมง เริ่มปรากฏลักษณะการไหลแบบหมุนวน (Vortex flow) ขึ้นภายในตลอดความลึกของถังปฏิกิริยา อีกทั้ง ความขุ่นบริเวณผิวด้านในต่ำกว่าบริเวณแกนกลางของถังปฏิกิริยา และมีแนวโน้มที่ความขุ่นระหว่างทั้ง 2 จุดจะแตกต่างกันมากขึ้นตามอัตราการไหลที่สูงขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามความแตกต่างของความขุ่นนั้นไม่ชัดเจนเท่าที่ควร ดังนั้นจึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่าการแยกระหว่างฟลอกกับน้ำใสเหมือนที่คาดหวังไว้ในรูปที่ 4.10 บริเวณตอนบนของถังปฏิกิริยา

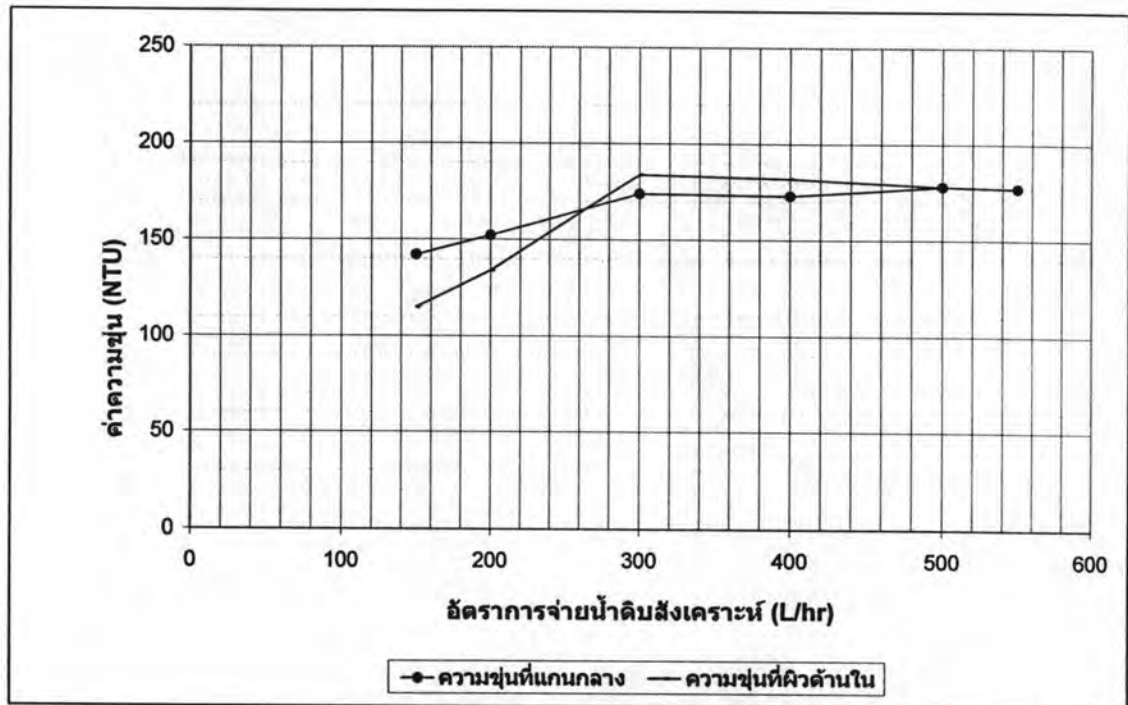
4.2.1.2.2. โคแอกกูแลนท์โพลีเมอร์ประจุลบและไม่มีประจุ AN910

ในการทดลองนี้ ใช้วิธีการดำเนินการทดลองแบบไหลต่อเนื่อง และควบคุมการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้โพลีเมอร์ประจุบวก FO107 เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองด้วยการไหลแบบต่อเนื่อง แต่ต่างชนิดของโคแอกกูแลนท์ ซึ่งผลการทดลองแสดงไว้ดังตารางที่ 4.6 ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองวัดความขุ่นด้วยการไหลแบบต่อเนื่องด้วยโคแอกกูแลนท์ AN910

| อัตราการจ่ายน้ำดิบ สังเคราะห์ (ลิตรต่อชั่วโมง) | ความเร็วแกรเดียนท์ ที่ช่องจ่ายน้ำเข้า * (ต่อวินาที) | ความขุ่นบริเวณ แกนกลาง (NTU) | ความขุ่นบริเวณ ผิวด้านใน (NTU) |
|--|---|------------------------------------|--------------------------------------|
| 150 | 41 | 142 | 115 |
| 200 | 54 | 152 | 134 |
| 300 | 82 | 174 | 184 |
| 400 | 109 | 173 | 182 |
| 500 | 136 | 178 | 178 |
| 550 | 150 | 177 | 177 |

* คำนวณจากสมการที่ 2.31
$$G = \frac{Q \times \alpha \times n}{A_i \times R}$$



รูปที่ 4.12 ค่าความขุ่นของน้ำที่บริเวณแกนกลาง และผิวด้านในของถังปฏิกริยาไฮบริดด้วยโพลีเมอร์ AN910

ในการทดลองจากโคแอกกูแลนต์ AN910 นี้ ฟลอกที่เกิดขึ้นไม่รวมตัวหนาแน่น เช่นเดียวกับ FO107 จากตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.12 พบว่า ที่อัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์ 150-200 ลิตรต่อชั่วโมง ความขุ่นบริเวณผิวด้านในของถังปฏิกริยาต่ำกว่าความขุ่นที่แกนกลางของถังปฏิกริยาไฮบริด อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าค่าความแตกต่างของความขุ่นระหว่างบริเวณแกนกลางและผิวด้านในของไซโคลน ไม่มีความสัมพันธ์ชัดเจนกับอัตราการจ่ายน้ำดิบ อีกทั้งไม่แตกต่างอย่างชัดเจนจนอาจสรุปได้ว่าไม่มีความแตกต่างกัน นั่นคือยังไม่เกิดการแยกระหว่างฟลอกกับน้ำใสเหมือนกันปรากฏการณ์ที่คาดไว้ เช่นเดียวกับผลการทดลองจากโคแอกกูแลนต์โพลีเมอร์ประจุบวก FO107

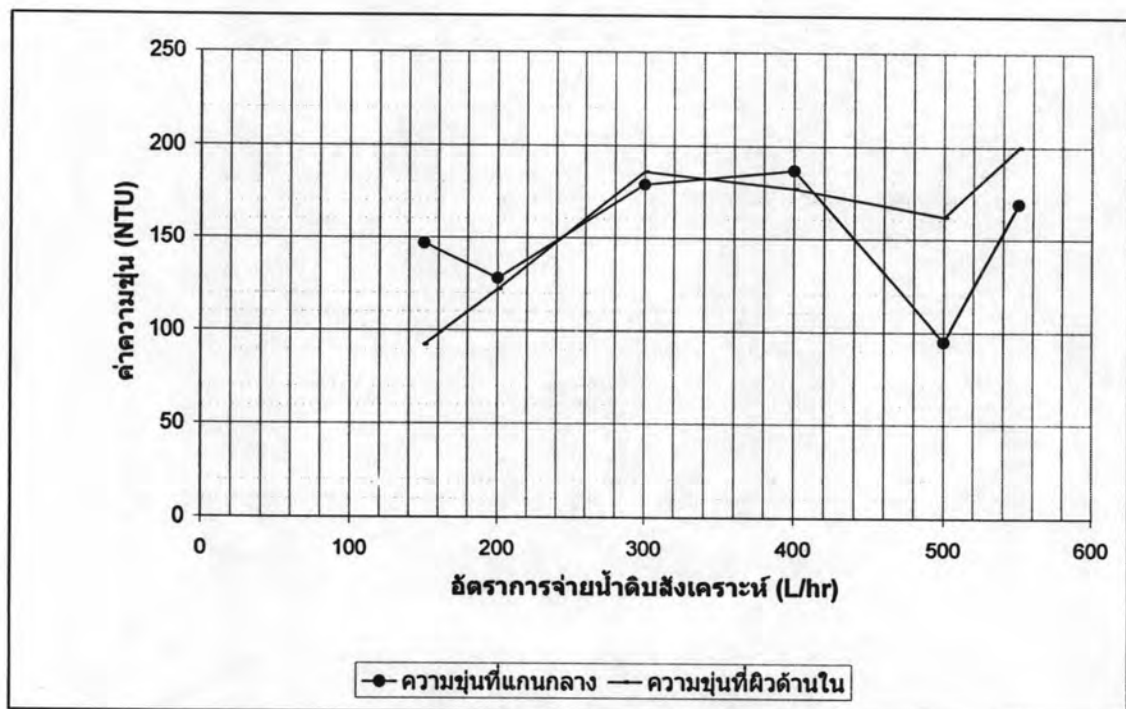
4.2.1.2.2 โคแอกกูแลนต์โพลีเมอร์ประจุลบและไม่มีประจุ AN934

ในการทดลองนี้ ใช้วิธีการดำเนินการทดลองแบบการไหลต่อเนื่องและควบคุมการทดลอง เช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้โพลีเมอร์ประจุบวก FO107 และ โพลีเมอร์ประจุลบหรือไม่มีประจุ AN910 เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองด้วยการไหลแบบต่อเนื่อง แต่ต่างชนิดของโคแอกกูแลนต์ ผลการทดลองแสดงไว้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองวัดความขุ่นด้วยการไหลแบบต่อเนื่องด้วยโคแอกกูแลนท์ AN934

| อัตราการจ่ายน้ำดิบ สังเคราะห์ (ลิตรต่อชั่วโมง) | ความเร็วแตรเดียนท์ ที่ช่องจ่ายน้ำเข้า* (ต่อวินาที) | ความขุ่นบริเวณ แกนกลาง (NTU) | ความขุ่นบริเวณ ผิวด้านใน (NTU) |
|--|--|------------------------------------|--------------------------------------|
| 150 | 41 | 147 | 92.5 |
| 200 | 54 | 128 | 122 |
| 300 | 82 | 179 | 186 |
| 400 | 109 | 187 | 177 |
| 500 | 136 | 95 | 162 |
| 550 | 150 | 169 | 200 |

* คำนวณจากสมการที่ 2.31 $G = \frac{Q \times \alpha \times n}{A_i \times R}$



รูปที่ 4.13 ค่าความขุ่นของน้ำที่บริเวณแกนกลาง
และผิวด้านในของถังปฏิกริยาไฮบริดด้วยโพลีเมอร์ AN934

ในการทดลองชุดนี้ จากการสังเกตพบว่าฟลอกที่เกิดขึ้นมีขนาดไม่ใหญ่มากและไม่หนาแน่น จากรูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของความขุ่นระหว่างบริเวณแกนกลางและผิวด้านในของถังปฏิกริยาไฮบริดในระหว่างที่ดำเนินการ ไม่สอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นได้ดัง

แสดงในรูปที่ 4.10 โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปรากฏการณ์การแยกระหว่างฟลอกกับน้ำใสทางด้านบนของถังปฏิกริยา

จากปรากฏการณ์ที่คาดหวังไว้ในกระบวนการไฮบริดด้วยการไหลแบบต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 4.10 นั้น นำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้ในตอนนี้อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.13 พบว่าที่อัตราการไหลน้ำดิบสังเคราะห์ 200, 300 และ 400 ลิตรต่อชั่วโมง ความขุ่นของน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือยังไม่เกิดการแยกระหว่างฟลอกชนิดพิเศษกับน้ำใส

ในขณะที่อัตราการไหลน้ำดิบสังเคราะห์ 150 ซึ่งเป็นอัตราการไหลต่ำ กลับให้ผลการทดลองตรงข้ามกับปรากฏการณ์ที่คาดหวังว่าจะเกิดขึ้น เนื่องจากที่อัตราการไหลต่ำๆ การหมุนวนภายในไม่เกิดขึ้น ฉะนั้นการแยกระหว่างฟลอกชนิดพิเศษไม่น่าเกิดขึ้น ความขุ่นระหว่างบริเวณแกนกลางกับบริเวณผิวด้านในของถังไม่ควรแตกต่างกัน

อีกทั้งที่อัตราการไหล 550 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นอัตราการไหลสูงสุด มีการไหลแบบหมุนวนเกิดขึ้นภายในถังปฏิกริยาไฮบริด และน่าจะทำให้เกิดการแยกระหว่างฟลอกพิเศษกับน้ำใสโดยที่ความขุ่นบริเวณแกนกลางสูงกว่าบริเวณผิวด้านใน แต่จากผลการทดลองให้ผลตรงกันข้าม นั่นคือ ความขุ่นที่บริเวณแกนกลางของถังปฏิกริยาไฮบริด ต่ำกว่าความขุ่นที่บริเวณผิวด้านใน ดังแสดงในรูปที่ 4.13

สาเหตุที่ทำให้เกิดผลการทดลองเช่นนี้ พบว่า ที่ตำแหน่งการเปลี่ยนเส้นผ่านศูนย์กลางและท่อสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ รบกวนรูปแบบการไหลหมุนวนภายในถังปฏิกริยาไฮบริด ดังแสดงดังรูปที่ 4.14 ซึ่งตำแหน่งนี้ ทำให้การไหลแบบหมุนวนไม่แรงพอที่จะแยกฟลอกพิเศษออกจากน้ำใสได้ ดังนั้นในแง่ของลักษณะรูปร่างของถังปฏิกริยา จึงควรทำการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของถังเพื่อหลีกเลี่ยงตำแหน่งการเปลี่ยนเส้นผ่านศูนย์กลาง ทั้งนี้ผลการศึกษาในเรื่องดังกล่าว แสดงอยู่ในหัวข้อที่ 4.3 ด้วยถังปฏิกริยาไฮบริดทรงกรวยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นตามแนวแกน



รูปที่ 4.14 ตำแหน่งการเปลี่ยนขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง

4.2.1.2.3 สรุปผลของโพลีเมอร์ทั้ง 3 ชนิด ในการทดลอง ทั้งแบบแบคทีเรียและการไหลแบบต่อเนื่อง

เมื่อพิจารณาผลที่ดำเนินการของโพลีเมอร์ทั้ง 3 ชนิด ทั้งแบบแบคทีเรียและการไหลแบบต่อเนื่อง สามารถวิเคราะห์ได้สองกรณีดังนี้

1. ผลการทดลองในแง่ของสารโคเอกกูแลนท์ทั้งสามชนิด ซึ่งมีประจุแตกต่างกัน โดยที่ FO107 เป็นโพลีเมอร์ประจุบวก AN910 และ AN934 เป็นโพลีเมอร์ประจุลบและไม่มีประจุ ดังนั้น FO107 ควรจะให้ร้อยละการลดความขุ่นสูงกว่าชนิดอื่นๆ แต่ผลการทดลองพบว่าร้อยละของการลดความขุ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือโคเอกกูแลนท์ทั้งสามชนิดสามารถสร้างฟลอกพิเศษได้หมด

แต่เมื่อพิจารณาลักษณะการเกิดฟลอก พบว่า FO107 สามารถสร้างฟลอกขนาดเล็กขึ้นได้รวดเร็วทันทีที่จ่ายเข้าสู่ถังปฏิกริยาไฮบริด ฟลอกมีลักษณะเป็นปุยหนาแน่นดีกว่าโคเอกกูแลนท์ชนิดอื่น ดังนั้นในการทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรอื่นๆ ในการทดลองต่อไป จะเลือกใช้เฉพาะโคเอกกูแลนท์ชนิด FO107 เท่านั้น เพื่อสามารถเปรียบเทียบผลของตัวแปรนั้นๆ ได้ชัดเจนขึ้น

2. ผลของอัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์ต่อกระบวนการโคเอกกูแลชั่น ฟลอกกูแลชั่นภายในถังปฏิกริยาไฮบริด ด้วยโพลีเมอร์ทั้งสามชนิด พบว่า อัตราการไหลที่สามารถสร้างการไหลแบบหมุนวนได้เริ่มต้นที่ 400 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่าความเร็วแรงแเดียนท์เท่ากับ 82 ต่อวินาที เมื่อพิจารณาฟลอกที่เกิดขึ้น พบว่า ช่วงอัตราการไหลในการทดลองชุดนี้ (150 – 550 ลิตรต่อชั่วโมง) สามารถสร้างฟลอกชนิดพิเศษได้ทั้งสิ้น ซึ่งอัตราการไหลดังกล่าวให้ค่าความเร็วแรงแเดียนท์ระหว่าง

41-150 ต่อวินาที จากค่าอัตราการไหลช่วงดังกล่าว และเมื่อเทียบกับค่าความเร็วแกรเดียนท์ที่ต้องการทางทฤษฎีสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชันซึ่งเท่ากับ 300 ต่อวินาที พบว่าในการวิจัยนี้ใช้ค่าความเร็วแกรเดียนท์ต่ำกว่า แต่สามารถสร้างฟลอกชนิดพิเศษได้ อย่างไรก็ตาม ในการทดลองต่อไป จะทำการปรับปรุงขนาดและลักษณะถังปฏิกริยา โดยใช้ถังปฏิกริยาไฮบริดทรงกรวย จะทำการปรับปรุงเพื่อให้ค่าความเร็วแกรเดียนท์ที่ตำแหน่งจ่ายเข้ามีค่าเพียงพอตามทฤษฎี

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาการลอยของฟลอกในการทดลองแบบแบตช์ พบว่าเมื่ออัตราการจ่ายน้ำดิบสูงขึ้นถึง 400 ลิตรต่อชั่วโมง ปริมาณฟลอกที่ลอยเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ฟลอกที่จมตัวมีปริมาณน้อยลง แต่เมื่ออัตราการจ่ายน้ำเป็น 500 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่าฟลอกเริ่มตกตะกอนลงสู่ด้านล่างของถังปฏิกริยามากขึ้น และฟลอกที่ลอยด้านบนมีปริมาณน้อยลง ซึ่งน่าจะเกิดจากปริมาณอากาศที่เข้าสู่ถังปฏิกริยาไม่เพียงพอ เพราะในการทดลองทำการปรับอัตราการจ่ายน้ำสูงขึ้น แต่อัตราการจ่ายน้ำที่อิ่มตัวด้วยอากาศคงที่ที่ค่าสูงสุด 36 ลิตรต่อชั่วโมง เมื่อคิดเป็นสัดส่วนแล้ว แสดงว่าอัตราส่วนระหว่างอัตราการจ่ายน้ำที่อิ่มตัวด้วยอากาศต่ออัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์ลดลง ตามอัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์ที่สูงขึ้น

ดังนั้นในการทดลองต่อไป จะทำการศึกษาผลของความดันภายในถัง โดยเปรียบเทียบที่อัตราการไหล 400 และ 500 ลิตรต่อชั่วโมง เพราะว่าแนวโน้มของฟลอกชนิดพิเศษมีปริมาณมากขึ้นตามอัตราการจ่ายน้ำดิบสูงขึ้นจนถึง 400 ลิตรต่อชั่วโมง แต่เมื่อปรับเป็น 500 ลิตรต่อชั่วโมง กลับมีปริมาณฟลอกชนิดพิเศษที่ลอยด้านบนมีน้อยลง











4.2.2 ผลของความดันภายในถังความดันที่ใช้ในระบบการสร้างน้ำที่อิ่มตัวด้วยอากาศต่อการเกิดฟลอกชนิดพิเศษด้วยกระบวนการไฮบริด

จากผลการทดลองในตอนที่ผ่านมา พบว่า ปริมาณของตะกอนที่ลอยเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอัตราการไหล และฟลอกลอยขึ้นทั้งหมดด้วยอัตราการไหล 400 ลิตรต่อชั่วโมง แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลเป็น 500 ลิตรต่อชั่วโมง เริ่มมีฟลอกบางส่วนตกตะกอนลงสู่ก้นถังปฏิกริยา ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทำการทดลองเฉพาะที่อัตราการไหลทั้งสองค่านี้

ในการทดลองส่วนนี้ เป็นการดำเนินการทดลองแบบแบตช์ โดยควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่อิ่มตัวด้วยอากาศให้คงที่ที่ 36 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นอัตราการไหลสูงสุดเท่าที่เครื่องมือสามารถทำได้ สารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้คือ FO107 ซึ่งเป็นสารโคแอกกูแลนต์ที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด(จากการทดลองตอนที่ 1) โดยควบคุมความเข้มข้นที่ออกจากถังปฏิกริยาให้เท่ากันทุกการทดลองที่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการปรับอัตราการจ่ายสารโคแอกกูแลนต์ให้สอดคล้องกับอัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์ เปรียบเทียบระหว่างอัตราการจ่ายน้ำดิบ 400 และ 500 ลิตรต่อชั่วโมง

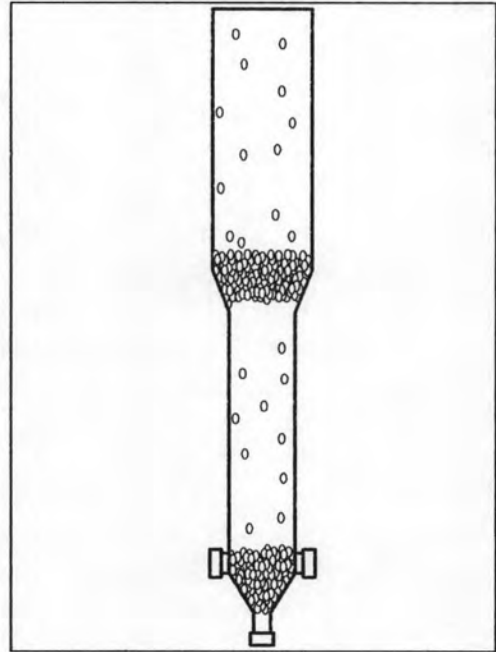
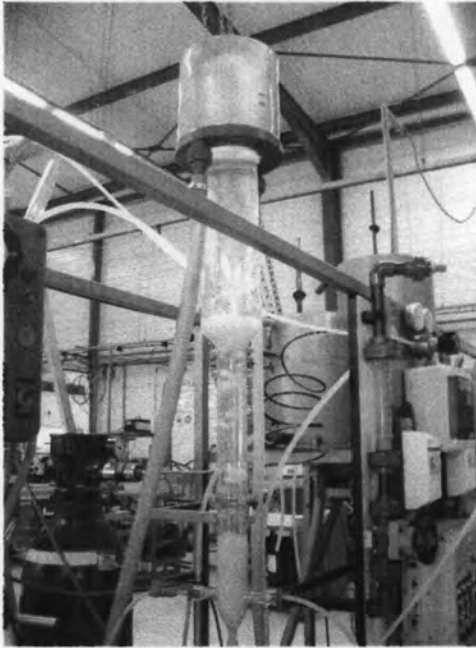
เนื่องจากที่อัตราการไหล 400 ลิตรต่อชั่วโมง เริ่มปรากฏการไหลแบบหมุนวนขึ้นภายในถังปฏิกริยา ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการแยกระหว่างฟลอกชนิดพิเศษกับน้ำใส จากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงความดันภายในถังสร้างน้ำที่อิ่มตัวด้วยอากาศตั้งแต่ 2 ถึง 4 บาร์ เป็นจำนวน 5 ค่า สังเกตผลการทดลองหลังจากหยุดดำเนินการเพื่อดูลักษณะการลอยของฟลอก โดยผลการทดลองแสดงอยู่ในตารางที่ 4.8 รูปตัวอย่างแสดงลักษณะการตกตะกอนและการลอยของฟลอก ดังแสดงในรูปที่ 4.15 และ 4.16

ตารางที่ 4.8 ผลการลอยของฟลอกเมื่อเปลี่ยนแปลงความดันภายในถังความดันด้วยการทดลองแบบแบตช์

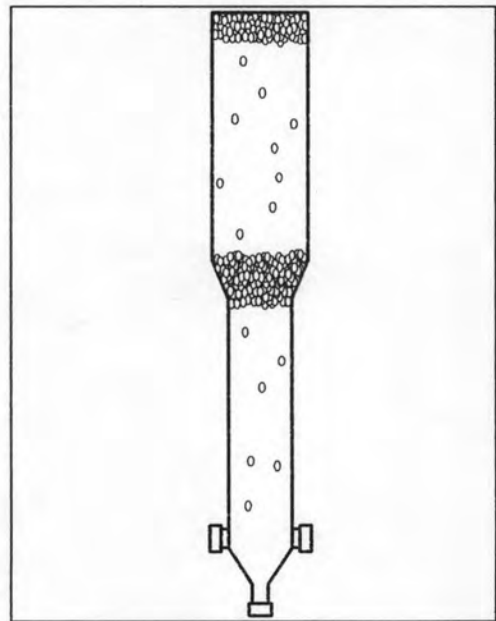
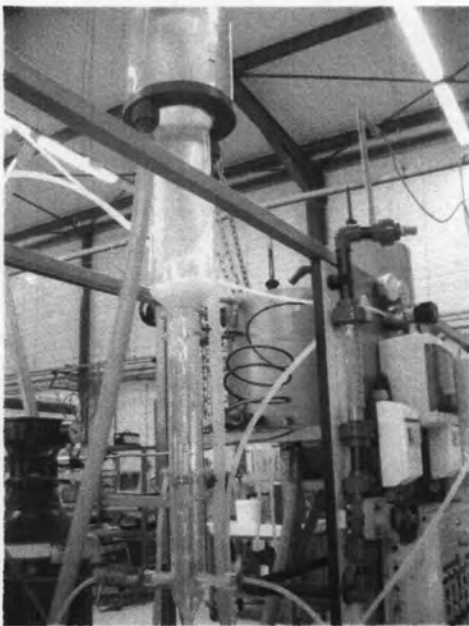
| อัตราการไหล | 2 บาร์ | 2.5 บาร์ | 3 บาร์ | 3.5 บาร์ | 4 บาร์ |
|-------------|---|---|---|---|---|
| 400 L/hr |  |  |  |  |  |
| 500 L/hr |  |  |  |  |  |

จากตารางที่ 4.8 พบว่าที่อัตราการไหลเดียวกันแต่เพิ่มความดันสูงขึ้น ปริมาณฟลอกที่ลอยเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาที่ความดันเดียวกัน ที่ 3.5 บาร์ และอัตราการจ่ายน้ำดิบ 400 ลิตรต่อชั่วโมง ฟลอกสามารถลอยขึ้นได้หมด ในขณะที่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลเป็น 500 ลิตรต่อชั่วโมง ปรากฏมีฟลอกที่เกิดขึ้นติดค้างอยู่บริเวณช่วงกลางของถังปฏิกริยา แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำที่

จ่ายเข้าสู่ถังปฏิกริยาไฮบริดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สัดส่วนระหว่างปริมาณอากาศเทียบกับอัตราการจ่ายน้ำเข้าทั้งหมดลดลง ทำให้มีปริมาณอากาศไม่เพียงพอที่จะสร้างฟลอกชนิดพิเศษได้หมด



รูปที่ 4.15 ภาพแสดงลักษณะการตกตะกอนของฟลอกที่ความดัน 2.0 บาร์



รูปที่ 4.16 ตัวอย่างลักษณะการตกตะกอนของฟลอกที่สภาวะความดัน 3 บาร์และอัตราการไหลที่ 500 ลิตรต่อชั่วโมง

ดังนั้นเมื่อใช้กฎของเฮนรี่ (Henry's law) คำนวณหาสัดส่วนระหว่างอัตราการไหลของอากาศต่ออัตราการไหลของน้ำเข้าทั้งหมด ผลการคำนวณสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.9 (รายละเอียดวิธีการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ข หัวข้อ ข.7)

ตารางที่ 4.9 สัดส่วนระหว่างอัตราการไหลของอากาศต่ออัตราการไหลของน้ำเข้าทั้งหมด

| อัตราการจ่าย น้ำดิบสังเคราะห์ L/hr | อัตราการจ่าย โคแอกกูแลนท์ L/hr | ความดัน (บาร์) | | | | |
|--|--------------------------------------|----------------|--------|----------|----------|----------|
| | | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 |
| สัดส่วนอัตราการไหลของอากาศต่ออัตราการจ่ายน้ำเข้า | | | | | | |
| 150 | 0.681 | 0.0020 | 0.0024 | 0.0026 | (0.0028) | (0.0030) |
| 200 | 0.864 | 0.0016 | 0.0019 | 0.0021 | (0.0022) | (0.0023) |
| 300 | 1.230 | 0.0011 | 0.0013 | 0.0015 | (0.0016) | (0.0016) |
| 400 | 1.600 | 0.0008 | 0.0010 | (0.0011) | (0.0012) | (0.0013) |
| 500 | 1.963 | 0.0007 | 0.0008 | 0.0009 | (0.0010) | (0.0010) |
| 550 | 2.144 | 0.0006 | 0.0008 | 0.0008 | (0.0009) | 0.0009 |

หมายเหตุ ค่าที่แสดงไว้ในวงเล็บคือสถานะที่ฟล็อกพิเศษสามารถลอยขึ้นได้หมดเมื่อหยุดการดำเนินการ

เมื่อพิจารณาที่ความดันคงที่ เช่นที่ 3.5 บาร์ พบว่าเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ทำให้สัดส่วนระหว่างอัตราการไหลของอากาศต่ออัตราการไหลของน้ำเข้าทั้งหมดลดลง ซึ่งน่าจะทำให้การลอยขึ้นด้านบนของฟล็อกชนิดพิเศษลดลงหรือไม่เกิดขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศต่ออัตราการไหลเข้าลดลง แต่จากตารางที่ 4.9 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แม้อัตราส่วนดังกล่าวลดลง แต่ยังคงสามารถลอย ฟล็อกทั้งหมดได้ โดยค่าที่อยู่ในวงเล็บคือสถานะที่ฟล็อกพิเศษสามารถลอยขึ้นได้หมด แสดงว่าผลจากอัตราการจ่ายน้ำเข้าส่งผลกระทบต่อลักษณะการลอยของฟล็อก

ในขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาที่อัตราการไหลคงที่ เช่นที่ 400 ลิตรต่อชั่วโมง เมื่อเพิ่มความดัน ทำให้สัดส่วนระหว่างอัตราการไหลของอากาศต่ออัตราการไหลของน้ำเข้าทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (0.0008 ที่ 2 บาร์ จนถึง 0.0013 ที่ 4 บาร์) แต่กลับให้ลักษณะการลอยของฟล็อกแตกต่างกันอย่างชัดเจน เช่นที่อัตราการไหล 400 ลิตรต่อชั่วโมง ความดัน 2.5 บาร์ ให้ค่าสัดส่วนเท่ากับ 0.0010 พบว่ามีฟล็อกตกลงที่ด้านล่างของถังปฏิกรณ์ แต่ที่ความดัน 3.0 บาร์ ให้ค่าสัดส่วนเท่ากับ 0.0011 สามารถทำให้ฟล็อกลอยขึ้นได้หมด แสดงว่า เมื่อความดันเพิ่มขึ้น นอกจากสัดส่วนของอัตราการไหลของอากาศต่ออัตราการไหลเข้าทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นแล้ว ยังส่งผลต่อ

ลักษณะของฟองอากาศที่เกิดขึ้นด้วย เช่นขนาดของฟองอากาศเล็กลงทำให้สามารถแทรกเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของฟลอกชนิดพิเศษได้มากขึ้น ทำให้การสร้างฟลอกชนิดพิเศษมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

อย่างไรก็ดี การค้นพบความสำคัญของสัดส่วนระหว่างอัตราการไหลของอากาศต่ออัตราการไหลเข้าทั้งหมดนี้ สามารถนำไปคำนวณหาความดันที่ต้องการอย่างคร่าวๆเพื่อให้ได้สถานะที่สามารถลอยฟลอกขึ้นทั้งหมดที่ใช้กับถึงปฏิกิริยาในงานวิจัยนี้ได้ จากตารางที่ 4.9 เห็นชัดว่าในแต่ละอัตราการไหลจะมีค่าสัดส่วนน้อยที่สุดที่สามารถลอยฟลอกขึ้นทั้งหมด ดังนั้นหากต้องการเปลี่ยนสถานะ เช่น เพิ่มอัตราการจ่ายน้ำเข้า สามารถคำนวณหาความดันที่ควรใช้ได้ ตัวอย่างเช่น

$$\text{อัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์} = 700 \text{ ลิตรต่อชั่วโมง}$$

$$\text{อัตราการจ่ายสารโคแอกกูแลนต์} = 3 \text{ ลิตรต่อชั่วโมง}$$

$$\text{อัตราการจ่ายน้ำที่อิ่มตัวด้วยอากาศ} = 36 \text{ ลิตรต่อชั่วโมง}$$

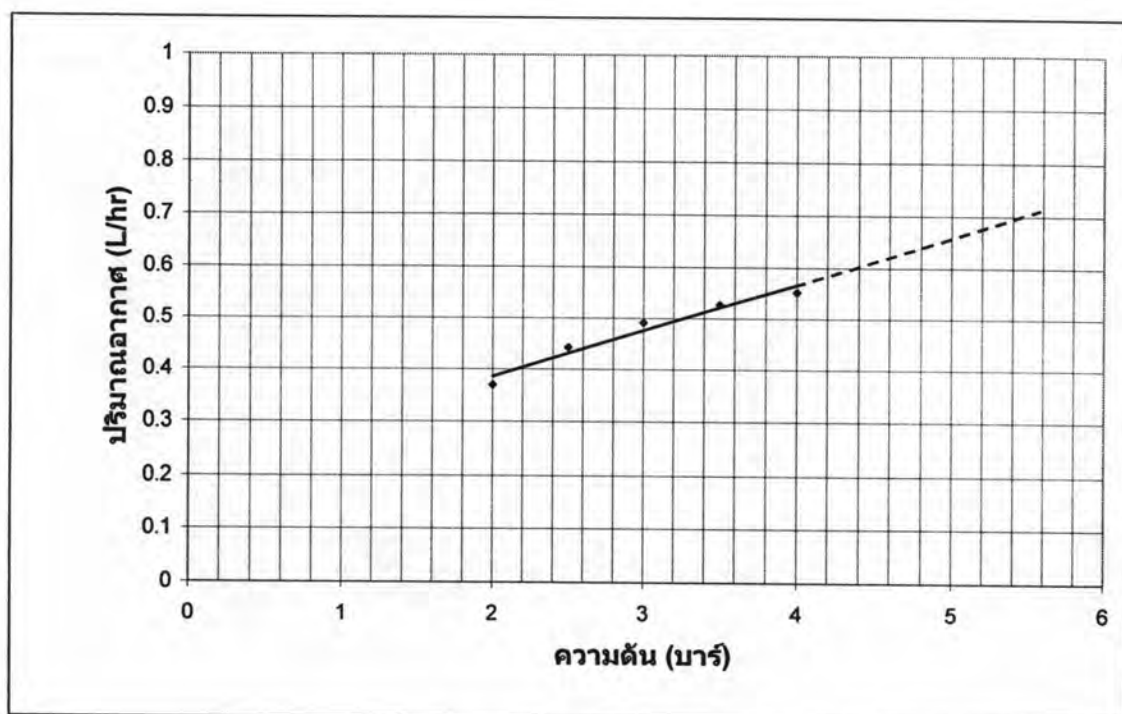
$$\text{Air flow/Inlet flow fraction} = 0.0009 \text{ (จากตารางที่ 4.9)}$$

คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ (Air volume flowrate)

$$\frac{Q}{700L/hr + 3L/hr + 36L/hr} = 0.0009$$

$$Q = 0.665 \text{ ลิตรต่อชั่วโมง}$$

จากรูป ข.3 ในภาคผนวก ข เทียบอัตราการไหลของอากาศ 0.665 ลิตรต่อชั่วโมง จะต้องใช้ความดันเท่ากับ 4.81 บาร์



รูปที่ ๓.3 ปริมาตรการไหลของอากาศที่ความดันต่างๆ

จากการคำนวณดังตัวอย่างข้างต้น ทำให้ได้ค่าความดันน้อยที่สุดที่สามารถลอยฟลอกขึ้นทั้งหมดได้ ค่าดังกล่าวเป็นค่าที่สำคัญมากในการเตรียมน้ำที่อิมิตัวด้วยอากาศที่จะใช้ในระบบไฮบริด เพื่อให้มั่นใจว่าเป็นสภาวะที่สามารถสร้างฟลอกชนิดพิเศษได้จริง

4.2.3 สรุปผลการทดลองกับถังปฏิริยาไฮบริดทรงกระบอก

สำหรับถังปฏิริยาไฮบริดทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสองขนาดนี้ เกิดการไหลแบบหมุนวน (Vortex) ขึ้นได้ด้วยอัตราการไหลที่ 400 ลิตรต่อชั่วโมง และเกิดปัญหาการปนเปื้อนการไหลแบบหมุนวนที่จุดเปลี่ยนเส้นผ่านศูนย์กลาง และที่จุดนี้เองที่ทำให้เกิดการรวมตัวของฟลอกหนาแน่นอย่างเห็นได้ชัด

ค่าความดันที่สามารถลอยฟลอกขึ้นทั้งหมดทุกช่วงอัตราการไหลคือ 3.5 บาร์ โดยมีค่าที่น้อยที่สุดของสัดส่วนระหว่างอัตราการไหลของอากาศต่ออัตราการไหลเข้าทั้งหมดสำหรับสภาวะที่ใช้ในการวิจัยนี้ที่ 0.0009

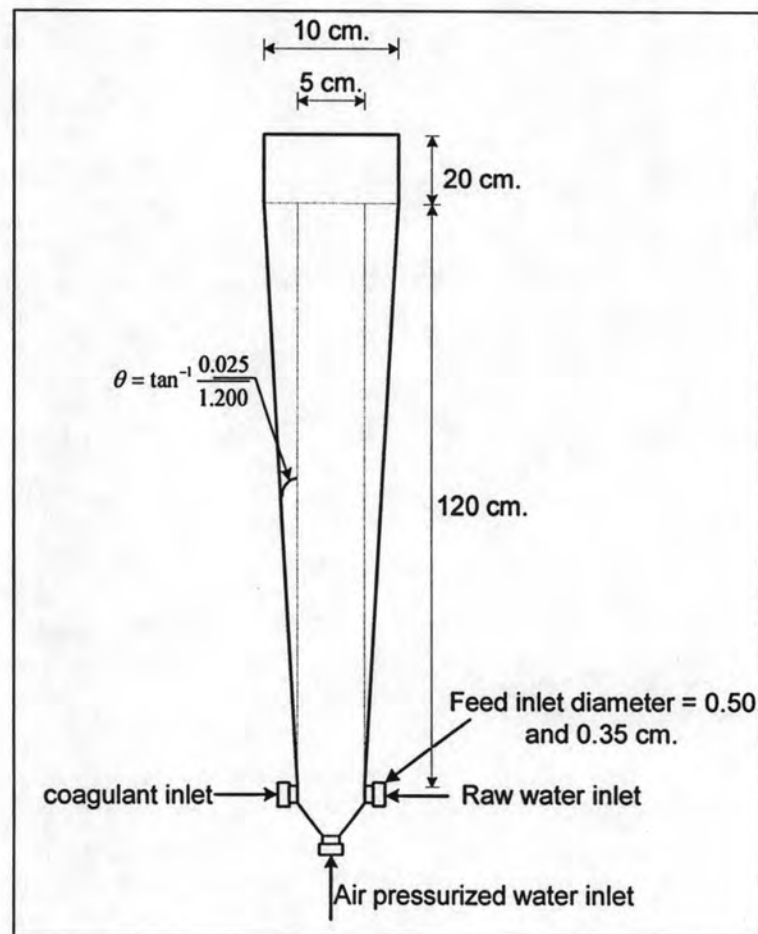
ในแง่ของกระบวนการโคแอกกูเลชันและฟลอกกูเลชัน แม้ว่าในทางปฏิบัติจะสามารถสร้างฟลอกชนิดพิเศษได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีแล้ว พบว่าเวลากักเก็บน้ำอยู่ในช่วง 0.54-2 นาที และค่าความเร็วแกรเดียนท์ที่ตำแหน่งจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์เข้าอยู่ในช่วง 40.8-150 ต่อวินาที ฉะนั้นที่อัตราการไหลต่างๆ ค่าความเร็วแกรเดียนท์ที่ได้ ยังไม่เพียงพอต่อกระบวนการ

โคแอกกูเลชัน ดังนั้นในการทดลองต่อไป นอกจากจะทำการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของถังปฏิกริยาไฮบริด เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนการไหลแบบหมุนวน และการสะสมตัวของฟล็อกที่จุดเปลี่ยนเส้นผ่านศูนย์กลางแล้ว ยังเพิ่มปริมาตรจาก 5 ลิตร เป็น 7 ลิตร ให้มีเวลากักเก็บน้ำมากขึ้น อีกทั้งลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์เข้า เพื่อให้ค่าความเร็วแกรเดียนท์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะกล่าวละเอียดต่อไปในหัวข้อที่ 4.3

ปรากฏการณ์การแยกระหว่างฟล็อกกับส่วนน้ำใส สามารถเกิดขึ้นได้กับการทดลองแบบแบตช์เท่านั้น ยังไม่สามารถเกิดขึ้นได้ด้วยการดำเนินการแบบการไหลต่อเนื่อง

4.3 ผลการทดลองด้วยถังปฏิกริยาไฮบริดทรงกรวย

ถังปฏิกริยาไฮบริดทรงกรวยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นตามแนวแกนมีรูปร่างและขนาดโดยละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 รูปร่างและขนาดของถังปฏิกริยาไฮบริดทรงกรวย

ถังปฏิกิริยาไฮบริดทรงกรวยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นตามแนวแกน มีปริมาตรเท่ากับ 7.2 ลิตร ไม่มีจุดเปลี่ยนของเส้นผ่านศูนย์กลางเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการรบกวนการไหลแบบหมุนวนและการสะสมตัวของฟลอก ซึ่งพบในถังปฏิกิริยาไฮบริดทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสองขนาด

ในการทดลองส่วนนี้ ทำเช่นเดียวกับการทดลองถังปฏิกิริยาไฮบริดทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสองขนาด นั่นคือศึกษาผลกระทบจากชนิดของสารโพลีเมอร์โคแอกกูแลนต์แต่ละชนิดด้วยการทดลองแบบแบตช์และการไหลแบบต่อเนื่อง การเปลี่ยนแปลงความดันภายในถังความดันที่ใช้ในระบบสร้างน้ำที่อ้อมตัวด้วยอากาศ อีกทั้งเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์เข้าสู่ถังปฏิกิริยา

4.3.1 ผลการทดลองกับสารโคแอกกูแลนต์ชนิดต่างๆ

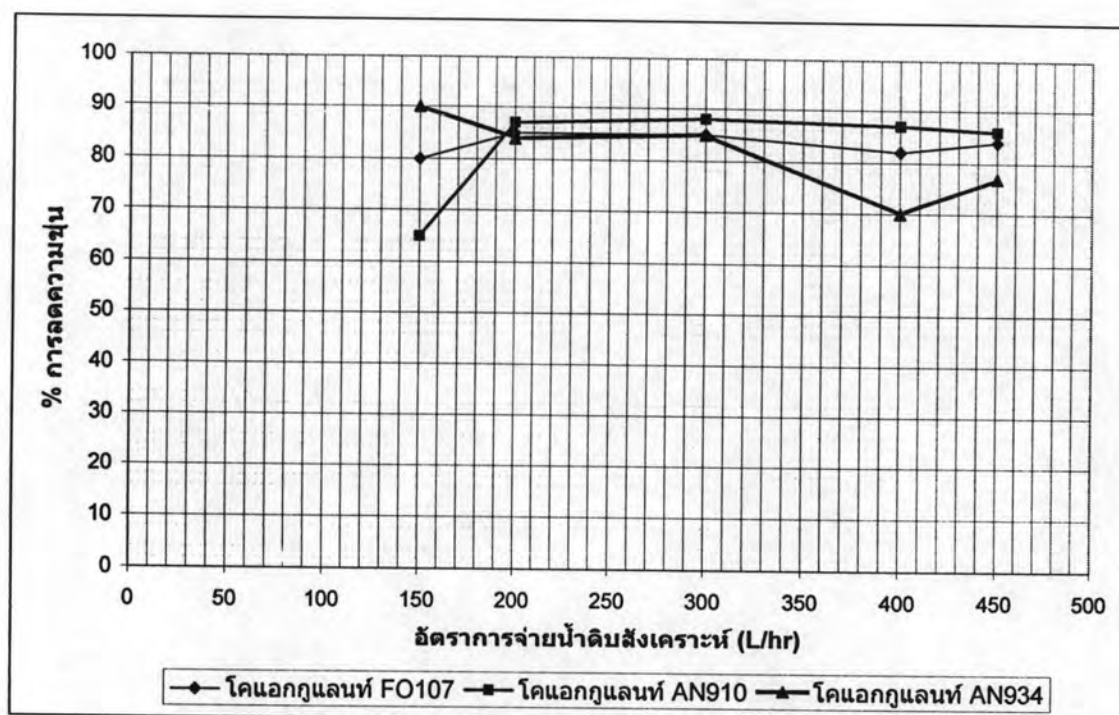
สำหรับการทดลองนี้ทำเช่นเดียวกับการทดลองด้วยถังปฏิกิริยาไฮบริดทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสองขนาด โดยแบ่งการดำเนินการทดลองเป็นสองแบบคือ การทดลองแบบแบตช์เพื่อศึกษาลักษณะการเกิดฟลอกชนิดพิเศษที่มีฟองอากาศแทรกอยู่ภายใน และการทดลองด้วยการไหลแบบต่อเนื่องเพื่อศึกษาความแตกต่างของความขุ่นระหว่างบริเวณแกนกลางกับบริเวณผิวด้านในของถังปฏิกิริยา

4.3.1.1 ผลของโพลีเมอร์ทั้งสามชนิด ในการทดลองแบบแบตช์

ในขั้นตอนนี้ ใช้วิธีการดำเนินการทดลองแต่ละอัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์โดยเดินระบบให้มีเวลากักเก็บภายในถังปฏิกิริยานานเกินกว่าค่าเวลากักเก็บตามทีคำนวณ ได้ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข เพื่อให้แน่ใจว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ก่อนหยุดก่อนทดลอง แล้วเก็บตัวอย่างน้ำไปทำการวิเคราะห์ ซึ่งผลทดลองได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.18

ตารางที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์การลดความขุ่นด้วยการทดลองแบบแบตซ์และโพลีเมอร์สามชนิด

| อัตราการไหล (ลิตรต่อชั่วโมง) | โคแอกกูแลนท์ FO107 | โคแอกกูแลนท์ AN910 | โคแอกกูแลนท์ AN934 |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 150 | 80 | 65 | 90 |
| 200 | 85 | 87 | 84 |
| 300 | 85 | 88 | 85 |
| 400 | 82 | 87 | 70 |
| 450 | 84 | 86 | 77 |



รูปที่ 4.18 เปอร์เซ็นต์การลดความขุ่นด้วยการทดลองแบบแบตซ์

จากรูปที่ 4.18 พบว่าเมื่อหยุดดำเนินการและนำตัวอย่างน้ำมาวัดความขุ่น ความขุ่นของน้ำลดต่ำลง เปอร์เซ็นต์การลดความขุ่นส่วนใหญ่สูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ด้วยโพลีเมอร์ทั้งสามชนิด แสดงว่าเกิดกระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชัน เพราะมีฟล็อกเกิดขึ้นและสามารถลดความขุ่นของน้ำได้ แต่ไม่เกิดความแตกต่างอย่างชัดเจนในแต่ละชนิดของโพลีเมอร์

เมื่อพิจารณาลักษณะการลอยของฟล็อก พบว่าตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อ

สร้างฟลอกชนิดพิเศษ คืออัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์เข้าสู่ถังปฏิกริยาไฮบริดมากกว่าชนิดของสารโคแอกกูแลนต์ โดยผลการทดลองแสดงไว้ดังตารางที่ 4.11 และตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 ผลการสังเกตฟลอกที่ลอยด้านบนถังปฏิกริยาไฮบริดด้วยการทดลองแบบแบตช์

| ชนิดของสาร โคแอกกูแลนต์ | อัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์ (ลิตรต่อชั่วโมง) | | | | |
|----------------------------|---|-----|-----|-------|-------|
| | 150 | 200 | 300 | 400 | 450 |
| FO107 | มี | มี | มี | มี | ไม่มี |
| AN910 | มี | มี | มี | ไม่มี | ไม่มี |
| AN934 | มี | มี | มี | มี | ไม่มี |

ตารางที่ 4.12 ผลการสังเกตฟลอกที่ตกลงสู่ด้านล่างของถังปฏิกริยาไฮบริดด้วยการทดลองแบบแบตช์

| ชนิดของสาร โคแอกกูแลนต์ | อัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์ (ลิตรต่อชั่วโมง) | | | | |
|----------------------------|---|-------|-----|-----|-----|
| | 150 | 200 | 300 | 400 | 450 |
| FO107 | ไม่มี | มี | มี | มี | มี |
| AN910 | ไม่มี | ไม่มี | มี | มี | มี |
| AN934 | ไม่มี | มี | มี | มี | มี |

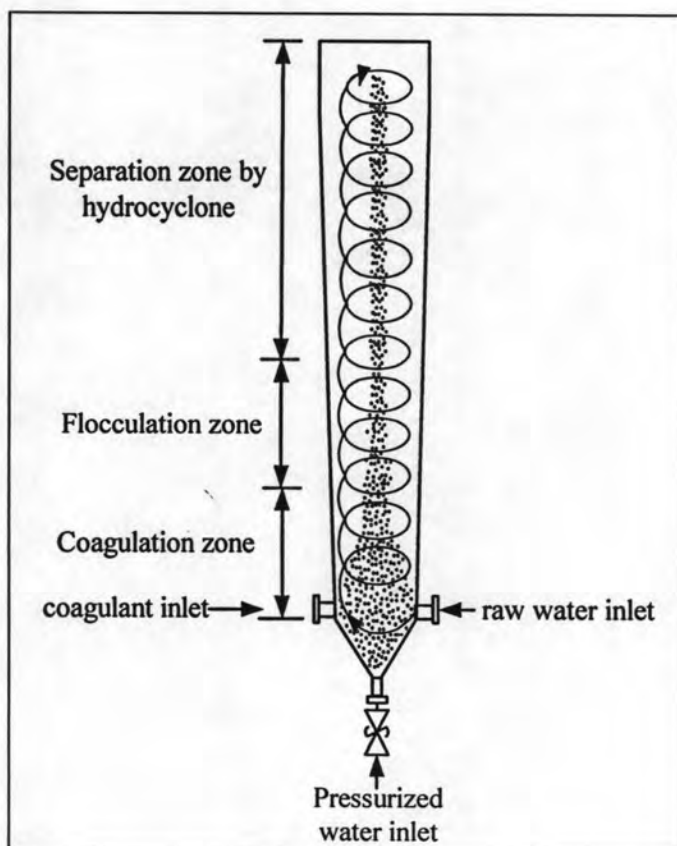
จากตารางที่ 4.11 และ 4.12 พบกว่าที่อัตราการไหลต่ำๆ (150-200 ลิตรต่อชั่วโมง) ไม่ปรากฏฟลอกตกลงไปที่ด้านล่างของถังปฏิกริยา ในทางตรงกันข้าม เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ฟลอกเริ่มตกลงไปที่ด้านล่างและไม่มีฟลอกลอยที่ด้านบนของปฏิกริยา ซึ่งให้ผลตรงกันข้ามกับถังปฏิกริยาไฮบริดทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสองขนาด อีกทั้งยังขัดแย้งกับหลักการทางไฮโดรไดนามิกส์ เมื่ออัตราการไหลสูงขึ้น ทำให้ค่าความเร็วแกวเดียนท์เพิ่มขึ้นและน่าจะเหมาะสมกับกระบวนการโคแอกกูแลนต์ซึ่งส่งผลให้กระบวนการสร้างฟลอกมีประสิทธิภาพสูงขึ้นตามไปด้วย

ดังนั้น สามารถอธิบายผลการทดลองนี้โดยใช้แนวคิดที่ว่า เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณอากาศที่จะสร้างฟลอกชนิดพิเศษไม่เพียงพอ เพราะอัตราการไหลของน้ำที่อิมตัวด้วยอากาศคงที่ด้วยค่าสูงสุดที่ 36 ลิตรต่อชั่วโมง เมื่อเพิ่มอัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์เข้าไป ทำให้อัตราส่วนระหว่างปริมาณอากาศต่ออัตราการไหลที่จ่ายเข้าทั้งหมดลดต่ำลง (Air volume flow/Inlet flow fraction) จึงทำให้ฟลอกพิเศษที่เกิดขึ้น มีฟองอากาศแทรกอยู่ไม่เพียงพอ

เช่นเดียวกับที่อธิบายผลการทดลองที่เกิดในถังปฏิกริยาไฮบริดทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสองขนาด ในหัวข้อ 4.2.1

4.3.1.2 ผลของโพลีเมอร์ทั้ง 3 ชนิด ในการทดลองการไหลแบบต่อเนื่อง

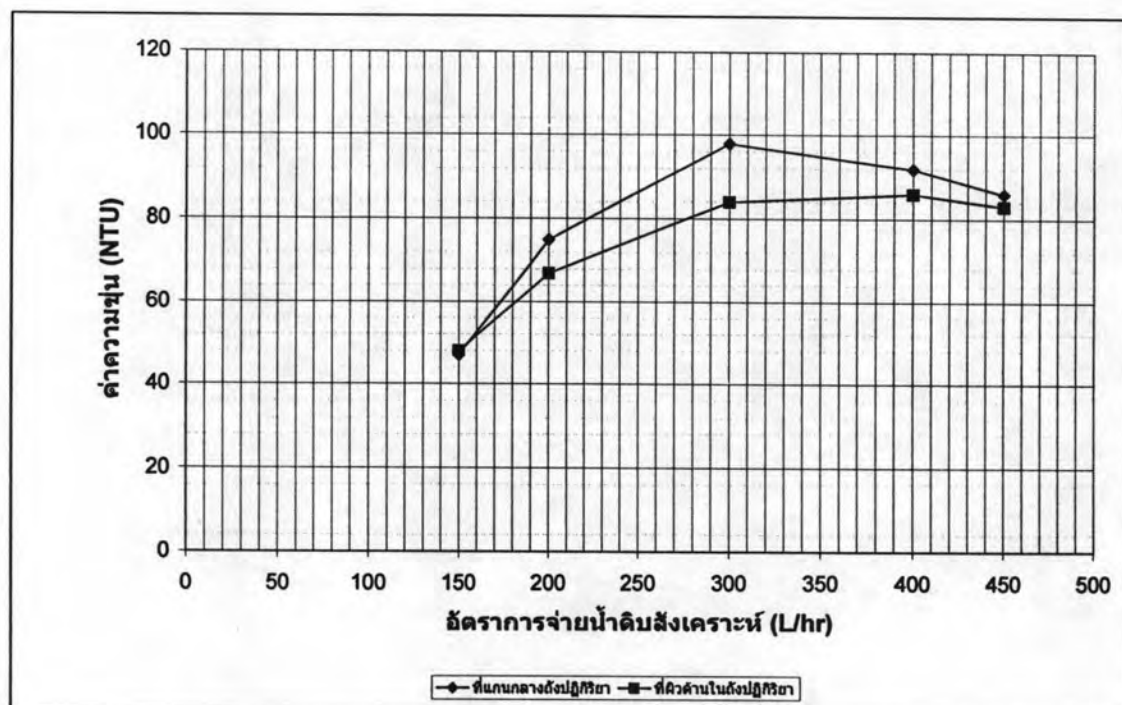
การทดลองแบบการไหลต่อเนื่อง โดยเปิดระบบและทำการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์ สารโคแอกกูแลนต์และน้ำที่อิ่มตัวด้วยอากาศ ให้มีเวลากักเก็บเพียงพอเพื่อให้มั่นใจว่าระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวัดความขุ่นและปริมาณค่าของแข็งแขวนลอยระหว่างบริเวณผิวของถังปฏิกริยา กับบริเวณแกนกลางของถังปฏิกริยา เพื่อสังเกตการแยกระหว่างฟลอกชนิดพิเศษกับน้ำใส โดยปรากฏการณ์ที่คาดหวังไว้ คือ ฟลอกชนิดพิเศษที่เกิดจากกระบวนการโคแอกกูเลชัน ฟลอกกูเลชันและฟองอากาศจากน้ำที่อิ่มตัวด้วยอากาศ แยกออกจากน้ำโดยมารวมตัวกันที่บริเวณแกนกลางของถังปฏิกริยาด้วยการไหลแบบหมุนวน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.19 สำหรับการแบ่งบริเวณของการเกิดกระบวนการเป็นการประมาณคร่าวๆ เพื่อให้เห็นภาพว่ากระบวนการทั้งสามนั้นเกิดขึ้นภายในถังปฏิกริยา



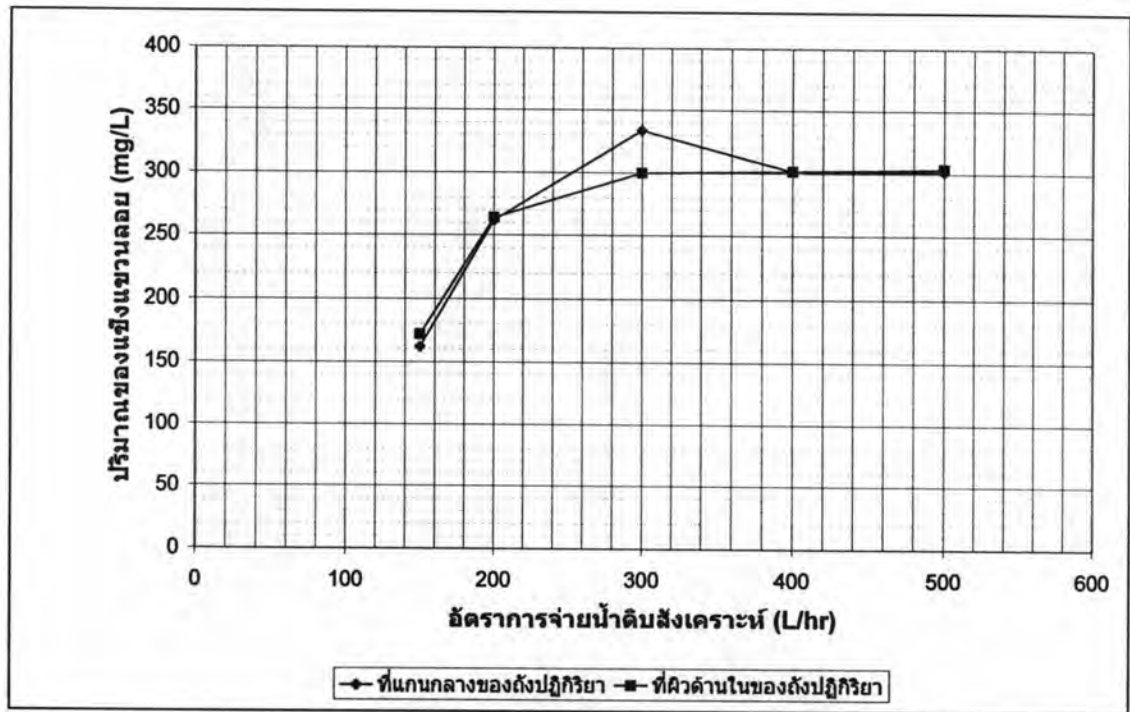
รูปที่ 4.19 ปรากฏการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการทดลองด้วยการไหลแบบต่อเนื่อง

4.3.1.2.1 โคแอกกูแลนต์โพลีเมอร์ประจุบวก FO107

ในส่วนของการทดลองนี้ นอกจากจะวัดความขุ่นของน้ำภายในถังปฏิกิริยาแล้ว ยังทำการวัดค่าของแข็งแขวนลอยอีกด้วย (Suspended solid) เนื่องจาก เมื่อทำการเก็บตัวอย่างน้ำในถังปฏิกิริยามาทำการวัดความขุ่น ฟлокที่เกิดขึ้นตกตะกอนหรือลอยอยู่ในขวดแก้วสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ ทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดค่าความขุ่นได้ง่าย ดังนั้นจึงยากที่จะให้ค่าความขุ่นเป็นตัวแทนความสามารถในการบำบัดน้ำดิบ ดังนั้นจึงแก้ไขปัญหานี้โดยการวัดค่าของแข็งแขวนลอยร่วมด้วย เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบ และยืนยันปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในถังปฏิกิริยาไฮบริด



รูปที่ 4.20 ค่าความขุ่นของน้ำบริเวณแกนกลางและผิวด้านในด้วยโคแอกกูแลนต์ FO107



รูปที่ 4.21 ค่าของแข็งแขวนลอยที่บริเวณแกนกลางและผิวด้านในของถังปฏิกริยา ด้วยโคแอกกูแลนต์ FO107

จากรูปที่ 4.20 ความชันระหว่างบริเวณแกนกลางกับผิวด้านในของถังปฏิกริยา พบว่ามีแนวโน้มแตกต่างกันเมื่อเพิ่มอัตราการไหล จนกระทั่งที่ 300 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่เกิดการไหลแบบหมุนวน (Vortex) ตลอดความยาวของแกนถังปฏิกริยา และความชันบริเวณแกนกลางสูงกว่าบริเวณผิวด้านในของถังปฏิกริยา แสดงถึงแนวโน้มของปรากฏการณ์ที่คาดไว้ว่าการไหลแบบหมุนวนจะแยกฟล็อกชนิดพิเศษที่เกิดขึ้น ให้มารวมอยู่บริเวณแกนกลางของถังปฏิกริยา แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลสูงขึ้น ความชันบริเวณทั้งสองไม่แตกต่างกัน นั่นคือไม่เกิดการแยกระหว่างฟล็อกกับน้ำใส แสดงว่าฟล็อกที่เกิดขึ้นจากการทดลองเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้น มีความหนาแน่นไม่แตกต่างกับความหนาแน่นของน้ำ ทำให้ไม่สามารถแยกได้ด้วยวิธีการไหลแบบหมุนวน ทั้งนี้ การที่ความหนาแน่นไม่แตกต่างกันนั้น เป็นเพราะว่าปริมาณอากาศที่จ่ายเข้าไปมีไม่เพียงพอที่จะแทรกเข้าไปในฟล็อก ทำให้ฟล็อกที่เกิดขึ้นมีฟองอากาศแทรกอยู่ไม่เพียงพอที่จะทำให้ความหนาแน่นต่ำกว่าความหนาแน่นของน้ำ

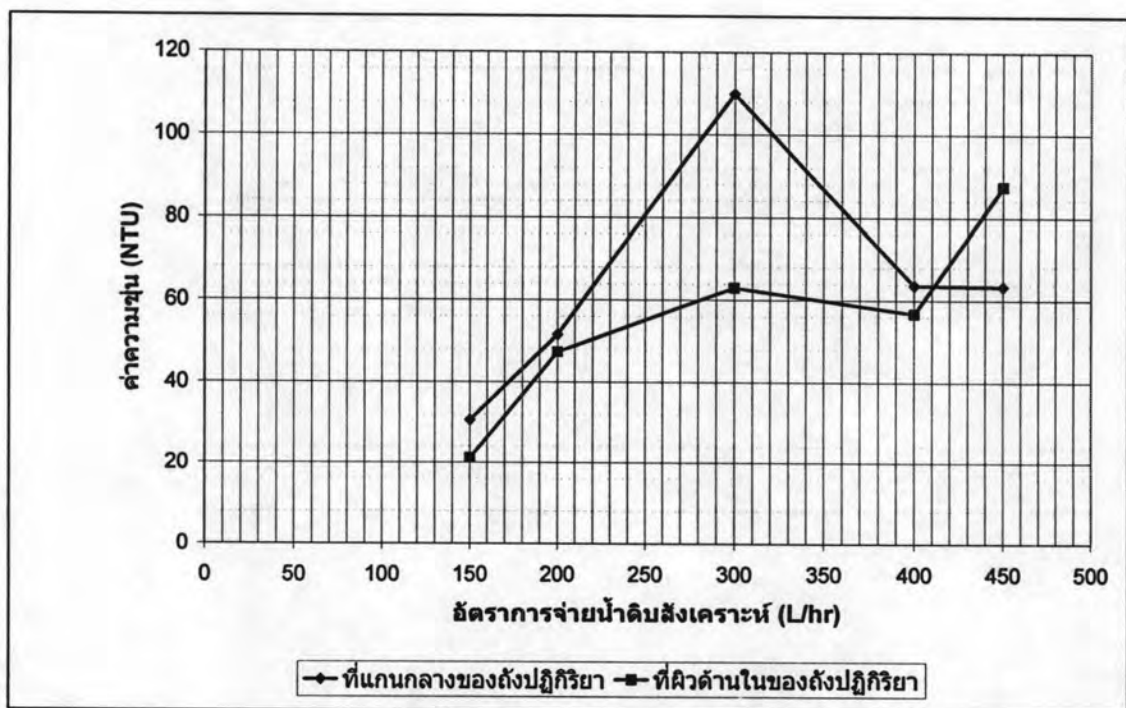
จากรูปที่ 4.21 ค่าของแข็งแขวนลอยระหว่างบริเวณแกนกลางกับผิวด้านในของถังปฏิกริยา ให้ผลมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับค่าความชัน และที่อัตราการไหล 300 ลิตรต่อชั่วโมงของแข็งแขวนลอยบริเวณแกนกลางของถังปฏิกริยาสูงกว่าบริเวณผิวด้านใน แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลสูงขึ้น ค่าของแข็งแขวนลอยไม่มีความแตกต่างกัน นั่นคือไม่เกิดการแยกระหว่างฟล็อกกับน้ำ

ใส สาเหตุสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับผลการวัดค่าความขุ่น นั่นคือ เมื่ออัตราการไหลสูงขึ้น ทำให้ปริมาณอากาศที่จ่ายเข้าไปมีไม่เพียงพอที่จะสร้างฟลอกชนิดพิเศษ ให้มีความหนาแน่นต่ำกว่าความหนาแน่นของน้ำ จึงไม่สามารถแยกออกได้ด้วยการไหลแบบหมุนวนที่เกิดขึ้นภายในถังปฏิกริยา

อย่างไรก็ดีจากผลการทดลอง อาจกล่าวได้ว่า อัตราการไหลที่เหมาะสมที่เป็นจุดเริ่มต้นการแยกระหว่างฟลอกกับน้ำใสคือที่ 300 ลิตรต่อชั่วโมง

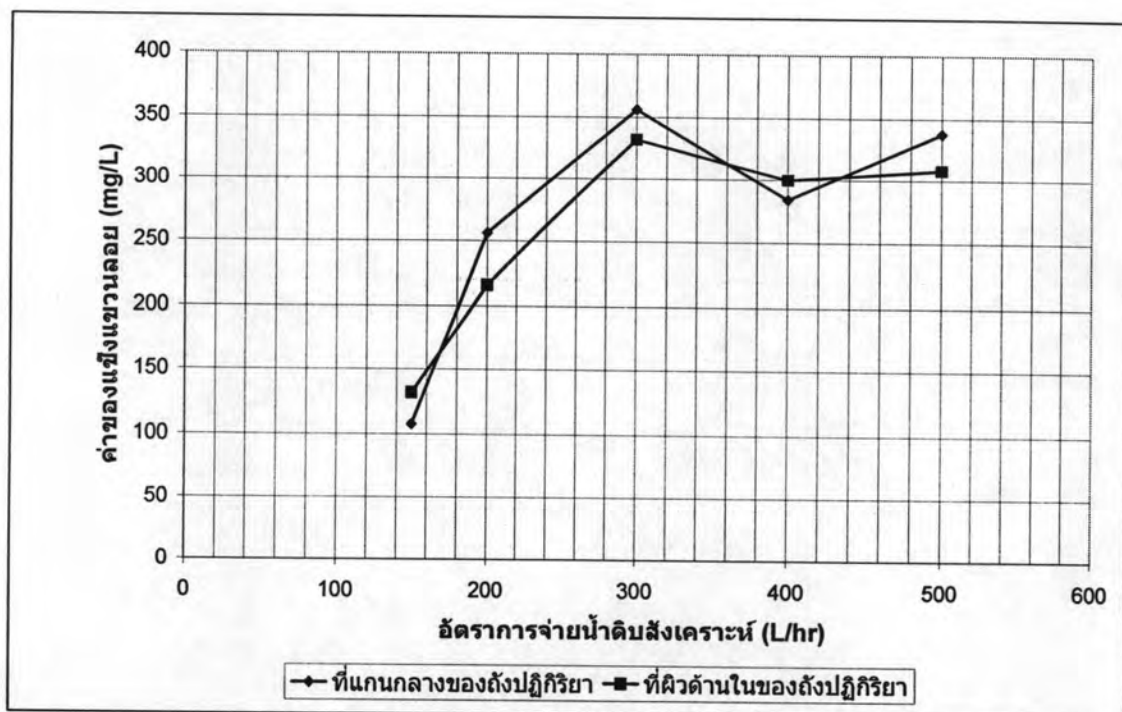
4.3.1.2.2 โคแอกกูแลนต์โพลีเมอร์ประจุลบและไม่มีประจุ AN910

วิธีการทดลองทำเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่แล้วที่ใช้โคแอกกูแลนต์ FO107 นั่นคือมีการวัดค่าความขุ่นและของแข็งแขวนลอยที่บริเวณแกนกลางและผิวด้านในของถังปฏิกริยาไฮบริด ซึ่งผลการทดลองแสดงไว้ดังรูปที่ 4.22 และ 4.23



รูปที่ 4.22 ค่าความขุ่นของน้ำที่แกนกลางและผิวด้านในของถังปฏิกริยาด้วยโคแอกกูแลนต์ AN910





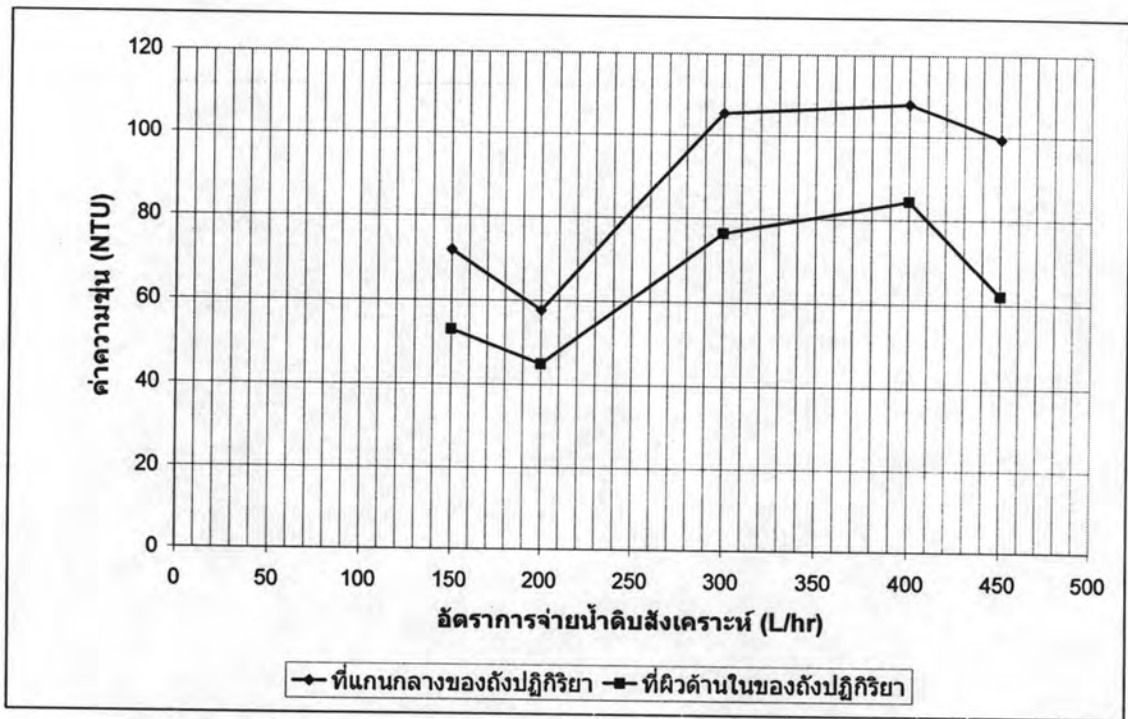
รูปที่ 4.23 ค่าของแข็งแขวนลอยที่บริเวณแกนกลางและผิวด้านในของถังปฏิกริยา
ด้วยโคแอกกูแลนต์ AN910

จากรูปที่ 4.22 พบว่าความแตกต่างของความขุ่นระหว่างบริเวณแกนกลางกับบริเวณผิวด้านในของถังปฏิกริยาแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดที่อัตราการไหล 300 ลิตรต่อชั่วโมง นั่นคือฟล็อกที่เกิดขึ้นแยกมารวมตัวกันที่บริเวณแกนกลางของถังปฏิกริยา อีกทั้งที่อัตราการไหลนี้ เกิดการไหลแบบหมุนวนขึ้นด้วย

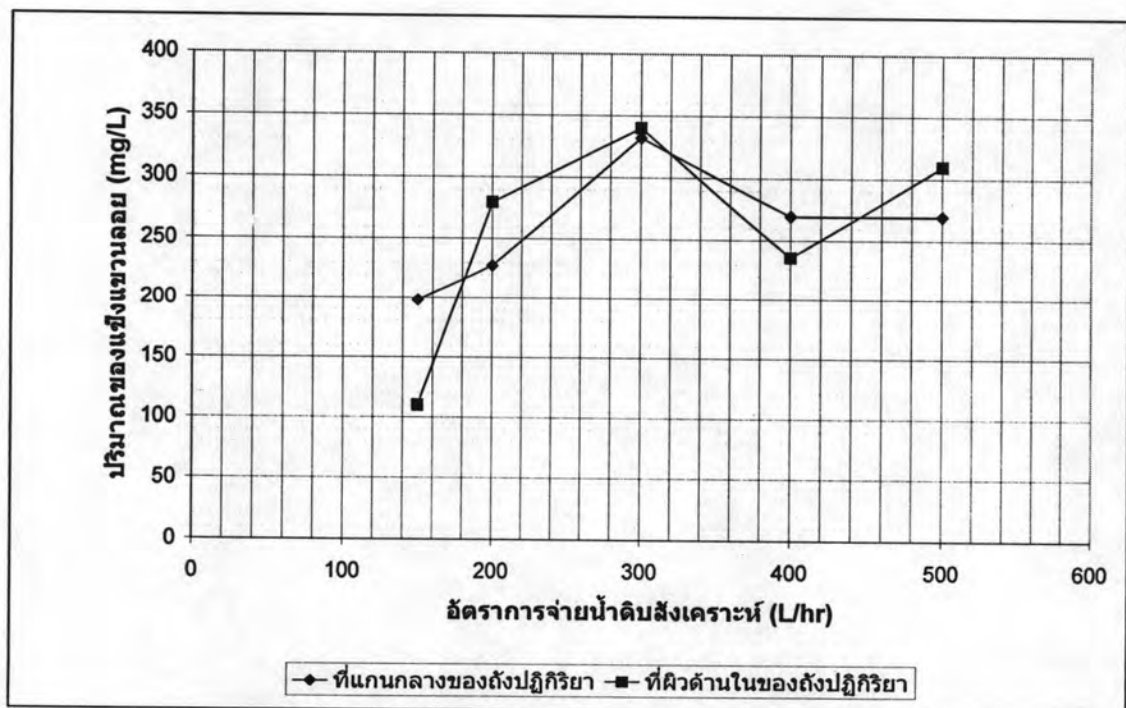
แต่เมื่อพิจารณารูปที่ 4.23 พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยของทั้งสองบริเวณมีค่าใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่าเกิดการแยกระหว่างฟล็อกกับน้ำใสได้ด้วยการทดลองนี้

4.3.1.2.3 โคแอกกูแลนต์โพลีเมอร์ประจุลบและไม่มีประจุ AN934

ในการทดลองนี้ใช้วิธีดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับโคแอกกูแลนต์สองชนิดแรก แต่เปลี่ยนสารโคแอกกูแลนต์เป็นชนิด AN934 ซึ่งผลการทดลองแสดงอยู่ในรูปที่ 4.24 และ 4.25



รูปที่ 4.24 ค่าความขุ่นของน้ำที่แกนกลางและผิวด้านในของถังปฏิกริยา
ด้วยโคแอกกูแลนต์ AN934



รูปที่ 4.25 ค่าของแข็งแขวนลอยที่บริเวณแกนกลางและผิวด้านในของถังปฏิกริยา
ด้วยโคแอกกูแลนต์ AN934

จากรูปที่ 4.24 ผลการทดลองมีแนวโน้มที่ดีนั่นคือ ความชุ่มบริเวณแกนกลางของถัง ปฏิริยาสูงกว่าบริเวณผิวด้านใน เมื่อหยุดดำเนินการแล้วพบว่าความชุ่มของน้ำต่ำลง โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดความชุ่มสูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าเกิดกระบวนการโคแอกกูเลชัน และฟลอกกูเลชันในการกำจัดความชุ่มออกจากน้ำได้ดี

แต่เมื่อพิจารณารูปที่ 4.25 พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยของบริเวณทั้งสองไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ผลซึ่งไม่สอดคล้องกันระหว่างค่าความชุ่มและปริมาณของแข็งแขวนลอยนี้ อาจเกิดจากข้อผิดพลาดในการวัดความชุ่ม เนื่องจากฟลอกที่เกิดรวมตัวกันมีขนาดใหญ่เกิดที่จะเป็น ตัวแทนค่าความชุ่มได้ จึงทำการวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยเพื่อตรวจสอบ จากการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยระหว่างแกนกลางและผิวด้านในของถังปฏิริยาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่าการแยกระหว่างฟลอกที่เกิดขึ้นกับส่วน น้ำใสได้

4.3.1.2.4 สรุปผลของโพลีเมอร์ทั้ง 3 ชนิดด้วยการไหลแบบต่อเนื่อง

จากผลการทดลองด้วยโคแอกกูแลนท์ทั้งสามชนิด แสดงให้เห็นว่าชนิดของสารโคแอกกูแลนท์ที่ไม่มีผลกระทบต่อลักษณะการเกิดฟลอก แต่สามารถทำให้เกิดกระบวนการโคแอกกูเลชัน และฟลอกกูเลชันได้ เพราะมีฟลอกเกิดขึ้นและเปอร์เซ็นต์การลดความชุ่มสูงเกินกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ เท่ากันทั้งสามชนิดในการทดลองแบบแบตช์ อย่างไรก็ตาม จากการสังเกตของผู้ทำการวิจัยพบว่า ฟลอกที่เกิดขึ้นภายในถังปฏิริยาไฮบริดทรงกรวยนี้ ไม่รวมตัวเป็นฟลอกก้อนใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับถังปฏิริยาไฮบริดทรงกระบอก

สำหรับถังปฏิริยาไฮบริดแบบกรวยนี้ เกิดการไหลแบบหมุนวน (Vortex) ขึ้นได้ด้วยอัตราการไหลที่ 300 ลิตรต่อชั่วโมง และไม่เกิดปัญหาการไหลแบบหมุนวน เพราะไม่มีจุดเปลี่ยนเส้นผ่านศูนย์กลาง ในขณะที่ถังปฏิริยาไฮบริดทรงกระบอกเกิดการไหลแบบหมุนวนที่อัตราการไหล 400 ลิตรต่อชั่วโมง

การแยกระหว่างฟลอกกับส่วนน้ำใส สามารถเกิดขึ้นได้กับการทดลองแบบแบตช์เท่านั้น ยังไม่สามารถเกิดขึ้นได้ด้วยการดำเนินการแบบการไหลต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณฟลอกที่ลอยด้านบนของไซโคลนเมื่อหยุดดำเนินการลดน้อยลง เมื่ออัตราการจ่ายน้ำดิบสูงขึ้น

4.3.2 ผลของความดันภายในถังความดันที่ใช้ในระบบสร้างน้ำที่อิมตัวด้วยอากาศ ต่อการเกิดฟลอกชนิดพิเศษด้วยกระบวนการไฮบริด

จากผลการทดลองในตอนที่ผ่านมา พบว่าในการทดลองแบบแบดซ์นั้น ปริมาณของตะกอนที่ลอยลดลงตามการเพิ่มของอัตราการไหล ซึ่งขัดแย้งกับหลักทางทฤษฎี เพราะเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเร็วแรงแย้มที่เพิ่มขึ้น และจะทำให้กระบวนการโคแอกกูเลชันและฟลอกกูเลชันดีขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นฟลอกชนิดพิเศษก็น่าจะเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพตามอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นด้วย จากผลการคำนวณที่ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มอัตราการไหลทำให้ปริมาณอากาศต่ออัตราการไหลทั้งหมดนั้นลดลง ทำให้ฟลอกที่เกิดขึ้นมีฟองอากาศแทรกไม่เพียงพอ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทำการศึกษาผลของความดันภายในถังความดันที่ใช้ในระบบสร้างน้ำที่อิมตัวด้วยอากาศ

ในการทดลองส่วนนี้ควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่อิมตัวด้วยอากาศให้คงที่อยู่ที่ 36 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นอัตราการไหลสูงสุด สารโคแอกกูแลนท์ที่ใช้คือ FO107 ซึ่งเป็นสารโพลีเมอร์โคแอกกูแลนท์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจากผลการทดลองตอนที่ 1 โดยควบคุมความเข้มข้นที่ออกจากถังปฏิกิริยาให้เท่ากันทุกการทดลองที่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการปรับอัตราการจ่ายสารโคแอกกูแลนท์ให้สอดคล้องกับอัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบระหว่างอัตราการจ่ายน้ำดิบ 300 และ 400 ลิตรต่อชั่วโมง เนื่องจากที่อัตราการไหล 300 ลิตรต่อชั่วโมงเป็นอัตราการไหลที่เริ่มปรากฏการไหลแบบหมุนวน (Vortex flow) นั่นคือมีแนวโน้มที่จะสามารถแยกฟลอกชนิดพิเศษออกจากน้ำใสได้ และ 400 ลิตรต่อชั่วโมง เพื่อแสดงผลจากการเพิ่มอัตราการจ่ายน้ำดิบ และนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการไหล 300 ลิตรต่อชั่วโมง แล้วทำการเปลี่ยนแปลงความดันภายในถังสร้างน้ำที่อิมตัวด้วยอากาศตั้งแต่ 2 ถึง 4 บาร์ สังเกตผลการทดลองหลังจากหยุดดำเนินการเพื่อดูลักษณะการลอยของฟลอก ซึ่งผลการทดลองแสดงดังในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองลักษณะการลอยของฟลอก ณ เวลาต่างๆหลังจากหยุดเดินระบบ

| เวลาหลังหยุด เดินระบบ (นาที่) | อัตราการไหลของน้ำดิบสังเคราะห์ (ลิตรต่อชั่วโมง) | |
|---|---|---|
| | 300 | 400 |
| | ความดันในถังอัดความดัน 3.0 บาร์ | |
| ที่เวลา 1 นาที่ ที่เวลา 3 นาที่ ที่เวลา 5 นาที่ | ฟลอกแขวนลอยอยู่ในน้ำ ฟลอกเริ่มตกตะกอน ฟลอกตกตะกอนหมด | ฟลอกแขวนลอยอยู่ในน้ำ ฟลอกเริ่มตกตะกอน ฟลอกตกตะกอนหมด |
| | ความดันในถังอัดความดัน 3.5 บาร์ | |
| ที่เวลา 1 นาที่ ที่เวลา 3 นาที่ ที่เวลา 5 นาที่ | ฟลอกแขวนลอยอยู่ในน้ำ ฟลอกบางส่วนเริ่มลอยขึ้น และบางส่วนตกตะกอน ฟลอกบางส่วนลอยอยู่ด้านบน และบางส่วนตกตะกอน | ฟลอกแขวนลอยอยู่ในน้ำ ฟลอกบางส่วนเริ่มลอยขึ้น และบางส่วนตกตะกอน ฟลอกบางส่วนลอยอยู่ด้านบน และบางส่วนตกตะกอน |
| | ความดันในถังอัดความดัน 4.0 บาร์ | |
| ที่เวลา 1 นาที่ ที่เวลา 3 นาที่ ที่เวลา 5 นาที่ | ฟลอกแขวนลอยอยู่ในน้ำ ฟลอกเริ่มลอยขึ้นอย่างรวดเร็ว ฟลอกลอยขึ้นไปสะสมอยู่ด้านบน ทั้งหมด | ฟลอกแขวนลอยอยู่ในน้ำ ฟลอกเริ่มลอยขึ้นอย่างรวดเร็ว ฟลอกลอยขึ้นไปสะสมอยู่ด้านบน ทั้งหมด |

ในการทดลองนี้พบว่า ลักษณะการลอยและจมของฟลอกที่เกิดขึ้นนั้น จะค่อยๆเกิดขึ้นตามเวลาที่ทำการสังเกต เนื่องจากมีบางสภาวะที่ฟลอกไม่ลอยขึ้นทันที แต่เมื่อเวลาผ่านไป 3 นาที ฟลอกจึงเริ่มลอยขึ้นหรือตกลงด้านล่าง ดังนั้นจึงทำการสังเกตผลการทดลองที่เวลาต่างๆกัน นั่นคือที่เวลา 1 นาที 3 นาที และ 5 นาทีตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองในตารางที่ 4.13 พบว่าที่ความดัน 4 บาร์ทำให้ฟลอกลอยขึ้นด้านบนของถังปฏิกิริยาไฮบริดทั้งหมดด้วยอัตราการไหลทั้งสองค่า ซึ่งแตกต่างจากผลการทดลองด้วยถังปฏิกิริยาไฮบริดทรงกระบอกที่ความดันเดียวกัน ใช้ความดันที่

3.5 บาร์ สามารถลอยฟลอกขึ้นทั้งหมดได้ จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าความดันในถังอัดความดันส่งผลอย่างสำคัญต่อการสร้างฟลอกชนิดพิเศษ ในขณะที่อัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นให้ผลการทดลองไม่ต่างกัน

4.3.3 ผลของการปรับเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์เข้าสู่ถังปฏิกริยาไฮบริด ต่อค่าความเร็วแกรเดียนท์และปรากฏการณ์ภายในถังปฏิกริยาไฮบริด

จากผลการทดลองในตอนที่ผ่านมา พบว่าเมื่ออัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์สูงขึ้น ทำให้เกิดการไหลแบบหมุนวนภายในถังปฏิกริยา แต่ยังไม่เกิดการแยกระหว่างฟลอกชนิดพิเศษที่เกิดขึ้นกับน้ำใส ในการทดลองนี้จึงทำการปรับเปลี่ยนลักษณะของถังปฏิกริยาเพื่อให้สามารถเพิ่มค่าความเร็วแกรเดียนท์สูงขึ้น โดยทำการลดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางช่องจ่ายน้ำดิบเข้าสู่ถังปฏิกริยา

ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดเดียวกันที่ใช้ทดลองกับถังปฏิกริยาไฮบริดแบบทรงกระบอก กับเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.35 เซนติเมตร เพื่อเพิ่มค่าความเร็วแกรเดียนท์ให้สูงขึ้น และสร้างการหมุนวนภายในถังปฏิกริยาไฮบริด (Vortex flow) ให้แรงมากขึ้น

วิธีการคำนวณ ใช้สมการที่ 2.33 ซึ่งใช้หาค่าความเร็วแกรเดียนท์ที่ความสูงใดๆของถังปฏิกริยาไฮบริดทรงกรวย

$$G = \frac{Q \times \alpha \times n}{A_1(h \tan \theta + r)} \quad (2.33)$$

ตัวอย่างการคำนวณ

| | | | |
|--------------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ที่อัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์ | = | 150 | ลิตรต่อชั่วโมง |
| ที่ความสูงของถังปฏิกริยา | = | 0.10 | เมตร |
| ค่าคงที่ α | = | 0.8 | |
| ค่าคงที่ n | = | 0.6 | |
| ค่ารัศมีของถังปฏิกริยา r | = | 0.025 | เมตร |
| ค่า $\tan \theta$ | = | $\frac{0.025}{1.20}$ | |
| ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องจ่ายน้ำเข้า | = | 0.50 | เซนติเมตร |

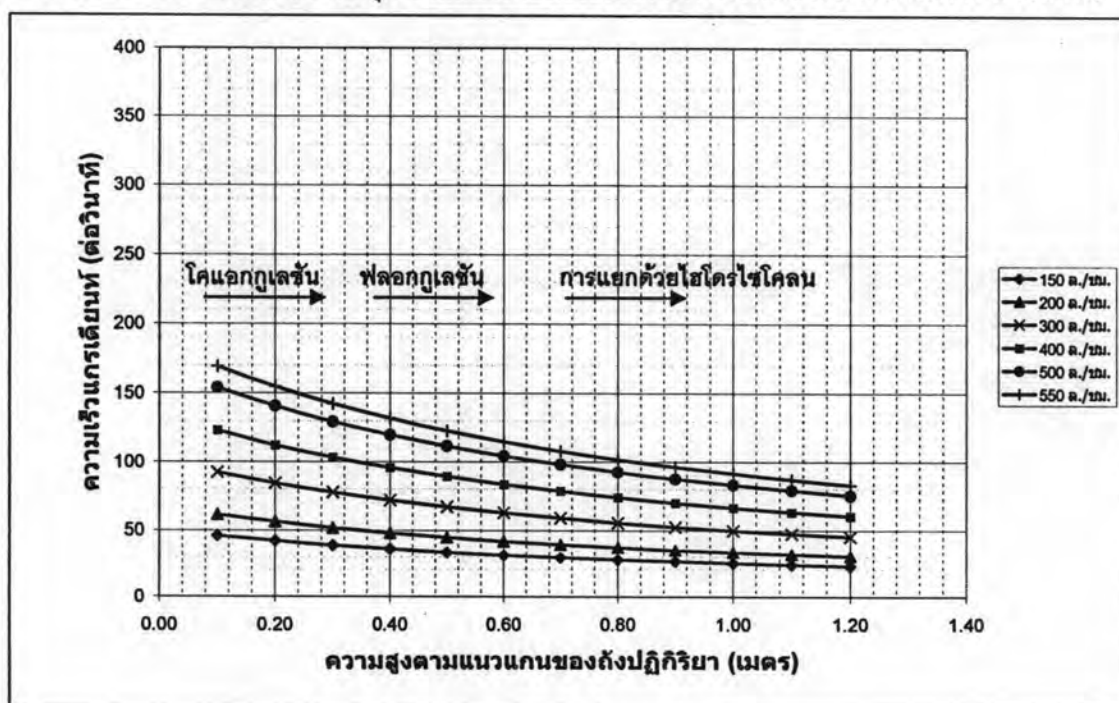
พื้นที่ช่องจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์เข้า = 1.96×10^{-5} ตารางเมตร
 ฉะนั้น ค่าความเร็วแกรเดียนท์

$$G = \frac{150L/hr \times 0.8 \times 0.6}{1.96 \times 10^{-5} m^2 (0.10m \times \frac{0.025}{1.20} + 0.02)}$$

ความเร็วแกรเดียนท์ที่ความสูง 0.10 เมตร = 46.20 ต่อวินาที

4.3.3.1 ผลการทดลองเมื่อใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 เซนติเมตร

จากผลการคำนวณตามสมการดังกล่าว ทำให้ได้ค่าความเร็วแกรเดียนท์ดังที่แสดงดังรูปที่ 4.26 ทั้งนี้ค่าที่คำนวณในแต่ละจุด ได้แสดงรายละเอียดการคำนวณไว้ในภาคผนวก ค หัวข้อ ค.6



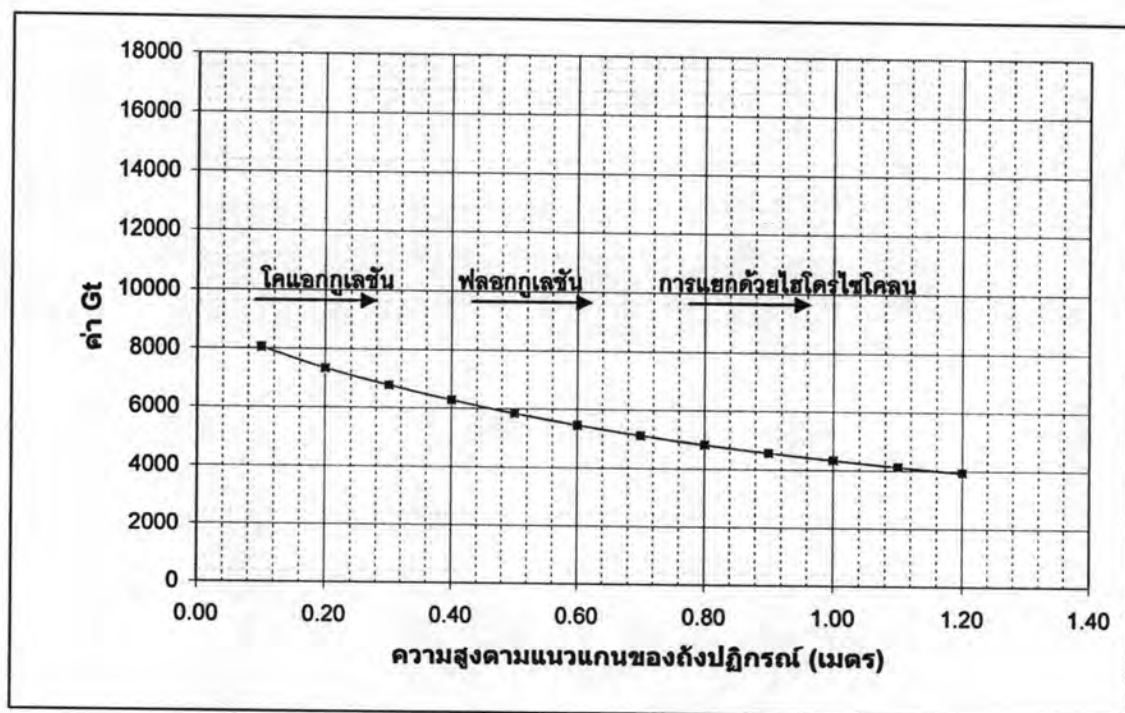
รูปที่ 4.26 ค่าความเร็วแกรเดียนท์ที่เทียบกับความสูงของถังปฏิกริยาไฮบริดทรงกรวยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์ 0.50 เซนติเมตร

ค่าความเร็วแกรเดียนท์ที่คำนวณได้ มีค่าอยู่ระหว่าง 20 -170 ต่อวินาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีแล้ว ค่าความเร็วแกรเดียนท์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโคแอกกูแลนต์ควรไม่ต่ำกว่า 300 ต่อวินาที ในขณะที่ค่าที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการฟลอกกูเลชันควรอยู่ในช่วง 60-100 วินาที (มันสิน, 2542) ดังนั้นจากผลการคำนวณที่ได้แสดงให้เห็นว่า ช่วง

ความเร็วแกรเดียนท์จากช่องสำหรับจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์ขนาด 0.50 เซนติเมตรยังไม่เพียงพอสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชัน ดังนั้นจึงทำการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพื่อเพิ่มค่าความเร็วแกรเดียนท์ในการทดลองส่วนต่อไป

สำหรับบริเวณการเกิดกระบวนการต่างๆดังแสดงในรูปที่ 4.26 นั้น เป็นการประมาณขึ้นตามความสูงของถังปฏิริยาตามแนวคิดของปรากฏการณ์ที่คาดไว้ว่าจะเกิดขึ้น นั่นคือ ที่บริเวณตอนล่างของถังปฏิริยาจะเกิดกระบวนการโคแอกกูเลชัน และที่ความสูงขึ้นมาในตอนกลางตัวเรือนของถังปฏิริยาจะเกิดกระบวนการฟล็อกกูเลชัน และในบริเวณตอนบนของถังปฏิริยาจะเกิดการแยกอนุภาคด้วยการไหลแบบหมุนวนที่เกิดขึ้นภายใน อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ยังไม่ได้ศึกษาถึงสนามความเร็วของของไหลภายในถังปฏิริยา ทำให้ไม่สามารถคำนวณค่าความเร็วแกรเดียนท์ที่ถูกต้องตามความสูงของถังปฏิริยาได้ จึงยังไม่สามารถระบุได้ชัดเจนและถูกต้องถึงกระบวนการที่เกิดขึ้นต่อความสูงของถังปฏิริยา

นอกจากความเร็วแกรเดียนท์แล้ว ค่า Gt ก็ยังมีผลต่อการเกิดโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชันด้วย โดยที่ค่า Gt สำหรับการทดลองชุดนี้ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ค่า Gt ที่ความสูงใดๆของถังปฏิริยาไฮบริดทรงกรวยด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์เท่ากับ 0.50 เซนติเมตร

จากรูปที่ 4.27 ค่า G_t มีค่าเท่ากันทุกๆอัตราการใช้ เนื่องจาก เมื่ออัตราการใช้สูงขึ้น ทำให้เวลากักเก็บภายในถังปฏิกิริยาลดลง ดังนั้นผลคูณในเทอม G_t จึงเท่ากัน ค่า G_t ภายในถังปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 4,000-8,000 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี สำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชัน ค่า G_t ควรอยู่ในช่วง 1,500 – 30,000 และสำหรับกระบวนการฟล็อกกูเลชัน ค่า G_t ควรอยู่ในช่วง 9,000 – 3,600,000 ซึ่งในงานวิจัยนี้ค่า t จะแปรตามค่าอัตราการใช้บำบัดสิ่งเคระหะห์ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 47-174 วินาที

ดังนั้นเมื่อพิจารณาในเทอมของ G_t แล้วพบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.50 เซนติเมตร เหมาะสมสำหรับการเกิดกระบวนการโคแอกกูเลชันเพราะค่าความเร็วแกรเดียนท์อยู่ในช่วงตามค่าทางทฤษฎี แต่ยังไม่เพียงพอต่อกระบวนการฟล็อกกูเลชันเพราะค่า G_t ที่คำนวณได้ยังไม่อยู่ในช่วงของค่าทางทฤษฎี

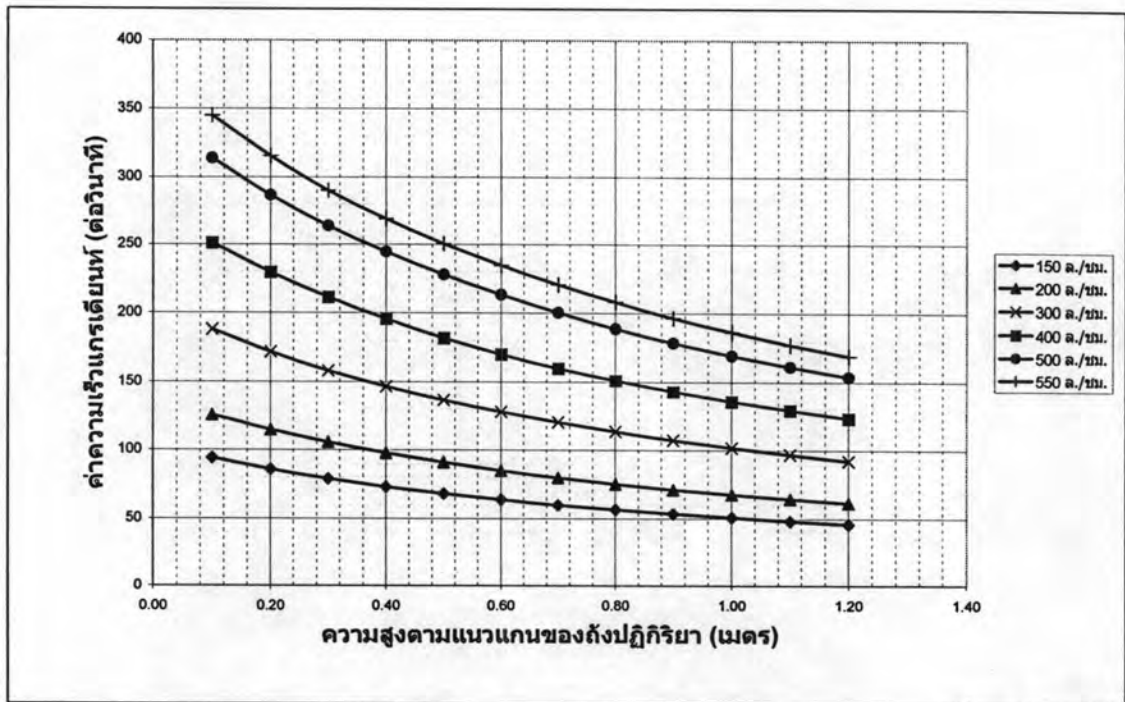
ดังนั้นจากสมการที่ 2.33 $G = \frac{Q \times \alpha \times n}{A_t (h \tan \theta + r)}$ ตัวแปรสำคัญที่สามารถเพิ่มความเร็วแกรเดียนท์ได้ก็คือ การลดพื้นที่หน้าตัดของช่องการจ่ายน้ำบำบัดสิ่งเคระหะห์ ซึ่งจะทำการคำนวณและเปรียบเทียบในหัวข้อถัดไป

4.3.3.2 ผลการทดลองเมื่อใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 เซนติเมตร

เมื่อทำการคำนวณด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 เซนติเมตร ทำให้เกิดการไหลแบบหมุนวนที่อัตราการใช้เข้าเท่ากับ 200 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งต่ำกว่าเมื่อใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 เซนติเมตร ที่ทำให้เกิดการหมุนวนที่อัตราการใช้เข้าเท่ากับ 300 ลิตรต่อชั่วโมง เมื่อใช้การคำนวณตามสมการที่ 2.33

$$G = \frac{Q \times \alpha \times n}{A_t (h \tan \theta + r)} \quad (2.33)$$

ทำให้ได้ค่าความเร็วแกรเดียนท์ดังที่แสดงดังรูปที่ 4.28 และแสดงค่าที่คำนวณโดยละเอียดไว้ในภาคผนวก ค หัวข้อ ค.7

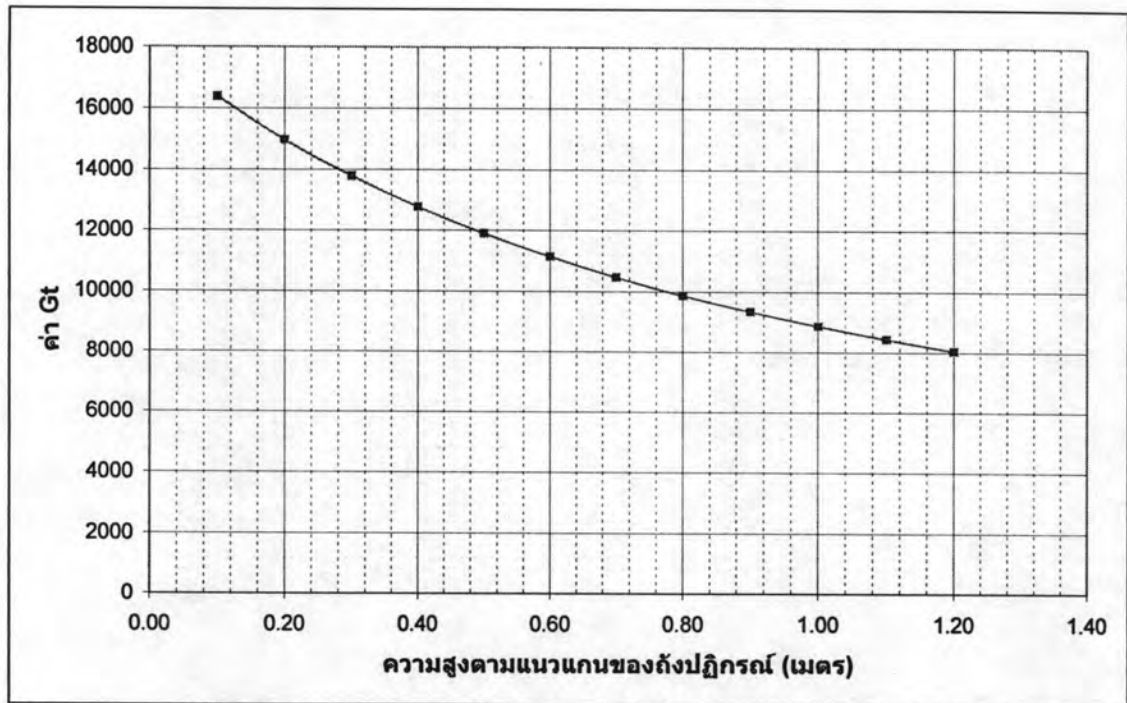


รูปที่ 4.28 ค่าความเร็วแกรเดียนท์ที่ความสูงใดๆของถังปฏิกริยาไฮบริดทรงกรวย
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์ 0.35 เซนติเมตร

ค่าความเร็วแกรเดียนท์ที่คำนวณได้ สูงกว่าค่าที่ได้จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 เซนติเมตร และมีค่าอยู่ระหว่าง 94 - 380 ต่อวินาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีแล้ว ค่าความเร็วแกรเดียนท์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโคแอกกูแลนต์ควรไม่ต่ำกว่า 300 ต่อวินาที ถึง 1000 ต่อวินาที ในขณะที่ค่าที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการฟลอกกูเลชันควรอยู่ในช่วง 60-100 วินาที ดังนั้นจากผลการคำนวณที่ได้แสดงให้เห็นว่า ช่วงความเร็วแกรเดียนท์จากช่องสำหรับจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์ขนาด 0.35 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหลที่สูงกว่า 400 ลิตรต่อชั่วโมงนั้นให้ค่าความเร็วแกรเดียนท์สูงถึงค่าที่ต้องการสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ในขณะที่อัตราการไหลต่ำกว่า 300 ลิตรต่อชั่วโมง ให้ค่าความเร็วแกรเดียนท์ยังไม่เพียงพอต่อกระบวนการโคแอกกูเลชันตลอดความสูงของถังปฏิกริยา แต่อย่างไรก็ตาม ผลการคำนวณแสดงให้เห็นชัดว่า การลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของช่องจ่ายน้ำดิบเข้า สามารถเพิ่มความเร็วแกรเดียนท์ได้

เช่นเดียวกันกับหัวข้อที่ผ่านมา ค่า G_t ของชุดการทดลองนี้ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 ค่า Gt ที่ความสูงใดๆของถังปฏิกริยาไฮบริดด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์เท่ากับ 0.35 เซนติเมตร

จากรูปที่ 4.29 ค่า Gt ภายในไซโคลนอยู่ในช่วง 8,050-16,000 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี สำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชัน ค่า Gt ควรอยู่ในช่วง 1,500 – 30,000 และสำหรับกระบวนการฟล็อกกูเลชัน ค่า Gt ควรอยู่ในช่วง 9,000 – 3,600,000 ซึ่งในการทดลองส่วนนี้ค่า t จะแปรตามค่าอัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 47-174 วินาที

ดังนั้นเมื่อพิจารณาในเทอมของ Gt แล้วพบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.35 เซนติเมตรเหมาะสมสำหรับการเกิดทั้งกระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชัน

4.3.3.3 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อลักษณะการไหลแบบหมุนวนในถังปฏิกริยาไฮบริด

จากการสังเกตโดยผู้ทำวิจัย พบว่าลักษณะของการหมุนวนภายในถังปฏิกริยาไฮบริดชัดเจนขึ้น ด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 เซนติเมตร เพราะจากสมการที่ 2.33

$$G = \frac{Q \times \alpha \times n}{A_i (h \tan \theta + r)} \quad (2.33)$$

เมื่อลดพื้นที่หน้าตัดของช่องจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์เข้าสู่ไซโคลน ทำให้ค่าความเร็วแกระเดียนท์เพิ่มสูงขึ้น และค่าความเร็วแกระเดียนท์เกี่ยวข้องกับความเร็วในแนวสัมผัสเส้นรอบวงของถังปฏิกริยาตามสมการที่ 2.27

$$G = \frac{\partial V_y}{\partial R} \quad (2.27)$$

และในทำนองเดียวกัน ความเร็วในแนวสัมผัสเส้นรอบวงเป็นองค์ประกอบความเร็วที่สำคัญภายในถังปฏิกริยาและทำให้เกิดการไหลแบบหมุนวนแรงขึ้น ซึ่งจะเป็ตัวการทำให้เกิดการแยกระหว่างฟลอกกับน้ำใสได้มากขึ้น แต่จากการทดลองก่อนหน้านี้นี้พบว่า เมื่ออัตราการไหลสูงขึ้น มีการไหลแบบหมุนวนมากขึ้น ยังไม่สามารถสร้างฟลอกชนิดพิเศษได้หมด และไม่เกิดการแยกระหว่างฟลอกกับน้ำใส แสดงว่ามีสาเหตุอื่นเกิดขึ้น จากการเพิ่มอัตราการจ่ายน้ำดิบเข้า

อย่างไรก็ตามในการเพิ่มค่า Gt ให้สูงเพียงพอตามค่าทฤษฎีนั้น สามารถทำได้โดยการเพิ่มเวลากักเก็บน้ำภายในถังปฏิกริยา (t) แต่วิธีการเพิ่มเวลากักเก็บน้ำคือการเพิ่มปริมาตรของถังปฏิกริยา แต่จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ทำการพัฒนาระบบการไฮบริดเพื่อทดแทนการใช้ถังปฏิกริยาขนาดใหญ่ ดังนั้นวิธีเพิ่มเวลากักเก็บโดยการเพิ่มปริมาตรจึงไม่ใช่วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

4.3.4 พฤติกรรมของฟองอากาศภายในถังปฏิกริยาไฮบริด เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการจ่ายน้ำประปาเข้าสู่ถังปฏิกริยาไฮบริด

จากผลการทดลองแบบเบตซ์ในหัวข้อ 4.2.1.1 เมื่อเพิ่มอัตราการไหลทำให้ปริมาณฟลอกที่ลอยขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกริยาลดต่ำลง ซึ่งขัดแย้งกับหลักการทางจลศาสตร์ของน้ำ (Hydrodynamics) ไฮโดรไดนามิกส์คือ เมื่ออัตราการไหลสูงขึ้น น่าจะทำให้ค่าความเร็วแกระเดียนท์เพิ่ม ซึ่งส่งผลให้กระบวนการสร้างฟลอกมีประสิทธิภาพสูงขึ้นตามไปด้วย

ดังนั้นเพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดผลดังกล่าว ในการทดลองนี้จึงดำเนินการด้วยการใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องจ่ายน้ำดิบ 0.35 เซนติเมตร น้ำที่อิมตัวด้วยอากาศ และใช้น้ำประปาแทนการใช้สารแขวนลอยเบนโทไนต์ เพื่อให้สามารถสังเกตปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในถังปฏิกริยาไฮบริดได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งผลการสังเกตการณ์เกิดการไหลแบบหมุนวนภายในถังปฏิกริยา สามารถสรุปได้ในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลของการเกิดการไหลแบบหมุนวนและลักษณะของฟองอากาศภายใน

| อัตราการไหล (ลิตรต่อชั่วโมง) | การไหลแบบหมุนวน (Vortex flow) | ลักษณะของฟองอากาศภายในถังปฏิกริยาไฮบริด |
|---------------------------------|----------------------------------|---|
| 150 | ไม่มี | ไม่เกิดการรวมตัวกัน |
| 200 | ไม่มี | ไม่เกิดการรวมตัวกัน |
| 300 | มี | เกิดการรวมตัวกันเป็นฟองใหญ่ขึ้น |
| 400 | มี | เกิดการรวมตัวกันเป็นฟองใหญ่ขึ้น |

จากตารางที่ 4.14 ที่อัตราการไหล 150 – 200 ลิตรต่อชั่วโมง ไม่เกิดการไหลแบบหมุนวน แสดงว่าความเร็วของน้ำภายในถังปฏิกริยาไฮบริดไม่สูงพอ แต่ในทางกลับกัน ฟองอากาศจากน้ำที่อิมิตัวด้วยอากาศไม่รวมตัวกัน ทำให้สามารถมองเห็นน้ำเป็นสีขาวขุ่นจากฟองอากาศเล็กๆภายใน ซึ่งลักษณะของฟองอากาศเช่นนี้ ทำให้การสร้างฟลอคชนิดพิเศษมีประสิทธิภาพมากขึ้นเนื่องจากฟองอากาศมีขนาดเล็กสามารถแทรกเข้าไปอยู่ภายในโครงสร้างของฟลอคที่เกิดขึ้นได้ และมีพื้นที่ผิวมาก



รูปที่ 4.30 แสดงลักษณะการรวมตัวของฟองอากาศเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้น

เมื่อเพิ่มอัตราการไหลเป็น 300 – 400 ลิตรต่อชั่วโมง เกิดการไหลแบบหมุนวนตลอดความยาวในแนวแกนของไซโคลน แต่ในทางกลับกัน ฟองอากาศจากน้ำที่อึดตัวด้วยอากาศเกิดการรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 4.29

ผลการทดลองที่พบนี้ สามารถอธิบายได้ถึงสาเหตุที่ปริมาณฟลอกลอยด้านบนดังปฏิกิริยาไฮบริดลดลงเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้น ความเร็วในการจ่ายเข้าสูงขึ้นซึ่งทำให้ค่าความเร็วแกระเดียนท์เหมาะสมต่อกระบวนการโคแอกกูเลชันและฟลอกกูเลชัน แต่ในทางกลับกันก็ทำให้ฟองอากาศรวมตัวกันเองมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ความสามารถในการแทรกเข้าไปในโครงสร้างฟลอกลดน้อยลง ฟลอกชนิดพิเศษจึงเกิดขึ้นได้น้อย ฟลอกที่เกิดขึ้นจึงเป็นฟลอกแบบธรรมดา ซึ่งไม่มีฟองอากาศแทรกอยู่ในโครงสร้าง ส่งผลให้ฟลอกดังกล่าวจึงยังคงมีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ ซึ่งสังเกตได้จากการตกตะกอนลงสู่ด้านล่างของถังปฏิกิริยาในการทดลองแบบแบตช์ที่อธิบายในข้างต้น ฟลอกที่มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำนี้ ไม่สามารถแยกให้มารวมที่บริเวณแกนกลางได้ด้วยการไหลแบบหมุนวน ตามหลักการแยกด้วยไฮโดรไซโคลน การไหลแบบหมุนวนด้านบนที่บริเวณแกนกลางไฮโดรไซโคลน ทำหน้าที่พาน้ำและอนุภาคแขวนลอยที่เล็กและ/หรือมีความหนาแน่นน้อยกว่าขึ้น (Svarovsky, 1984)

นอกจากนี้ ตามกฎของสโตก (Stoke's law) ดังแสดงในสมการที่ 2.4 ตัวแปร

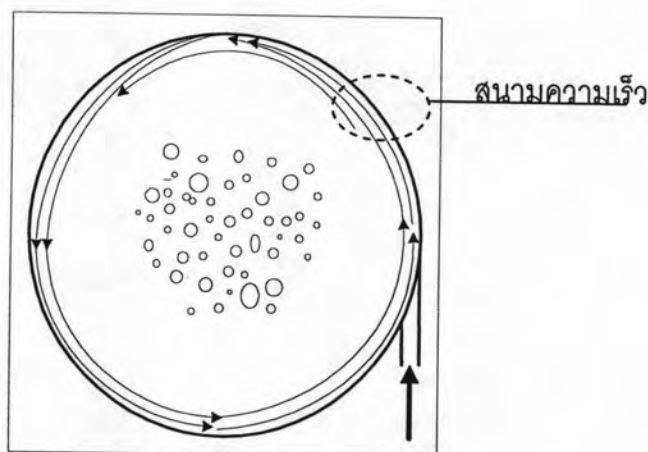
$$U = \frac{\Delta \rho d_p^2 \zeta}{18\mu} \quad (2.4)$$

ตัวแปร $\Delta \rho$ คือความแตกต่างระหว่างของผสม ซึ่งถ้าของผสมทั้งสองชนิดนั้นไม่มีความแตกต่างของความหนาแน่น จะไม่สามารถแยกได้ด้วยดังปฏิกิริยาไฮบริด ผลจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การสร้างฟลอกชนิดพิเศษเพื่อให้มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจะทำได้ไม่ดึ้นัก ถ้ายังมีการรวมตัวกันของฟองอากาศเช่นนี้ เพราะฟองอากาศจะมีขนาดใหญ่เกินไปจนไม่สามารถแทรกเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของฟลอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้น ในการสร้างปรากฏการณ์ที่คาดไว้ ควรจะสร้างฟลอกชนิดพิเศษที่มีฟองอากาศแทรกอยู่ภายใน โดยมีค่าความเร็วแกระเดียนท์จากอัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์เข้าให้เหมาะสมกับกระบวนการโคแอกกูเลชันและฟลอกกูเลชัน และในขณะเดียวกันควรสามารถสร้างการหมุนวนภายในให้เพียงพอที่จะสามารถแยกฟลอกออกจากส่วนน้ำใสได้ โดยไม่ทำให้เกิดการรวมตัวของฟองอากาศ

จากผลที่เกิดขึ้น สามารถอธิบายด้วยแนวคิดดังนี้ว่า เมื่อจ่ายน้ำเข้าสู่ถังปฏิกิริยาไฮบริด จะทำให้เกิดสนามความเร็วที่บริเวณผิวด้านในตัวถังปฏิกิริยา ซึ่งทำให้รวมฟองอากาศเข้าด้วยกันที่

อัตราการไหลสูงๆ ดังนั้นการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์เข้าถือเป็นทางเลือกหนึ่ง เพื่อลดความหนาของสนามความเร็วที่เกิดภายใน และช่วยลดการรวมตัวกันเองของฟองอากาศ



รูปที่ 4.31 ภาพหน้าตัดของถึงปฏิกิริยาไฮบริดบริเวณด้านล่าง ซึ่งอธิบายลักษณะการเกิดสนามความเร็วที่ผิวด้านในของไซโคลน

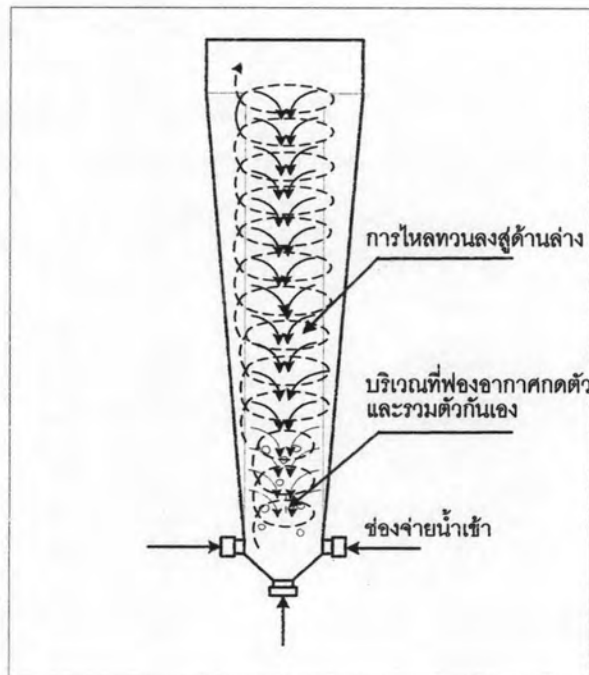
อย่างไรก็ตามแนวคิดที่แสดงไว้ดังรูปที่ 4.31 ควรมีการวิจัยเพิ่มเติม เพื่อศึกษาถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในถึงปฏิกิริยาอย่างแท้จริง ซึ่งทำให้เกิดการรวมตัวของฟองอากาศและส่งผลให้เกิดฟลอกชนิดพิเศษนั้นไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ควรศึกษาสนามความเร็วของการไหลที่เกิดขึ้นภายใน เพื่อให้รู้ลักษณะของเส้นความเร็วดังแสดงในรูปที่ 4.31 นั้นเอง และจะได้ปรับปรุงพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไป

นอกจากนี้ ยังมีอีกแนวคิดหนึ่งที่อาจช่วยอธิบายปรากฏการณ์รวมตัวของฟองอากาศบริเวณจุดจ่ายน้ำเข้าทั้งสามทางบริเวณตอนล่างของถึงปฏิกิริยา นั่นคือ เมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลเข้าให้สูงขึ้น ทำให้เกิดความเร็วการหมุนวนของน้ำสูงขึ้นตามไปด้วย โดยจากผลการสังเกตสามารถมองเห็นจุดศูนย์กลางการหมุนชัดเจน และมีลักษณะจมลงต่ำกว่าระดับผิวน้ำปกติ ดังแสดงในรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 จุดศูนย์กลางการหมุนที่เกิดขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลสูงขึ้น

จากผลการสังเกตดังกล่าว อาจสามารถอธิบายสาเหตุของการเกิดการรวมตัวกันของฟองอากาศได้ดังนี้คือ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลสูงขึ้น น้ำที่หมุนวนจะมีความเร็วสูงขึ้นตามไปด้วย ทำให้เกิดการไหลทวนของน้ำมีทิศทางย้อนลงสู่ด้านล่างของถังปฏิบัติการ แรงกตจากการไหลทวนของน้ำนี้ ทำให้ฟองอากาศไม่สามารถลอยขึ้นสู่ด้านบนของถังได้ เมื่อฟองอากาศลอยวนอยู่บริเวณด้านล่างของถังปฏิบัติการ ทำให้เกิดการรวมตัวกันเองของฟองอากาศจนมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายและแสดงไว้ในรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 อธิบายปรากฏการณ์การไหลทวนลงสู่ด้านล่างของถังปฏิบัติการ

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ W. Kraipech (Kraipech, 2005) ที่ศึกษาการมีผลกระทบต่อกันระหว่างอนุภาคที่อยู่ภายในไฮโดรไซโคลอน และผลกระทบระหว่างอนุภาคกับของไหลที่มีต่อกัน โดยกล่าวอธิบายว่ากฎของสโตคส์นั้น เป็นการคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยที่ไม่ได้คำนึงถึง การเคลื่อนที่แบบบราวเนียน ลักษณะการไหลเข้าของของไหล ผลกระทบของอนุภาคที่มีต่อกันเอง การหมุนวนของอนุภาค และการไหลแบบแกว่งไปมา ในสมการของสโตคส์นั้น จะพิจารณาเฉพาะอนุภาคโดดเท่านั้น และความเร็วการตกตะกอนที่คำนวณ ไม่ได้รับผลกระทบจากอนุภาคอื่นๆ ในขณะที่ผลจากการศึกษานี้ อนุภาคที่เคลื่อนที่ไปที่ผนังของไฮโดรไซโคลอนในระหว่างการหมุนนั้น จะทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นบริเวณผนัง และเกิดโอกาสที่จะกระทบกันมากขึ้น และเริ่มทำให้สนามความเร็วเปลี่ยนไป และพบว่า เมื่ออนุภาคขนาดใหญ่เคลื่อนที่ในของไหล จะเกิดแรงลากที่ทำให้อนุภาคขนาดเล็กเคลื่อนที่ตามไปด้วย ฉะนั้นจึงควรมีการคำนึงถึงการกระทบกันระหว่างอนุภาคด้วย

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยของ W. Kraipech เป็นการศึกษาผลกระทบระหว่างอนุภาคกับอนุภาค และอนุภาคกับของไหล อาจไม่สามารถใช้อธิบายผลการทดลองที่เกิดการรวมตัวกันของฟองอากาศได้ การอธิบายนี้จึงเป็นแนวคิดที่อนุมานขึ้นเท่านั้น

ดังนั้น การศึกษาเรื่องความเร็วภายในถังปฏิริยาไฮบริดจึงเป็นแนวคิดที่น่าสนใจ เพื่อนำไปอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นและปรับปรุง ให้ระบบสามารถนำไปพัฒนาใช้ได้จริงกับงานทางด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมต่อไป

4.3.5 ผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องจ่ายน้ำดิบ สังเคราะห์ ที่มีต่อการรวมตัวกันของฟองอากาศภายในถังปฏิริยาไฮบริด

ในการทดลองนี้ทำการเปรียบเทียบระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องจ่ายน้ำเข้า ขนาด 0.35 และ 0.25 เซนติเมตร และสังเกตลักษณะของฟองอากาศภายในถังปฏิริยาไฮบริดในบริเวณช่องจ่ายน้ำเข้า

ผลการทดลองด้วยอัตราการไหลเดียวกัน ผลแสดงชัดเจนว่า ลักษณะการรวมตัวกันของฟองอากาศลดน้อยลงเมื่อลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องจ่ายน้ำเข้า สามารถอธิบายได้ว่า ความหนาของสนามความเร็วลดลง ทำให้โอกาสที่ฟองอากาศจะรวมตัวกันน้อยลง

อีกทั้งในแง่ของความเร็วแกระเดียนท์ การลดขนาดหน้าตัดช่องทางจ่ายน้ำเข้า ทำให้ความเร็วแกระเดียนท์สูงขึ้นที่อัตราการไหลเดียวกัน ตามสมการ 2.33

$$G = \frac{Q \times \alpha \times n}{A_i (H \tan \theta + r)} \quad (2.33)$$

(สำหรับถังปฏิกริยาไฮบริดทรงกรวยแบบมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นตามแนวแกน) ทำให้การหมุนวนแรงขึ้นตามไปด้วย

ดังนั้น จากผลการทดลองศึกษาผลกระทบจากตัวแปรทั้งหมด ควรพิจารณาการสร้างฟลอกชนิดพิเศษด้วยความเร็วแรงแย้มที่จากอัตราการจ่ายน้ำเข้าที่เหมาะสมเป็นอันดับแรก แล้วจึงสร้างการไหลแบบหมุนวนภายในถังปฏิกริยา เพื่อให้เกิดการแยกระหว่างฟลอกชนิดพิเศษกับน้ำใส ซึ่งจะกล่าวถึงแนวทางในการศึกษาต่อไปในบทที่ 5