บทที่ 7

สรุปผลการทดลอง

7.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า มีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่ออัตราการกรอง คุณสมบัติของเยื่อแผ่นและยีสต์ จากการใช้คลื่นเหนือเสียงร่วมกับการกรองระดับอนุภาคในโมดูลแบบแผ่น สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การเกิดคาวิเทชันเนื่องจากคลื่นเหนือเสียง จะช่วยกำจัดอนุภาคที่สะสมบนเยื่อแผ่น ทำให้ค่าความต้านทานการกรองเนื่องจากอนุภาคที่สะสมบนผิวเยื่อแผ่น (R_c) มีค่าลดลง ดังนั้นอัตราการกรองจึงมีค่าสูงขึ้น
2. การปล่อยคลื่นเหนือเสียงทิศทางเดียวกับการกรองมีความเหมาะสมกว่าการปล่อยคลื่นเสียงในทิศทางตรงกันข้ามกับการกรอง แม้ว่าอัตราการกรองที่เพิ่มขึ้นมีค่าน้อยกว่า แต่จะไม่ทำให้เยื่อแผ่นสูญเสียคุณสมบัติในการเก็บกักไป
3. เมื่อคลื่นเหนือเสียงเคลื่อนที่ออกจากตัวกำเนิด ระยะห่างระหว่างตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียงกับเยื่อแผ่น จะเป็นตัวกำหนดความเข้มของคลื่นเสียงและพื้นที่ที่คลื่นเหนือเสียงตกกระทบ โดยระยะห่างที่เหมาะสมจะมีบริเวณที่ได้รับผลกระทบของคลื่นเหนือเสียงกว้างและยังคงมีความเข้มของเสียงสูงเพียงพอที่จะกำจัดอนุภาคที่สะสมบนผิวเยื่อแผ่นได้ สำหรับการทดลองนี้ ตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียงมีพื้นที่หน้าตัด 11.33 ตารางเซนติเมตร ใช้ความถี่เท่ากับ 27.3 กิโลเฮิร์ซ พบว่าระยะห่างที่เหมาะสมคือ 3.7 เซนติเมตร
4. การเพิ่มความเข้มของคลื่นเหนือเสียงจะทำให้อัตราการกรองเพิ่มสูงขึ้น แต่ความเข้มเสียงที่มากเกินไปจะทำให้เกิดคาวิเทชันที่มีขนาดใหญ่ การยุบตัวจะเกิดได้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นการเพิ่มความเข้มของคลื่นเหนือเสียงจึงมีขีดจำกัดที่ค่าหนึ่ง จากการทดลองนี้มีค่าจำกัดที่ 3.53 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร
5. ความดันคร่อมเยื่อแผ่นมีผลต่อปริมาณของคาวิเทชันที่เกิดขึ้น, ความรุนแรงของการยุบตัวของคาวิเทชันและการอัดตัวของอนุภาคที่สะสมบนผิวเยื่อแผ่น ค่าความดันคร่อมเยื่อแผ่นที่เหมาะสม คือความดันที่ทำให้เกิดปริมาณคาวิเทชันมากเพียงพอและเมื่อคาวิเทชันเกิดการยุบตัวจะต้องมีแรงมากพอในการกำจัดอนุภาคที่อัดตัวกันอยู่บนผิวเยื่อแผ่นให้หลุดออกจากกันได้ โดยค่าความดันนี้จะต้องไม่ทำให้เค้กอัดตัวกันมากเกินไป มิฉะนั้นการกำจัดอนุภาคให้หลุดออกจะทำได้ยากขึ้น

6. การเพิ่มความเข้มข้นในสายป้อนมากไปจะส่งผลต่อการส่งผ่านพลังงานของคลื่นเหนือเสียงไปยังเยื่อแผ่น เนื่องจากอนุภาคยีสต์ในสารละลายทำให้คลื่นเหนือเสียงเกิดการหักเหและสะท้อน แอมปลิจูดของคลื่นที่ถูกส่งผ่านไปจึงมีค่าลดลง ทำให้ผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการกำจัดอนุภาคน้อยลง
7. ที่ความเร็วของสายป้อนต่ำ คลื่นเหนือเสียงจะสามารถกำจัดอนุภาคที่สะสมบนเยื่อแผ่นได้มากกว่า เนื่องจาก ความเร็วของสายป้อนจะส่งผลให้ความหนาของชั้นอนุภาคที่สะสมอยู่บนผิวเยื่อแผ่นมีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นโอกาสที่คลื่นเหนือเสียงจะกำจัดอนุภาคที่สะสมอยู่เป็นปริมาณมากจะมีค่าสูงกว่าเมื่อมีอนุภาคสะสมกันอยู่น้อย และเมื่อความเร็วของสายป้อนมีค่าสูง คาวิเทชันจะถูกพัดพาออกไปจากระบบมากขึ้น ทำให้ปริมาณคาวิเทชันที่ผิวเยื่อแผ่นลดลง
8. สำหรับความเข้มเสียงที่ใช้ในการทดลองสูงสุดคือ 3.53 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และถ้ามีการควบคุมอุณหภูมิของระบบไม่ให้สูงเกินไป (ในที่นี้ เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส) พบว่าคลื่นเหนือเสียงจะไม่มีผลกระทบต่อขนาดและคุณสมบัติในการเจริญเติบโตของอนุภาคยีสต์
9. เช่นเดียวกัน เมื่อทำการกรอง ที่ระยะห่างระหว่างตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียงกับเยื่อแผ่นเท่ากับ 2.6 เซนติเมตร, ความดันคร่อมเยื่อแผ่น 0.25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร, ความเร็วของสายป้อน 0.57 เมตรต่อวินาที, ความเข้มข้นยีสต์ 5 กรัมต่อลิตร และความเข้มเสียง 3.53 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลานาน 5 ชั่วโมง พบว่า คลื่นเหนือเสียงไม่ทำให้คุณสมบัติในการเก็บกักของเยื่อแผ่นเปลี่ยนแปลงไป
10. ในด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ การนำคลื่นเหนือเสียงมาใช้ร่วมกับกระบวนการกรอง พบว่า สำหรับเครื่องกรองขนาดเล็กที่มีอัตราการกรองต่ำดังที่ใช้ในการทดลอง การลงทุนในการติดตั้งอุปกรณ์ผลิตคลื่นเหนือเสียงมีค่าไม่สูงมากนัก จะช่วยประหยัดเวลาในการกรองและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการได้หลายเท่า หากไม่คำนึงถึงอายุการใช้งานของเยื่อแผ่นที่อาจเปลี่ยนแปลงได้
11. ในระบบที่ศึกษา ที่ความเข้มข้นของสารละลายยีสต์ 5 กรัมต่อลิตรและให้พลังงานแก่ตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียงตัวละ 20 วัตต์ (หรือความเข้มเสียงเท่ากับ 1.76 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร) พบว่า ภาวะเหมาะสมที่ทำให้สมรรถนะการกรองมีค่าเพิ่มสูงกว่าการกรองปกติ 298% คือ เมื่อใช้ความดันคร่อมเยื่อแผ่น 0.25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีความเร็วของสายป้อน 0.2 เมตรต่อวินาทีและระยะห่างระหว่างตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียงกับเยื่อแผ่น 2.6 เซนติเมตร

7.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. ปัญหาของตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียงในแต่ละตัวที่สร้างขึ้นมา ถึงแม้จะสร้างจากวัสดุชนิดเดียวกันและขนาดเท่ากัน แต่ก็ยังไม่สามารถควบคุมให้มีคุณลักษณะเฉพาะ เช่น ความถี่กำทอน (resonance frequency) และพลังงานคลื่นเหนือเสียงที่ผลิตจากกำลังไฟฟ้าขาเข้าที่เท่ากันให้มีค่าเท่ากันอย่างแท้จริงได้ ในการทดลองที่ผ่านมาทั้งหมด จึงใช้ตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียงจำนวน 2 ตัวและยึดติดที่ตำแหน่งเดียวกันโดยตลอด เพื่อตัดปัญหาความไม่แน่นอนของตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียงต่อผลการทดลอง ดังนั้น การทดลองในอนาคตการซื้อตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียงสำเร็จรูปมาใช้ เพราะน่าจะมีความแน่นอนของคุณลักษณะเฉพาะมากกว่าที่สร้างขึ้นเอง
2. ปัญหาการระบายความร้อนจากตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียง เนื่องจากการยึดตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียงกับตัวเครื่องกรอง ซึ่งทำจากอะคริลิกใส โดยใช้กาวอีพอกซีชนิดทนแรงดึงสูงยึด แต่เมื่อใช้พลังงานสูงเป็นเวลานานอย่างต่อเนื่อง กาวที่ใช้อาจเกิดการหลอมละลาย ทำให้ตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียงหลุดออกมา จึงต้องทำการระบายความร้อนให้ดี ซึ่งได้แก้ปัญหาด้วยการใช้พัดลมเป่า แต่ก็ยังประสบปัญหาอยู่บ้าง จึงเสนอให้เลือกใช้กาวที่มีคุณสมบัติดีและเหมาะสมยิ่งขึ้น โดยต้องทนต่ออุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น และอาจใช้นอตยึดติดระหว่างตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียงกับแผ่นอะคริลิกใสอีกครั้ง เพื่อความแข็งแรงมากขึ้น การติดตั้งตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียงให้แข็งแรงจะทำให้สามารถขยายขอบเขตการศึกษาได้กว้างขึ้น เพราะจะทำให้สามารถปฏิบัติการอย่างต่อเนื่องได้เป็นเวลานาน
3. ปัญหาของปั๊ม เนื่องจากปั๊มที่ใช้เป็นปั๊มหอยโข่งที่มีอัตราการไหลค่อนข้างต่ำ จึงควรเปลี่ยนเป็นปั๊มที่มีอัตราการไหลสูงขึ้น เพื่อสามารถศึกษาเพิ่มเติมที่ความเร็วของสายป้อนสูงขึ้นมากกว่านี้ (คือมากกว่า 0.53 เมตรต่อวินาที) เพื่อจะได้เปรียบเทียบอัตราการกรองที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ความเร็วของสายป้อนต่ำร่วมกับการใช้คลื่นเหนือเสียง กับอัตราการกรองที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ความเร็วในสายป้อนที่เพิ่มสูงขึ้นเพียงอย่างเดียว
4. ทำการศึกษาเพิ่มเติมกับเยื่อแผ่นและอนุภาคชนิดอื่น
5. ทำการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลของของเหลว เพื่อการวัดที่สะดวกและแม่นยำขึ้น
6. ทำการศึกษาเพิ่มเติม เกี่ยวกับการให้พลังงานคลื่นเหนือเสียงในลักษณะของพัลส์ (pulse) สั้นๆ ซึ่งอาจจะทำให้สามารถเพิ่มอัตราการกรองและใช้พลังงานน้อยลง
7. ทำการศึกษาเพิ่มเติมที่อุณหภูมิของสารละลายป้อนมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง ผลของคาวิเทชันจะมีค่ามากขึ้น แต่ต้องระวังมิให้อนุภาคและเยื่อแผ่นถูกทำลายเนื่องจากความร้อน
8. ทำการศึกษาเพิ่มเติมที่ความถี่ของคลื่นเหนือเสียงค่าอื่น

9. ทำการศึกษาเพิ่มเติมการเพิ่มอัตราการกรองด้วยวิธีอื่น เช่น วิธีการเพิ่มความเร็วของสายป้อน เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้คลื่นเหนือเสียงซึ่งเป็นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ รวมถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย