4 สรุปผลและวิจารณ์

4.1 การผลิตเยื่อฐานเซลลูโลส

(ก) จำนวนเซลล์ที่เพาะเลี้ยงเริ่มต้นแม้ว่าจะเพิ่มปริมาณเป็น 2 เท่า ไม่ได้ช่วยเพิ่มความหนาของเยื่อเซลลูโลสที่เซลล์สร้างขึ้น เมื่อใช้โปรแกรม Carnoy ประกอบพบว่าเยื่อไม่ได้มีความพรุนเพิ่ม แต่การสานของเส้นใยเซลลูโลสน่าจะเพิ่มเพราะผลการตรวจสอบฟลักซ์น้ำดีซึ่งมีสภาพยอมให้น้ำผ่านลดลง จึงสรุปว่าความหนาแน่นเซลล์ที่เหมาะสมต่อการผลิตเยื่อเซลลูโลสคือ $1.0x10^8$ เซลล์/มล และควรใช้น้ำมะพร้าวเป็นอาหารหลักแล้วเติมน้ำตาลซูโครส 4% เป็นแหล่งพลังงานเสริม ใช้เวลาเพาะเลี้ยง 2 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (30^0C) หากเพาะเลี้ยงนานขึ้นจะทำให้เยื่อหนาขึ้น อาจอุปสรรค์ต่อการนำไปใช้กรองเพราะต้องใช้ความดันเพิ่ม

(ข) รูพรุนของเยื่อเซลลูโลสจัดเป็นเยื่อระดับไมโครฟิวเตรชั่น มีขนาดเฉลี่ย 0.08 μm และมีความพรุนเฉลี่ยระหว่าง 1.4-2.4% สามารถกรองเซลล์ขนาดใหญ่กว่า 1 μm ได้ และเยื่อชนิด C25 ซึ่งผลิตจากจุลินทรีย์หนาแน่น $2x10^8$ เซลล์/มล จะสามารถกรองโปรตีน BSA ได้เกือบ 100% โดยปกติเยื่อที่มีรูขนาดเล็กลงจะยิ่งมีความพรุนน้อยลง อย่างไรก็ดีหากสามารถเพิ่มความพรุนของเยื่อเซลลูโลสที่ผลิตได้จะยิ่งทำให้การแยกสารแขวนลอยออกจากสารละลายได้เร็วขึ้น

4.2 สมบัติเชิงไฟฟ้าของเยื่อไคโตแซน

จากการศึกษาค่าอิมพีแดนซ์ของเยื่อไคโตแซนพบว่า การเชื่อมขวางด้วยกลูตารัลดีไฮด์ 4 % มีผลทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ (Z) เพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า การเชื่อมขวางจึงทำให้โซ่พอลิเมอร์จับยึดกันแน่นขึ้น จะทำให้เยื่อพอลิเมอร์แข็งแรงขึ้นด้วย การที่ Z มีค่าสูงในสารละลายที่เป็นกลาง ตีความได้ว่าหากต้องการใช้เยื่อไคโตแซนในงานกรองอนุภาคมีประจุ การแยกอนุภาคประจุออกจากสารละลายที่เป็นกลางจะทำได้ยาก แต่หากใช้กับสารละลายที่มีระดับ pH เป็นกรดจะเอื้อต่อการแยกอนุภาคประจุด้วยเยื่อไคโตแซนได้ดียิ่งขึ้น เป็นที่น่าสังเกตว่าโปรตีน BSA จะมีประจุลบในสารละลายที่เป็นด่าง ดังนั้นหากใช้เยื่อที่เคลือบด้วยไคโตแซนไปกรอง BSA เยื่อน่าจะอุดตันเร็วกว่าการที่ไม่เคลือบไคโตแซน

การศึกษานี้แสดงว่าการใช้เทคนิคอิมพีแดนซ์สเปคโตรสโคปี โดยเฉพาะค่า Z ช่วยให้สามารถประเมินคุณสมบัติของเยื่อบางได้โดยเฉพาะเกี่ยวกับความพรุน ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์ในการทำงานในระบบการกรองแบบ On Line เพื่อให้ผู้ทำงานทราบถึงสถานภาพของระบบกรองก่อนการอุดตันเต็มที่เป็นการส่งสัญญาณให้มีการล้างเยื่อกรองก่อนทำงานต่อไป

4.3 วิธีการเคลือบเยื่อเซลลูโลสด้วยไคโตแซน

การเคลือบเยื่อฐานเซลลูโลสด้วยไคโตแซนด้วยวิธีต่างๆ พบข้อมูลที่สามารถสรุปได้ดังนี้

วิธีการเคลือบ	ข้อดี	ข้อเสียและการแก้ไข
การเคลือบแบบจุ่ม	ทำได้ง่าย	**ความหนา** การเคลือบโดยวิธีนี้ไม่สามารถควบคุมความหนาโดยตรงได้ แต่จะใช้เงื่อนไขเวลาและความเข้มข้นของไคโตแซนเป็นตัวควบคุม อย่างไรก็ดีวิธีนี้มีข้อเสียคือทั้ง skin และ Sub-layer จะถูกเคลือบด้วย ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานด้านการกรอง **เวลาของการจุ่ม** การจุ่มนานทำให้เยื่อเซลลูโลสเสียรูป เนื่องจากเซลลูโลสละลายในกรดอะซิติคได้ด้วย
การเคลือบแบบเท	ง่าย เพราะอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ไม่ต้องลงทุนมาก	**ความหนา** เยื่อเซลลูโลสที่เคลือบเฉพาะผิวด้าน Skin layer จะหนาไม่สม่ำเสมอ บางครั้งเป็นคลื่น หากผู้ทดลองไม่ชำนาญ

วิธีการเคลือบ	ข้อดี	ข้อเสียและการแก้ไข
การเคลือบแบบรีด	1 ง่าย และเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น 2 ได้เยื่อที่บางตามความต้องการของผู้ทดลอง อย่างไรก็ดี เยื่อที่ได้น่าจะอยู่ในระดับนาโน มากกว่าระดับอัลตรา เพราะไคโตแซนทำหน้าที่เป็น Selective layer แทน	**ความพรุนของเมมเบรน** เมมเบรนที่ได้จะไม่มีรู ซึ่งหากพิจารณาตามวัตถุประสงค์ของงานที่ต้องการได้เยื่อกรองระดับอัลตร้า วิธีนี้จะไม่เหมาะสม เพราะจะได้เยื่อประกอบชนิดแน่น (Dense skin layer) แทน จึงควรเติมสารอื่นเพื่อเพิ่มความพรุนของไคโตแซนก่อนนำไปเคลือบบนเยื่อฐาน
การเคลือบแบบอัดความดัน	**ความพรุนของ Skin layer** มีความพรุนเพิ่มจากเยื่อชนิดเนื้อแน่นข้างต้น และทำเป็นเยื่อกรองระดับอัลตร้าได้	**ความพรุนของ Sub layer** น่าจะพัฒนาให้เยื่อฐานมีความพรุนสูงขึ้น เพื่อจะได้เยื่อกรองที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้น

4.4 เยื่อประกอบเซลลูโลส/ไคโตแซน

เยื่อประกอบที่ได้ไม่มีรูพรุนหากใช้การเคลือบเยื่อฐานโดยวิธี จุ่ม รีด และแบบอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก จึงสรุปว่าเยื่อที่เคลือบด้วยวิธีเหล่านี้ จะได้เยื่อประกอบชนิดเนื้อแน่น แบบ Asymmetric คือด้าน Sub layer มีรูขนาดใหญ่ และด้าน Skin layer เป็นเยื่อไคโตแซนที่มีประจุตรึงแบบบวกและมีเนื้อแน่น ยกเว้นวิธีเคลือบแบบจุ่มจะทำให้ผิวทั้งสองด้านเป็นเนื้อชนิดแน่น รูที่ผิวบนของเยื่อฐานเป็นปัจจัยสำคัญและเป็นขีดจำกัดของเพอมิเอทฟลักซ์

สำหรับการเคลือบเยื่อฐานด้วยไคโตแซนเข้มข้น 0.5% โดยวิธีอัดด้วยความดัน 100 kPa นาน 5 นาที จะสิ้นเปลืองไคโตแซนเพียง 0.7 ลิตรต่อทุกๆตารางเมตรของเยื่อฐานเซลลูโลส เยื่อประกอบที่ได้ผลิตจากเยื่อฐานที่มีความหนาเพียง 4.82 ± 0.48 μm และหลังจากการเคลือบเยื่อมีความหนาประมาณ 5.12 ± 0.74 μm การที่รูส่วนใหญ่กระจายระหว่าง 0.02-0.10 μm ทำให้ทราบว่าเยื่อที่ผลิตเป็นระดับไมโครฟิวเตรชั่น (Microfiltration, MF) เมื่อถูกเคลือบด้วยไคโตแซนควรจะต้องคำนึงถึงความเสถียรของไคโตแซนด้วย เนื่องจากหากไคโตแซนทำปฏิกิริยากับกรดอ่อนบ่อยๆ จะละลายออกไปได้ นอกจากนี้ควรระวังเรื่องระดับพีเอชของสารละลายหากต้องการใช้แยกโปรตีน

งานวิจัยต่อไปควรศึกษาว่าสารกลูตาราลดีไฮด์ซึ่งนำมาทำการเชื่อมขวางเพื่อทำให้เยื่อเหนียวขึ้นนั้น (21) จะมีผลต่อสมบัติเชิงกลและเชิงไฟฟ้าของเยื่อไคโตแซนอย่างไร โดยจะทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของเยื่อด้วยวิธี Four Point Probe System (22)

เอกสารอ้างอิง

1 ศักดา ไตรศักดิ์, *J. Sci. Ladkrabang*, 7(1) (1997) 26.

2 S.D. Xian and J. Junhui, 2nd Asia Pacific Chitin Symposium, Bangkok, Nov. 1996, 155.

3 พิชิต พูนผลวัฒนาภรณ์, ปรีดา พากเพียร และ สุวลี จันทร์กระจ่าง, บทคัดย่อการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26, 18-20 ตุลาคม 2543, หน้า 295

4 วสัน สิริสังข์วรวงศ์, สายสุนีย์ เหลี่ยวเรืองรัตน์, วินัย อวงพิพัฒน์ และ ณิชนันทน์ เทพศุภรังษิกุล, บทคัดย่อการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26, 18-20 ตุลาคม 2543, หน้า 298

5 D.A. Musale, A. Kumar and G. Pleizeir, *J. Memb. Sci.*, **154** (1999) 163.

6 X. Wand and H.G. Spencer, *J. Appli. Polym. Sci.*, **67** (1998), 513.

7 S.Y. Nam and Y.M. Lee, *J. Memb. Sci.*, **153** (1999) 155.

8 X. Feng and R.Y.M. Huang, *J. Memb. Sci.*, **116** (1996) 67.

9 R.Y.M. Huang, R. Pal, and Y. Moon, *J. Memb. Sci.*, **160** (1999) 17.

10 Saito K., and Tanioka A. (1996) Polymer 37(23): 5117-5122.

12 พิกุล วณิชาภิชาติ วนิดา สุเมธากุลวัฒน์ และอำนวย แก้วไพบูลย์ (2000) Proceeding of the Thai Physics in The Next century. Dec. 22-23, Bangkok, Thailand. p: 72-82.

13 Kamaruddin K.S., Mohamed N.S., Arof A.K., and Yahaya A.H. (1996) The Proceedings of the 2nd. Asia Pacific Chitin Symposium, Nov. 21-23. Bangkok, Thailand.

14 Strathmann H. (1992) Electrodialysis *In: Membrane Handbook.* Edited by Ho W.S.W. and Sirkar K.K. Publisher: Chapman&Hall , p. 217-261.

15 รักชนก สังข์คำ, พิกุล วณิชาภิชาติ และ ดรุณี ผ่องสุวรรณ, บทคัดย่อการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26, 18-20 ตุลาคม 2543, หน้า 264

16 Ishikawa A., Tonouchi N., Tsuchida T., and Yoshinaga F. (1997) Biosci. Biotech. Biochem. 60: 1377-1379.

17 Kojima Y., Seto A., Tonouchi N., Tsuchida T., and Yoshinaga F. (1997) Biosci. Biotech. Biochem. 61:1585-1594.

18 Inagaki H. and Phillips G.O. (1989) Editors. Amsterdam: Elsevier North Holland Publishing Co.

19 Schmitt D.F., Frankos V.H., Westland J. and Zoetis T. 1991. J. Am. Coll. Toxicol. 10: 541-554.

20 Yang L., Hsiao W.W. and Chen P. 2002. J. Membr. Sci. 197: 185-197.

21 Cross link

22 Coster H.G.L., Kim K.J., Dahlan K., Smith J.R. and Fell C.J.D. 1992. J. Membrane Sci., 66: 19-26.

23 Bancroft J.D. and Stevens A. (1982) Theory and Practice of Histological Techniques (Second edition) . Longman Group Limited. P.635.