

การแยกแบบคัดเลือกอินนทีโอเมอร์ของกรดแลคติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

นางสาวอมรรัตน์ ศรีปริเปรม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR) are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

ENANTIOSELECTIVE SEPARATION OF LACTIC ACID BY HOLLOW FIBER
SUPPORTED LIQUID MEMBRANE

MISS AMORNRAT SRIPRIprem

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแยกแบบคัดเลือกอิแนนทิโอเมอร์ของกรดแลคติก ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง
โดย	นางสาวอมรรัตน์ ศรีปริเปรม
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เหมือนเดือน พิศาลพงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกร รามกุล)

อมรรัตน์ ศรีปริเปรม: การแยกแบบคัดเลือกอิแนนทิโอเมอร์ของกรดแลคติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง. (ENANTIOSELECTIVE SEPARATION OF LACTIC ACID BY HOLLOW FIBER SUPPORTED LIQUID MEMBRANE) อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.อุรา ปานเจริญ, 97 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทิโอเมอร์ของกรดแลคติกจากสารละลายราซิมิก (racemic mixture) ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงด้วยสารสกัดชนิดไครัล (+)-(O,O'-Dibenzoyl-(2S,3S)-tartaric acid ((+)-DBTA) ละลายอยู่ในสารละลายอินทรีย์ และสารละลายนำกลับน้ำกลั่น ลักษณะการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเป็นแบบไหลสวนทางกัน ปัจจัยต่างๆที่ศึกษา ได้แก่ ความเป็นกรด-เบสของกรดแลคติกในสารละลายป้อน ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อน ความเข้มข้นของสารสกัด อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับและจำนวนรอบในการปฏิบัติการ

จากผลการทดลองพบว่าสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA สามารถแยกแบบคัดเลือกอิแนนทิโอเมอร์ของสารละลายกรดแลคติกที่สังเคราะห์จากสารผสมราซิมิกของดี-แอลแลคติกแอซิดด้วยระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงได้ โดยภาวะที่เหมาะสม คือ ค่าความเป็นกรด-เบสในสารละลายป้อนเท่ากับ 4 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายดี-แอลแลคติกแอซิด 6 มิลลิโมลต่อลิตร ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA 4 มิลลิโมลต่อลิตร อัตราการไหลเท่ากันของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ เท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที การถ่ายโอนเพื่อแยกแบบคัดเลือกอิแนนทิโอเมอร์ของดี-แอลแลคติกแอซิดจากวัฏภาคสารละลายป้อนไปยังวัฏภาคสารละลายนำกลับถูกถ่ายโอนด้วยสารสกัดชนิดไครัลที่ละลายในตัวทำละลายออกทานอลมีประสิทธิภาพในการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทิโอเมอร์ของกรดแลคติก ร้อยละของการสกัด และร้อยละของการนำกลับ และร้อยละส่วนเกินอิแนนทิโอเมอร์ของแลคติกแอซิด มีค่าเท่ากับ 77.22, 73.98 และ 55.71 ตามลำดับ

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อ อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2556.....

5271567821 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : HOLLOW FIBER LIQUID MEMBRANE / LACTIC ACID / SEPARATION ENANTIOSELECTIVE

AMORN RAT SRIPRI PREM: ENANTIOSELECTIVE SEPARATION OF LACTIC ACID BY HOLLOW FIBER SUPPORTED LIQUID MEMBRANE. ADVISOR: ASSOC. PROF. URA PANCHAROEN, D. Eng., Sc. D., 97 pp.

This research studied enantioselective separation of lactic acid from racemic mixture by hollow fiber supported liquid membrane by using *O,O'*-Dibenzoyl-(2*S*,3*S*)-tartaric acid ((+)-DBTA) dissolved in organic solution as the chiral extractant, Distilled water was used as stripping solution. The feed and stripping solutions were fed counter-currently flowrate. Various parameters were studied: initial pH of feed solution, initial concentration of lactic acid in feed solution, concentration of the chiral extractant in the membrane phase, flowrate of feed and stripping solution and number of operation cycle.

The results of experiment found that (+)-DBTA is a chiral extractant to selectively separation enantiomers of synthesis racemic mixture of lactic acid by a hollow fiber supported liquid membrane. The optimal condition for selectively separation enantiomer of racemic lactic acid was obtained at pH of feed solution reach to 4.0 and 6 mmol/L of initial concentration of lactic acid in feed solution by using 4 mmol/L (+)-DBTA dissolved in *n*-octanol as the chiral extractant. The feed and stripping solutions were fed counter-currently at equal flow rate of 100 ml/min. The enantioselective transport of D,L-lactic acid from aqueous feed phase to the stripping phase was facilitated by co-extractant that dissolved in *n*-octanol. It was found to be efficient in the selective separation of lactic acid enantiomer. The cumulative percentage of L-lactic acid extraction, stripping and enantiomeric excess (%e.e.) were 77.22, 73.98 and 55.71, respectively.

Department : Chemical Engineering.....

Student's Signature.....

Field of Study : Chemical Engineering.....

Advisor's Signature.....

Academic Year : 2013.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงจากความช่วยเหลือของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ ที่ให้โอกาส คำสั่งสอน และคำแนะนำ ตลอดจนทั้งตรวจสอบ ความถูกต้องของการทำวิจัยทำให้ผู้วิจัยได้เรียนรู้และประสบความสำเร็จในการทำวิจัย จึงขอกราบ ขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. เหมือนเดือน พิศาลพงศ์ ประธานกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเทพ เทียวหอม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประภร รามกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยภายใต้โครงการทุนวิจัยมหัศจรรย์ สกว.สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อ มาตรฐานและอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ รองศาสตราจารย์ ดร. อาภรณ์ วงษ์วิจารณ์ ภาควิชาจุลชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องอุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์

ขอขอบคุณ เพื่อน พี่ และน้องในกลุ่มวิจัยเทคโนโลยีการแยก ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และเพื่อน พี่ น้อง ท่านอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงที่ให้กำลังใจตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ผู้ให้กำเนิด เลี้ยงดู อบรมสั่งสอน สนับสนุนการศึกษา ให้กำลังใจและส่งเสริมให้ปฏิบัติตนเป็นคนดีของสังคมตลอดมาจนผู้วิจัย ประสบผลสำเร็จในวันนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ค
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอินเนนทีโอเมอร์.....	5
1.2.1 อินเนนทีโอเมอร์.....	5
1.2.2 การเรียกชื่อสารอินเนนทีโอเมอร์.....	6
1.3 สมบัติและความสำคัญของกรดแลคติก.....	7
1.3.1 กรดแลคติก (lactic acid).....	7
1.3.2 การใช้ประโยชน์.....	8
1.3.3 ความเป็นพิษ.....	9
1.4 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	10
1.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแยกแบบคัดเลือกอินเนนทีโอเมอร์ของสารอินทรีย์.....	10
1.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแยกแบบคัดเลือกอินเนนทีโอเมอร์ของกรดแลคติก.....	11
1.5 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	13
1.6 ขอบเขตงานวิจัย.....	13
1.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	13
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	13

บทที่ 2 ทฤษฎี.....	14
2.1 มอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง (hollow fiber supported liquid membrane, HFSLM).....	14
2.2 กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....	15
2.3 ชนิดของสารสกัด.....	18
2.3.1 สารสกัดชนิดอะไครล์.....	18
2.3.2 สารสกัดชนิดไครล์โมเลกุล.....	21
2.4 รูปแบบของการปฏิบัติการด้วยระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง (operation mode via hollow fiber supported liquid membrane).....	23
2.5 การถ่ายเทมวลเกิดจากปฏิกิริยาการสกัด.....	26
2.5.1 การสกัดโดยใช้สารสกัดที่เป็นอะไครล์ (non-chiral extractant).....	26
2.5.2 การสกัดโดยใช้สารสกัดชนิดไครล์ (chiral extractant).....	27
2.6 การคำนวณค่าคงที่การถ่ายเทมวลของโมเลกุลของสารที่ต้องการแยกโดยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....	27
2.6.1 การคำนวณร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับ (percentage of extraction and percentage of stripping or recovery)...	26
2.6.2 การคำนวณค่าอัตราส่วนการกระจายของแอล-แลคติกแอซิด (D_L) และ ดี-แลคติกแอซิด (D_D) ค่าการคัดเลือกอินแนนทิโอเมอร์ (β) และร้อยละส่วนเกินอินแนนทิโอเมอร์หรือร้อยละความบริสุทธิ์อินแนนทิโอเมอร์ (% Enantiomeric excess).....	28
2.6.3 การคำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการสกัดแอล-แลคติกแอซิด (extraction equilibrium constant, K_{ex}).....	29
2.6.4 สัมประสิทธิ์การกระจาย (distribution coefficient : D).....	30
2.6.5 สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (permeability coefficient : P).....	30
2.7 แบบจำลองการถ่ายเทมวลและการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (mass transfer coefficient).....	32
2.8 แบบจำลองการถ่ายเทมวลและคำนวณค่าความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนที่เวลาใดๆ.....	37

บทที่ 3 สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง.....	43
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	43
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	45
3.3 วิธีการทดลอง.....	46
3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายป้อนอิแนนทีโอเมอร์ดี-แอลแลคติกแอซิด	47
3.3.2 ศึกษาชนิดสารสกัดต่อการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์ดีแอล-แลคติกแอซิดด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายออกทานอล.....	47
3.3.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA ในตัวทำละลายออกทานอลต่อประสิทธิภาพการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์ดีและแอล-กรดแลคติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....	48
3.3.4 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายป้อนต่อการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์ดีแอล-แลคติกแอซิดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....	49
3.3.5 ศึกษาความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนต่อการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์ดีแอล-แลคติกแอซิดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....	50
3.3.6 ศึกษาผลของอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ผ่านมอดูลของเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงต่อการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์ดีแอล-แลคติกแอซิด.....	50
3.3.7 ศึกษาผลของจำนวนรอบในการปฏิบัติการของระบบต่อประสิทธิภาพการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์ดีแอล-แลคติกแอซิดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....	51
3.4 ขั้นตอนการทำความสะอาดชุดทดลองเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....	52

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	53
4.1 ผลการทดลอง.....	53
4.1.1 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของดีแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อน ต่อประสิทธิภาพการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์ของกรดแลคติก ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง.....	53
4.1.2 ผลของค่าความเป็นกรด-เบส(pH)ในสารละลายป้อนต่อประสิทธิภาพ การแยกแบบคัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์ของกรดแลคติกด้วยเยื่อแผ่นเหลว ที่พองด้วยเส้นใยกลวง.....	55
4.1.3 ผลของชนิดของสารสกัดที่ละลายในตัวทำละลายออกทานอลต่อ ประสิทธิภาพการสกัดอิแนนทีโอเมอร์แอล-แลคติกแอซิดโดยวิธีการ สกัดด้วยตัวทำละลาย.....	55
4.1.4 ผลของความเข้มข้นของสารสกัดไครัล (+)- DBTA ในสารละลาย เยื่อแผ่นเหลวต่อประสิทธิภาพการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์ ของกรดแลคติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง.....	57
4.1.5 ผลของอัตราการไหลในสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับต่อ ประสิทธิภาพการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์ของกรดแลคติก ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง.....	59
4.1.6 ผลของจำนวนรอบในการดำเนินการต่อประสิทธิภาพการแยกแบบ คัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์ของกรดแลคติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วย เส้นใยกลวง.....	60
4.2 การประยุกต์แบบจำลองการถ่ายเทมวลของอิแนนทีโอเมอร์แอล-แลคติกแอซิด ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงกับผลการทดลอง.....	62
4.2.1 การคำนวณค่าคงที่สมดุล (equilibrium constant, K_{ex}) และค่า สัมประสิทธิ์การกระจาย (distribution coefficient, D) ของปฏิกิริยา การสกัดอิแนนทีโอเมอร์แอล-แลคติกแอซิด.....	62
4.2.2 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Permeability Coefficient, P)	63
4.2.3 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของสารละลายป้อน (k_f) และ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลว (k_m).....	65

4.2.4 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของอินนทิโอเมอร์แอล-กรดแลคติกใน สารละลายป้อนจากผลการทดลองกับการคำนวณจากแบบจำลองการ ถ่ายเทมวล.....	66
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	72
สรุปผลการทดลอง.....	72
ข้อเสนอแนะ.....	73
รายการอ้างอิง.....	74
ภาคผนวก.....	82
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ.....	83
ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบและผลการคำนวณ.....	90
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	97

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการคัดเลือกอินแนนนทีโอเมอร์ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....	4
ตารางที่ 1.2 สมบัติทางกายภาพของกรดแลคติก.....	8
ตารางที่ 2.1 ข้อเปรียบเทียบของการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวประเภทต่างๆ.....	17
ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	43
ตารางที่ 3.2 สมบัติตัวรองรับเส้นใยกลวงพอลิพรพิลีนที่ใช้ในการทดลอง.....	45
ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของปฏิกิริยาการสกัดอินแนนนทีโอเมอร์แอล-แลคติกแอซิดที่ความเข้มข้นของสารสกัด (+)-DBTA ในสารละลาย เยื่อแผ่นเหลวในมอดูลของเส้นใยกลวง 2-10 มิลลิเมตรต่อลิตร.....	63
ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดลอง.....	72
ตารางที่ ข-1 การคำนวณร้อยละส่วนเกินอินแนนนทีโอเมอร์ ร้อยละการสกัด และการนำกลับแอล-แลคติกแอซิดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงจากการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อน.....	89
ตารางที่ ข-2 การคำนวณร้อยละส่วนเกินอินแนนนทีโอเมอร์ของแอล-แลคติกแอซิดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงจากการศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายป้อน.....	90
ตารางที่ ข-3 ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดจากการเปรียบเทียบชนิดของสารสกัดด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายที่ใช้คำนวณร้อยละการสกัด.....	91
ตารางที่ ข-4 การคำนวณร้อยละส่วนเกินอินแนนนทีโอเมอร์ส่วนเกิน ร้อยละของการสกัดและการนำกลับแอล-แลคติกแอซิดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงจากการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไคริล (+)-DBTA ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลว.....	92
ตารางที่ ข-5 การคำนวณร้อยละส่วนเกินอินแนนนทีโอเมอร์ ร้อยละการสกัด และการนำกลับแอล-แลคติกแอซิดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงจากการศึกษาผลของอัตราการใช้ของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ.....	93

<p>ตารางที่ ข-6</p>	<p>การคำนวณร้อยละอินเทนทีโอเมอร์ส่วนเกิน ร้อยละการสกัด และการนำกลับ แอล-แลคติกแอซิดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงจากการศึกษา ผลของจำนวนรอบในการดำเนินการ.....</p>	<p>94</p>
<p>ตารางที่ ข-7</p>	<p>ความเข้มข้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อนขาออกจากการทดลองและ การคำนวณด้วยแบบจำลองการถ่ายเทมวลที่ความเข้มข้นของสารสกัด ชนิดไครัล(+)-DBTA และเวลาการสกัดต่างๆ.....</p>	<p>95</p>

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1	รูปแบบของการเรียงตัวในลักษณะสามมิติของอินเนทไอโอเมอร์..... 5
รูปที่ 1.2	อินเนทไอโอเมอร์ของกรดแลคติก (ก) แอล (+) แลคติกแอซิด (ข) ดี (-) แลคติกแอซิด..... 7
รูปที่ 2.1	โมดูลของเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับแบบเส้นใยกลวง..... 14
รูปที่ 2.2	กระบวนการแยกด้วยเส้นใยกลวงแบบไหลสวนทางกัน..... 16
รูปที่ 2.3	ปฏิบัติการแบบกะแบบไหลสวนทาง..... 23
รูปที่ 2.4	ปฏิบัติการแบบต่อเนื่องแบบไหลสวนทาง..... 24
รูปที่ 2.5	ปฏิบัติการแบบกึ่งต่อเนื่องแบบไหลสวนทาง (ก) สารละลายป้อนไหลแบบกะ-สารละลายนำกลับไหลแบบต่อเนื่อง (ข) สารละลายป้อนไหลแบบต่อเนื่อง-สารละลายนำกลับไหลแบบกะ..... 25
รูปที่ 2.6	แผนผังการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อแผ่นเหลว..... 32
รูปที่ 3.1	โครงสร้างทางเคมีของสารสกัดที่ใช้ในการทดลอง (ก) O,O'-dibenzoyl-(2S,3S)-tartaric acid ((+)-DBTA) : สารสกัดที่เป็นไครัล (ค) tricaprilmethylammonium chloride (Aliquat 336) : สารสกัดที่เป็นอะไครัล..... 44
รูปที่ 3.2	เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)..... 46
รูปที่ 3.3	การสกัดและการนำกลับดีแอล-แลคติกแอซิดด้วยระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงโดยการไหลวนแบบสวนทาง 1) โมดูลเส้นใยกลวง 2) ถังของสารละลายป้อน 3) ถังของสารละลายนำกลับ 4) บั๊ม 5) มาตรวัดความดันขาเข้า 6) มาตรวัดความดันขาออก และ 7) มาตรวัดอัตราการไหล..... 47
รูปที่ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อนกับร้อยละของการสกัดการนำกลับและร้อยละส่วนเกินอินเนทไอโอเมอร์แอลของแลคติกแอซิด ที่ความเข้มข้นของสารสกัดไครัล (+)-DBTA เท่ากับ 4 มิลลิโมลต่อลิตร สารละลายนำกลับน้ำกลั่น อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที และปฏิบัติการแบบไหลวนสวนทางกัน..... 54

รูปที่ 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของสารสกัดกับร้อยละของการสกัดอิแนนทิโอเมอร์แอล-แลคติกแอซิดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อนเท่ากับ 6 มิลลิโมลต่อลิตร สารละลายนำกลับน้ำกลั่น และอัตราเร็วการปั่นกวาน 100 รอบต่อนาที.....	56
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล(+)- DBTA ในสารละลายเชื่อมแผ่นเหลวกับร้อยละของการสกัด การนำกลับและร้อยละความบริสุทธิ์ของอิแนนทิโอเมอร์แอล-แลคติกแอซิด ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อน 6 มิลลิโมลต่อลิตร สารละลายนำกลับน้ำกลั่น อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที และปฏิบัติการแบบไหลวนสวนทางกัน.....	58
รูปที่ 4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลในสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับกับร้อยละการสกัด การนำกลับและร้อยละส่วนเกินอิแนนทิโอเมอร์แอล-แลคติกแอซิด ที่ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล [(+)-DBTA] เท่ากับ 4 มิลลิโมลต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อนเท่ากับ = 6 มิลลิโมลต่อลิตร pH = 4 และปฏิบัติการแบบไหลวนสวนทางกัน.....	60
รูปที่ 4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการดำเนินการกับร้อยละการสกัด การนำกลับและร้อยละส่วนเกินอิแนนทิโอเมอร์แอล-แลคติกแอซิดที่ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล [(+)-DBTA] เท่ากับ 4 มิลลิโมลต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อนเท่ากับ 6 มิลลิโมลต่อลิตร pH = 4 อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที และปฏิบัติการแบบไหลวนสวนทางกัน.....	61
รูปที่ 4.6	ความสัมพันธ์ระหว่าง [(L)-Lactic Acid] _{2,r} -(+)-DBTA] _m กับ [(L)-Lactic Acid] _r ² [(+)-DBTA] _m ที่ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA เท่ากับ 4 มิลลิโมลต่อลิตร ในสารละลาย เชื่อมแผ่นเหลวในมอดูลของเส้นใยกลวง 2-10 มิลลิโมลต่อลิตร โดยความเข้มข้นสารละลายป้อนเริ่มต้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อนเท่ากับ 6 มิลลิโมลต่อลิตร pH=4 อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ปฏิบัติการแบบไหลวนสวนทางกัน.....	62

รูปที่ 4.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง $-V_f \ln(C_f/C_{f,0})$ ของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลาย ป้อนกับเวลา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง เมื่อ pH ใน สารละลายป้อน = 4 และอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลาย นำกลับเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที.....	64
รูปที่ 4.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/P$ กับ $1/[L\text{-Phenylalanine}]_f[(+)\text{-DBTA}]_m$ เมื่อเปลี่ยน แปลงค่าความเข้มข้นของสารสกัด (+)-DBTA ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวใน โมดูลของเส้นใยกลวง เมื่อ pH ในสารละลายป้อนเท่ากับ 4 และอัตราการ ไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อ นาที.....	65
รูปที่ 4.9	ความเข้มข้นของอินนินทิโอเมอร์แอล-กรดแลคติกในสารละลายป้อนขาออก ที่เวลาต่างๆ จากการทดลองและการคำนวณด้วยแบบจำลองการถ่ายเทมวลที่ ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลว ที่ค่าต่างๆ ก) 2 ข) 4 ค) 6 ง) 8 และ จ) 10 มิลลิโมลต่อลิตร.....	67

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์

A	พื้นที่การถ่ายเทมวล
C_f	ความเข้มข้นของโมเลกุลที่ต้องการแยกในสารละลายป้อนที่เวลาต่างๆ
$C_{f,o}$	ความเข้มข้นของโมเลกุลที่ต้องการแยกในสารละลายป้อนที่เวลาเริ่มต้น
$C_{f,in}$	ความเข้มข้นของโมเลกุลที่ต้องการแยกในสารละลายป้อนขาเข้า
$C_{f,out}$	ความเข้มข้นของโมเลกุลที่ต้องการแยกในสารละลายป้อนขาออก
$C_{s,out}$	ความเข้มข้นของโมเลกุลที่ต้องการแยกในสารละลายนำกลับขาออก
D	อัตราส่วนการกระจายของอิแนนทิโอเมอร์
$\%e.e.$	ร้อยละส่วนเกินอิแนนทิโอเมอร์
J_f	อัตราการถ่ายเทมวลของอิแนนทิโอเมอร์ในสารละลายป้อน
J_m	อัตราการถ่ายเทมวลของสารประกอบเชิงซ้อนของอิแนนทิโอเมอร์ที่ ต้องการแยกในสารละลายเยื่อแผ่นเหลว
J_s	อัตราการถ่ายเทมวลของอิแนนทิโอเมอร์ในสารละลายนำกลับ
K_{ex}	ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการสกัก (equilibrium constant)
k	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (mass transfer coefficient)
k_m	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของอิแนนทิโอเมอร์ที่ต้องการแยก ในสารละลายป้อน
k_m	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของไอออนเชิงซ้อนของอิแนนทิโอเมอร์ที่ ต้องการแยกกับสารสกักในสารละลายเยื่อแผ่นเหลว

k_s	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของไอออนที่ต้องการแยก ในสารละลายนำกลับ
L	ความยาวของเส้นใยกลวง
l	ความหนาของชั้นฟิล์มระหว่างสารละลายป้อนและเยื่อแผ่นเหลว
M	ความเข้มข้นของอิแนนทิโอเมอร์ที่ต้องการแยก
M_f	ความเข้มข้นของอิแนนทิโอเมอร์ที่ต้องการแยกในสารละลายป้อน
$M_{m,f}$	ความเข้มข้นของอิแนนทิโอเมอร์ที่ต้องการแยกที่ผิวสัมผัสระหว่าง สารละลายป้อนกับเยื่อแผ่นเหลว
$M_{m,s}$	ความเข้มข้นของอิแนนทิโอเมอร์ที่ผิวสัมผัสระหว่างสารละลายนำกลับกับ เยื่อแผ่นเหลว
M_s	ความเข้มข้นของอิแนนทิโอเมอร์ในสารละลายนำกลับ
N	จำนวนเส้นใยกลวงในมอดูล
P	สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (permeability coefficient)
Q_f	อัตราการไหลของสารละลายป้อน
r_i	รัศมีภายในของเส้นใยกลวง
r_o	รัศมีภายนอกของเส้นใยกลวง
r_{lm}	รัศมี log – mean ของเส้นใยกลวง
[(+)-DBTA]	ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัลกรดทาร์ทาริก
S	สารสกัดชนิดซอลเวต
T	อุณหภูมิสัมบูรณ์ของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว
t	เวลา

V ปริมาตรของมอดูลชุดทดลองเส้นใยกลวง

V_f ปริมาตรของสารละลายป้อน

อักษรกรีก

ϵ ความพรุนของเยื่อแผ่นเหลว

τ ค่าความคดเคี้ยวของเส้นใยกลวงในมอดูล (tortuosity)

π ค่าคงที่ 3.1416

η ความหนืดของสารละลายภายในเยื่อแผ่นเหลว

ตัวห้อย

f สารละลายป้อน

s สารละลายนำกลับ

m สารละลายเยื่อแผ่นเหลว

f,m ผิวสัมผัสระหว่างสารละลายป้อนกับเยื่อแผ่นเหลว

s,m ผิวสัมผัสระหว่างเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายนำกลับ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

กรดแลคติกเป็นกรดอินทรีย์ที่พบมากในอุตสาหกรรมนมและผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับนม นอกจากนั้นอนุพันธ์ของกรดแลคติกเป็นสารเคมีที่มีความสำคัญซึ่งถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรม สารเคมี อาหาร ยา และทางเภสัชกรรม [1] สามารถผลิตได้จากการสังเคราะห์ด้วยสารเคมีและ กระบวนการหมักทางชีวภาพ [2] รวมทั้งการสังเคราะห์จากวัตถุดิบและสารเคมีที่มาจาก อุตสาหกรรมปิโตรเลียม เช่น ก๊าซเอทิลีนและโพรพิลีน [3] กรดแลคติกมีโมเลกุลขนาดเล็กทำให้ มีความว่องไวสูงในการเกิด ปฏิกิริยาเพราะประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) [4] กรดแลคติกประกอบด้วยไอโซเมอร์ซึ่งเป็นอีนันทิโอเมอร์ (enantiomer) อยู่ในสอง รูปแบบที่มีจำนวน (+) และ (-) หรือแอล-แลคติกแอซิดและดี-แลคติกแอซิดในปริมาณเท่ากัน [5] เรียกว่า สารราซิเมต (racemate) หรือสารผสมราซิเมก (racemic mixture) ทั้งสองไอโซเมอร์นั้นมีความแตกต่างกันทั้งแหล่งกำเนิดทางชีวภาพและความสำคัญในระบบการการเผาผลาญอาหาร [6]

ในปัจจุบันแนวโน้มความต้องการกรดแลคติกที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง คาดการณ์ว่าตลาดของการผลิตกรดแลคติกมีการเติบโต 8.6% ต่อปี ตลาดในประเทศสหรัฐอเมริกา กำลังความต้องการที่เติบโตถึง 49,600 ล้านตัน [7] การสังเคราะห์กรดแลคติกด้วยกระบวนการทาง เคมีส่วนใหญ่จะได้ไอเอนทิโอเมอร์ที่อยู่ในรูปแบบของแอล-แลคติกแอซิดหรือของผสมราซิเมก และพบว่าไอเอนทิโอเมอร์ที่อยู่ในรูปแบบของแอล-แลคติกแอซิดแสดงลักษณะเฉพาะที่อุณหภูมิ ของการหลอมเหลวสูงซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของพลาสติก [8] ดังนั้นแอล-แลคติกแอซิด จึงถูกนำมาผลิตเป็นมอนอเมอร์ของพอลิแลคติกแอซิด (polylactic acid, PLA) [9] ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติกชีวภาพทดแทนพลาสติกที่ผลิตจากปิโตรเลียมใน ทรัพยากรธรรมชาติที่มีจำกัดใช้แล้วหมดไปและอุตสาหกรรมผลิตตัวทำละลายและสารเคมีที่เป็น มิตรต่อสิ่งแวดล้อม [10] ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพในการผลิตถุงพลาสติก ถุงขยะ แผ่นพลาสติกทางการเกษตร ชิ้นส่วนของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและรถยนต์ [11] รวมทั้งสามารถ นำไปใช้ในการผลิตพอลิเมอร์ที่เข้ากันได้กับเนื้อเยื่อมนุษย์และย่อยสลายได้ในร่างกายได้ ตัวอย่างเช่น ด้านทันตกรรม ระบบนำส่งยา การเย็บแผล และการศัลยกรรมปลูกถ่าย [12] ไอเอนทิโอเมอร์ของแอล-แลคติกแอซิดที่มีความบริสุทธิ์เป็นสิ่งจำเป็นในการผลิตมอนอเมอร์ของ พอลิแลคติกแอซิดที่มีจุดหลอมเหลวสูงและโครงสร้างผลึกที่แข็งแรง [13] ดังนั้นการแยกแบบ

คัดเลือกอิแนนทิโอเมอร์ของกรดแลคติกนอกจากจะเป็นการเพิ่มความบริสุทธิ์ของอิแนนทิโอเมอร์ชนิดที่ต้องการแล้วยังเป็นจุดเริ่มต้นของการเตรียมวัตถุดิบตั้งต้นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นต่อไป ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทิโอเมอร์ของแอล-แลคติกแอซิดจากสารผสมราซีมิก (racemic solution) ด้วยวิธีการหลากหลาย เช่น การตกผลึก (crystallization) เป็นวิธีการที่มีต้นทุนสูงเพราะมีค่าใช้จ่ายในเรื่องตัวทำละลาย [14] วิธีการทางโครมาโตกราฟี (chromatography) เป็นวิธีการที่ให้ผลิตภัณฑ์ที่บริสุทธิ์สูง แต่มีข้อเสียเนื่องจากการผลิตที่มีกำลังต่ำและต้นทุนของกระบวนการสูง การหมักด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (microbiological) กระบวนการทางเทคโนโลยีเอนไซม์ (enzymatic resolution technology) กระบวนการทางตัวเร่งปฏิกิริยา (asymmetric catalysis) ทั้งสามกระบวนการนี้มีข้อเสียเหมือนกัน คือ ต้องเพิ่มหน่วยการแยกและ/หรือกระบวนการที่ต้องเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอิแนนทิโอเมอร์ที่แยกออกมาและกระบวนการทางคาปิลลารี (capillary electrophoresis) เป็นวิธีการที่มีข้อจำกัดในการขยายกำลังผลิตที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น การพัฒนาล่าสุดนำเทคโนโลยีเยื่อแผ่นเหลวมาประยุกต์ใช้ในการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทิโอเมอร์เพราะลดต้นทุนในเรื่องสารสกัดราคาแพง [15] รายงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีค่าเน้นการวิจัยโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวแบบบัลล์ [16] เยื่อแผ่นเหลวที่มีตัวรองรับ [17] เยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน [18-19] และเยื่อแผ่นเหลวแบบสารสกัด [20] การแยกด้วยเยื่อแผ่นเหลวได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากข้อดีของการรวมกันระหว่างการสกัดของเหลวด้วยของเหลวกับเยื่อแผ่นเหลวไว้ในกระบวนการเดียวกัน การแยกด้วยเยื่อแผ่นเหลวสามารถดำเนินการที่อุณหภูมิห้องทำให้ประหยัดพลังงาน ในกระบวนการเหล่านี้เยื่อแผ่นเหลวที่มีตัวรองรับแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้สารสกัดชนิดไครัล (chiral extractant) ที่มีราคาแพงในปริมาณน้อยซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ได้อิแนนทิโอเมอร์ที่ต้องการ [21]

เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง (hollow fiber support liquid membrane : HFSLM) เป็นเทคโนโลยีที่มีการนำมาวิจัยอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเทคนิคนี้ถูกประยุกต์ใช้อุตสาหกรรมเพื่อแยกและเพิ่ม/ลดความเข้มข้นของโมเลกุลหรือไอออนของสารชนิดต่างๆได้ ตัวอย่างเช่น การแยกโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมให้มีปริมาณตามข้อกำหนดมาตรฐานสิ่งแวดล้อม โดยรูปแบบของตัวรองรับแบบเส้นใยกลวงเป็นรูปแบบที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ประโยชน์มากกว่ารูปแบบอื่นๆ เพราะการออกแบบที่ง่ายต่อการปรับขนาดสำหรับการใช้งานในระบบอุตสาหกรรม [22] กระบวนการนี้มีลักษณะเฉพาะด้วยกระบวนการสกัดและกระบวนการนำกลับสารที่ต้องการแยกหรือคัดแยกอยู่ในขั้นตอนเดียวกัน [23] รวมทั้งข้อดีของเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงที่เหนือกว่าเยื่อแผ่นเหลวแบบมีตัวรองรับชนิดอื่นๆ คือ พื้นผิวสัมผัสสูงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูง ไม่ขึ้นกับความหนาแน่นของเฟสและมีแรงดึงที่ผิวสัมผัส [24] กระบวนการแยก

และคัดเลือกที่ไม่ซับซ้อน สามารถสกัดแยกสารที่อยู่ในรูปของสารหรือไอออนที่มีความเข้มข้นต่ำๆ ขึ้นตอนในการดำเนินการน้อย [25] ต้นทุนในการดำเนินการลดลงเพราะใช้สารเคมีในปริมาณน้อย เป็นการลดค่าใช้จ่ายโดยเฉพาะสารเคมีราคาแพง การใช้พลังงานที่ต่ำกว่า ค่าการคัดเลือกสูง (selectivity) [26] สามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิต่ำ อัตราส่วนของพื้นที่เยื่อแผ่นเหลวต่อปริมาตรของสารละลายสูง [27] และเยื่อแผ่นเหลวที่เสื่อมสภาพสามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการเติมเยื่อแผ่นเหลวเข้าไปใหม่ (re-impregnation) [28]

งานวิจัยดังตารางที่ 1.1 แสดงให้เห็นถึงการนำเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงมาใช้แยกแบบคัดเลือกกอนเทนทิโอเมอร์และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในปีต่อๆ มา ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการแยกแบบคัดเลือกกอนเทนทิโอเมอร์ของกรดแลคติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงซึ่งเป็นรูปแบบที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานมากกว่าเยื่อแผ่นเหลวรูปแบบอื่นด้วยข้อดีหลายประการกระบวนการนี้จึงมีความเป็นไปได้ที่สามารถแยกแบบคัดเลือกกอนเทนทิโอเมอร์ของกรดแลคติกได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยลดขั้นตอนในการสกัดให้น้อยลงเพราะสามารถรวมขั้นตอนการสกัดและการนำกลับไปไว้ในขั้นตอนเดียวกัน

ตารางที่ 1.1 งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการคัดเลือกอินแนนท์ไอเมอร์ด้วยเชื้อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

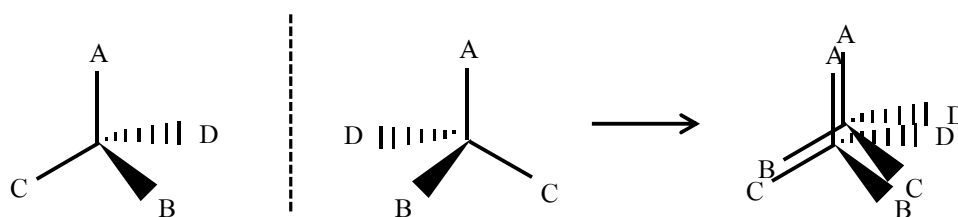
ผู้แต่ง	สารละลายป้อน	สารสกัด	ตัวทำละลาย	สารละลายนำกลับ
Hadik et al. (2002) [29]	<i>rac</i> -lactic acid <i>rac</i> -alanine	N-3,5-Dinitrobenzoyl-(1)-phenylalanine-octylester	Toluene	DI water
Tang et al. (2003) [30]	<i>rac</i> -ofloxacin	(DL)-Dibenzoyltartaric acid	Octanol	DI water
Hadik et al. (2005) [31]	<i>rac</i> -lactic acid	N-3,5-Dinitrobenzoyl-(1)-phenylalanine-octylester	Toluene	DI water
Jiao et al. (2006) [32]	<i>rac</i> -salbutamol	DBTA, DTTA	Toluene	DI water
Huang et al. (2008) [33]	<i>rac</i> α -cyclohexyl-mandelic acid	Copper(II) N-dodecyl-(L)-hydroxyproline (CuN ₂)	Octanol	DI water
Huang et al. (2008) [34]	<i>rac</i> -phenylalanine	Copper(II) N-dodecyl-(L)-hydroxyproline (CuN ₂)	Hexanol/Decane	DI water
Wang et al. (2011) [35]	<i>rac</i> -ketoconazole	(L)-IPT and SBE- β -CD	1-Hexanol	DI water
Sunsandee et al. (2012) [21]	<i>rac</i> -amlodipine	<i>O,O</i> -Dibenzoyl-(2 <i>R</i> ,3 <i>R</i>)-tartaric acid	Decanol	Benzenesulfonic acid
Naksang et al. (2013) [36]	<i>rac</i> -phenylalanine	<i>O,O</i> -Dibenzoyl-(2 <i>R</i> ,3 <i>R</i>)-tartaric acid, D2EHPA, Aliquat 336	n-octanol	DI water
งานวิจัยนี้	<i>rac</i> -lactic acid	<i>O,O</i> -Dibenzoyl-(2 <i>R</i> ,3 <i>R</i>)-tartaric acid	Octanol	DI water

1.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอเนนทิโอเมอร์ [37]

1.2.1 อเนนทิโอเมอร์

อเนนทิโอเมอร์เป็นสเตอริโอไอโซเมอร์ (stereoisomer) ประเภทหนึ่งที่มีคุณสมบัติเป็นไครัล (chiral) สำหรับใช้เรียกโมเลกุลที่มีองค์ประกอบอะตอมเหมือนกัน แต่มีการเรียงตัวในลักษณะสามมิติที่ต่างกันอย่างสิ้นเชิงเป็นลักษณะของการเกิดโครงสร้างที่เป็นภาพกระจกเงาซึ่งกันและกัน แต่ไม่สามารถซ้อนทับกันได้สนิท อเนนทิโอเมอร์จะมีคาร์บอนที่ประกอบด้วยอะตอมหรือหมู่ของอะตอมที่แตกต่างกัน 4 หมู่เกาะอยู่ แสดงดังรูปที่ 1.1 อาจรวมไปถึงอะตอมของฟอสฟอรัสซัลเฟอร์ และไนโตรเจนซึ่งอาจเป็นศูนย์ไครัล (chiral center) ได้ในบางกรณี นอกจากนั้น โมเลกุลหนึ่ง โมเลกุลอาจมีศูนย์ไครัลมากกว่า 1 ตำแหน่ง กรณีที่สารประกอบมีศูนย์ไครัล n ตำแหน่งจะมีจำนวนสเตอริโอไอโซเมอร์ได้มากที่สุด 2^n แบบ และประกอบด้วยอเนนทิโอเมอร์ 2^{n-1} คู่

อเนนทิโอเมอร์มีสมบัติทางกายภาพที่เหมือนกัน ได้แก่ จุดหลอมเหลว จุดเดือด ความถ่วงจำเพาะ และค่าการละลาย ยกเว้นคุณสมบัติในการหมุนระนาบของแสงโพลาไรซ์ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้าม แต่่องศาในการหมุนที่แสดงด้วยค่า specific rotation ยังคงเท่ากัน แต่หากเป็นคู่อเนนทิโอเมอร์ของสารละลายราซิมิก (racemic mixture) จะไม่แสดงคุณสมบัติในการหมุนระนาบของแสงโพลาไรซ์ และสารละลายราซิมิกอาจมีสมบัติทางกายภาพแตกต่างไปจากอเนนทิโอเมอร์เดี่ยว



รูปที่ 1.1 รูปแบบของการเรียงตัวในลักษณะสามมิติของอเนนทิโอเมอร์ [38]

1.2.2 การเรียกชื่อสารอีนันทิโอเมอร์

การเรียกชื่อสารเพื่อระบุอีนันทิโอเมอร์ จำแนกออกเป็น 3 ระบบ [39] ได้แก่

1) ระบบการเรียกชื่อสารโดยพิจารณาจากสมบัติของการหมุนของแสงลาโรสส์ในลักษณะตามเข็มนาฬิกา (หมุนไปด้านขวามือ) และทวนเข็มนาฬิกา (หมุนไปด้านซ้ายมือ) ตามลำดับเรียกระบบนี้ว่า ระบบ $-(+)$ - และ $-(-)$ - หรือ dextro- (หรือ d-) และ levo- (หรือ l-) เป็นระบบแรกที่ใช้จำแนกชนิดของอีนันทิโอเมอร์ การหมุนอีนันทิโอเมอร์นั้นอีนันทิโอเมอร์หนึ่งอาจหมุนระนาบของแสงโพลาไรส์ไปในทิศทางหนึ่งในตัวทำละลายชนิดหนึ่ง แต่อาจหมุนระนาบของแสงไปในทิศตรงกันข้ามในตัวทำละลายชนิดอื่นๆ ก็ได้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของระบบการเรียกชื่อระบบนี้

2) ระบบการเรียกชื่อตามคอนฟิกูเรชันของโมเลกุลสัมพันธ์กับสารมาตรฐาน (+)-glyceraldehyde เรียกว่า ระบบ D- และ L- โดยโมเลกุลที่มีทิศทางการจัดเรียงตัวของอะตอมรอบศูนย์กลางคาร์บอนหรือตรงกันข้ามกับ (+)-glyceraldehyde โดยถูกกำหนดให้มีคอนฟิกูเรชันเป็น D- หรือ L- ตามลำดับ สำหรับกรดอะมิโนพิจารณาเทียบกับ L(-)-serine แต่ข้อเสียของระบบนี้มักสร้างความสับสนจากการเขียน “D” หรือ “d” และ “L” หรือ “l” ในปัจจุบันยังคงใช้ระบบนี้กับคาร์โบไฮเดรตและกรดอะมิโนเท่านั้น

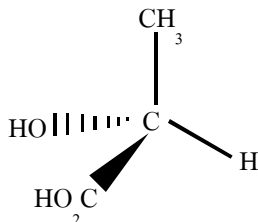
3) ระบบการเรียกชื่อเพื่อบอกคอนฟิกูเรชันแบบสมบูรณ์ (absolute configuration) ของโมเลกุลโดยการจัดลำดับอะตอมหรือหมู่อะตอมรอบศูนย์กลางคาร์บอนตามเลขอะตอมจากค่ามากไปหาน้อยแล้วมองโมเลกุลแบบสามมิติจากหมู่อะตอมที่มีเลขอะตอมต่ำสุดจากด้านที่ไกลที่สุดแล้วพิจารณาลำดับเลขอะตอมจากมากไปน้อย เมื่อเรียงลำดับเลขอะตอมจากมากไปหาน้อยมีทิศตามเข็มนาฬิกาเรียกว่า R ซึ่งมาจาก rectus หรือ right และในอีกลักษณะหนึ่งถ้าการจัดเรียงตัวของหมู่อะตอมมีทิศทวนเข็มนาฬิกาจะเรียกว่า S ซึ่งมาจาก sinister หรือ left เรียกว่าระบบนี้ว่าระบบ Cahn-Ingold-Prelog ซึ่งปรากฏอยู่ในระบบ IUPAC ถึงแม้ว่าระบบนี้จะมีความชัดเจนในการบอกคอนฟิกูเรชันและใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน แต่ในการเรียกชื่อยาจำนวนมาก ยังคงเรียกชื่อด้วยหลายระบบตามความนิยม

1.3 สมบัติและความสำคัญของกรดแลคติก

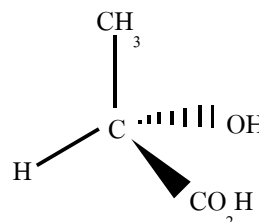
1.3.1 กรดแลคติก (lactic acid)

กรดแลคติกเป็นกรดอินทรีย์ชนิดของเหลวไม่มีสี สามารถละลายทั้งในน้ำ เอทานอล อะซิโตนและอีเทอร์ได้ แต่ไม่ละลายในคลอโรฟอร์ม [40] กรดแลคติกเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถสังเคราะห์ด้วยกระบวนการหมักโดยแบคทีเรียและกระบวนการทางเคมี กรดแลคติกถูกค้นพบครั้งแรกโดยนักเคมีชาวสวีเดนเมื่อปี ค.ศ.1780 ในผลิตภัณฑ์นม [41]

ในทางเคมีกรดแลคติกมีสมบัติเป็นไครัล ซึ่งประกอบด้วยสองไอโซเมอร์เชิงแสง สองรูปแบบ ได้แก่รูปแบบ “D” หรือ “-(+)-” หรือ “dextro” และรูปแบบ “L” หรือ “-(-)-” หรือ “levo” แสดงดังรูปที่ 1.2 ซึ่งเฉพาะรูปแบบ “levo” เท่านั้นที่เข้าไปมีส่วนร่วมในกระบวนการเผาผลาญอาหารของสัตว์ [42] ในเชิงพาณิชย์กรดแลคติกมักจะอยู่ในรูปของสารผสมราซีมิกของทั้งสองไอโซเมอร์เชิงแสง



(ก) แอล (+) แลคติกแอซิด



(ข) ดี (-) แลคติกแอซิด

รูปที่ 1.2 อีแนนทิโอเมอร์ของกรดแลคติก (ก) แอล (+) แลคติกแอซิด (ข) ดี (-) แลคติกแอซิด [43]

ตารางที่ 1.2 สมบัติทางกายภาพของกรดแลคติก [44]

ชื่อพ้อง	Milk Acid 2-Hydroxypropanoic Acid 1-Hydroxyethanecarboxylic acid 2-hydroxypropanoic acid
สูตรโมเลกุล	CH ₃ CHOHCOOH
เลขอะตอม	73
น้ำหนักอะตอม	90.08 กรัมต่อโมล
จุดหลอมเหลว	18 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	122 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น	1.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ความถ่วงจำเพาะ	1.2
ค่าคงที่การแตกตัว (pK _a)	3.86

1.3.2 การใช้ประโยชน์

ด้านอาหาร กรดแลคติกพบมากในผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับนม การดองอาหาร ใช้เป็นสารให้ความเปรี้ยว และสารปรับค่าความเป็นกรด-เบสในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม

ด้านยาและเภสัชกรรม กรดแลคติกถูกนำไปใช้ในการปรับค่าความเป็นกรด-เบสและสารเคมีในการสังเคราะห์ยา เป็นส่วนประกอบของยาชนิดต่างๆ และเป็นตัวกลางในการผสมยา

ด้านเครื่องสำอาง กรดแลคติกใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้น ใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอางเพื่อช่วยกระตุ้นการหลุดลอกของผิว และใช้ควบคุมการเติบโตของจุลินทรีย์ในเครื่องสำอาง

ด้านอุตสาหกรรมทอผ้าและฟอกหนัง กรดแลคติกใช้เป็สารที่ช่วยย้ให้การข้อมและพิมพ์ติดแน่นยิ่งขึ้น และใช้ในการฟอกหนังเพื่อให้หนังนุ่ม

ด้านอุตสาหกรรมพลาสติก การใช้ผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพด้วยอัตราการขยายตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยคาดว่าความต้องการทรัพยากรวัสดุมวลชีวภาพจะสูงกว่าพลาสติกจากปิโตรเคมีและมากกว่าปริมาณวัสดุชนิดอื่นๆ ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตลดลงและ

สามารถแข่งขันกับพลาสติกที่ผลิตจากปิโตรเคมีได้ เนื่องจากปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหาเรือนกระจกที่เกิดจากการเผาพลาสติกที่ไม่ย่อยสลายในธรรมชาติ และความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ กรดแลคติกจึงถูกนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตมอนอเมอร์ของพอลิแลคติกแอซิดซึ่งสามารถผลิตพลาสติกชีวภาพที่นำไปใช้งานหลายประเภทได้แก่

- แผ่นฟิล์มเพื่อการเกษตร
- กระจ่างต้นไม้
- การใช้งานด้านพลาสติกบรรจุภัณฑ์
- นำไปพัฒนาใช้งานทางการแพทย์และทันตกรรม เช่น ระบบนำส่งยา
ไหมละลายและวัสดุคิบบที่เข้ากันกับเนื้อเยื่อมนุษย์
- ชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้า

ด้านอื่นๆ ได้แก่ การผลิตน้ำยาทำความสะอาด สารฆ่าเชื้อ อุตสาหกรรมสี แลคเกอร์ และอุตสาหกรรมหมึกพิมพ์

1.3.3 ความเป็นพิษ

จากรายงานต่างๆ พบว่ากรดแลคติกมีประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิต ซึ่งแอล-แลคติกแอซิดเท่านั้นที่สามารถใช้ในอาหารและยาได้ หากบริโภคกรดแลคติกที่มีปริมาณดี-แลคติกแอซิดสูงเกินไปจะส่งผลต่อการเกิดสภาวะเลือดเป็นกรด (hyper-acidity) สูงในทารกและผู้ใหญ่ที่มีสภาวะอาการลำไส้สั้น [45] ด้วยเหตุนี้องค์การอนามัยโลก (WHO) จึงกำหนดให้ดี-แลคติกแอซิดและดีแอล-แลคติกแอซิดไม่ควรปนเปื้อนอยู่ในอาหารในปริมาณที่เป็นพิษต่อร่างกายโดยจำกัดปริมาณการบริโภคที่ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว [46]

1.4 งานวิจัยที่ผ่านมา

1.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทิโอเมอร์ของสารอินทรีย์

Tan B และคณะ (2006) [47]

ศึกษาการสกัดสารละลายราซิมิกกรดอะมิโนดีแอล-ทริปโตแฟนด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent emulsion liquid-liquid extraction) ใช้การสกัดแบบเสริมฤทธิ์โดยใช้สารสกัดที่เป็นอะไครล์ D2EHPA ผสมกับสารสกัดที่เป็นไครล์ (-)-DBTA ละลายในตัวทำละลาย *n*-octanol พบว่าได้ค่าการคัดเลือกของอิแนนทิโอเมอร์ (enantioselectivity) ของดี-ทริปโตแฟน เท่ากับ 5.3 หรือคิดเป็นร้อยละส่วนเกินอิแนนทิโอเมอร์ของดี-ทริปโตแฟนเท่ากับ 57 และอัตราส่วนผสมของสารสกัด (-)-DBTA และ D2EHPA ที่ให้ค่าการสกัดสูงสุดเท่ากับ 1

JIAO F.P และคณะ (2007) [48]

ศึกษาการสกัดแยกอิแนนทิโอเมอร์ของดีแอลแมนเดิลิก (D,L-mandelic) ด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent liquid-liquid extraction) ด้วยการสกัดที่เป็นสารผสมไครล์ 2 ชนิด (binary chiral) คือ L-dipentyl tartrate และ β -cyclodextrin โดยใช้ decanol เป็นตัวทำละลาย พบว่า ค่าการกระจายตัว (distribution coefficients) ของดีและแอลแมนเดิลิกเอซิด คือ 14.9 และ 7.0 และค่าการคัดเลือกของ อิแนนทิโอเมอร์ (enantioselectivity) เท่ากับ 2.1 หรือร้อยละร้อยละส่วนเกินอิแนนทิโอเมอร์ของดีแมนเดิลิกเอซิด เท่ากับ 35

Tan B และคณะ (2007) [49]

ศึกษาการสกัดอิแนนทิโอเมอร์ที่เป็นกรดอะมิโนดีแอล-ทริปโตแฟน ดีแอล-ฟีนิลอะลานีน และดีแอล-ไทโรซีน ด้วยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent emulsion extraction) ใช้สารสกัดร่วม (co-extractant) ที่เป็นอะไครล์คือ Aliquat-336 ถูกนำมาใช้แทน D2EHPA ร่วมกับสารสกัดชนิดไครล์ คือ (+)-DBTA และ (+)-DTTA) พบว่าเมื่อใช้สารสกัดชนิดไครล์ ((+)-DBTA) ผสมกับ Aliquat 336 ได้ค่าร้อยละส่วนเกินอิแนนทิโอเมอร์ของแอล-ทริปโตแฟน แอล-ฟีนิลอะลานีน และแอล-ไทโรซีนเท่ากับ 21, 36 และ 41 ตามลำดับ ส่วนการใช้สารสกัดไครล์ ((+)-DTTA) ผสมกับ Aliquat 336 ได้ค่าร้อยละส่วนเกินอิแนนทิโอเมอร์ของแอล-ทริปโตแฟน แอล-ฟีนิลอะลานีน และแอล-ไทโรซีนเท่ากับ 21, 35 และ 40 ตามลำดับ

Sunsandee และคณะ (2013) [50]

ศึกษาการสกัดแยกแอมโกลิปีนจากน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมอาหารและยาด้วยระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง (HFSLM) ด้วยสารสกัดชนิดไครล (+)-DBTA ละลายใน 1-decanol เป็นสารสกัด และใช้กรดเบนซีนซัลโฟนิคเป็นสารละลายนำกลับ พบว่าได้ร้อยละการสกัด และร้อยละการนำกลับสูงสุด คือ 77.50 และ 72.50 ตามลำดับ และศึกษาการสกัดแยกแบบเสริมฤทธิ์ของแอมโกลิปีนด้วยสารสกัดชนิดไครล (+)-DBTA ผสมกับสารสกัดชนิดอะไครล D2EHPA ละลายใน 1-decanol และสารละลายกรดเบนซีนซัลโฟนิคเป็นสารละลายนำกลับเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ การสกัดแยกแอส-แอมโกลิปีน พบว่าร้อยละการสกัด ร้อยละการนำกลับ และร้อยละส่วนเกินอีแนนทิโอเมอร์ของแอส-แอมโกลิปีนสูงสุดคือ 84.50, 80.50, และ 70.21 ตามลำดับ

1.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแยกแบบคัดเลือกอีแนนทิโอเมอร์ของกรดแลคติก

Hadik et al. (2002) [29]

ศึกษาการแยกอีแนนทิโอเมอร์ของดีแอล-แลคติกแอซิด (D,L-lactic acid) และ ดีแอล-อะลานีน (D,L-alanine) ด้วยระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับ (supported liquid membrane) โดยใช้สารสกัด N-3,5-dinitrobenzoyl-L-alanine-octylester ที่สังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการซึ่งเป็นสารสกัดชนิดไครลละลายในตัวทำละลายอินทรีย์โทลูอินและใช้น้ำกลั่น (double-distilled water) เป็นสารละลายนำกลับโดยศึกษาพลั๊กการถ่ายโอนที่ในแต่ละช่วงเวลา จากผลการศึกษาพบว่าค่าแฟกเตอร์ของการแยกดีแอล-แลคติกแอซิดและดีแอล-อะลานีนมีค่าเท่ากับ 2 และ 1.75 ตามลำดับ

Hadik et al. (2005) [31]

ศึกษาการแยกอีแนนทิโอเมอร์ของดีแอล-แลคติกแอซิด (D,L-lactic acid) ด้วยระบบเยื่อแผ่นเหลวโดยใช้ N-3,5-dinitrobenzoyl-L-alanine-octylester เป็นสารสกัดชนิดไครลซึ่งละลายอยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์โทลูอิน และใช้น้ำกลั่น (double-distilled water) เป็นสารละลายนำกลับ ใ้ข้ออธิบายค่าการคัดเลือกอีแนนทิโอเมอร์คือ อัตราส่วนของความเข้มข้นดีและแอลอีแนนทิโอเมอร์ และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลมีค่าเท่ากับ $1.2-1.5 \times 10^{-9}$ เมตรต่อวินาที

Hadik et al. (2005) [51]

ศึกษาการแยกอินแนทไอโอเมอร์ของกรดแลกติกด้วยเทคนิคเยื่อแผ่นเซรามิกรูพรุนซึ่งเป็นเยื่อแผ่นของแข็งและเยื่อแผ่นเหลวเส้นใยกลวงโดยเยื่อแผ่นทั้งสองแบบใช้สารสกัดชนิดไครัล N-3,5-dinitrobenzoyl-L-alanine-octylester ละลายอยู่ในโทลูอีน เป็นสารสกัดไครัล จากศึกษาพบว่าเยื่อแผ่นของแข็งมีประสิทธิภาพในการแยกที่ดีกว่าเพราะค่าฟลักซ์ของดี-แลกติกแอซิด มีค่าการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 4×10^{-4} และ 15×10^{-4} โมลต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ในขณะที่ค่าการคัดเลือกเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.5 สำหรับเยื่อแผ่นเหลวที่มีตัวพุงมีค่าฟลักซ์ของดี-แลกติกแอซิด การเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 3×10^{-6} และ 4×10^{-6} โมลต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งค่าการคัดเลือกเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.2 และ 2 ตามลำดับ

Yang et al. (2004) [52]

ศึกษาการแยกอินแนทไอโอเมอร์ของแลกติกแอซิดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงโดยใช้ Aliquat 336 ละลายอยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์เคโรซีน นอกจากนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกอินแนทไอโอเมอร์ของดีแอล-แลกติกแอซิดให้สูงขึ้นด้วยการเติม β -cyclodextrin เข้าไปในสารละลายป้อนของระบบเยื่อแผ่นเหลวที่มีตัวพุง จากศึกษาพบว่าแฟกเตอร์การแยกมีค่าสูงถึง 2.3 ทั้งในสารละลายสังเคราะห์และสารละลายธรรมชาติ

1.5 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาการแยกแบบคัดเลือกอีแนนทีโอเมอร์ของกรดแลกติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

1.6 ขอบเขตงานวิจัย

1.6.1 ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการคัดเลือกอีแนนทีโอเมอร์ของกรดแลกติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงดังนี้

- ความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อน
- ความเข้มข้นของสารสกัดในตัวทำละลายอินทรีย์
- อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ

1.6.2 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการคัดเลือกอีแนนทีโอเมอร์ของกรดแลกติกเพื่อนำไปใช้พัฒนาในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

1.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.7.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการแยกแบบคัดเลือกอีแนนทีโอเมอร์ของกรดแลกติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงด้วยวิธีการอื่นๆ รวมไปถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีการ

1.7.2 ศึกษาวิธีการทดลอง เตรียมสารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง

1.7.3 ทำการทดลองแยกแบบคัดเลือกอีแนนทีโอเมอร์ของกรดแลกติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

ทราบปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการแยกแบบคัดเลือกอีแนนทีโอเมอร์ของกรดแลกติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองเส้นใยกลวงสามารถนำองค์ความรู้ที่ศึกษาไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ

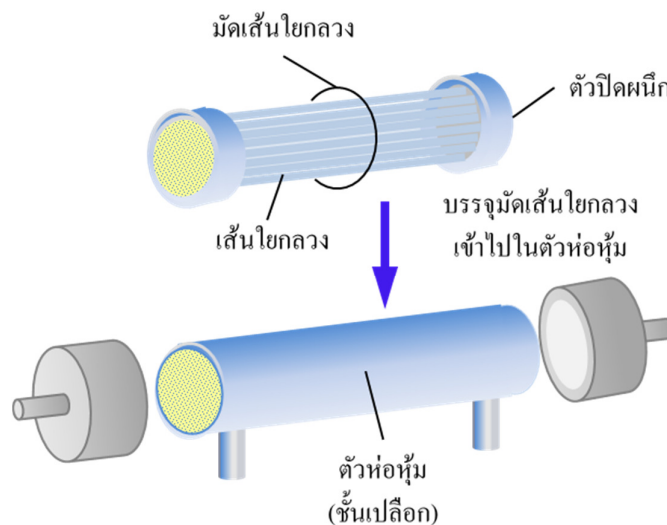
บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 มอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

(hollow fiber supported liquid membrane, HFSLM)

เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับแบบเส้นใยกลวงเป็นเยื่อแผ่นเหลวที่ทำจากการนำเส้นใยกลวงจำนวนมากจัดเรียงในแนวขนานกันแล้วบรรจุลงในมอดูลรูปทรงกระบอกแล้วปิดปลายทั้งสองด้านของมอดูลด้วยเรซิน (resin) แสดงดังรูปที่ 2.1 โดยการสกัดสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับจะไหลภายในเส้นใยกลวงที่เรียกว่าฝั่งท่อ (tube side) และฝั่งเปลือก (shell side) ซึ่งขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้ของผู้ใช้งาน โดยสารละลายเยื่อแผ่นเหลวจะถูกฝั่งตรึงอยู่ในเส้นใยกลวงที่อยู่ระหว่างสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับฝั่งท่อและฝั่งเปลือก การไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ สามารถดำเนินการได้ 2 รูปแบบ คือ การไหลภายในมอดูลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับไหลแบบทางเดียวกันและแบบสวนทางกัน



รูปที่ 2.1 มอดูลของเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับแบบเส้นใยกลวง [53]

2.2 กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

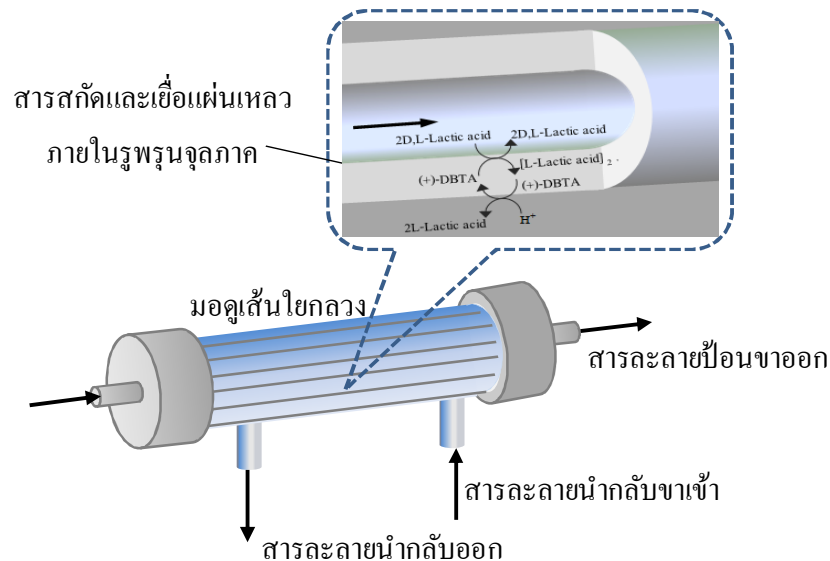
ในกระบวนการแยกนี้จะแบ่งออกเป็น 3 วัฏภาค ได้แก่

- ก. วัฏภาคของสารละลายป้อน (feed phase) เป็นวัฏภาคขององค์ประกอบของโมเลกุลที่ต้องการแยกที่ละลายอยู่ในรูปของสารละลาย
- ข. วัฏภาคของเยื่อแผ่นเหลว (liquid membrane phase) เป็นวัฏภาคที่ประกอบด้วยสารสกัดที่ละลายถูกละลายด้วยตัวทำละลายซึ่งอยู่ในรูปของสารละลายอินทรีย์ (organic phase) ซึ่งสารสกัดนี้ละลายอยู่ในรูปของสารละลายน้ำมันมีหน้าที่หลักคือ แยกวัฏภาคทั้งสองวัฏภาคไม่ให้ผสมกันและเลือกผ่านเฉพาะโมเลกุลที่ต้องการในตัวถูกละลาย
- ค. วัฏภาคของสารละลายนำกลับ (stripping phase) เป็นวัฏภาคที่จะทำหน้าที่เป็นตัวรับองค์ประกอบของโมเลกุลที่ต้องการแยก ซึ่งถ่ายเทมวลผ่านวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวมาจากด้านวัฏภาคของสารละลายป้อน วัฏภาคนี้จะอยู่ในรูปของสารละลายเหมือนกับวัฏภาคสารละลายป้อน

เมื่อวัฏภาคทั้งสามวัฏภาคจะไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน กล่าวคือ วัฏภาคของเยื่อแผ่นเหลวจะไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับวัฏภาคสารละลายป้อนและวัฏภาคสารละลายนำกลับ ดังนั้นเมื่อนำเยื่อแผ่นเหลวมาขึ้นเพื่อแยกวัฏภาคสารละลายป้อนกับวัฏภาคสารละลายนำกลับให้ออกจากกัน องค์ประกอบของโมเลกุลที่ต้องการแยกจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารสกัดในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวที่ผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาคสารละลายป้อนกับวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายอยู่ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว หลังจากนั้นสารประกอบเชิงซ้อนจะแพร่ผ่านวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวไปที่ฝั่งตรงข้ามซึ่งเป็นผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวกับวัฏภาคสารละลายนำกลับองค์ประกอบของโมเลกุลที่ต้องการแยกที่อยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนเข้าทำปฏิกิริยากับสารละลายนำกลับที่อยู่ในวัฏภาคสารละลายนำกลับ และแยกองค์ประกอบของโมเลกุลที่ต้องการมาอยู่ในวัฏภาคสารละลายนำกลับซึ่งจะละลายอยู่ในสารละลายนำกลับ

การเตรียมเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับแบบเส้นใยกลวงนั้น เตรียมโดยการนำเยื่อแผ่นเหลวที่เป็นสารละลายของน้ำมันซึ่งไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับวัฏภาคสารละลายป้อนและวัฏภาคสารละลายนำกลับจะบรรจุเข้าไปฝั่งตรงอยู่บนตัวรองรับเส้นใยกลวงและเกิดเป็นชั้นฟิล์มที่กั้นระหว่างวัฏภาคสารละลายป้อนและวัฏภาคสารละลายนำกลับออกจากกัน ซึ่งตัวรองรับจะแบ่งออกเป็นสองชนิด คือ พอลิเมอร์ที่มีรูพรุนชนิดที่ไม่ชอบน้ำและชนิดที่ชอบน้ำ

สำหรับงานวิจัยนี้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลางที่นำมาศึกษาแสดงดังรูปที่ 2.2 โดยสารสกัดถูกละลายอยู่ในเยื่อแผ่นเหลวและถูกฝังตรึงอยู่ภายในรูพรุนจุลภาคของเส้นใยกลาง ซึ่งสามารถกำหนดการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับได้ทั้งการไหลแบบทางเดียวกันหรือแบบสวนทางกัน สารละลายป้อนและสารละลายนำกลับจะไหลอยู่ภายในมอดูลของเส้นใยกลางเรียกว่าฝั่งท่อ (tube side) และฝั่งเปลือก (shell side) ในงานวิจัยนี้เลือกเป็นกระบวนการแยกแบบคัดเลือกรด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลางแบบไหลสวนทางกัน โดยที่สารละลายป้อนจะไหลภายในฝั่งท่อ (tube side) และสารละลายนำกลับจะไหลภายในฝั่งเปลือก (shell side)



รูปที่ 2.2 กระบวนการแยกด้วยเส้นใยกลางแบบไหลสวนทางกัน

จากการศึกษาคุณสมบัติของเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับชนิดต่างๆ พบว่า กระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับแบบเส้นใยกลางเป็นรูปแบบที่เหมาะสมในการใช้งานมากกว่ารูปแบบอื่นๆ [53] ได้แก่

- 1) ประสิทธิภาพสูงในการสกัดและนำกลับ
- 2) อัตราการถ่ายเทมวลสูงเมื่อเทียบกับขนาดของระบบ
- 3) ค่าการคัดเลือก (selectivity) สูง
- 4) สามารถเลือกความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ได้

- 5) ใช้สารสกัดปริมาณน้อย
- 6) แยกสารที่มีความเข้มข้นต่ำๆ ได้
- 7) ใช้สำหรับระบบที่มีของแข็งแขวนลอยได้
- 8) มูลค่าการลงทุนและการดำเนินการต่ำ
- 9) สามารถดัดแปลงและขยายขนาดเพื่อประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้ง่าย

เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานมากกว่ารูปแบบอื่นๆ เนื่องจากมีพื้นที่ถ่ายเทมวลต่อปริมาตรสูง และสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของเยื่อแผ่นเหลวที่เสื่อมสภาพได้ง่ายโดยการเติมสารละลายเยื่อแผ่นเหลวกลับเข้าไปใหม่ ตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นข้อเปรียบเทียบของเยื่อแผ่นเหลวชนิดต่างๆ

ตารางที่ 2.1 ข้อเปรียบเทียบของการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวประเภทต่างๆ [54]

ชนิด	ข้อดี	ข้อเสีย
เยื่อแผ่นเหลวชนิดอิมัลชัน	<ul style="list-style-type: none"> - กำลังการผลิตสูง - สัดส่วนพื้นที่ต่อปริมาตรสูง - กระบวนการไม่ยุ่งยากซับซ้อน 	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้สารอินทรีย์ปริมาณสูง - ใช้พลังงานสูง - มีปัญหาเนื่องจากการปนเปื้อน - ปัญหาการใช้สารลดแรงตึงผิว - ต้องเพิ่มหน่วยการบำบัด
เยื่อแผ่นเหลวไฟฟ้าสถิต	<ul style="list-style-type: none"> - มีความเสถียรภาพสูง - ประสิทธิภาพสูง - การปนเปื้อนต่ำ - ไม่ต้องใช้สารลดแรงตึงผิว 	<ul style="list-style-type: none"> - กำลังการผลิตต่ำ - สารอินทรีย์ต้องมีความเป็นขี้ดต่ำ - สารอินทรีย์ต้องเป็นวัฏภาคต่อเนื่องเท่านั้น - ใช้สารอินทรีย์ปริมาณมาก
เยื่อแผ่นเหลวที่มีตัวรองรับ	<ul style="list-style-type: none"> - อัตราการถ่ายเทมวลสูง - มีค่าการคัดเลือกสูง - ไม่ต้องใช้สารลดแรงตึงผิว - ใช้สารอินทรีย์ปริมาณต่ำ - ใช้พลังงานต่ำ - ขยายขนาดง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> - สัดส่วนพื้นที่ต่อปริมาตรต่ำ - เยื่อแผ่นเหลวมีประสิทธิภาพต่ำ - มีการสูญเสียเยื่อแผ่นเหลว

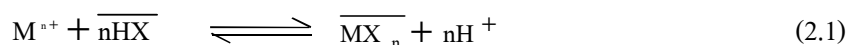
2.3 ชนิดของสารสกัด

ชนิดของสารสกัดมีบทบาทสำคัญต่อการแยกโมเลกุลแบบคัดเลือก (selective separation) ดังนั้นในกระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นเหล่านั้นจึงแบ่งสารสกัดตามลักษณะของหมู่ฟังก์ชันซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารสกัดชนิดต่างๆ

2.3.1 สารสกัดชนิดอะไครล์

2.3.1.1 สารสกัดชนิดกรด (acidic extractant)

สารสกัดชนิดนี้แบ่งย่อยได้สองชนิด คือ สารสกัดชนิดกรด (acidic extractant) ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันของส่วนที่เข้าทำปฏิกิริยา ตัวอย่างเช่น $-\text{COOH}$, $=\text{P}(\text{O})\text{OH}$, $-\text{SO}_3\text{H}$ และ สารสกัดชนิดคีเลท (chelate extractant) โดยโมเลกุลที่ต้องการชนิดที่มีประจุบวกจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารสกัดทั้งสองชนิดเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุเป็นกลาง และสามารถละลายได้ดี ใน วัฏภาคของสารละลายอินทรีย์ แสดงดังสมการที่ (2.1)



เมื่อ M^{n+} คือ โมเลกุลที่ต้องการในสารละลายป้อน

$\overline{\text{HX}}$ คือ สารสกัดในเยื่อแผ่นเหลว (วัฏภาคสารละลายอินทรีย์)

$\overline{\text{MX}}_n$ คือ สารประกอบเชิงซ้อนของโมเลกุลที่ต้องการกับสารสกัด

ในเยื่อแผ่นเหลว (วัฏภาคสารละลายอินทรีย์)

จากสมการ (2.1) แสดงปฏิกิริยาในการแลกเปลี่ยนประจุบวกระหว่างโมเลกุลไฮโดรเจนกับโมเลกุลที่ต้องการแยก ซึ่งความสามารถของการแยกโมเลกุลนั้นขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-เบสของวัฏภาคสารละลายป้อนและธรรมชาติของโมเลกุลที่ต้องการแยก ความสามารถในการสกัดมีจะมีค่าสูง เมื่อวัฏภาคสารละลายอินทรีย์เป็นกรดและโมเลกุลที่ต้องการแยกมีประจุบวก [55] สารสกัดชนิดกรด ได้แก่ อนุพันธ์อินทรีย์ของกรดฟอสฟอรัส (organic derivatives of phosphorous acids) กรดโมโนคาร์บอกซิลิก (monocarboxylic acids) และกรดอัลคิลฟอสฟอริก (alkylphosphoric acids) ซึ่งนิยมใช้ประโยชน์มากที่สุด ตัวอย่างเช่น กรดได-2-เอทิลเฮกซิลฟอสฟอริก (di-2-ethylhexyl phosphoric acids, D2EHPA) เนื่องจากมีความเสถียรภาพทางเคมีจลนศาสตร์ของการ

แยกที่ดีซึ่งทำให้ง่ายต่อการแยกและการนำกลับรวมทั้งสามารถแยกโมเลกุลได้หลายชนิดและหาซื้อได้ง่าย

สารสกัดชนิดคีเลทเป็นสารสกัดที่ประกอบด้วยกลุ่มคอนเนอร์ก (donor groups) สามารถเกิดปฏิกิริยากับ โมเลกุลที่ต้องการแยก ซึ่งเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนไบเดนเทต (bidentate complexes)

สารสกัดชนิดคีเลทในเชิงพาณิชย์ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มของ 2-ไฮดรอกซีเบนโซฟีโนนออกซิม (2-hydroxy benzophenone oximes) โดยมีชื่อทางการค้าที่หลากหลาย คือ สารสกัด LIX สารสกัด Acorga และสารสกัด SME

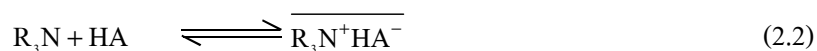
2) กลุ่มของ 8-ไฮดรอกซีควิโนไลน์ (8-hydroxyquinoline) โดยมีชื่อทางการค้าคือ Kelex สารสกัดกลุ่มนี้ผลิตโดยเฉพาะเพื่อใช้ในแยกไอออนทองแดงทั้งจากสารละลายกรดได้มาจากกระบวนการชะละลาย (acidic leach liquors) และจากสารละลายอัลคาไลน์ มีข้อเสียคือ เมื่อใช้แยกสารละลายที่เป็นกรดจะมีจลนศาสตร์ที่ต่ำ แต่ในสารละลายอัลคาไลน์จะมีจลนศาสตร์ที่สูง

2.3.1.2 สารสกัดชนิดเบส (basic extractant)

สารสกัดชนิดเบสเป็นสารสกัดอินทรีย์ที่ง่ายต่อการทำปฏิกิริยาสะเทินกับ โมเลกุลที่ต้องการที่มีประจุลบของสารที่ต้องการแยกที่อยู่ในสารละลายที่เป็นกรด สารสกัดชนิดเบสที่นิยมนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้แก่ สารสกัดในกลุ่มเอมีน (amine) หรือเกลือของเอมีน (amine salt) ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ เอมีนชนิดปฐมภูมิ (primary, RNH_2) เช่น Primene JMT เอมีนชนิดทุติยภูมิ (secondary, R_2NH) เช่น dialkylmethylamine (DAMA) เอมีนชนิดตติยภูมิ (tertiary, R_3N) เช่น tri-n-octylamine (TOA) และเอมีนชนิดจตุรภูมิ ซึ่งเป็นสารประกอบเกลือของเอมีน (quaternary ammonium salts, R_4N^+) เช่น methyltrioctylammonium chloride (Aliquat 336) โดยที่ R คือ หมู่อัลคิล ดังนั้นประสิทธิภาพของการแยกโมเลกุลของสารที่ต้องการแยกด้วยสารสกัดเอมีนจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการรวมตัวของโมเลกุลของสารที่อยู่ในวัฏภาคสารละลายของน้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีประจุลบ (anionic species)

สารสกัดเอมีนชนิดปฐมภูมิ (RNH_2) ทุติยภูมิ (R_2NH) และตติยภูมิ (R_3N) จะเข้าทำปฏิกิริยากับกรด (HA) ในสารละลายของน้ำที่ถูกปรับสภาพให้เป็นกรดอ่อนเพื่อให้เกิดเป็นเกลือของเอมีนที่มีประจุ ($\text{R}_3\text{N}^+\text{HA}^-$) ในวัฏภาคสารละลายอินทรีย์ ตามสมการที่ (2.2) เมื่อตัวทำละลายอินทรีย์สัมผัสกับวัฏภาคสารละลายป้อน เกิดการแลกเปลี่ยนประจุกับประจุลบของโมเลกุลที่ต้องการแยก (anionic species) (MY^n) ตามสมการที่ (2.3) ซึ่งในขณะที่เอมีนชนิดจตุรภูมิซึ่งเป็น

เกลือของเอมีนมีความสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับประจุลบของสารที่ต้องการแยกได้โดยไม่ต้องจำเป็นต้องทำปฏิกิริยากับกรด

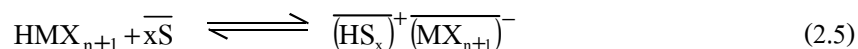


โดยข้อจำกัดที่มีต่อประสิทธิภาพของการแยกโมเลกุล คือ ความไม่เข้ากันระหว่างสารสกัดชนิดเอมีนกับตัวทำละลายอินทรีย์ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว ดังนั้นต้องเลือกชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีความสามารถละลายสารสกัดชนิดเอมีนได้ดี โดยไม่ก่อให้เกิดการแยกชั้นหรืออาจต้องเลือกสารปรับปรุงสภาพ (modifier) ที่เหมาะสม เช่น long-chain aliphatic alcohol ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่ยาวและโดเดคานอล (dodecanol) เพื่อเติมเข้าไปในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว

2.3.1.3 สารสกัดชนิดขอลเวท (solvating extractant) หรือสารสกัดชนิดที่เป็นกลาง (neutral extractant)

สกัดชนิดนี้ไม่มีกลุ่มของโมเลกุลที่มีประจุบวกหรือลบในส่วนประกอบของโมเลกุล เพราะเป็นสารสกัดที่มีเฉพาะกลุ่มคอนเนอร์ ซึ่งไม่สามารถแตกตัวให้โปรตอนได้ โมเลกุลของสารในวัฏภาคของสารละลายของน้ำจึงถูกสกัดโดยการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุเป็นกลาง ดังนั้นความสามารถในการทำปฏิกิริยาของสารสกัดชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับความสามารถของโมเลกุลของสารที่ต้องการแยกในสารละลายป้อนในการเปลี่ยนรูปเป็นสารเชิงซ้อนในวัฏภาคสารละลายของน้ำ (aqueous phase) การสกัดอาจเกิดจากปฏิกิริยารวมตัว (combination reaction) ระหว่างสารสกัดกับอะตอมกลางของสารเชิงซ้อนของโมเลกุลที่ต้องการแยก (MX_n) ตามสมการที่ (2.4) หรือปฏิกิริยารวมตัวระหว่างสารสกัดกับโปรตอน (H^+) ของโมเลกุลเชิงซ้อนที่มีสภาพเป็นกรด (HMX_{n+}) ตามสมการที่ (2.5) โดยที่ S คือ สารสกัดชนิดขอลเวท





2.3.2 สารสกัดชนิดไครัลโมเลกุล

สารสกัดชนิดนี้นำมาใช้ในการแยกแบบคัดเลือกสารประกอบที่เป็นคู่อิแนนท์โอเมอร์ โดยมีสมบัติความเป็นไครัลโมเลกุล (chiral molecule) ที่เป็นสเตอริโอไอโซเมอร์ที่มีอะตอมไครัลมากกว่าหนึ่งและมีความว่องไวต่อแสง (optically active) ต่างกัน ซึ่งมีความสามารถในการแยกแบบคัดเลือกคู่อิแนนท์โอเมอร์ออกจากกันได้โดยใช้สารสกัดไครัลที่มีคุณสมบัติความเป็นคอนฟิกูเรชันสัมบูรณ์ (absolute configuration) คือ การจัดเรียงหมู่ต่างๆรอบไครัลคาร์บอนอะตอมที่มีความเหมือนกันเพื่อจับคู่อิแนนท์โอเมอร์ตัวที่มีคอนฟิกูเรชันเหมือนกันซึ่งทำให้เกิดการแยกอิแนนท์โอเมอร์เชิงเดี่ยวออกมา

หลักการของการแยกแบบคัดเลือก คือ อิแนนท์โอเมอร์ในรูปของผสมราซิมิก (racemic mixtures) จะเข้าทำปฏิกิริยากับสารอื่นที่เป็นอิแนนท์โอเมอร์ชนิดเดียวกันเท่านั้น กล่าวคือ สารสกัดชนิดไครัลทำให้เกิดสารที่เป็นไดแอสเตอริโอเมอร์ (diastereomers) สองชนิดขึ้นมาจากนั้นจึงแยกเป็นไดแอสเตอริโอเมอร์ทั้งสองแล้วเข้าทำปฏิกิริยาเพื่อให้แยกกลับไปเป็น อิแนนท์โอเมอร์ที่แยกกันในรูปแบบอิแนนท์โอเมอร์เชิงเดี่ยว

ในปัจจุบันสารสกัดชนิดไครัลสามารถแบ่งออกเป็น 7 ประเภท [56] ได้แก่

1) สารสกัดชนิดไครัลประเภทโปรตีน (proteins) โปรตีนหลายชนิด ตัวอย่างเช่น โอวัลบูมิน (ovalbumin) แอลบูมิน (albumin) และเซลโลไฮโดรเลส (cellohydrolase) ถูกนำมาใช้ในการเตรียมสารสกัดชนิดไครัลในเชิงพาณิชย์ ค่าการคัดเลือกเกิดขึ้นเนื่องจากผลของการกระทำจากแรงการกระจายต่อการสะสมอิแนนท์โอเมอร์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสารสกัดไครัลชนิดนี้แสดงความสามารถเฉพาะการโอนถ่ายเท่านั้น

2) สารสกัดชนิดไครัลประเภทพอลิแซคคาไรด์ดัดแปลง (modified polysaccharide) สารสกัดชนิดไครัลประเภทนี้ประกอบด้วยเอสเทอร์ชนิดต่าง ๆ คาร์บาเมตจากเซลลูโลสและอะมิโลสเคลือบบนซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ซึ่งเป็นสารสกัดที่นิยมใช้มากที่สุดสำหรับการแยกด้วยวิธีโครมาโตกราฟีในการวิเคราะห์และการเตรียมขยายขนาดการทดลอง แม้ว่าสารสกัดชนิดนี้มีความสามารถไม่สูงในการคัดเลือก แต่สามารถแยกสารละลายราซิมิกต่างๆได้

3) สารสกัดชนิดไครัลประเภทพอลิเมอร์สังเคราะห์ (synthetic polymers) สารสกัดชนิดไครัลประเภทนี้ค้นพบโดย Blaschke ในค.ศ.1970 จากการเตรียมโครงสร้างเจลของ N-acryloylated

L-amino acids และ ethylene dimethacrylate ซึ่งถูกใช้เป็นสารแยกสารละลายราซิมิกของกรดอะมิโนและกรดแมนเดิลด้วยวิธีโครมาโตกราฟี สารสกัดชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการแยกอิแนนทิเมอร์ของสารละลายราซิมิก แต่มีข้อเสียการขาดเสถียรภาพทางเคมีและมีต้นทุนสูงเมื่อมีการขยายขนาดการใช้งาน

4) สารสกัดชนิดไครัลประเภทแมโครไซคลิกไกลิโคเปปไทด์ (macrocyclic glycopeptides) สารสกัดชนิดไครัลประเภทนี้ค้นพบโดย Armstrong และอธิบายไว้ว่าทั้ง polycyclic antibiotics teicoplanin และ ristocetin จะเข้าไปขัดขวางการดำเนินการของกระบวนการทางโครมาโตกราฟี แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดเรื่องจำนวนสารสกัดชนิดนี้มีน้อยและราคาแพง

5) สารสกัดชนิดไครัลประเภทสารประกอบวงแหวนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (cyclic low molecular weight compounds) สารสกัดชนิดไครัลประเภทนี้ ได้แก่ กรดทาร์ตาริก (*O,O'*-dibenzoyl-(2*S*,3*S*)-tartaric acid, (+)-DBTA) ไซโคลเดกตริน (cyclodextrin) เป็นสารสกัดชนิดไครัลที่ใช้อย่างกว้างขวางในการแยกอิแนนทิเมอร์ด้วยวิธีอิเล็กโตรโฟรีซิสและโครมาโตกราฟี นอกจากนี้การสร้างสารประกอบสเตอริโอซีเล็กทีฟย้อนกลับด้วยความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ของโมเลกุลเจือจางที่พอดีเข้าไปทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจนและปฏิกิริยาระหว่างพันธะโควาเลนต์บนเมดซิติกาที่มีรูพรุนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดเลือกอิแนนทิเมอร์ของสารละลายราซิมิก

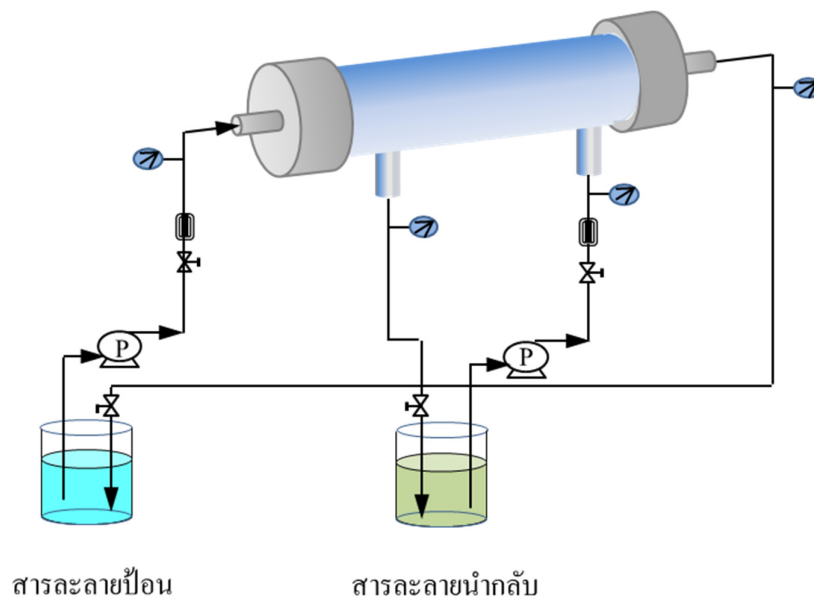
6) สารสกัดชนิดไครัลประเภทสารประกอบไอออนโลหะ (metal ion complexes) สารสกัดชนิดไครัลประเภทนี้ถูกพัฒนาโดย Davankov และ Bernauer ในปีค.ศ. 1960 ในการดำเนินงานทั่วไป copper (II) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ L-proline กับผิวสัมผัสของตัวรองรับพอลิเมอร์ที่มีรูพรุน สารสกัดชนิดไครัลประเภทนี้แยกสารละลายราซิมิกได้จำกัด เช่น กรดอะมิโนและกรดไฮดรอกซี

7) สารสกัดชนิดไครัลประเภทโมเลกุลขนาดเล็ก สารสกัดชนิดไครัลประเภทนี้ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดไครัลที่มีการรับและจ่ายอิเล็กตรอนที่บรรจุบนเมดซิติกา นอกจากนี้กรดอะมิโนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ตัวอย่างเช่น 1,2-disubstituted cyclohexanes และ cinchona alkaloids

2.4 รูปแบบของการปฏิบัติการด้วยระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง (operation mode via hollow fiber supported liquid membrane)

รูปแบบของการปฏิบัติการด้วยระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง แบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

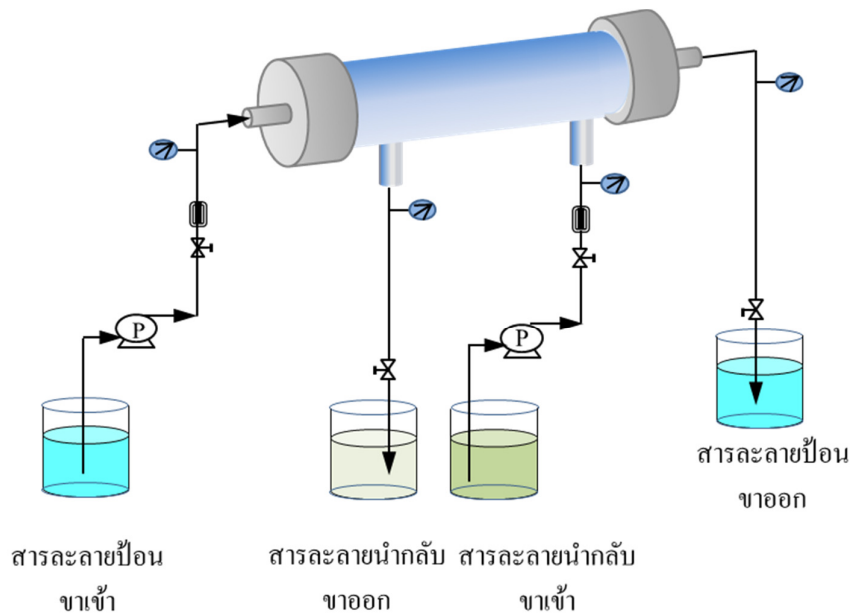
1) รูปแบบปฏิบัติการแบบกะ ประกอบด้วยสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ 1 ถัง โดยสารละลายป้อนขาเข้าและขาออกไหลวนอยู่ในถังเดียวกัน และสารละลายนำกลับขาเข้าและขาออกก็จะไหลวนอยู่ในถังเดียวกันเช่นเดียวกันกับสารละลายป้อน ซึ่งสามารถกำหนดจำนวนรอบและเวลาของการสกัดของการศึกษาได้ตามต้องการ รูปที่ 2.3 แสดงปฏิบัติการแบบกะโดยสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับไหลสวนทางกัน (counter-current flow) รูปแบบของการปฏิบัติการแบบนี้เหมาะสำหรับสารละลายป้อนมีปริมาณน้อย ซึ่งข้อดี คือ สามารถสกัดสารที่ต้องการออกจากสารละลายป้อนได้สูงจนสารละลายป้อนเกือบปราศจากโมเลกุลที่ต้องการแยกซึ่งงานวิจัยนี้ใช้รูปแบบปฏิบัติการแบบกะ เพื่อเป็นศึกษาเบื้องต้นสำหรับการแยกคู่อิแนนท์ไอเมอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในห้องปฏิบัติการ ก่อนนำไปขยายขนาดสู่ภาคอุตสาหกรรมต่อไป



รูปที่ 2.3 ปฏิบัติการแบบกะแบบไหลสวนทาง

2) รูปแบบปฏิบัติการแบบไหลต่อเนื่องประกอบด้วยสารละลายป้อน 2 ถัง คือ ถังสารละลายป้อนขาเข้าและขาออก รวมทั้งสารละลายนำกลับ 2 ถัง คือ สารละลายนำกลับขาเข้าและขาออก ดังแสดงในรูปที่ 2.4 สารละลายป้อนขาออกและสารละลายนำกลับขาออกจะไหลวนกลับมาผ่านมอดูลตามจำนวนรอบและเวลาในการสกัดที่ทำการศึกษา รูปแบบของการปฏิบัติการแบบนี้เหมาะสำหรับสารละลายป้อนที่มีปริมาณมาก ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ในระดับอุตสาหกรรมต่างๆ

ปฏิบัติการแบบต่อเนื่องสามารถนำมอดูลเส้นใยกลวงมาต่อเป็นอนุกรมกันได้ เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสกัด กล่าวคือ ใช้สารละลายป้อน 2 ถัง หรือมากกว่า และสารละลายนำกลับ 2 ถัง หรือมากกว่า ซึ่งสารละลายป้อนขาเข้าจะไหลผ่านมอดูลหนึ่งไปยังอีกมอดูลหนึ่งและจะไหลออกไปที่ถังของสารละลายป้อนขาออก สำหรับสารละลายนำกลับขาเข้าจะไหลผ่านมอดูลหนึ่งไปยังอีกมอดูลหนึ่งเช่นเดียวกันและไหลออกไปที่ถังของสารละลายนำกลับขาออก



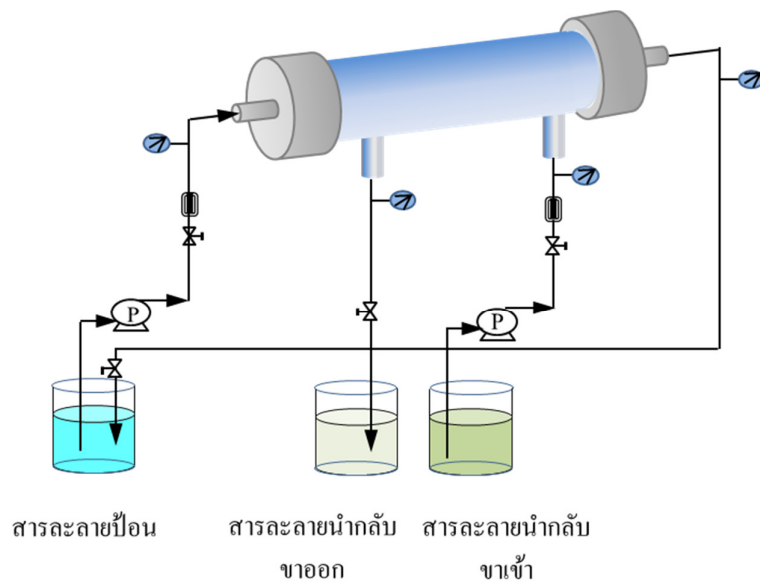
รูปที่ 2.4 ปฏิบัติการแบบต่อเนื่องแบบไหลสวนทาง

3) ปฏิบัติการแบบกึ่งต่อเนื่อง คือ การปฏิบัติการที่มีทั้งแบบกะและแบบต่อเนื่องซึ่งแบ่งเป็น

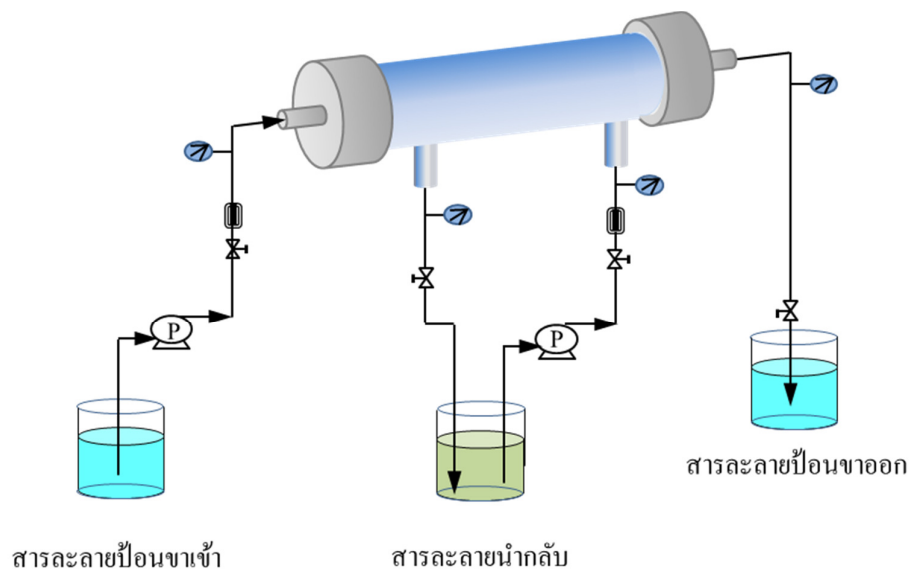
(1) สารละลายป้อนไหลแบบกะ-สารละลายนำกลับไหลแบบต่อเนื่อง รูปที่ 2.5 (ก) ปฏิบัติการแบบนี้สารละลายป้อนขาเข้าและขาออกมี 1 ถัง สารละลายนำกลับมี 2 ถัง ซึ่งสารละลายนำกลับขาออกจะไหลวนกลับมาผ่านมอดูลอีก ปฏิบัติการลักษณะนี้ยังไม่เป็นที่นิยมเพราะความไม่ชัดเจนในเรื่องประสิทธิภาพของการใช้งาน

(2) สารละลายป้อนไหลแบบต่อเนื่อง-สารละลายนำกลับไหลแบบกะ รูปที่ 2.5 (ข) ปฏิบัติการแบบนี้สารละลายป้อนมี 2 ถัง และจะไหลวนกลับมาผ่านมอดูลอีก ในขณะที่สารละลายนำกลับขาเข้าและขาออกมี 1 ถัง การไหลของปฏิบัติการลักษณะนี้จึงสามารถเพิ่มความเข้มข้นของโมเลกุลที่ต้องการที่อยู่ในสารละลายนำกลับให้มีค่าสูงได้

ลักษณะการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับภายในมอดูลเส้นใยกลวง นอกจากการไหลแบบสวนทางกันแล้ว อีกทั้งยังสามารถให้สารละลายป้อนและสารละลายนำกลับไหลไปในทางเดียวกัน (co-current flow)



(ก)



(ข)

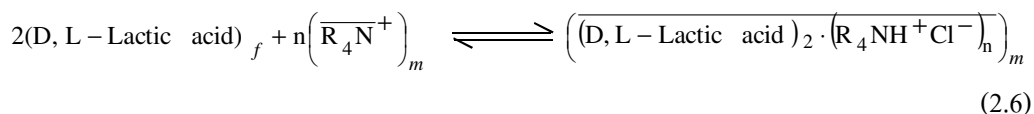
- รูปที่ 2.5** ปฏิบัติการแบบกึ่งต่อเนื่องแบบไหลสวนทาง
- (ก) สารละลายป้อนไหลแบบกะ-สารละลายนำกลับไหลแบบต่อเนื่อง
- (ข) สารละลายป้อนไหลแบบต่อเนื่อง-สารละลายนำกลับไหลแบบกะ

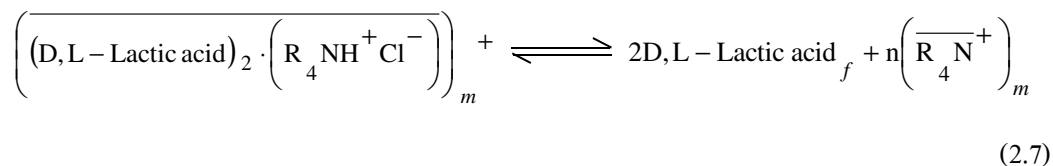
2.5 การถ่ายเทมวลเกิดจากปฏิกิริยาการสกัด

การถ่ายเทมวลเกิดจากปฏิกิริยาการสกัดที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบตามชนิดของสารสกัด ได้แก่

2.5.1 การสกัดโดยใช้สารสกัดที่เป็นอะไครัล (non-chiral extractant)

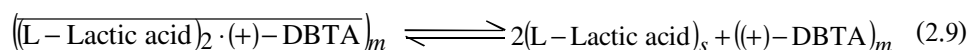
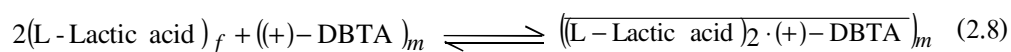
สารละลายดีแอล-แลคติกแอซิดจะอยู่ในรูปโมเลกุลที่มีประจุลบเกิดการแลกเปลี่ยนประจุกับเกลือของเอมีน (amine salt) ชนิดจตุรภูมิ (quaternary: R_4N^+) คือ Aliquat 336 ปฏิกิริยาของการสกัดและการนำกลับดีแอล-แลคติกแอซิด โดยสารสกัด R_4N^+ จะไม่แยกดีแอล-แลคติกแอซิดออกจากกัน แสดงดังสมการที่ (2.6) และ (2.7)





2.5.2 การสกัดโดยใช้สารสกัดชนิดไครัล (chiral extractant)

สารละลายดีแอล-แลคติกแอซิดจะถูกสกัดโดยสารสกัดชนิดไครัล สารสกัดชนิดไครัลคือ ทาร์ทริกแอซิด (+)-DBTA ปฏิกิริยาของการสกัดและการนำกลับแอล-แลคติกแอซิดที่แยกออกจากดี-แลคติกแอซิด แสดงดังสมการที่ (2.8) และ (2.9)



2.6 การคำนวณค่าคงที่การถ่ายเทมวลของโมเลกุลของสารที่ต้องการแยกโดยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

2.6.1 การคำนวณร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับ

(percentage of extraction and percentage of stripping or recovery)

ร้อยละการสกัดและการนำกลับ แสดงดังสมการที่ (2.10) และ (2.11)

$$\% \text{ Extraction} = \frac{C_{f, in} - C_{f, out}}{C_{f, in}} \times 100 \quad (2.10)$$

$$\% \text{ Stripping} = \frac{C_{s, out}}{C_{f, in}} \times 100 \quad (2.11)$$

เมื่อ	$C_{f,in}$	=	ความเข้มข้นของโมเลกุลที่ต้องการแยกในสารละลายป้อนขาเข้า (มิลลิโมลต่อลิตร)
	$C_{f,out}$	=	ความเข้มข้นของโมเลกุลที่ต้องการแยกในสารละลายป้อนขาออก (มิลลิโมลต่อลิตร)
	$C_{s,out}$	=	ความเข้มข้นของโมเลกุลที่ต้องการแยกในสารละลายนำกลับขาออก (มิลลิโมลต่อลิตร)

2.6.2 การคำนวณค่าอัตราส่วนการกระจายของแอล-แลคติกแอซิด (D_L) และดี-แลคติกแอซิด (D_D) ค่าการคัดเลือกอิแนนทิโอเมอร์ (β) และร้อยละส่วนเกินอิแนนทิโอเมอร์หรือร้อยละความบริสุทธิ์อิแนนทิโอเมอร์ (% Enantiomeric excess)

$$D_{D(L)} = \frac{\text{ความเข้มข้นของดี(แอล)ของแลคติกแอซิด (สารละลายอินทรีย์)}}{\text{ความเข้มข้นของดี(แอล)ของแลคติกแอซิด (สารละลายน้ำ)}} \quad (2.12)$$

$$\beta = \frac{\text{ค่าอัตราส่วนการกระจายของแอล-แลคติกแอซิด}}{\text{ค่าอัตราส่วนการกระจายของดี-แลคติกแอซิด}} \quad (2.13)$$

$$\% \text{ Enantiomeric excess} = \frac{|C_{(L)} - C_{(D)}|}{C_{(L)} + C_{(D)}} \times 100 \quad (2.14)$$

เมื่อ

$C_{(L)}$	=	ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิด (มิลลิโมลต่อลิตร)
$C_{(D)}$	=	ความเข้มข้นของดี-แลคติกแอซิด (มิลลิโมลต่อลิตร)

2.6.3 การคำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการสกัดแอล-แลคติกแอซิด

(extraction equilibrium constant, K_{ex})

ปฏิกิริยาของการสกัดแอล-แลคติกแอซิดผ่านระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง โดยใช้สารสกัดชนิดไครัล (*O,O'*-dibenzoyl-(2*S*,3*S*)-tartaric acid ((+)-DBTA) พบว่าค่าคงที่สมดุล (K_{ex}) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นขององค์ประกอบต่างๆ ในวัฏภาคของเยื่อแผ่นเหลวต่อความเข้มข้นขององค์ประกอบนั้นในวัฏภาคสารละลายป้อน ที่ภาวะสมดุล ซึ่งได้มาจากการทดลองและสามารถคำนวณดังสมการที่ (2.15)

สมการที่ (2.15) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการสกัด

$$K_{ex} = \frac{[(L - \text{Lactic acid})_2 \cdot (+) - \text{DBTA}]_m}{[(L - \text{Lactic acid})_m^2 [(+) - \text{DBTA}]_m]} \quad (2.15)$$

และปฏิกิริยาของการนำกลับแอล-กรดแลคติกผ่านระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงแสดงดังสมการที่ (2.16) โดยใช้สารสกัดชนิดไครัล *O,O'*-dibenzoyl-(2*S*,3*S*)-tartaric acid พบว่าค่าคงที่สมดุล (K_{st}) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นขององค์ประกอบต่างๆ ในวัฏภาคของสารละลายนำกลับต่อความเข้มข้นขององค์ประกอบนั้นในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว ที่ภาวะสมดุล ซึ่งได้มาจากการทดลองและสามารถคำนวณดังสมการที่ (2.16)

สมการที่ (2.16) แสดงความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการนำกลับ

$$K_{st} = \frac{[(L - \text{Lactic acid})_s^2 [(+) - \text{DBTA}]_m]}{[(L - \text{Lactic acid})_2 \cdot (+) - \text{DBTA}]_m} \quad (2.16)$$

2.6.4 สัมประสิทธิ์การกระจาย (distribution coefficient : D)

ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายหรืออัตราส่วนการกระจาย (distribution ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวกับความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในวัฏภาคสารละลายป้อน ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่แสดงให้เห็นความของสารสกัดในการสกัดแอล-แลคติกแอซิดจากสารละลายป้อนเข้าไปยังเยื่อแผ่นเหลว แสดงดังสมการที่ (2.17)

$$D = \frac{[(L - \text{Lactic acid})_2 \cdot ((+) - \text{DBTA})_m]}{[(L - \text{Lactic acid})_f]} = K_{ex} [(L - \text{Lactic acid})_f] [(+) - \text{DBTA}]_m \quad (2.17)$$

2.6.5 สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (permeability coefficient : P)

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านใช้สมมติฐาน คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (D) ของการสกัดแอล-แลคติกแอซิดทางด้านสารละลายป้อนไปยังเยื่อแผ่นเหลวมากกว่าทางด้านเยื่อแผ่นเหลวไปยังสารละลายนำกลับเป็นอย่างมาก การคำนวณสัมประสิทธิ์การซึมผ่านถูกเสนอโดย Danesi และคณะ [57] คำนวณโดยใช้สมการที่ (2.18) และ (2.19)

$$-V_f \ln \left(\frac{C_f}{C_{f,o}} \right) = AP \frac{\beta}{\beta + 1} t \quad (2.18)$$

โดย

$$\beta = \frac{Q_f}{PL\epsilon\pi Nr_i} \quad (2.19)$$

เมื่อ

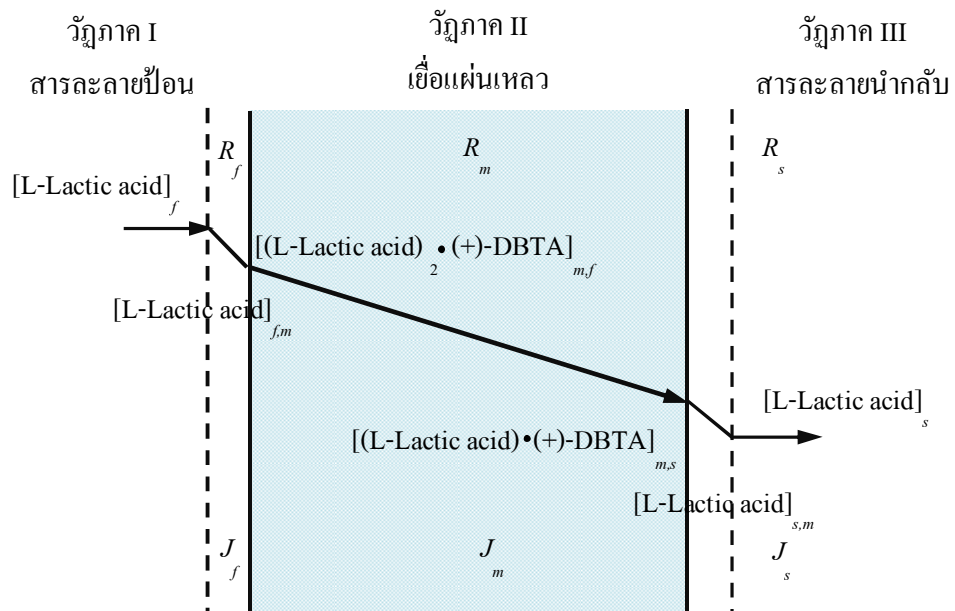
P	=	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (เซนติเมตรต่อวินาที)
$C_{f,0}$	=	ความเข้มข้นของอิแนนทีโอเมอร์ดีแอล-แลคติกแอซิดที่เวลา เริ่มต้น (โมลต่อลิตร)
C_f	=	ความเข้มข้นของอิแนนทีโอเมอร์ดีแอล-แลคติกแอซิดที่เวลา t (โมลต่อลิตร)
A	=	พื้นที่การถ่ายโอนมวล (ตารางเซนติเมตร)
V_f	=	ปริมาตรของสารละลายป้อน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
Q_f	=	อัตราการไหลของสารละลายป้อน (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที)
L	=	ความยาวของเส้นใยกลวง (เซนติเมตร)
N	=	จำนวนเส้นใยกลวงในโมดูล (เส้น)
r_i	=	รัศมีภายในของเส้นใยกลวง (เซนติเมตร)
ε	=	ความพรุนของเส้นใยกลวง
π	=	3.1416

การหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านทำโดยสร้างกราฟระหว่าง $-V_f \ln\left(\frac{C_f}{C_{f,0}}\right)$ กับเวลา (t)
จะให้ความชันของกราฟ คือ $AP \frac{\beta}{\beta+1}$ ซึ่งทำให้หาค่า P หรือค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้

2.7 แบบจำลองการถ่ายเทมวลและการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (mass transfer coefficient)

แบบจำลองการถ่ายเทมวลของการแยกแบบคัดเลือกแอล-แลคติกแอซิดโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของแอล-แลคติกแอซิด (P) ในการหาค่าอื่นๆ ต่อไป ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านจะขึ้นอยู่กับความต้านทานการถ่ายโอนมวล โดยมีขั้นตอนของกลไกการถ่ายโอนมวลมี 3 ขั้นตอน [58] แสดงดังรูปที่ 2.6 ดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของแอล-แลคติกแอซิดถ่ายโอนมวลผ่านชั้นฟิล์มระหว่างสารละลายป้อนกับเยื่อแผ่นเหลว (k_f)
2. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของสารประกอบเชิงซ้อนของแอล-แลคติกแอซิดที่ทำปฏิกิริยากับสารสกัดแล้วถ่ายเทมวลผ่านเยื่อแผ่นเหลวจากด้านผิวสัมผัสระหว่างสารละลายป้อนกับเยื่อแผ่นเหลวมายังผิวสัมผัสระหว่างเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายนำกลับ (k_m)
3. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของแอล-แลคติกแอซิดที่ถูกนำกลับถ่ายโอนมวลผ่านชั้นฟิล์มระหว่างสารละลายนำกลับกับเยื่อแผ่นเหลว (k_s)



รูปที่ 2.6 แผนผังการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อแผ่นเหลว

เมื่อ

- $[L\text{-Lactic acid}]_f$ = ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิด
ในสารละลายป้อน (โมลต่อลิตร)
- $[(L\text{-Lactic acid})_2 \bullet (+)\text{-DBTA}]_{m,f}$ = ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิด
ที่ผิวสัมผัสระหว่างสารละลายป้อน
กับเยื่อแผ่นเหลว (โมลต่อลิตร)
- $[(L\text{-Lactic acid})_2 \bullet (+)\text{-DBTA}]_{m,s}$ = ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิด
ที่ผิวสัมผัสระหว่างเยื่อแผ่นเหลวกับ
สารละลายนำกลับ (โมลต่อลิตร)
- $[L\text{-Lactic acid}]_s$ = ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิด
ในสารละลายนำกลับ (โมลต่อลิตร)
- J_f = อัตราการถ่ายเทมวลของแอล-แลคติกแอซิดใน
สารละลายป้อน (โมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)
- J_m = อัตราการถ่ายเทมวลของสารประกอบเชิงซ้อน
แอล-แลคติกแอซิดในสารละลายเยื่อแผ่นเหลว
(โมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)
- J_s = อัตราการถ่ายเทมวลของแอล-แลคติกแอซิดใน
สารละลายนำกลับ (โมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)
- k_f = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของแอล-แลคติก
แอซิดในสารละลายป้อน (เซนติเมตรต่อวินาที)
- k_m = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของสารประกอบ
เชิงซ้อนแอล-แลคติกแอซิดในสารละลาย
เยื่อแผ่นเหลว (เซนติเมตรต่อวินาที)
- k_s = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของแอล-แลคติก
แอซิดในสารละลายนำกลับ (เซนติเมตรต่อวินาที)

ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะเกิดความต้านทานการถ่ายโอนมวลขึ้น ได้แก่

1. ความต้านทานเมื่อของเหลวไหลผ่านเข้าไปในรูพรุนของเส้นใยกลวง
2. ความต้านทานที่เกิดจากการแพร่ของสารประกอบเชิงซ้อนของแอล-แลคติกแอซิดกับสารสกัดผ่านเข้าไปในเยื่อแผ่นเหลวที่ถูกตรึงไว้ในผนังรูพรุนของเส้นใยกลวง
3. ความต้านทานที่เกิดขึ้นระหว่างสารละลายนำกลับและสารละลายอินทรีย์ที่บริเวณผิวด้านนอกของเส้นใยกลวง

ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของการถ่ายโอนมวลกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ 2.20 [59]

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{k_f} + \frac{r_i}{r_{lm}} \frac{1}{P_m} + \frac{r_i}{r_0} \frac{1}{k_s} \quad (2.20)$$

โดยที่

$$r_{lm} = \frac{r_0 - r_i}{\ln \left(\frac{r_0}{r_i} \right)}$$

- เมื่อ r_{lm} = รัศมี Log-mean ของเส้นใยกลวง (เซนติเมตร)
- r_0 = รัศมีภายนอกของเส้นใยกลวง (เซนติเมตร)
- r_i = รัศมีภายในของเส้นใยกลวง (เซนติเมตร)
- k_f = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน
(เซนติเมตรต่อวินาที)
- k_s = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายนำกลับ
(เซนติเมตรต่อวินาที)
- P_m = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของเยื่อแผ่นเหลว
(เซนติเมตรต่อวินาที)

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของเยื่อแผ่นเหลว (P_m) มีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (distribution coefficient, D) แสดงดังสมการที่ 2.21 [59]

$$P_m = Dk_m \quad (2.21)$$

เมื่อแทนค่า D จากสมการที่ 2.17 ในสมการที่ 2.21 จะได้

$$P_m = K_{ex} k_m [(L) - \text{Lactic acid}]_f [(+) - \text{DBTA}]_m \quad (2.22)$$

โดย k_m = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลว

ค่าความต้านทานการถ่ายโอนมวลในสารละลายนำกลับสามารถตัดทิ้งได้เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายนำกลับ (k_s) มีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน (k_f) อยู่มากเนื่องจาก [60]

1. จากรูปที่ 2.6 ความหนาของชั้นฟิล์มระหว่างสารละลายป้อนและเยื่อแผ่นเหลวมีค่ามากกว่าความหนาของชั้นฟิล์มระหว่างเยื่อแผ่นเหลวและสารละลายนำกลับมาก เนื่องจากที่ผิวสัมผัสด้านสารละลายป้อนเกิดการรวมตัวกันของไอออนของสารและกรดที่ละลายอยู่ในสารละลายป้อน ในขณะที่ด้านของนำกลับนั้นมีเพียงสารละลายนำกลับน้ำเพียงชนิดเดียว จึงไม่เกิดการรวมตัวกันของตัวทำละลายที่จะทำให้เพิ่มความหนาของชั้นฟิล์มดังนั้นสารละลายนำกลับน้ำกลั่นจึงสัมผัสกับเยื่อแผ่นเหลวได้ โดยเป็นไปตามสมการ [61]

$$k_m = \frac{D}{l_{mf}} \quad (2.23)$$

และ

$$k_s = \frac{D}{l_{ms}} \quad (2.24)$$

โดย D = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusion coefficient)

จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน (k_f) มีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายนำกลับ (k_s) อย่างมาก

2. จากสมการ

$$\text{Flux} = k_m (M_f - M_{fm}) = k_s (M_{sm} - M_s) \quad (2.25)$$

เนื่องความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของโมเลกุลของสารที่ต้องการแยกด้านสารละลายป้อน (M_f) กับความเข้มข้นของโมเลกุลของสารที่ต้องการแยกที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างสารละลายป้อนกับเยื่อแผ่นเหลว (M_{fm}) มีค่ามากกว่าความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของโมเลกุลของสารที่ต้องการแยกที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายนำกลับ (M_{sm}) กับความเข้มข้นของโมเลกุลของสารที่ต้องการแยกด้านสารละลายนำกลับ (M_s)

3. เนื่องจากที่ด้านการนำกลับจะมีการใช้สารละลายนำกลับเพียงชนิดเดียว คือ น้ำ ซึ่งจะสัมผัสโดยตรงกับเยื่อแผ่นเหลวทำให้เกิดการละลายขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงสามารถตัดเทอมสุดท้ายของสมการที่ (2.20) ทิ้งไปได้ และเมื่อนำสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของเยื่อแผ่นเหลว (P_m) จากสมการไปแทนค่า จากสมการที่ (2.22) ในสมการที่ (2.20) จะได้ดังสมการที่ (2.26)

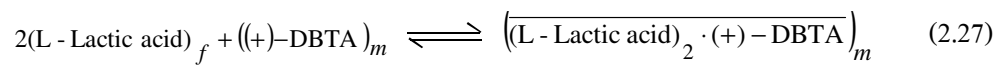
$$\frac{1}{P} = \frac{1}{k_f} + \frac{r_i}{r_{lm}} \frac{1}{K_{ex} k_m [(L)\text{-Lactic acid}]_f [(+)\text{-DBTA}]_m} \quad (2.26)$$

ดังนั้นเมื่อสร้างกราฟระหว่าง $\frac{1}{P}$ กับ $\frac{1}{[(L)\text{-Lactic acid}]_f [(+)\text{-DBTA}]_m}$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $\frac{r_i}{r_{lm}} \frac{1}{K_{ex} k_m}$ ซึ่งนำไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลว (k_m) ได้ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน (k_f) สามารถคำนวณจากจุดตัดแกน $\frac{1}{P}$

2.8 แบบจำลองการถ่ายเทมวลและคำนวณค่าความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลาย ป้อนที่เวลาใด ๆ

การหาค่าความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนที่เวลาใดๆ ต้องอาศัยสมการอัตราการถ่ายเทมวลและค่าคงที่ต่างๆ ที่ได้กล่าวข้างต้น สามารถคำนวณได้ดังนี้

จากปฏิกิริยาการสกัดของแอล-แลคติกแอซิด



จากสมการที่ (2.27) จะสามารถหาค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยาได้ดังสมการที่ (2.28)

$$K_{ex} = \frac{\overline{(\text{L - Lactic acid})_2 \cdot (+)\text{-DBTA}}_m}{[\text{L - Lactic acid}]_{f,m}^2 \overline{((+)\text{-DBTA})}_m} \quad (2.28)$$

ดังนั้น สัมประสิทธิ์การกระจาย (D) จะได้สมการเป็น

$$D = \frac{\overline{(\text{L - Lactic acid})_2 \cdot ((+)\text{-DBTA})}_m}{[\text{L - Lactic acid}]_f} = K_{ex} [\text{L - Lactic acid}]_f \overline{((+)\text{-DBTA})}_m \quad (2.29)$$

เมื่อสมมติให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาของการสกัดของแอล-แลคติกแอซิดเกิดขึ้นเร็วมากเมื่อเทียบกับอัตราการแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเหลว และเกิดสมดุลที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างสารละลายเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายป้อน จากความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.28) สามารถหาค่าความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดที่บริเวณผิวสัมผัสได้ตามสมการที่ (2.31)

โดยกำหนดให้

$$[\text{L - Lactic acid}]_m = \overline{[(\text{L - Lactic acid})_2 \cdot (+) - \text{DBTA}]_m} \quad (2.30)$$

$$\begin{aligned} [\text{L - Lactic acid}]_{m,f} &= \overline{[(\text{L - Lactic acid})_2 \cdot (+) - \text{DBTA}]_m} = \\ &K_{ex} [\text{L - Lactic acid}]_{f,m}^2 \overline{[(+) - \text{DBTA}]_m} \end{aligned} \quad (2.31)$$

การหาค่าฟลักซ์ (flux) หรืออัตราการถ่ายเทมวลและการถ่ายโอนแพร่ผ่านในแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายโดยกฎการแพร่ของ Fick's Law ดังต่อไปนี้

$$J = J_f = J_m = J_s \quad (2.32)$$

$$J_m R_m = 0 \quad (2.33)$$

$$J_f R_f = [\text{L - Lactic acid}]_{f,0} - [\text{L - Lactic acid}]_{f,m} \quad (2.34)$$

$$J_s R_s = [\text{L - Lactic acid}]_{s,m} - [\text{L - Lactic acid}]_{s,0} \quad (2.35)$$

เนื่องจากใช้เวลาในการทดลองที่ช่วงเวลาน้อยและความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายนำกลับที่เริ่มต้นเป็นศูนย์ ซึ่งกล่าวได้ว่าความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดทางด้านสารละลายนำกลับยังมีปริมาณน้อยมากและสามารถละทิ้งได้ [62] จึงเป็นไปตามสมการที่ (2.36)

$$J_m R_m = [\text{L - Lactic acid}]_{m,f} \quad (2.36)$$

เมื่อแทนสมการที่ (2.31) ใน (2.36) จะได้ค่าของ $[\text{L - Lactic acid}]_{m,f}$ เป็นดังสมการที่ (2.37)

$$[\text{L - Lactic acid}]_{f,m}^2 = \frac{J_m R_m}{K_{ex}[(+)\text{-DBTA}]} \quad (2.37)$$

แทนค่า $[\text{L - Lactic acid}]_{m,f}$ ในสมการที่ (2.35) และสมมติให้ระบบเข้าสู่ภาวะคงตัว (steady state)

$J_m = J_f = J$ ดังนั้นสมการอัตราการถ่ายเทมวลได้ตามสมการที่ (2.38)

$$[\text{L - Lactic acid}]_{f,m}^2 = ([\text{L - Lactic acid}]_{f,0} - J_f R_f)^2 \quad (2.38)$$

เมื่อจัดรูปแบบสมการใหม่ให้อยู่ในรูปของสมการกำลังสอง

$$\frac{J_m R_m}{K_{ex}[(+)\text{-DBTA}]} = (J_f R_f)^2 - 2J_f R_f [\text{L - Lactic acid}]_{f,0} + [\text{L - Lactic acid}]_{f,0}^2 \quad (2.39)$$

แล้วจัดสมการในรูปของสมการกำลังสองสมบูรณ์

$$J^2 R_f^2 - J \left(2R_f [\text{L - Lactic acid}]_f + \frac{R_m}{K_{ex}[(+)\text{-DBTA}]} \right) + [\text{L - Lactic acid}]_f^2 = 0 \quad (2.40)$$

$$J = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (2.41)$$

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ} \quad a &= R_f^2 \\
 b &= \left(2R_f [\text{L-Lactic acid}]_f + \frac{R_m}{K_{ex} [(+) - \text{DBTA}]} \right) \\
 c &= [\text{L-Lactic acid}]_f^2
 \end{aligned}$$

เนื่องจาก

$$\begin{aligned}
 &\sqrt{\left[2R_f [\text{L-Lactic acid}]_f + \frac{R_m}{K_{ex} [(+) - \text{DBTA}]} - 4R_f^2 [\text{L-Lactic acid}]_f^2 \right]} \\
 &\qquad \ll 2R_f [\text{L-Lactic acid}]_f + \frac{R_m}{K_{ex} [(+) - \text{DBTA}]}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงจะหาคำตอบนี้ได้ จึงได้สมการอัตราการถ่ายเทมวลใหม่ ดังสมการที่ (2.42)

$$J = \frac{R_m}{2K_{ex}R_f^2 [(+) - \text{DBTA}]} + \frac{[\text{L-Lactic acid}]_f}{R_f} \quad (2.42)$$

นิยามของอัตราการถ่ายเทมวลอัตราการถ่ายเทมวล แสดงดังสมการที่ (2.54)

$$J = -d[\text{L-Lactic acid}]_f \frac{V}{A} \quad (2.43)$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างสมการอัตราการถ่ายเทมวล จากสมการที่ (2.42) และ (2.43) จะได้สมการเป็นสมการที่ (2.45)

$$-\frac{d[\text{L-Lactic acid}]_f}{dt} \frac{V}{A} = \frac{R_m}{2K_{ex}R_f^2[(+)\text{-DBTA}]} + \frac{[\text{L-Lactic acid}]_f}{R_f} \quad (2.45)$$

โดยการอินทิเกรตที่เวลา $t = 0$ และ $[\text{Lactic acid}]_f = [\text{Lactic acid}]_{f,0}$ ดังนั้นสมการเพื่อทำนายความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนที่เวลาใดๆ แสดงดังสมการที่ (2.46)

$$[\text{L-Lactic acid}]_f = \frac{R_m}{2K_{ex}R_f[(+)\text{-DBTA}]} + \left(\frac{R_m}{2K_{ex}R_f[(+)\text{-DBTA}]} \right) \exp\left(-\frac{A}{VR_f}t\right) \quad (2.46)$$

เมื่อ

$[(+)\text{-DBTA}]$	=	ความเข้มข้นของสารสกัดไครล์(+)-DBTA (โมลต่อลิตร)
$[\text{L-Lactic acid}]$	=	ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
$[\text{L-Lactic acid} \cdot ((+)\text{-DBTA})]$	=	สารประกอบเชิงซ้อนของแอล-แลคติกแอซิดกับ กับสารสกัดชนิดไครล์ (+)- DBTA (มิลลิกรัมต่อลิตร)
K_{ex}	=	ค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยา (-)
D	=	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (-)
J	=	ค่าอัตราการถ่ายเทมวล (โมลต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที)
R_f	=	ค่าความต้านการถ่ายเทมวลของละลายป้อน (วินาทีต่อเซนติเมตร)
R_m	=	ค่าความต้านการถ่ายเทมวลของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว (วินาทีต่อเซนติเมตร)

k_m = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อน (เซนติเมตรต่อวินาที)

k_f = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของสารประกอบเชิงซ้อนของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายเชื้อแผ่นเหลว (เซนติเมตรต่อวินาที)

V_f = ปริมาตรของสารละลายป้อน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

A = พื้นที่การถ่ายเทมวลของสารละลายเชื้อแผ่นเหลว (ตารางเซนติเมตร)

t = เวลา (วินาที)

บทที่ 3

สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

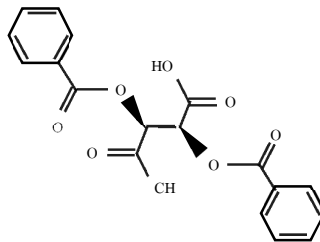
เนื้อหาบทนี้รายงานของสารเคมี อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดลองเพื่อศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลของต่อการแยกแบบคัดเลือกว่าคือไอออนที่ไอเมอร์ดีแอล-แลคติกแอซิดของสารละลายที่สังเคราะห์จากสารผสมราซิมิกของกรดแลคติกโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

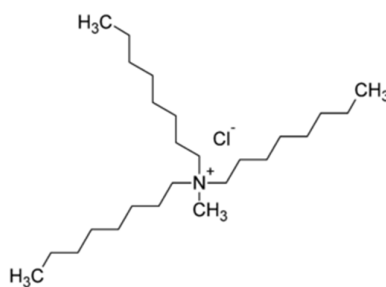
ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชนิด	ชื่อสารเคมี	บริษัท
สารละลายป้อน	สารผสมราซิมิกของกรดแลคติก (C ₃ H ₆ O ₃)	Sigma-Aldrich, Germany
สารละลายบัฟเฟอร์	ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na ₂ HPO ₄) ฟอสฟอริกแอซิด (H ₃ PO ₄)	Sigma-Aldrich, Germany
สารสกัดชนิดอะไคริล	Tri-octylmethylammonium chloride (Aliquat 336) (C ₂₅ H ₅₄ ClN)	Sigma-Aldrich, Germany
สารสกัดชนิดไครัล	<i>O,O'</i> -dibenzoyl-(2 <i>S</i> ,3 <i>S</i>)tartaric acid ((+)-DBTA) (C ₁₈ H ₁₄ O ₈)	ACROS, USA
ตัวทำละลายอินทรีย์	ออกทานอล (n-Octanol) (CH ₃ (CH ₂) ₇ OH)	Merck, Germany
สารละลายน้ำกลั่น	น้ำกลั่น (Deionized Water)	RCI Lab, Germany

โครงสร้างทางเคมีของสารสกัดที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.1



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.1 โครงสร้างทางเคมีของสารสกัดที่ใช้ในการทดลอง

(ก) *O,O'*-dibenzoyl-(2*S*,3*S*)-tartaric acid ((+)-DBTA) : สารสกัดที่เป็นไครต์

(ข) tricaprylmethylammonium chloride (Aliquat 336) : สารสกัดที่เป็นอะไครต์

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ชุดทดลอง Liqui-Cel[®] Liquid/Liquid Extraction System รุ่น 2.5 × 8 Extra-flow ของบริษัท Hoechst Celanese Corporation ประกอบด้วย

- เครื่องสูบ 2 ชุด ที่มีอัตราการไหลสูงสุด 1 ลิตรต่อนาที
- มาตรวัดและชุดควบคุมอัตราการไหล 2 ชุด
- มาตรวัดความดัน 2 ชุด

3.2.2 อุปกรณ์เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง ตัวรองรับ คือ เส้นใยกลวงพอลิโพรพิลีน ซึ่งเป็นวัสดุไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ชนิดมีรูพรุน Celgard[®] X40 Fiber , Liqui-Cel membrane contractor ที่ประกอบเข้าด้วยกันเป็นมอดูล

ตารางที่ 3.2 สมบัติตัวรองรับเส้นใยกลวงพอลิโพรพิลีนที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติ	ชนิด / ขนาด
วัสดุเส้นใยกลวง	พอลิโพรพิลีน (polypropylene)
ความพรุนของเส้นใยกลวง	30%
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเส้นใยกลวง	240 ไมโครเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเส้นใยกลวง	300 ไมโครเมตร
ขนาดรูพรุนที่มีประสิทธิภาพ	0.05 ไมโครเมตร
พื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพ	1.4 ตารางเมตร (15.2 ตารางฟุต)
อัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรที่มีประสิทธิภาพ	29.3 ตารางเซนติเมตรต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
มิติของชุดเส้นใยกลวง (D × L)	(74.4 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร)
ความดันแตกต่างสูงสุด	2.5 × 8 นิ้ว
ช่วงอุณหภูมิในการปฏิบัติการสูงสุด	4.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (60 psi) 1-60 องศาเซลเซียส

3.2.3 เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ของบริษัท Agilent Technologies โดยใช้คอลัมน์แบบไครรัลรุ่น SUMICHIRAL OA-6100 สำหรับใช้วิเคราะห์ความเข้มข้นของอินนันทิโอมเมอร์ดีแอล-แลคติกแอซิด



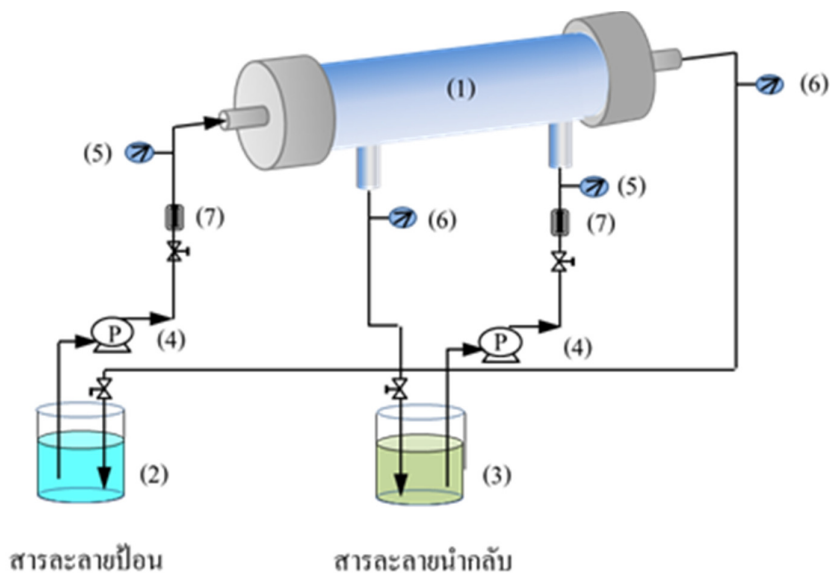
รูปที่ 3.2 เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

3.2.4 เครื่องวัดค่า pH ใช้ตรวจวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-เบส

3.2.5 อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น แท่งแก้ว ปีกเกอร์ ขวดวัดปริมาตร ขวดรูปชมพู่ ปิเปต และกรวยแยกสาร

3.3 วิธีการทดลอง

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้สารสกัด 2 ชนิด ได้แก่สารสกัดชนิดไครรัลคือ (+)-DBTA และใช้น้ำกลั่นเป็นสารละลายนำกลับ รูปที่ 3.4 แสดงการสกัดและการนำกลับดีแอล-แลคติกแอซิดจากสารละลายสังเคราะห์ของสารผสมราซิมีกรดแลคติกด้วยระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงโดยสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับจะไหลวนแบบไหลสวนทางกัน



รูปที่ 3.3 การสกัดและการนำกลับดีแอล-แลคติกแอซิดด้วยระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง โดยการไหลวนแบบสวนทาง 1) โมดูลเส้นใยกลวง 2) ถังของสารละลายป้อน 3) ถังของสารละลายน้ำกลับ 4) ปั๊ม 5) มาตรการวัดความดันขาเข้า 6) มาตรการวัดความดันขาออก และ 7) มาตรการวัดอัตราการไหล

3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายป้อนอินเทนทีโอเมอร์ดีแอล-แลคติกแอซิด

1. นำสารผสมราซิมีกดีและแอลของแลคติกแอซิดมาปรับความเข้มข้นในช่วงความเข้มข้นต่างๆ ด้วยน้ำกลั่น
2. นำสารละลายดีและแอลแลคติกแอซิดที่เตรียมไว้ในแต่ละช่วงความเข้มข้นต่างๆ ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของอินเทนทีโอเมอร์ดีและแอลแลคติกแอซิดด้วยเครื่องมือ HPLC ซึ่งจะได้ความเข้มข้นของอินเทนทีโอเมอร์ดีและแอลแลคติกแอซิดเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองต่อไป

3.3.2 ศึกษาชนิดสารสกัดต่อการแยกแบบคัดเลือกอินเทนทีโอเมอร์ดีแอล-แลคติกแอซิดด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายออกทานอล มีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมสารละลายป้อนปริมาตร 50 มิลลิลิตร คือ สารละลายสารผสมราซิมีกของกรดแลคติก ที่ความเข้มข้น 6 มิลลิโมลต่อลิตรในน้ำกลั่น เก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อ

นำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของอินเนทโทโอเมอร์ดีและแอลกรดแลคติกด้วยเครื่อง HPLC

2. เตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลว คือ สารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA ในตัวทำละลายอินทรีย์ออกทานอล ความเข้มข้น 4 มิลลิโมลต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
3. ผสมสารละลายป้อน 50 มิลลิลิตรกับสารสกัดไครัล (+)-DBTA 50 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ปั่นกวนด้วยอัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยให้แยกชั้นแล้วเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของอินเนทโทโอเมอร์ดีและแอลแลคติกแอสิดเริ่มต้นด้วยเครื่อง HPLC
4. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (3) โดยเปลี่ยนชนิดของสารสกัดเป็นแบบอะไครัล คือ Aliquat 336 และ D2EHPA ในตัวทำละลายออกทานอล ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น 4 มิลลิโมลต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เพื่อหาชนิดของสารสกัดที่เหมาะสมที่สุดในการแยกแบบคัดเลือกอินเนทโทโอเมอร์ดีและแอลแลคติกแอสิดสำหรับการศึกษาปัจจัยขั้นต่อไป

3.3.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA ใน ตัวทำละลายออกทานอลต่อประสิทธิภาพการแยกแบบคัดเลือกอินเนทโทโอเมอร์ดีและแอล-กรดแลคติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง มีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมสารละลายป้อนปริมาตร 5000 มิลลิลิตร คือ สารละลายสารผสมราชิมิกของกรดแลคติกที่ความเข้มข้น 6 มิลลิโมลต่อลิตรในน้ำกลั่น เก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของอินเนทโทโอเมอร์ดีและแอลกรดแลคติกเริ่มต้นด้วยเครื่อง HPLC
2. เตรียมสารละลายนำกลับคือน้ำกลั่น ปริมาตร 5000 มิลลิลิตร
3. เตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลวที่ใช้สำหรับมอดูลเส้นใยกลวงปริมาตร 500 มิลลิลิตร โดยใช้สารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA ซึ่งให้ค่าการสกัดดีและแอลแลคติกแอสิด ดีที่สุดจาก 3.3.2 โดยใช้ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลต่อลิตรในตัวทำละลายออกทานอล ทำการป้อนสารละลายเยื่อแผ่นเหลวเข้ามอดูลเส้นใยกลวง 50 นาที เพื่อเข้าไปยึดตรึงในรูพรุนขนาดเล็กของเส้นใยกลวง
4. ทำการป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าไปในชุดทดลองมอดูลเส้นใยกลวงด้วยอัตราการไหลเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้ระบบปฏิบัติการ

แบบกะโดยรูปแบบการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับจะไหลวนสวนทางกันแสดงดังรูปที่ 3.4

5. เก็บตัวอย่างของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับขาออกที่เวลา 50 นาที ใน 1 รอบปฏิบัติการ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของอินเทนทิโอเมอร์ดีและแอลแลคติกแอซิดด้วยเครื่อง HPLC
6. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (5) โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารสกัดผสมระหว่าง สารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA เป็น 4, 6, 8 และ 10 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ เพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่เหมาะสมที่สุดในการแยกแบบคัดเลือก อินเทนทิโอเมอร์ดีและแอลแลคติกแอซิดสำหรับใช้ในการศึกษาปัจจัยขั้นต่อไป

3.3.4 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายป้อนต่อการแยกแบบคัดเลือกอินเทนทิโอเมอร์ดีแอล-แลคติกแอซิดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.3.3 ใช้ความเข้มข้นของสารสกัดที่ให้ค่าการสกัดดีและแอลแลคติกแอซิดดีที่สุดจากการทดลองที่ 3.3.3
2. เตรียมสารละลายป้อนของดีแอล-แลคติกแอซิดปริมาตร 5000 มิลลิลิตรที่ความเข้มข้นเท่ากับ 2 มิลลิโมลต่อลิตร และเก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของอินเทนทิโอเมอร์ดีและแอลแลคติกแอซิด
3. ทำการป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าไปในชุดทดลองมอดูลเส้นใยกลวงด้วยอัตราการไหลเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้ระบบปฏิบัติการแบบกะโดยรูปแบบการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับจะไหลวนสวนทางกันแสดงดังรูปที่ 3.4
4. เก็บตัวอย่างของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับขาออกที่เวลา 50 นาที ใน 1 รอบปฏิบัติการ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นอินเทนทิโอเมอร์ดีและแอลแลคติกแอซิดด้วยเครื่อง HPLC
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายป้อนเป็น 4, 6, 8 และ 10 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ เพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารละลายป้อนที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดอินเทนทิโอเมอร์ดีและแอลแลคติกแอซิดได้สูงสุดสำหรับใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

3.3.5 ศึกษาความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนต่อการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทิโอเมอร์ ดีแอล-แลคติกแอซิดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.3.4 ใช้สารละลายป้อนของดีแอล-แลคติกแอซิดที่ความเข้มข้นซึ่งให้ค่าการสกัดของดีและแอลแลคติกแอซิดดีที่สุดจากการทดลองที่ 3.3.4
2. เติมสารละลายบัฟเฟอร์ของไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) และ ฟอสฟอริกแอซิด (H_3PO_4) เพื่อปรับความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนและเก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นอิแนนทิโอเมอร์ของดีและแอล-แลคติกแอซิด
3. ทำการป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าไปในชุดทดลองมอดูลเส้นใยกลวงด้วยอัตราการไหลเท่ากับที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้ระบบปฏิบัติการแบบกะโดยรูปแบบการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับจะไหลวนสวนทางกันแสดงดังรูปที่ 3.4
4. เก็บตัวอย่างของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับขาออกที่เวลา 50 นาที ใน 1 รอบปฏิบัติการ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นอิแนนทิโอเมอร์ของดีและแอลแลคติกแอซิดด้วยเครื่อง HPLC
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อน จาก 1 เป็น 2, 3, 4, 5, 6, และ 7 ตามลำดับ เพื่อหาค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดดีและแอลแลคติกแอซิดได้สูงสุดสำหรับใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

3.3.6 ศึกษาผลของอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ผ่านมอดูลของเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงต่อการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทิโอเมอร์ ดีแอล-แลคติกแอซิดมีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมสารละลายป้อนของดีแอล-แลคติกแอซิดที่ความเข้มข้นและค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนที่ให้ประสิทธิภาพการสกัดแยกดีและแอลแลคติกแอซิดดีที่สุดจากการทดลองที่ 3.3.4 และ 3.3.5 ปริมาตร 5000 มิลลิลิตร และเก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC
2. เตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลวที่ใช้สำหรับโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ด้วยสารละลายของสารสกัดในตัวทำละลายอินทรีย์ออกทานอลที่ความเข้มข้นที่ให้ประสิทธิภาพ

การสกัดแยกดีและแอลแลคติกแอซิดดีที่สุดจากการทดลองที่ 3.3.3 ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ยึดตรงในรูปวงกลมของเส้นใยกลวงในชุดทดลอง

3. ทำการป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าไปในชุดทดลองมอดูล เส้นใยกลวงด้วยอัตราการไหลเท่ากับที่ 50 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้ระบบปฏิบัติการแบบกะโดยรูปแบบการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับจะไหลวนสวนทางกันแสดงดังรูปที่ 3.4
4. เก็บตัวอย่างของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับขาออกที่เวลา 50 นาที ใน 1 รอบ ปฏิบัติการ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นไอออนิโอมอร์ของดีและแอลแลคติกแอซิดด้วยเครื่อง HPLC
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากับที่ 100, 150, 200 และ 250 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ เพื่อหาอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดดีและแอลแลคติกแอซิดได้สูงสุดสำหรับการศึกษาขั้นต่อไป

3.3.7 ศึกษาผลของจำนวนรอบในการปฏิบัติการของระบบต่อประสิทธิภาพการแยกแบบคัดเลือกไอออนิโอมอร์ดีแอล-แลคติกแอซิดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับ 3.3.6 ใช้สารสกัด ความเข้มข้นของสารสกัด ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อน ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อน และอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองที่ 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4, 3.3.5 และ 3.3.6
2. ทำการป้อนสารละลายของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าไปในชุดทดลองเส้นใยกลวงพร้อมกันโดยใช้ระบบปฏิบัติการไหลแบบกะโดยสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับจะไหลแบบสวนทางกัน และมีอัตราการไหลเท่ากับ คือ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ดังรูปที่ 3.3
3. เก็บตัวอย่างของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับขาออกที่เวลา 50 นาที จากนั้นนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นไอออนิโอมอร์ของดีและแอลแลคติกแอซิดด้วยเครื่อง HPLC

4. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1)-(3) โดยเพิ่มรอบในการปฏิบัติการเป็น 2, 3, 4, 5, และ 6 ตามลำดับ เพื่อหาอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดและแอลแลคติกแอซิดได้สูงสุดสำหรับใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

3.4 ขั้นตอนการทำความสะอาดชุดทดลองเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง

เมื่อเสร็จจากการทดลองทุกครั้งต้องทำความสะอาดตัวรองรับเส้นใยกลวงซึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากต่อการแยกแบบคัดเลือกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง เนื่องจากสารสกัดอินทรีย์หรือสิ่งสกปรกต่างๆ อาจเข้าไปอุดตันภายในรูพรุนเส้นใยกลวงและขวางกั้นการไหลของสารละลายต่างๆ ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดลดลง มีขั้นตอนดังนี้

1. ป้อนน้ำกลั่นไหลผ่านเข้าไปในมอดูลของเส้นใยกลวงประมาณ 15-20 นาที
2. ป้อนสารละลายน้ำยาล้างจานเจือจางไหลวนในมอดูลของเส้นใยกลวงประมาณ 15-20 นาที เพื่อล้างสารละลายอินทรีย์และสิ่งสกปรกออกจากรูพรุนของเส้นใยกลวง
3. เลือกใช้สารละลายที่สามารถละลายสารต่างๆ ที่อุดตันในรูพรุนของเส้นใยกลวงได้โดยไหลวนในมอดูลเส้นใยกลวงเป็นเวลา 15-30 นาที ซึ่งในที่นี้เลือกใช้แอลกอฮอล์ในการชะล้างเพื่อทำความสะอาด
4. ป้อนน้ำกลั่นไหลผ่านในมอดูลเส้นใยกลวง ประมาณ 15-20 นาที

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยต่างๆ ต่อการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์ของกรดแลคติกด้วยระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลาง ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ชนิดของสารสกัด ความเข้มข้นของสารสกัด ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อน ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายป้อน อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ จำนวนรอบในการดำเนินการ ซึ่งประสิทธิภาพในการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์พิจารณาจากค่าร้อยละการสกัด ร้อยละการนำกลับ และร้อยละความบริสุทธิ์อิแนนทีโอเมอร์ ดังสมการที่ (2.10) (2.11) และ (2.14) ในบทที่ 2 นอกจากนี้ยังมีข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเทียบกับแบบจำลองการถ่วงมวล

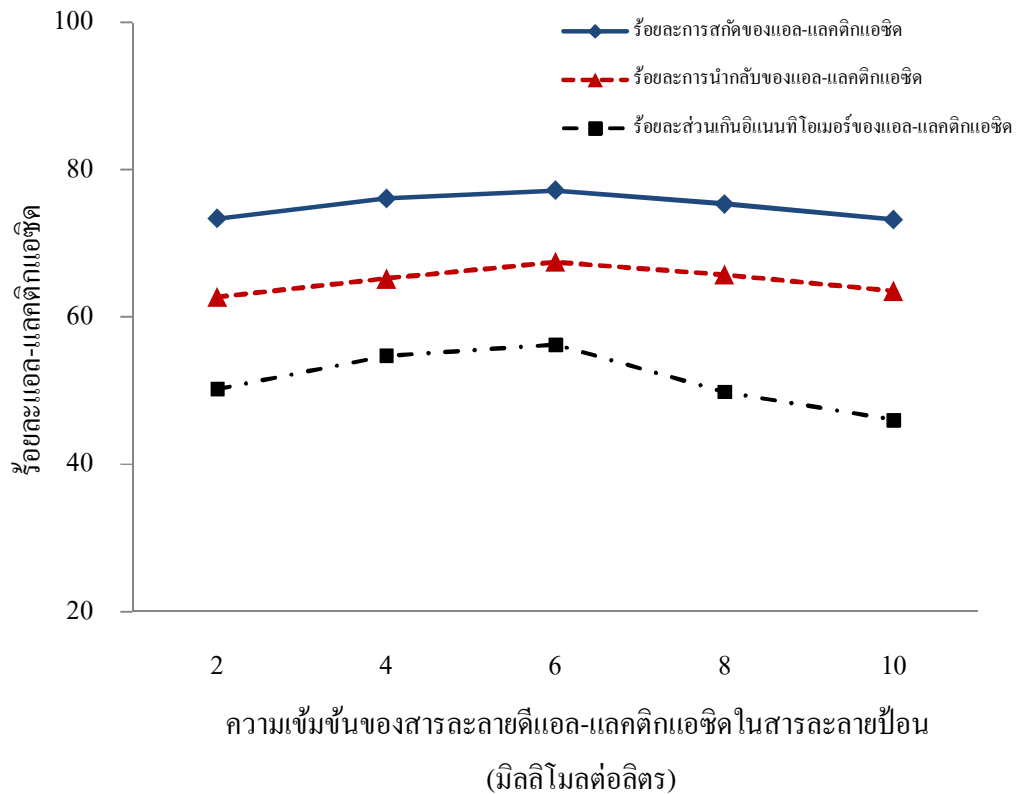
กระบวนการถ่ายเทมวลของการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์ของกรดแลคติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวชนิดการถ่ายเทมวลแบบสวนทาง (counter-transport) ปฏิกริยาการของสกัดและการนำกลับอิแนนทีโอเมอร์แอลของกรดแลคติก แสดงดังสมการที่ (2.8) และ (2.9) ตามลำดับ

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของดีแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนต่อประสิทธิภาพการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์ของกรดแลคติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลาง

ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของดีแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนต่อประสิทธิภาพการสกัด การนำกลับและร้อยละส่วนเกินอิแนนทีโอเมอร์ศึกษาโดยเพิ่มค่าความเข้มข้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อนที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิโมลต่อลิตร โดยกำหนดให้สถานะอื่นๆ คงที่ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1 เมื่อมีเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายป้อน ร้อยละการสกัด การนำกลับและร้อยละส่วนเกินอิแนนทีโอเมอร์ของแอล-แลคติกแอซิดมีแนวโน้มสูงขึ้นซึ่งศึกษาโดยเปลี่ยนความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายป้อน ร้อยละการสกัด ร้อยละการนำกลับและร้อยละส่วนเกินอิแนนทีโอเมอร์สูงสุด เท่ากับ 77.16, 67.45 และ 56.21 ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของดีแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนที่เหมาะสม คือ 6 มิลลิโมลต่อลิตร และค่าการสกัดมีแนวโน้มลดลง เมื่อความเข้มข้นสูงกว่า 6 มิลลิโมลต่อลิตร เนื่องการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นในสารละลายป้อนนั้น จะส่งผลทำให้ค่าฟลักซ์สูงขึ้น แต่ค่าฟลักซ์จะลดลงอย่างชัดเจนเมื่อความเข้มข้นสูงกว่า 6 มิลลิโมลต่อลิตร เนื่องจากการเพิ่มความหนืดของชั้นฟิล์มซึ่งเป็นอุปสรรคและตัวขัดขวางการถ่ายโอนมวลซึ่งอธิบายไว้โดย Wannachod และคณะ [63] แต่

อย่างไรก็ตามการทดลองในลำดับต่อไปใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของดีแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนที่ 6 มิลลิโมลต่อลิตร



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อนกับร้อยละของการสกัดการนำกลับและร้อยละส่วนเกินไอแนนทีโอเมอร์แอลของแลคติกแอซิด ที่ความเข้มข้นของสารสกัดไครัล (+)-DBTA เท่ากับ 4 มิลลิโมลต่อลิตร สารละลายนำกลับน้ำกลั่น อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที และปฏิบัติการแบบไหลวนสวนทางกัน

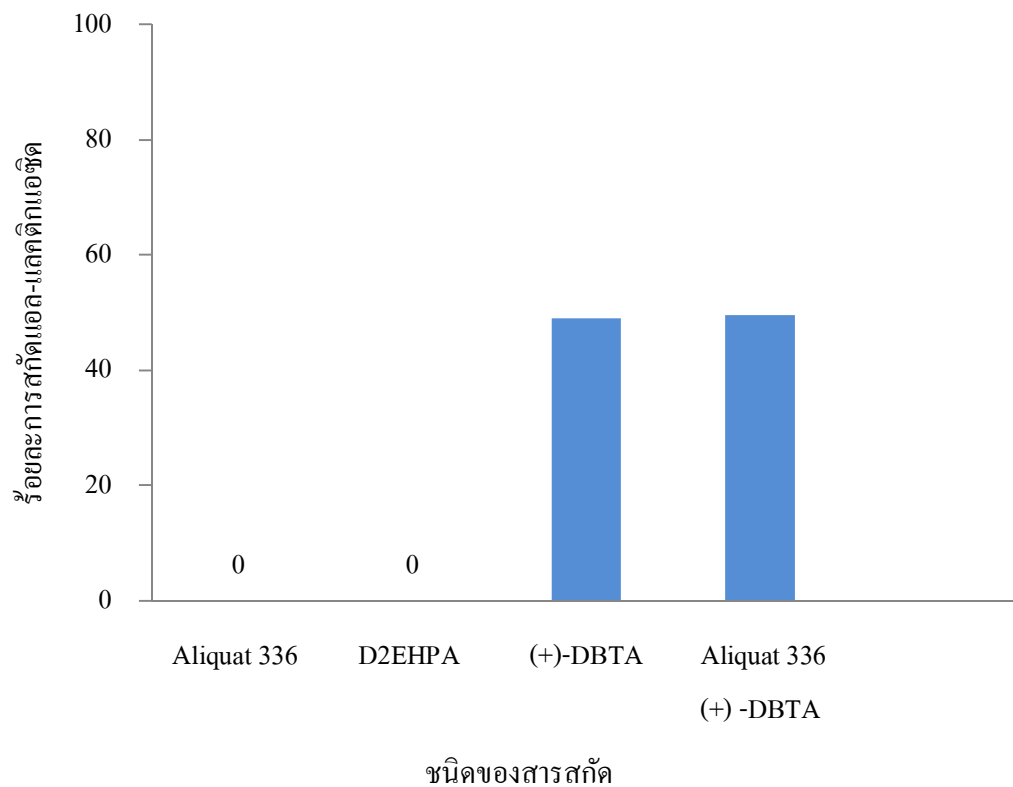
4.1.2 ผลของค่าความเป็นกรด-เบส(pH)ในสารละลายป้อนต่อประสิทธิภาพการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์ของกรดแลคติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

ผลของค่าความเป็นกรด-เบส(pH)ในสารละลายป้อนต่อร้อยละส่วนเกินอิแนนทีโอเมอร์ ผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-เบสเป็นปัจจัยที่สำคัญในการพิจารณาการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์ ผลของค่าความเป็นกรด-เบสในสารละลายป้อนทำการศึกษาที่ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)- DBTA ในตัวทำละลายอินทรีย์ออกทานอลเท่ากับ 4 มิลลิโมลต่อลิตร และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายราซิมิกของกรดแลคติกเท่ากับ 6 มิลลิโมลต่อลิตรในสารละลายบัฟเฟอร์ $\text{NaH}_2\text{PO}_4/\text{H}_3\text{PO}_4$ ที่ค่าความเป็นกรด-เบสในช่วง 1-7 กรดแลคติกมีหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งสามารถเพิ่มจำนวนโปรตอนเพื่อให้มีค่าความเป็นกรด-เบสเพิ่มขึ้นหรือลดลงซึ่งแสดงในรูปที่ 1.2 (ก) และ 1.2 (ข) ค่าการแตกตัว (kPa) ของกรดแลคติกมีค่าเท่ากับ 3.86 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส [64] ดังนั้นอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-เบสที่เกิดขึ้นต่อพฤติกรรมการแพร่กระจายของอิแนนทีโอเมอร์ในการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์ของกรดแลคติกที่พองด้วยเส้นใยกลวง ร้อยละความบริสุทธิ์ของอิแนนทีโอเมอร์ (% e.e.) จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-เบสเพิ่มขึ้นจนค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 4 และจากนั้นก็จะมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นคาดการณ์ว่าค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 4 ไม่สามารถเพิ่มจำนวนโปรตอนเข้าไปในโมเลกุลได้เพราะเป็นค่าการแตกตัว (kPa) ของกรดแลคติกเท่ากับ 3.86 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ดังนั้นค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 4 ให้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์อิแนนทีโอเมอร์แอล-แลคติกสูงสุด เท่ากับ 75.69 จึงเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทีโอเมอร์ของกรดแลคติก

4.1.3 ผลของชนิดของสารสกัดที่ละลายในตัวทำละลายออกทานอลต่อประสิทธิภาพการสกัดอิแนนทีโอเมอร์แอล-แลคติกแอสิดโดยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย

การศึกษาผลของชนิดสารสกัดเดี่ยวชนิดไครัล (+)DBTA และชนิดอะไครัล Aliquat 336 และ D2EHPA โดยลำดับ ต่อร้อยละการสกัด กำหนดปัจจัยอื่นคงที่ ได้แก่ ความเข้มข้นของดี-แอลของแลคติกแอสิดในสารละลายป้อนมีค่าเท่ากัน คือ 6 มิลลิโมลต่อลิตร ความเข้มข้นของสารสกัดแต่ละชนิดเท่ากับ 4 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็นสารละลายนำกลับ ระยะเวลาในการปั่นกวน 30 นาที แสดงผลดังรูปที่ 4.1 พบว่าสารสกัดเดี่ยวชนิดไครัล (+)-DBTA สามารถสกัดและคัดเลือกว่าอิแนนทีโอเมอร์ดี-แอล-แลคติกแอสิดได้ แต่สารสกัดชนิดอะไครัล D2EHPA และ Aliquat 336 ซึ่งเป็นสารสกัดอะไครัลชนิดกรดและเบส ไม่สามารถแยกแอล-แลคติกแอสิดออกจากดี-แลคติกแอสิดจากกัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากการใช้สารสกัดชนิด (+)-DBTA ส่งผลทำให้สารที่ต้องการแยกเกิดความไม่ชอบน้ำมากขึ้นหรือมีผลต่อค่าความเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic effect) มาก

ยิ่งขึ้น การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอิมานโทโอเมอร์ของสารที่ต้องการกับสารสกัดชนิดไคร์ลนั้น สารสกัดชนิดไคร์ล (+)-DBTA มีความเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) และไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) อยู่ในตัวโดยที่หมู่เบนโซอิลมีความเป็นไฮโดรโฟบิกในขณะที่หมู่คาร์บอกซิลิกมีความเป็นไฮโดรฟิลิก [65] และเมื่อใช้สารสกัดผสมระหว่างชนิดไคร์ล (+)-DBTA และชนิดอะลิควัต Aliquat 336 พบว่าร้อยละการสกัดแอล-แลคติกแอซิดมีค่าใกล้เคียงกับการสกัดด้วยสารสกัดชนิดไคร์ลเดี่ยวอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของสารสกัดกับร้อยละของการสกัดอิมานโทโอเมอร์แอล-แลคติกแอซิด ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อนเท่ากับ 6 มิลลิโมลต่อลิตร สารละลายนำกลับน้ำกลั่น และอัตราเร็วการปั่นกวน 100 รอบต่อนาที

4.1.4 ผลของความเข้มข้นของสารสกัดไครัล (+)- DBTA ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวต่อประสิทธิภาพการแยกแบบคัดเลือกอิแนนท์ไอเมอร์ของกรดแลคติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

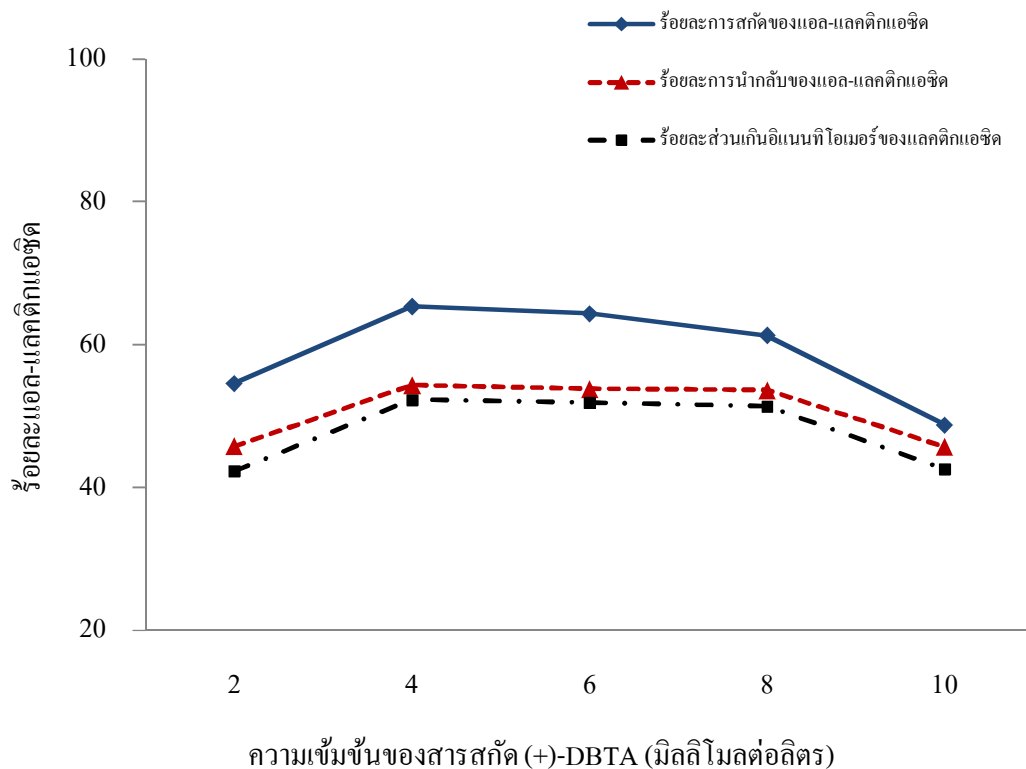
การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)- DBTA ในตัวทำละลายออกทานอลต่อการแยกแบบคัดเลือกอิแนนท์ไอเมอร์โดยทดลองที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิโมลต่อลิตร กำหนดสภาวะการทดลองที่ความเข้มข้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อนเท่ากับ 6 มิลลิโมลต่อลิตร มีน้ำกลั่นเป็นสารละลายนำกลับ ปฏิบัติการไหลแบบกะที่สารละลายป้อนและสารละลายนำกลับไหลแบบสวนทางกัน และมีอัตราการไหลที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาทีโดยสารละลายป้อนไหลทางด้านฝั่งท่อ สารละลายนำกลับไหลทางด้านฝั่งเปลือก ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.2 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)- DBTA ในมอดูลของเส้นใยกลวง 2-10 มิลลิโมลต่อลิตร

พบว่าร้อยละการสกัด ร้อยละการนำกลับและร้อยละส่วนเกินอิแนนท์ไอเมอร์สูงสุด 65.32, 54.30 และ 52.30 ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)- DBTA ที่เหมาะสมคือ 4 มิลลิโมลต่อลิตร หลังจากนั้นการสกัด การนำกลับและความบริสุทธิ์ของอิแนนท์ไอเมอร์แอล-กรดแลคติกมีแนวโน้มลดลง อธิบายได้โดยทฤษฎีของเฮนรี หลุยส์ เลอชาเตอริเยร์ [66] โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจะเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากขึ้น ดังสมการที่ (2.14) สารประกอบเชิงซ้อน $[L\text{-Lactic acid}]_2\text{-}(+)\text{DBTA}_2$ ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างแอลของกรดแลคติกกับสารสกัดจึงมีค่ามากขึ้นแสดงว่าแอลของกรดแลคติกถูกสกัดมากขึ้น การนำกลับและความบริสุทธิ์ของอิแนนท์ไอเมอร์จึงเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน การเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดมากเกินไปทำให้สารละลายเยื่อแผ่นเหลวมีความหนืดสูงขึ้น [67] และเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เป็นส่วนกลับกับค่าความหนืด ดังสมการของ Stokes-Einstein สมการที่ (4.1) ดังนั้นเมื่อความหนืดสูงขึ้นจะทำให้ค่าความต้านทานในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวสูงขึ้น และขัดขวางการถ่ายเทมวลของแอล-กรดแลคติกผ่านสารละลายเยื่อแผ่นเหลว ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าส่งผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในเยื่อแผ่นเหลวลดลง ดังนั้นค่าร้อยละของการสกัด การนำกลับและร้อยละความบริสุทธิ์ของอิแนนท์ไอเมอร์แอล-กรดแลคติกลดลงจากการทดลองจะใช้ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)- DBTA เท่ากับ 4 มิลลิโมลต่อลิตรในการศึกษาปัจจัยอื่นต่อไป

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta r} \quad (4.1)$$

เมื่อ

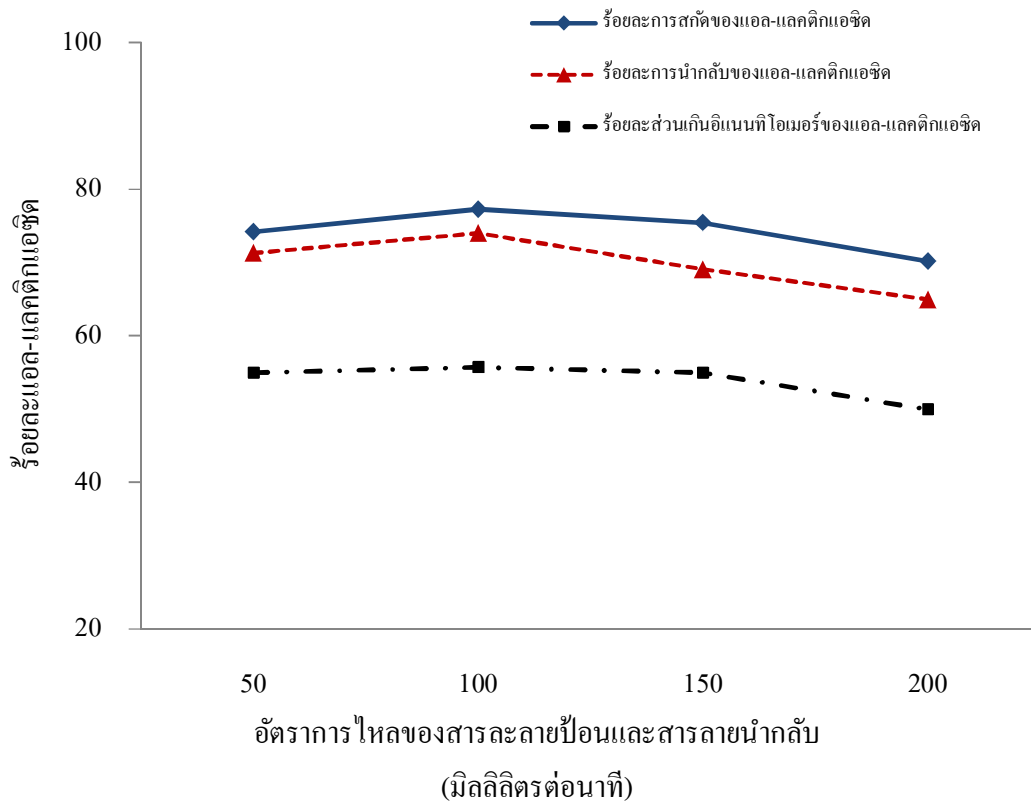
- D = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (ตารางเมตรต่อวินาที)
 T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว (เคลวิน)
 η = ความหนืดของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว (กิโลกรัมต่อเมตรต่อวินาที)
 r = รัศมีโมเลกุลของสารที่แพร่ผ่าน (เมตร)
 k_B = ค่าคงที่ของ Boltzman มีค่าเท่ากับ 1.3807×10^{23} (จูลต่อเคลวิน)



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล(+)- DBTA ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวกับร้อยละของการสกัด การนำกลับและร้อยละความบริสุทธิ์ของไอออนที่โอเมอ์แอล-แลคติกแอซิด ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อน 6 มิลลิโมลต่อลิตร สารละลายนำกลับน้ำกลั่น อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากับ 100 มิลลิตรต่ออนาที และปฏิบัติการแบบไหลวนสวนทางกัน

4.1.5 ผลของอัตราการไหลในสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับต่อประสิทธิภาพการแยกแบบคัดเลือกอิแนนท์ไอเมอร์ของกรดแลคติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลาง

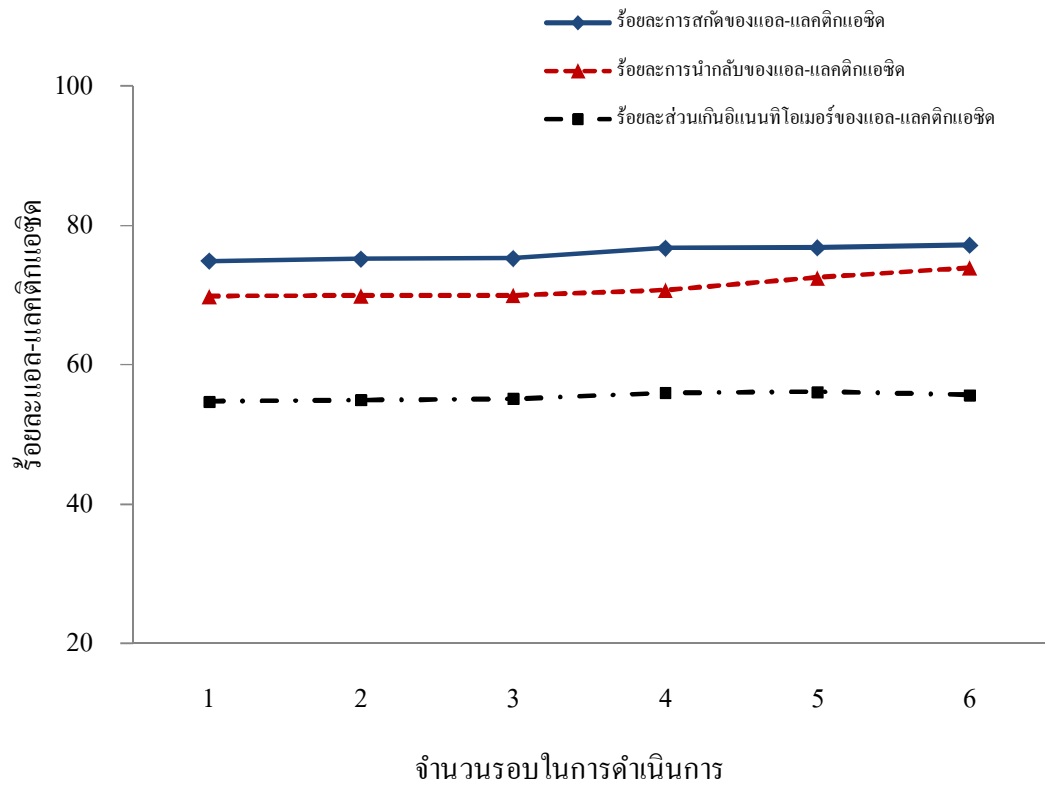
ผลของการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการสกัด การนำกลับและร้อยละส่วนเกินอิแนนท์ไอเมอร์ของแอล-แลคติกแอซิดที่อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับในรูปแบบการไหลแบบสวนทางที่อัตราการไหล 50, 100, 150 และ 200 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้สารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 4 มิลลิโมลต่อลิตร และน้ำกลั่นเป็นสารละลายนำกลับ พบว่าอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที จะได้ร้อยละการสกัด การนำกลับและร้อยละส่วนเกินอิแนนท์ไอเมอร์ของแอล-แลคติกแอซิดมีค่าสูงสุดเท่ากับ 77.22, 73.98 และ 55.71 ตามลำดับ อัตราการไหลของสารละลายป้อนและการนำกลับมีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อร้อยละการสกัดและการนำกลับแอล-แลคติกแอซิด อัตราการไหลที่มีค่าสูงมากมีผลต่อเวลาที่สารละลายอยู่ในมอดูลเยื่อแผ่นเหลวลดลง (resident time) ทำให้เวลาในการสัมผัสกับภูมิภาคเยื่อแผ่นเหลวของภูมิภาคสารละลายป้อนและภูมิภาคสารละลายนำกลับน้อยลง ซึ่งส่งผลให้เวลาในการทำปฏิกิริยาจึงลดลงตามลงไป ดังนั้นอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่เหมาะสมต่อการแยกแบบคัดเลือกอิแนนท์ไอเมอร์ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลางที่สามารถประยุกต์ใช้ในกระบวนการจริงคือ 100 มิลลิลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับกับร้อยละการสกัด การนำกลับและร้อยละส่วนเกินอินนินทิโอเมอร์แอล-แลคติกแอซิด ที่ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล [(+)-DBTA] เท่ากับ 4 มิลลิโมลต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อนเท่ากับ 6 มิลลิโมลต่อลิตร pH = 4 และปฏิบัติการแบบไหลวนสวนทางกัน

4.1.6 ผลของจำนวนรอบในการดำเนินการต่อประสิทธิภาพการแยกแบบคัดเลือกริโนนทิโอเมอร์ของกรดแลคติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

จำนวนรอบในการสกัดทำการศึกษาที่สภาวะสูงสุดในระบบปฏิบัติการมอดูลเดี่ยวที่คาดคะเนความเป็นไปได้ที่จะได้ค่าการสกัดสูงสุด นอกจากนั้นแล้วการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงความเข้มข้นของแอล-กรดแลคติกอย่างน้อยที่สุดที่เป็นไปได้ในสารละลายป้อนและใช้ทดสอบเสถียรภาพของเยื่อแผ่นเหลว ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งร้อยละการสกัด การนำกลับและร้อยละส่วนเกินอินนินทิโอเมอร์ของแอล-กรดแลคติกสะสมสูงสุดที่รอบการปฏิบัติการ 6 รอบ รอบละ 50 นาที เป็นเวลาทั้งหมด 300 นาที มีค่าเท่ากับ 77.22, 73.98 และ 55.71 ตามลำดับ

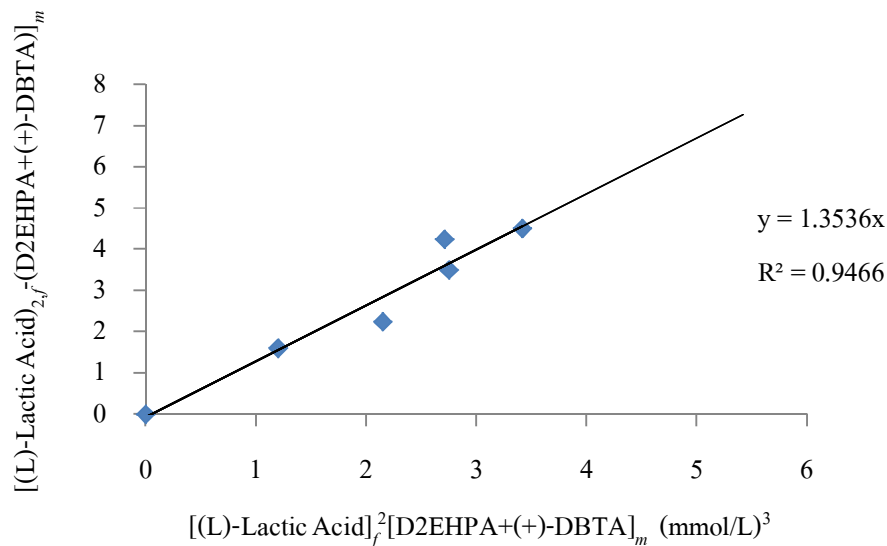


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการดำเนินการกับร้อยละการสกัด การนำกลับและร้อยละส่วนเกินอินแนทไอเมอร์แอล-แลคติกแอซิดที่ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล [(+)-DBTA] เท่ากับ 4 มิลลิโมลต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อน เท่ากับ 6 มิลลิโมลต่อลิตร pH = 4 อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ เท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที และปฏิบัติการแบบไหลวนสวนทางกัน

4.2 การประยุกต์แบบจำลองการถ่ายเทมวลของอโนเมอ์แอล-แลคติกแอซิดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงกับผลการทดลอง

4.2.1 การคำนวณค่าคงที่สมดุล (equilibrium constant, K_{ex}) และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (distribution coefficient, D) ของปฏิกิริยาการสกัดอโนเมอ์แอล-แลคติกแอซิด

ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการสกัดอโนเมอ์แอล-แลคติกแอซิดได้จากความชันของกราฟในรูปที่ 4.6 ซึ่งมาจากความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.15) มีค่าเท่ากับ 1.354 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของปฏิกิริยาการสกัดไอออนอโนเมอ์ของกรดแลคติกที่ความเข้มข้นของสารสกัด (+)-DBTA ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวในมอดูลของเส้นใยกลวงที่ความเข้มข้น 2-4 มิลลิโมลต่อลิตร คำนวณจากสมการที่ (2.12) และแสดงดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง $[(L)\text{-Lactic Acid}]_{2,f} [(+)\text{-DBTA}]_m$ กับ $[(L)\text{-Lactic Acid}]_f^2 [(+)\text{-DBTA}]_m$ ที่ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครด์ (+)-DBTA เท่ากับ 4 มิลลิโมลต่อลิตรในสารละลาย เยื่อแผ่นเหลวในมอดูลของเส้นใยกลวง 2-10 มิลลิโมลต่อลิตรโดยปริมาตร ความเข้มข้นสารละลายป้อนเริ่มต้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อนเท่ากับ 6 มิลลิโมลต่อลิตร pH = 4 อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ปฏิบัติการแบบไหลสวนทางกัน

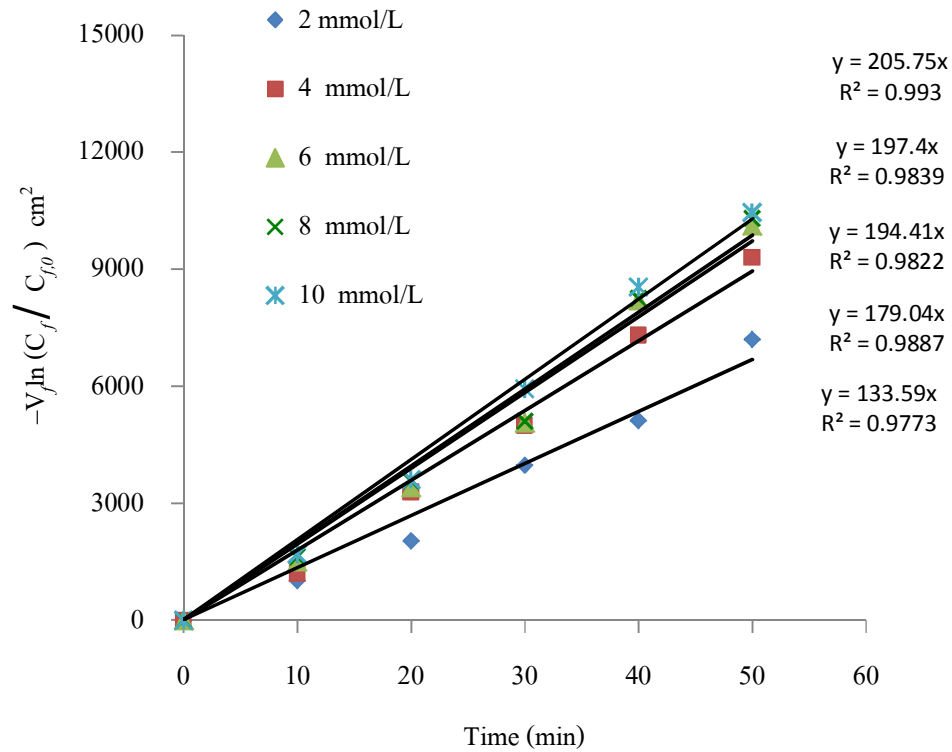
ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของปฏิกิริยาการสกัดอินเนทไอโอเมอร์แอล-แลคติกแอซิดที่ความเข้มข้นของสารสกัด (+)-DBTA ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวในมอดูลของเส้นใยกลวง 2-10 มิลลิเมตรต่อลิตร

(+)-DBTA (มิลลิเมตรต่อลิตร)	D	$P \times 10^4$ (เซนติเมตรต่อวินาที)
2	1.71	1.14
4	2.45	1.98
6	3.32	2.10
8	4.51	2.21
10	5.75	2.33

4.2.2 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Permeability Coefficient, P)

จากการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงต่อการแยกแบบคัดเลือกแอล-แลคติกแอซิดที่เวลาต่างๆ ทำโดยเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA ที่ช่วงความเข้มข้น 2-10 มิลลิเมตรต่อลิตร

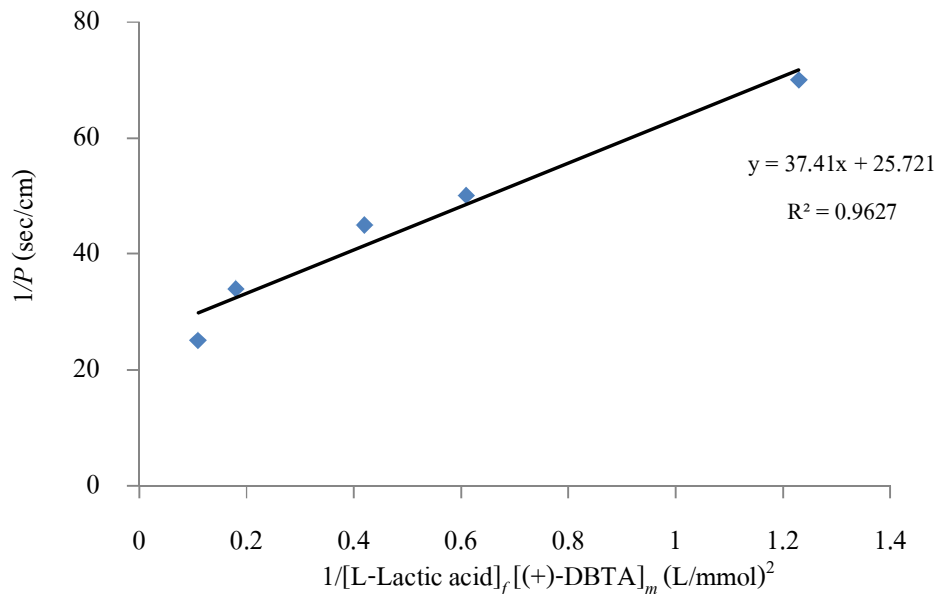
เมื่อแทนค่าความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนที่เวลาต่างๆ ตามความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.18 และ 2.19 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของปฏิกิริยาการสกัดแอล-แลคติกแอซิดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงช่วงความเข้มข้น 2-10 มิลลิเมตรต่อลิตร โดยสร้างกราฟระหว่าง $V_f \ln\left(\frac{C_f}{C_{f,0}}\right)$ กับเวลา (t) แสดงดังภาพที่ 4.11 จะได้ความชันของกราฟคือ $AP \frac{\phi}{\phi+1}$ ซึ่งทำให้หาค่า P หรือค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านแสดงดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $-V_f \ln(C_f / C_{f0})$ ของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนกับเวลา (t) เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA ในสารละลายเชื้อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง เมื่อ pH ในสารละลายป้อน = 4 และอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที

4.2.3 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของสารละลายป้อน (k_f) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลว (k_m)

จากผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (P) ของปฏิกิริยาการสกัดแอล-แลคติกแอซิด เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวในโมดูลของเส้นใยกลวงในตารางที่ 4.1 สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน (k_f) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลว (k_m) ได้จากสมการที่ 2.26 โดยสร้างกราฟระหว่าง $\frac{1}{P}$ กับ $\frac{1}{[L\text{-Lactic acid}]_f [(+)\text{-DBTA}]_m}$ ดังรูปที่ 4.8 คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลว (k_m) ได้จากความชันของกราฟซึ่งคือเทอม $\frac{r_i}{r_m} \frac{1}{K_{ex} k_m}$ และคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน (k_f) ได้จากจุดตัดแกน $\frac{1}{P}$



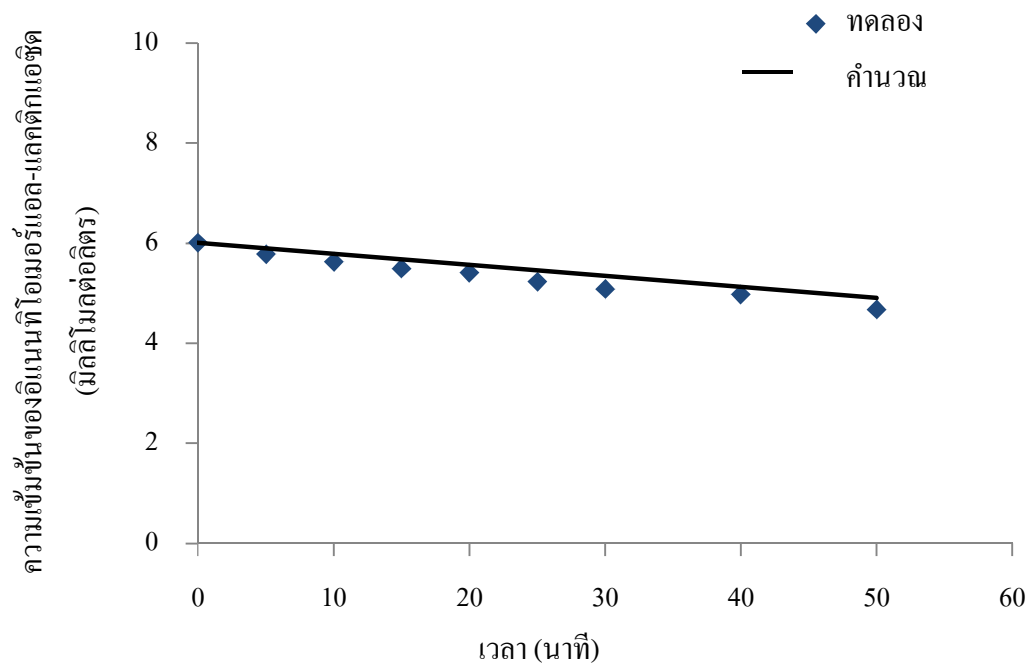
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/P$ กับ $1/[L\text{-Phenylalanine}]_f [(+)\text{-DBTA}]_m$ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารสกัด (+)-DBTA ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวในโมดูลของเส้นใยกลวง เมื่อ pH ในสารละลายป้อน = 4 และอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากับ 100 มิลลิเมตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.8 ได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน (k_p) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลว (k_m) เท่ากับ 3.89×10^{-5} และ 2.67×10^{-6} เซนติเมตรต่อวินาที จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลวมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน ดังนั้นกล่าวได้ว่าขั้นตอนควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยา คือ การถ่ายเทมวลของชั้นฟิล์มระหว่างสารละลายป้อนและเยื่อแผ่นเหลว

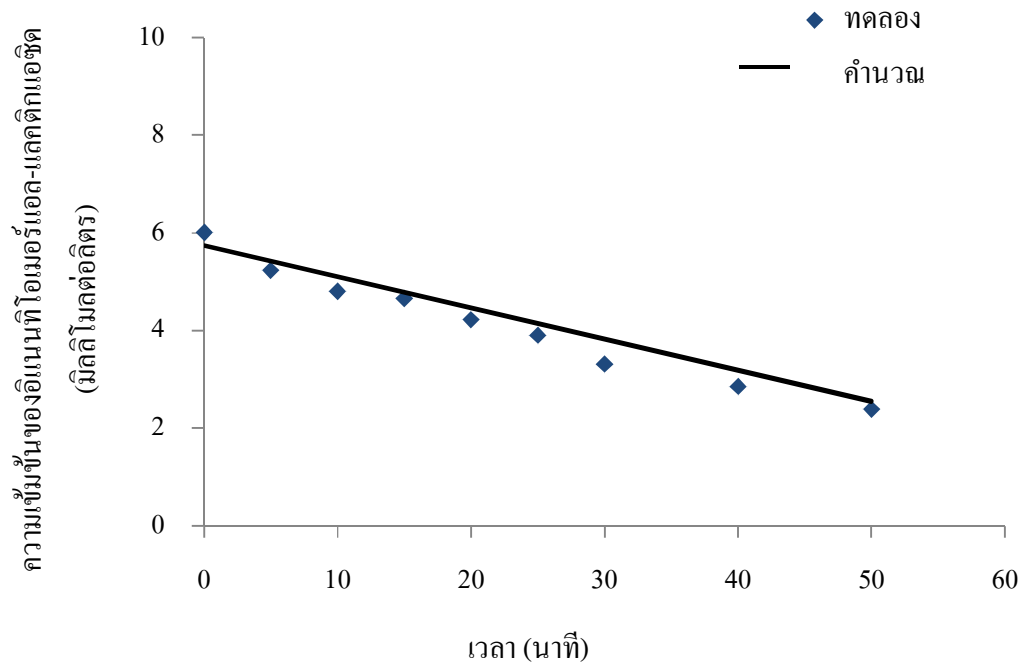
4.2.4 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของอิมานทิโอเมอร์ แอล-กรดแลคติกในสารละลายป้อน จากผลการทดลองกับการคำนวณจากแบบจำลองการถ่ายเทมวล

การเปรียบเทียบความเข้มข้นของอิมานทิโอเมอร์แอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนที่ได้จากการทดลองกับการคำนวณจากแบบจำลองการถ่ายเทมวลแสดงดังรูปที่ 4.8 (ก)-(จ) แสดงโดยมีสภาวะการทดลองที่ความเข้มข้นของอิมานทิโอเมอร์แอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนเท่ากัน คือ 6 มิลลิโมลต่อลิตร ความเข้มข้นของสารสกัดผสม (+)-DBTA ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลว 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิโมลต่อลิตร และใช้น้ำกลั่นเป็นสารละลายนำกลับ

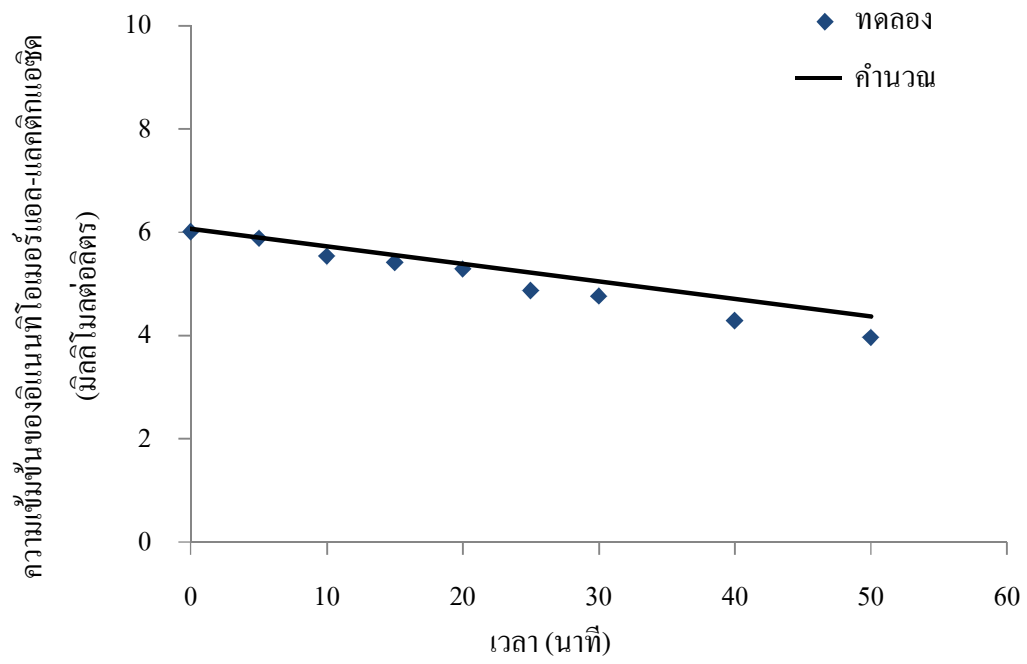
ซึ่งจากรูปที่ 4.8 (ก)-(จ) จะเห็นว่าความเข้มข้นของอิมานทิโอเมอร์ในสารละลายป้อนที่เวลาต่างๆ จากผลการทดลองกับการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อความเข้มข้นของสารสกัด (+)-DBTA ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลว 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิโมลต่อลิตร แสดงว่าแบบจำลองการถ่ายเทมวลนี้เป็นไปตามทฤษฎีของระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง แต่ที่ความเข้มข้นของสารสกัดชนิด (+)-DBTA ที่ความเข้มข้นเท่า 8 และ 10 มิลลิโมลต่อลิตรพบว่ามีผลการทดลองมีค่าสูงกว่าการคำนวณ ดังรูปที่ 4.14 (ง)และ(จ) ความแตกต่างนี้สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครล (+)-DBTA เพิ่มขึ้น ความหนืดในเยื่อแผ่นเหลวจะมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้โมเลกุลของสารสกัดชนิดไครล (+)-DBTA ไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับอิมานทิโอเมอร์แอล-แลคติกแอซิดได้ ดังนั้นจึงไม่เป็นไปตามสมมติฐานของแบบจำลองการถ่ายเทมวล ดังนั้นความเข้มข้นของอิมานทิโอเมอร์แอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนขาออกกับเวลาจึงมีค่าสูงและมีค่าเบี่ยงเบนจากผลการคำนวณ



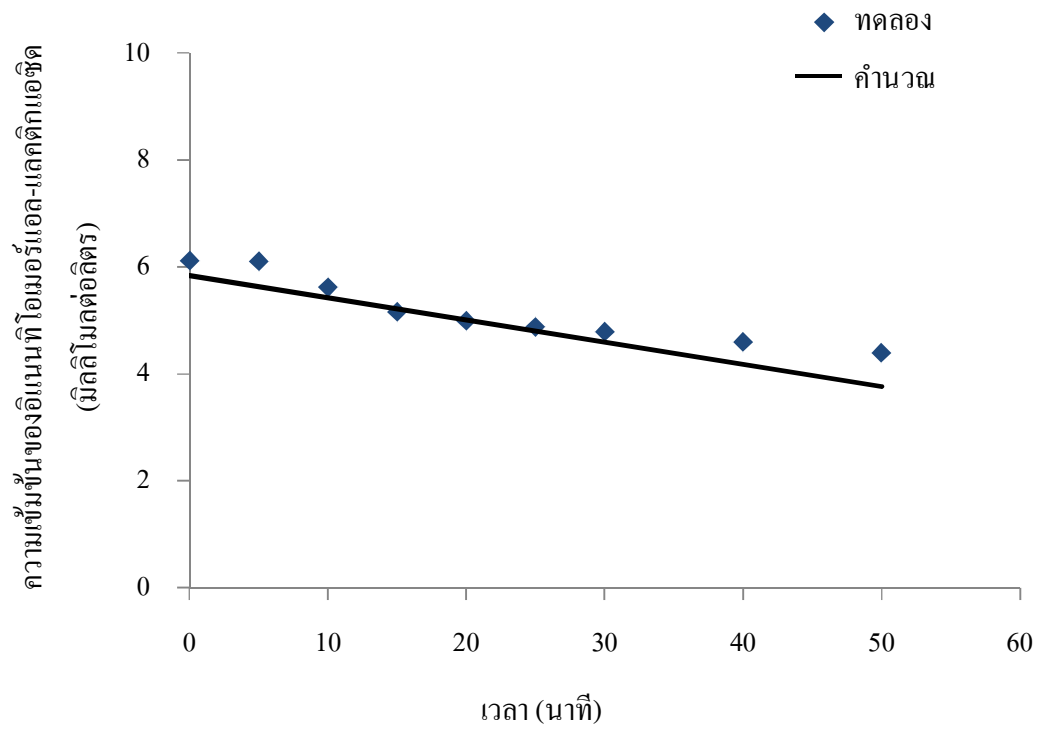
(ก) ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA = 2 มิลลิโมลต่อลิตร



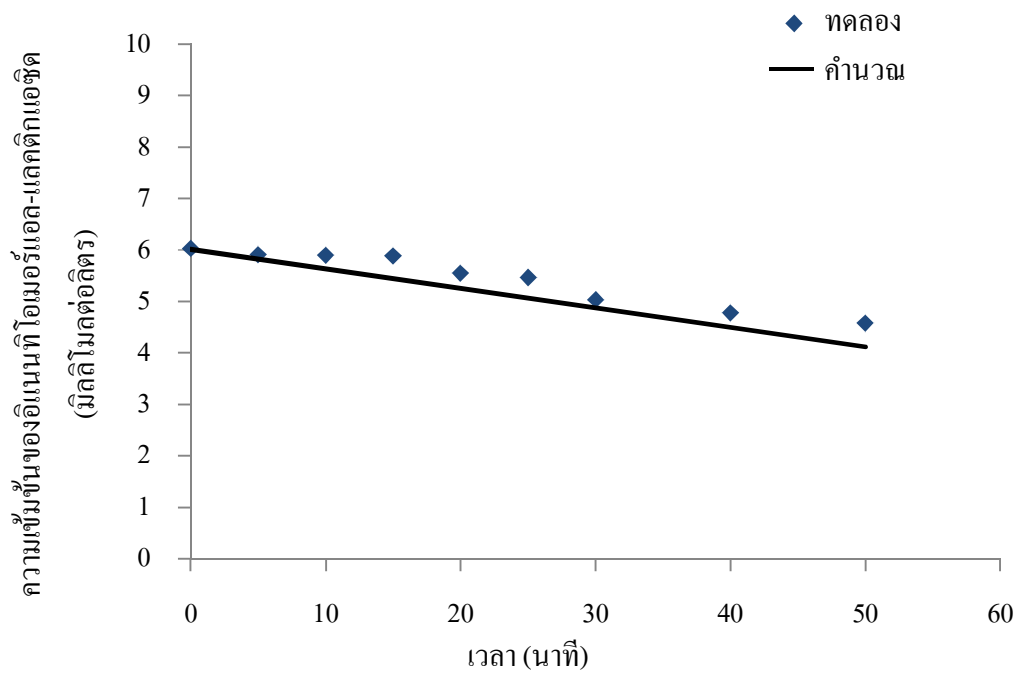
(ข) ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA = 4 มิลลิโมลต่อลิตร



(ค) ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA = 6 มิลลิโมลต่อลิตร



(๑) ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA = 8 มิลลิโมลต่อลิตร



(จ) ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA = 10 มิลลิโมลต่อลิตร

รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นของอิแนนทิโอเมอร์แอล-กรดแลคติกในสารละลายป้อนขาออก ที่เวลาต่างๆ จากการทดลองและการคำนวณด้วยแบบจำลองการถ่ายเทมวลที่ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวที่ค่าต่างๆ ก) 2 ข) 4 ค) 6 ง) 8 และ จ) 10 มิลลิโมลต่อลิตร

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การแยกแบบคัดเลือกอีแอนทิโอเมอร์แอล-กรดแกลคติกออกจากดี-กรดแกลคติกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง โดยใช้ปฏิบัติการไหลแบบกะที่สารละลายป้อนและสารละลายนำกลับไหลแบบสวนทางกัน และมีอัตราการไหลเท่ากัน คือ 100 มิลลิลิตรต่อนาที โดยสารละลายป้อนจะไหลทางด้านฝั่งท่อ สารละลายนำกลับไหลทางด้านฝั่งเปลือก สารละลายป้อนใช้สารละลายราชิมิกของกรดแกลคติกที่มีความเข้มข้นเท่ากัน โดยศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ชนิดของสารสกัด ความเข้มข้นของสารสกัด ความเข้มข้นเริ่มต้นของอีแอนทิโอเมอร์ของกรดแกลคติกในสารละลายป้อน ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ในสารละลายป้อน อัตราการไหลของสารละลายป้อน และสารละลายนำกลับ จำนวนรอบในการดำเนินการ สรุปผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดลอง

ปัจจัยที่ศึกษา	องค์ประกอบ	ช่วงที่ศึกษา	ค่าที่เหมาะสม
สารละลายป้อน	สารราชิมิก ของกรดแกลคติก	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น
		2-10 มิลลิโมลต่อลิตร pH 1.0-7.0	6 มิลลิโมลต่อลิตร pH 4.0
สารสกัด	(+)-DBTA	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น
		2-10 มิลลิโมลต่อลิตร	4 มิลลิโมลต่อลิตร
อัตราการไหลของสารละลายป้อน		50-200 มิลลิลิตรต่อ นาที	100 มิลลิลิตรต่อ นาที
อัตราการไหลของสารละลาย นำกลับ		50-200 มิลลิลิตรต่อ นาที	100 มิลลิลิตรต่อ นาที
จำนวนรอบในการดำเนินการ		1-6 รอบ	6 รอบ

ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาโดยใช้ตัวรองรับเส้นใยกลวงที่ทำจากพอลิโพรพิลีน ซึ่งมีสมบัติ hydrophobic ซึ่งใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในการละลายสารสกัด ดังนั้นควรศึกษาชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ เพื่อช่วยให้สารสกัดแยกแบบคัดเลือกอิแนนทิโอเมอร์ที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นตัวทำละลายอินทรีย์จะต้องมีค่าการละลายน้ำที่ต่ำเพื่อไม่ให้เยื่อแผ่นเหลวเกิดการหลุดจากมอดูลของเส้นใยกลวง

2. สภาพความเป็นกรด-เบสในสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับมีความสำคัญต่อการสกัดและนำกลับอิแนนทิโอเมอร์ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง ดังนั้นจำเป็นต้องใช้สารละลายบัฟเฟอร์เพื่อควบคุมความเป็นกรด-เบสให้คงที่

3. เพื่อให้มั่นใจว่าสารสกัดที่อยู่ในรูปพหุคูณของเยื่อแผ่นเหลวเพียงพอต่อการสกัดและการนำกลับแอล-กรดแลคติก ควรเติมสารสกัดเพิ่มเป็นระยะๆ เนื่องจากระบบเยื่อแผ่นเหลวนี้นหากมีการใช้อย่างต่อเนื่องจะส่งผลสารสกัดที่ละลายอยู่ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวหลุดออกจากรูปพหุคูณของเส้นใยกลวง ซึ่งส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพในการสกัดและการนำกลับแอล-กรดแลคติกลดลง

4. ผลจากการทดลองอาจนำไปประยุกต์ใช้กับการแยกแบบคัดเลือกอิแนนทิโอเมอร์ของกรดแลคติกในระดับอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ ตัวอย่างเช่น น้ำเสียในอุตสาหกรรมการผลิตกรดแลคติก โดยศึกษาการเพิ่มขนาดของระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับเส้นใยกลวง เช่น จำนวนมอดูลเส้นใยกลวงและขนาดของมอดูลเส้นใยกลวงที่ใช้ เป็นต้น

รายการอ้างอิง

- [1] Wasewar, K.L., Heesink, A.B.M., Versteeg, G.F. and Pangarkar, V.G., Reactive extraction of lactic acid using alamine 336 in MIBK: equilibria and kinetics. Journal of Biotechnology 97(2002) : 59–68.
- [2] Tong, W.Y., Fua, X.Y., Leeb, S.M., Yuc, J., Liua, J.W., Weia, D.Z and Koo Y.M., Purification of l(+)-lactic acid from fermentation broth with paper sludge as a cellulosic feedstock using weak anion exchanger Amberlite IRA-92. Biochemical Engineering Journal 18 (2004) : 89–96.
- [3] Lipinsky, E. S., Chemicals from Biomass: Petrochemical Substitution Options. Science 212 (1981) : 1465-1471.
- [4] Oh,H., Wee,Y.J., Yun,J.S., Han,S.H., Jung,S. and Ryu H.W., Lactic acid production from agricultural resources as cheap raw materials. Bioresource Technology 96 (2005) : 1492–1498.
- [5] Södergård, A. and Stolta, M., Properties of lactic acid based polymers and their correlation with composition. Progress in Polymer Science 27 (2002) : 1123–1163.
- [6] Norton, D., Crow, B., Bishop, M., Kovalcik, K., Georg, J. and Bralley, J.A., High performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry (HPLC/MS/MS) assay for chiral separation of lactic acid enantiomers in urine using a teicoplanin based stationary phase. Journal of Chromatography 850 (2007) : 190–198.
- [7] Naveena, B.J., Altaf, Md., Bhadrappa, K., Madhavendra, S.S. and Reddy, G., Direct fermentation of starch to l(+)-lactic acid in SSF by *Lactobacillus amylophilus* GV6 using wheat bran as support and substrate:medium optimization using RSM. Process Biochemistry 40(2005) : 681–690.
- [8] Tsuji, H., Poly (lactide) stereocomplexes: formation, structure, properties, degradation, and applications. Macromolecular Bioscience 5(2005) : 569–597.

- [9] Wee, Y.J., Kim, J.N., Yun, J.S. and Ryu, H.W., Utilization of sugar molasses for economical l(+)-lactic acid production by batch fermentation of *Enterococcus faecalis*. Enzyme and Microbial Technology. 35(2004) : 568–573.
- [10] Kulcsar, E. and Nagy E., Enzyme facilitated enantioselective transport of (L)-lactic acid through membrane. Hungarian Journal of industrial Chemistry 37(2009) : 77-81.
- [11] Ohara, H., Biorefinery. Applied Microbiology Biotechnology 62(2003) : 474–477.
- [12] Yasuniwa, M., Tsubakihara S., Iura K., Ono Y., Dan Y., and Takahashi K. Crystallization behavior of poly(L-lactic acid). Polymer 47 (2006) : 755-7563.
- [13] Lunt, J., Large-scale production, properties and commercial applications of polylactic acid polymers. Polym. Degrad. Stabil. 59 (1998): 145–152.
- [14] Yokota, M., Takahashi, Y., Sato, A., Kubota, N., Masumi, F. and Takeuchi, H., Purity drop in optical resolution of dl-methionine by the diastereomer method. Chemical Engineering Science 53(1998) : 1473–1479.
- [15] Pickering, P.J. and Chaudhuri, J.B., Enantioselective extraction of (D)-phenylalanine from racemic (D/L)-phenylalanine using chiral emulsion liquid membranes. Journal of Membrane Science 127 (1997) : 115-130.
- [16] Schuur, B., Winkelman, J.G.M. and Heeres, H.J., Equilibrium studies on enantioselective liquid–liquid amino acid extraction using a cinchona alkaloid extractant. Industrial & Engineering Chemistry Research. 47(2008): 10027–10033.
- [17] Viegas, R.M.C., Afonso, C.A.M., Crespo, J.G. and Coelho, I.M., Modelling of the enantio-selective extraction of propranolol in a biphasic system. Separation and Purification Technology 53 (2007): 224–234.
- [18] Tang, K.W., Chen, Y.Y. and Liu, J.J., Resolution of zopiclone enantiomers by biphasic recognition chiral extraction. Separation and Purification Technology 62 (2008): 683–688.

- [19] Schuur, B., Hallett, A.J., Winkelman, J.G.M., Vries, D.J.G. and Heeres H.J., Scalable enantioseparation of amino acid derivatives using continuous liquid–liquid extraction in a cascade of centrifugal contactor separators. Organic Process Research & Development (2009) : 911–914.
- [20] Schlosser, S., Kertsz, R. and Martk, J., Recovery and separation of organic acids by membrane-based solvent extraction and pertraction-an overview with a case study on recovery of MPCA. Separation and Purification Technology 41 (2005) : 237–266.
- [21] Sunsandee, N., Leepipatiboon, N., Ramakul, P. and Pancharoen, U., The selective separation of (S)-amlodipine via a hollow fiber supported liquidmembrane: Modeling and experimental verification. Chemical Engineering Journal 180 (2012) : 299– 308.
- [22] Pancharoen, U., Wongsawa, T. and Lothongkum, A.W., A Reaction Flux Model for Extraction of Cu (II) with LIX84I in HFSLM. Separation Science and Technology 46(2011).
- [23] Afonso, C.A.M. and Crespo, J.G., Recent advances in chiral resolution through membrane-based approaches. Angewandte Chemie International Edition 43(2004) : 5293–5295.
- [24] Coelho, I.M., Cardoso, M.M., Viegas, R.M.C. and Crespo, J.P.S.G., Transport mechanisms and modelling in liquid membrane contactors. Separation and Purification Technology 19(2000) : 183–197.
- [25] Rogers, J.D. and Long, R., Modeling hollow fiber membrane contactors using film theory, Voronoi tessellations, and facilitation factors for systems with interface reactions. Journal Membrane Science 134 (1997) : 1-17.
- [26] Pancharoen, U., Ramakul, P. and Pattweekongka, W., Purely Extraction and Separation of Mixture of Cerium (IV) and Lanthanum (III) Via Hollow Fiber Supported Liquid Membrane. Separation Science and Technology 11(2005) : 926-931.

- [27] Pattweekongka, W., Ramakul, P., Assabumrungrat, S. and Pancharoen, U., Transport of Cerium, Lanthanum, Neodymium and palladium Via Hollow Fiber Supported Liquid Membrane base on equilibrium theory. Journal of Chinese institute of chemical engineering 37(2006) : 227-238.
- [28] Danesi, R. and Rickert G., Some Observation on the performance of hollow fiber supported liquid membrane for Co-Ni separation. Sovent extraction and Ion exchange 4(1986) : 149-164.
- [29] Hadik, P., Szabó, L.P. and Nagy, E., D,L-Lactic acid and d,l-alanine enantioseparation by membrane process. Desalination 148(2002) : 193-198.
- [30] Tang, K.W., Zhou, C.S. and Jiang, X.Y., Racemic ofloxacin separation by supported liquid membrane extraction with two organic phase. Science in China Series B: Chemistry 46(2003) : 96-103.
- [31] Hadik, P., Szabó, L.P., E. Nagy, N. and Farkas, Z., Enantioseparation of D,L-lactic acid by membrane techniques. Journal of Membrane Science 251(2005) : 223–232.
- [32] Jiao, F.P., Huang K.L., Peng, X.H., Zhao, X.H. and Yu, J.G., Hollow fiber liquid-supported membrane technology for enantioseparation of racemic salbutamol by combinatorial chiral selector. Journal of Central South University of Technology 13(2006) : 39-43.
- [33] Huang, D.S., Huang, K.L., Chen, S.P., Liu, J.G. and Yu, S.Q., Enantioseparation of racemic α -cyclohexyl-mandelic acid across hollow fiber supported liquid membrane. Journal of the Brazilian Chemical Society 19(2008) : 557-562.
- [34] Huang, D.S., Huang, K.L., Chen, S.P. and Liu, S.Q., Rapid reaction diffusion model for the enantioseparation of phenylalanine across hollow fiber supported liquid membrane. Separation Science and Technology 43(2008) : 259-272.
- [35] Wang, Z., Cai, C., Lin, Y., Bian, Y., Guo, H. and Chen, X., Enantioselective separation of ketoconazole enantiomers by membrane extraction. Separation and Purification Technology 79(2011) : 63-71.

- [36] Naksang, C., Sunsandee, N., Thamphiphit, N., Pancharoen, U., Ramakul P. and Leepipatpiboon, N., Synergistic Enantioseparation of Rac-Phenylalanine via Hollow Fiber Supported Liquid Membrane. Separation Science and Technology 48 (2013) : 867–876.
- [37] IUPAC, Enantiomer. The Second Edition of Compendium of Chemical Terminology (1997).
- [38] IUPAC, Basic Terminology of Stereochemistry. Pure Applied Chemistry 68 (1996) : 2193–2222.
- [39] Moss, G.P., Basic terminology of stereochemistry Pure Applied Chemistry 68(1996) : 2205.
- [40] Lockwook, L.B., Lactic acid. Annals of the New York Academy of Science 119(1965) : 354-867.
- [41] Litchfield, J.H., Microbiological production of lactic acid. Advances in Applied Microbiology 42(1996) : 45-95.
- [42] Mulligan, C.N., Safi, B.F. and Groleau, D., Continuous production of ammonium lactate by streptococcus-cremoris in a 3-stage reactor. Biotechnology Bioengineering 38(1991) : 1173–1181.
- [43] Ewaschuk, L.B., Zello, G.A., Naylor, J.M. and Brocks, D.R., Metabolic acidosis: separation methods and biological relevance of organic acids and lactic acid enantiomers. Journal of Chromatography B 781(2002) : 39–56.
- [44] Vaidya, A.N., Pandey, R.A., Mudliar, S., Kumar, M.S., Chakrabarti, T. and Devotta, S., Production and recovery of lactic acid for polylactide-an overview. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 35(2005) : 429-467.
- [45] Inoue, Y., Shinka, T., Ohse, M., Kohno, M., Konuma, K., Ikawa, T. and Kuhara, T., Change in urinary level and configuration ratio of D-lactic acid in patients with short bowel syndrome. Journal of Chromatography B. 855(2007) : 109-114.

- [46] Jehanno, D., Thuault, D. and Bourgeois, C. M., Development of a Method for Detection of Lactic Acid Bacteria Producing Exclusively the L-(+)-Isomer of Lactic Acid. Applied and Environmental Microbiology 58(1992) : 4064-4067.
- [47] Tan, B., Luo, G., Qi, X. and Wang, J., Enantioselective extraction of d,l-tryptophan by a new chiral selector: Complex formation with di(2-ethylhexyl)phosphoric acid and O,O'-dibenzoyl-(2R,3R)-tartaric acid. Separation and Purification Technology 49(2006): 186–191.
- [48] Jiao, F. P., Chen, X. Q., Hu W.G., Ning, F. R. and Huang, K. L., Enantioselective extraction of mandelic acid enantiomers by L-dipentyl tartrate and β -cyclodextrin as binary chiral selectors. Chemical Papers 61(2007) : 326-328.
- [49] Tan, B., Luo G. and Wang, J., _Extractive separation of amino acid enantiomers with co-extractants of tartaric acid derivative and Aliquat-336. Separation and Purification Technology 53 (2007) : 330-336.
- [50] Sunsandee, N., Ramakul, P., Pancharoen, U. and Leepipatpiboon, N., Enantioseparation of (S)-amlodipine from pharmaceutical industry wastewater by stripping phase recovery via HFSLM: Polarity of diluent and membrane stability investigation. Separation and Purification Technology 116(2013) : 405–414.
- [51] Hadik, P., Kotsis, L., Eniszné-Bódogh, M., Szabó, L.P. and Nagy, E., Lactic acid enantioseparation by means of porous ceramic disc and hollow fiber organic membrane. Separation and Purification Technology 41(2005) : 299–304.
- [52] Yang, Q. and Chung, T., Modification of the commercial carrier in supported liquid membrane system to enhance lactic acid flux and to separate l,d-lactic acid enantiomers. Journal of Membrane Science 294(2007) : 127–131.
- [53] Strathman, H., Giorno, L. and Drioli, E., An introduction to membrane science and technology. Publisher CNR Roma ISBN 88-8080-063-9.
- [54] Ramakul, P. and Pancharoen, U., Synergistic, extraction and separation of mixture of lanthanum and neodymium by hollow fiber supported liquid membrane. Korean journal of chemical engineering 20(2003) : 724-730.

- [55] Tavlaride, L., Bae, J. and Lee, C., Solvent extraction, membrane, and ion exchange in hydro-metallurgical dilute metals separation. Separation Science and Technology 22(1987) : 2175-2201.
- [56] Subramanian G., Chiral Separation Techniques: A Practical Approach, Second, completely revised and updated edition. Wiley-VCH Verlag GmbH ISBNs: 3-527-29875-4 58 (2001)
- [57] Danesi, P.R., A simplified model for the coupled transport of metal ions through hollow fiber supported liquid membranes. Journal of Membrane Science. 20 (1984) : 231-248.
- [58] Kumar, A., Benzal, G., Ninou, R. and Sastre, A.M., Use of modified membrane carrier system for recovery of goldcyanide from alkaline cyanide media using hollow fiber supported liquid membranes: feasibility studies and mass transfer modeling. Journal of Membrane Science 174(200) : 17-30.
- [59] Rathoone, R., Raju, B., Kumar, A., Vanugopalaan, A., Singh, R., Bajpai, D. and Shukla, J., Hollow Fiber Support Liquid Membrane: A Novel Technique for Separation and Recovery of Plutonium from Aqueous Acidic Waste. Journal of Membrane Science 189(2001) : 119-128.
- [60] Ramakul, P., Songkun, E., Pattweekongka, W., Hronee M. and Pancharoen, U., Permeation study on the hollow-fiber supported liquid membrane for the extraction of Cobalt(II). Korean Journal of chemical engineering 23(2006) : 117-123.
- [61] Bird, R.B. and John, Wiley & Sons., Extraction of cadmium and copper using hollow fiber supported liquid membranes. Journal of Membrane Science 146(1960) : 185-195.
- [62] Aamrania, F.Z. El., Kumara, A., Beyerb, L., Floridoa, A. and Sastrea, A.M., Mechanistic study of active transport of silver (I) using sulphur containing novel carriers across liquid membrane. Journal Membrane Science 152 (1999) : 263–275.
- [63] Wannachod, P., Chaturabul, S., Pancharoen, U., Lothongkum, A.W. and Patthaveekongka, W., The effective recovery of praseodymium from mixed rare earths via a hollow

- fiber supported liquid membrane and its mass transfer related. Journal of Alloys and Compounds 509 (2011) : 354–361.
- [64] Nollet, M.L.L. and Toldra, F., Food Analysis HPLC Third Edition. CRC Press : 444.
- [65] Tan, B., Luo, G. and Wang, J., Extractive separation of amino acid enantiomers with co-extractants of tartaric acid derivative and Aliquat-336. Separation and Purification Technology 53(2007) : 330.
- [66] Desh, H., Henry Louis Le Chatelier 1850-1936 Obituary Notices of Fellows of the royal Society 2(6) : 250-226.
- [67] Kislik, V.S., Liquid membranes : Principles and applications in chemical separations and wastewater treatment. 1st ed. Netherlands : Elsevier 2010.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ก-1 การคำนวณร้อยละการสกัดและการนำกลับแอล-แลคติกแอซิด

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$\% \text{ Extraction} = \frac{C_{f, in} - C_{f, out}}{C_{f, in}} \times 100$$

$$\% \text{ Stripping} = \frac{C_{s, out}}{C_{f, in}} \times 100$$

- เมื่อ $C_{f, in}$ = ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนขาเข้า
(มิลลิโมลต่อลิตร)
- $C_{f, out}$ = ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนขาออก
(มิลลิโมลต่อลิตร)
- $C_{s, out}$ = ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายนำกลับขาออก
(มิลลิโมลต่อลิตร)

1. การคำนวณร้อยละการสกัด

ข้อมูลจากภาคผนวก ข ตารางที่ ข-1 ที่ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA เท่ากับ 4 มิลลิโมลต่อลิตร ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายป้อนเท่ากับ 6 มิลลิโมลต่อลิตร

ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนขาเข้า = 6.002 มิลลิโมลต่อลิตร

ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนขาออก = 1.436 มิลลิโมลต่อลิตร

$$\text{ร้อยละการสกัด} = \frac{6.002 - 1.436}{6.002} \times 100$$

$$= 77.16 \text{ (ดังตารางที่ ข-3)}$$

2. การคำนวณร้อยละการนำกลับ

ข้อมูลจากภาคผนวก ข ตารางที่ ข-1 ที่ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA เท่ากับ 4 มิลลิโมลต่อลิตร ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายป้อนเท่ากับ 6 มิลลิโมลต่อลิตร

ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายนำกลับขาออก = 0.575 มิลลิโมลต่อลิตร

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการนำกลับ} &= \frac{0.575}{6.002} \times 100 \\ &= 67.45 \text{ (ดังตารางที่ ข-3)} \end{aligned}$$

ก-2 ตัวอย่างการคำนวณร้อยละส่วนเกินอินเทนทีโอเมอร์ของแอล-แลคติกแอซิด

จากสมการการคำนวณร้อยละส่วนเกินอินเทนทีโอเมอร์ สมการที่ (2.14)

ข้อมูลจากภาคผนวก ข ตารางที่ ข-1 ที่ความเข้มข้นสารละลายราซิมิกของกรดแลคติกมีอัตราส่วนของดี-แลคติกแอซิดและดี-แลคติกแอซิด เท่ากับ 50:50 ของความเข้มข้นทั้งหมด

ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนขาเข้า = 6.002 มิลลิโมลต่อลิตร

ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายนำกลับขาออก = 0.575 มิลลิโมลต่อลิตร

ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนขาออก = 6.002 - 0.575 มิลลิโมลต่อลิตร
= 5.427 มิลลิโมลต่อลิตร

ความเข้มข้นของดี-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนขาเข้า = 6.002 มิลลิโมลต่อลิตร

$$\text{ร้อยละส่วนเกินอินเทนทีโอเมอร์} = \frac{|5.427 - 6.002|}{5.427 + 6.002} \times 100$$

$$= 56.21 \text{ (ดังตารางที่ ข-1)}$$

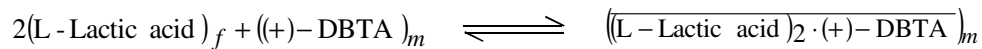
ก-3 ตัวอย่างการคำนวณค่าคงที่สมดุล (equilibrium constant, K_{ex})

จากสมการการคำนวณค่าคงที่สมดุลสมการที่ (2.15)

$$K_{ex} = \frac{\overline{[(L - \text{Lactic acid})_2 \cdot (+) - \text{DBTA}]_m}}{[(L - \text{Lactic acid})_m]^2 \overline{[(+) - \text{DBTA}]_m}}$$

วิธีการหาค่าความเข้มข้น (ข้อมูลจากภาคผนวก ข ตารางที่ ข-1)

จากปฏิกิริยาการสกัดแอล-แลคติกแอซิดและความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดเมื่อใช้สารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA เท่ากับ 4 มิลลิโมลต่อลิตร



ความเข้มข้นของแลคติกแอซิดในสารละลายป้อนขาเข้า = 6.002 มิลลิโมลต่อลิตร

ความเข้มข้นแลคติกแอซิดในสารละลายป้อนขาออก = 1.436 มิลลิโมลต่อลิตร

ความเข้มข้นของแลคติกแอซิดที่หายไปทำปฏิกิริยา = 6.002-1.436 มิลลิโมลต่อลิตร
= 4.566 มิลลิโมลต่อลิตร

ดังนั้นความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดที่หายไปทำปฏิกิริยาหรือความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อน $[(L - \text{Lactic acid})_2 \cdot ((+) - \text{DBTA})_2]$ ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาการแยกแลคติกแอซิดมีค่าเท่ากับ 4.566 มิลลิโมลต่อลิตร

ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เวลาเริ่มต้นมีค่า ดังนี้

$$\begin{aligned} [L - \text{Lactic acid}] &= \text{ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนขาเข้า} \\ &= 6.002 \text{ มิลลิโมลต่อลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [(+) - \text{DBTA}]_2 &= \text{ความเข้มข้นของสารสกัด (+)-DBTA} \\ &= 4 \text{ มิลลิโมลต่อลิตร} \end{aligned}$$

ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่สมดุลมีค่า ดังนี้

$$\begin{aligned} [\text{L-Lactic acid}] &= \text{ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดในสารละลายป้อนขาออก} \\ &= 0.575 \text{ มิลลิโมลต่อลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [(\text{+})\text{-DBTA}]_2 &= \text{ความเข้มข้นของสารสกัด (+)-DBTA} \\ &= 4-2(6.002) \text{ มิลลิโมลต่อลิตร} \\ &= 3.913 \text{ มิลลิโมลต่อลิตร} \end{aligned}$$

ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ที่สมดุลมีค่า ดังนี้

$$\text{สารประกอบเชิงซ้อน } [(\text{L-Lactic acid})_2((\text{+})\text{-DBTA})_2] = 2.150 \text{ มิลลิโมลต่อลิตร}$$

$$\text{ดังนั้น } [(\text{L-Lactic acid})_2((\text{+})\text{-DBTA})_2] = 2.150 \text{ มิลลิโมลต่อลิตร}$$

$$\begin{aligned} \text{และ } [(\text{L-Lactic acid})][(\text{+})\text{-DBTA}] &= 2.250(3.913) \text{ มิลลิโมลต่อลิตร} \\ &= 2.250 \text{ มิลลิโมลต่อลิตร} \end{aligned}$$

สร้างกราฟระหว่าง $[(\text{L-Lactic acid})_2((\text{+})\text{-DBTA})_2]$ กับ $[(\text{L-Lactic acid})][(\text{+})\text{-DBTA}]$ แสดงดังรูปที่ 4.6 และหาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการแยกแอล-แลคติกแอซิด (K_{ex}) จากความชันของกราฟได้เท่ากับ 1.354

ก-4 ตัวอย่างการคำนวณสัมประสิทธิ์การแพร่ผ่าน (permeability coefficient, P)

สัมประสิทธิ์การแพร่ผ่านคำนวณจากสมการที่ (2.18) ที่ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครล์ (+)-DBTA เท่ากับ 2 มิลลิโมลต่อลิตรโดยใช้สมการของ Denesi ที่เวลา 20 นาที (ข้อมูลจากภาคผนวก ข ตารางที่ ข-3)

$$-V_f \ln \left(\frac{C_f}{C_{f0}} \right) = AP \frac{\beta}{\beta + 1} t$$

โดย

$$\beta = \frac{Q_f}{PL\epsilon\pi Nr_i}$$

เมื่อ

P	=	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (เซนติเมตรต่อวินาที)
$C_{f,0}$	=	ความเข้มข้นของอิแนนทีโอเมอร์ดีแอล-แลคติกแอซิดที่เวลา เริ่มต้น (โมลต่อลิตร)
C_f	=	ความเข้มข้นของอิแนนทีโอเมอร์ดีแอล-แลคติกแอซิดที่เวลา t (โมลต่อลิตร)
A	=	พื้นที่การถ่ายโอนมวล (ตารางเซนติเมตร)
V_f	=	ปริมาตรของสารละลายป้อน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
Q_f	=	อัตราการไหลของสารละลายป้อน (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที)
L	=	ความยาวของเส้นใยกลวง (เซนติเมตร)
N	=	จำนวนเส้นใยกลวงในโมดูล (เส้น)
r_i	=	รัศมีภายในของเส้นใยกลวง (เซนติเมตร)
ε	=	ความพรุนของเส้นใยกลวง
π	=	3.1416

แทนค่าในสมการ

$$-5,000 \left(\frac{4.672}{6.002} \right) = 1.40 \times 10^{-4} P \frac{\beta}{\beta + 1} t$$

$$\beta = \frac{100}{P \times 20.3 \times 0.3 \times \pi \times 10,000 \times 0.012}$$

$$-5,000 \left(\frac{4.672}{6.002} \right) = 1.4 \times 10^{-4} \frac{0.0435}{0.0435P + P^2} t$$

สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $-v_f \ln \left(\frac{C_f}{C_{f,0}} \right)$ กับเวลา ได้ความชันในแต่ละช่วงความเข้มข้น และนำค่าความชันไปหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ผ่านแต่ละความเข้มข้นพบว่าที่ 2 มิลลิโมลต่อลิตร มีความชัน คือ

ความชันที่ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครด์ (+)-DBTA เท่ากับ 2 มิลลิโมลต่อลิตร คือ ดังนั้น

$$3.763 = 1.4 \times 10^{-4} P \frac{\beta}{\beta + 1}$$

$$P = 1.14 \times 10^{-4}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ผ่านของแอล-แลคติกแอซิด (P) ที่ความเข้มข้นของสารชนิดไครด์ (+)-DBTA เท่ากับ 2 มิลลิโมลต่อลิตร มีค่า 1.14×10^{-4} เซนติเมตรต่อวินาที

ก-5 ตัวอย่างการคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของแอล-แลคติกแอซิดในวัฏภาคสารละลายป้อน (k_f) และวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว (k_m)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของแอล-แลคติกแอซิดคำนวณจากสมการที่ (2.20) คำนวณที่สารสกัดชนิดไครด์ (+)-DBTA เท่ากับ 2 มิลลิโมลต่อลิตร โดยพิจารณาจากการถ่ายเทมวลจากความต้านทานการแพร่ผ่านจากวัฏภาคสารละลายป้อนและวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว

พิจารณาการถ่ายเทมวลจากความต้านทานการแพร่จากวัฏภาคสารละลายป้อน และวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{k_f} + \frac{r_i}{r_{lm}} \frac{1}{P_m} + \frac{r_i}{r_0} \frac{1}{k_s}$$

โดยที่

$$r_{lm} = \frac{r_0 - r_i}{\ln \left(\frac{r_0}{r_i} \right)}$$

- เมื่อ r_{lm} = รัศมี Log-mean ของเส้นใยกลวง (เซนติเมตร)
- r_0 = รัศมีภายนอกของเส้นใยกลวง (เซนติเมตร)
- r_i = รัศมีภายในของเส้นใยกลวง (เซนติเมตร)
- k_f = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน
(เซนติเมตรต่อวินาที)

จากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ และ $(r_i/r_m)(1/K_{ex}[L\text{-Lactic acid}]_f[(+)\text{-DBTA}]_m$ จากสมการที่ (2.20) สร้างกราฟที่ความเข้มข้นของสารสกัดชนิด ไครัล (+)-DBTA ต่างๆ โดยพิจารณาจากการถ่ายเทมวลจากความต้านทาน ดังรูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/P$ กับ $1/[L\text{-Lactic acid}]_f[(+)\text{-DBTA}]_m$ ที่ความเข้มข้นของสารสกัดชนิด ไครัล (+)-DBTA ในสารละลายเชื้อแผ่นเหลวในหลอดของเส้นใยกลวง 2-10 มิลลิเมตรต่อลิตร

จะได้สมการเส้นตรง คือ

$$\frac{1}{P} = 37.41X + 25.721$$

ดังนั้น $\frac{1}{k_f} = 25.721$; $k_i = 3.89 \times 10^{-5}$ เซนติเมตรต่อวินาที

$\frac{1}{k_m} = 37.41$; $k_m = 2.67 \times 10^{-6}$ เซนติเมตรต่อวินาที

ภาคผนวก ข

ข้อมูลดิบและผลการคำนวณ

ตารางที่ ข-1 การคำนวณร้อยละส่วนเกินอินเนนทีโอเมอร์ ร้อยละการสกัด และการนำกลับแอล-แลคติกแอซิดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง จากการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อน

ความเข้มข้นของ กรดแลคติก ในสารละลายป้อน (มิลลิโมลต่อลิตร)	สารละลายป้อน (มิลลิโมลต่อลิตร)		สารละลายนำกลับขาออก (มิลลิโมลต่อลิตร)	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ	ร้อยละส่วนเกิน อินเนนทีโอเมอร์
	ขาเข้า	ขาออก				
2	2.003	0.534	0.278	73.33	62.72	50.20
4	4.011	0.916	0.345	76.07	65.19	54.69
6	6.002	1.436	0.575	77.16	67.45	56.21
8	8.001	1.975	0.975	75.31	65.73	49.78
10	10.020	2.685	1.763	73.21	63.53	46.02

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง: $[(+)\text{-DBTA}]_m = 4$ มิลลิโมลต่อลิตร, สารละลายนำกลับนำกลับ, $Q_f = Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่อนาที, ปฏิบัติการแบบไหลวนสวนทางกัน

ตารางที่ ข-2 การคำนวณร้อยละส่วนเกินอินเนทไอโอเมอร์ของแอล-แลคติกแอซิดด้วยเชื้อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงจากการศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายป้อน

ความเป็นกรด-เบส	สารละลายป้อน (มิลลิโมลต่อลิตร)		สารละลายนำกลับขาออก (มิลลิโมลต่อลิตร)	ร้อยละส่วนเกิน อินเนทไอโอเมอร์
	ขาเข้า	ขาออก		
1.0	6.015	2.746	0.292	8.96
2.0	6.010	2.679	0.359	9.75
3.0	6.005	2.072	0.415	9.86
4.0	6.020	3.101	0.662	75.69
5.0	6.002	2.335	0.681	15.26
6.0	6.006	2.726	0.698	11.23
7.0	6.011	2.689	0.671	10.02

สถานะที่ใช้ในการทดลอง: $[(+)\text{-DBTA}]_m = 4$ มิลลิโมลต่อลิตร, $[\text{L-Lactic acid}]_f = 6$ มิลลิโมลต่อลิตร, สารละลายนำกลับน้ำกลั่น, $Q_f = Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่ออนาที, ปฏิบัติการแบบไหลวนสวนทางกัน

ตารางที่ ข-3 ความเข้มข้นของแอล-แลคติกแอซิดจากการเปรียบเทียบชนิดของสารสกัดด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายที่ใช้คำนวณร้อยละการสกัด

ชนิดสารสกัด	สารละลายป้อน (มิลลิโมลต่อลิตร)		สารละลายนำกลับขาออก (มิลลิโมลต่อลิตร)		ร้อยละการสกัด
	ขาเข้า	ขาออก	[D-(-)-Lactic acid]	[L-(+)- Lactic acid]	
Aliquat 336	6.062	5.176	0.342	0.790	-
D2EHPA	6.001	3.866	-	0.001	-
(+)-DBTA	6.006	3.009	-	0.689	48.96
Aliquat 336 + (+)DBTA	6.023	4.027	-	0.792	49.56

สถานะที่ใช้ในการทดลอง : [L-Lactic acid]_f = 6 มิลลิโมลต่อลิตร, สารละลายนำกลับน้ำกลั่น, อัตราเร็วการปั่นกววน 100 รอบต่อนาที

ตารางที่ ข-4 การคำนวณร้อยละส่วนเกินอินเทนทีโอเมอร์ส่วนเกิน ร้อยละของการสกัดและการนำกลับแอล-แลคติกแอซิดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วย
เส้นใยกลวงจากการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลว

ความเข้มข้นของ สารสกัด (+)-DBTA (มิลลิโมลต่อลิตร)	สารละลายป้อน (มิลลิโมลต่อลิตร)		สารละลายนำกลับขาออก (มิลลิโมลต่อลิตร)	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ	ร้อยละส่วนเกิน อินเทนทีโอเมอร์
	ขาเข้า	ขาออก				
2	6.023	2.736	0.298	54.57	45.75	42.31
4	6.010	2.689	0.344	65.32	54.30	52.30
6	6.005	2.082	0.577	64.32	53.78	51.86
8	6.002	2.325	0.985	61.26	53.64	51.35
10	6.050	3.101	1.783	48.75	45.66	42.56

สถานะที่ใช้ในการทดลอง: $[LA]_f = 6$ มิลลิโมลต่อลิตร, สารละลายนำกลับน้ำกลั่น, $Q_f = Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่อนาที, ปฏิบัติการแบบไหลวนสวน
ทางกัน

ตารางที่ ข-5 การคำนวณร้อยละส่วนเกินอินแนนทีโอเมอร์ ร้อยละการสกัด และการนำกลับแอล-แลคติกแอซิดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง จากการศึกษาผลของอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ

อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อนาที)	สารละลายป้อน (มิลลิโมลต่อลิตร)		สารละลายนำกลับขาออก (มิลลิโมลต่อลิตร)	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ	ร้อยละส่วนเกิน อินแนนทีโอเมอร์
	ขาเข้า	ขาออก				
50	6.005	1.551	0.252	74.17	71.30	54.98
100	6.001	1.367	0.369	77.22	73.98	55.71
150	6.015	1.480	0.418	75.39	69.02	54.98
200	6.012	1.794	0.641	70.15	64.92	49.97

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง: $[(+)\text{-DBTA}]_m = 4$ มิลลิโมลต่อลิตร, $[\text{L-Lactic acid}]_f = 6$ มิลลิโมลต่อลิตร, $\text{pH} = 4$, ปฏิบัติการแบบไหลวนสวนทางกัน

ตารางที่ ข-6 การคำนวณร้อยละอินเนนทีโอเมอร์ส่วนเกิน ร้อยละการสกัด และการนำกลับแอล-แลคติกแอซิดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง จากการศึกษาผลของจำนวนรอบในการดำเนินการ

จำนวนรอบ ในการดำเนินการ	สารละลายป้อน (มิลลิโมลต่อลิตร)		สารละลายนำกลับขาออก (มิลลิโมลต่อลิตร)	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ	ร้อยละส่วนเกิน อินเนนทีโอเมอร์
	ขาเข้า	ขาออก				
1	6.002	1.506	0.263	74.90	69.85	54.75
2	6.007	1.488	0.375	75.23	69.96	54.98
3	6.005	1.482	0.425	75.32	70.01	55.12
4	6.011	1.396	0.661	76.77	70.79	55.98
5	6.010	1.349	0.324	76.86	72.55	56.12
6	6.005	1.428	0.356	77.22	73.98	55.71

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง: $[(+)\text{-DBTA}]_m = 4$ มิลลิโมลต่อลิตร, $[\text{LA}]_f = 6$ มิลลิโมลต่อลิตร, $\text{pH} = 4$, $Q_f = Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่อนาที, ปฏิบัติการแบบไหลวนสวนทางกัน

ตารางที่ ข-7 ความเข้มข้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อนขาออกจากการทดลองและการคำนวณด้วยแบบจำลองการถ่ายเทมวลที่ความเข้มข้นของสารสกัดชนิดไครัล (+)-DBTA และเวลาการสกัดต่างๆ

ความเข้มข้นของ สารสกัด (+)-DBTA มิลลิโมลต่อลิตร	ความเข้มข้นของกรดแลคติกในสารละลายป้อนขาออก (มิลลิโมลต่อลิตร)									
	2		4		6		8		10	
เวลา (นาที)	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ
0	6.002	6.040	6.007	6.011	6.020	6.015	6.113	6.105	6.030	6.010
5	5.776	6.001	5.221	5.336	5.895	5.976	6.102	5.882	5.917	5.776
10	5.614	5.757	4.798	5.032	5.546	5.712	5.618	5.492	5.903	5.699
15	5.491	5.644	4.652	4.729	5.421	5.573	5.156	4.889	5.894	5.544
20	5.398	5.532	4.221	4.428	5.298	5.401	4.996	4.691	5.547	5.234
25	5.217	5.420	3.893	3.902	4.877	5.225	4.875	4.547	5.471	5.003
30	5.072	5.309	3.298	3.831	4.772	5.051	4.786	4.474	5.037	4.798
40	4.971	5.088	2.847	3.240	4.291	4.704	4.596	4.373	4.783	4.535
50	4.672	4.987	2.373	2.654	3.972	4.361	4.398	3.978	4.581	4.135

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง: $[(+)\text{-DBTA}]_m = 4$ มิลลิโมลต่อลิตร, $[\text{L-Lactic acid}]_f = 6$ มิลลิโมลต่อลิตร, $\text{pH} = 4$, $Q_f = Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่อนาที
ปฏิบัติการแบบไหลวนสวนทางกัน

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นางสาวอมรรัตน์ ศรีปริเปรม

เกิด วันที่ 16 กุมภาพันธ์ ที่อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี

การศึกษา

พ.ศ. 2545 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและมัธยมศึกษาตอนต้นตอนปลาย จากโรงเรียนศรีบุญยานนท์ อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี

พ.ศ. 2549 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

พ.ศ. 2552 เข้าศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสบการณ์

พ.ศ. 2549 เข้าทำงานบริษัท เซเลสติกา ประเทศไทย จำกัด ฝ่ายกระบวนการผลิต

ทุนสนับสนุนการวิจัย

พ.ศ. 2552 โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลงานทางวิชาการ

Amornrat Sripriprem, Ura Pancharoen, and Anchaleeporn W. Lothongkum. Enantioselectivity of Lactic acid by Hollow Fiber Supported Liquid Membrane. The Second International Conference on Materials, Energy and Environments (ICMEE), August 08-09, 2013, Yokohama, Japan.