

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทำงานของเครื่องแยกสารผสมกลูโคส-ฟรุคโตสแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง

PERFORMANCE OF A SIMULATED MOVING BED
FOR GLUCOSE-FRUCTOSE SEPARATION



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**62711**
วัน,เดือน,ปี.....**21 ส.ค. 2549**

b.....**11628241**
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PERFORMANCE OF A SIMULATED MOVING BED
FOR GLUCOSE-FRUCTOSE SEPARATION**



**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING
IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง

การทำงานของเครื่องแยกสารผสมกลูโคส-ฟรุคโตส
แบบเบดเคลื่อนที่จำลอง

จัดทำโดย

นางสาว จีรพร กลั่นหวาน เลขประจำตัว 45010132
นางสาว พรรณิกา ฤาโชคชัย เลขประจำตัว 45010507

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ดวงกมล ฉนวนอง

ปริญญานิพนธ์

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทำงานของเครื่องแยกสารผสมกลูโคส-ฟรุคโตสแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง ซึ่งมีโพลีสไตรีน-ไดไวนิลเบนซีนในรูปแคลเซียม (Poly (styrene-divinylbenzene) in calcium form) เป็นตัวดูดซับ โดยอาศัยแบบจำลอง ของ Kenji Hashimoto และคณะ การศึกษานี้แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ การทดลองเพื่อหาค่าคงที่สมดุลการดูดซับ และการคำนวณด้วยแบบจำลองเพื่ออธิบายประสิทธิภาพของเครื่องแยกสาร จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ได้ค่าคงที่สมดุลการดูดซับของสารละลายฟรุคโตสเท่ากับ 1.116, 0.804 และ 0.690 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และได้ค่าคงที่สมดุลการดูดซับของสารละลายกลูโคสเท่ากับ 0.521, 0.241 และ 0.146 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ คิดเป็นอัตราส่วนการดูดซับของสารละลายฟรุคโตสต่อสารละลายกลูโคส เท่ากับ 2.14, 3.33 และ 4.74 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ จำนวนภายใต้สภาวะปฏิบัติงานในช่วง อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเชิงเส้นของสารผสมตั้งแต่ 0.0005-0.0009 เมตรต่อวินาที และเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่ง ตั้งแต่ 30 - 270 วินาที โดยใช้ค่าคงที่สมดุลที่ได้จากการทดลองทำให้ทราบว่า อัตราการไหลเชิงเส้นของสารผสมที่ทำให้เกิดการแยกของน้ำตาลฟรุคโตสและน้ำตาลกลูโคสที่เหมาะสมที่สุด ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในโซนที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 0.0005, 0.0008, 0.0008 และ 0.0009 เมตร/วินาที ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในโซนที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 0.0005, 0.0005, 0.0005 และ 0.0008 เมตร/วินาที ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในโซนที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 0.0005, 0.0005, 0.0005 และ 0.0008 เมตร/วินาที ตามลำดับ และเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งป้อนสารเข้าและดึงสารออก ที่ทำให้เกิดการแยกของน้ำตาลฟรุคโตสและน้ำตาลกลูโคสออกจากสารผสมมากที่สุด ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส เท่ากับ 120, 90 และ 90 วินาที ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Performance of a simulated moving bed
for glucose-fructose separation.

By Miss Jiraporn Klanwan ID.NO. 45010132
Miss Pannipa Ruechokchai ID.NO. 45010507

Advisor Assist. Prof. Dr. Duangkamol Na-Ranong

Report for Bachelor Degree of Engineering (Chemical Engineering)
Department of Chemical Engineer
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This research was conducted to study the performance of a simulated moving-bed for glucose-fructose separation according to the model proposed by Kenji Hashimoto et al. Poly (styrene-divinylbenzene) in calcium form was used as an adsorbent. The study was divided into 2 parts: determination of adsorption equilibrium constants from experiments and model calculation for evaluating performance of the separator. The results showed that the adsorption equilibrium constants for fructose (K_f) were 1.116, 0.804 and 0.690 ml/g at 40, 50 and 60 °C, respectively. Those for glucose (K_g) were 0.521, 0.241 and 0.146 ml/g, respectively. The ratio of K_f ; K_g for each temperature was 2.14, 3.33 and 4.74 ml/g, respectively. The calculation have done using the estimated adsorption constants for the operating conditions of flow rate in the range of 0.0005-0.0009 m/s and switching time from 30 to 270 s. The results showed that the optimum flow rate of mixture to separate glucose-fructose mixture at 40 °C at zone 1, 2, 3 and 4 were 0.0005, 0.0008, 0.0008 and 0.0009 m/s, respectively at 50 °C at zone 1, 2, 3 and 4 were 0.0005, 0.0005, 0.0005 and 0.0008 m/s, respectively and at 60 °C at zone 1, 2, 3 and 4 were 0.0005, 0.0005, 0.0005 and 0.0008 m/s, respectively and the optimum switching time at 40, 50 and 60 °C were 120, 90 and 90 s., respectively.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ผศ.ดร. ดวงกมล ณ ระนอง ผู้ให้คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องของงานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัทสยามศรีอารยเทพ ที่ให้ความอนุเคราะห์เรซินแลกเปลี่ยนประจุเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณ รัตนากร ขวงสวัสดิ์ และ คุณ วิชุดา ไชยเขตต์ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี อาจารย์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้ทำการวิจัย ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ในการคิดแก้ปัญหา พัฒนาและนำมาประยุกต์ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอขอบแต่ ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยไว้ ณ ที่นี้

นางสาวจิรพร กลั่นหวาน
นางสาวพรธนิภา ฤาไชยชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
รายการสัญลักษณ์.....	IX
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎี.....	4
2.1.1 สารให้ความหวาน.....	4
2.1.2 ปฏิกริยาที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส.....	6
2.1.3 เครื่องแยกสารผสม โดยอาศัยความแตกต่างของความสามารถ ในการดูดซับขององค์ประกอบ.....	6
2.1.4 เครื่องแยกสารผสมแบบต่อเนื่อง.....	7
2.1.5 การวัดค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของฟรุกโตสและกลูโคส.....	9
2.1.6 คุณสมบัติของตัวดูดซับ โพลีสไตรีน-ไดไวนิลเบนซีนในรูปแบบเคลือบ.....	10
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการอธิบาย ปรากฏการณ์การแยกของสารผสมฟรุกโตส-กลูโคส ของเครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2 ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของฟรุกโตสและกลูโคส และผลของอัตราส่วนของการไหลของน้ำต่อสารผสม ฟรุกโตส-กลูโคสที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของ เครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง.....	12
3. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	13
3.1 การทดลองแบบกะเพื่อหาLinear adsorption isothermของฟรุกโตสและกลูโคส.....	13
3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	13
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	13
3.1.3 วิธีการทดลอง.....	13
3.2 การคำนวณหารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฟรุกโตส และกลูโคส.....	14
3.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้.....	14
3.2.2 การศึกษาผลของตัวแปรปฏิบัติงานที่มีต่อประสิทธิภาพ ในการแยกสารผสมฟรุกโตส-กลูโคสของเครื่องแยกสาร แบบเบดเคลื่อนที่จำลอง.....	17
4. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล.....	18
4.1 ผลการทดลองหาค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ.....	18
4.2 ผลการคำนวณหาประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องแยกสารผสม.....	20
4.2.1 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุกโตส และกลูโคส เมื่อพิจารณาจากตัวแปรมาตรฐาน.....	20
4.2.2 อิทธิพลของตัวแปรปฏิบัติการที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยก ของเครื่องแยกสารผสม.....	22
4.2.3 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุกโตส และกลูโคส เมื่อพิจารณาจากตัวแปรปฏิบัติงานที่เหมาะสมเริ่มต้น.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5. สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	32
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	32
5.1 ข้อเสนอแนะ.....	33
เอกสารอ้างอิง.....	34
ภาคผนวก ก.	35
ภาคผนวก ข.....	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความหวานของน้ำตาล.....	5
ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของฟรุกโตสและกลูโคสที่ได้จากการทดลอง แบบกะและแบบพัลส์.....	12
ตารางที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิต่อค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของกลูโคสและฟรุกโตส.....	19
ตารางที่ ก-1 ผลการทดลองหาค่าการดูดซับของสารละลายฟรุกโตสและกลูโคส.....	35
ตารางที่ ข-1 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคส ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องแยกสารผสมแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง เมื่อพิจารณาจาก ตัวแปรมาตรฐาน.....	36
ตารางที่ ข-2 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของสารผสมใน โซน 1 เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่.....	37
ตารางที่ ข-3 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของสารผสมใน โซน 2 เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่.....	39
ตารางที่ ข-4 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของสารผสมใน โซน 3 เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่.....	40
ตารางที่ ข-5 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของสารผสมใน โซน 4 เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ ภายใต้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	42
ตารางที่ ข-6 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคส ในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่ง เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่.....	43
ตารางที่ ข-7 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคส ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องแยกสารผสมแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง เมื่อพิจารณาจาก ตัวแปรปฏิบัติงานที่เหมาะสมเริ่มต้น.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 น้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคส.....	4
รูปที่ 2.2 การทำงานของเครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่แบบจำลอง.....	8
รูปที่ 3.1 เครื่องแยกสารแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง.....	14
รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าการดูดซับของสารละลาย (แสดงเป็นกรัมของปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อกรัมปริมาณตัวดูดซับ) ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน.....	18
รูปที่ 4.2 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องแยกสารผสม เมื่อตัวแปรปฏิบัติงานต่าง ๆ ถูกกำหนดเป็นตัวแปรมาตรฐาน.....	20
รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของกลูโคสและฟรุกโตสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของสารผสมในโซน 1 เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่.....	22
รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของกลูโคสและฟรุกโตสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของสารผสมในโซน 2 เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่.....	23
รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของกลูโคสและฟรุกโตสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของสารผสมในโซน 3 เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่.....	24
รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของกลูโคสและฟรุกโตสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของสารผสมในโซน 4 เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่.....	25
รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่ง เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่.....	27
รูปที่ 4.8 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคสเมื่อพิจารณาจากตัวแปรปฏิบัติงานที่เหมาะสมเริ่มต้น.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

L_A	ความยาวของแต่ละคอดัชนี [เมตร]
T	เวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งป้อนสารเข้าและดึงสารออก [วินาที]
N	จำนวนคอดัชนีในแต่ละโซน [-]
u	อัตราการไหลของของเหลวในตัวคูดัชนีที่เคลื่อนที่ [เมตร/วินาที]
v	อัตราการไหลของของเหลวในตัวคูดัชนีที่อยู่นิ่ง [เมตร/วินาที]
u_s	อัตราการไหลของตัวคูดัชนี [เมตร/วินาที]
C	ความเข้มข้นของสารในของเหลว [โมล/ลูกบาศก์เมตร]
C^*	ความเข้มข้นของสารในตัวคูดัชนี [โมล/ลูกบาศก์เมตร]
a_s	พื้นที่ผิวจำเพาะ [ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร]
K_f	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวม [เมตร/วินาที]
m	ค่าคงที่สมดุลของการคูดัชนี [ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม]
Q	อัตราการไหลเชิงปริมาตร [ลูกบาศก์เมตร/วินาที]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรคเบาหวานเป็นภาวะที่ร่างกายมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติ เกิดขึ้นเนื่องจากการขาดฮอร์โมนอินซูลินหรือประสิทธิภาพของอินซูลินลดลง ทำให้น้ำตาลในเลือดสูงขึ้นอยู่เป็นเวลานานและก่อให้เกิดโรคแทรกซ้อนต่ออวัยวะต่างๆ เช่น ตา ไต และระบบประสาท อินซูลินเป็นฮอร์โมนสำคัญตัวหนึ่งของร่างกาย สร้างและหลังจากเบต้าเซลล์ของตับอ่อน ทำหน้าที่เป็นตัวพาน้ำตาลกลูโคสเข้าสู่เนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย เพื่อเผาผลาญเป็นพลังงานในการดำเนินชีวิต ปัญหาที่สำคัญของผู้ป่วยโรคนี้คือจะต้องการควบคุมอาหาร โดยเฉพาะอาหารที่มีรสหวานเพื่อรักษาระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดให้อยู่ในระดับที่ไม่สูงเกินไป แต่อย่างไรก็ตามผู้ป่วยเหล่านี้มักชอบรสหวาน การบริโภคสารให้ความหวานชนิดอื่นจึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ป่วยโรคนี้

น้ำตาลฟรุกโตสเป็นสารที่ให้ความหวานสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลซูโครส ดังนั้นเมื่อต้องการบริโภคอาหารที่มีความหวานเท่ากันเราจึงบริโภคน้ำตาลฟรุกโตสเป็นปริมาณที่น้อยกว่าการบริโภคน้ำตาลกลูโคสหรือน้ำตาลซูโครส นอกจากนี้การที่น้ำตาลฟรุกโตสสามารถดูดซึมเข้าสู่เซลล์ต่างๆ ภายในร่างกายได้โดยไม่ต้องอาศัยฮอร์โมนอินซูลินเข้าช่วยทำให้ไม่เกิดปัญหาระดับน้ำตาลฟรุกโตสในเลือดสูงเกินไป แม้ว่าการทำงานของฮอร์โมนอินซูลินจะบกพร่องก็ตาม นอกจากนี้ น้ำตาลฟรุกโตสยังมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อาทิเช่น นำมาทำน้ำตาลไอซิ่งซึ่งเป็นน้ำตาลปนละเอียด มีลักษณะเด่นคือไม่จับตัวเป็นก้อน นิยมใช้ในการทำลูกกวน ขนมเค้ก ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม จะเป็นเครื่องดื่มประเภทให้พลังงานเร็ว เป็นที่นิยมกันมากในกลุ่มนักกีฬา ด้วยเหตุนี้ น้ำตาล ฟรุกโตสจึงเป็นที่นิยมใช้อย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และยารักษาโรค ซึ่งมีแนวโน้มจะมีการนำมาใช้มากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

น้ำตาลฟรุกโตสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่มีอยู่ในธรรมชาติเป็นปริมาณน้อย ดังนั้น น้ำตาลฟรุกโตสที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารจึงมักจะได้จากการเปลี่ยนรูปจากน้ำตาลซูโครส โดยผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส กลายเป็นสารผสมระหว่างน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตส จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์โดยการแยกด้วยวิธีโครมาโทกราฟี

การแยกสารผสมด้วยวิธีโครมาโทกราฟีทำได้โดยให้สารผสมน้ำตาลกลูโคส-ฟรุกโตสเคลื่อนผ่านตัวดูดซับที่อยู่หนึ่ง สารผสมน้ำตาลกลูโคส-ฟรุกโตสที่เคลื่อนที่มาจะถูกดูดซับ (adsorb) โดยตัวดูดซับที่อยู่หนึ่งด้วยอัตราที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับแรงกระทำของสารผสมกับตัวดูดซับที่อยู่หนึ่งและชนิดของตัวทำละลายที่เป็นตัวเคลื่อนที่ อย่างไรก็ตามการแยกสารผสมด้วยวิธีนี้ยังมีข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวดูดซับที่อยู่ฝั่งได้ไม่เต็มที่ สารชะที่ใช้ในการล้างสารที่ถูกดูดซับต้องใช้จำนวนมาก จึงทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น และกระบวนการแยกสารผสมโดยวิธีนี้ยังไม่เป็นแบบต่อเนื่องทำให้ต้องเสียเวลาในการหยุดเครื่องเพื่อเก็บสารผลิตภัณฑ์และป้อนสารชุดใหม่ จากข้อจำกัดนี้ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาวิธีการแยกสารผสมระหว่างน้ำตาลกลูโคสและ ฟรุคโตส โดยเครื่องดูดซับแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง เครื่องดูดซับนี้สามารถแยกสารผสมระหว่างน้ำตาลกลูโคส และฟรุคโตสออกจากกันได้อย่างต่อเนื่อง โดยการไหลสวนทางกันของตัวดูดซับและสารผสม ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้สามารถลดข้อจำกัดในการแยกสารผสมด้วยวิธีโครมาโทกราฟีได้อย่างดี และยังมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนในระดับอุตสาหกรรม

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการทำงานของเครื่องดูดซับแบบเบดเคลื่อนที่จำลองสำหรับแยกสารผสมกลูโคส-ฟรุคโตส โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทราบแนวโน้มผลกระทบของตัวแปรสถานะปฏิบัติงาน (operating parameters) ที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องแยกสารชนิดนี้ ซึ่งจะเป็ข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนากระบวนการต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถอธิบายการทำงานของเครื่องแยกของผสมฟรุคโตส-กลูโคสแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง ซึ่งมีโพลีสไตรีน-ไดไวนิลเบนซีนในรูปแคลเซียม (Poly (styrene-divinylbenzene) in calcium form) เป็นตัวดูดซับ
- 1.2.2 ศึกษาผลกระทบของตัวแปรปฏิบัติงาน (อุณหภูมิ อัตราการไหลของสารผสม และเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่ง) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของเครื่องแยกสารแบบเบดเคลื่อนที่จำลองดังกล่าว

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้แบบจำลองเบดเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง (A continuous moving bed model) เพื่ออธิบายประสิทธิภาพของเครื่องแยกสารภายใต้สถานะปฏิบัติงานของอุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารผสมตั้งแต่ 0.0005-0.0009 เมตรต่อ วินาที และเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งตั้งแต่ 30 - 270 วินาที
- 1.3.2 ทำการทดลองหาค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุคโตสบนตัวดูดซับโพลีสไตรีน-ไดไวนิลเบนซีนในรูปแคลเซียม ด้วยวิธีแบบกะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 ทำการทดลองเพื่อหาค่าคงที่สมมูลการดูดซับ
- 1.4.3 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 1.4.4 นำแบบจำลองที่ได้ไปศึกษาผลของปัจจัยที่มีต่อการแยกสาร
- 1.4.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- 1.4.6 จัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องแยกสารแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง
- 1.5.2 ทราบถึงตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องแยกสารแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง
- 1.5.3 เป็นแนวทางในการทำวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องแยกสารแบบเบดเคลื่อนที่จำลองในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

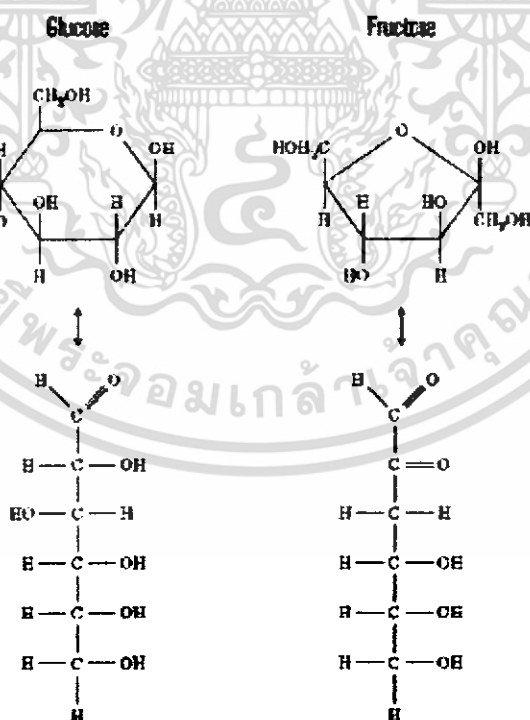
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 สารให้ความหวาน [1]

สารให้ความหวานที่นิยมบริโภคกันในปัจจุบัน คือ น้ำตาลซูโครส, กลูโคส และฟรุกโตส โดยแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างกันดังต่อไปนี้

น้ำตาลซูโครส ($C_{12}H_{22}O_{11}$) เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ (Disaccharide) เกิดจากการจับตัวของ น้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคส มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 342 ในพืชบางชนิดสามารถสังเคราะห์น้ำตาลซูโครสได้ในปริมาณสูงและเก็บไว้ในลำต้นหรือหัวได้ โดยเฉพาะอ้อยและหัวบีท เมื่อนำพืชประเภทนี้มาสกัดโดยน้ำ น้ำตาลก็จะละลายออกมาและเมื่อทำการสกัดสิ่งแปลกปลอมออก ก็สามารถคกผลึกน้ำตาลออกมาได้



รูปที่ 2.1 น้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำตาลกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) ที่มีหมู่แอลดีไฮด์เป็นหมู่ฟังก์ชันนัล มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 180 พบในผักและผลไม้ เช่น หัวแครอท อุ่น

น้ำตาลฟรุกโตส ($C_6H_{12}O_6$) เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่มีสูตรโมเลกุลเหมือนน้ำตาลกลูโคส แต่มีสูตรโครงสร้างต่างกัน เนื่องจากมีหมู่คีโตนเป็นหมู่ฟังก์ชัน พบในธรรมชาติเช่นเดียวกับน้ำตาลกลูโคส

เมื่อเปรียบเทียบการให้ความหวานของน้ำตาลทั้งสามชนิดดังกล่าว โดยกำหนดให้น้ำตาลซูโครส มีคุณสมบัติการให้ความหวานเป็นค่ามาตรฐานเท่ากับ 100 หน่วย (สารละลาย 20%) พบว่าน้ำตาลฟรุกโตสให้ความหวานมากที่สุด

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความหวานของน้ำตาล

น้ำตาล	ความหวาน (หน่วย)
ซูโครส	100
กลูโคส	70-75
ฟรุกโตส	140-175

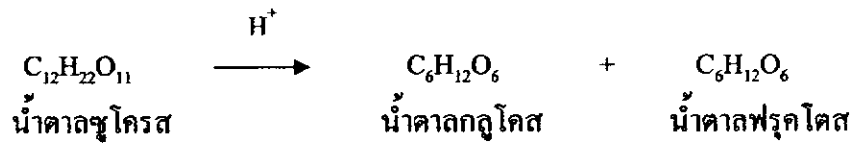
นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบการเผาผลาญและการให้พลังงานของน้ำตาลกลูโคสกับฟรุกโตส จะพบว่าน้ำตาลฟรุกโตสจะให้พลังงานที่ได้จากการเผาผลาญในร่างกายเท่ากับ 3.75 กิโลแคลอรีต่อกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับพลังงานที่ได้จากการเผาผลาญน้ำตาลกลูโคส ถึงแม้จะให้ค่าพลังงานใกล้เคียงกัน แต่น้ำตาลฟรุกโตสจะมีข้อเด่นในด้านการดูดซึมและเผาผลาญในร่างกาย เนื่องจากสามารถดูดซึมและเข้าสู่กระบวนการเผาผลาญได้โดยไม่ต้องใช้ฮอร์โมนอินซูลินเข้าช่วย ทำให้โอกาสในการเกิดระดับน้ำตาลฟรุกโตสในเลือดสูงมีไม่มากนัก

จากข้อเด่นด้านการให้ความหวาน และการดูดซึมและเผาผลาญในร่างกาย จึงทำให้น้ำตาลฟรุกโตสเป็นที่นิยมใช้ในวงการแพทย์ และอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มเป็นอย่างมาก แต่เนื่องจากปริมาณฟรุกโตสที่พบในธรรมชาติมีปริมาณน้อย ซึ่งไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน จึงได้มีการนำน้ำตาลซูโครสมาทำการย่อยสลาย (Hydrolysis) เพื่อแตกโครงสร้างน้ำตาลซูโครสให้กลายเป็นน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคส และนำน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายน้ำตาลซูโครสมาเปลี่ยนสูตรโครงสร้าง (Isomerization) ให้เป็นน้ำตาลฟรุกโตส ทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสสูงขึ้น (High Fructose Syrup) เพียงพอต่อการนำไปใช้งานต่าง ๆ ต่อไป

2.1.2 ปฏิกริยาที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส

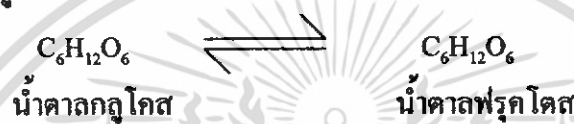
1. ปฏิกริยาการย่อยสลายของน้ำตาลซูโครส

ในสถานะที่มีความเป็นกรด น้ำตาลซูโครสจะถูกย่อยสลายเป็นน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคส ดังนี้



2. ปฏิกริยาการเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำตาลกลูโคส

น้ำตาลกลูโคสที่ได้มาจากปฏิกริยาการย่อยสลายของน้ำตาลซูโครส จะถูกนำมาเปลี่ยนสูตรโครงสร้างให้เป็นน้ำตาลฟรุกโตสโดยใช้เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสเป็นตัวเร่งปฏิกริยา จะได้ฟรุกโตสไซรัปที่มีความเข้มข้นสูง ดังนี้



2.1.3 เครื่องแยกสารผสมโดยอาศัยความแตกต่างของความสามารถในการถูกดูดซับขององค์ประกอบ [2]

การแยกองค์ประกอบที่ต้องการนำไปใช้งาน ออกจากองค์ประกอบอื่นในสารผสม สามารถกระทำได้ด้วยเครื่องแยกสารผสมที่อาศัยความแตกต่างของความสามารถในการถูกดูดซับขององค์ประกอบ ซึ่งสามารถจำแนกตามลักษณะการทำงานได้เป็นเครื่องแยกสารผสมแบบกะ แบบกึ่งต่อเนื่อง และแบบต่อเนื่อง โดยแต่ละแบบจะมีความแตกต่างกันดังต่อไปนี้

เครื่องแยกสารผสมแบบกะ สามารถแยกองค์ประกอบของสารผสมออกจากกันได้ โดยนำตัวดูดซับไปใส่ในถังที่บรรจุด้วยสารผสมที่ต้องการแยกองค์ประกอบ จากนั้นกวนสารผสมดังกล่าวเพื่อให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างสารผสมที่ต้องการแยกองค์ประกอบกับตัวดูดซับ เครื่องแยกสารผสมแบบกะไม่ค่อยเป็นที่นิยมในวงการอุตสาหกรรม เนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการแยกต่ำ รวมทั้งต้องเสียเวลาในการหยุดเครื่องเพื่อเก็บผลิตภัณฑ์และป้อนสารผสมชุดใหม่

เครื่องแยกสารผสมแบบกึ่งต่อเนื่อง สามารถแยกองค์ประกอบของสารผสมได้ โดยการป้อนสารผสมที่ต้องการแยกองค์ประกอบอย่างต่อเนื่องผ่านเข้าสู่ถังที่ภายในบรรจุด้วยตัวดูดซับ เครื่องแยกสารผสมแบบกึ่งต่อเนื่องให้ประสิทธิภาพในการแยกที่ดี แต่มักประสบปัญหาด้านการสัมผัสกันไม่ทั่วถึงระหว่างสารผสมที่ต้องการแยกองค์ประกอบกับตัวดูดซับ ทำให้ตัวดูดซับบางส่วนไม่ได้ถูกใช้งาน

เครื่องแยกสารผสมแบบต่อเนื่องอาศัยหลักการไหลสวนทางกันอย่างต่อเนื่องระหว่างสารผสมที่ต้องการแยกองค์ประกอบกับตัวดูดซับ ทำให้การแยกสารผสมด้วยเครื่องแยกสารผสมแบบต่อเนื่องมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบอื่น ๆ จึงเป็นที่นิยมใช้อย่างมากในวงการอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 เครื่องแยกสารผสมแบบต่อเนื่อง [3]

เครื่องแยกสารผสมแบบต่อเนื่อง โดยอาศัยความแตกต่างของความสามารถในการถูกดูดซับขององค์ประกอบ สามารถจำแนกตามลักษณะการเคลื่อนที่ของตัวดูดซับได้ดังนี้

1. เครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่จริง ตัวดูดซับที่ใช้จะเกิดการเคลื่อนที่สวนทางกับสารผสมที่ต้องการแยกองค์ประกอบจริง ๆ ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกต่ำลงหลังจากใช้งานเป็นเวลานาน เนื่องจากตัวดูดซับเสื่อมสภาพอันเป็นผลจากการการเคลื่อนที่

2. เครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง ได้ถูกพัฒนามาจากเครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่จริงเพื่อลดปัญหาด้านการเสื่อมสภาพของตัวดูดซับ โดยตัวดูดซับจะถูกบรรจุในคอลัมน์ให้อยู่นิ่ง แต่จะทำการเปลี่ยนตำแหน่งป้อนสารและดึงสารให้เปลี่ยนไปตามคาบเวลาที่กำหนด ทำให้คล้ายกับว่าเกิดการไหลสวนทางกันระหว่างสารผสมที่ต้องการแยกองค์ประกอบกับตัวดูดซับ แต่ในความเป็นจริงแล้วตัวดูดซับไม่ได้เกิดการเคลื่อนที่ ทำให้เครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่จำลองมีอายุการใช้งานนานขึ้น

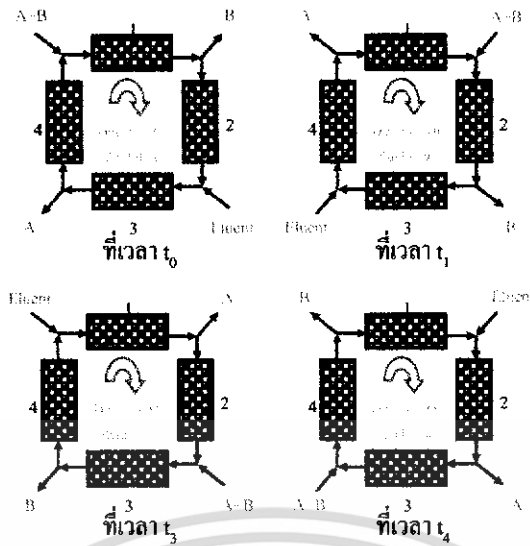
การแยกสารผสมโดยใช้เครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่จำลองจะอาศัยหลักการด้านความแตกต่างของความสามารถในการถูกดูดซับของแต่ละองค์ประกอบบนตัวดูดซับ เช่น สารผสม A+B ที่มีสาร A และสาร B เป็นองค์ประกอบ ถ้าสาร A สามารถถูกดูดซับอยู่บนตัวดูดซับได้ดีกว่าสาร B องค์ประกอบทั้งสองนี้ก็จะถูกแยกออกจากกัน

เครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. คอลัมน์ ซึ่งภายในบรรจุด้วยตัวดูดซับ จำนวน 4 คอลัมน์ต่อกันแบบอนุกรม
2. วาล์ว เพื่อควบคุมการป้อนและดึงสาร
3. ชุดควบคุมอุณหภูมิ
4. เครื่องวัดอัตราการไหล เพื่อวัดอัตราการไหลของสาร

เครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่จำลองมีการทำงานในการแยกสารผสม A+B ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การทำงานของเครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่แบบจำลอง

ที่เวลา t_0 สารผสม A+B จะถูกป้อนเข้าที่คอลัมน์ 1 และเมื่อออกจากคอลัมน์ 1 สาร B จะถูกแยกออกมาก่อน ส่วนสารผสมที่เหลือจะถูกส่งเข้าสู่คอลัมน์ 2 ที่ปากทางเข้าของคอลัมน์ 3 น้ำจะถูกป้อนเข้ามารวมกับสารผสมที่ออกมาจากคอลัมน์ 2 และเมื่อผ่านคอลัมน์ 3 สาร A ก็จะถูกแยกออกมา ส่วนสาร A และสาร B ที่ยังไม่ได้ถูกแยกออกไปจะถูกป้อนกลับเข้าสู่คอลัมน์ 4 จากนั้นจึงรวมกับสารผสม A+B ที่ถูกป้อนเข้ามาใหม่

ที่เวลา t_1 สารผสม A+B จะถูกป้อนเข้าที่คอลัมน์ 2 และเมื่อออกจากคอลัมน์ 2 สาร B จะถูกแยกออกมาก่อน ส่วนสารผสมที่เหลือจะถูกส่งเข้าสู่คอลัมน์ 3 ที่ปากทางเข้าของคอลัมน์ 4 น้ำจะถูกป้อนเข้ามารวมกับสารผสมที่ออกมาจากคอลัมน์ 3 และเมื่อผ่านคอลัมน์ 4 สาร A ก็จะถูกแยกออกมา ส่วนสาร A และสาร B ที่ยังไม่ได้ถูกแยกออกไปจะถูกป้อนกลับเข้าสู่คอลัมน์ 1 จากนั้นจึงรวมกับสารผสม A+B ที่ถูกป้อนเข้ามาใหม่

ที่เวลา t_2 สารผสม A+B จะถูกป้อนเข้าที่คอลัมน์ 3 และเมื่อออกจากคอลัมน์ 3 สาร B จะถูกแยกออกมาก่อน ส่วนสารผสมที่เหลือจะถูกส่งเข้าสู่คอลัมน์ 4 ที่ปากทางเข้าของคอลัมน์ 1 น้ำจะถูกป้อนเข้ามารวมกับสารผสมที่ออกมาจากคอลัมน์ 4 และเมื่อผ่านคอลัมน์ 1 สาร A ก็จะถูกแยกออกมา ส่วนสาร A และสาร B ที่ยังไม่ได้ถูกแยกออกไปจะถูกป้อนกลับเข้าสู่คอลัมน์ 2 จากนั้นจึงรวมกับสารผสม A+B ที่ถูกป้อนเข้ามาใหม่

ที่เวลา t_3 สารผสม A+B จะถูกป้อนเข้าที่คอลัมน์ 4 และเมื่อออกจากคอลัมน์ 4 สาร B จะถูกแยกออกมาก่อน ส่วนสารผสมที่เหลือจะถูกส่งเข้าสู่คอลัมน์ 1 ที่ปากทางเข้าของคอลัมน์ 2 น้ำจะถูกป้อนเข้ามารวมกับสารผสมที่ออกมาจากคอลัมน์ 1 และเมื่อผ่านคอลัมน์ 2 สาร A ก็จะถูกแยกออกมา ส่วนสาร A และสาร B ที่ยังไม่ได้ถูกแยกออกไปจะถูกป้อนกลับเข้าสู่คอลัมน์ 3 จากนั้นจึงรวมกับสารผสม A+B ที่ถูกป้อนเข้ามาใหม่

และที่เวลา $t_4, t_5, t_6, t_7, \dots$ จะเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งไปเรื่อย ๆ ตามทิศทางการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 การวัดค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของฟรุกโตสและกลูโคส

ความสามารถในการถูกดูดซับบนตัวดูดซับของฟรุกโตสและกลูโคส จะอธิบายได้จากสมบัตินี้ สมดุลของการดูดซับขององค์ประกอบจากการทดลองทั้งแบบกะและแบบพัลส์ดังต่อไปนี้

1. การทดลองแบบกะเพื่อหาสมบัตินี้ สมดุลของการดูดซับของฟรุกโตสและกลูโคส กระทำได้ โดยนำตัวดูดซับไปใส่ในสารละลายความเข้มข้นต่าง ๆ ของฟรุกโตสและกลูโคส แล้ววิเคราะห์ผลของการดูดซับด้วย เครื่องวิเคราะห์โครมาโตกราฟของเหลวประสิทธิภาพสูง (HPLC)

2. การทดลองแบบพัลส์เพื่อหาสมบัตินี้ สมดุลของการดูดซับของฟรุกโตสและกลูโคส กระทำได้ โดยผ่านสารละลายความเข้มข้นต่าง ๆ ของฟรุกโตสและกลูโคส ไปในคอลัมน์ที่บรรจุด้วยตัวดูดซับ แล้ววิเคราะห์ผลของการดูดซับด้วย เครื่องวิเคราะห์โครมาโตกราฟของเหลวประสิทธิภาพสูง (HPLC)

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ทั้งการทดลองแบบกะและพัลส์มาเขียนกราฟสมดุลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคสที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นขององค์ประกอบนั้น ๆ ในวัฏภาคของเหลว จะได้เส้นสมดุลการดูดซับ ไอโซเทอมของฟรุกโตสและกลูโคสซึ่งแสดงถึงสมบัตินี้ สมดุลของการดูดซับ

เส้นสมดุลการดูดซับ ไอโซเทอม สามารถแบ่งได้ดังนี้

1.เส้นสมดุลการดูดซับ ไอโซเทอมแบบเชิงเส้น (Linear isotherm)

ความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$q = Kc \quad (1)$$

เมื่อ q = ความเข้มข้นขององค์ประกอบที่พิจารณาที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ (g/g)

c = ความเข้มข้นขององค์ประกอบที่พิจารณาในวัฏภาคของเหลว (g/ml)

K = ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ (ml/g)

ค่า K เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง สำหรับเส้นสมดุลการดูดซับ ไอโซเทอมแบบเชิงเส้น ไม่ได้ใช้ในกรณีทั่วไป จะถูกนำมาใช้ในการประมาณข้อมูลของระบบที่มีการเจือจาง

2.เส้นสมดุลการดูดซับ ไอโซเทอมแบบ Freundlich (Freundlich isotherm)

ความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$q = Kc^n \quad (2)$$

เมื่อ n = ค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง

ถ้าเขียนกราฟ log-log แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q กับ c จะได้ความชันกราฟคือ ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ

สำหรับเส้นสมดุลการดูดซับ ไอโซเทอมแบบ Freundlich จะใช้กับระบบที่มีการดูดซับ ทางกายภาพหลายระบบ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบของเหลว แต่บางครั้งสมการนี้ก็จะถูกนำมาใช้อธิบายระบบของก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่ถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์

3.เส้นสมดุลการดูดซับ ไอโซเทอมแบบ Langmuir (Langmuir isotherm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$q = q_0 Kc / (K+c) \quad (3)$$

เมื่อ q_0 = ค่าคงที่ (g/g)

สมการดังกล่าวได้มาจากการสมมติว่าจากเกิดการดูดซับเฉพาะชั้นเดียว (monolayer adsorption) และการดูดซับเกิดการผันกลับได้จนในที่สุดจึงเข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q$ กับ $1/c$ จะได้ความชันคือ K/q_0

2.1.6 คุณสมบัติของตัวดูดซับโพลีไสตไครน-ไควโนลิบนจีนในรูปแบบแคปซูล

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

สถานะทางกายภาพ	เป็นลูกปัด
สี	สีอำพัน
ค่าความเป็นกรดหรือด่าง	5.0-9.0 ส่วนผสมเหลวๆที่มีน้ำ
จุดเดือด	100 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	0 องศาเซลเซียส
จุดวาบไฟ	ไม่เกี่ยวข้อง
อุณหภูมิที่เกิดการลุกไหม้	ประมาณ 500 องศาเซลเซียส
ขีดจำกัดล่างของการติดไฟ/ระเบิด	ไม่เกี่ยวข้อง
ขีดจำกัดบนของการติดไฟ/ระเบิด	ไม่เกี่ยวข้อง
ความดันไอ	22.0 hPa ที่ 20 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่นไอ	< 1.00
ความสามารถในการละลายในน้ำ	ไม่ละลาย
ความถ่วงจำเพาะ	1.10-1.40
ความหนืดทางกลศาสตร์	ไม่เกี่ยวข้อง
อัตราการระเหย	< 1.00
เปอร์เซ็นต์ในการระเหยเป็นไอ	55-65 %

ลักษณะสำคัญของเรซินที่มีผลต่อคุณภาพของการแยกของผสม

คุณสมบัติทางกายภาพหลักๆ ของตัวกลางในการแยก คือขนาดของอนุภาค และการกระจายตัวของรูพรุน และความสามารถในการทนต่อความดันสูงๆ โดยทั่วไปแล้วเรซินที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีอนุภาคขนาดเล็กจะทำให้การแยกของผสมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ขนาดของอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาคเป็นตัวหลักที่น่าสนใจเกี่ยวกับการแยกของผสม ยิ่งอนุภาคเป็นทรงกลมขนาดเล็ก และยังมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ยิ่งทำให้การแยกของผสมมีเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพมากขึ้นและขนาดของอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาคจะเป็นตัวกำหนดแรงดันอัดของระบบ ยิ่งอนุภาคมีขนาดเล็ก ยิ่งจะทำให้เกิดค่าแรงดันอัดมากขึ้น และทำให้ต้องมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการมากขึ้น ดังนั้น ขนาดอนุภาคที่เหมาะสมที่สุดในด้านการค้าต้องพิจารณาแล้วแต่กรณีไป โดยทั่วไปแล้วไซอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 -0.4 มิลลิเมตร

เรซินรูปแคลเซียม ทำให้เกิดการแยกของรูปแบบในเวลาเดียวกัน ดังนี้

1.เรซินทำหน้าที่เป็น molecular sieve ถ้าโมเลกุลของของผสมที่ต้องการแยกมีขนาดใหญ่จะไม่สามารถผ่านเข้าไปใน โมเลกุลของเรซิน ได้ ดังนั้น โมเลกุลของของผสมจะผ่านเข้าไปใน โมเลกุลของเรซิน ได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของ โมเลกุลของของผสมนั้น

2.เรซิน จะทำการแยกน้ำตาลขึ้นอยู่กับความแตกต่างของส่วนผสมของน้ำตาล ซึ่งจะมีเฉพาะน้ำตาลฟรุกโตสและน้ำตาลกลูโคสเท่านั้นที่รวมตัวกับเรซิน ส่วนน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลทรายจะไม่มีกรรวมตัวกับเรซินจึงจะหลุดผ่านออกไป

ก่อนนำไปใช้งานจะต้องนำเรซินไปล้างตามขั้นตอนดังนี้

- 1.แช่เรซินในน้ำปราศจากไอออนปริมาณประมาณ 4 เท่าของเรซิน เป็นเวลา 4 ชม.
- 2.ล้างเรซินด้วยน้ำปราศจากไอออนเป็นเวลา 1 ชม.

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์การแยกของสารผสมฟรุกโตส-กลูโคสของเครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง

Kenji Hashimoto และคณะ [4] ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์การแยกของสารผสมฟรุกโตส-กลูโคสของเครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวมี 2 แบบจำลอง คือ แบบจำลองการเคลื่อนที่แบบไม่ต่อเนื่อง (An intermittent moving bed model) และแบบจำลองการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง (A continuous moving bed model) โดยแบบจำลองการเคลื่อนที่แบบไม่ต่อเนื่องจะถูกใช้ในการคำนวณเพื่อหารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นในช่วงสภาวะไม่คงตัว นอกจากนี้ยังสามารถทำนายเวลาที่จะเข้าสู่สภาวะคงตัวได้ ส่วนแบบจำลองการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องจะถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณหารูปแบบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นในช่วงสภาวะคงตัว ในการทดลองจะควบคุมอุณหภูมิของเครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่จำลองที่ 323 เคลวิน ส่วนเครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่จำลองที่ใช้ประกอบด้วยคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.38 เซนติเมตร ยาว 10.2 เซนติเมตร จำนวน 16 คอลัมน์ต่อกันแบบอนุกรม ภายในคอลัมน์บรรจุด้วย Y zeolite (Ca^{2+} form) โดยตำแหน่งป้อนสารและคั่งสารจะถูกยึดให้อยู่หนึ่ง ส่วนคอลัมน์ทุกคอลัมน์จะถูกควบคุมให้เปลี่ยนตำแหน่งไปในทิศทางตรงกันข้ามกับการไหลตามคาบเวลาที่กำหนดจากการทดลองพบว่า รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับรูปแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นที่ได้จากการศึกษาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งแบบจำลองการเคลื่อนที่แบบไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่อง

2.2.2 ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของฟรุกโตสและกลูโคส และผลของอัตราส่วนของการไหลของน้ำต่อสารผสมฟรุกโตส-กลูโคสที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของเครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง

Lj. Matijašević และคณะ [5] ศึกษาความสามารถในการถูกดูดซับของฟรุกโตสและกลูโคสบนตัวดูดซับ Lewatit MDS 1368 โดยทำการทดลองแบบกะและแบบพัลส์ และวิเคราะห์ผลของการดูดซับโดยใช้วิธีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่าจะได้ linear adsorption isotherm ของฟรุกโตสและกลูโคสที่มีค่าคงที่สมดุลของการดูดซับดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของฟรุกโตสและกลูโคสที่ได้จากการทดลองแบบกะและแบบพัลส์

น้ำตาล	ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ [-]	
	จากการทดลองแบบกะ	จากการทดลองแบบพัลส์
กลูโคส	0.236	0.186
ฟรุกโตส	0.316	0.323

นอกจากนี้ในการศึกษาของ Lj. Matijašević และคณะ ถึงผลของอัตราส่วนของการไหลของน้ำต่อสารผสมฟรุกโตส-กลูโคสที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของเครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง ในการศึกษาใช้เครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่จำลองที่ประกอบด้วยคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ยาว 25 เซนติเมตร จำนวน 4 คอลัมน์ต่อกันแบบอนุกรม ภายในคอลัมน์บรรจุด้วย Lewatit MDS 1368 โดยคอลัมน์ทุกคอลัมน์จะถูกยึดให้อยู่หนึ่ง ส่วนตำแหน่งป้อนสารและดึงสารจะถูกควบคุมให้เปลี่ยนตำแหน่งไปตามคาบเวลาที่กำหนด ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 313 เคลวิน ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนของการไหลของน้ำต่อสารผสมฟรุกโตส-กลูโคสที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของเครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง พบว่าอัตราส่วนของการไหลของน้ำต่อสารผสมฟรุกโตส-กลูโคสสูงจะให้ประสิทธิภาพในการแยกที่ดีกว่าอัตราส่วนของการไหลของน้ำต่อสารผสมที่ต่ำ

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การทดลองแบบกะเพื่อหา Linear adsorption isotherm ของฟรุกโตสและกลูโคส

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เรซินแลกเปลี่ยนประจุชนิด โพลีสไตรีน-ไดไวนิลเบนซีนในรูปแคลเซียม (Poly (styrene-divinylbenzene) in calcium form)
2. น้ำปราศจากไอออน
3. น้ำตาลกลูโคส
4. น้ำตาลฟรุกโตส

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
3. เครื่องวิเคราะห์โครมาโตกราฟของเหลวประสิทธิภาพสูง (HPLC)

3.1.3 วิธีการทดลอง

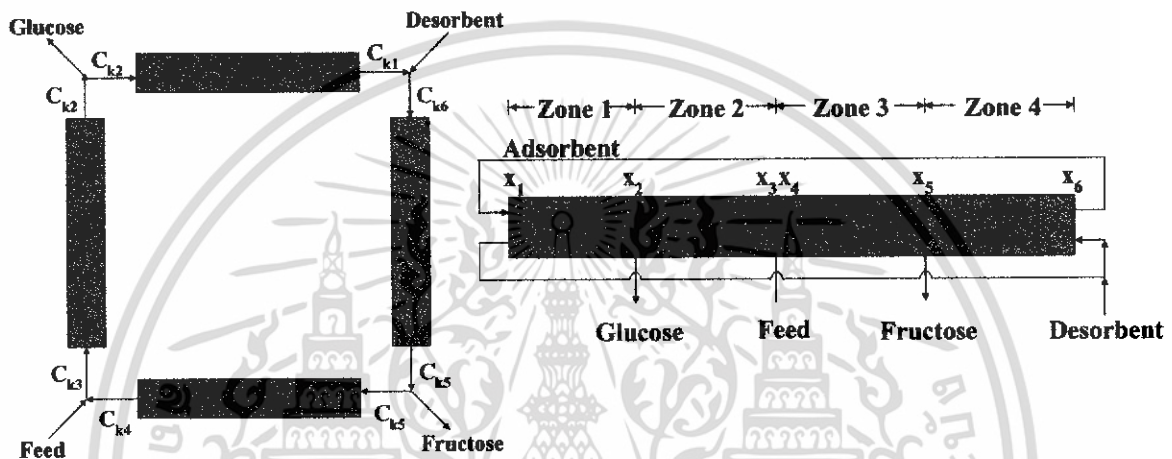
1. เตรียมสารละลายกลูโคส และสารละลายฟรุกโตส ความเข้มข้น 40, 60, 80 % โดยมวลต่อปริมาตร
2. นำสารละลายกลูโคส และสารละลายฟรุกโตส ความเข้มข้น 40, 60, 80 % โดยมวลต่อปริมาตร ผสมกับเรซินชนิด โพลีสไตรีน-ไดไวนิลเบนซีนในรูปแคลเซียม (Poly (styrene-divinylbenzene) in calcium form) ในขวดรูปชมพู่ที่เตรียมไว้
3. เปิดอ่างควบคุมอุณหภูมิเพื่อควบคุมอุณหภูมิของสารละลายในขวดรูปชมพู่ ให้คงที่ที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และกวนสารละลายอย่างสม่ำเสมอ
4. นำสารตัวอย่างที่ได้จากการทดลองวัดค่าการดูดซับสารของเรซิน ไปวัดค่าความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับด้วยเครื่องวิเคราะห์โครมาโตกราฟของเหลวประสิทธิภาพสูง (HPLC)
5. คำนวณหาค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ 1 ถึง 6 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 40 และ 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การคำนวณหารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคส

3.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง (A continuous moving bed model) ของ Kenji Hashimoto และคณะ [4] เพื่อใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์การแยกของสารผสมฟรุกโตส-กลูโคสของเครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่ที่จำลอง โดยจะพิจารณาให้เครื่องแยกสารแบบเบดเคลื่อนที่ที่จำลอง ประกอบด้วยคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.38 เซนติเมตร ยาว 10.2 เซนติเมตร จำนวน 16 คอลัมน์ต่อกันแบบอนุกรม คอลัมน์ทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็น 4 โซน โซนละ 4 คอลัมน์ ดังรูป



รูปที่ 3.1 เครื่องแยกสารแบบเบดเคลื่อนที่ที่จำลอง

จากรูปที่ 3.2 สารผสมฟรุกโตส-กลูโคสจะถูกป้อนที่ปากทางเข้าของโซน 2 ไหลสวนทางกับการเคลื่อนที่ของตัวดูดซับ กลูโคสซึ่งมีความสามารถในการถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับน้อยกว่าจะถูกแยกออกจากสารผสมที่ปากทางออกของโซน 2 ได้มากกว่าฟรุกโตส จากนั้นสารผสมที่เหลือจะป้อนเข้าสู่โซน 1 และรวมกับสารชะที่ปากทางเข้าของโซน 4 จากนั้นฟรุกโตสซึ่งมีความสามารถในการถูกดูดซับอยู่บนตัวดูดซับดีกว่าจะถูกสารชะชะออกมาที่ปากทางออกของโซน 4

แบบจำลองการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง (A continuous moving bed model) ที่ใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์การแยกของสารผสมฟรุกโตส-กลูโคสของเครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่ที่จำลอง แสดงดังสมการ

$$u_b \frac{dC_k}{dz} = K_f a_v (C_k - C_k^*) \quad (4)$$

$$(1 - \epsilon_b) m_k u_s \frac{dC_k^*}{dz} = K_f a_v (C_k - C_k^*) \quad (5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$u_n = v_n - \varepsilon_b L_A / T \quad (6)$$

ผลของการคำนวณเป็นดังนี้

ตำแหน่งคิงกุกโคสออก

$$C_{k4,1} = C_{k3,0} \quad (7)$$

ตำแหน่งป้อนสารผสม

$$v_f \cdot C_{kf} + v_3 \cdot C_{k3,1} = v_2 \cdot C_{k2,0} \quad (8)$$

ค่าพารามิเตอร์คิงกุกโคสออก

$$C_{k4,1} = C_{k3,0} \quad (9)$$

ป้อนสารชะ

$$v_1 \cdot C_{k1,1} = v_4 \cdot C_{k4,0} \quad (10)$$

ความเข้มข้นของสารที่พิจารณาในโซน n ($n = 1, 2, 3$ และ 4)

ในตำแหน่งขาเข้าของแต่ละโซน

ในตำแหน่งขาออกของแต่ละโซน

โดยที่ค่าทราบ C_k และ C_k^* ที่ตำแหน่งขาเข้าของโซน n เป็น $C_k = C_{kn,0}$ และ $C_k^* = C_{kn,0}^*$

สามารถแก้สมการ (1) และ (2) หาค่า C_k และ C_k^* ที่ตำแหน่งขาออกของโซน n เป็น

ดังนี้

$$\frac{\{\alpha_n (1 - \beta_{nk}) N_n\}}{1 - \beta_{nk}} \cdot C_{kn,0} + \frac{1 - \exp\{\alpha_n (1 - \beta_{nk}) N_n\}}{1 - \beta_{nk}} \cdot C_{kn,0}^* \quad (11)$$

$$\frac{[\exp\{\alpha_n (1 - \beta_{nk}) N_n\}] - 1}{1 - \beta_{nk}} \cdot C_{kn,0} \quad (12)$$

$$+ \frac{1 - \beta_{nk} \exp\{\alpha_n (1 - \beta_{nk}) N_n\}}{1 - \beta_{nk}} \cdot C_{kn,0}^*$$

$$\alpha_n = K_f a_v L_A / u_n$$

$$\beta_{nk} = u_n / \{u_s (1 - \varepsilon_b) m_k\}$$

สมการ (1), (2) และ (3) อาจทำได้ง่ายขึ้นด้วยการกำหนดตัวแปรใหม่ดังนี้

$$\overline{C_k} = C_k - C_k^* \quad (13)$$

$$X_i = [C_{ki} \overline{C_{ki}}]^T \quad (14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารป้อน (Q)	$= 1.67 \times 10^{-8}$	ลูกบาศก์เมตร/วินาที
อัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารชะ (Q_d)	$= 5.00 \times 10^{-8}$	ลูกบาศก์เมตร/วินาที
อัตราการไหลเชิงปริมาตรของกลูโคส (Q_g)	$= 3.33 \times 10^{-8}$	ลูกบาศก์เมตร/วินาที
อัตราการไหลเชิงปริมาตรของฟรุกโตส (Q_f)	$= 3.33 \times 10^{-8}$	ลูกบาศก์เมตร/วินาที
อัตราการไหลของสารผสมในโซน 1 (v_1)	$= 5.13 \times 10^{-4}$	เมตร/วินาที
อัตราการไหลของสารผสมในโซน 2 (v_2)	$= 7.89 \times 10^{-4}$	เมตร/วินาที
อัตราการไหลของสารผสมในโซน 3 (v_3)	$= 6.17 \times 10^{-4}$	เมตร/วินาที
อัตราการไหลของสารผสมในโซน 4 (v_4)	$= 8.40 \times 10^{-4}$	เมตร/วินาที
เวลาในการเปลี่ยนตำแหน่ง	$= 120$	วินาที

สำหรับค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของฟรุกโตสและกลูโคสสามารถหาได้จากการทดลอง

3.2.2 การศึกษาผลของตัวแปรปฏิบัติงานที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกสารผสมฟรุกโตส-กลูโคสของเครื่องแยกสารแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง

ในการพิจารณาประสิทธิภาพในการแยกสารผสมฟรุกโตส-กลูโคสของเครื่องแยกแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง จะพิจารณาความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคสที่แยกออกมาจากสารผสมในตำแหน่ง 2 และ 5 เนื่องจากตำแหน่ง 2 เป็นตำแหน่งดึงกลูโคสออก ดังนั้นจะต้องมีปริมาณของกลูโคสถูกแยกออกมาจากสารผสมมากกว่าฟรุกโตส ความแตกต่างดังกล่าวสามารถแสดงได้ด้วยอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสที่แยกออกมาได้ในตำแหน่ง 2 ต่อความเข้มข้นของฟรุกโตสที่แยกออกมาได้ในตำแหน่ง 2 (C_{2G}/C_{2F}) และในทำนองเดียวกันเนื่องจากตำแหน่ง 5 เป็นตำแหน่งดึงฟรุกโตสออก ดังนั้นจะต้องมีปริมาณของฟรุกโตสถูกแยกออกมาจากสารผสมมากกว่ากลูโคส ความแตกต่างดังกล่าวสามารถแสดงได้ด้วยอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของฟรุกโตสที่แยกออกมาได้ในตำแหน่ง 5 ต่อความเข้มข้นของกลูโคสที่แยกออกมาได้ในตำแหน่ง 5 (C_{5F}/C_{5G})

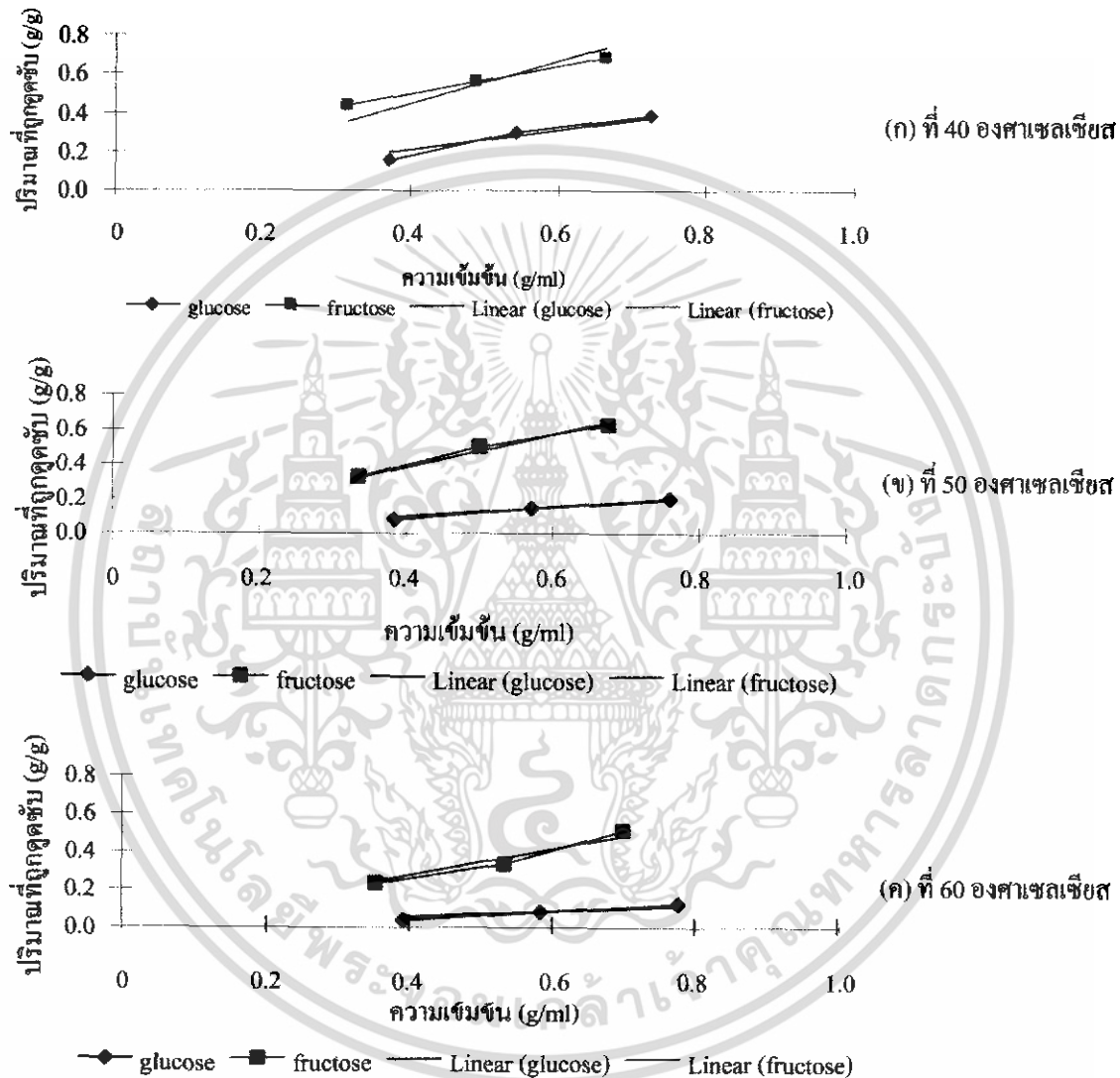
ประสิทธิภาพในการแยกสารผสมฟรุกโตส-กลูโคสของเครื่องแยกสารแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง จะดีเพียงใหนั้นขึ้นกับตัวแปรปฏิบัติการต่าง ๆ เช่น อัตราการไหลของสารผสม เวลาในการเปลี่ยนตำแหน่ง และอุณหภูมิ

ในการวิจัยนี้จะศึกษาผลกระทบของตัวแปรปฏิบัติงานต่าง ๆ ของอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารผสมตั้งแต่ 0.0005-0.0009 เมตร / วินาที และเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งป้อนสารเข้าและดึงสารออกตั้งแต่ 30 - 270 วินาที ที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกสารผสม แสดงผลออกมาในรูปแบบของ C_{2G}/C_{2F} และ C_{5F}/C_{5G}

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดลองหาค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าการดูดซับของสารละลาย (แสดงเป็นกราฟของปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อกรัม ปริมาณตัวดูดซับ) ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน ภายใต้อุณหภูมิ (ก) 40 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการหาทดลองหาค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของฟรุกโตสและกลูโคส ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส จะสามารถหาค่าคงที่สมดุลดังกล่าวได้จากความชันของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นที่ภาวะสมดุล ดังรูปที่ 4.1-4.3

ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะได้ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของฟรุกโตสเท่ากับ 1.116 ml/g และค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของกลูโคสเท่ากับ 0.522 ml/g ซึ่งฟรุกโตสสามารถถูกดูดซับบนตัวดูดซับได้ดีกว่ากลูโคส 2.14 เท่า

ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะได้ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของฟรุกโตสเท่ากับ 0.958 ml/g และค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของกลูโคสเท่ากับ 0.254 ml/g ซึ่งฟรุกโตสสามารถถูกดูดซับบนตัวดูดซับได้ดีกว่ากลูโคส 3.77 เท่า

ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะได้ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของฟรุกโตสเท่ากับ 0.690 ml/g และค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของกลูโคสเท่ากับ 0.146 ml/g ซึ่งฟรุกโตสสามารถถูกดูดซับบนตัวดูดซับได้ดีกว่ากลูโคส 4.73 เท่า

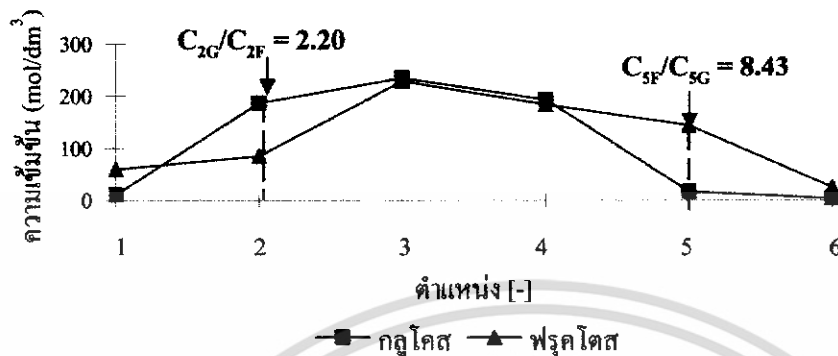
ตารางที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิต่อค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของกลูโคสและฟรุกโตส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ (ml/g)		K _f /K _G (-)
	กลูโคส (K _G)	ฟรุกโตส (K _f)	
40	0.522	1.116	2.14
50	0.254	0.958	3.77
60	0.146	0.69	4.73

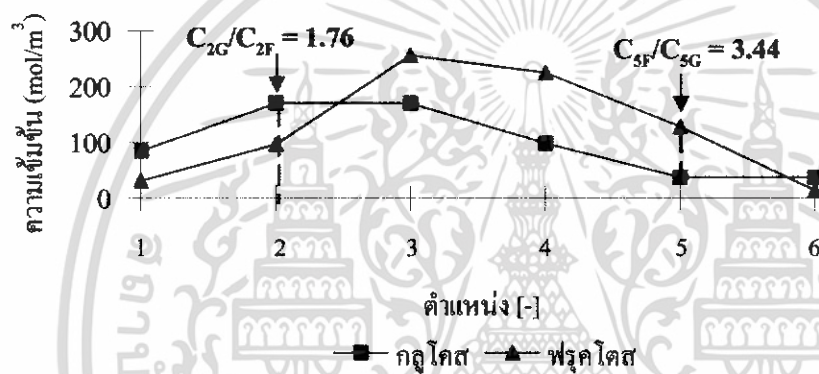
เมื่อพิจารณาถึงผลของอุณหภูมิต่อความสามารถในการถูกดูดซับของสารละลายกลูโคสและฟรุกโตส จะพบว่าที่อุณหภูมิยิ่งสูง สารละลายกลูโคสและฟรุกโตสจะถูกดูดซับบนตัวดูดซับน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นที่อุณหภูมิยิ่งสูง ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของกลูโคสและฟรุกโตสจะน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

4.2 ผลการคำนวณหาประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องแยกสารผสม

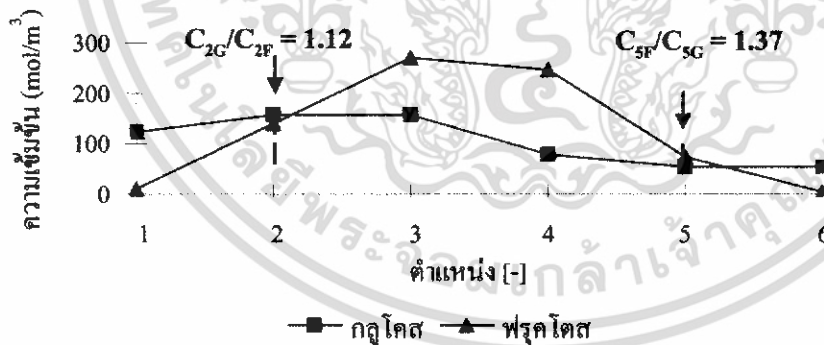
4.2.1 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุคโตสและกลูโคส เมื่อพิจารณาจากตัวแปรมาตรฐาน



(ก) ที่ 40 มาตรฐาน



(ข) ที่ 50 มาตรฐาน



(ค) ที่ 60 มาตรฐาน

รูปที่ 4.2 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุคโตสและกลูโคส ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องแยกสารผสม เมื่อตัวแปรปฏิบัติงานต่าง ๆ ถูกกำหนดเป็นตัวแปรมาตรฐาน ภายใต้ อุณหภูมิ (ก)40 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้ตัวแปรปฏิบัติงานต่าง ๆ เป็นตัวแปรมาตรฐาน ดังนั้นจะสามารถหารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของของน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคส ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องแยกสารผสมได้จากการใช้โปรแกรม POLYMATH มาช่วย ดังแสดงในรูปที่ 4.2

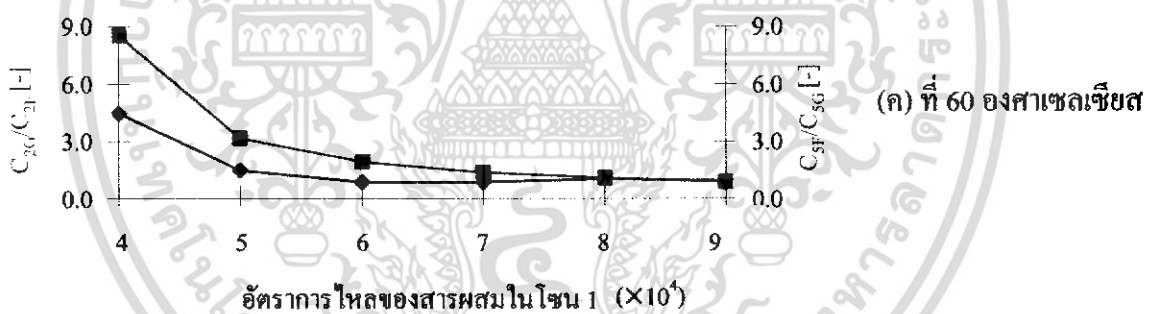
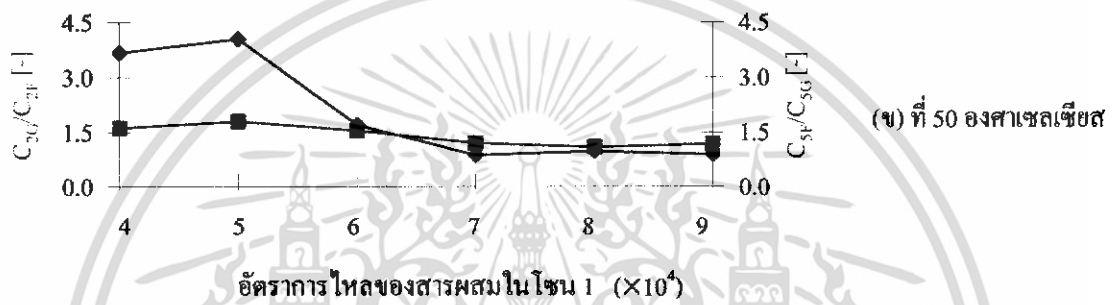
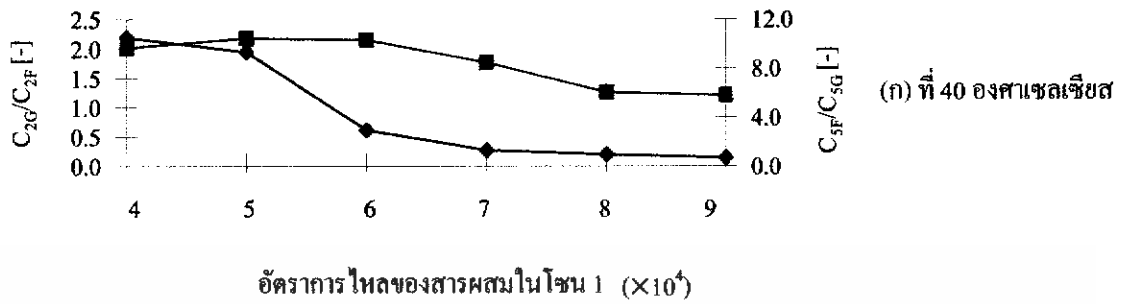
ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะพบว่าตำแหน่ง 2 จะมีความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสที่ถูกแยกออกจากสารผสมมากกว่าน้ำตาลฟรุกโตสอยู่ 2.20 เท่า ในขณะที่ตำแหน่ง 5 จะมีความเข้มข้นน้ำตาลฟรุกโตสที่ถูกแยกออกมาจากสารผสมมากกว่าน้ำตาลกลูโคสอยู่ 8.43 เท่า

ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะพบว่าตำแหน่ง 2 จะมีความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสที่ถูกแยกออกจากสารผสมมากกว่าน้ำตาลฟรุกโตสอยู่ 1.76 เท่า ในขณะที่ตำแหน่ง 5 จะมีความเข้มข้นน้ำตาลฟรุกโตสที่ถูกแยกออกมาจากสารผสมมากกว่าน้ำตาลกลูโคสอยู่ 3.44 เท่า

ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะพบว่าตำแหน่ง 2 จะมีความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสที่ถูกแยกออกจากสารผสมมากกว่าน้ำตาลฟรุกโตสอยู่ 1.12 เท่า ในขณะที่ตำแหน่ง 5 จะมีความเข้มข้นน้ำตาลฟรุกโตสที่ถูกแยกออกมาจากสารผสมมากกว่าน้ำตาลกลูโคสอยู่ 1.37 เท่า

จากการพิจารณาเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสต่อฟรุกโตสที่ตำแหน่ง 2 และอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของฟรุกโตสต่อกลูโคสที่ตำแหน่ง 5 ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส จะพบว่าที่อุณหภูมิยิ่งต่ำ อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสต่อฟรุกโตสที่ตำแหน่ง 2 และอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของฟรุกโตสต่อกลูโคสที่ตำแหน่ง 5 จะมีค่ายิ่งมาก กล่าวคือที่อุณหภูมิต่ำ จะทำให้เกิดการแยกของสารผสมฟรุกโตส-กลูโคสดีกว่าที่อุณหภูมิสูง

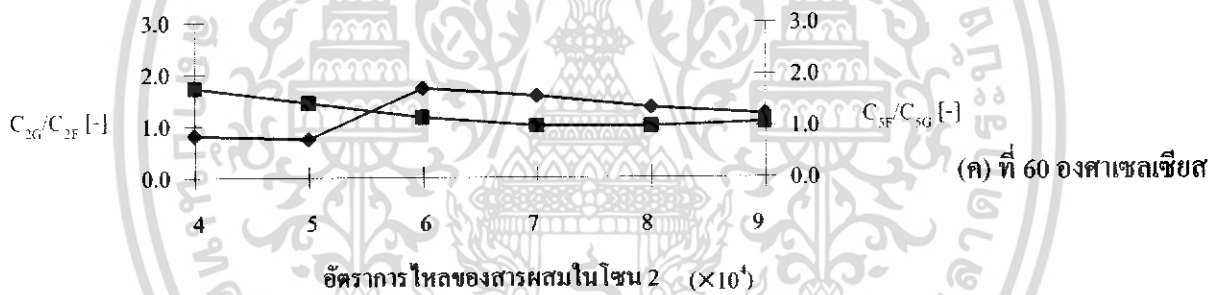
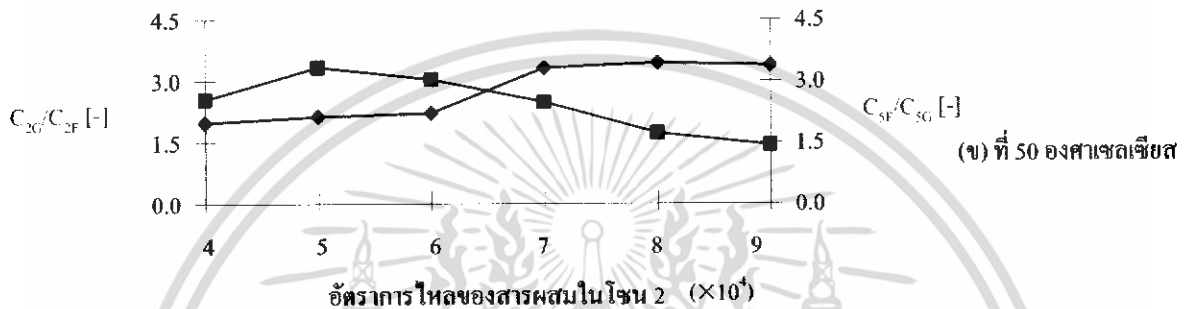
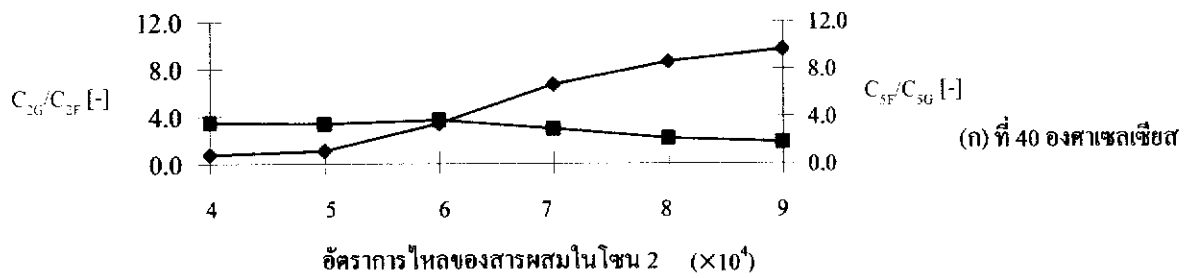
4.2.2 อิทธิพลของตัวแปรปฏิบัติการที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของเครื่องแยกสารผสม
อิทธิพลของอัตราการไหลของสารผสมในโซน 1



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของสารผสมในโซน 1 เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ ภายใต้อุณหภูมิ (ก) 40 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 60 องศาเซลเซียส

เมื่อตัวแปรปฏิบัติงานต่าง ๆ ถูกกำหนดเป็นตัวแปรมาตรฐาน ยกเว้นอัตราการไหลของสารผสมในโซน 1 ดังนั้นจะสามารถหาอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสที่ถูกแยกออกมาในตำแหน่ง 2 (C_{2G}/C_{2F}) และอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคสที่ถูกแยกออกมาในตำแหน่ง 5 (C_{5F}/C_{5G}) ที่ขึ้นกับอัตราการไหลของสารผสมในโซน 1 ของเครื่องแยกสารผสมแบบเบดเคลื่อนที่จำลองได้จากการใช้โปรแกรม POLYMATH มาช่วย แสดงผลดังรูปที่ 4.3

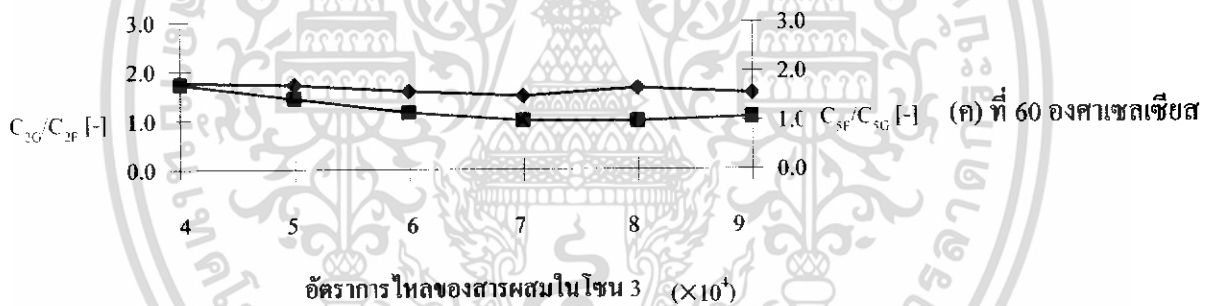
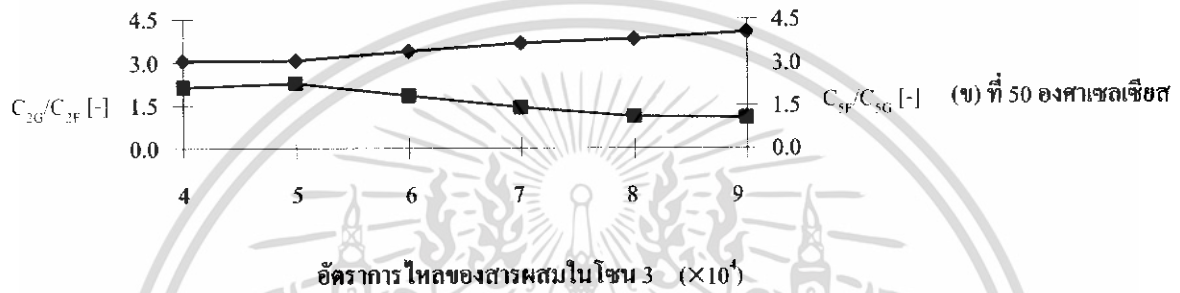
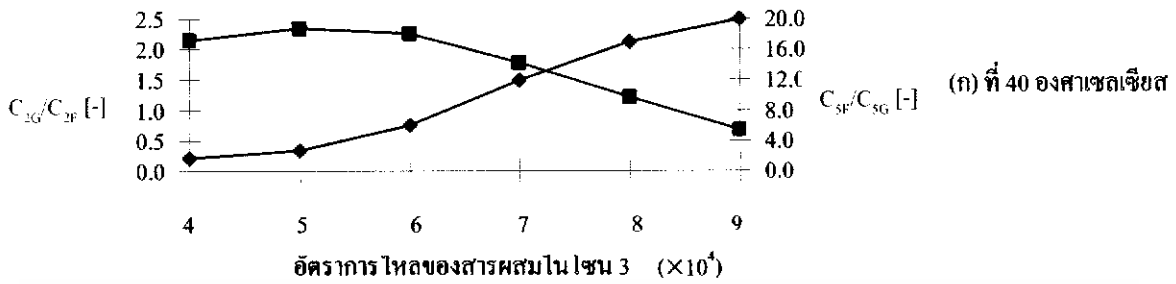
อิทธิพลของอัตราการไหลของสารผสมในโซน 2



รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของสารผสมในโซน 2 เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ ภายใต้อุณหภูมิ (ก) 40 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 60 องศาเซลเซียส

เมื่อตัวแปรปฏิบัติงานต่าง ๆ ถูกกำหนดเป็นตัวแปรมาตรฐาน ยกเว้นอัตราการไหลของสารผสมในโซน 2 ดังนั้นจะสามารถหาอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสที่ถูกแยกออกมาในตำแหน่ง 2 (C_{2G}/C_{2F}) และอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคสที่ถูกแยกออกมาในตำแหน่ง 5 (C_{5F}/C_{5G}) ที่ขึ้นกับอัตราการไหลของสารผสมในโซน 2 ของเครื่องแยกสารผสมแบบเบดเคลื่อนที่จำลองได้จากการใช้โปรแกรม POLYMATH มาช่วย แสดงผลดังรูปที่ 4.4

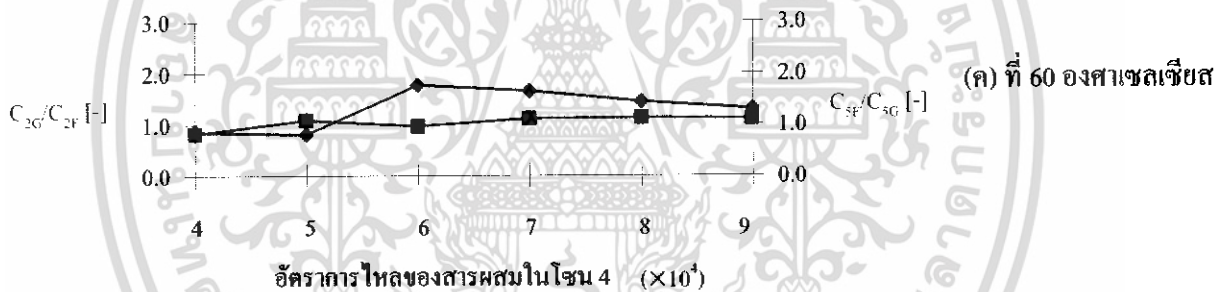
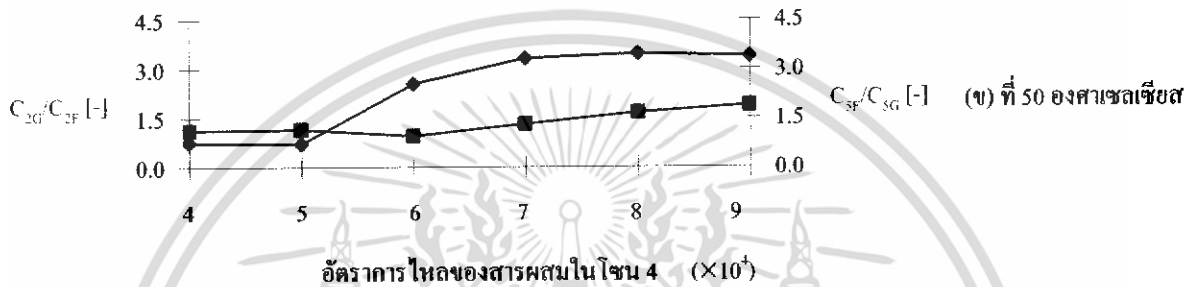
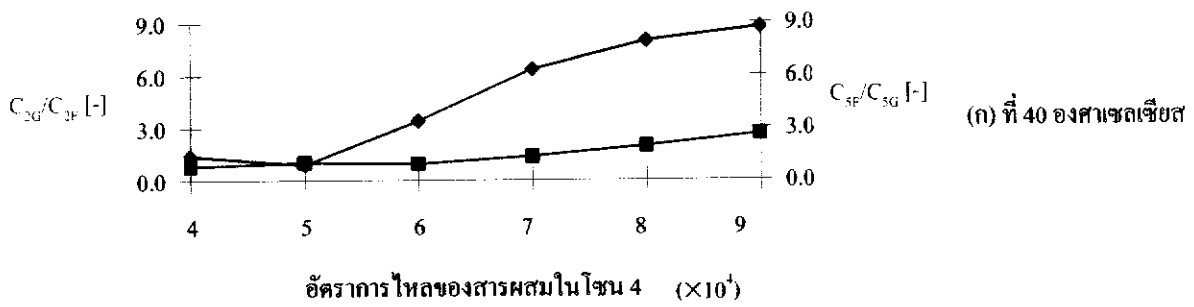
อิทธิพลของอัตราการไหลของสารผสมในโซน 3



รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของสารผสมในโซน 3 เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ ภายใต้อุณหภูมิ (ก) 40 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 60 องศาเซลเซียส

เมื่อตัวแปรปฏิบัติงานต่าง ๆ ถูกกำหนดเป็นตัวแปรมาตรฐาน ยกเว้นอัตราการไหลของสารผสมในโซน 3 ดังนั้นจะสามารถหาอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสที่ถูกแยกออกมาในตำแหน่ง 2 (C_{2G}/C_{2F}) และอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคสที่ถูกแยกออกมาในตำแหน่ง 5 (C_{5F}/C_{5G}) ที่ขึ้นกับอัตราการไหลของสารผสมในโซน 3 ของเครื่องแยกสารผสมแบบเบดเคลื่อนที่จำลองได้จากการใช้โปรแกรม POLYMATH มาช่วย แสดงผลดังรูปที่ 4.5

อิทธิพลของอัตราการไหลของสารผสมในโซน 4



รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของสารผสมในโซน 4 เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ ภายใต้อุณหภูมิ (ก) 40 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 60 องศาเซลเซียส

เมื่อตัวแปรปฏิบัติงานต่าง ๆ ถูกกำหนดเป็นตัวแปรมาตรฐาน ยกเว้นอัตราการไหลของสารผสมในโซน 4 ดังนั้นจะสามารถหาอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสที่ถูกแยกออกมาในตำแหน่ง 2 (C_{2G}/C_{2F}) และอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคสที่ถูกแยกออกมาในตำแหน่ง 5 (C_{5F}/C_{5G}) ที่ขึ้นกับอัตราการไหลของสารผสมในโซน 4 ของเครื่องแยกสารผสมแบบเบดเคลื่อนที่จำลองได้จากการใช้โปรแกรม POLYMATH มาช่วย แสดงผลดังรูปที่ 4.6

ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะพบว่าอัตราการไหลเท่ากับ 0.0005, 0.0008, 0.0008 และ 0.0009 เมตร/วินาที เป็นอัตราการไหลของสารผสมในโซน 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ที่ทำให้เกิดการแยกของ น้ำตาล ฟรุคโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ภายใต้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสที่สุด

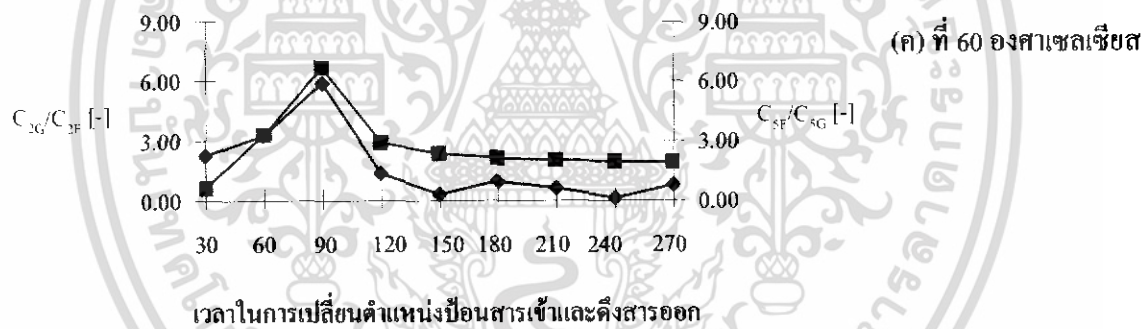
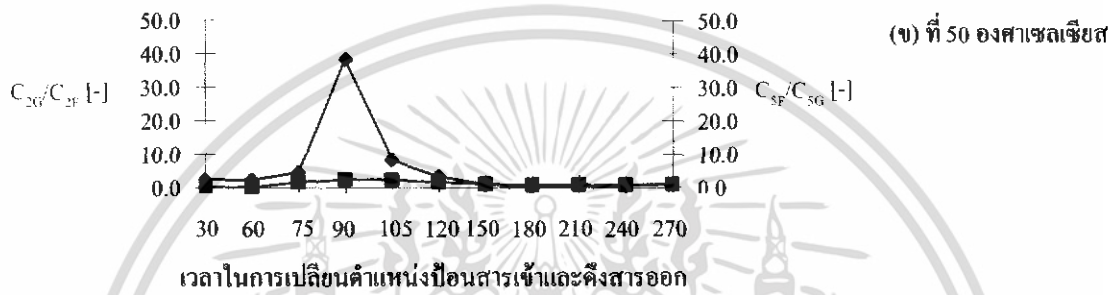
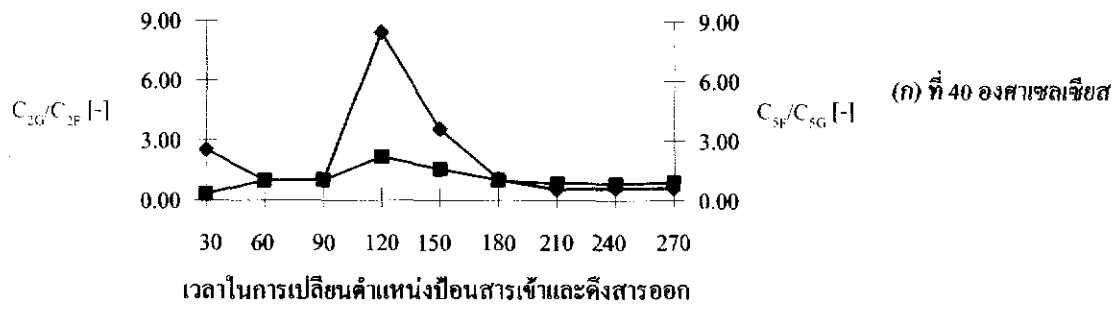
ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะพบว่าอัตราการไหลเท่ากับ 0.0005, 0.0005, 0.0005 และ 0.0008 เมตร/วินาที เป็นอัตราการไหลของสารผสมในโซน 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ที่ทำให้เกิดการแยกของ น้ำตาล ฟรุคโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ภายใต้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสที่สุด

ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะพบว่าอัตราการไหลเท่ากับ 0.0004, 0.0006, 0.0004 และ 0.0007 เมตร/วินาที เป็นอัตราการไหลของสารผสมในโซน 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ที่ทำให้เกิดการแยกของ น้ำตาล ฟรุคโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ภายใต้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลของเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่ง



รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่ง เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ ภายใต้อุณหภูมิ (ก) 40 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 60 องศาเซลเซียส

เมื่อตัวแปรปฏิบัติงานต่าง ๆ ถูกกำหนดเป็นตัวแปรมาตรฐาน ยกเว้นเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่ง ดังนั้นจะสามารถหาอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสที่ถูกแยกออกมาในตำแหน่ง 2 (C_{2G}/C_{2F}) และอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคสที่ถูกแยก

ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะพบว่าที่เวลา 120 วินาที เป็นเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งที่ทำให้เกิดการแยกของน้ำตาลกลูโคสออกจากสารผสมในตำแหน่ง 2 มากที่สุด ซึ่งมากกว่าน้ำตาล ฟรุคโตส 2.20 เท่า และทำให้เกิดการแยกของน้ำตาลฟรุคโตสออกจากสารผสมในตำแหน่ง 5 มากที่สุดเช่นกัน ซึ่งมากกว่าน้ำตาลกลูโคส 8.43 เท่า

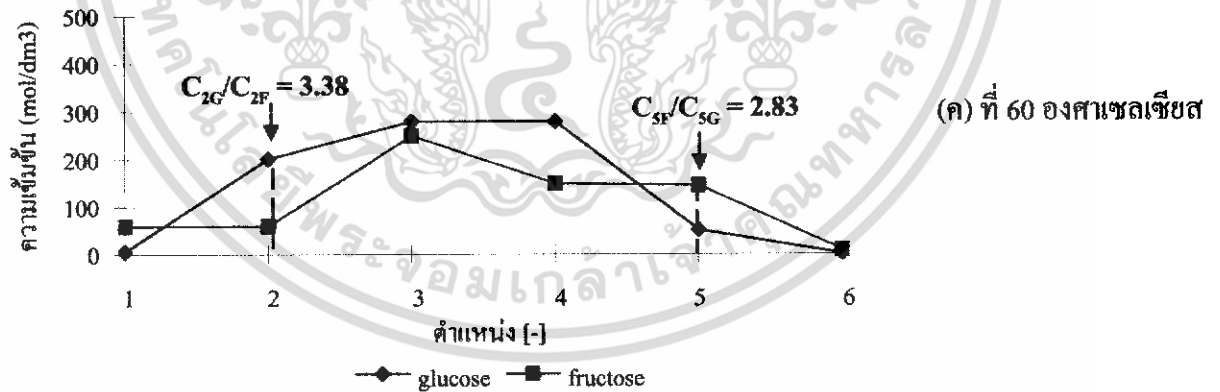
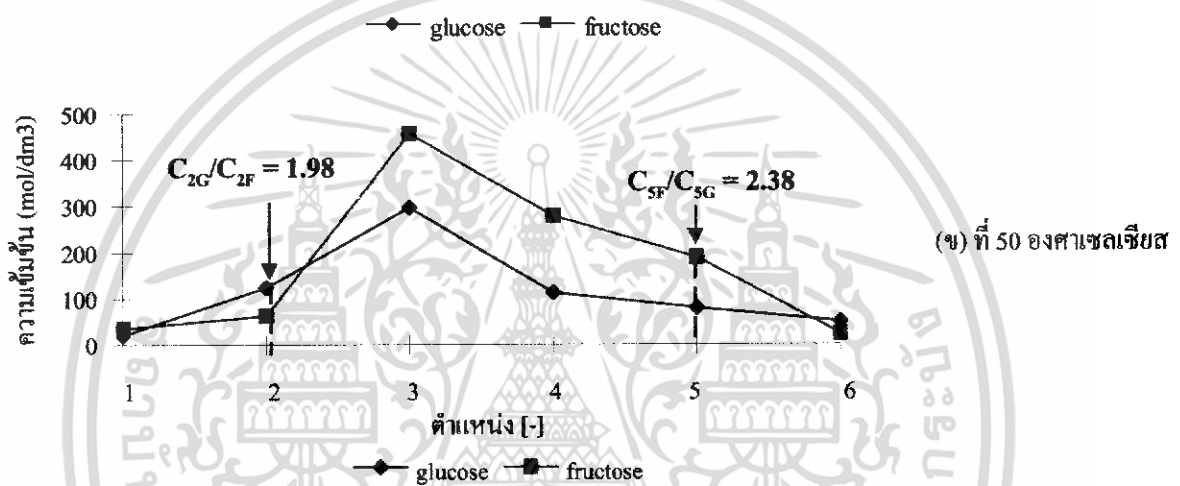
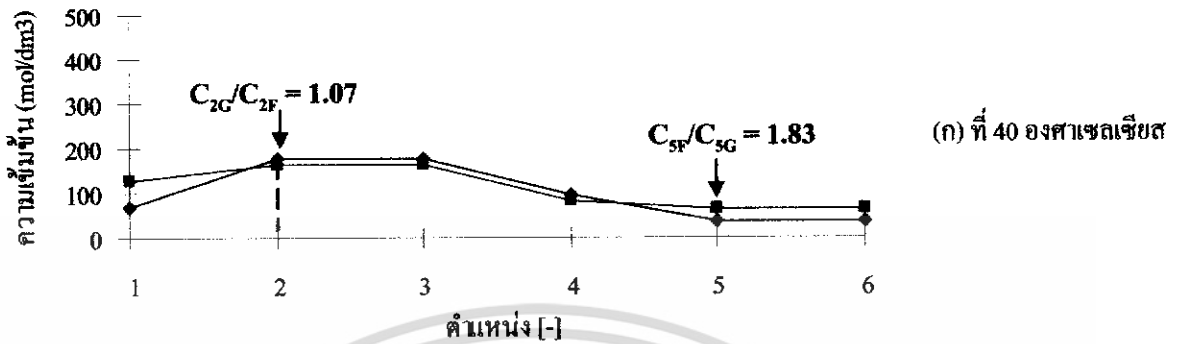
ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะพบว่าที่เวลา 90 วินาที เป็นเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งที่ทำให้เกิดการแยกของน้ำตาลกลูโคสออกจากสารผสมในตำแหน่ง 2 มากที่สุด ซึ่งมากกว่าน้ำตาล ฟรุคโตส 2.52 เท่า และทำให้เกิดการแยกของน้ำตาลฟรุคโตสออกจากสารผสมในตำแหน่ง 5 มากที่สุดเช่นกัน ซึ่งมากกว่าน้ำตาลกลูโคส 38.49 เท่า

ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะพบว่าที่เวลา 90 วินาที เป็นเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งที่ทำให้เกิดการแยกของน้ำตาลกลูโคสออกจากสารผสมในตำแหน่ง 2 มากที่สุด ซึ่งมากกว่าน้ำตาล ฟรุคโตส 6.69 เท่า และทำให้เกิดการแยกของน้ำตาลฟรุคโตสออกจากสารผสมในตำแหน่ง 5 มากที่สุดเช่นกัน ซึ่งมากกว่าน้ำตาลกลูโคส 5.91 เท่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคส เมื่อพิจารณาจากตัวแปรปฏิบัติงานที่เหมาะสมเริ่มต้น



รูปที่ 4.8 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคส ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องแยกสารผสม เมื่อพิจารณาจากตัวแปรปฏิบัติงานที่เหมาะสมเริ่มต้น ภายใต้อุณหภูมิ (ก) 40 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อตัวแปรปฏิบัติงานต่าง ๆ ถูกกำหนดเป็นตัวแปรมาตรฐาน ยกเว้นอัตราการไหลของสารผสมในแต่ละโซนและเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่ง ซึ่งจะถูกกำหนดใหม่เป็นอัตราการไหลและเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งที่ทำให้เกิดการแยกของน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่ที่สุด

ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารผสมจะถูกพิจารณาใหม่เป็น 0.0005, 0.0008, 0.0008 และ 0.0009 เมตร/วินาที ของสารผสมในโซน 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ส่วนเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งจะถูกพิจารณาเป็น 120 วินาที เมื่อกำหนดให้ตัวแปรปฏิบัติงานอื่น ๆ คงที่ อัตราการไหลของสารผสมในแต่ละโซนและเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งที่ถูกพิจารณาใหม่จะถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรปฏิบัติงานที่เหมาะสมเริ่มต้น ดังนั้น จะสามารถหารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคส ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องแยกสารผสมเมื่อพิจารณาจากตัวแปรปฏิบัติงานที่เหมาะสมเริ่มต้น ได้ดังรูปที่ 4.8(ก) ซึ่งจะพบว่าตำแหน่ง 2 จะมีความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสที่ถูกแยกออกจากสารผสมมากกว่าน้ำตาลฟรุกโตสอยู่ 1.07 เท่า ในขณะที่ตำแหน่ง 5 จะมีความเข้มข้นน้ำตาลฟรุกโตสที่ถูกแยกออกจากสารผสมมากกว่าน้ำตาลกลูโคสอยู่ 1.83 เท่า

ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารผสมจะถูกพิจารณาใหม่เป็น 0.0005, 0.0005, 0.0005 และ 0.0008 เมตร/วินาที ของสารผสมในโซน 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ส่วนเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งจะถูกพิจารณาเป็น 90 วินาที เมื่อกำหนดให้ตัวแปรปฏิบัติงานอื่น ๆ คงที่ อัตราการไหลของสารผสมในแต่ละโซนและเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งที่ถูกพิจารณาใหม่จะถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรปฏิบัติงานที่เหมาะสมเริ่มต้น ดังนั้น จะสามารถหารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคส ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องแยกสารผสมเมื่อพิจารณาจากตัวแปรปฏิบัติงานที่เหมาะสมเริ่มต้น ได้ดังรูปที่ 4.8(ข) ซึ่งจะพบว่าตำแหน่ง 2 จะมีความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสที่ถูกแยกออกจากสารผสมมากกว่าน้ำตาลฟรุกโตสอยู่ 1.98 เท่า ในขณะที่ตำแหน่ง 5 จะมีความเข้มข้นน้ำตาลฟรุกโตสที่ถูกแยกออกจากสารผสมมากกว่าน้ำตาลกลูโคสอยู่ 2.38 เท่า

ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของสารผสมจะถูกพิจารณาใหม่เป็น 0.0004, 0.0006, 0.0004 และ 0.0007 เมตร/วินาที ของสารผสมในโซน 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ส่วนเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งจะถูกพิจารณาเป็น 90 วินาที เมื่อกำหนดให้ตัวแปรปฏิบัติงานอื่น ๆ คงที่ อัตราการไหลของสารผสมในแต่ละโซนและเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งที่ถูกพิจารณาใหม่จะถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรปฏิบัติงานที่เหมาะสมเริ่มต้น ดังนั้น จะสามารถหารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคส ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องแยกสารผสมเมื่อพิจารณาจากตัวแปรปฏิบัติงานที่เหมาะสมเริ่มต้น ได้ดังรูปที่ 4.8(ค) ซึ่งจะพบว่าตำแหน่ง 2 จะมีความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสที่ถูกแยกออกจากสารผสมมากกว่าน้ำตาลฟรุกโตสอยู่ 3.38 เท่า ในขณะที่ตำแหน่ง 5 จะมีความเข้มข้นน้ำตาลฟรุกโตสที่ถูกแยกออกจากสารผสมมากกว่าน้ำตาลกลูโคสอยู่ 2.83 เท่า

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลระหว่างรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคสเมื่อพิจารณาจากตัวแปรปฏิบัติงานมาตรฐานกับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้นของน้ำคาลฟรุกโตสและกลูโคสเมื่อพิจารณาจากตัวแปรปฏิบัติงานที่เหมาะสมเริ่มต้น ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส จะพบว่าอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสต่อฟรุกโตสที่แยกออกจากสารผสมที่ตำแหน่ง 2 และอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของฟรุกโตสต่อกลูโคสที่แยกออกจากสารผสมที่ตำแหน่ง 5 เมื่อพิจารณาจากตัวแปรปฏิบัติงานที่เหมาะสมเริ่มต้น ไม่ได้เกิดการแยกสูงกว่าเมื่อพิจารณาจากตัวแปรปฏิบัติงานมาตรฐานเสมอไป แต่ตัวแปรปฏิบัติงานที่เหมาะสมเริ่มต้นดังกล่าวก็สามารถใช้เป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาหาตัวแปรปฏิบัติงานที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการแยกที่ดีที่สุดต่อไปได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

1. การทดลองหาค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของฟรุกโตสและกลูโคส ที่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ที่ 40 องศาเซลเซียสได้ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของฟรุกโตสเท่ากับ 1.116 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของกลูโคสเท่ากับ 0.521 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อพิจารณาสารละลายฟรุกโตสและกลูโคสที่ความเข้มข้นเดียวกันจะพบว่าค่าการดูดซับของสารละลายฟรุกโตสจะมากกว่าค่าการดูดซับของสารละลายกลูโคส 2.14 เท่า

ที่ 50 องศาเซลเซียสได้ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของฟรุกโตสเท่ากับ 0.804 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของกลูโคสเท่ากับ 0.241 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อพิจารณาสารละลายฟรุกโตสและกลูโคสที่ความเข้มข้นเดียวกันจะพบว่าค่าการดูดซับของสารละลายฟรุกโตสจะมากกว่าค่าการดูดซับของสารละลายกลูโคส 3.33 เท่า

ที่ 60 องศาเซลเซียสได้ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของฟรุกโตสเท่ากับ 0.690 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของกลูโคสเท่ากับ 0.146 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อพิจารณาสารละลายฟรุกโตสและกลูโคสที่ความเข้มข้นเดียวกันจะพบว่าค่าการดูดซับของสารละลายฟรุกโตสจะมากกว่าค่าการดูดซับของสารละลายกลูโคส 4.74 เท่า

2. ศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลเชิงเส้นที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของเครื่องแยกสารแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยอาศัยแบบจำลองการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง พบว่า ที่ 40 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเท่ากับ 0.0005, 0.0008, 0.0008 และ 0.0009 เมตร/วินาที เป็นอัตราการไหลของสารผสมในโซน 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ที่ทำให้เกิดการแยกของน้ำตาล ฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เหมาะสมที่สุด

ที่ 50 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการไหลเท่ากับ 0.0005, 0.0005, 0.0005 และ 0.0008 เมตร/วินาที เป็นอัตราการไหลของสารผสมในโซน 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ที่ทำให้เกิดการแยกของน้ำตาล ฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เหมาะสมที่สุด

ที่ 60 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการไหลเท่ากับ 0.0004, 0.0006, 0.0004 และ 0.0007 เมตร/วินาที เป็นอัตราการไหลของสารผสมในโซน 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ที่ทำให้เกิดการแยกของน้ำตาล ฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เหมาะสมที่สุด

3. ศึกษาผลกระทบของเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของเครื่องแยกสารแบบเบดเคลื่อนที่จำลอง ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยอาศัยแบบจำลองการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่า เวลา 120 วินาที เป็นเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งป้อนสารเข้าและดึงสารออกที่ทำให้เกิดการแยกของน้ำตาลกลูโคสออกจากสารผสมในตำแหน่ง 2 มากที่สุด ซึ่งมากกว่าน้ำตาล ฟรุคโตส 2.20 เท่า และทำให้เกิดการแยกของน้ำตาลฟรุคโตสออกจากสารผสมในตำแหน่ง 5 มากที่สุดเช่นกัน ซึ่งมากกว่าน้ำตาลกลูโคส 8.43 เท่าและเมื่อศึกษาต่อถึงผลของอัตราการไหลของสารผสมที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละ โชนและเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งที่ดีที่สุด จะพบว่าตำแหน่ง 2 จะมีความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสที่ถูกแยกออกจากสารผสมมากกว่าน้ำตาลฟรุคโตสอยู่ 1.07 เท่า ในขณะที่ตำแหน่ง 5 จะมีความเข้มข้นน้ำตาลฟรุคโตสที่ถูกแยกออกมาจากสารผสมมากกว่าน้ำตาลกลูโคสอยู่ 1.83 เท่า

ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 90 วินาที เป็นเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งป้อนสารเข้าและดึงสารออกที่ทำให้เกิดการแยกของน้ำตาลกลูโคสออกจากสารผสมในตำแหน่ง 2 มากที่สุด ซึ่งมากกว่าน้ำตาล ฟรุคโตส 2.52 เท่า และทำให้เกิดการแยกของน้ำตาลฟรุคโตสออกจากสารผสมในตำแหน่ง 5 มากที่สุดเช่นกัน ซึ่งมากกว่าน้ำตาลกลูโคส 38.49 เท่าและเมื่อศึกษาต่อถึงผลของอัตราการไหลของสารผสมที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละ โชนและเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งที่ดีที่สุด จะพบว่าตำแหน่ง 2 จะมีความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสที่ถูกแยกออกจากสารผสมมากกว่าน้ำตาลฟรุคโตสอยู่ 1.98 เท่า ในขณะที่ตำแหน่ง 5 จะมีความเข้มข้นน้ำตาลฟรุคโตสที่ถูกแยกออกมาจากสารผสมมากกว่าน้ำตาลกลูโคสอยู่ 2.38 เท่า

ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 90 วินาที เป็นเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งป้อนสารเข้าและดึงสารออกที่ทำให้เกิดการแยกของน้ำตาลกลูโคสออกจากสารผสมในตำแหน่ง 2 มากที่สุด ซึ่งมากกว่าน้ำตาล ฟรุคโตส 6.69 เท่า และทำให้เกิดการแยกของน้ำตาลฟรุคโตสออกจากสารผสมในตำแหน่ง 5 มากที่สุดเช่นกัน ซึ่งมากกว่าน้ำตาลกลูโคส 5.91 เท่า และเมื่อศึกษาต่อถึงผลของอัตราการไหลของสารผสมที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละ โชนและเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งที่ดีที่สุด จะพบว่าตำแหน่ง 2 จะมีความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสที่ถูกแยกออกจากสารผสมมากกว่าน้ำตาลฟรุคโตสอยู่ 1.12 เท่า ในขณะที่ตำแหน่ง 5 จะมีความเข้มข้นน้ำตาลฟรุคโตสที่ถูกแยกออกมาจากสารผสมมากกว่าน้ำตาลกลูโคสอยู่ 1.37 เท่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการศึกษาเพิ่มเติม ควรจะศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารผสมที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของเครื่องแยกสารแบบเบคเคิลีอนที่จำลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] กล้าณรงค์ ศรีรอด. “สารให้ความหวาน = Sweeteners : คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์.” กรุงเทพฯ : จาร์พา เท็คเซ็นเตอร์. 2542.
- [2] Fred W. Schenck, Ronld E. Hebeda. “Starch hydrolysis products : worldwide technology, production, and applications.” New York : VCH. 1992.
- [3] F. Lode, M. Houmard, C. Migliorini, M. Mazzotti, M. Morbidelli. “Continuous reactive chromatography.” Chemical Engineering Science 56 (2001), pp 269-291.
- [4] Kenji Hashimoto, Shuji Adachi, Hiromitsu Noujima and Hiroki Maruyama. “Models for the separation of glucose/fructose mixture using a simulated moving-bed adsorber.” Journal of Chemical Engineering of Japan 16 (1983), pp 400-406.
- [5] Lj. Matijašević and Đ. Vasić-Rački. “Separation of glucose/fructose mixtures: counter-current adsorption system.” Biochemical Engineering Journal 4 (2000), pp 101-106.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก-1 ผลการทดลองหาค่าการดูดซับของสารละลายฟรุคโตสและกลูโคส ภายใต้อุณหภูมิ (ก) 40 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 60 องศาเซลเซียส

(ก) ภายใต้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

สารละลายกลูโคส		สารละลายฟรุคโตส	
ความเข้มข้นเริ่มต้น (g/ml)	ปริมาณที่ถูกดูดซับ (g/g)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (g/ml)	ปริมาณที่ถูกดูดซับ (g/g)
0.4	0.155	0.4	0.431
0.6	0.299	0.6	0.561
0.8	0.384	0.8	0.689

(ข) ภายใต้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

สารละลายกลูโคส		สารละลายฟรุคโตส	
ความเข้มข้นเริ่มต้น (g/ml)	ปริมาณที่ถูกดูดซับ (g/g)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (g/ml)	ปริมาณที่ถูกดูดซับ (g/g)
0.4	0.081	0.4	0.325
0.6	0.146	0.6	0.502
0.8	0.200	0.8	0.627

(ค) ภายใต้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

สารละลายกลูโคส		สารละลายฟรุคโตส	
ความเข้มข้นเริ่มต้น (g/ml)	ปริมาณที่ถูกดูดซับ (g/g)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (g/ml)	ปริมาณที่ถูกดูดซับ (g/g)
0.4	0.041	0.4	0.231
0.6	0.084	0.6	0.336
0.8	0.122	0.8	0.512

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข-1 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคส ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องแยกสารผสมแบบเบคเคิลีอนที่จำลอง เมื่อพิจารณาจากตัวแปรมาตรฐาน ภายใต้อุณหภูมิ (ก) 40 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 60 องศาเซลเซียส

(ก) ภายใต้ 40 องศาเซลเซียส

ตำแหน่ง	ความเข้มข้นของกลูโคส (mol/m ³)	ความเข้มข้นของฟรุกโตส (mol/m ³)
1	10.52	59.36
2	186.83	85.06
3	235.05	228.46
4	193.58	183.83
5	17.14	144.52
6	4.64	26.15

(ข) ภายใต้ 50 องศาเซลเซียส

ตำแหน่ง	ความเข้มข้นของกลูโคส (mol/m ³)	ความเข้มข้นของฟรุกโตส (mol/m ³)
1	84.94	31.39
2	170.95	96.86
3	171.00	256.38
4	98.80	225.15
5	37.42	128.66
6	37.42	13.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) ภายใต้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ตำแหน่ง	ความเข้มข้นของกลูโคส (mol/m ³)	ความเข้มข้นของฟรุกโตส (mol/m ³)
1	5.36	59.06
2	201.22	59.46
3	279.55	249.53
4	279.55	149.57
5	51.51	145.62
6	1.65	9.84

ตารางที่ ข-2 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของสารผสมในโซน 1 เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ ภายใต้อุณหภูมิ (ก) 40 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 60 องศาเซลเซียส

(ก) ภายใต้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

v ₁ (m/s)	ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 2 (mol/m ³)			ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 5 (mol/m ³)		
	กลูโคส (C _{2G})	ฟรุกโตส (C _{2F})	C _{2G} /C _{2F}	กลูโคส (C _{5G})	ฟรุกโตส (C _{5F})	C _{5F} /C _{5G}
0.0004	135.06	67.07	2.01	12.65	132.98	10.51
0.0005	179.82	82.53	2.18	15.32	142.88	9.33
0.0006	229.43	106.60	2.15	53.46	158.77	2.97
0.0007	267.21	151.01	1.77	142.70	189.81	1.33
0.0008	305.14	241.67	1.26	265.19	259.40	0.98
0.0009	349.03	287.77	1.21	417.89	302.13	0.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) ภายใต้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

v_i (m/s)	ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 2 (mol/m ³)			ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 5 (mol/m ³)		
	กลูโคส (C_{2G})	ฟรุกโตส (C_{2F})	C_{2G}/C_{2F}	กลูโคส (C_{5G})	ฟรุกโตส (C_{5F})	C_{5F}/C_{5G}
0.0004	132.61	82.77	1.60	18.55	67.99	3.67
0.0005	167.89	93.51	1.80	31.54	127.37	4.04
0.0006	195.15	126.50	1.54	83.01	141.28	1.70
0.0007	234.05	194.90	1.20	156.45	180.00	0.87
0.0008	291.39	266.68	1.09	264.71	258.26	0.98
0.0009	380.73	325.50	1.17	433.39	387.12	0.89

(ค) ภายใต้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

v_i (m/s)	ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 2 (mol/m ³)			ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 5 (mol/m ³)		
	กลูโคส (C_{2G})	ฟรุกโตส (C_{2F})	C_{2G}/C_{2F}	กลูโคส (C_{5G})	ฟรุกโตส (C_{5F})	C_{5F}/C_{5G}
0.0004	133.73	15.71	8.51	15.71	69.94	4.45
0.0005	154.08	48.84	3.15	48.84	73.26	1.50
0.0006	181.63	93.72	1.94	93.72	82.38	0.88
0.0007	222.98	161.06	1.38	161.06	139.81	0.87
0.0008	286.41	264.39	1.08	264.39	276.76	1.05
0.0009	394.59	440.59	0.90	440.59	420.60	0.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของสารผสมในโซน 2 เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ ภายใต้อุณหภูมิ (ก) 40 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 60 องศาเซลเซียส

(ก) ภายใต้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

v_2 (m/s)	ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 2 (mol/m^3)			ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 5 (mol/m^3)		
	กลูโคส (C_{2G})	ฟรุกโตส (C_{2F})	C_{2G}/C_{2F}	กลูโคส (C_{5G})	ฟรุกโตส (C_{5F})	C_{5F}/C_{5G}
0.0004	489.83	140.90	3.48	450.54	343.22	0.76
0.0005	389.21	114.92	3.39	253.95	278.73	1.10
0.0006	350.33	94.56	3.70	63.25	216.03	3.42
0.0007	266.47	89.95	2.96	26.53	177.52	6.69
0.0008	180.36	84.82	2.13	16.44	141.73	8.62
0.0009	137.60	76.62	1.80	12.01	116.15	9.67

(ข) ภายใต้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

v_2 (m/s)	ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 2 (mol/m^3)			ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 5 (mol/m^3)		
	กลูโคส (C_{2G})	ฟรุกโตส (C_{2F})	C_{2G}/C_{2F}	กลูโคส (C_{5G})	ฟรุกโตส (C_{5F})	C_{5F}/C_{5G}
0.0004	477.23	187.20	2.55	135.64	269.14	1.98
0.0005	453.66	136.09	3.33	112.41	239.76	2.13
0.0006	404.52	133.33	3.03	90.74	201.11	2.22
0.0007	236.56	95.39	2.48	51.78	171.37	3.31
0.0008	165.51	96.26	1.72	36.23	124.30	3.43
0.0009	128.34	89.79	1.43	28.09	94.65	3.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) ภายใต้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

v_2 (m/s)	ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 2 (mol/m ³)			ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 5 (mol/m ³)		
	กลูโคส (C_{2G})	ฟรุกโตส (C_{2F})	C_{2G}/C_{2F}	กลูโคส (C_{5G})	ฟรุกโตส (C_{5F})	C_{5F}/C_{5G}
0.0004	341.55	163.58	2.09	301.11	244.51	0.81
0.0005	320.15	141.74	2.26	290.99	217.26	0.75
0.0006	298.74	140.23	2.13	117.06	202.52	1.73
0.0007	210.86	161.26	1.31	72.27	113.88	1.58
0.0008	152.50	137.42	1.11	52.27	70.80	1.35
0.0009	120.38	115.20	1.04	41.26	50.56	1.23

ตารางที่ ข-4 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของสารผสมในโซน 3 เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ ภายใต้อุณหภูมิ (ก) 40 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 60 องศาเซลเซียส

(ก) ภายใต้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

v_3 (m/s)	ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 2 (mol/m ³)			ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 5 (mol/m ³)		
	กลูโคส (C_{2G})	ฟรุกโตส (C_{2F})	C_{2G}/C_{2F}	กลูโคส (C_{5G})	ฟรุกโตส (C_{5F})	C_{5F}/C_{5G}
0.0004	114.31	53.2	2.15	55.22	94.1	1.70
0.0005	151.20	64.50	2.34	41.31	112.48	2.72
0.0006	184.50	81.53	2.26	19.65	119.26	6.07
0.0007	196.89	110.65	1.78	10.29	123.00	11.95
0.0008	201.52	165.51	1.22	7.35	124.74	16.97
0.0009	202.56	297.78	0.68	6.25	124.95	19.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) ภายใต้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

v_3 (m/s)	ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 2 (mol/m ³)			ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 5 (mol/m ³)		
	กลูโคส (C_{2G})	ฟรุกโตส (C_{2F})	C_{2G}/C_{2F}	กลูโคส (C_{5G})	ฟรุกโตส (C_{5F})	C_{5F}/C_{5G}
0.0004	111.45	52.12	2.14	29.22	89.53	3.06
0.0005	159.31	70.03	2.27	34.94	107.33	3.07
0.0006	169.58	92.23	1.84	37.12	125.85	3.39
0.0007	182.39	128.13	1.42	39.92	146.36	3.67
0.0008	196.17	178.51	1.10	42.94	163.56	3.81
0.0009	211.94	200.08	1.06	46.39	187.52	4.04

(ค) ภายใต้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

v_3 (m/s)	ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 2 (mol/m ³)			ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 5 (mol/m ³)		
	กลูโคส (C_{2G})	ฟรุกโตส (C_{2F})	C_{2G}/C_{2F}	กลูโคส (C_{5G})	ฟรุกโตส (C_{5F})	C_{5F}/C_{5G}
0.0004	130.8	75.38	1.74	44.83	79.43	1.77
0.0005	142.13	98.26	1.45	48.71	83.90	1.72
0.0006	155.60	133.81	1.16	53.33	85.06	1.59
0.0007	171.93	171.89	1.00	58.93	88.10	1.49
0.0008	192.53	195.27	0.99	65.99	109.17	1.65
0.0009	218.35	204.55	1.07	74.84	116.38	1.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของสารผสมในโซน 4 เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ ภายใต้อุณหภูมิ (ก) 40 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 60 องศาเซลเซียส

(ก) ภายใต้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

v_4 (m/s)	ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 2 (mol/m ³)			ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 5 (mol/m ³)		
	กลูโคส (C _{2G})	ฟรุกโตส (C _{2F})	C _{2G} /C _{2F}	กลูโคส (C _{5G})	ฟรุกโตส (C _{5F})	C _{5F} /C _{5G}
0.0004	476.26	576.87	0.83	329.97	469.01	1.42
0.0005	357.98	341.41	1.05	372.36	333.59	0.90
0.0006	205.26	216.44	0.95	75.54	258.46	3.42
0.0007	191.12	139.47	1.37	31.94	202.44	6.34
0.0008	187.60	95.30	1.97	19.88	158.25	7.96
0.0009	186.04	70.23	2.65	14.35	125.08	8.72

(ข) ภายใต้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

v_4 (m/s)	ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 2 (mol/m ³)			ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 5 (mol/m ³)		
	กลูโคส (C _{2G})	ฟรุกโตส (C _{2F})	C _{2G} /C _{2F}	กลูโคส (C _{5G})	ฟรุกโตส (C _{5F})	C _{5F} /C _{5G}
0.0004	428.12	378.95	1.13	472.13	356.45	0.75
0.0005	393.95	339.11	1.16	458.34	328.60	0.72
0.0006	207.35	217.10	0.96	106.05	269.92	2.55
0.0007	183.30	139.69	1.31	60.64	201.17	3.32
0.0008	173.50	104.52	1.66	42.12	145.44	3.45
0.0009	168.28	89.37	1.88	32.27	108.91	3.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) ภายใต้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

v_4 (m/s)	ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 2 (mol/m^3)			ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 5 (mol/m^3)		
	กลูโคส (C_{2G})	ฟรุกโตส (C_{2F})	C_{2G}/C_{2F}	กลูโคส (C_{5G})	ฟรุกโตส (C_{5F})	C_{5F}/C_{5G}
0.0004	384.52	467.61	0.82	409.63	352.21	0.86
0.0005	369.42	338.51	1.09	399.58	326.17	0.82
0.0006	208.79	214.21	0.97	137.96	244.22	1.77
0.0007	175.80	158.14	1.11	84.23	139.09	1.65
0.0008	161.04	142.74	1.13	60.18	86.40	1.44
0.0009	152.83	137.58	1.11	46.81	60.75	1.30

ตารางที่ ๖-6 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคสในตำแหน่ง 2 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่ง เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ ภายใต้อุณหภูมิ (ก) 40 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 60 องศาเซลเซียส

(ก) ภายใต้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

T (s)	ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 2 (mol/m^3)			ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 5 (mol/m^3)		
	กลูโคส (C_{2G})	ฟรุกโตส (C_{2F})	C_{2G}/C_{2F}	กลูโคส (C_{5G})	ฟรุกโตส (C_{5F})	C_{5F}/C_{5G}
30	103.29	322.23	0.32	126.83	322.23	2.54
60	324.23	324.23	1.00	324.23	323.77	1.00
90	88.81	85.41	1.04	140.62	143.38	1.02
120	186.83	85.06	2.20	17.14	144.52	8.43
150	176.84	112.62	1.57	30.31	108.46	3.58
180	164.69	164.03	1.00	48.68	52.10	1.07
210	156.98	185.79	0.84	57.76	30.91	0.54
240	151.72	184.84	0.82	62.73	38.08	0.61
270	149.21	168.33	0.89	66.18	40.06	0.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) ภายใต้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

T (s)	ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 2 (mol/m ³)			ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 5 (mol/m ³)		
	กลูโคส (C _{2G})	ฟรุกโตส (C _{2F})	C _{2G} /C _{2F}	กลูโคส (C _{5G})	ฟรุกโตส (C _{5F})	C _{5F} /C _{5G}
30	96.98	322.33	0.30	133.80	322.33	2.41
60	96.98	322.33	0.30	133.80	322.33	2.41
75	136.41	85.39	1.60	32.71	146.99	4.49
90	199.53	79.04	2.52	4.00	153.97	38.49
105	187.56	80.56	2.33	18.25	150.28	8.23
120	170.95	96.86	1.76	37.42	128.66	3.44
150	157.28	160.79	0.98	54.88	49.18	0.90
180	152.49	183.47	0.83	63.38	27.02	0.43
210	148.78	181.44	0.82	67.58	40.98	0.61
240	145.51	165.80	0.88	69.69	49.90	0.72
270	144.18	163.69	0.88	71.78	62.04	0.86

(ค) ภายใต้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

T (s)	ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 2 (mol/m ³)			ความเข้มข้น ณ ตำแหน่ง 5 (mol/m ³)		
	กลูโคส (C _{2G})	ฟรุกโตส (C _{2F})	C _{2G} /C _{2F}	กลูโคส (C _{5G})	ฟรุกโตส (C _{5F})	C _{5F} /C _{5G}
30	89.22	143.35	0.62	143.35	322.33	2.25
60	324.23	98.09	3.31	98.08	322.82	3.29
90	180.93	27.05	6.69	27.05	159.9	5.91
120	157.16	53.86	2.92	53.86	74.01	1.37
150	150.04	63.38	2.37	63.38	20.68	0.33
180	148.18	69.24	2.14	39.24	38.54	0.98
210	145.68	71.68	2.03	71.68	44.60	0.62
240	143.46	73.18	1.96	73.18	9.03	0.12
270	141.96	74.32	1.91	74.32	57.10	0.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-7 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของฟรุกโตสและกลูโคส ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องแยกสารผสมแบบเบคเคล็อนที่จำลอง เมื่อพิจารณาจากตัวแปรปฏิบัติงานที่เหมาะสมเริ่มต้นภายใต้อุณหภูมิ (ก) 40 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 60 องศาเซลเซียส

(ก) ภายใต้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตำแหน่ง	ความเข้มข้นของกลูโคส (mol/m^3)	ความเข้มข้นของฟรุกโตส (mol/m^3)
1	70.25	129.28
2	177.17	165.36
3	177.17	165.36
4	95.83	84.02
5	34.83	63.69
6	34.61	63.69

(ข) ภายใต้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ตำแหน่ง	ความเข้มข้นของกลูโคส (mol/m^3)	ความเข้มข้นของฟรุกโตส (mol/m^3)
1	20.31	35.46
2	124.00	62.51
3	297.10	456.82
4	112.45	278.21
5	79.47	189.06
6	49.87	23.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) ภายใต้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ตำแหน่ง	ความเข้มข้นของกลูโคส (mol/m ³)	ความเข้มข้นของฟรุกโตส (mol/m ³)
1	5.36	59.06
2	201.22	59.46
3	279.55	249.53
4	279.55	149.57
5	51.51	145.62
6	1.65	9.84



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้