บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัญหาการขาดแคลนพลังงานเป็นปัญหาที่ทั่วโลกให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก ดังเห็นได้จากแนวโน้มการศึกษาเพื่อหาแหล่งพลังงานทดแทนจากด้านต่างๆ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากความร้อนใต้พิภพ พลังงานลม ฯลฯ มาใช้แทนพลังงานจากน้ำมันดิบ ทางแก้ปัญหาอีกแนวทางหนึ่งสามารถทำได้โดยอาศัยผลผลิตทางการเกษตรมาแปรรูปเป็นพลังงานเชื้อเพลิง เช่น การผลิตเอทานอลจากพืชหรือผลพลอยได้อื่นๆ จากการเกษตรเพื่อนำมาผสมกับน้ำมันเบนซินเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (Gasohol) หรือผสมกับน้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันดีโซฮอล์ (Diesohol) หรือน้ำมันปาล์มมาทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิ-เคชั่นกับแอลกอฮอล์เป็นน้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel) การใช้เชื้อเพลิงชีวมวล เช่น การนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร แกลบ เศษไม้ มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า การนำมูลสัตว์มาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพเป็นต้น

เอทานอล (Ethanol) หรือที่เรียกอีกชื่อว่า เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) มีสัญลักษณ์ทางเคมี คือ C_2H_5OH เป็นของเหลวใส ไม่มีสี ระเหยง่าย ละลายในน้ำ และในสารอินทรีย์อื่นๆได้ดี เอทานอลยังมีประโยชน์หลายประการ เช่น ใช้เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ใช้ในการผลิตยา ใช้เป็นตัวทำละลายในการผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อขับเคลื่อนเครื่องยนต์ และใช้เป็นสารเพิ่มค่าออกเทนให้แก่น้ำมันเบนซิน การหมักเอทานอลในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ synthetic ethanol เป็นเอทานอลชนิดที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีโดยใช้ เอทิลีน (ethylene) เป็นวัตถุดิบ และ fermentation ethanol เป็นเอทานอลชนิดที่ผลิตโดยวิธีการหมักสารชีวมวล วิธีสังเคราะห์เอทานอลเป็นกระบวนการที่รวดเร็ว และไม่ยุ่งยาก แต่ต้องใช้สารเริ่มต้นที่เป็นผลผลิตจากปิโตรเลียม ซึ่งในปัจจุบันมีการขึ้นราคาน้ำมันปิโตรเลียมจึงทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ทำให้นักวิทยาศาสตร์หันมาสนใจผลิตเอทานอลจากกระบวนการหมักสาร ชีวมวลมากขึ้นเพราะเป็นการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักในประเทศไทยทำโดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ทำการหมักแบบครั้งคราว (batch) หรือแบบ Fed batch ดังนั้นการพัฒนากระบวนการหมักจึงมีความจำเป็นเพื่อให้ได้กำลังการผลิตในปริมาณที่มากเพียงพอกับการใช้เป็นเชื้อเพลิง

การพัฒนากระบวนการหมักหรือควบคุมการหมักให้ได้ผลผลิตสูงสุดยังต้องอาศัยงานวิจัย และพัฒนาด้านวิศวกรรมดังนั้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลองจะทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการออกแบบ และการขยายขนาดในอุตสาหกรรมการหมักเอทานอล จะเห็นได้ว่ามีงานวิจัยต่างประเทศ

นำเสนอแบบจำลองสำหรับกระบวนการหมักเอทานอลหลากหลายแบบ อย่างไรก็ดียังพบว่าแบบจำลองที่มีการนำเสนอแล้ว ยังมีความแตกต่างของวัตถุดิบในการหมัก สายพันธุ์ยีสต์ที่ใช้ ช่วงความเข้มข้นของน้ำตาลที่ใช้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการหมักเอทานอล โดยกระบวนการหมักและพัฒนาแบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลและน้ำอ้อย โดยใช้ *S. cerevisiae* นำมาทำการศึกษาโดยมีตัวแปรการหมัก ได้แก่ ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น เป็นต้น จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบข้อมูลจากการทดลอง เพื่อนำไปสู่การสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมในการทำนายผลในการหมักเอทานอลในระดับอุตสาหกรรมของประเทศ

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การหมักเอทานอลโดยกระบวนการหมัก เพื่อเปลี่ยนแปลงสารจำพวกน้ำตาลไปเป็นเอทานอลโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ เช่น ยีสต์ (*S. cerevisiae*) และแบคทีเรีย (*Zymomonas mobilis*) ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการหมักเอทานอล คือ สายพันธุ์จุลินทรีย์ ความเข้มข้นของอาหาร(น้ำตาล) ค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน ซึ่งพบว่าปัจจัยทั้งหมดนี้มีผลเกี่ยวเนื่องกัน ในกระบวนการหมักเอทานอลจำเป็นต้องควบคุมที่สภาวะที่เหมาะสม เพื่อให้กระบวนการหมักมีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากกระบวนการหมักซับซ้อน ดังนั้นจึงมีการศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการอธิบายกลไกการหมักเอทานอล และใช้ในการควบคุมกระบวนการหมัก จากการศึกษาจลนพลศาสตร์การหมักเอทานอลจำเป็นต้องใช้ข้อมูลการทดลองหมักเอทานอลประกอบด้วย ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยศึกษาการหมักเอทานอลโดยกระบวนการหมัก

Cazetta และคณะ [1] ได้ศึกษาการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลโดยเชื้อ *Z. mobilis* ATCC 29191 โดยออกแบบการทดลองด้วยทฤษฎี response surface methodology (RMS) ทำการศึกษาที่ความเข้มข้นกากน้ำตาลเท่ากับ 150, 200, 250 และ 300 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 25, 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าที่ความเข้มข้นกากน้ำตาลเท่ากับ 200 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถหมักเอทานอลได้สูงสุดเท่ากับ 55.8 กรัมต่อลิตร ที่ 48 ชั่วโมง

กัลทิมา พิชัย [2] ได้ศึกษาการเปรียบเทียบการเจริญและการหมักเอทานอลของ *Z. mobilis* ในน้ำอ้อยในสภาวะต่างๆ พบว่าเชื้อ *Z. mobilis* IFO 13756 จากการหมักโดยใช้น้ำอ้อยที่มีความหวาน 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการเติมอากาศและไม่ปรับค่า pH สามารถหมักเอทานอลได้ 9 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรที่ 96 ชั่วโมงของการหมัก

Roukas [3] ศึกษาการหมักเอทานอลโดยเชื้อ *S. cerevisiae* จากกากน้ำตาล (แบบไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ) ที่ความเข้มข้น 250 กรัมต่อลิตร เปรียบเทียบการหมักเอทานอลระหว่างกระบวนการหมักแบบ fed-batch กับ แบบ batch พบว่าแบบ fed-batch ซึ่งสามารถหมักเอทานอลได้มากกว่าเท่ากับ 53 กรัมต่อลิตร และยังศึกษาการหมักเอทานอลโดยวิธี repeated batch ให้ผลการหมักเอทานอลที่ดีขึ้นเมื่อใช้วิธีการตรึงเซลล์ยีสต์ แต่จะให้ผลการหมักเอทานอลที่ลดลงเมื่อใช้ยีสต์แบบปกติ

ชุติมา ศรีงิ้ว [4] ศึกษาการหมักเอทานอลเชื้อเพลิงจากน้ำอ้อยโดยยีสต์ที่ทนอุณหภูมิสูง โดยทำการคัดเลือกยีสต์ 6 สายพันธุ์ พบว่ายีสต์สายพันธุ์ DMKU3-1042 หมักเอทานอลได้สูงสุด จึงเลือกยีสต์สายพันธุ์ดังกล่าวซึ่งภายหลังจำแนกเป็น *Kluyveromyces marxianus* นำมาทดลองหมักในขวดชมพู่ โดยใช้ปริมาณน้ำตาลเท่ากับ 16, 18, 20, 22 และ 24 เปอร์เซ็นต์และหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่าที่น้ำตาล 22 เปอร์เซ็นต์สามารถหมักเอทานอลได้สูงที่สุดเท่ากับ 11.51 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ 60 ชั่วโมง ขณะที่หมักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่สภาวะเดียวกัน สามารถหมักเอทานอลได้สูงที่สุดเท่ากับ 8.25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ 42 ชั่วโมง จากนั้นนำสภาวะที่เหมาะสมไปทดลองในถังหมักขนาด 5 ลิตร สามารถหมักเอทานอลได้เท่ากับ 7.64 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิลดลงสามารถหมักเอทานอลได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงควรทำการทดลองที่อุณหภูมิต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส

ปริษฎางค์ วงศ์ปราชญ์ [5] ศึกษาการปรับปรุงการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลอ้อย โดย *S. cerevisiae* SKP1 ทดลองโดยใช้ปริมาณน้ำตาล 165, 220, 260 และ 280 กรัมต่อลิตร พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการหมักเอทานอลในถังหมักขนาด 5 ลิตร คือ pH เริ่มต้นเท่ากับ 4.5 อัตราการกวน 100 รอบต่อนาที โดยไม่มีการเติมอากาศ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับ 165 กรัมต่อลิตร หมักเอทานอลได้สูงสุดเท่ากับ 72.7 กรัมต่อลิตร และที่ปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับ 280 กรัมต่อลิตร หมักเอทานอลได้ 52.73 กรัมต่อลิตร เพราะมีผลทำให้เซลล์ยีสต์แตกจึงควรทำการทดลองที่ปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 280 กรัมต่อลิตร

Starzak และคณะ [6] เสนอการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Unstructured model ในการหมักเอทานอลโดยยีสต์ ซึ่งในการศึกษาแบบแรกเป็นแบบควบคุม pH ผลที่ได้จากการทำนายการเปลี่ยนแปลงต่างๆให้ผลที่แม่นยำ และ แบบไม่ควบคุม pH ให้ผลที่ได้จากการทำนายการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่ยังไม่ค่อยแม่นยำ

Birol และคณะ [7] ได้วิเคราะห์แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการหมัก โดยยีสต์ *S. cerevisiae* ATCC 9763 ที่ถูกตรึงด้วย Ca-alginate ที่น้ำตาลเข้มข้น 2-10 เปอร์เซ็นต์และเสนอว่าแบบจำลอง Monod และ Hinshewood สามารถใช้ได้ดีในการจำลองการหมักเมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่นๆ แต่อย่างไรก็ดี แบบจำลองดังกล่าวยังมีปัญหาหรือข้อจำกัดในการใช้งาน คือ ในการใช้งานจะต้องแยกแบ่งช่วงสำหรับน้ำตาลความเข้มข้นต่ำเท่ากับ 2-4 เปอร์เซ็นต์ และช่วงสูงเท่ากับ 8-10 เปอร์เซ็นต์

Oliverira และคณะ [8] เสนอแบบจำลองแบบ Unstructured model สำหรับการหมักเอทานอลจากน้ำอ้อยที่ความเข้มข้น 150 กรัมต่อลิตร ใน Tower reactor ที่ 32 องศาเซลเซียส โดยยีสต์ตกตะกอนทดลองหมักแบบต่อเนื่อง โดยสนใจถึงผลการยับยั้งของน้ำตาลต่อการผลิตเซลล์และเอทานอล พบว่าให้ผลในการทำนายค่อนข้างดีทั้งในการหมักขนาดเล็กและขนาดใหญ่ แต่ยังขาดการทดสอบแบบจำลองที่ปริมาณน้ำตาลความเข้มข้นอื่นๆ ซึ่งอาจจะมีผลการทำนายที่แตกต่างออกไป

Oliverira และคณะ [9] ทำการศึกษาปรับปรุงแบบจำลองโดยเพิ่มอัตราการตายของเซลล์ในแบบจำลอง ทั้งนี้เพื่อใช้ในการทำนายผลการหมักเอทานอลแบบต่อเนื่องที่มีการเวียนกลับเซลล์ และควบคุมอัตราการให้อากาศในทุกสภาวะการทดลอง พบว่าการขยายขนาดไม่ส่งผลต่อค่าคงที่ทางจลนพลศาสตร์ ความแตกต่างส่วนใหญ่ คือ อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด และค่าความเข้มข้นของเอทานอล

เหมือนเดือน พิศาลพงศ์ และวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล [10] สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยพัฒนาจากแบบจำลองของ Monod โดยมีปัจจัยหลักสามส่วนคือ ปัจจัยความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้น ปัจจัยของความเข้มข้นน้ำตาลและเอทานอล และปัจจัยของอุณหภูมิในการหมัก นอกจากนั้นยังเพิ่มปัจจัยของอัตราการตาย และการบำรุงรักษาเซลล์ในการสมดุลมวลของเซลล์ ซึ่งพบว่าผลการจำลองการหมักให้ผลในทางเดียวกันกับผลการทดลองของการหมักเอทานอล แสดงให้เห็นว่าค่าคงที่จลนพลศาสตร์ของกระบวนการหมักไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อขยายขนาดจาก 0.5 ลิตรเป็น 10 ลิตร แต่พบการเบี่ยงเบนอย่างมีนัยสำคัญของค่าคงที่จลนพลศาสตร์เมื่อระบบเปลี่ยนจากแบบ batch เป็น continuous

Wang และคณะ [11] ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการหมักไวน์แอปเปิ้ลโดยยีสต์ *S. cerevisiae* ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Logistic model พบว่าผลการทำนายการหมักให้ผลในทิศทางเดียวกันกับผลการทดลองโดยเฉพาะการทำนายลักษณะการเจริญของเซลล์ ส่วนการทำนายอัตราการหมักเอทานอลและอัตราการใช้น้ำตาลของยีสต์ให้ผลที่ใกล้เคียงกับการทดลอง ข้อดีของการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Logistic model คือ ใช้งานง่ายไม่มีความซับซ้อน และให้ผลการทำนาย

ดีกว่าสมการของ Monod ที่อาจจะต้องใช้สมการที่ปรับปรุงให้ผลการทำนายใกล้เคียงกับผลการทดลอง

ปราโมทย์ ธรรมรัตน์ และคณะ [12] ศึกษาการนำน้ำกากส่ามาใช้ในกระบวนการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาล พบว่าเมื่อใช้น้ำกากส่าชนิดที่ไม่แยกเอาเซลล์ยีสต์ออกกลับมาใช้ใหม่ในปริมาณ 0, 30, 60 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ได้เอทานอลสูงสุด 9.55, 10.70, 10.80 และ 10.60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร น้ำกากส่าแบบที่แยกเซลล์ยีสต์ออกหลังการกลั่น สามารถผลิตเอทานอลได้สูงสุดเท่ากับ 9.60, 10.18, 10.88 และ 10.20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ส่วนน้ำกากส่าแบบที่แยกเอายีสต์ออกก่อนนำไปกลั่นพบว่าผลิตเอทานอลได้ไม่เพิ่มขึ้น ดังนั้นในการเตรียมกากส่าจึงไม่ควรแยกยีสต์ออกก่อนนำไปกลั่น

Shojaosadati และคณะ [13] ปรับปรุงการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาล โดยการนำเซลล์ยีสต์เวียนกลับมาใช้ใหม่ และ การนำน้ำกากส่ากลับมาใช้ใหม่ พบว่าการนำเซลล์ยีสต์กลับมาใช้ใหม่สามารถลดการใช้กากน้ำตาลลงได้ 8 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการหมักเอทานอลขึ้น (Yield) 2-7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลการนำน้ำกากส่ากลับมาใช้ใหม่ 15-70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สามารถลดการใช้น้ำลงได้ 13-47 เปอร์เซ็นต์ และยังเป็นการลดปริมาณน้ำเสียไปด้วย เมื่อพิจารณาผลการนำน้ำกากส่ากลับมาใช้ที่ 70 เปอร์เซ็นต์ กระบวนการหมักยังสามารถดำเนินการได้จึงควรจะทดลองในช่วง 70-100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากคาดว่ากระบวนการหมักยังคงสามารถดำเนินการได้

Navarro และคณะ [14] ศึกษาการนำน้ำกากส่าเวียนกลับมาใช้ใหม่ โดยนำไปใช้แทนน้ำที่จะนำมาเจือจางกากน้ำตาล พบว่าผลจากการนำน้ำกากส่ามาเจือจางกากน้ำตาลแทนน้ำในการหมักเอทานอลสามารถลดปริมาณเกลือแร่ หรืออาหารเสริมสำหรับยีสต์ได้ 66 เปอร์เซ็นต์ ลดปริมาณการใช้น้ำเพื่อเจือจางกากน้ำตาลได้ 46.2 เปอร์เซ็นต์ ลดปริมาณการใช้กรดกำมะถันได้ 50 เปอร์เซ็นต์ ผู้วิจัยยังสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายปริมาณสารแขวนลอยที่เกิดขึ้นจากยีสต์และตะกอนต่างๆไว้ด้วย หากพิจารณางานวิจัยนี้จะพบว่าผู้วิจัยเน้นศึกษาทดลองที่ปริมาณน้ำกากส่าสูงๆ เพื่อให้เหมาะกับการสร้างแบบจำลองการทำนายปริมาณตะกอน และสารแขวนลอย

Pejin และคณะ [15] ศึกษาการหมักเอทานอลจากข้าวโพดโดยใช้น้ำกากส่ากลับมาใช้ใหม่ ซึ่งนำน้ำกากส่ากลับมาใช้ใหม่ในปริมาณต่างๆ คือ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์และทำการเวียนซ้ำ 6 รอบการหมัก พบว่าเมื่อนำน้ำกากส่าเวียนกลับมาใช้ใหม่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการหมักเอทานอล มีค่าสูงกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในน้ำกากส่ามีสารจำพวกคาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโน และสารอาหารจากการแตกตัวของยีสต์ ผู้วิจัยได้สรุปว่าที่ปริมาณการเวียนกลับน้ำกากส่า 10 เปอร์เซ็นต์เหมาะสมที่สุดในการ

นำกลับมาใช้ใหม่ แต่หากพิจารณาผลที่การเวียนกลับน้ำกากส่า 30 เปอร์เซ็นต์จะพบว่ามีประสิทธิภาพการหมักเอทานอลสูงกว่าที่ 10 เปอร์เซ็นต์ จึงควรทดลองที่เปอร์เซ็นต์น้ำกากส่าที่สูงกว่านี้ จากการศึกษางานวิจัยทั้งหมดที่กล่าวข้างต้น สรุปได้ว่าการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักจะดำเนินงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ก็ต่อเมื่อสามารถควบคุมสภาวะต่างๆ ที่มีผลต่อการหมักให้เหมาะสม ส่วนการที่จะทราบถึงขีดจำกัดความสามารถในการผลิต หรือเพิ่มกำลังการผลิตนั้นจะทำได้โดยการนำข้อมูลการหมักเอทานอลมาใช้กับแบบจำลองทางจลนพลศาสตร์การหมักเอทานอลได้ โดยไม่เกิดความเสี่ยงในการลงทุน ส่วนปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากน้ำเสียจากกระบวนการหมักสามารถทำได้โดยนำน้ำกากส่าเวียนกลับมาใช้ใหม่เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียและยังเป็นการลดต้นทุนที่จะต้องใช้ในการเตรียมกากน้ำตาลอีกด้วย

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาการหมักเอทานอลจาก น้ำอ้อย และกากน้ำตาล
2. ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการหมักเอทานอลจากน้ำอ้อย และกากน้ำตาล
3. ศึกษาการหมักเอทานอลโดยการนำน้ำกากส่ามาเจือจางกากน้ำตาล

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาการหมักเอทานอลจากน้ำอ้อย และ กากน้ำตาล จากเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* สายพันธุ์ S5 ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับ 120 ถึง 260 กรัมต่อลิตร
2. ศึกษาจลนพลศาสตร์การหมักเอทานอลจากน้ำอ้อย และ กากน้ำตาล จากเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* สายพันธุ์ S5 ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับ 120 ถึง 260 กรัมต่อลิตร ด้วยสมการ Logistic model
3. ศึกษาการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลโดยการนำน้ำกากส่า (Slop) จากเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* สายพันธุ์ S5 ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับ 200 กรัมต่อลิตร
4. ศึกษาจลนพลศาสตร์การหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลโดยการนำน้ำกากส่า (Slop) จากเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* สายพันธุ์ S5 ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับ 200 กรัมต่อลิตรด้วยสมการ Logistic model

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นของสภาวะที่ใช้ในการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาล และเป็นแนวทางในการหมักในทางอุตสาหกรรม
2. เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานต่อโรงงานผลิตเอทานอล นำไปประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและใช้ในการเพิ่มมูลค่าน้ำกากส่าจากกระบวนการหมักเอทานอล
3. จลนพลศาสตร์การหมักเอทานอลอาจนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการหมักเอทานอลในระดับอุตสาหกรรม