

การเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยเปลือกถั่วลิสง  
ที่ผ่านการปรับสภาพและย่อยด้วยเอนไซม์

CULTIVATION OF *CLOSTRIDIUM* SP. G10 USING  
PRETREATED AND ENZYME-HYDROLYZED  
PEANUT SHELL



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)  
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2560

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CULTIVATION OF *CLOSTRIDIUM* SP. G10 USING  
PRETREATED AND ENZYME-HYDROLYZED  
PEANUT SHELL



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (BIOTECHNOLOGY)  
DEPARTMENT OF BIOLOGY, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ACADEMIC YEAR 2017

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพและย่อยด้วยเอนไซม์

ชื่อนักศึกษา นางสาวพิชาดา ยอดดำเนิน รหัสนักศึกษา 57050739  
นางสาววิภาวรรณ มาศงามเมือง รหัสนักศึกษา 57050761

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ  
ภาควิชา ชีววิทยา

ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วรภัทร์ สงวนไชยไผ่วงศ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.สุทธิจิต ศรีวัชรกุล ประธานกรรมการ	สุทธิจิต ศรีวัชรกุล
ผศ.ลินจง สุขล้าภู กรรมการ	ลินจง สุขล้าภู
ดร.วรภัทร์ สงวนไชยไผ่วงศ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	วรภัทร์ สงวนไชยไผ่วงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพและย่อยด้วยเอนไซม์
ชื่อนักศึกษา	นางสาวพิชาดา ยอดดำเนิน รหัสนักศึกษา 57050739 นางสาววิภาวรรณ มาตงามเมือง รหัสนักศึกษา 57050761
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
ภาควิชา	ชีววิทยา
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วรภัทร์ สงวนไชยไผ่วงศ์

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยเปลือกถั่วลิสง โดยนำเปลือกถั่วลิสงมาปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นต่างกัน (0 – 1.0 โมลาร์) ซึ่งพบว่า การปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุด คือ 23.08 กรัมต่อลิตร จากนั้นนำไปย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ที่มีปริมาณเอนไซม์และระยะเวลาการบ่มที่ต่างกัน พบว่าสภาวะที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุดคือที่อัตราส่วนของแข็งต่อปริมาณเอนไซม์ คือ 1 กรัม ต่อ 0.5 มิลลิลิตร และบ่ม 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ 8.74 กรัมต่อลิตร เมื่อนำเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพและย่อยด้วยเอนไซม์ตามสภาวะที่เหมาะสมมาเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 โดยเปรียบเทียบอาหารเลี้ยงเชื้อ 3 ชุด คือ อาหาร T6 ที่มีกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร อาหาร T6 ร่วมกับเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพและย่อยด้วยเอนไซม์ ซึ่งมีน้ำตาลรีดิวซ์ 45 กรัมต่อลิตร และเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพและย่อยด้วยเอนไซม์ซึ่งมีน้ำตาลรีดิวซ์ 45 กรัมต่อลิตร ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 168 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณอะซิโตนน้อยในอาหารทั้ง 3 ชนิด คือ 1.13 0.04 และ 0.07 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบบิวทานอลมีในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน คือ 1.86 2.15 และ 1.81 กรัมต่อลิตร ตามลำดับและปริมาณเอทานอล 0.59, 21.67 และ 7.79 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งจากงานวิจัยนี้จะพบว่า น้ำตาลรีดิวซ์ ที่ได้จากเปลือกถั่วลิสงสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการสร้างบิวทานอล และเอทานอลได้

**คำสำคัญ :** การปรับสภาพ, บิวทานอล, เปลือกถั่วลิสง, ลิกโนเซลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	Cultivation of <i>Clostridium</i> sp. G10 using pretreated and enzyme-hydrolyzed peanut shell	
<b>Students</b>	Miss Pichada Yoddamnern	Student ID 57050739
	Miss Wipawan Matngammuang	Student ID 57050761
<b>Degree</b>	Bachelor of Science in Biotechnology	
<b>Department</b>	Biology	
<b>Faculty</b>	Science	
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
<b>Academic Year</b>	2017	
<b>Advisor</b>	Vorapat Sanguanchaipaiwong, Ph.D.	

### Abstract

In this research, *Clostridium* sp. G10 was cultivated using peanut shells. The peanut shells were pretreated with sulphuric acid and sodium hydroxide (0 - 1.0 M). The result showed that the maximum concentration of released reducing sugar (23.08 g/l) could be obtained by the pretreatment of peanut shells with 0.4 M sulphuric acid. Subsequently, pretreated peanut shells were hydrolyzed at 50 °C for 24 h using cellulase at various duration and enzyme ratio. The result suggested that the ratio of substrate (g) to enzyme (ml) 1:0.5 yielded the highest concentration of reducing sugar (8.74 g/L). The peanut shells have been pretreated and hydrolyzed at the optimum conditions and used for microbial cultivation. Afterwards, *Clostridium* sp. G10 was cultivated in 3 media; T6 with 45 g/L glucose, T6 with 45 g/L reducing sugar equivalent of hydrolyzed peanut shells, and hydrolyzed peanut shells with 45 g/L reducing sugar equivalent at 37 °C for 168 h. It has been found that the acetone production was relatively low (1.13, 0.04 and 0.07 g/L, respectively). The butanol production yields were comparable (1.86, 2.15 and 1.81 g/L, respectively). However, the amount of ethanol was high (0.59, 21.67 and 7.79 g/L, respectively). It could be concluded that hydrolyzed peanut shell could be utilized as a carbon source for the production of butanol and ethanol.

**Keywords** : Pretreatment, Butanol, Peanut shell, Lignocellulose

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้จะไม่สำเร็จล่วงไปได้ด้วยดีหากไม่ได้รับความอนุเคราะห์จากผู้มีพระคุณผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ดร.วรภัทร์ สงวนไชยไผ่วงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษเป็นอย่างสูง ที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ คำปรึกษา และคำแนะนำ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขเพื่อให้โครงการพิเศษนี้ออกมาสมบูรณ์ยิ่งขึ้นและสำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบคุณ ดร.สุทธิจิต ศรีวัชรกุล ประธานกรรมการ และ ผศ.ลินจง สุขลำภู กรรมการในโครงการพิเศษนี้ ที่ให้คำแนะนำในการจัดทำโครงการพิเศษเล่มนี้

ขอขอบคุณ บริษัทแม่รายการเกษตร จำกัด จังหวัดสกลนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์เปลือกล้วยลิสง ทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้ได้มีวัตถุดิบในการเริ่มต้นทำการวิจัยจนศึกษาได้สำเร็จ

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและผู้มีอุปการคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาและเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษนี้ และขอบคุณพี่ เพื่อนและทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

พิชาดา ยอดดำเนิน  
วิภาวรรณ มาศงามเมือง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฎ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 ถั่วลิสง.....	3
2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์.....	3
2.1.2 การใช้ประโยชน์.....	6
2.2 บิวทานอล (butanol).....	6
2.2.1 ข้อมูลทั่วไป.....	6
2.2.2 คุณสมบัติ.....	6
2.2.3 ประโยชน์ของบิวทานอล.....	7
2.2.4 การผลิตบิวทานอลจากกระบวนการหมัก.....	7
2.3 เชื้อจุลินทรีย์ <i>Clostridium</i> sp.....	8
2.3.1 สันฐานวิทยาและสรีรวิทยา.....	9
2.3.2 อนุกรมวิธาน.....	9
2.4 ลิกโนเซลลูโลส (lignocelluloses).....	9
2.4.1 เซลลูโลส (cellulose).....	10
2.4.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose).....	11
2.4.3 ลิกนิน (lignin).....	12
2.4.4 การปรับสภาพวัตถุดิบ.....	13
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>19</b>
3.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	19
3.1.1 เชื้อจุลินทรีย์.....	19
3.1.2 สารเคมี.....	19
3.1.3 อุปกรณ์.....	19
3.2 อาหารเลี้ยงเชื้อ.....	20

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.1 อาหาร Reinforced Clostridial (RCM).....	20
3.2.2 อาหาร T6.....	20
3.3 วัตถุติดบ.....	21
3.4 การปรับสภาพเปลือกถั่วลิสง.....	21
3.4.1 การปรับสภาพทางกายภาพ.....	21
3.4.2 การปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น.....	21
3.4.3 การปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก.....	21
3.4.4 การปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	21
3.5 การปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง.....	22
3.6 การย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส.....	22
3.7 การผลิตบิวทานอล.....	22
3.7.1 การเตรียมหัวเชื้อ.....	22
3.7.2 การเพาะเลี้ยงเชื้อ.....	22
3.8 การวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	23
3.8.1 วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำหนัก.....	23
3.8.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Proximate analysis).....	23
3.8.3 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน.....	25
3.8.4 การวิเคราะห์ทางเคมี.....	27
3.8.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	29
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....</b>	<b>30</b>
4.1 การศึกษาองค์ประกอบของเปลือกถั่วลิสง.....	30
4.2 การศึกษาการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสง.....	30
4.3 การศึกษาการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส.....	32
4.4 การศึกษาชนิดของน้ำตาลหลังการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส.....	35
4.5 การเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp.....	35
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>49</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	49
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	50
เอกสารอ้างอิง.....	51
ภาคผนวก ก.....	56
ภาคผนวก ข.....	69
ภาคผนวก ค.....	132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกถั่วลิสง.....	30
4.2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่วิเคราะห์จากเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0 - 1.0 โมลาร์ ด้วยอัตราส่วน 1:10 กรัมต่อมิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที.....	31
4.3 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่วิเคราะห์จากเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส และบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างกัน.....	33
4.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่วิเคราะห์จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยสารเคมีที่มีความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ทำการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ที่ปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	34
4.5 ชนิดของน้ำตาลหลังจากผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC.....	35
4.6 การเจริญเติบโตและความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ของ อาหาร T6 ที่มีกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	36
4.7 การเจริญเติบโตและความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ของอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์ เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส เมื่อเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	37
4.8 การเจริญเติบโตและความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ของอาหารน้ำตาลรีดิวซ์ เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตรที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส เมื่อเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	39
4.9 ความเข้มข้นของอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และกรดบิวทิริก ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นของ กลูโคส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	41
4.10 ความเข้มข้นของอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และกรดบิวทิริก ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์ ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

4.11	ความเข้มข้นของอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และกรดบิวทิริก ที่ได้จากการเพาะเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหารน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จาก การปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์ เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	45
4.12	ความเข้มข้นของอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และกรดบิวทิริกซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ จากเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 เมื่อทำการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารต่างชนิดกัน.....	47
ก.1	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตรของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี Dinitrosalicylic acid (DNS).....	56
ก.2	พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC.....	58
ก.3	พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายไซโลสมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC.....	59
ก.4	พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายเซลโลไบโอสมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC.....	60
ก.5	พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมอลโทสมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC	61
ก.6	พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายอะซิโตนมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC	62
ก.7	พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายบิวทานอลมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC	64
ก.8	พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายเอทานอลมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC	65
ก.9	พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายกรดอะซิติกมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC	66
ก.10	พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายกรดบิวทิริกมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC	68
ข.1	การวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการ ปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริก เบสโซเดียมไฮดรอกไซด์และน้ำกลั่น.....	69
ข.2	การวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสง ด้วยกรดซัลฟิวริก.....	70
ข.3	การวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสง ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	71
ข.4	การวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่พบในเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการ ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกและย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส.....	72
ข.5	การวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่พบในเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการ ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส.....	73
ข.6	การวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่วิเคราะห์จากเปลือกถั่วลิสงที่ผ่าน การปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ข.7	การวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่วิเคราะห์จากเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส.....	76
ข.8	การวิเคราะห์ทางสถิติของค่าพีเอชที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร T6 ที่มีน้ำตาลกลูโคส ความเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส.....	78
ข.9	การวิเคราะห์ทางสถิติของค่าพีเอชที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร T6 ที่มีน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ที่ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส.....	80
ข.10	การวิเคราะห์ทางสถิติของค่าพีเอชที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ที่ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส.....	82
ข.11	การวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักเซลล์แห้ง ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร T6 ที่มีน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส.....	84
ข.12	การวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักเซลล์แห้ง ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์ ความเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ปรับสภาพกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส.....	86
ข.13	การวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักเซลล์แห้ง ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีน้ำตาลรีดิวซ์ ความเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ปรับสภาพกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส.....	88
ข.14	การวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำตาลรีดิวซ์ ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร T6 ที่มีน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส.....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ข.15	การวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำตาลรีดิวซ์ ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์ เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ปรับสภาพกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส.....	92
ข.16	การวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักเซลล์แห้ง ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร ที่มีน้ำตาลรีดิวซ์ เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ปรับสภาพกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส.....	94
ข.17	การวิเคราะห์ทางสถิติความขุ่นของอาหาร (OD 600 nm) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ ในอาหาร T6 ที่มีน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส.....	96
ข.18	การวิเคราะห์ทางสถิติความขุ่นของอาหาร (OD 600 nm) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ ในอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์ เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ปรับสภาพ ด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส.....	98
ข.19	การวิเคราะห์ทางสถิติความขุ่นของอาหาร (OD 600 nm) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ ในอาหารที่มีน้ำตาลรีดิวซ์ เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ปรับสภาพ กรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส.....	100
ข.20	การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของอะซิโตน ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นของกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	102
ข.21	การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของบิวทานอล ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นของกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	104
ข.22	การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของเอทานอล ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นของกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	106
ข.23	การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของกรดอะซิติก ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นของกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในวงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ข.24 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของกรดบิวทริก ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นของกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	110
ข.25 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของอะซิโตน ที่ได้จากการเพาะเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	112
ข.26 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของบิวทานอล ที่ได้จากการเพาะเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	114
ข.27 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของเอทานอล ที่ได้จากการเพาะเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	116
ข.28 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของกรดอะซิติก ที่ได้จากการเพาะเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	118
ข.29 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของกรดบิวทริกที่ได้จากการเพาะเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	120
ข.30 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของอะซิโตน ที่ได้จากการเพาะเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหารน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	122
ข.31 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของบิวทานอล ที่ได้จากการเพาะเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหารน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	124

## สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ข.32	การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นเอทานอล ที่ได้จากการเพาะเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหารน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสง ด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	126
ข.33	การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของกรดอะซิติก ที่ได้จากการเพาะเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหารน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสง ด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	128
ข.34	การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของกรดบิวทริก ที่ได้จากการเพาะเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหารน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสง ด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รากถั่วลိสง.....	3
2.2 ต้นถั่วลိสง.....	4
2.3 ใบถั่วลิสง.....	4
2.4 ดอกถั่วลิสง.....	5
2.5 ฝักและเมล็ดถั่วลิสง.....	5
2.6 โครงสร้างทางเคมีของบิวทานอล.....	6
2.7 วิธีการสร้างเอปี้ของ <i>Clostridium acetobutylicum</i> ATCC 824T จากน้ำตาล pentose.....	8
2.8 รูปร่างของเชื้อ <i>Clostridium</i> sp.....	9
2.9 องค์ประกอบภายในผนังเซลล์.....	10
2.10 โครงสร้างของเซลลูโลสที่พบในผนังเซลล์พืช.....	10
2.11 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส.....	11
2.12 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน.....	12
2.13 โครงสร้างโมโนเมอร์ของลิกนิน.....	13
2.14 การปรับสภาพเพื่อทำลายโครงสร้างที่แข็งแรงของลิกโนเซลลูโลส.....	14
4.1 ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ที่วิเคราะห์จากส่วนใสที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสง ด้วยน้ำ กรดซัลฟิวริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน.....	32
4.2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่วิเคราะห์จากส่วนใสที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ที่ระยะเวลาต่างกัน.....	33
4.3 pH น้ำหนักเซลล์แห้ง ความขุ่นของอาหารเลี้ยงเชื้อ (OD 600 nm) และปริมาณ น้ำตาลรีดิวซ์ เมื่อทำการเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ในอาหาร T6 สภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส.....	36
4.4 pH น้ำหนักเซลล์แห้ง ความขุ่นของอาหารเลี้ยงเชื้อ (OD 600 nm) และปริมาณ น้ำตาลรีดิวซ์ เมื่อทำการเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ในอาหาร T6+hydrolysate สภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส.....	38
4.5 pH น้ำหนักเซลล์แห้ง ความขุ่นของอาหารเลี้ยงเชื้อ (OD 600 nm) และปริมาณ น้ำตาลรีดิวซ์ เมื่อทำการเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ในอาหาร hydrolysate สภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส.....	39
4.6 (ก) ความเข้มข้นของอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล และ (ข) ความเข้มข้นกรด อะซิติก และกรดบิวทริก ที่ได้จากการเพาะเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นของกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

4.7	(ก) ความเข้มข้นของอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล และ (ข) ความเข้มข้นกรดอะซิติก และกรดบิวทริก ที่ได้จากการเพาะเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	44
4.8	(ก) ความเข้มข้นของอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล และ (ข) ความเข้มข้นกรดอะซิติก และกรดบิวทริก ที่ได้จากการเพาะเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ด้วยอาหารน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน	46
4.9	ปริมาณอะซิโตน บิวทานอล และเอทานอล ที่พบสูงสุดในอาหาร T6, T6+hydrolysate และ hydrolysate ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส.....	48
ค.1	<i>Clostridium</i> sp. G10 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 1000 เท่า โดยการย้อมแกรม.....	132
ค.2	เชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 บนอาหารแข็ง Reinforced Clostridial Medium (RCM)	132
ค.3	เปลือกถั่วลิสงก่อนบด.....	133
ค.4	เปลือกถั่วลิสงหลังบดด้วยเครื่องบดอุตสาหกรรม.....	133
ค.5	การปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วย (ก) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ข) กรดซัลฟิวริก และ (ค) น้ำกลั่น.....	134
ค.6	เปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพด้วย (ก) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ข) กรดซัลฟิวริก และ (ค) น้ำกลั่น.....	135
ค.7	ส่วนใสที่กรองได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส.....	136
ค.8	การเพาะเลี้ยงเชื้อ <i>Clostridium</i> sp. G10 ในอาหาร (ก) T6 (ข) T6+hydrolysate และ (ค) hydrolysate.....	136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นในการดำรงชีพของมนุษย์ เช่น ภายในที่อยู่อาศัย อาคาร ร้านค้า โรงงานรวมถึงการเดินทางล้วนเป็นสิ่งที่ต้องใช้พลังงาน เมื่อเวลาผ่านไปความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น นั่นหมายความว่าพลังงานจะถูกนำมาจากแหล่งต่างๆ เพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้พลังงานของมนุษย์ ทั้งพลังงานจากดวงอาทิตย์ และพลังงานจากภายในโลก ซึ่งพลังงานที่มีอยู่ถูกจำแนกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ตามแหล่งที่มา คือ พลังงานทดแทน (Renewable energy) ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังน้ำ พลังงานคลื่นในทะเลและพลังงานชีวมวล และพลังงานที่ไม่สามารถทดแทนได้ (Non-renewable energy) ได้แก่ น้ำมันดิบ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และพลังงานนิวเคลียร์ (แร่ยูเรเนียม) เมื่อพลังงานไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่ หรือทดแทนโดยธรรมชาติได้ทันตามความต้องการในเวลาอันรวดเร็ว ต้องใช้ระยะเวลาอันยาวนานกว่าที่จะสร้างพลังงานขึ้นมาได้ และมีปริมาณจำกัด ในปัจจุบันมนุษย์จึงหันมาสนใจนำแหล่งพลังงานทดแทนมาใช้กันมากขึ้น โดยเฉพาะแหล่งพลังงานชีวมวลที่มีปริมาณมาก และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ (กระทรวงพลังงาน, 2556) นอกจากนี้นักวิจัยทั่วโลกกำลังพัฒนากระบวนการผลิตพลังงานทดแทนอย่างยั่งยืนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มาจากกรเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Swana และคณะ, 2011) และการพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทนอย่างยั่งยืนได้ดึงดูดความสนใจที่เพิ่มขึ้นทั่วโลก โดยชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่อุดมสมบูรณ์ที่สุดในธรรมชาติ ชีวมวลได้รับการพัฒนาอย่างกว้างขวางสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนต่าง ๆ เช่น ไบโอดีเซล ไบโอดีทอล ไบโอบิวทานอล และไบโอดีเซล (Gonzales และคณะ, 2016)

บิวทานอลเป็นสารเคมีที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรม เพราะสามารถนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ บิวทานอลมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับแก๊สโซลีน จึงสามารถใช้แทนแก๊สโซลีนได้โดยตรง เป็นเหตุให้มีการวิจัยมากมายศึกษาถึงกระบวนการผลิตบิวทานอล ไม่ว่าจะเป็นการหาสารตั้งต้นในการผลิตที่มีความยั่งยืนนำกลับมาใช้ใหม่ได้ รวมถึงมีการพัฒนาในด้านของกระบวนการทางวิศวกรรมในเรื่องของระบบการหมักเพื่อจะเปลี่ยนชีวมวลเป็นบิวทานอล (Durr, 2007; Lee และคณะ, 2008; Papousakis, 2008)

บิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่สำคัญซึ่งสามารถผลิตได้จากแหล่งพลังงานทดแทนโดยกระบวนการหมักอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล (อัตราส่วนทั่วไปของอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล คือ 3: 6: 1 โดยที่บิวทานอลเป็นผลิตภัณฑ์หลัก) แบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยเชื้อ *Clostridium* บางชนิด เช่น *Clostridium acetobutylicum* และ *Clostridium beijerinckii* (Naik และคณะ, 2010) ในกลุ่ม *Clostridia* เชื้อ *Clostridium beijerinckii* ได้รับการยอมรับว่าเป็นเชื้อที่ผลิตบิวทานอลสูง (Bellido และคณะ, 2014) ซึ่งบิวทานอลสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบที่เหลือใช้ทางการเกษตร เช่น กากน้ำตาล (Molasses) สารชีวมวลทางการเกษตร (Agricultural biomass) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยไม้ และวัตถุดิบประเภทที่เป็นแป้ง (Starchy material) ได้แก่ ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวเจ้า ข้าวไรย์ ถั่วลิสง และมันสำปะหลัง ของเสียจากอุตสาหกรรมนม (Dairy industry waste) เป็นต้น (Campos และคณะ, 2002)

ถั่วลิสงเป็นวัตถุดิบที่เหลือใช้ทางการเกษตรทั่วไปในเอเชีย โดยมีการผลิตถั่วลิสงทั่วโลก 40.18 ล้านตันและผลิตในประเทศไทยจำนวน 50,000 ตัน องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเปลือกถั่วลิสงดิบ ได้แก่ เซลลูโลสสูงถึง 45 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักและลิกนิน 33 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก ในทางตรงกันข้ามคุณสมบัติทางเคมีน้อยกว่า ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และไขมัน เปลือกถั่วลิสงมีเส้นใยเซลลูโลส-ลิกนิน ที่เป็นเส้นใยซึ่งมีผลต่อโครงสร้างพื้นฐานของอนุภาคน้ำมันเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ชีวมวล (Allen และคณะ, 2005)

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะหาแหล่งพลังงานทดแทนใหม่เพื่อแก้ปัญหาทางด้านพลังงานในปัจจุบัน ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ในแต่ละปีจะมีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก (วิไลวรรณ โชติเกียรติและคณะ, 2523) โดยเฉพาะวัตถุดิบที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ เช่น ฟางข้าว ชังข้าวโพด เปลือกถั่วลิสง ชานอ้อย และแกนสับปะรด เป็นต้น (จุฑารัตน์ พงษ์โนรี และคณะ, 2548) จึงมีแนวคิดที่จะใช้วัตถุดิบที่เหลือใช้ทางการเกษตรนี้มาผลิตบิวทานอลเพื่อลดต้นทุนของสารตั้งต้น ดังนั้นในโครงการพิเศษนี้จึงได้มุ่งเน้นไปที่การใช้เปลือกถั่วลิสงเป็นวัตถุดิบในกระบวนการหมักด้วยเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ที่มีการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงและย่อยด้วยเอนไซม์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตบิวทานอลจากกระบวนการหมักอะซิโตน บิวทานอล และเอทานอล

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรด เบส และการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส
2. ศึกษากระบวนการผลิตบิวทานอลของเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ที่ใช้เปลือกถั่วลิสงเป็นแหล่งคาร์บอน

## 1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

เปลือกถั่วลิสงได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทแม่ร่วยการเกษตร ตำบลห้วยยาง อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 โมลาร์ และน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 1:10โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเลือกสภาวะที่เหมาะสมจากความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์หลังการย่อยด้วยเอนไซม์ ACCELLERASE™ 1500 สูงที่สุดจากนั้นนำไปหาสภาวะที่เหมาะสมของการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส และนำไปเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้เช่น อะซิโตน บิวทานอล และเอทานอล ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography)

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อนำเปลือกถั่วลิสงซึ่งเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ในการผลิตบิวทานอลโดยเชื้อ *Clostridium* sp. G10
2. ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรด เบส และการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่ทำให้เชื้อ *Clostridium* sp. G10 ผลิตบิวทานอลได้ดี และมีปริมาณมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ถั่วลิสง

Class : Angiospermae

Subclass : Dicotyledoneae

Order : Leguminales

Family : Leguminosae

Subfamily : Papilionoideae

Genus : *Arachis*

Species : *hypogaea*

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Arachis hypogaea* (L.)

ชื่อสามัญ : peanut, groundnut, earthnut, goober, pindar, monkeynut

ที่มา : [www.natres.psu.ac.th/Department/PlantScience/510-211/lab/peanutlab.doc](http://www.natres.psu.ac.th/Department/PlantScience/510-211/lab/peanutlab.doc)  
(สืบค้นวันที่ 07 กรกฎาคม 2561)

#### 2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (บุปผา, 2551)

ราก รากของถั่วลิสงจะอยู่บริเวณลึกประมาณ 50 เมตร มักจะมีปมของเชื้อแบคทีเรียจำพวกไรโซเบียม (*Rhizobium* ssp.) อยู่กันแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน (symbiosis) โดยที่เชื้อไรโซเบียมจะได้รับแป้งและน้ำตาลเป็นอาหารจากต้นถั่ว และตรึงไนโตรเจนจากอากาศมาในรูปที่ต้นถั่วสามารถนำไปสร้างกรดอะมิโนและสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของต้นถั่วได้ ลักษณะของรากถั่วลิสงแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รากถั่วลิสง

ที่มา : <https://medthai.com/ถั่วลิสง/> (สืบค้นวันที่ 07 กรกฎาคม 2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำต้น ถั่วลิสงเป็นพืชล้มลุก ลำต้นเป็นไม้เนื้ออ่อนที่มีความสูงประมาณ 15-70 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งสามารถแบ่งตามการเจริญเติบโตได้ดังนี้

1. ลำต้นตั้งตรง (Erect type) มีการแตกกิ่งก้านใบแนวตั้งมากทำให้เป็นพุ่ม และฝักจะเกิดที่บริเวณโคนต้นมีลักษณะเป็นกระจุก

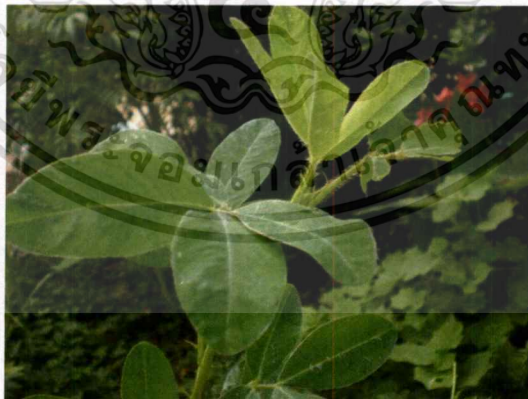
2. ลำต้นเลื้อย (Runner type) ลำต้นสั้นและจะแตกกิ่งออกใบแนวนอนทอดไปตามพื้นดิน จึงทำให้ฝักกระจายไปตามกิ่ง



รูปที่ 2.2 ต้นถั่วลิสง

ที่มา : <https://medthai.com/ถั่วลิสง/> (สืบค้นวันที่ 07 กรกฎาคม 2561)

ใบ ใบของถั่วลิสงจะเป็นประเภทเกิดสลับกัน (alternate) บนข้อของลำต้น เป็นใบประกอบ (compound leaf) แบบ even-pinnate ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งใบหนึ่งจะมีใบย่อย (leaf-let) จำนวน 2 คู่ มีลักษณะของใบเป็นรูปไข่ (obovate) ขอบใบเรียบ ก้านใบยาว บริเวณโคนใบมีหูใบซึ่งมีลักษณะแหลมยาวประมาณ 2 เซนติเมตร 2 อัน



รูปที่ 2.3 ใบถั่วลิสง

ที่มา : <https://medthai.com/ถั่วลิสง/> (สืบค้นวันที่ 07 กรกฎาคม 2561)

ดอก ดอกของถั่วลิสงจะมีสีเหลือง เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.9-1.4 เซนติเมตร อาจเกิดเดี่ยวๆหรือเป็นกลุ่ม ๆ ละ 1 - 5 ดอก ตามมุมบริเวณส่วนโคนของลำต้น ก้านดอกสั้น บริเวณฐานดอกเอกสาคจะมี bract จำนวน 1 อัน และ bracteole จำนวน 2 อัน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ดอกถั่วลิสงจะประกอบด้วย calyx tube, stamina column และ corolla tube เชื่อมกันเป็นท่อยาวขนาดเล็ก

ลักษณะคล้ายก้านดอกเรียกว่า hypanithium โดย corolla tube จะแยกจาก calyx tube ที่ส่วนปลายของ hypanithium โดยที่ corolla tube จะแยกออกเป็น 1 standard, 2 keel และ 2 wing ซึ่งจะเชื่อมกับ stamen ส่วนฐานของ hypanithium เนื้อก้านดอกจะมี pistil ประกอบด้วย style และ ovary ในขณะที่ดอกยังไม่บาน stigma และ anther จะถูกห่อหุ้มอยู่ใน keel ถั่วลิสงเป็นพืชผสมตัวเอง (self pollination) การผสมเกสรจะเกิดขึ้นก่อนดอกจะบาน และเมื่อดอกได้รับการผสมแล้ว hypanithium จะแห้ง และส่วนฐานของรังไข่เนื้อเยื่อพวก intercalary meristem จะยึดตัวเป็นก้านยาวเรียกว่าเข็ม (peg หรือ gymnophore) ซึ่งจะส่งรังไข่ที่อยู่บริเวณปลายเข็มไปยังใต้ผิวดินที่มีความลึกประมาณ 3 - 5 เซนติเมตร แล้วเจริญต่อเป็นฝัก (geocarpy)



รูปที่ 2.4 ดอกถั่วลิสง

ที่มา : <https://medthai.com/ถั่วลิสง/> (สืบค้นวันที่ 07 กรกฎาคม 2561)

**ฝักและเมล็ด** ฝักของถั่วลิสงอาจจะเกิดขึ้นเดี่ยวๆหรือเกิดเป็นกลุ่ม เมื่อฝักแก่เปลือกของฝักจะแข็งและเปราะ มีเส้นใยที่เปลือกฝัก ฝักมีสีขาวนวลหรือน้ำตาลอ่อน เปลือกนอกสุดเรียกว่า pericarp ในแต่ละฝักจะมีตั้งแต่ 1 - 4 เมล็ด ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ถั่ว จะมีเปลือกหุ้มเมล็ดซึ่งมีสีต่างๆ เช่น สีแดง สีม่วงแดง สีชมพูเข้ม สีชมพูอ่อน และสีขาวนวล ขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ถัดไปจากเปลือกจะมีใบเลี้ยง ซึ่งมีลักษณะหนา 2 อันประกบติดกันโดยมี embryo อยู่ที่ด้านในบริเวณฐานรอยต่อของขอบใบเลี้ยงทั้งคู่



รูปที่ 2.5 ฝักและเมล็ดถั่วลิสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มาจาก <https://medthai.com/ถั่วลิสง/> (สืบค้นวันที่ 07 กรกฎาคม 2561) โยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 2.2.3 ประโยชน์ของบิวทานอล

ไบโอบิวทานอล เป็นบิวทานอลที่ผลิตได้จากสารตั้งต้นและกระบวนการผลิตทางชีวภาพสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวในเครื่องยนต์ในอากาศยานใกล้เคียง ไบโอบิวทานอลมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับแก๊สโซลีนมากกว่าเอทานอล เมื่อเปรียบเทียบในปริมาณที่เท่ากันเครื่องยนต์จะใช้เอทานอลหมดเร็วกว่า มีการรายงานการทดลองใช้บิวทานอลแทนแก๊สโซลีน พบว่าเครื่องยนต์สามารถทำงานได้อย่างปกติ โดยจะมีการใช้บิวทานอลสูงกว่าแก๊สโซลีนร้อยละ 9 แต่พบว่าการใช้ไบโอบิวทานอลมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ไฮโดรคาร์บอน และการปล่อยสารพิษไนโตรเจนออกไซด์ลดลงอย่างมาก ซึ่งเป็นเรื่องที่ดีกับสภาพแวดล้อมของโลก (Lee และคณะ, 2008 ; Durre, 2008)

ในปัจจุบันบิวทานอลถูกใช้ในงานลักษณะตัวทำละลายอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมสิ่งทอและอุตสาหกรรมเคมี อีกทั้งใช้เป็นสารตั้งต้นของทินเนอร์ และใช้บิวทานอลเป็นตัวทำละลายที่ต้องการระเหยช้า เนื่องจากบิวทานอลมีจุดเดือด จุดหลอมเหลวที่สูงกว่าเมทานอลและเอทานอล นอกจากนี้บิวทานอลยังใช้เป็นส่วนประกอบของน้ำหอม

นอกจากนี้ยังมีการใช้บิวทานอลในประโยชน์ด้านอื่นๆ เช่น กระเจกนิรภัย สารทำความสะอาด อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เช่น สารแต่งตา ยาทาเล็บ สารในผลิตภัณฑ์การโกนหนวด ผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับสุขภาพอนามัย และอุตสาหกรรมอาหารและกลิ่น

### 2.2.4 การผลิตบิวทานอลจากกระบวนการหมัก

บิวทานอลสามารถผลิตได้จากกระบวนการหมักที่เรียกว่า การหมักอะซิโตน บิวทานอลเอทานอล ซึ่งใช้แบคทีเรียในสารตั้งต้นจากสารชีวมวล เป็นกระบวนการที่รู้จักกันดีและเริ่มใช้ครั้งแรกในการผลิตอะซิโตนในสมัยสงครามโลกครั้งที่สอง ซึ่งเป็นการหมักที่ไม่ต้องการออกซิเจนดังนั้นจึงต้องมีการไล่อากาศด้วยแก๊สไนโตรเจน โดยให้ผลผลิตอะซิโตน บิวทานอล และเอทานอล ในอัตราส่วน 3:6:1 ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้แบคทีเรีย *Clostridium* sp. ในการผลิต โดยเฉพาะ *Clostridium acetobutylicum* เป็นสายพันธุ์ที่นิยมใช้มากที่สุด รวมทั้งสายพันธุ์ *Clostridium beijerinckii* ก็ถูกใช้ในกระบวนการหมักอะซิโตน บิวทานอล และเอทานอล ซึ่งให้ผลผลิตที่ดีเช่นกัน วิธีการสร้างหมักอะซิโตน บิวทานอล เอทานอลแสดงในรูปที่ 2.7

*Clostridium* sp. จัดเป็นแบคทีเรียที่มีศักยภาพในการผลิตบิวทานอลในสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobe) ซึ่งส่งผลดีต่อกระบวนการหมักคือการลดต้นทุนในการใช้ไบโพดเพื่อให้อากาศ สปอร์จะกระจายทั่วไปในธรรมชาติ เช่น ดิน น้ำ ของเสีย ลำไส้ของมนุษย์และสัตว์ มีคุณสมบัติในการหมักเซลลูโลส แป้ง และน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์โดยเฉพาะเอทานอล

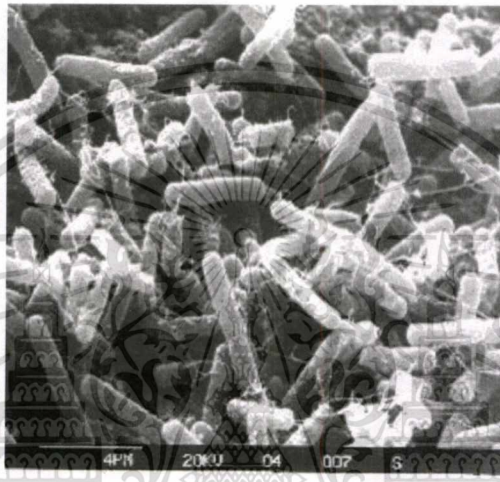
โดยทั่วไปผลผลิตรวมของอะซิโตน บิวทานอล และเอทานอล ของ *Clostridium* sp. อยู่ในช่วง 0.9–20 กรัมต่อลิตร และความสามารถในการผลิต 0.04–0.24 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของชีวมวล อุณหภูมิ และชนิดของจุลินทรีย์เป็นต้น ความสามารถในการผลิตตัวทำละลายต่างๆอยู่ในปริมาณจำกัด เนื่องจากโดยหลักการแล้วความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่เกิดความเป็นพิษและเมื่อเซลล์มีการสะสมสารพิษเหล่านั้นจนมากพอ เซลล์จะหยุดการเจริญและตายในที่สุด (นฤวัตร และคณะ, 2557)

สำหรับกระบวนการผลิตอะซิโตน บิวทานอล และเอทานอลในสัดส่วน 3:6:1 โดยที่ผลรวมของผลผลิตทั้งสามชนิดมีค่าประมาณร้อยละ 30 ของน้ำตาลที่ใช้ในกระบวนการหมัก ผลพลอยได้ที่สำคัญที่ได้จากกระบวนการหมักนี้ ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 50 ของน้ำตาลที่



### 2.3.1 สัณฐานวิทยาและสรีรวิทยา

*Clostridium* sp. จัดเป็นแบคทีเรียที่มีศักยภาพในการผลิตบิวทานอลในภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobe) แบคทีเรียชนิดนี้เป็นแบคทีเรียแกรมบวก มีรูปร่างเป็นท่อน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 สามารถสร้างสปอร์ได้ โดยสปอร์มีรูปร่างได้ทั้งกลมและรี (Tashiro และคณะ, 2005 ; Virunanon และคณะ, 2008) สามารถพบได้ในรูปสปอร์กระจายทั่วไปในธรรมชาติ เช่น ดิน น้ำ ของเสีย ลำไส้ของมนุษย์และสัตว์ มีคุณสมบัติในการหมักเซลลูโลส แป้ง และน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ โดยเฉพาะบิวทานอล การคัดเลือกและคัดแยกสายพันธุ์ใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในการผลิตบิวทานอลจึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น (ชนิกาและคณะ, 2555)



รูปที่ 2.8 รูปร่างของเชื้อ *Clostridium* sp.

ที่มา : <https://alchetron.com/Clostridium-acetobutylicum> (สืบค้นวันที่ 07 กรกฎาคม 2561)

### 2.3.2 อนุกรมวิธาน

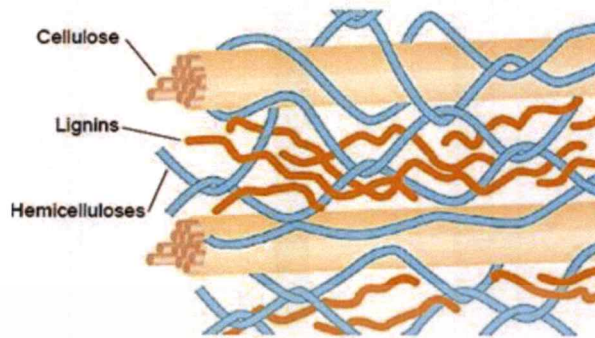
Kingdom	:	Bacteria
Division	:	Firmicutes
Class	:	Clostridia
Order	:	Clostridiales
Family	:	Clostridiaceae
Genus	:	<i>Clostridium</i>

ที่มา : [https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Clostridium\\_acetobutylicum](https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Clostridium_acetobutylicum) (สืบค้นวันที่ 07 กรกฎาคม 2561)

## 2.4 ลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose)

ลิกโนเซลลูโลส เป็นชีวมวลอินทรีย์ที่ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 พบมากในผนังเซลล์ของพืช ได้แก่ เศษวัสดุเหลือทิ้งจากไม้ ทั้งไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน เอกสารที่สกัดจากการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด แสนใยข้าวโพด ชานอ้อย แกลบ ฟางข้าว และขี้เถ้าจากการรีดน้ำว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปรรูปอาหารและบ้านเรือน รวมถึงมูลสัตว์ต่าง ๆ โดยทั่วไปพบเซลลูโลสร้อยละ 40-60 เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 20-30 และลิกนินร้อยละ 15-30 (Lee และคณะ, 2008)



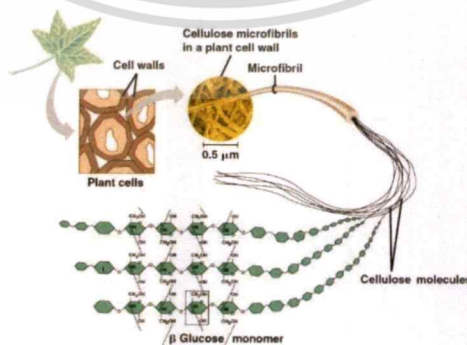
รูปที่ 2.9 องค์ประกอบภายในผนังเซลล์

ที่มา : [http://asp.plastics.or.th:8001/Article\\_Detail.aspx?id=47](http://asp.plastics.or.th:8001/Article_Detail.aspx?id=47) (สืบค้นวันที่ 5 ตุลาคม 2560)

#### 2.4.1 เซลลูโลส (cellulose) (Ohm-Sha, 2002)

เซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์สายยาว มีมวลโมเลกุลสูง ประกอบด้วยกลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะเบต้า (1,4) ประมาณ 10,000 หน่วย ดังแสดงในรูปที่ 2.10 พบโดยทั่วไปในธรรมชาติ โดยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืชและมีการเรียงตัวอยู่ในรูปของผลึก

เซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นเส้นใยเล็ก ๆ เรียกว่า ไฟบริล (fibril) ซึ่งมีลักษณะเป็นมัดยาวรวมกันอยู่อย่างแข็งแรงด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล การจัดเรียงตัวของโมเลกุลไฟบริลทำให้เซลลูโลสมีโครงสร้างหลายรูปแบบ โครงสร้างทางเคมีและกายภาพของเซลลูโลสเกิดจากไฟบริลหรือโปรโตไฟบริลที่มีการเรียงตัวขนาน และจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรง เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเป็นแผ่นบาง ๆ เมื่อตัดขวางจะพบส่วนที่เป็นโครงสร้างผลึกที่มาจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเรียงตัวขนานกันไป โดยบางส่วนอาจเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ซึ่งบริเวณนี้ทำให้เซลลูโลสสลายตัว และแยกออกจากกันได้โดยการเข้าทำปฏิกิริยาของของเหลว เช่น กรดแก่ นอกจากนี้อาจเกิดเป็นรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงได้ง่ายโดยแรงกล เนื่องจากความไม่เป็นระเบียบ และขีดจำกัดของความยืดหยุ่นของไมโครไฟบริล



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของเซลลูโลสที่พบในผนังเซลล์พืช

ที่มา : <http://bio1151.nicerweb.com/Locked/media/ch05/cellulose.html> (สืบค้นวันที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้เสียประโยชน์ต่อการค้า

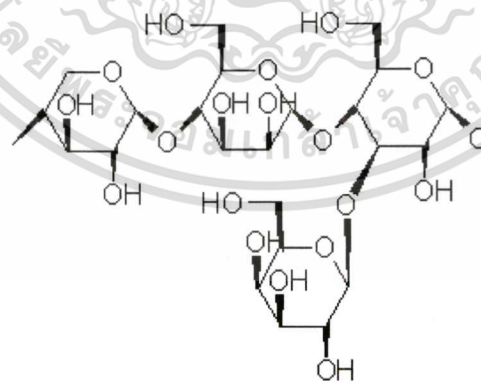
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) (Ohm-Sha, 2002)

เฮมิเซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ และมีปริมาณการเกิดเป็นโพลิเมอร์ (Degree of polymerization, DP) ประมาณ 200 โดยมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลายชนิด คือ ไฮโลสร้อยละ 85-90 และส่วนที่เหลือเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 และ 6 อะตอม กรดแมนนูโรนิก และ กรดกาแลคตอโรนิก เป็นองค์ประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 เฮมิเซลลูโลสจะถูกย่อยสลายได้ง่ายด้วยกรด เบสเจือจาง หรือเอนไซม์ เนื่องจากมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ไม่เป็นเส้นตรง และมีลำดับของหน่วยย่อยน้ำตาลที่เรียงตัวแบบสุ่ม จึงทำให้พันธะที่เชื่อมระหว่างไฮโลสถูกทำลายด้วยกรด เบสเจือจาง หรือเอนไซม์ได้ง่าย

พืชประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลสประมาณ 1 ใน 3 ของน้ำหนักแห้ง โดยอยู่ร่วมกับเซลลูโลส และ ลิกนิน ทำให้เกิดเป็นผนังเซลล์พืชที่มีความแข็งแรง มีโครงสร้างที่เป็นสายโซ่ตรง และโซ่กิ่งของน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม ได้แก่ ไฮโลส อะราบินอส และน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ได้แก่ กลูโคส แมนโนส และกาแลคโตส

องค์ประกอบส่วนใหญ่ในเฮมิเซลลูโลสเป็นไฮโลสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า (1,4) พบในไม้เนื้อแข็งมากกว่าไม้เนื้ออ่อน มักพบเฮมิเซลลูโลสอยู่ร่วมกับน้ำตาลชนิดอื่นๆ และมีส่วนของลิกนินจับตัวกันอยู่อย่างหนาแน่นด้วยพันธะโคเวเลนต์ โดยทั่วไปเฮมิเซลลูโลสจะมีความเป็นกรด เนื่องจากมีหมู่ 4-เมทิล-แอลฟา-ดี-กลูโคส จับอยู่กับออกซิเจนตำแหน่งที่ 2 ซึ่งการมีหมู่แทนที่ในตำแหน่งที่ 2 และ 3 ส่งผลให้สามารถสกัดเฮมิเซลลูโลสออกได้ง่ายด้วยสารละลายเบส แต่ขั้นตอนการสกัดเฮมิเซลลูโลสนั้น อาจต้องมีการกำจัดลิกนิน (delignification) ร่วมด้วย ส่วนใหญ่จะพบเฮมิเซลลูโลสในผนังเซลล์ชั้นนอกสุด และพบส่วนน้อยในผนังเซลล์ชั้นที่ 2 โดยจะถูกย่อยสลายและสกัดออกจากผนังเซลล์พืชได้ในสภาวะที่ไม่รุนแรง เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลมีโซ่กิ่งจำนวนมากคล้ายกับโครงสร้างของเพกติน โมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสจะชอบน้ำ ทำให้เกิดการรวมตัวกับน้ำเกิดเป็นเจลได้ ขณะที่เมื่อเป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์จะไม่สามารถสกัดออกได้ด้วยน้ำ แต่สามารถละลายได้ในเบส



รูปที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส

ที่มา : <http://www.wikiwand.com/es/Hemicelulosa> (สืบค้นวันที่ 5 ตุลาคม 2560)

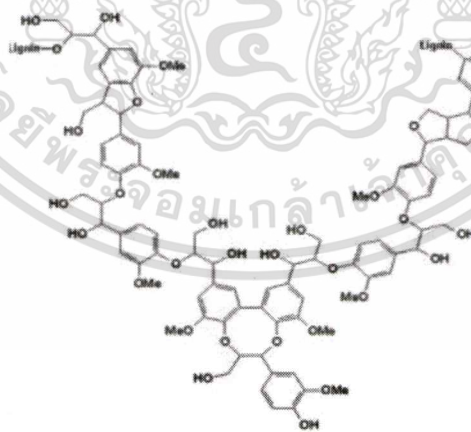
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 ลิกนิน (lignin) (Ohm-Sha, 2002)

ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ที่มีความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างร่วมกันกับเซลลูโลส และพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่นๆ ลิกนินประกอบด้วยโมเลกุลที่เป็นวงแหวนที่ต่อกันแบบสุ่มเป็นโครงสร้าง 3 มิติ โดยภายในโครงสร้างจะเชื่อมกันด้วยพันธะอีเทอร์หรือคาร์บอนระหว่าง 2 โมเลกุล ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ทำให้ลิกนินทนทานต่อการย่อยสลายด้วยสารเคมีและเอนไซม์มากกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ ดังนั้นจึงต้องอาศัยสารเคมีในการแยกลิกนินออกจากพอลิแซ็กคาไรด์

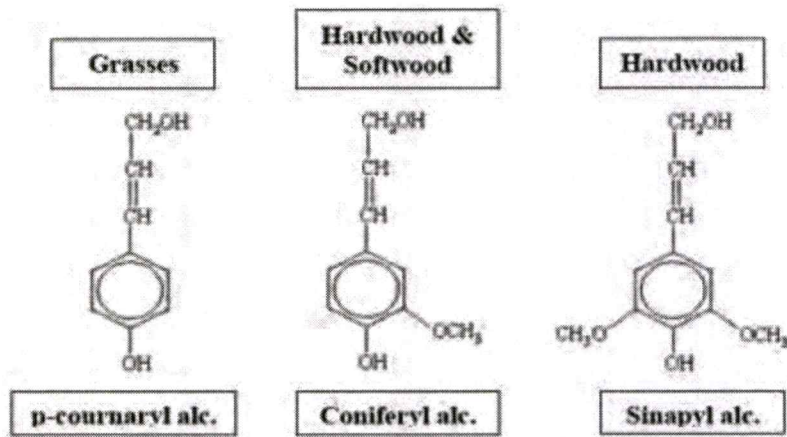
ลิกนินมีโครงสร้างที่เกิดจากหน่วยที่เหมือนกันซ้ำ ๆ ประกอบเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่มีการเชื่อมต่อกันของหน่วยย่อยคือ ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenyl propanoid) มีหมู่เมทิลอยู่บนโมเลกุล ลิกนินจากไม้เนื้ออ่อน หญ้า และไม้เนื้อแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 2.13 มีองค์ประกอบของหมู่แทนที่พวกเมธอกซี (methoxy) และการเกิดพันธะระหว่างหมู่ฟีนิลที่แตกต่างกัน คุณสมบัติที่สำคัญของลิกนินคือการละลายในตัวทำละลาย โดยปกติลิกนินจะไม่ละลายน้ำและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงสามารถสกัดลิกนินได้ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วสูง ขณะที่บางส่วนในกลุ่มของลิกนินที่เป็นด่าง (alkaline lignin) สามารถละลายได้ในตัวทำละลายพวกไดออกเซน (dioxane) ไพริดีน (pyridine) และสารละลายเบสเจือจางได้ นอกจากนี้เมื่อมีการเติมหมู่เมทิลและหมู่เอซีทิลแทนที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนวงแหวนเบนซีนในโครงสร้างของลิกนิน ทำให้ลิกนินสามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ที่ความยาวคลื่นสูงสุด 280 นาโนเมตร ทั้งนี้การเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ก็เป็นการเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลให้แก่โครงสร้างของลิกนิน ทำให้ลิกนินสามารถดูดกลืนแสงได้ด้วย

ลิกนินที่อยู่ร่วมกับเซลลูโลสในเนื้อไม้ ทำให้โครงสร้างของพืชมีความแข็งแรงได้ตามธรรมชาติ รวมทั้งทำให้จุลินทรีย์และเอนไซม์ไม่สามารถทำลายโครงสร้างพืชได้ง่าย โดยโครงสร้างที่ลิกนินอยู่ร่วมกับเซลลูโลสจะมีพันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างลิกนินและเฮมิเซลลูโลสอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ต่อไป



รูปที่ 2.12 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน  
ที่มา : plantphys (2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 โครงสร้างโมโนเมอร์ของลิกนิน  
ที่มา : Noomjapan (2010)

#### 2.4.4 การปรับสภาพวัตถุดิบ (pretreatment)

การปรับสภาพวัตถุดิบมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดลิกนินซึ่งมีคุณสมบัติไปห่อหุ้มหรือเคลือบโครงสร้างของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ลิกนินจึงเป็นเหมือนผนังป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส นอกจากนี้ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มขนาดรูพรุนของตัววัตถุดิบและลดการเกิดผลึกของเซลลูโลส (cellulose crystallinity) ทำให้เอนไซม์สามารถเข้าถึงวัตถุดิบได้ง่าย อีกทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายสำหรับใช้เอนไซม์ในการย่อยเซลลูโลส (Sun และคณะ, 2002)

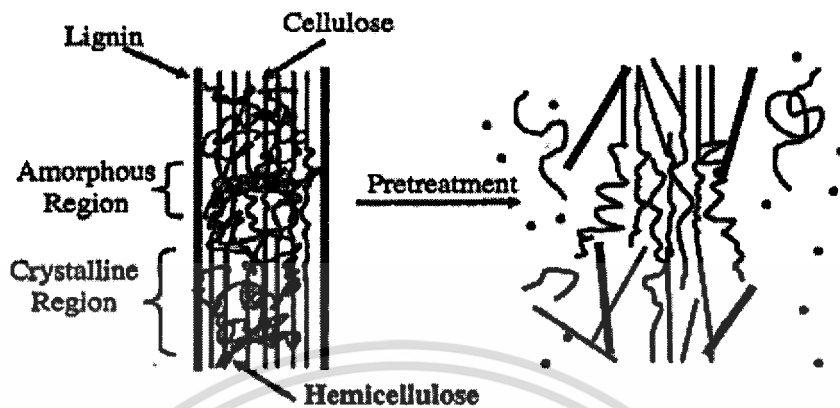
การปรับสภาพทางกายภาพ (physical pretreatment) การใช้เครื่องมือหรือเครื่องจักรในการหั่น สับ และบด เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวและลดขนาดอนุภาคของลิกนินเซลลูโลส นอกจากนี้ยังเป็นการลดผลึกเซลลูโลสด้วย โดยทั่วไปควรลดขนาดวัตถุดิบหลังจากหั่นแล้วให้มีขนาด 0.2 – 2 มิลลิเมตร หลังจากการบดละเอียดแล้ว พลังงานที่ต้องใช้ในการบดวัตถุดิบขึ้นอยู่กับขนาดสุดท้ายของชีวมวลที่ต้องการ โดยส่วนใหญ่วิธีการปรับสภาพทางกายภาพจะใช้ร่วมกับกระบวนการปรับสภาพอื่น ๆ (Huran และคณะ, 2011)

การปรับสภาพด้วยด่าง (alkaline hydrolysis) การปรับสภาพด้วยด่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ และปูนขาวเป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในกระบวนการปรับสภาพด้วยด่าง ซึ่งด่างเหล่านี้สามารถแตกโครงสร้างของลิกนินและลดการเกิดผลึกเซลลูโลส การปรับสภาพด้วยด่างเป็นกระบวนการที่ง่ายและไม่ต้องใช้พลังงานมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการปรับสภาพด้วยกรด เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำให้ปริมาณของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาณเฮมิเซลลูโลสและลิกนินลดลงร้อยละ 70 ของเฮมิเซลลูโลสถูกกำจัดภายใน 4 สัปดาห์ ภายใต้การปรับสภาพด้วยด่างที่สภาวะอุณหภูมิห้อง และการใช้เอนไซม์ชนิดผสมหลังจากการปรับสภาพวัตถุดิบด้วยด่างแล้วสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายชีวมวลได้ ข้อดีของการปรับสภาพด้วยด่าง คือ เป็นกระบวนการที่ง่ายและไม่ต้องใช้พลังงานมากเมื่อเทียบกับการปรับสภาพด้วยกรด และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายชีวมวล แต่ยังมีข้อจำกัดคือ จำเป็นต้องทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้เป็นกลางก่อนหลังจากทำการปรับสภาพเพื่อไม่ให้ขัดขวางการทำงานของกระบวนการในขั้นต่อไป (สุภาวดี

เอกสาร, 2557) เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับสภาพด้วยกรด (acid hydrolysis) กรดที่นิยมได้แก่ กรดซัลฟิวริก และกรดไฮโดรคลอริก การใช้การเจือจางกรดในการปรับสภาพ พบว่ามีอัตราในการเกิดปฏิกิริยาสูงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการการย่อยเซลลูโลสได้ (สุภาวดี ,2557)



รูปที่ 2.14 การปรับสภาพเพื่อทำลายโครงสร้างที่แข็งแรงของลิกโนเซลลูโลส  
ที่มา : Mosier และคณะ (2005)

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Zhang และคณะ (2013) ทำการผลิตอะซิโตน บิวทานอล และเอทานอลจากซังข้าวโพดโดยการปรับสภาพด้วยเครื่องบดแบบเปียก (WDM) แล้วนำไปย่อยด้วยเอนไซม์ Optimash™ BG และหมักโดยใช้เชื้อ *Clostridium acetobutylicum* SE-1 ได้ผลได้กลูโคสร้อยละ 71.3 และไซโลสร้อยละ 39.3 จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลได้น้ำตาลกับขนาดอนุภาคของซังข้าวโพดที่ถูกปรับสภาพ บอกได้ว่า อนุภาคขนาดเล็กกว่าให้ผลที่ดีในการย่อยด้วยเอนไซม์ ซึ่งที่ความถี่ร้อยละ 90 ให้ขนาดที่ดีที่สุดในการเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการย่อยด้วยเอนไซม์ การผลิตอะซิโตน บิวทานอล และเอทานอลจากซังข้าวโพด ใช้เชื้อ *Clostridium acetobutylicum* SE-1 ดำเนินการสองวิธี คือ การหมักแบบแยกปฏิกิริยา (SHF) และการหมักแบบรวมปฏิกิริยา (SSF) เมื่อเปรียบเทียบการใช้ น้ำตาลและการผลิตอะซิโตน บิวทานอล และเอทานอลในการหมักแบบแยกปฏิกิริยา พบว่าการหมักแบบแยกปฏิกิริยามีการใช้ น้ำตาล 0.55 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และพบการผลิตอะซิโตน บิวทานอล และเอทานอล 0.20 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมงจากกลูโคส 0.50 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมงและ 0.17 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมงจากกลูโคสกับไซโลส 0.68 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมงและ 0.22 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมงจากสารที่ได้จากการย่อยซังข้าวโพดด้วยเอนไซม์ ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้บอกได้ว่า การใช้เครื่องบดแบบเปียกเป็นการปรับสภาพที่มีความเหมาะสมในการผลิตอะซิโตน บิวทานอล และเอทานอลจากซังข้าวโพด เนื่องจากมีสถานะที่ไม่รุนแรง พบว่าอัตราการผลิตอะซิโตน บิวทานอล และเอทานอลโดยวิธีการหมักแบบแยกปฏิกิริยา 0.15 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมงซึ่งสูงกว่าการหมักแบบรวมปฏิกิริยา คือ 0.12 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง

Zhang และคณะ (2014) ศึกษาการผลิตอะซิโตน บิวทานอล เอทานอลจากซังข้าวโพดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยระบบ alkaline twin-screw extrusion (ATSE) โดยใช้ซังข้าวโพดที่ถูกปรับสภาพจะถูกนำไปย่อยด้วยเอนไซม์หลังจากล้าง ผลของปริมาณของแข็งและเอนไซม์ในการย่อย พบว่าไม่มีน้ำตาลที่สามารถหมักได้ 68.2 กรัมต่อลิตรซึ่งได้จากการย่อยของแข็งร้อยละ 10 ด้วยเอนไซม์

การแยกน้ำตาลที่สูงที่สุดร้อยละ 91.07 ได้จากเต็มของแข็งร้อยละ 2 สำหรับเซลล์ 24 FPU ต่อกรัมสารตั้งต้น จากนั้นสารที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์จะถูกหมักโดยใช้ *Clostridium acetobutylicum* ATCC824 การผลิตอะซิโตน บิวทานอล และเอทานอลจากสารที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์นั้น เมื่อถูกเปรียบเทียบพบว่า กลูโคส ไซโลส และอาหารที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ ซึ่งความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์เหมือนกัน ผลิตบิวทานอล 7.1 กรัมต่อลิตร ได้จากผลิตอะซิโตน บิวทานอล เอทานอลหลังจากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่เวลา 72 ชั่วโมง สำหรับปริมาณของแข็งร้อยละ 6 เป็นการเปรียบเทียบกลูโคสกับอาหารที่มาจากสารที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ และผลได้อะซิโตน บิวทานอล เอทานอลโดยรวม เท่ากับ 0.112 กรัมต่อกรัมของใยข้าวโพด

Qureshi และคณะ (2013) ศึกษากระบวนการเปลี่ยนเป็นน้ำตาล การหมัก และการแยกพร้อมกัน (SSFR) ซึ่งเป็นการพัฒนามาจากกระบวนการหมักอะซิโตน บิวทานอล และเอทานอล ซึ่งบิวทานอลเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการหมักใยข้าวโพดโดยใช้ *Clostridium beijerinckii* P260 จากการสกัดข้าวโพด 86 กรัมต่อลิตร พบว่าร้อยละ 97 ของน้ำตาลถูกปล่อยออกมาระหว่างการย่อยและความสามารถในการผลิตอะซิโตน บิวทานอล เอทานอลที่หมัก เท่ากับ 0.34 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และผลได้เท่ากับ 0.39 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมงเมื่อใช้กลูโคสเป็นสารตั้งต้นความสามารถในการผลิตจะสูงกว่า 0.31 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง อธิบายได้ว่า อะซิโตน บิวทานอลสามารถผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพจากสารชีวมวลลิกโนเซลลูโลส กรดอะซิติกที่ถูกปล่อยออกมาจากชีวมวลในระหว่างการปรับสภาพและการย่อย ถูกใช้โดยเชื้อในการผลิตอะซิโตน บิวทานอล อัตราเฉลี่ยการสร้างน้ำตาลจากการย่อยใยข้าวโพด 0.98 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ในระบบนี้อะซิโตน บิวทานอล ถูกแยกโดยใช้สุญญากาศและเป็นผลจากการแยกผลิตภัณฑ์ร่วมกัน น้ำตาลจะถูกใช้โดยเชื้อทั้งหมด

Procentese และคณะ (2017) ทำการวิจัยเกี่ยวกับการปรับสภาพและย่อยด้วยเอนไซม์ของกากผักกาดหอมเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอบิวทานอล ซึ่งรายงานไว้ว่า เศษที่เหลือจากกระบวนการคัดแยกผักสดเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ตามความเป็นจริงร้อยละ 50 ของผักแปรรูปจะต้องนำมาจำหน่าย แต่เศษผักกาดหอมถือว่าไม่เหมาะที่จะนำไปจำหน่าย อาจนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตบิวทานอลเพราะอุดมไปด้วยน้ำตาล ในงานวิจัยนี้ได้มีการผลิตอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล (ABE) จากการย่อยใบผักกาดหอมด้วยเอนไซม์ ใบผักกาดหอมได้รับการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนแล้วจึงย่อยด้วยเอนไซม์ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทดลองอยู่ระหว่าง  $4 \text{ kg/m}^3$  ถึง  $200 \text{ kg/m}^3$  และใช้เอนไซม์ Cellic Ctec2 (Novozymes) ในการย่อย น้ำตาลที่อยู่ในชีวมวลที่ได้จากการย่อยถูกหมักแบบแบทช์ด้วยเชื้อ *Clostridium acetobutylicum* DSMZ 792 กระบวนการหมักมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนน้ำตาลและการผลิตอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล สารที่ได้จากการย่อยผักกาดหอมที่เตรียมไว้ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีน้ำตาลกลูโคสและไซโลสประมาณครึ่งต่อครึ่ง ภายใต้ภาวะที่เหมาะสมความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปรับสภาพคือ  $80 \text{ kg/m}^3$  ความเข้มข้นของน้ำตาลหลังจากการย่อยด้วยเอนไซม์คือ 19.5 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของ ABE เท่ากับ 1.44 กรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของบิวทานอลเท่ากับ 1.1 กรัมต่อลิตร

Cukierman และคณะ (2017) ศึกษาผลของการปรับสภาพด้วยกรดและลักษณะอุณหภูมิในกระบวนการและผลผลิตของผลิตภัณฑ์ไฟโรไลซิสของเปลือกถั่วลิสง รายงานว่า ไฟโรไลซิสของเปลือกถั่วลิสง (*Arachis hypogaea*) ที่ถูกปรับสภาพด้วยกรดได้รับการตรวจสอบเพื่อปรับปรุงผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซล และลักษณะของผลิตภัณฑ์ไฟโรไลซิส 3 ชนิด นอกจากนี้ยังได้มีการตรวจสอบ

ไพโรไลซิสของเปลือกถั่วลิสงที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ การปรับสภาพด้วยกรดใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกแบบเจือจางและสามารถลดปริมาณเถ้าของเปลือกถั่วลิสงได้ การทดสอบไพโรไลซิสได้ดำเนินการในเครื่องปฏิกรณ์แบบ fixed-bed ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียสผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซลสูงสุดที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสทั้งเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพและไม่ผ่านการปรับสภาพ แต่ไพโรไลซิสของเปลือกถั่วลิสงที่ไม่ผ่านการปรับสภาพให้น้ำมันไบโอดีเซลปริมาณมากกว่าน้ำมันที่ไม่ผ่านกรรมวิธี (42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับ 33 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของกระบวนการทำให้มีการลดลงของของแข็ง (ถ่านชีวภาพ) สำหรับทั้งสองตัวอย่าง กระบวนการกำจัดเกลือแร่นำไปสู่การลดการผลิตถ่านชีวภาพ เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของผลิตภัณฑ์การปรับสภาพและอุณหภูมิจะไม่ส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบของน้ำมันไบโอดีเซล อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำในน้ำมันชีวภาพต่ำกว่าที่เกิดจากการไพโรไลซิสของเปลือกถั่วลิสงแม้ว่าจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันการไพโรไลซิสของเปลือกถั่วลิสงมีผลทำให้ถ่านชีวภาพที่มีซีเถ้าช่วยเพิ่มศักยภาพในการเป็นเชื้อเพลิงน้ำมันไบโอดีเซล นอกจากนี้ถ่านชีวภาพเกิดจากเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพแล้วที่อุณหภูมิสูงขึ้น (500 - 600 องศาเซลเซียส) ทำให้พื้นที่ผิวของ BET สูงขึ้น (สูงสุด 300 m<sup>2</sup>/g) แสดงให้เห็นแล้วว่าการใช้งานที่เป็นไปได้ของถ่านชีวภาพคือเป็นตัวดูดซับหยาดหรืออาจจะพัฒนาไปเป็นถ่านกัมมันต์

García-Cubero และคณะ (2014) ทำการวิจัยเกี่ยวกับการผลิตอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล (ABE) โดยเชื้อ *Clostridium beijerinckii* จากสารที่ได้จากการย่อยฟางข้าวสาลี การหมักอะซิโตน บิวทานอล เอทานอลด้วยเชื้อ *Clostridium beijerinckii* ของสารที่ได้จากการย่อยฟางข้าวสาลีที่ผ่านการปรับสภาพโดยวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำและโอโซน โดยย่อยด้วยเอนไซม์ของฟางข้าวสาลี จะทำในเครื่องปฏิกรณ์ถังที่มีส่วนประกอบของแข็งแห้ง 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สภาวะการย่อยสลายของเอนไซม์คือการหมุนด้วยความเร็ว 175 rpm อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส pH เท่ากับ 5 และเวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 72 ชั่วโมง เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยคือเอนไซม์เซลลูเลส (Celluclast 1.5 L) ผสมกับเอนไซม์  $\beta$ -glucosidase (Novozymes 188) ในสารที่ได้จากการย่อยการระเบิดด้วยไอน้ำพบว่าผลผลิต ABE สูงสุดที่ 0.4 กรัมต่อกรัม และ 127.71 กรัมของ ABE ต่อกิโลกรัมของฟางข้าวสาลีสามารถทำได้เมื่อใช้สารละลายทั้งสองชนิดจากการปรับสภาพ ในสารที่ได้จากการย่อยด้วยโอโซนพบว่าผลผลิต ABE สูงสุดที่ 0.32 กรัมต่อกรัม และ 79.65 กรัมของ ABE ต่อกิโลกรัมของฟางข้าวสาลี พบผลกระทบที่หลากหลายในการระเบิดด้วยไอน้ำและการใช้โอโซนของฟางข้าวสาลีซึ่งทำให้เกิดการกำจัดเฮมิเซลลูโลสและการละลายลิกนินที่ละลายในกรดตามลำดับ การวิเคราะห์ SEM พบความแตกต่างของโครงสร้างในสารชีวมวลที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและผ่านการปรับสภาพ หลังการปรับสภาพการย่อยสลายกลูโคสอยู่ระหว่าง 65.73 - 66.49 เปอร์เซ็นต์และ 63.22 - 65.23 เปอร์เซ็นต์ และการคืนสภาพของไซโลสอยู่ระหว่าง 45.19 - 61 เปอร์เซ็นต์และ 34.54 - 40.91 เปอร์เซ็นต์ ในสารที่ได้จากการย่อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยไอน้ำและโอโซนตามลำดับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการดำเนินงานหลังจากการปรับสภาพและการย่อยด้วยเอนไซม์ ความเข้มข้นของ ABE สูงขึ้น 11.44 กรัมต่อลิตร ได้จากสารที่ได้จากการย่อยที่ใช้ไอน้ำ เมื่อเทียบกับสารที่ได้จากการย่อยด้วยโอโซน 7.13 กรัมต่อลิตร ผลของสารยับยั้งหลักที่พบในสารที่ได้จากการย่อยคือกรดออกซาลิก กรดอะซิติก 5-hydroxymethylfurfural และเฟอร์ฟูรัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Karimi และคณะ (2014) ศึกษาเกี่ยวกับการปรับสภาพฟางข้าวด้วยวิธี Organosolv สำหรับการหมักอะซิโตน บิวทานอล ซึ่งรายงานว่าจะซิโตน บิวทานอล เอทานอล (ABE) ถูกผลิตขึ้นจากฟางข้าวโดยใช้กระบวนการปรับสภาพโดยใช้เอทานอลด้วยวิธี Organosolv การย่อยด้วยเอนไซม์ และการหมักโดยใช้เชื้อ *Clostridium acetobutylicum* พบว่าการปรับสภาพฟางข้าวใช้เอทานอลที่มีปริมาตร 75 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่มีกรดซัลฟิวริก 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาทีทำให้ความเข้มข้นน้ำตาลสูงที่สุดคือ 31 กรัมต่อลิตรในกระบวนการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส (Celluclast 1.5 L) และเอนไซม์  $\beta$ -glucosidase (Novozymes 188) อย่างไรก็ตาม พบความเข้มข้นของ ABE สูงสุดคือ 10.5 กรัมต่อลิตรและอัตราผลผลิต ABE สูงสุดคือ 0.20 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ได้จากการปรับสภาพฟางข้าวที่ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที การย่อยฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพแล้วด้วยเอนไซม์ที่ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที โดยมีการใส่ของแข็ง 5 เปอร์เซ็นต์ทำให้มีปริมาณกลูโคสถึง 46.2 เปอร์เซ็นต์ซึ่งหมักเป็นบิวทานอล 80.3 กรัม อะซิโตน 21.1 กรัมและเอทานอล 22.5 กรัม ซึ่งเป็นผลผลิตสูงสุดของการผลิต ABE ดังนั้นการปรับสภาพด้วยวิธี Organosolv สามารถนำไปใช้ในการผลิตตัวทำละลายได้อย่างมีประสิทธิภาพจากฟางข้าว

Sukumaran และคณะ (2013) ศึกษาการผลิตไบโอบิวทานอลจากฟางข้าวโดยไม่มีอะซิโตนที่ผลิตโดยเชื้อ *Clostridium sporogenes* BE01 โดยปรับสภาพฟางข้าวด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในฟางข้าว 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที ใช้เอนไซม์เซลลูเลสในการปรับสภาพฟางข้าว ซึ่งมีความเข้มข้นเอนไซม์ 30 FPU ต่อกรัมสารตั้งต้น และย่อยด้วยเอนไซม์ที่ 50 องศาเซลเซียสและปั่นเหวี่ยงที่ 200 rpm เวลา 48 ชั่วโมง สายพันธุ์นี้ให้ผลผลิตบิวทานอล 3.43 กรัมต่อลิตรและมีอัตราส่วนของตัวทำละลาย 5.32 กรัมต่อลิตรในฟางข้าวที่เสริมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและสารสกัดจากยีสต์ สารที่ได้จากการย่อยได้รับการวิเคราะห์สารยับยั้ง เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก และเฟอร์ฟูรัล ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อและการหมัก ABE

He และคณะ (2017) ได้นำหญ้าเนเปียร์ (*Pennisetum purpureum*) ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพเนื่องจากมีความสามารถในการปรับตัวและความพร้อมใช้งานที่กว้างขวาง การปรับสภาพหญ้าเนเปียร์ในงานวิจัยนี้ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5, 1.5 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในการปรับสภาพ ปริมาณตัวอย่างที่ใส่ก่อนปรับสภาพได้แก่ 5, 8 และ 11 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 20, 40, 60 และ 100 นาที เอนไซม์ Novozymes Cellic® CTec2 ถูกใช้สำหรับการย่อยด้วยเอนไซม์ในการศึกษานี้ การหมัก ABE และการย่อยด้วยเอนไซม์ใช้กระบวนการหมักแบบ semi-simultaneous saccharification fermentation (sSSF) ใช้เชื้อ *C. acetobutylicum* ATCC 824 เมื่อเปรียบเทียบการปรับสภาพด้วยกรดและต่างพบว่าขั้นตอนการปรับสภาพด้วยต่างเป็นสิ่งที่ดีสำหรับหญ้าเนเปียร์ โดยการปรับสภาพด้วยเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาณตัวอย่างที่ใส่ก่อนปรับสภาพ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 40 นาที และการย่อยด้วยเอนไซม์ 40 FPU/g สารตั้งต้น ทำให้ได้ผลผลิตกลูโคส 82 เปอร์เซ็นต์ พบว่าหญ้าเนเปียร์สามารถถ่ายโอนสารโพลีแซ็กคาไรด์เป็นโมโนแซ็กคาไรด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพในกระบวนการนี้ และหญ้าเนเปียร์มีคาร์โบไฮเดรต 54 เปอร์เซ็นต์โดยรวมซึ่งส่งผลให้เกิดแหล่งคาร์บอนได้ พบว่าหลังจากการย่อย

ที่ 24 ชั่วโมงและหมักที่ 96 ชั่วโมง ความเข้มข้นของบิวทานอลเท่ากับ 9.45 กรัมต่อลิตรและความเข้มข้นของอะซิโตน 4.85 กรัมต่อลิตร ผลได้บิวทานอลมีค่าเท่ากับ 0.22 กรัมต่อกรัมน้ำตาลกลูโคส+ไซโลส ประสิทธิภาพในการผลิตบิวทานอลจากหญ้าเนเปียร์คิดเป็น 31 เปอร์เซ็นต์

Luis และคณะ (2014) ศึกษาผลของวิธีการปรับสภาพต่อการย่อยด้วยเอนไซม์และการหมักเอทานอลของเซลลูโลสจากหญ้าข้าว งานวิจัยนี้รายงานว่าหญ้าข้าว (*Pennisetum purpureum*) เป็นวัสดุที่มีศักยภาพในการผลิตเอทานอลสูงในประเทศเขตร้อนเนื่องจากมีความพร้อมในการใช้งานสูง และสามารถปรับตัวได้ การปรับสภาพทางเคมีและทางเคมีฟิสิกส์เช่น การย่อยสลายด้วยเบส โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1-2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การย่อยด้วยสารละลายกรดเจือจางใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การระเบิดด้วยไอน้ำ การปรับสภาพโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และ Aqueous ammonia soaking (AAS) ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ได้ดำเนินการเพื่อหาผลกระทบต่อการย่อยสลายและการหมักของเซลลูโลสของวัสดุนี้ ย่อยด้วยเอนไซม์ Accellerase 1500 (Genecor) 30 FPU/g ชีวมวล และทำการย่อยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 180 rpm และผสมโซเดียมซิเตรต 50 mM ที่ pH 4.8 ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาทีก่อนเพิ่มเอนไซม์ ทำการหมักแบบ Simultaneous saccharification and fermentation (SSF) อุณหภูมิระหว่าง 80 - 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 - 180 นาที อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:15 และ 1:20 (น้ำหนัก) ใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ในการคัดเลือกวิธีการในการปรับสภาพพบว่าการปรับสภาพด้วยเบสให้ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดคือ 34.4 กรัมต่อลิตร และความเข้มข้นเอทานอลสูงสุดคือ 15.1 กรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับวิธีการปรับสภาพแบบอื่น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าภายใต้สภาวะการปรับสภาพ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอัตราส่วนระหว่างของแข็งต่อของเหลวเท่ากับ 1:20 (น้ำหนัก) ได้ผลผลิตเอทานอลสูงสุดคือ 26.1 กรัมต่อลิตร นอกจากนี้การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดแอลคาไลด์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ช่วยลดปริมาณลิกนินได้ 88.4 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์

##### 3.1.1 เชื้อจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ *Clostridium* sp. G10 (บุษบา, 2560) ที่คัดแยกได้ในห้องปฏิบัติการ เก็บในกลีเซอรอลร้อยละ 20 ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส ในสภาวะนิ่งและไม่มีออกซิเจน

##### 3.1.2 สารเคมี

กลูโคส	เอนไซม์เซลลูเลส
กรดซัลฟิวริก	กรดบอริกเข้มข้น
โซเดียมไฮดรอกไซด์	กรดไฮโดรคลอริก
3,5- dinitrosalicylic acid (DNS)	คอปเปอร์ซัลเฟต
อะซิเตตบัฟเฟอร์	ปิโตรเลียมอีเทอร์
เอทิลแอลกอฮอล์	ซีตริก
อะซิโตน	บิวทริก
เอทานอล	อะซิติก
เมทานอล	บิวทานอล
ฟีนอล์ฟทาลีน	กลีเซอรอล
กรีนเมทิลเรดอินดิเคเตอร์	ไซโลส
โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (KHP)	เซลลูไบโอส

##### 3.1.3 อุปกรณ์

กระบอกตวง	ขวดปรับปริมาตร
กรวยกรองบุชเนอร์	ผ้าขาวบาง
ขวดลดความดัน (Suction flask)	ปั๊มสุญญากาศ
กระดาษกรองสาร	เครื่องชั่งน้ำหนัก
ขวดรูปชมพู่	ช้อนตักสาร
กระดาษฟอยด์	กระป๋องอะลูมิเนียม (Moisture can)
บีกเกอร์	ลูกยาง
อ่างควบคุมอุณหภูมิ	เครื่องผสมสาร
โถเลี้ยงเชื้อแบบปราศจากออกซิเจน	Anaerobic chamber
จานเพาะเชื้อ	แผ่นตูดอากาศ (anaerobic cult)
หลอดทดลอง	ตู้ปลอดเชื้อ
ปิเปตต์	เครื่องหมุนเหวี่ยง
เครื่องวัดการดูดกลืนแสง	ตู้อบลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องบดอุตสาหกรรม	โถดูดความชื้น
เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง	หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ
เครื่องวัดพีเอช	ชุดวิเคราะห์โปรตีน
ชุดเครื่องกลั่นวิเคราะห์ไขมัน (soxhlet)	บิวเรต

### 3.2 อาหารเลี้ยงเชื้อ

#### 3.2.1 อาหาร Reinforced Clostridial (HIMEDIA®)

เดกซ์โตรส	5.0	กรัม
เปป्टอน	10.0	กรัม
สารสกัดจากยีสต์(yeast extract)	3.0	กรัม
สารสกัดจากเนื้อ (beef extract)	10.0	กรัม
โซเดียมคลอไรด์	5.0	กรัม
โซเดียมอะซิเตต	3.0	กรัม
กรดอะมิโนซิสเทอีน-กรดไฮโดรคลอริก	0.5	กรัม
น้ำแป้ง	1.0	กรัม
ผงวัน	0.5	กรัม

นำส่วนประกอบของอาหารทั้งหมดมาละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรของอาหารให้มีปริมาตร 1 ลิตร ปรับ pH ให้ได้ 5.5 -5.7 จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

#### 3.2.2 อาหาร T6 (ดัดแปลงจากอาหาร TYA ตามรายงานของ Ogata และคณะ, 1973)

กลูโคส	45.0	กรัม
สารสกัดจากยีสต์ (yeast extract)	2.0	กรัม
ซิสเทอีน-ไฮโดรคลอริกโมโนไฮเดรต	0.5	กรัม
โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต	0.5	กรัม
แมกนีเซียมซัลเฟต	0.3	กรัม
แอมโมเนียมอะซิเตต	1.8	กรัม
เฟอร์รัสซัลเฟต	0.01	กรัม

นำส่วนประกอบของอาหารทั้งหมดมาละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรของอาหารให้มีปริมาตร 1 ลิตร ปรับ pH ให้ได้ 5.6 จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

ในการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 จะทำการเพาะเลี้ยงในอาหาร 3 ชนิด คือ อาหาร T6 ที่มีน้ำตาลกลูโคสเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ซึ่งจะใช้เป็นชุดควบคุม อาหาร T6 ที่ใช้ส่วนสไลต์ได้จากการย่อยเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพ ที่มีน้ำตาลรีดิวซ์เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร และอาหารที่ได้จากส่วนสไลต์ได้จากการย่อยเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพ ที่มีน้ำตาลรีดิวซ์เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วัตถุประสงค์

เปลือกถั่วลิสง ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทแม่รวยการเกษตร จำกัด เลขที่ 359 หมู่ 1 ถนนสกล-ภาพสินธุ์ ตำบลห้วยยาง อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร ในช่วงเดือนตุลาคม 2560

### 3.4 การปรับสภาพเปลือกถั่วลิสง

#### 3.4.1 การเตรียมเปลือกถั่วลิสง

นำเปลือกถั่วลิสงมาล้างน้ำให้สะอาด อบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท นำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดอุตสาหกรรม ตัวอย่างที่ผ่านการบดละเอียดนำไปร่อนด้วยตะแกรงร่อนเบอร์ 50 ขนาดช่อง 300 ไมโครเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต วิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน และนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

#### 3.4.2 การปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น

นำตัวอย่างเปลือกถั่วลิสงบดละเอียดมาปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 1:10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที รอให้เย็นจากนั้นทำการกรองด้วยผ้าขาวบาง และกรองซ้ำอีกรอบด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 ส่วนใส่นำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี Dinitrosalicylic acid (DNS) (ตามหัวข้อ 3.8.4.1) ส่วนของแข็งใส่ฟอยด์อบในตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจนแห้ง

#### 3.4.3 การปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก

นำตัวอย่างเปลือกถั่วลิสงบดละเอียดมาปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 โมลาร์ ในอัตราส่วน 1:10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที รอให้เย็นจากนั้นทำการกรองด้วยผ้าขาวบาง และกรองซ้ำอีกรอบด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 ส่วนใส่นำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี Dinitrosalicylic acid (DNS) (ตามหัวข้อ 3.8.4.1) ส่วนของแข็งนำไปทำให้เป็นกลาง (ตามหัวข้อ 3.5)

#### 3.4.4 การปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

นำตัวอย่างเปลือกถั่วลิสงบดละเอียดมาปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 โมลาร์ ในอัตราส่วน 1:10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที รอให้เย็นจากนั้นทำการกรองด้วยผ้าขาวบาง และกรองซ้ำอีกรอบด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 ส่วนใส่นำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี Dinitrosalicylic acid (DNS) (ตามหัวข้อ 3.8.4.1) ส่วนของแข็งนำไปทำให้เป็นกลาง (ตามหัวข้อ 3.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง

ล้างของแข็งที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำล้าง โดยทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำล้าง ทั้งก่อนและหลังการล้าง จนน้ำล้างทั้งก่อนและหลังมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากันจากนั้นนำไปอบใน ตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจนแห้ง

### 3.6 การย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

เตรียมตัวอย่างโดยนำเปลือกถั่วลิสงบดละเอียดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น กรด ซัลฟิวริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในอัตราส่วน 1:10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นทำการเติม เอนไซม์ ACCELLERASE™ 1500 ปริมาตร 0 – 1.0 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็ง ปรับปริมาตรด้วยน้ำ กลั่น บ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยจะเก็บตัวอย่างทุก 24 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี Dinitrosalicylic acid (DNS) (ตามหัวข้อ 3.8.4.1) และวิเคราะห์ชนิดของน้ำตาลที่ได้จากการย่อยด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลว สมรรถนะสูง

### 3.7 การผลิตบิวทานอล

#### 3.7.1 การเตรียมหัวเชื้อ

ถ่ายเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ที่เก็บไว้ในกลีเซอรอลร้อยละ 20 ที่อุณหภูมิ -80 องศา เซลเซียส ลงในอาหารแข็ง Reinforced Clostridial (RCM) บ่มในโถเลี้ยงเชื้อแบบปราศจากออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายเชื้อปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงในอาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส 30 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร บ่มในโถเลี้ยงเชื้อแบบ ปราศจากออกซิเจนที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายเชื้อ 5 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีอาหารอาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส 50 กรัม ต่อลิตร ปริมาตร 45 มิลลิลิตร บ่มในสภาวะไร้อากาศที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

#### 3.7.2 การเพาะเลี้ยงเชื้อ

การเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 จะทำโดยถ่ายหัวเชื้อจากข้อ 3.7.1 ร้อยละ 10 ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีอาหาร 180 มิลลิลิตร โดยจะมีอาหารทั้งหมด 3 ชนิด คือ อาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร อาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นของน้ำตาล กลูโคส 45 กรัมต่อลิตร อาหาร T6 ที่ใช้ส่วนเสที่ได้จากการย่อยเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพ ที่มีน้ำตาลรีดิวซ์เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร และอาหารที่ได้จากส่วนเสที่ได้จากการย่อยเปลือกถั่วลิสงที่ ผ่านการปรับสภาพ ที่มีน้ำตาลรีดิวซ์เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร บ่มในสภาวะไร้ ออกซิเจนที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 120 ชั่วโมง โดยจะเก็บตัวอย่างปริมาตร 7 มิลลิลิตร ทุก 12 ชั่วโมง ในช่วง 48 ชั่วโมงแรก และจากนั้นเก็บตัวอย่างทุก 24 ชั่วโมง จนครบ 120 โดยทุกครั้งที่ มีการเก็บตัวอย่างจะต้องเติมอาหารลงไปเพื่อให้มีปริมาตรเท่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

#### 3.8.1 วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำหมัก

เก็บตัวอย่างน้ำหมักชั่วโมงที่ 0, 12, 24, 36, 48, 72, 96, 120, 144 และ 168 เก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ และซ้ละ 7 มิลลิลิตร นำตัวอย่างที่เก็บได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ตักเอาน้ำที่ได้นำไปล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวมเท่าเดิมคือ 7 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน นำไปวิเคราะห์น้ำหนักเซลล์แห้งและค่าการดูดกลืนแสง 600 นาโนเมตร ส่วนใสที่ได้นำไปวิเคราะห์ค่า pH ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี Dinitrosalicylic acid (DNS) (ตามหัวข้อ 3.8.4.1) และวิเคราะห์ปริมาณอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล กรดบิวทริก และกรดอะซิติก ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

#### 3.8.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Proximate analysis)

##### 3.8.2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (AOAC, 2004)

นำตัวอย่างลุมิเนียม อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกมาใส่โถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ( $W_1$ ) ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียม อบในตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกมาใส่โถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ ) ทำซ้ำอีกครั้งละ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักไม่เกิน 3 มิลลิกรัม

##### วิธีคำนวณปริมาณความชื้น

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100$$

##### 3.8.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2004)

###### การย่อยตัวอย่าง

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างบดละเอียดประมาณ 1.5 กรัม ใส่หลอดสำหรับย่อยโปรตีน เติม catalyst ซึ่งเป็นส่วนผสมของ  $K_2SO_4$  6.5 กรัม กับ  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  0.5 กรัม ในลักษณะเม็ด กรดซัลฟิวริกร้อยละ 98 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร วางหลอดย่อยโปรตีนในเตาย่อย ประกอบสายยางระหว่างสายครอบเครื่อง ตักจับไอกรด เปิดสวิตช์เครื่องตักจับไอกรดและเตาย่อยตั้งอุณหภูมิและย่อยจนสารละลายใส ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร เก็บไว้กลั่นต่อไป

###### การกลั่นและการไทเทรต

นำสารละลายตัวอย่างที่ย่อยได้ใส่ลงในช่องใส่ตัวอย่าง เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 40 ลงไปจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลให้ได้ประมาณ 150 มิลลิลิตรนำไปกลั่น โดยเก็บของเหลวที่กลั่นได้ประมาณ 150 มิลลิลิตร ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูเทียบกับแบลนด์ที่มีขั้นตอนการเตรียมที่เหมือนตัวอย่างแต่ไม่ต้องใส่ตัวอย่าง

### วิธีคำนวณปริมาณโปรตีน

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)} = \frac{(A-B) \times 0.1 \times 0.014}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \text{ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)} \times C$$

เมื่อ	A	=	ปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
	B	=	ปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ใช้ไทเทรตแบลลงค์ (มิลลิลิตร)
	C	=	conversion factor (มีค่าเท่ากับ 5.46)

#### 3.8.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2004)

นำขวดก้นกลมอบในตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ( $W_1$ ) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างใส่กระดาษกรองประมาณ 1 กรัม ( $W_2$ ) ท่อให้มิดชิดแล้วใส่ลงใน thimble ใส่ในหลอดชุดเครื่องวิเคราะห์ไขมัน (soxhlet) นำขวดก้นกลมที่ใส่ petroleum ether ประมาณ 250 มิลลิลิตรแล้วประกอบชุดเครื่องกลั่นวิเคราะห์ไขมัน (soxhlet) ใช้เวลากลั่นประมาณ 3 ชั่วโมง พอครบเวลาแล้วเท petroleum ether ออก นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_3$ ) ทำซ้ำอีกครั้งละ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักไม่เกิน 3 มิลลิกรัม

#### วิธีคำนวณปริมาณไขมัน

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{(W_3 - W_1)}{W_2} \times 100$$

#### 3.8.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย (AOAC, 2004)

ได้ทำการส่งตัวอย่างตรวจวิเคราะห์ที่ฝ่ายปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนโดยมีรายละเอียดดังนี้

นำครุชีเบิ้ลแก้วสำหรับวิเคราะห์เยื่อใยไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำออกมาใส่ในโถดูดความชื้นและทิ้งให้เย็นนำไปชั่ง แล้วบันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วใส่ลงในครุชีเบิ้ลที่ชั่งน้ำหนักประมาณ 1 กรัม ( $F_3$ ) วางครุชีเบิ้ลแก้วลงในหลุมที่อยู่บนตัวเครื่องสกัดเส้นใยเต็มสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.01 นอร์มอลที่ทำให้ร้อนไว้ก่อนแล้วเทลงในท่อแก้วคอนเดนเซอร์ไปประมาณ 150 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดนาน 30 นาที กรองเอาสารละลายออกล้างตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นร้อน 3 ครั้ง ครั้งละ 30 มิลลิลิตร เต็มสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.23 นอร์มอลที่ทำให้ร้อนลงไปประมาณ 150 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดนาน 30 นาที กรองเอาสารละลายต่างออกแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน 3 ครั้งล้างด้วยน้ำกลั่นเย็น 1 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยอะซิโตนอีกทั้งหมด 3 ครั้ง ครั้งละ 225 มิลลิลิตร ทำให้แห้งโดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสประมาณ 1 ชั่วโมง นำครุชีเบิ้ลออกมาใส่โถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นทำการชั่งน้ำหนักและจดบันทึก ( $F_1$ ) จากนั้นนำภาชนะที่ได้ไปอบต่อที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสนาน 3 ชั่วโมงเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นนำมาชั่งน้ำหนัก ( $F_2$ ) แล้วนำไปคำนวณตามสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การคำนวณ

$$\text{เยื่อใยหยาบ (ร้อยละ)} = \frac{F_1 - F_2}{F_3} \times 100$$

เมื่อ	$F_1$	=	น้ำหนักของเยื่อใยหยาบและน้ำหนักเถ้า (กรัม)
	$F_2$	=	น้ำหนักเถ้า (กรัม)
	$F_3$	=	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

#### 3.8.2.5 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2004)

เผาด้วยกระบี่เบื้องเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ใส่โถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก เเผาซ้ำอีกครั้งประมาณ 1 ชั่วโมงจนได้ผลต่างน้ำหนักไม่เกิน 3 มิลลิกรัม ชั่งน้ำหนักตัวอย่างบดละเอียดประมาณ 1 กรัม ใส่ในด้วยกระบี่เบื้องเคลือบที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไปเผาบนตะเกียงเบนเซนในตู้ควันจนหมดควันจึงนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เเผาซ้ำอีกครั้งประมาณ 1 ชั่วโมงจนได้ผลต่างน้ำหนักไม่เกิน 3 มิลลิกรัม

#### วิธีคำนวณปริมาณเถ้า

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา} - \text{น้ำหนักด้วยกระบี่}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

#### 3.8.2.6 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต} = \text{ปริมาณความชื้น} - \text{ปริมาณเถ้า} - \text{ปริมาณโปรตีน} - \text{ปริมาณเยื่อใย} - \text{ปริมาณไขมัน}$$

#### 3.8.3 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน (AOAC, 2016)

ได้ส่งตัวอย่างตรวจวิเคราะห์ที่ฝ่ายปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยมีรายละเอียดดังนี้

##### 3.8.3.1 วิธีวิเคราะห์หา Acid Detergent Fiber (ADF)

นำครุชีเบิ้ลขนาด 50 มิลลิลิตร อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมง นำออกมาใส่ในโถดูดความชื้นแล้วทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนัก ( $W_2$ ) จากนั้นชั่งตัวอย่างแห้งที่บดละเอียดขนาด 300 ไมโครเมตร ( $W_3$ ) ใส่ในบีกเกอร์ปากกลมเรียบ แล้วนำสารละลาย Acid Detergent ไปต้มให้ร้อน ตวงใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร นำไปทำการย่อยหรือ reflux นาน 1 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เยื่อใย หลังจากนั้นทำการกรองโดยเทสารละลายในบีกเกอร์ลงครุชีเบิ้ลที่ชั่งน้ำหนักแล้วที่ติดกับเครื่องสุญญากาศ ล้างตัวอย่างที่อยู่ในบีกเกอร์ด้วยขวดฉีดย้ำร้อน จนกระทั่งตัวอย่างส่วนที่เหลือทั้งหมดลงในครุชีเบิ้ลจนหมด ล้างตัวอย่างที่อยู่ในครุชีเบิ้ลจนหมดฟอง จากนั้นล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ข้างครุชีเบิ้ลด้วยน้ำร้อนอีก 1 – 2 ครั้ง โดยใช้ขวดฉีดย้ำร้อน จากนั้นดูดน้ำออกด้วย vacuum pump ล้างตัวอย่างด้วยอะซิโตน 3 ครั้ง หรือจนกระทั่งสารละลายที่เหลือออก

จากครุชชีเบิ้ลไม่มีสี นำครุชชีเบิ้ลที่มีตัวอย่างไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสนาน 8 ชั่วโมง นำครุชชีเบิ้ลที่มีตัวอย่างออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้นจากนั้นปล่อยให้เย็นแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก ( $W_1$ ) เพื่อทำการคำนวณหาค่าร้อยละ ADF จากนั้นนำครุชชีเบิ้ลที่มีตัวอย่างเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เอาออกใส่ในโถดูดความชื้นแล้วปล่อยให้เย็น ชั่งและบันทึกน้ำหนัก แล้วนำไปคำนวณหาค่าร้อยละ ADF

### สูตรคำนวณ

$$\text{ร้อยละของ ADF} = \frac{[(W_1 - W_2) \times 100]}{W_3} - \% \text{Acid Insoluble Ash}$$

$W_1$  = น้ำหนักครุชชีเบิ้ล+น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

$W_2$  = น้ำหนักครุชชีเบิ้ล (กรัม)

$W_3$  = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

### 3.8.3.2 วิธีวิเคราะห์หา Acid Detergent Lignin (ADL)

นำครุชชีเบิ้ลที่มีตัวอย่าง ( $W_3$ ) ที่วิเคราะห์หา ADF ( $W_1$ ) แล้วมาเติมสารละลาย  $H_2SO_4$  ร้อยละ 72 ที่เย็น (20 องศาเซลเซียส) ลงไปประมาณครึ่งครุชชีเบิ้ล จากนั้นนำไปวางลงในภาตสแตนเลส ใช้แท่งแก้วคนให้ทั่ว เพื่อให้ตัวอย่างแยกออกจากกันไม่จับตัวเป็นก้อน โดยมีน้ำกลั่นที่อยู่ในภาตสแตนเลสระดับต่ำกว่าระดับของแผ่น Fritted glass รักษาอุณหภูมิของครุชชีเบิ้ลในภาตสแตนเลสที่ 20 – 30 องศาเซลเซียส คอยเติมสารละลาย  $H_2SO_4$  ร้อยละ 72 เมื่อสารละลายในครุชชีเบิ้ลแห้ง คนเป็นระยะ ๆ ใช้เวลาย่อยนาน 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปดูดเพื่อล้างสารละลายกรดออกแล้วล้างด้วยน้ำร้อน จากนั้นใช้ขวดฉีดน้ำใส่ตัวอย่างที่ติดอยู่ข้างครุชชีเบิ้ลจนหมดแล้วฉีดล้างครุชชีเบิ้ลอีกครั้ง นำครุชชีเบิ้ลพร้อมตัวอย่างที่ย่อยแล้วนำไปอบในตู้อบแห่งอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาใส่โถดูดความชื้นแล้วปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนัก ( $W_4$ ) เพื่อคำนวณหาปริมาณเซลลูโลสจากสูตรต่อไปนี้

### สูตรคำนวณ

$$\text{ร้อยละของเซลลูโลส} = \frac{W_1 - W_4}{W_3} \times 100$$

$W_1$  = น้ำหนักครุชชีเบิ้ล+น้ำหนัก ADF (กรัม)

$W_4$  = น้ำหนักครุชชีเบิ้ล+น้ำหนักเยื่อใยหลังการอบ (กรัม)

$W_3$  = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

### 3.8.3.3 วิธีวิเคราะห์หา Neutral Detergent Fiber (NDF)

นำครุชชีเบิ้ลขนาด 50 มิลลิลิตร อบในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำออกมาใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนัก ( $W_2$ ) จากนั้นชั่งตัวอย่าง ( $W_3$ ) ที่แห้งบดละเอียดขนาด 300 ไมโครเมตร ใส่ในบีกเกอร์ปากกลมเรียบ (ใส่  $Na_2SO_3$  0.5 กรัมในตัวอย่างที่มีควิตินสูง) แล้วนำสารละลาย Neutral Detergent Fiber ต้มให้ร้อนประมาณ 5 นาที

เขย่าบีกเกอร์ แล้วยกลง ทำการกรองโดยเทสารละลายในบีกเกอร์ลงครุชชีเบิ้ลที่ชั่งน้ำหนักแล้วที่ติดกับเครื่องสุญญากาศ ล้างตัวอย่างที่อยู่ในบีกเกอร์ด้วยขวดฉีดน้ำร้อน จนกระทั่งตัวอย่างส่วนที่เหลือทั้งหมดลงในครุชชีเบิ้ลจนหมด ล้างตัวอย่างที่อยู่ในครุชชีเบิ้ลจนหมดฟอง จากนั้นล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ข้างครุชชีเบิ้ลด้วยน้ำร้อนอีก 1 – 2 ครั้งโดยใช้ขวดฉีดน้ำร้อน จากนั้นดูดน้ำออกด้วย vacuum pump ล้างตัวอย่างด้วยอะซิโตน 3 ครั้งหรือจนกระทั่งสารละลายที่เหลือออกจากครุชชีเบิ้ลไม่มีสี นำครุชชีเบิ้ลที่มีตัวอย่างไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง นำครุชชีเบิ้ลออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาค่า ADF จากนั้นนำครุชชีเบิ้ลที่มีตัวอย่าง ( $W_1$ ) เฝานในเตาเผาอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เอาออกใส่ในโถดูดความชื้นแล้วปล่อยให้เย็น ชั่งและบันทึกน้ำหนัก

### สูตรคำนวณ

$$\text{ร้อยละของ NDF} = \frac{[(W_1 - W_2) \times 100]}{W_3} - \% \text{ Neutral Insoluble Ash}$$

$W_1$  = น้ำหนักครุชชีเบิ้ล+น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

$W_2$  = น้ำหนักครุชชีเบิ้ล (กรัม)

$W_3$  = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

$$\text{ร้อยละของเอมิเซลลูโลส} = \text{ร้อยละของ NDF} - \text{ร้อยละของ ADF}$$

#### 3.8.3.4 ปริมาณลิกนิน

นำครุชชีเบิ้ลที่มีตัวอย่าง ( $W_4$ ) ที่วิเคราะห์หาเซลลูโลสแล้ว นำไปเฝานในเตาเผาอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำออกใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนัก ( $W_5$ ) หารลิกนินจากสมการต่อไปนี้

### สูตรคำนวณ

$$\text{ร้อยละของลิกนิน} = \frac{W_4 - W_5}{W_3} \times 100$$

$W_4$  = น้ำหนักครุชชีเบิ้ล+น้ำหนักเยื่อใยหลังการอบ (กรัม)

$W_5$  = น้ำหนักครุชชีเบิ้ล+น้ำหนักเยื่อใยหลังการเผา (กรัม)

$W_3$  = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

### 3.8.4 การวิเคราะห์ทางเคมี

3.8.4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยใช้วิธี Dinitrosalicylic acid (ดัดแปลงจากวิธีของ Miller และคณะ, 1959)

นำตัวอย่างมาทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยใช้วิธี 3,5 dinitrosalicylic acid (DNS) ทำการเจือจางตัวอย่างให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสม จากนั้นนำตัวอย่างแต่ละการเจือจางมาปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย 3,5 dinitrosalicylic acid (DNS) ลงไป 3 มิลลิลิตร นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมาแช่ในน้ำเย็นเพื่อหยุดปฏิกิริยา เติมน้ำกลั่น 6 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนในชั้นเรียน ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานที่เตรียมโดยใช้สารละลายกลูโคส (ภาคผนวก ก)

#### 3.8.4.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

วิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง ด้วยกระดาษวัด pH (pH-indicator strips) ยี่ห้อ McolorpHast™

#### 3.8.4.3 การวิเคราะห์ความขุ่นของอาหาร

นำตัวอย่างที่เก็บได้ในแต่ละชั่วโมง ที่มีปริมาตร 7 มิลลิลิตร มาทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำตะกอนที่ได้ไปล้างด้วยน้ำกลั่น (resuspend) จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 7 มิลลิลิตรเท่าเดิม จากนั้นนำไป vortex และแบ่งเป็น 2 หลอด หลอดละ 3.5 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

#### 3.8.4.4 การวิเคราะห์น้ำหนักรีดแห้ง

ซึ่งหลอดเซนตริฟิวขนาด 25 มิลลิลิตร บันทึกน้ำหนัก นำส่วนที่เหลือ 3.5 มิลลิลิตร จากข้อ 3.8.4.3 ใส่ในหลอด ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เทส่วนใส่ทิ้ง แล้วนำตะกอนไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปชั่งเพื่อคำนวณน้ำหนักรีดแห้ง

#### 3.8.4.3 การวิเคราะห์หาชนิดของน้ำตาลหลังปรับสภาพโดยใช้เครื่อง HPLC

นำส่วนใสของตัวอย่างจากหัวข้อ 3.7.2 ที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงที่ 4000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที นำมาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสม จากนั้นนำมาทำการวิเคราะห์หาชนิดของน้ำตาลโดยใช้เครื่อง HPLC (High performance liquid chromatography) โดยนำตัวอย่างมาทำการเจือจาง 10 เท่า โดยใช้กลีเซอรอลร้อยละ 5 สำหรับเป็น Internal standard แล้วกรองสารละลายตัวอย่างด้วยตัวกรองที่มีรูพรุนขนาด 0.2 ไมครอนให้ได้ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาชนิดของน้ำตาลด้วยเครื่อง HPLC โดยใช้คอลัมน์ Amines® Fermentation Monitor เส้นผ่านศูนย์กลางภายในคอลัมน์ 7.8 มิลลิลิตร ความยาว 150 มิลลิลิตร โดยเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) ที่ใช้คือ สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5 mM อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ส่วน column oven ทำงานที่ 65 องศาเซลเซียสโดยวัดค่า refractive index ด้วยเครื่องวัดการหักเหของแสงและฉีดตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตร จากนั้นวิเคราะห์หาพื้นที่ใต้กราฟของสารที่มี Retention time ตามสารมาตรฐานที่ทำการวิเคราะห์ไว้ล่วงหน้า (ภาคผนวก ก)

#### 3.8.4.5 การวิเคราะห์หาปริมาณบิวทานอลและสารอินทรีย์อื่น ๆ

นำส่วนใสของตัวอย่างจากหัวข้อ 3.7.2 ที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงที่ 4000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที นำมาเจือจางด้วยน้ำ DI ให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสม จากนั้นนำมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณบิวทานอล อะซิโตน เอทานอล กรดอะซิติก และกรดบิวทริก โดยใช้เครื่อง HPLC (High performance liquid chromatography) โดยนำตัวอย่างมาทำการเจือจาง 10 เท่า โดยใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกร้อยละ 2 สำหรับเป็น Internal standard แล้วกรองสารละลายตัวอย่างด้วยตัว

กรองที่มีรูพรุนขนาด 0.2 ไมครอนให้ได้ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ บิวทานอล อะซิโตน เอทานอล กรดอะซิติก และกรดบิวทิริก ด้วยเครื่อง HPLC โดยใช้คอลัมน์ Amines® Fermentation Monitor เส้นผ่านศูนย์กลางภายในคอลัมน์ 7.8 มิลลิลิตร ความยาว 150 มิลลิลิตร โดยเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) ที่ใช้คือ สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5 mM อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ส่วน column oven ทำงานที่ 37 องศาเซลเซียสโดยวัดค่า refractive index ด้วยเครื่องวัดการหักเหของแสงและฉีดตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตร จากนั้นวิเคราะห์หาพื้นที่ใต้กราฟของสารที่มี Retention time ตามสารมาตรฐานที่ทำการวิเคราะห์ไว้ล่วงหน้าแล้วหาความเข้มข้นของสารต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน (ภาคผนวก ก)

### 3.8.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่วิเคราะห์ได้จากวิธี DNS ค่าพีเอช ค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง ความชื้นของอาหาร และปริมาณสารผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ตรวจได้จากเครื่อง HPLC มาวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยวิธี Duncan และวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลทางสถิติด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS (IBM SPSS Statistics เวอร์ชัน 24)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 4.1 การศึกษาองค์ประกอบของเปลือกถั่วลิสง

การศึกษาองค์ประกอบของเปลือกถั่วลิสง ทำโดยการนำเปลือกถั่วลิสงมาทำความสะอาดอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท มาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดอุตสาหกรรม นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย โดยดัดแปลงการวิเคราะห์จาก AOAC (2004) และเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกถั่วลิสง

การวิเคราะห์	%
ปริมาณความชื้น	5.16
ปริมาณโปรตีน	0.80
ปริมาณไขมัน	0.44
ปริมาณเถ้า	3.02
ปริมาณเยื่อใย	52.03
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	38.55
ปริมาณเซลลูโลส	29.71
ปริมาณเฮมิเซลลูโลส	10.00
ปริมาณลิกนิน	22.77

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกถั่วลิสงพบว่ามีปริมาณเยื่อใยสูงที่สุดถึงร้อยละ 52.03 ปริมาณความชื้นร้อยละ 5.16 ไขมันร้อยละ 0.44 และเถ้าร้อยละ 3.01 ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Liu และคณะ (2018) ที่มีในปริมาณร้อยละ 6.24, 0.33 และ 2.02 ตามลำดับ และมีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 29.71 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 10 และลิกนินร้อยละ 22.77 ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของธนรรชมลวรรณ และคณะ (2558) ที่มีในปริมาณร้อยละ 26.44, 10.05 และ 34.34 ตามลำดับ

#### 4.2 การศึกษาการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสง

ขั้นตอนการปรับสภาพในเบื้องต้นเป็นการทำให้โครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์มีสายที่สั้นลง เพื่อให้การย่อยด้วยเอนไซม์สามารถทำได้ง่ายขึ้น การปรับสภาพสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วิธีปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น และสารเคมี คือ กรดซัลฟิวริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0 - 1.0 โมลาร์ ร่วมกับการใช้ความร้อนโดยหม้อนึ่งอัดไอ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 20 นาที จากนั้นนำส่วนใสที่ได้มาทดสอบหาน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี Dinitrosalicylic acid (DNS) ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่วิเคราะห์จากเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0 - 1.0 โมลาร์ ด้วยอัตราส่วน 1:10 กรัมต่อมิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที 121 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที

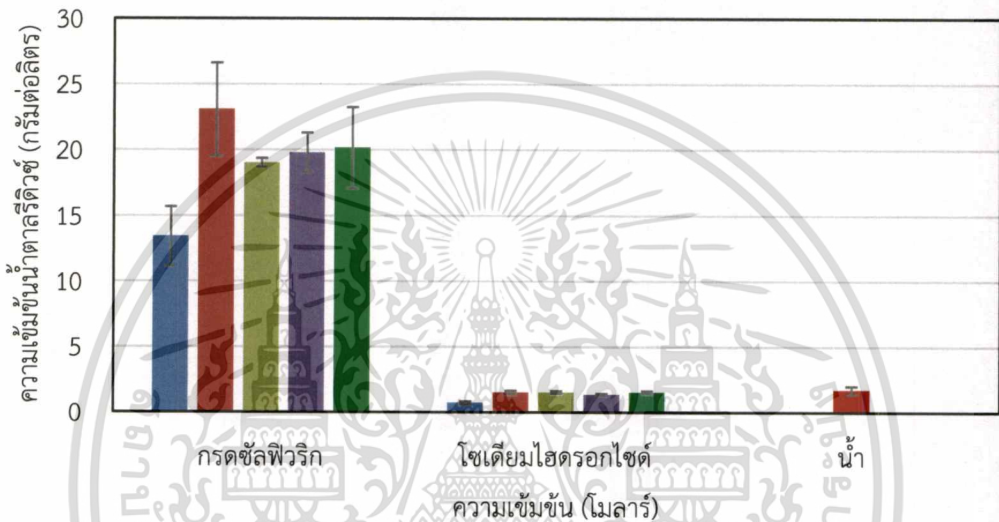
ความเข้มข้น (โมลาร์)	การปรับสภาพ		
	กรดซัลฟิวริก	โซเดียมไฮดรอกไซด์	น้ำกลั่น
0			1.68 <sup>b</sup> ± 0.30
0.2	13.43 <sup>b</sup> ± 2.26	0.72 <sup>b</sup> ± 0.11	
0.4	23.08 <sup>a</sup> ± 3.54	1.50 <sup>a</sup> ± 0.13	
0.6	19.03 <sup>a</sup> ± 0.33	1.51 <sup>a</sup> ± 0.10	
0.8	19.78 <sup>a</sup> ± 1.50	1.34 <sup>a</sup> ± 0.06	
1.0	20.16 <sup>a</sup> ± 3.08	1.51 <sup>a</sup> ± 0.09	

หมายเหตุ a, b และ c แสดงถึงความแตกต่างกันในสภาวะเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ ) และค่าที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากการทดลองการปรับสภาพโดยใช้กรดนั้นมีจุดประสงค์คือเพื่อให้ได้น้ำตาลในปริมาณที่สูงจากวัสดุชีวมวล ชนิดของกรดที่นำมาปรับสภาพมีมากมายหลายประเภทได้แก่ กรดซัลฟิวริก ไฮโดรคลอริก ไนตริก หรือฟอสฟอริก ในกระบวนการแปลงสภาพสามารถใช้ได้ทั้งกรดเข้มข้นและเจือจาง เพื่อเพิ่มการทำงานของกระบวนการไฮโดรไลซิส (Palmqvist และ Hahn-Hagerdal, 2002) การใช้กรดเจือจางเพื่อปรับสภาพวัสดุที่อุณหภูมิที่เหมาะสมโดยใช้กรดซัลฟิวริกหรือกรดฟอสฟอริกมักจะถูกใช้สำหรับการเปลี่ยนวัสดุพวกลิกโนเซลลูโลส ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเฮมิเซลลูโลส ไปเป็นน้ำตาลที่ละลายได้ตามด้วยการใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพื่อให้เกิดเป็นกลูโคส (Silverstein และคณะ, 2007) จากผลการทดลองการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกโดยใช้ความเข้มข้นในการปรับสภาพที่ต่างกัน 0.2 – 1.0 โมลาร์ จากตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.1 พบว่าในการปรับสภาพด้วยกรดที่ความเข้มข้น 0.4 – 1.0 โมลาร์ ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ส่วนการใช้ต่างในกระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบมีผลต่อวัสดุจำพวกลิกโนเซลลูโลส และผลของต่างที่ใช้ในกระบวนการแปลงสภาพจะขึ้นอยู่กับปริมาณของลิกนินที่มีอยู่ในวัสดุนั้นด้วย (McMillan, 1994) การใช้ต่างเจือจางในวัสดุลิกโนเซลลูโลสมีผลทำให้เกิดการบวมภายในเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการทำปฏิกิริยาทำให้วัสดุมีความพรุนเพิ่มขึ้นได้ ลดความเป็นโครงสร้างผลึกของเซลลูโลส ลดระดับความเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ และสามารถแยกสายโครงสร้างระหว่างลิกนินและคาร์โบไฮเดรต และเป็นการแยกองค์ประกอบหรือทำลายโครงสร้างของลิกนิน (Kim และคณะ, 2008) ซึ่งจากผลการทดลองการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้ความเข้มข้นในการปรับสภาพที่ต่างกัน 0.2 – 1.0 โมลาร์ จากตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.1 จะเห็นได้เช่นกันว่าในการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.4 – 1.0 โมลาร์ มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

พบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังจากการปรับสภาพเบื้องต้นมีความแตกต่างกัน โดยการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด คือ 23.08 กรัมต่อลิตร แต่เนื่องจากการปรับสภาพด้วยกรดเพียงอย่างเดียว จะทำให้มีการย่อยและตัดพันธะไปเรื่อย ซึ่งอาจเกิดการสลายน้ำตาลไปเป็นสารอื่นที่ไม่ต้องการ จึงต้องมีการนำมาย่อยต่อด้วยเอนไซม์เซลลูเลส และการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และน้ำ คือ 1.51 และ 1.68 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกใช้กรดซัลฟิวริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ในการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป เพราะให้ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ไม่แตกต่างกันกับความเข้มข้น 0.6, 0.8 และ 1.0 โมลาร์



รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ที่วิเคราะห์จากส่วนใส่ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยน้ำ กรดซัลฟิวริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน (■ 0.2 M, ■ 0.4 M, ■ 0.6 M, ■ 0.8 M, ■ 1M)

#### 4.3 การศึกษาการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

เมื่อผ่านการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้ว จากนั้นนำของแข็งที่ผ่านการปรับสภาพไปทำการย่อยด้วยเอนไซม์ ACCELLERASE™ 1500 ปริมาณ 0 – 1.0 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็ง บ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของเปลือกถั่วลิสงในตารางที่ 4.1 เปลือกถั่วลิสงมีปริมาณลิกนินเป็นจำนวนมากซึ่งเป็นตัวยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โดยที่การย่อยด้วยเอนไซม์มีเป้าหมายสลายพันธะพอลิเมอร์ของพอลิแซ็กคาไรด์ในน้ำที่อยู่ในส่วนของแข็งที่ยังคงเหลืออยู่หลังการปรับสภาพเบื้องต้น ผลการทดลองจากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.2 พบว่าการย่อยของแข็งที่ผ่านการปรับสภาพที่เวลา 0, 24 และ 48 ชั่วโมง ของแข็งที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ผลการทดลองพบว่าที่ระยะเวลาการย่อย 24 ชั่วโมง มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุด คือ 8.74 และ 5.47 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

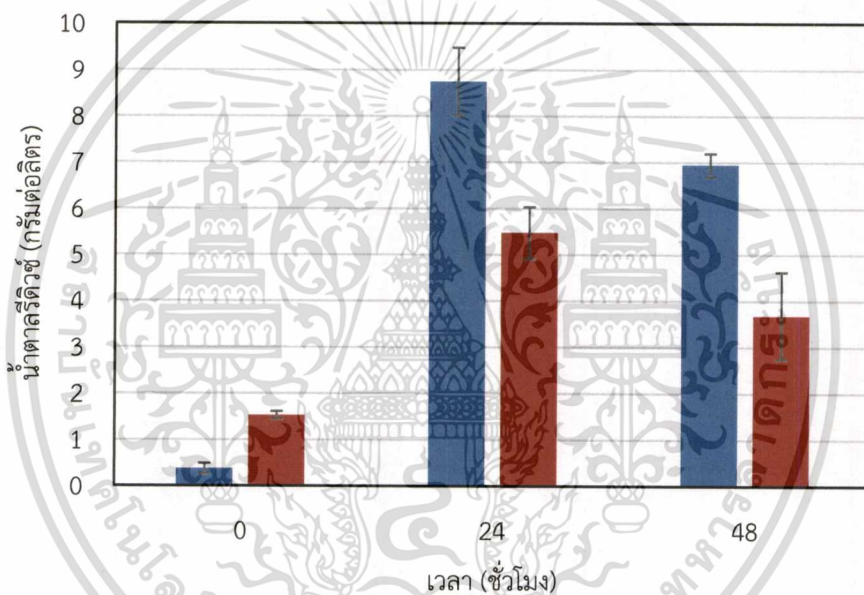
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเป็นอันควรขอแจ้งการคัด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่วิเคราะห์จากเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส และบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างกัน

การปรับสภาพ	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)		
	ชั่วโมงที่ 0	ชั่วโมงที่ 24	ชั่วโมงที่ 48
กรดซัลฟิวริก	0.38 <sup>c</sup> ± 0.11	8.74 <sup>a</sup> ± 0.73	6.94 <sup>b</sup> ± 0.25
โซเดียมไฮดรอกไซด์	1.53 <sup>c</sup> ± 0.08	5.47 <sup>a</sup> ± 0.56	3.68 <sup>b</sup> ± 0.94

หมายเหตุ a, b และ c แสดงถึงความแตกต่างกันในสถานะเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ ) และค่าที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่วิเคราะห์จากส่วนใสที่ผ่านการปรับสภาพด้วย กรดซัลฟิวริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ที่ระยะเวลาต่างกัน ( ■ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ■ NaOH)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.4** ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่วิเคราะห์จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยสารเคมีที่มีความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ทำการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ที่ปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอนไซม์เซลลูเลส (มิลลิลิตร)	การปรับสภาพ	
	กรดซัลฟิวริกซ์	โซเดียมไฮดรอกไซด์
0.1	5.84 <sup>d</sup> ± 0.12	2.81 <sup>d</sup> ± 0.20
0.2	7.45 <sup>c</sup> ± 0.42	4.37 <sup>cd</sup> ± 0.38
0.3	7.81 <sup>bc</sup> ± 0.62	5.48 <sup>bc</sup> ± 0.49
0.4	7.74 <sup>bc</sup> ± 0.99	4.85 <sup>c</sup> ± 0.99
0.5	8.74 <sup>ab</sup> ± 0.73	5.47 <sup>bc</sup> ± 0.56
0.6	8.88 <sup>a</sup> ± 0.13	5.58 <sup>bc</sup> ± 1.80
0.7	7.94 <sup>abc</sup> ± 0.67	6.65 <sup>ab</sup> ± 0.90
0.8	8.99 <sup>a</sup> ± 0.12	6.94 <sup>ab</sup> ± 1.22
0.9	8.98 <sup>a</sup> ± 0.61	7.26 <sup>ab</sup> ± 1.00
1.0	8.89 <sup>a</sup> ± 0.44	7.46 <sup>a</sup> ± 0.92

**หมายเหตุ** a, b, c และ d แสดงถึงความแตกต่างกันในสภาวะเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ ) ค่าที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสในหน่วยยูนิท (U) มีรายละเอียดดังนี้ 0.1 ml = 250 U, 0.2 ml = 500 U, 0.3 ml = 750 U, 0.4 ml = 1000 U, 0.5 ml = 1250 U, 0.6 ml = 1500 U, 0.7 ml = 1750 U, 0.8 ml = 2000 U, 0.9 ml = 2250 U, 1.0 ml = 2500 U

การย่อยของแข็งที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ปริมาตร 0 – 1.0 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็ง เพื่อหาปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุด จากตารางที่ 4.3 พบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของแข็งที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่เติมเพื่อทำการย่อย 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็ง และย่อยของแข็งที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่เติมเพื่อทำการย่อย 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็ง ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยเป็นปริมาณที่มากเกินไปสำหรับปริมาณสับสเตอร์ทที่ทำให้เกิดภาวะอิ่มตัวระหว่างปฏิกิริยาของเอนไซม์กับสับสเตอร์ท (Permsriburasake และคณะ, 2014) จึงทำให้การเพิ่มปริมาณเอนไซม์ในการย่อยไม่มีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การศึกษาชนิดของน้ำตาลหลังการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

เมื่อนำส่วนใสที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส และปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก มาวิเคราะห์หาชนิดของน้ำตาลด้วยเครื่อง HPLC (High performance liquid chromatography) โดยใช้สารมาตรฐาน ได้แก่ กลูโคส ไซโลส เซลโลโบไอส และมอลโทส จากตารางที่ 4.4 จะพบกลูโคส และมอลโทสเท่านั้น ซึ่งมีความเข้มข้น 8.23 และ 1.02 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยจะไม่พบไซโลส และเซลโลโบไอส

ตารางที่ 4.5 ชนิดของน้ำตาลหลังจากผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

น้ำตาล	ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)
กลูโคส	41.15 ± 0.15
ไซโลส	0
เซลโลโบไอส	0
มอลโทส	10.20 ± 0.02

จากตารางที่ 4.5 พบว่ามีปริมาณกลูโคสสูงที่สุด คือ 41.15 กรัมต่อลิตร เนื่องจากโครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วยโครงสร้างผลึก หรือส่วนที่เป็นระเบียบ (crystalline region) และส่วนที่ไม่มีการเรียงตัว (amorphous region) เอนไซม์ endoglucanase จะเข้าไปย่อยสลายส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ ทำให้เส้นใยเซลลูโลสขาดเป็นช่วง ๆ เอนไซม์ exoglucanase เข้าไปย่อยสลายส่วนปลายของเส้นใยที่ขาดออกมา จากนั้นโมเลกุลของเซลลูโลสจะถูกย่อยสลายให้เป็นโมเลกุลที่สั้นลงโดยเอนไซม์ exoglucanase และโมเลกุลที่สั้นลงนั้นถูกย่อยด้วยเอนไซม์  $\beta$ -glucosidase ให้ผลผลิตสุดท้ายเป็นกลูโคส (Zhu, 2005) และไม่พบไซโลสและเซลโลโบไอส ซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและโมเลกุลคู่ที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกถั่วลิสง จากตารางที่ 4.1 พบว่าจะมีปริมาณของเฮมิเซลลูโลสในปริมาณที่น้อย ถึงแม้ว่าในขั้นตอนการวิเคราะห์ชนิดน้ำตาลด้วยเครื่อง HPLC อาจจะมีน้ำตาลของทั้งสองชนิด แต่อาจจะมีในปริมาณที่น้อยมากจนไม่สามารถวิเคราะห์ออกมาได้

#### 4.5 การเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10

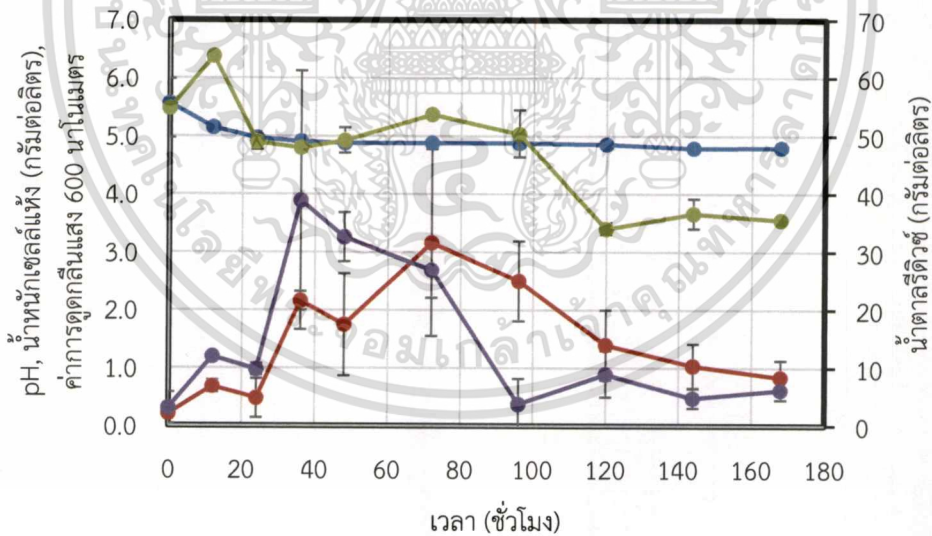
การเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 จะทำในอาหารที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ อาหาร T6 ที่มีกลูโคสเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร อาหาร T6 ที่ใช้น้ำตาลรีดิทซ์เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตรซึ่งได้จากการย่อยเปลือกถั่วลิสง และอาหารที่เป็นน้ำตาลรีดิทซ์เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ซึ่งได้จากการย่อยเปลือกถั่วลิสงเพียงอย่างเดียว โดยให้ชุดการเพาะเลี้ยงในอาหาร T6 เป็นชุดควบคุม ทำการเก็บตัวอย่างทุก 12 ชั่วโมง ในช่วง 48 ชั่วโมงแรก และหลังจากนั้นเก็บทุก 24 ชั่วโมง จนครบ 168 ชั่วโมง และเติมอาหารเลี้ยงเชื้อเท่ากับปริมาตรที่ทำการเก็บตัวอย่างทุกครั้งที่มีการเก็บตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 การเจริญเติบโตและความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ของ อาหาร T6 ที่มีกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

เวลา (ชั่วโมง)	pH	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)	OD 600 nm	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)
0	5.56 <sup>a</sup> ± 0.01	0.21 <sup>e</sup> ± 0.03	0.31 <sup>b</sup> ± 0.27	54.76 <sup>b</sup> ± 5.08
12	5.15 <sup>b</sup> ± 0.05	0.69 <sup>de</sup> ± 0.11	1.20 <sup>b</sup> ± 0.06	63.81 <sup>a</sup> ± 0.58
24	4.97 <sup>c</sup> ± 0.04	0.48 <sup>de</sup> ± 0.34	0.98 <sup>b</sup> ± 0.10	48.95 <sup>d</sup> ± 1.30
36	4.91 <sup>cd</sup> ± 0.05	2.16 <sup>ab</sup> ± 0.16	3.89 <sup>a</sup> ± 2.23	48.00 <sup>d</sup> ± 0.86
48	4.88 <sup>d</sup> ± 0.04	1.26 <sup>bcd</sup> ± 0.42	3.26 <sup>a</sup> ± 0.42	49.24 <sup>d</sup> ± 2.22
72	4.88 <sup>de</sup> ± 0.05	2.32 <sup>a</sup> ± 0.90	2.69 <sup>a</sup> ± 0.48	53.71 <sup>bc</sup> ± 0.52
96	4.88 <sup>de</sup> ± 0.04	2.50 <sup>a</sup> ± 0.69	0.38 <sup>b</sup> ± 0.44	50.38 <sup>cd</sup> ± 4.05
120	4.86 <sup>def</sup> ± 0.05	1.40 <sup>bcde</sup> ± 0.60	0.90 <sup>b</sup> ± 0.40	34.05 <sup>e</sup> ± 1.01
144	4.79 <sup>f</sup> ± 0.03	1.04 <sup>cde</sup> ± 0.38	0.48 <sup>b</sup> ± 0.17	36.62 <sup>e</sup> ± 2.58
168	4.80 <sup>ef</sup> ± 0.04	0.84 <sup>de</sup> ± 0.29	0.62 <sup>b</sup> ± 0.17	35.52 <sup>e</sup> ± 0.22

หมายเหตุ a, b, c, d, e และ f แสดงถึงความแตกต่างกันในสภาวะเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ ) และค่าที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.3 pH น้ำหนักเซลล์แห้ง ความขุ่นของอาหารเลี้ยงเชื้อ (OD 600 nm) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เมื่อทำการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ในอาหาร T6 สภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (● pH, ● น้ำหนักเซลล์แห้ง, ● OD 600 nm, ● น้ำตาลรีดิวซ์) ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

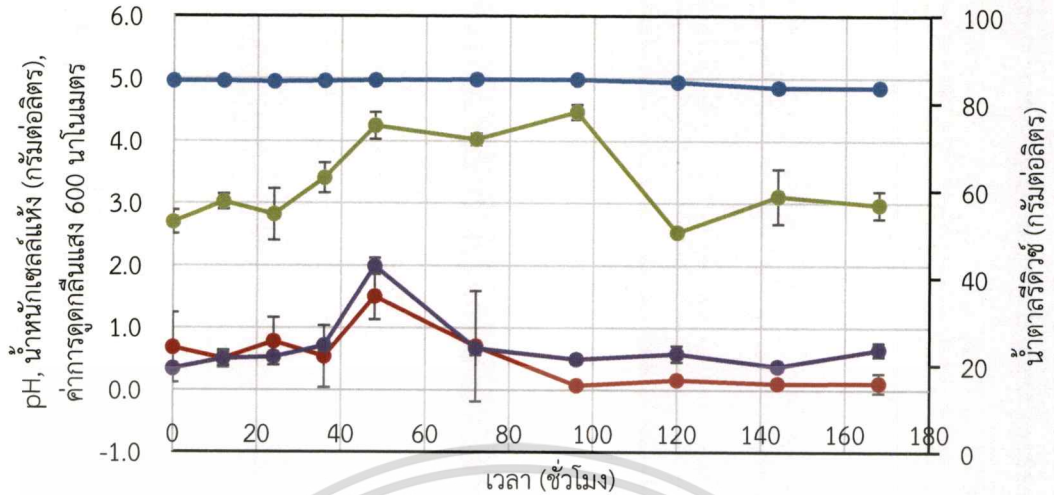
ศึกษาการเจริญของเชื้อในการเพาะเลี้ยงในอาหาร T6 ที่มีกลูโคสเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.3 พบว่า ค่าพีเอชมีการลดลงเล็กน้อยจากการเพาะเลี้ยงเริ่มต้น การศึกษาน้ำหนักเซลล์แห้ง เซลล์แห้งเริ่มต้นมีค่า 0.21 กรัมต่อลิตร เพิ่มขึ้นสูงสุดในชั่วโมงที่ 96 คือ 2.50 กรัมต่อลิตร และลดลงในชั่วโมงหลัง การวัดปริมาณเซลล์จากความขุ่นโดยทำการวัดที่ค่าการดูดกลืนแสง 600 นาโนเมตร โดยมีเซลล์เริ่มต้น 0.31 และเพิ่มขึ้นสูงสุดในชั่วโมงที่ 36 คือ 3.89 พบว่าที่ชั่วโมงที่ 36, 48 และ 72 มีปริมาณเซลล์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.95 ซึ่งมีความสอดคล้องกับการศึกษาจากน้ำหนักเซลล์แห้ง จากนั้นจะค่อยๆลดลง และพบว่าที่ชั่วโมงที่ 0, 12, 24, 96, 120, 144 และ 168 มีปริมาณเซลล์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.95 และสุดท้ายคือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ จะเห็นว่าปริมาณขึ้นๆลงๆอย่างไม่สม่ำเสมอ อาจเนื่องจากทุกครั้งที่มีการเก็บตัวอย่างจะมีการเติมอาหารเลี้ยงเชื้อลงไปเพิ่ม จึงทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีลักษณะดังกล่าว

**ตารางที่ 4.7** การเจริญเติบโตและความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ของอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส เมื่อเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

เวลา (ชั่วโมง)	pH	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)	OD 600 nm	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)
0	4.96 <sup>a</sup> ± 0.02	0.39 <sup>b</sup> ± 0.32	0.34 <sup>f</sup> ± 0.06	52.81 <sup>de</sup> ± 2.68
12	4.96 <sup>a</sup> ± 0.02	0.50 <sup>b</sup> ± 0.14	0.50 <sup>cdef</sup> ± 0.11	57.48 <sup>cd</sup> ± 1.76
24	4.95 <sup>a</sup> ± 0.02	0.62 <sup>b</sup> ± 0.36	0.53 <sup>cde</sup> ± 0.03	54.52 <sup>de</sup> ± 5.92
36	4.96 <sup>a</sup> ± 0.02	0.54 <sup>b</sup> ± 0.50	0.71 <sup>b</sup> ± 0.07	62.90 <sup>c</sup> ± 3.43
48	4.97 <sup>a</sup> ± 0.02	1.50 <sup>a</sup> ± 0.37	1.99 <sup>a</sup> ± 0.13	74.90 <sup>ab</sup> ± 3.06
72	4.98 <sup>a</sup> ± 0.02	0.08 <sup>b</sup> ± 0.18	0.67 <sup>bc</sup> ± 0.11	71.76 <sup>b</sup> ± 1.33
96	4.98 <sup>a</sup> ± 0.02	0.07 <sup>b</sup> ± 0.05	0.49 <sup>def</sup> ± 0.07	78.00 <sup>a</sup> ± 1.73
120	4.94 <sup>a</sup> ± 0.02	0.16 <sup>b</sup> ± 0.05	0.58 <sup>bcd</sup> ± 0.13	50.38 <sup>e</sup> ± 0.91
144	4.85 <sup>b</sup> ± 0.01	0.10 <sup>b</sup> ± 0.01	0.38 <sup>ef</sup> ± 0.06	58.67 <sup>cd</sup> ± 6.29
168	4.85 <sup>b</sup> ± 0.02	0.02 <sup>b</sup> ± 0	0.65 <sup>bcd</sup> ± 0.11	56.71 <sup>cde</sup> ± 3.12

**หมายเหตุ** a, b, c, d, e และ f แสดงถึงความแตกต่างกันในสภาวะเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ ) และค่าที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.4** ค่า pH น้ำหนักเซลล์แห้ง ความขุ่นของอาหารเลี้ยงเชื้อ (OD 600 nm) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เมื่อทำการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ในอาหาร T6+hydrolysate สภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (● pH, ● น้ำหนักเซลล์แห้ง, ● OD 600 nm, ● น้ำตาลรีดิวซ์)

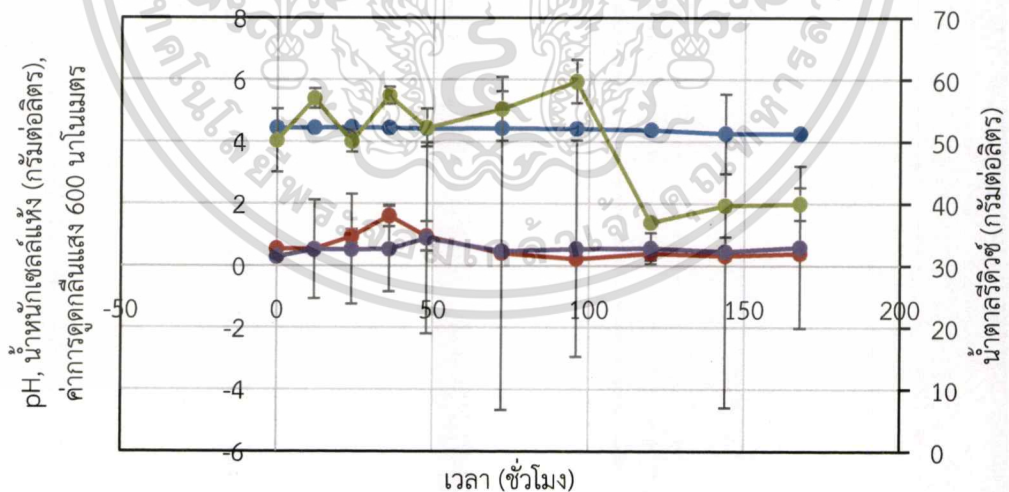
ศึกษาการเจริญของเชื้อในการเพาะเลี้ยงในอาหาร T6 ที่ใช้น้ำตาลรีดิวซ์เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ที่ได้จากการย่อยเปลือกถั่วลิสง จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.4 พบว่า ค่าพีเอชมีการลดลงน้อยมากเมื่อทำการเพาะเลี้ยงแต่ละชั่วโมง การศึกษาน้ำหนักเซลล์แห้ง เซลล์แห้งเริ่มต้นมีค่า 0.39 กรัมต่อลิตร เพิ่มขึ้นสูงสุดในชั่วโมงที่ 48 คือ 1.50 กรัมต่อลิตร จากนั้นจะลดลงและอยู่ในช่วงคงที่จนถึงชั่วโมงที่ 168 ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 ปริมาณเซลล์จากความขุ่นโดยทำการวัดที่ค่าการดูดกลืนแสง 600 นาโนเมตร ในชั่วโมงที่ 0, 12, 24, และ 36 เซลล์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และสูงที่สุดในชั่วโมงที่ 48 คือ 1.99 ซึ่งมีความสอดคล้องกับน้ำหนักเซลล์แห้งที่พบการเจริญสูงสุดในชั่วโมงที่ 48 เช่นเดียวกัน หลังจากนั้นก็ค่อยๆลดลง และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุดในชั่วโมงที่ 96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 การเจริญเติบโตและความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ของอาหารน้ำตาลรีดิวซ์ เข้มข้น 45 กรัม ต่อลิตรที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วย เอนไซม์เซลลูเลส เมื่อเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะ ไร้ออกซิเจน

เวลา (ชั่วโมง)	pH	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)	OD 600 nm	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)
0	4.45 <sup>ab</sup> ± 0.02	0.55 <sup>c</sup> ± 0.07	0.29 <sup>c</sup> ± 0.07	50.19 <sup>c</sup> ± 5.10
12	4.45 <sup>ab</sup> ± 0.03	0.54 <sup>c</sup> ± 0.11	0.53 <sup>bc</sup> ± 0.15	56.97 <sup>ab</sup> ± 1.59
24	4.47 <sup>a</sup> ± 0.02	0.95 <sup>b</sup> ± 0.22	0.53 <sup>bc</sup> ± 0.21	50.05 <sup>c</sup> ± 1.77
36	4.45 <sup>ab</sup> ± 0.01	1.61 <sup>a</sup> ± 0.34	0.54 <sup>bc</sup> ± 0.10	57.43 <sup>ab</sup> ± 1.38
48	4.43 <sup>b</sup> ± 0.02	0.96 <sup>b</sup> ± 0.47	0.89 <sup>a</sup> ± 0.23	52.24 <sup>bc</sup> ± 3.08
72	4.44 <sup>b</sup> ± 0.02	0.42 <sup>c</sup> ± 0.13	0.48 <sup>bc</sup> ± 0.18	55.29 <sup>abc</sup> ± 5.15
96	4.43 <sup>b</sup> ± 0.02	0.23 <sup>c</sup> ± 0.09	0.55 <sup>bc</sup> ± 0.02	59.71 <sup>a</sup> ± 3.49
120	4.39 <sup>c</sup> ± 0.01	0.41 <sup>c</sup> ± 0.22	0.57 <sup>b</sup> ± 0.02	37.00 <sup>d</sup> ± 0.50
144	4.27 <sup>d</sup> ± 0.01	0.34 <sup>c</sup> ± 0.14	0.47 <sup>bc</sup> ± 0.18	39.76 <sup>d</sup> ± 5.07
168	4.27 <sup>d</sup> ± 0.01	0.41 <sup>c</sup> ± 0.15	0.60 <sup>b</sup> ± 0.06	40.00 <sup>d</sup> ± 2.62

หมายเหตุ a, b, c, d, e และ f แสดงถึงความแตกต่างกันในสภาวะเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ( $P < 0.05$ ) และค่าที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน



รูปที่ 4.5 ค่า pH น้ำหนักเซลล์แห้ง ความขุ่นของอาหารเลี้ยงเชื้อ (OD 600 nm) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เมื่อทำการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ในอาหาร hydrolysate สภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (● pH, ● น้ำหนักเซลล์แห้ง, ● OD 600 nm, ● น้ำตาลรีดิวซ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาการเจริญของเชื้อในการเพาะเลี้ยงในอาหาร T6 ที่ใช้น้ำตาลรีดิวซ์เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ที่ได้จากการย่อยเปลือกถั่วลิสง จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.5 พบว่า ค่าพีเอชลดลงเพียงเล็กน้อย น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดในชั่วโมงที่ 36 และในชั่วโมงที่ 72, 96, 120, 144 และ 168 น้ำหนักเซลล์แห้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 ปริมาณเซลล์ที่วิเคราะห์โดยวัดจากค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ที่ชั่วโมงที่ 48 มีน้ำหนักเซลล์แห้งมากที่สุด และในชั่วโมงอื่นๆ น้ำหนักเซลล์แห้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 และสุดท้ายคือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ จะเห็นว่ามีปริมาณขึ้นๆลงๆอย่างไม่สม่ำเสมอ อาจเนื่องจากทุกครั้งที่มีการเก็บตัวอย่างจะมีการเติมอาหารเลี้ยงเชื้อลงไปเพิ่ม จึงทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เป็นดังกล่าว

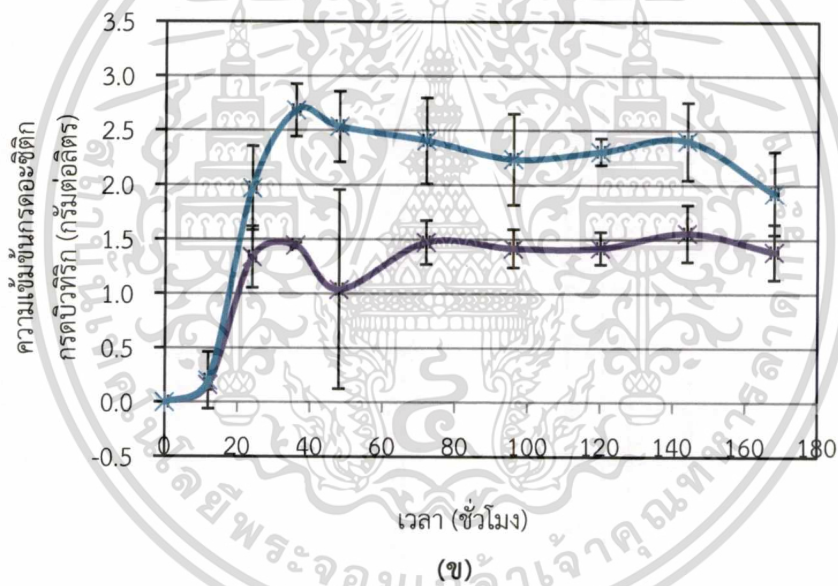
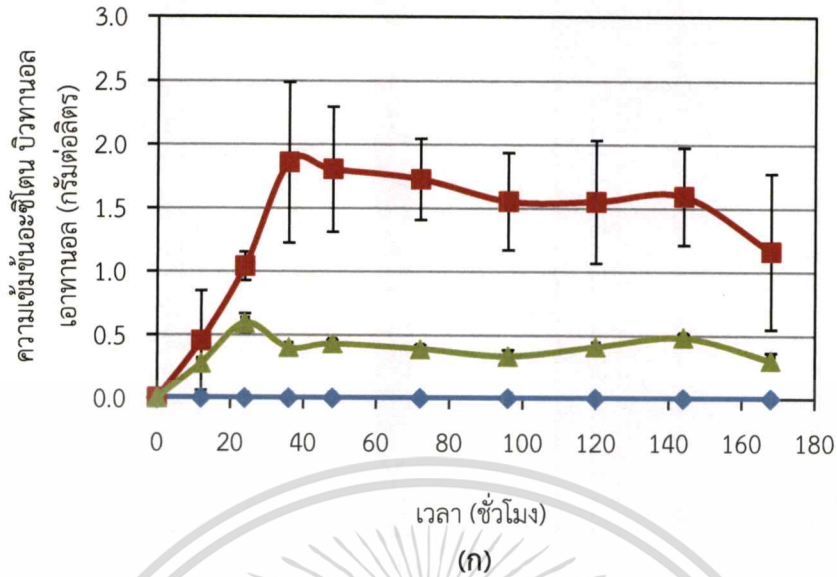
การศึกษาการผลิตก๊าซที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ในอาหารที่ต่างกัน 3 ชนิด ภายใต้สภาวะไร้อากาศ และอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จากตารางที่ 4.10 เพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร T6 พบว่า เชื้อไม่มีการสร้างอะซิโตน มีการผลิตบิวทานอล เอทานอล และกรดบิวทิริกสูงสุดในชั่วโมงที่ 48 คือ 1.80, 2.35 และ 2.54 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการย่อย จากตารางที่ 4.11 พบว่า เชื้อจะผลิตแคบิวทานอลกับเอทานอลเป็นส่วนใหญ่ แต่ในปริมาณที่ไม่มาก และผลิตได้ดีในชั่วโมงที่ 120 คือ 3.05 และ 21.67 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหารน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยเปลือกถั่วลิสง จากตารางที่ 4.12 พบว่า ส่วนมากพบแคบิวทานอล เอทานอล และกรดบิวทิริก ซึ่งในการผลิตบิวทานอลและเอทานอลนั้น เชื้อสามารถผลิตได้สูงตั้งแต่ช่วง ชั่วโมงที่ 24 ถึง 168 ส่วนกรดบิวทิริกเชื้อสามารถสร้างได้ดีตั้งแต่ชั่วโมงที่ 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ความเข้มข้นของอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และกรดบิวทิริก ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นของกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

เวลา (ชั่วโมง)	อะซิโตน (กรัมต่อลิตร)	บิวทานอล (กรัมต่อลิตร)	เอทานอล (กรัมต่อลิตร)	กรดอะซิติก (กรัมต่อลิตร)	กรดบิวทิริก (กรัมต่อลิตร)
0	0	0	0	0	0
12	NA	0.45 <sup>c</sup> ± 0.39	0.28 <sup>a</sup> ± 0.24	0.17 <sup>c</sup> ± 0.04	0.20 <sup>c</sup> ± 0.26
24	0	1.04 <sup>abc</sup> ± 0.11	0.59 <sup>a</sup> ± 0.07	1.34 <sup>b</sup> ± 0.28	1.97 <sup>b</sup> ± 0.38
36	0	1.86 <sup>a</sup> ± 0.63	0.40 <sup>a</sup> ± 0.01	1.44 <sup>b</sup> ± 0.03	2.68 <sup>ab</sup> ± 0.24
48	0	1.80 <sup>a</sup> ± 0.49	2.35 <sup>a</sup> ± 3.31	1.04 <sup>b</sup> ± 0.92	2.54 <sup>ab</sup> ± 0.32
72	0	1.73 <sup>ab</sup> ± 0.32	0.39 <sup>a</sup> ± 0.03	1.48 <sup>b</sup> ± 0.20	2.41 <sup>ab</sup> ± 0.39
96	0	1.55 <sup>ab</sup> ± 0.38	0.33 <sup>a</sup> ± 0.05	1.42 <sup>b</sup> ± 0.18	2.24 <sup>b</sup> ± 0.42
120	0	1.55 <sup>ab</sup> ± 0.48	0.41 <sup>a</sup> ± 0.01	1.42 <sup>b</sup> ± 0.15	2.30 <sup>b</sup> ± 0.12
144	0	1.59 <sup>ab</sup> ± 0.38	0.48 <sup>a</sup> ± 0.03	1.56 <sup>b</sup> ± 0.26	2.40 <sup>ab</sup> ± 0.35
168	0	1.16 <sup>abc</sup> ± 0.61	0.30 <sup>a</sup> ± 0.06	1.39 <sup>b</sup> ± 0.26	1.93 <sup>b</sup> ± 0.38

หมายเหตุ a, b และ c แสดงถึงความแตกต่างกันในสภาวะเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ ) และค่าที่แสดงในตาราง คือค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



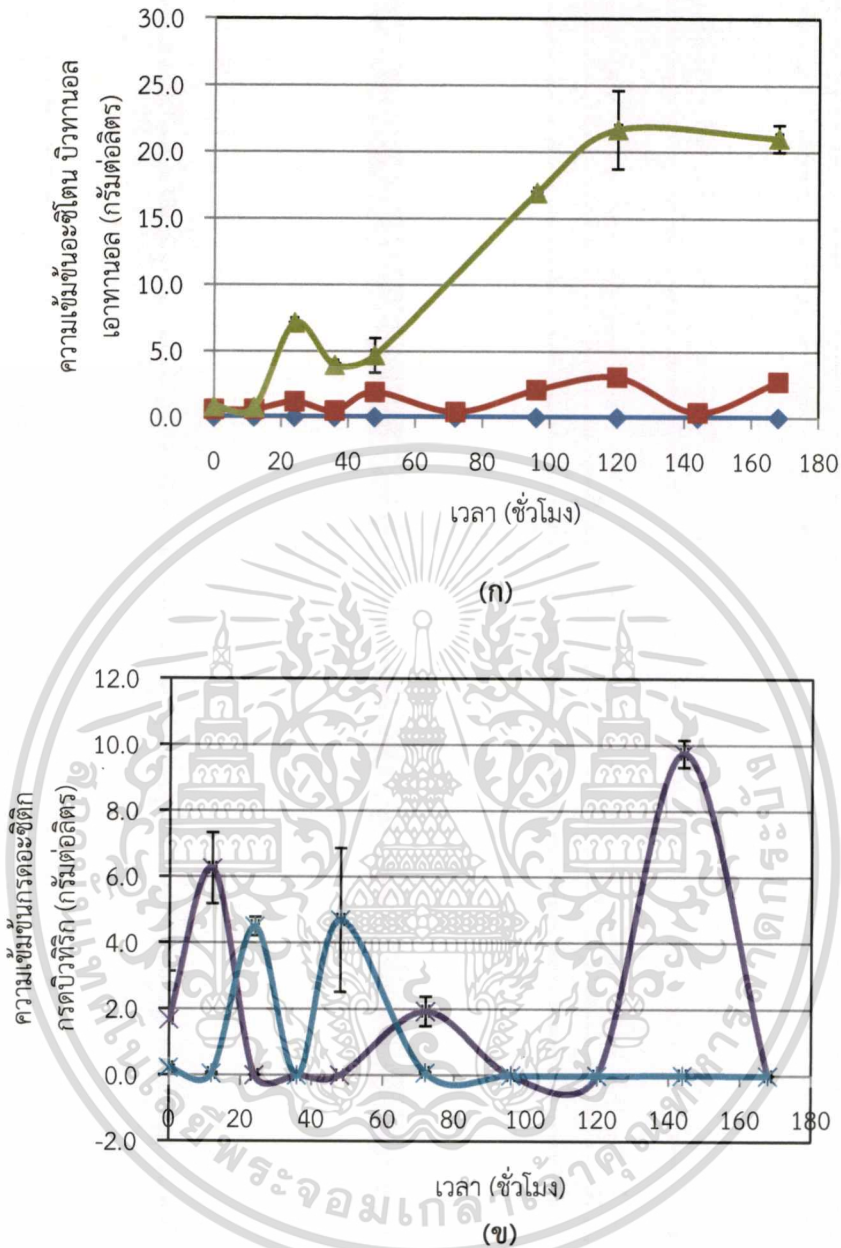
รูปที่ 4.6 (ก) ความเข้มข้นของอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล และ (ข) ความเข้มข้นกรดอะซิติก และกรดบิวทริก ที่ได้จากการเพาะเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นของกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน ( ◆ อะซิโตน, ■ บิวทานอล, ▲ เอทานอล, X อะซิติก, X บิวทริก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ความเข้มข้นของอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และกรดบิวทิริก ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวิซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

เวลา (ชั่วโมง)	อะซิโตน (กรัมต่อลิตร)	บิวทานอล (กรัมต่อลิตร)	เอทานอล (กรัมต่อลิตร)	กรดอะซิติก (กรัมต่อลิตร)	กรดบิวทิริก (กรัมต่อลิตร)
0	0.04 <sup>a</sup> ± 0.06	0.55 <sup>bc</sup> ± 0.15	0.80 <sup>c</sup> ± 0.23	2.52 <sup>c</sup> ± 0.07	0.22 <sup>b</sup> ± 0.06
12	0	0.57 <sup>bc</sup> ± 0.16	0.72 <sup>c</sup> ± 0.03	5.66 <sup>b</sup> ± 0.47	0.05 <sup>b</sup> ± 0.03
24	0.04 <sup>a</sup> ± 0.08	1.17 <sup>abc</sup> ± 0.64	7.12 <sup>bc</sup> ± 0.07	0	4.49 <sup>a</sup> ± 0.28
36	0	0.49 <sup>c</sup> ± 0.09	3.93 <sup>c</sup> ± 0.13	0	0
48	0	1.90 <sup>abc</sup> ± 0.61	6.13 <sup>bc</sup> ± 2.69	0	4.69 <sup>a</sup> ± 2.18
72	0	0.41 <sup>c</sup> ± 0.05	NA	1.93 <sup>c</sup> ± 0.45	0.08 <sup>b</sup> ± 0.02
96	0	2.07 <sup>ab</sup> ± 0.55	16.91 <sup>b</sup> ± 2.96	0	0
120	0	3.05 <sup>a</sup> ± 0.12	21.67 <sup>a</sup> ± 1.02	0	0
144	0	0.39 <sup>c</sup> ± 0.02	NA	9.74 <sup>a</sup> ± 0.4	0.02 <sup>b</sup> ± 0.03
168	0	2.72 <sup>abc</sup> ± 0.30	21.02 <sup>a</sup> ± 1.59	0	0

หมายเหตุ a, b และ c แสดงถึงความแตกต่างกันในสภาวะเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ ) และค่าที่แสดงในตาราง คือค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



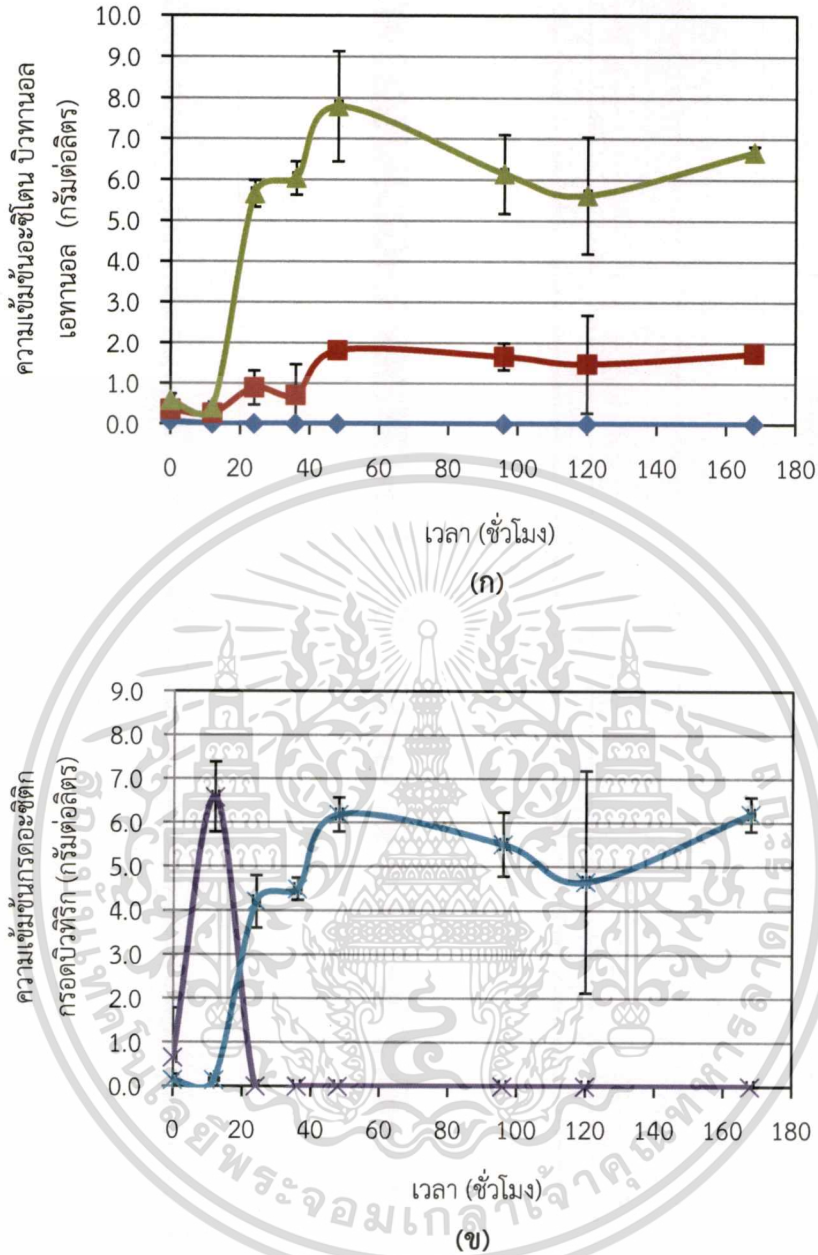
รูปที่ 4.7 (ก) ความเข้มข้นของอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล และ (ข) ความเข้มข้นกรดอะซิติก และกรดบิวทิริก ที่ได้จากการเพาะเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน (◆ อะซิโตน, ■ บิวทานอล, ▲ เอทานอล, X อะซิติก, X บิวทิริก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ความเข้มข้นของอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และกรดบิวทิริก ที่ได้จากการเพาะเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหารน้ำตาลรีดิทซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

เวลา (ชั่วโมง)	อะซิโตน (กรัมต่อลิตร)	บิวทานอล (กรัมต่อลิตร)	เอทานอล (กรัมต่อลิตร)	กรดอะซิติก (กรัมต่อลิตร)	กรดบิวทิริก (กรัมต่อลิตร)
0	0.07 <sup>a</sup> ± 0.12	0.35 <sup>c</sup> ± 0.21	0.58 <sup>d</sup> ± 0.16	0.65 <sup>b</sup> ± 1.13	0.14 <sup>b</sup> ± 0.12
12	0	0.25 <sup>c</sup> ± 0.09	0.40 <sup>d</sup> ± 0.05	6.58 <sup>a</sup> ± 0.79	0.15 <sup>b</sup> ± 0.04
24	0	0.89 <sup>abc</sup> ± 0.42	5.66 <sup>abc</sup> ± 0.32	0	4.20 <sup>ab</sup> ± 0.59
36	0	0.71 <sup>bc</sup> ± 0.76	6.03 <sup>ab</sup> ± 0.40	0	4.48 <sup>ab</sup> ± 0.26
48	0	1.81 <sup>a</sup> ± 0.17	7.79 <sup>a</sup> ± 1.35	0	6.18 <sup>a</sup> ± 0.39
72	0	NA	NA	0	NA
96	0	1.66 <sup>a</sup> ± 0.33	6.14 <sup>ab</sup> ± 0.96	0	5.51 <sup>a</sup> ± 0.73
120	0	2.17 <sup>a</sup> ± 0.26	5.61 <sup>abc</sup> ± 0.96	0	4.65 <sup>ab</sup> ± 2.53
144	0	NA	NA	NA	NA
168	0	1.74 <sup>a</sup> ± 0.21	6.67 <sup>ab</sup> ± 0.14	0	6.30 <sup>a</sup> ± 0.39

หมายเหตุ a, b และ c แสดงถึงความแตกต่างกันในสภาวะเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ ) และค่าที่แสดงในตาราง คือค่าเฉลี่ย ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.8 (ก) ความเข้มข้นของอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล และ (ข) ความเข้มข้นกรดอะซิติก และกรดบิวทีริก ที่ได้จากการเพาะเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหารน้ำตาลรีตวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน (◆ อะซิโตน, ■ บิวทานอล, ▲ เอทานอล, X อะซิติก, X บิวทีริก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ในอาหารที่ต่างกัน 3 ชนิด คือ อาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร อาหาร T6 ที่ใช้ส่วนเสที่ได้จากการย่อยเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพ ที่มีน้ำตาลรีดิวซ์เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร และอาหารที่ได้จากส่วนเสที่ได้จากการย่อยเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพ ที่มีน้ำตาลรีดิวซ์เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน และอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ได้แก่ อะซิโตน บิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และกรดบิวทิริก จากตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.9 พบว่า อะซิโตน พบในปริมาณน้อยมากและพบมากที่สุด ในอาหาร T6 1.13 กรัมต่อลิตร อาจเกิดจากในกระบวนการผลิตนั้นไม่มีการควบคุมพีเอช จากการศึกษาของ Madihah และคณะ (2008) พบว่าการสร้างอะซิโตนจากเชื้อ *Clostridium saccharobutylicum* P262 ที่ใช้แหล่งคาร์บอนจากแป้งสาคุ จะมีปริมาณมากเมื่อมีการควบคุมพีเอช บิวทานอลพบในปริมาณที่ใกล้เคียงกันในทุกอาหารและพบมากที่สุด ในอาหาร T6 ที่ใช้ส่วนเสที่ได้จากการย่อยเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพ ที่มีน้ำตาลรีดิวซ์เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร 3.05 กรัมต่อลิตร เอทานอลและกรดอะซิติกพบมากที่สุดในอาหาร T6 ที่ใช้ส่วนเสที่ได้จากการย่อยเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพ ที่มีน้ำตาลรีดิวซ์เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร คือ 21.67 และ 9.74 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และกรดบิวทิริก พบมากในอาหารที่ได้จากส่วนเสที่ได้จากการย่อยเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพ ที่มีน้ำตาลรีดิวซ์เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร คือ 5.51 กรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับอาหาร T6 ที่ใช้ส่วนเสที่ได้จากการย่อยเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพจะเห็นว่าพบในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน จากข้อมูลการศึกษาข้างต้นนี้จะพบว่าอัตราส่วนการผลิตอะซิโตน บิวทานอล และเอทานอลของอาหารทั้ง 3 ชนิด ไม่เป็นไปตามอัตราส่วน 3:6:1 (Shinto และคณะ, 2008) ทั้งนี้อาจจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ที่ใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์ไม่ใช่ *Clostridium acetobutylicum* หรือแหล่งคาร์บอนที่นำมาใช้ด้วยเช่นเดียวกัน

**ตารางที่ 4.12** ความเข้มข้นของอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และกรดบิวทิริกซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากเชื้อ *Clostridium* sp. G10 เมื่อทำการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารต่างชนิดกัน

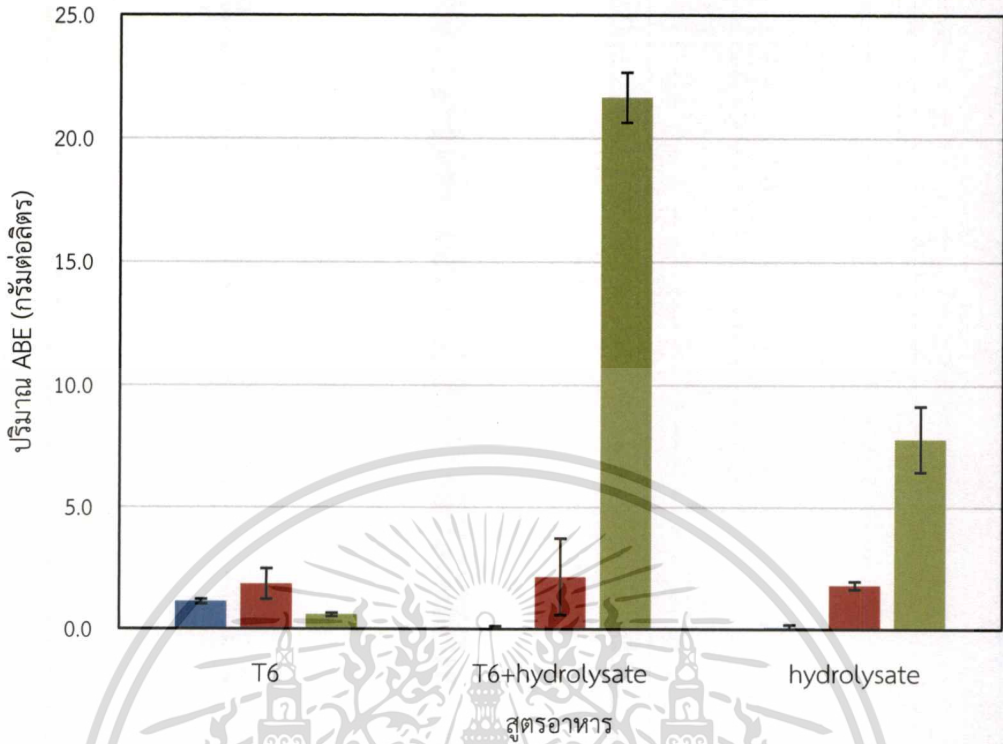
	T6	T6 + hydrolysate	hydrolysate
อะซิโตน	1.13 ± 0.10	0.04 ± 0.06	0.07 ± 0.12
บิวทานอล	1.86 ± 0.63	3.05 ± 0.12	2.17 ± 0.26
เอทานอล	0.59 ± 0.07	21.67 ± 1.02	7.79 ± 1.35
กรดอะซิติก	1.56 ± 0.26	9.74 ± 0.4	6.58 ± 0.79
กรดบิวทิริก	2.68 ± 0.24	4.69 ± 2.18	6.30 ± 0.39

**หมายเหตุ** T6 คือ อาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร

T6 + hydrolysate คือ อาหาร T6 ที่ใช้น้ำตาลรีดิวซ์เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ซึ่งได้จากการย่อยเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

hydrolysate คือ อาหารที่ใช้น้ำตาลรีดิวซ์เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ซึ่งได้จากการย่อยเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูแลเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ปริมาณอะซิโตน บิวทานอล และเอทานอล ที่พบสูงสุดในอาหาร T6, T6+hydrolysate และ hydrolysate ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (■ อะซิโตน, ■ บิวทานอล, ■ เอทานอล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษานี้ต้องการศึกษาการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพและย่อยด้วยเอนไซม์จึงใช้น้ำกลั่น และสารละลายกรดซัลฟิวริก กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันในการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสง คือ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 โมลาร์ พบว่าการปรับสภาพที่ทำให้ได้ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ที่สูงที่สุดคือการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ซึ่งจะได้น้ำตาลรีดิวซ์ 23.08 กรัมต่อลิตรแต่เนื่องจากการปรับสภาพด้วยกรดเพียงอย่างเดียว จะทำให้มีการย่อยและตัดพันธะไปเรื่อย ซึ่งอาจเกิดการสลายน้ำตาลไปเป็นสารอื่นที่ไม่ต้องการ จึงมีการนำมาย่อยต่อด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ซึ่งมีความจำเพาะเจาะจงในการเซลลูเลส โดยการนำของแข็งที่ผ่านการปรับสภาพแล้วไปย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสโดยมีอัตราส่วนต่อเปลือกถั่วลิสงที่แตกต่างกันคือ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็ง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดในการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส คือ ปริมาณเอนไซม์ 0.5 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็ง บ่มที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 8.74 กรัมต่อลิตร

จึงนำเปลือกถั่วลิสงที่ปรับสภาพและย่อยด้วยสภาวะที่เหมาะสม ไปเตรียมอาหาร 3 แบบ เพื่อเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ อาหาร T6 ที่มีกลูโคสความเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร อาหาร T6 ที่ใช้เปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพและย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่มีน้ำตาลรีดิวซ์เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร และอาหารเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพและย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่มีน้ำตาลรีดิวซ์เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร เพื่อทำการหมักด้วยเชื้อ *Clostridium* sp. G10 และผลิตอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล ผลการศึกษาพบว่า การเพาะเลี้ยงด้วยอาหาร T6 ที่ใช้น้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกถั่วลิสงที่ได้จากการย่อย และอาหารจากเปลือกถั่วลิสงที่ได้จากการย่อย ได้ผลิตผลิตภัณฑ์เอทานอลในปริมาณที่สูงกว่าคือมีความเข้มข้น 21.67 และ 7.79 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อเทียบกับอาหาร T6 ที่มีกลูโคสเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตรที่ผลิตเอทานอลเพียง 0.59 กรัมต่อลิตร การสร้างบิวทานอลในอาหารทั้ง 3 ชนิด คือ 1.86, 3.05 และ 2.17 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีการผลิตที่ใกล้เคียงกัน และการใช้อาหาร T6 ที่เตรียมจากเปลือกถั่วลิสงที่ได้จากการย่อย อาหารเปลือกถั่วลิสงที่ได้จากการย่อย และอาหาร T6 ที่มีกลูโคสพบอะซิโตน 1.13, 0.04 และ 0.07 ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อย เมื่อเปรียบเทียบการสร้างผลิตภัณฑ์ คือ อะซิโตน บิวทานอล และเอทานอล ของเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ที่ทำการเพาะเลี้ยงในอาหารทั้ง 3 ชนิด พบว่า การใช้น้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากเปลือกถั่วลิสงเป็นแหล่งคาร์บอนสามารถนำมาใช้ในการสร้างบิวทานอลและเอทานอลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในขั้นตอนการย่อยเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอนไซม์ อาจเพิ่มอัตราส่วนการเติมปริมาณเอนไซม์ให้เพิ่มมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อย และมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงขึ้น
2. ในขั้นตอนการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 อาจมีการขยายขนาดการเพาะเลี้ยงโดยการเพาะเลี้ยงในถังหมักชีวภาพ ซึ่งสามารถควบคุมสภาวะการเพาะเลี้ยงได้ดี
3. ปรับพีเอชเริ่มต้นของอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงให้เหมาะสมต่อการเจริญ และสร้างผลิตภัณฑ์
4. กระดาษกรองที่ใช้กรองส่วนใสที่ได้จากการย่อยเปลือกถั่วลิสงควรมีขนาดเล็กกว่า ขนาดของกระดาษกรอง Whatman No.1 เพื่อในการวิเคราะห์การเจริญของเชื้อไม่มีตะกอนปนและแม่นยำมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

จตุรรัตน์ พงษ์โนรี และ อีรพร กงบังเกิด. 2548. การเตรียมเซลล์ูโลสจากซังข้าวโพด ตอนที่ 1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด. ภาควิชาอุตสาหกรรม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ชนิกา อื้อพานิช, ชมพูนุช วิรุณานนท์ และ วรุณี จุฬาลักษณ์านุกุล. 2555. ไบโอบิวทานอล : เชื้อเพลิงเหลวที่กำลังจะมาทดแทนเอทานอล. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ปีที่ 22 ฉบับที่ 3.

ธัญรัตน์ ศรีทองอุทัย, มณีชนก กนต์ธีร์ และ อรกมล รัฐพิทักษ์สันติ. 2556. กระบวนการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสด้วยกรดจากเปลือกและกะลาลูกจาเพื่อผลิตน้ำตาลกลูโคส. โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธนรรชมลวรรณ พลมัน, ถาวรณ สุบรรณรัตน์ และ ทรงศักดิ์ จำปาอะดี. 2558. การประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้และการย่อยได้ของเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. วารสารแก่นเกษตร. (43)1: 491-498.

นฤวัตร บุรศิริรักษ์, พรกัญญา ม้าวิไล, สุวิชา ประกอบแสง และ อธิศักดิ์ พรหมอินทร์. 2557. การปรับสภาพขานอ้อยก่อนการย่อยด้วยเอนไซม์เพื่อนำไปเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium acetobutylicum* DSM 792. โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พชรภณ สนทอง. 2556. การสลายลิกนินด้วยความร้อน. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มันทนา กอประเสริฐ, สิริรัตน์ เหล่าสิริพัฒน์ และ สุรีย์ พัทฒพงษ์วัฒน์. 2555. การศึกษาแหล่งน้ำตาลราคาถูกเพื่อการเจริญเติบโตของเชื้อ *Clostridium beijerinckii*. โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วีโลวรรณ โชติเกียรติ และ อมรรัตน์ พงศ์ดารา. 2553. การสูมหากูลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลส. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุภาวดี ผลประเสริฐ. 2557. การปรับสภาพวัตถุดิบพวกลิกโนเซลลูโลสสำหรับผลิตเอทานอล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (22)5: 641-649.

สำนักงานโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช. 2544. พืชน้ำมัน: ถั่วลิสง. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก [http://www.rspg.or.th/plants\\_data/use/oil-2.htm](http://www.rspg.or.th/plants_data/use/oil-2.htm) (วันที่สืบค้นข้อมูล: 7กรกฎาคม 2561)

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. 2556. สถานการณ์พลังงานไทย กระทรวงพลังงาน.

Allen, S.J., Gan, Q., Matthews, R. and Johnson, P.A. 2005. Mass transfer processes in the adsorption of basic dyes by peanut hulls. Ind Eng Chem. 44: 1942-9.

Amiri, H., Karimi, K. and Zilouei, H. 2014. Organosolv pretreatment of rice straw for efficient acetone, butanol and ethanol production. Bioresource Technology. 152: 450-456.

- Bellido, C., Pinto, M.L., Coca, M. and Gonzalez-Benito, G. and Garcia-Cubero, M.T. 2014. Acetone-butanol-ethanol (ABE) production by *Clostridium beijerinckii* from wheat straw hydrolysates: Efficient use of penta and hexa carbohydrates. *Bioresource Technology*. 167: 198-205.
- Cai, D., Li, P., Luo, Z., Qin, P., Chen, C., Wang, Y., Wang, Z. and Tan, T. 2016. Effect of dilute alkaline pretreatment on the conversion of different parts of corn stalk to fermentable sugars and its application in acetone-butanol-ethanol fermentation. *Bioresource Technology*. 211: 117-124.
- Campos, E., Qureshi, N., and Blaschek, H. 2002. Production of acetone butanol ethanol from degermed corn using *Clostridium beijerinckii* BA101. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 98-100, 553-561.
- Cheng, K.K., J.A. Zhang., W.X. Ping., J.P. Ge., Y.J. Zhou., H.Z. Ling and J.M. Xu. 2008. Sugarcane bagasse mild alkaline/oxidative pretreatment for ethanol production by alkaline recycle process. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 151: 43-50.
- Ding, J., Luo, H., Xie, F., Wang, H., Xua, M. and Shi, Z. 2018. Electron receptor addition enhances butanol synthesis in ABE fermentation by *Clostridium acetobutylicum*. *Bioresource Technology*. 247: 1201-1205.
- Du, T., He, A., Wua, H., Chen, J., Kong, X., Liu, J., Jiang, M. and Ouyang, P. 2014. Butanol production from acid hydrolyzed corn fiber with *Clostridium beijerinckii* mutant. *Bioresource Technology*. 135: 254-261.
- Durre, P. 2007. Butanol: An attractive biofuel. *Biotechnology Journal*. 2(12): 115-124.
- Gonzales, P.R., Sivagurunathan, P., Parthiban, A. and Kim, S.-H. 2016. Optimization of substrate concentration of dilute acid hydrolysate of lignocellulosic biomass in batch hydrogen production. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 113: 22-27.
- Gottumukkala, L.D., Parameswaran, B., Valappil, S.K., Mathiyazhakan, K., Pandey, A. and Sukumaran, R.K. 2013. Biobutanol production from rice straw by a non acetone producing *Clostridium sporogenes* BE01. 145: 182-187.
- He, C.R., Kuo, Y.Y. and Li, S.Y. 2017. Lignocellulosic butanol production from Napier grass using semi-simultaneous saccharification fermentation. *Bioresource Technology*. 231: 101-108.
- Huran, M.Y., Radiah, A.B.D., Abidin, Z.Z. and Yunus., R. 2011. Effect of physical pretreatment on dilute acid hydrolysis of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Bioresource Technology*. 102: 5193-5199.
- Jones, D.T. and Woods, D.R. 1986. Acetone-Butanol Fermentation Revisited. *Microbiology Reviews*. 50: 484-524.

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Kim, T.H., F. Taylor and K.B. Hicks. 2008. **Bioethanol Production from Barley Hull Using SSA (Soaking in Aqueous Ammonia) Pretreatment.** *Bioresource Technology.* 99:5694-5702.
- Lee, J.S., Parameswaran, B., Lee, J.P. and Park, S.C. 2008. **Recent developments of key technologies on cellulosic ethanol production.** *Journal of Scientific & Industrial Research.* 67: 865-873.
- Lee, S.Y., Park, H.S., Jank, H., Nielsen, K.J. and Jung, K.S. 2008. **Fermentative butanol production by Clostridia.** *Biotechnology and Bioengineering.* 101: 209-228.
- Lee, S.M., Cho, M.O., Park, C.H., Chung, Y.C., Kim, J.H., Sang, B.I. and Um, Y. 2008. **Continuous butanol production using suspended and immobilized *Clostridium beijerinckii* NCIMB 8052 with supplementary butyrate.** *Energy and Fuels.* 22: 3459-3464.
- Liu, J., Wang, Z., Li, H. Hu, C., Raymer, P. and Huang, Q. 2018. **Effect of solid state fermentation of peanut shell on its dye adsorption performance.** *Bioresource Technology.* 249: 307-314.
- Liu, R., Liu, G., Yousaf, B and Abbas, Q. 2018. **Operating conditions-induced changes in product yield and characteristics during thermal-conversion of peanut shell to biochar in relation to economic analysis.** *Journal of Cleaner Production.* 193: 479-490.
- Luis, R., Juan, P., Jorge, R. and Elina, C. 2014. **Effects of pretreatment method on enzymatic hydrolysis and ethanol fermentability of the cellulosic fraction from elephant grass.** 118: 41-47.
- Madihah, M.S., Ariff, A.B., Sahaid, K.M., Suraini, A.A. and Karim, M.I.A. 2001. **Direct fermentation of gelatinized sago starch to acetone-butanol-ethanol by *Clostridium acetobutylicum*.** *World Journal of Microbiology & Biotechnology.* 17: 567-576.
- Messina, L.I.G., Bonelli, P.R. and Cukierman, A.L. 2017. **In-situ catalytic pyrolysis of peanut shells using modified natural zeolite.** *Fuel Processing Technology.* 159: 160-167.
- Messina, L.I.G., Bonelli, P.R. and Cukierman, A.L. 2017. **Effect of acid pretreatment and process temperature on characteristics and yields of pyrolysis products of peanut shells.** *Renewable Energy.* 114: 697-707.
- Palmqvist, E. and Hahn-Hagerdal, B. 2002. **Fermentation of Lignocellulosic Hydrolysates.I: Inhibition and Detoxification.** *Bioresource Tech V.* 74: 17-24.
- Permsriburasuk, C., Phitsuwan, P. and Ratanakhanokchai, K. 2014. **Comparison of glucose liberation from pure cellulose, native and delignified rice straws by Trichoderma based cellulase preparation.** *Agricultural Science Journal.* 45(2): 341-344.

- Procentese, A., Raganati, F., Olivieri, G., Russo, M.E. and Marzocchella A. 2017. **Pre-treatment and enzymatic hydrolysis of lettuce residues as feedstock for bio-butanol production.** *Biomass and Bioenergy*. 96: 172-179.
- Qi, N., Hu, X., Zhao, X., Li, L., Yang, J., Zhao, Y. and Li, X. 2018. **Fermentative hydrogen production with peanut shell as supplementary substrate: Effects of initial substrate, pH and inoculation proportion.** *Renewable Energy*. 127: 559-564.
- Qureshi, N. and Blaschek, H.P. 1999. **Production of acetone butanol ethanol (ABE) by a hyper-producing mutant strain of *Clostridium beijerinckii* BA101 and recovery by pervaporation.** *Biotechnology Progress*. 15: 594-602.
- Qureshi, N. and Blaschek, H.P. 2001. **ABE production from corn: a recent economic evaluation.** *Industrial Microbiology and Biotechnology*. 27: 292-297.
- Qureshi, N., Singh, V., Liu, S., Ezeji, T.C., Saha, B.C. and Cotta, M.A. 2014. **Process integration for simultaneous saccharification, fermentation and recovery (SSFR): Production of butanol from corn stover using *Clostridium beijerinckii* P260.** *Bioresource Technology*. 154: 222-228.
- Shinto, H., Tashiro, Y., Kobayashi, G., Sekiguchi, T., Hanai, T., Kuriya, Y., Okamoto, M. and Sonomoto, K. 2008. **Kinetic study of substrate dependency for higher butanol production in acetone-butanol-ethanol fermentation.** *Process Biochemistry*. 43: 1452-1461.
- Silverstein, R.A., Chen, Y., Sharma-Shivappa, R.R., Boyette, M.D., Osborne, J., 2007. **A comparison of chemical pre-treatment methods for improving saccharification of cotton stalks.** *Bioresource Technology*. 98: 3000-3011.
- Sun, Y. and Cheng, J. 2002. **Hydrolysis of the lignocellulosic materials for ethanol production.** *Bioresource Technology*. 83: 1-11.
- Swana, J., Yang, Y., Behnam, M. and Thompson, R. 2011. **An analysis of net energy production and feedstock availability for biobutanol and bioethanol.** *Bioresource Technology*. 102: 2112-2117.
- Tsubaki, N. and Tomishige K. 2002. **Biomass to hydrocarbons in biomass handbook.** 2<sup>nd</sup> edition, Ohmsha, Tokyo. p. 20-24.
- Tashiro, Y., Takeda, K., Kobayashi, G. and Sonomoto, K. 2005. **High production of acetone-butanol-ethanol with high cell density culture by cell-recycling and bleeding.** *Journal of Biotechnology*. 120: 197-206.
- Yudkin, M. and Offord, R. 1973. **Comprehensible biochemistry.** American ed. *Biochemistry Bibliography*. p. 547-550.
- Virunanon, C., Chantaropamai, S., Denduang-baripant J., and Chulalaksananukul, W. 2008. **Solvento-genic-cellulolytic clostridia from 4-step-screening process in agricultural waste and cow intestinal tract.** *Anaerobe*. 14: 109-117.

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Zhang, J., Wang, M., Gao, M., Fang, X., Yano, S., Qin, S. and Xia, R. 2013. **Efficient Acetone-Butanol-Ethanol Production from Corncob with a New Pretreatment Technology - Wet Disk Milling.** *BioEnergy Research.* 6: 35-43.
- Zhang, Y., Hou, T., Li, B., Liu, C., Mu, X. and Wang, H. 2014. **Acetone-butanol-ethanol production from corn stover pretreated by alkaline twin-screw extrusion pretreatment.** *Bioprocess and Biosystems Engineering.* 37: 913-921.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## การวิเคราะห์ทางเคมีและกราฟมาตรฐาน

## 1. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี Dinitrosalicylic acid (DNS)

## การเตรียมสารละลาย Dinitrosalicylic acid (DNS)

- ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม ในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร
- เติม 3,5-dinitrosalicylic ที่ละลายลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
- เติมโพแทสเซียมทาทาลงไปที่ละลายจนครบ 300 กรัม ปรับปริมาตรสุดท้ายให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร

## การเตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐาน

- ออบกลูโคสที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- ชั่งกลูโคส 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสุดท้ายให้ได้ 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกลูโคสมาตรฐานความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
- เจือจางสารละลายกลูโคสมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0, 100, 200, 400, 600, 800 และ 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยคำนวณจากสูตรต่อไปนี้

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(1,000 \mu\text{g/ml})(V_1) = (800 \mu\text{g/ml})(10 \text{ ml})$$

$$V_1 = 8 \text{ ml}$$

ตัวอย่าง สารละลายกลูโคสมาตรฐาน 800 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จะใช้สารละลายกลูโคสมาตรฐาน 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 8 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 มิลลิลิตร

ดังนั้น สามารถเตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ดังนี้

ที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ใช้กลูโคส 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

ที่ความเข้มข้น 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ใช้กลูโคส 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

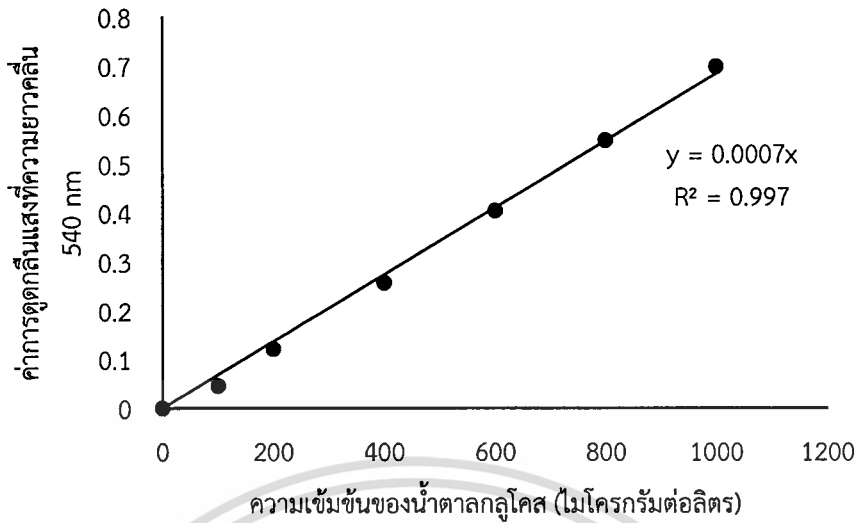
ที่ความเข้มข้น 400 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ใช้กลูโคส 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 4 มิลลิลิตร

ที่ความเข้มข้น 600 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ใช้กลูโคส 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 6 มิลลิลิตร

ตารางที่ ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตรของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี Dinitrosalicylic acid (DNS)

ความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสมาตรฐาน (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร
0	0
100	0.046
200	0.121
400	0.257
600	0.404

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ 800 รใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อาจ 0.584 ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม 1,000 แปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้า 0.698 กสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานกลูโคสวิเคราะห์โดยวิธี Dinitrosalicylic acid (DNS)

## 2. การวิเคราะห์ชนิดของน้ำตาลโดยวิธี HPLC

การเตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐาน

คำนวณสารละลายกลูโคสมาตรฐานได้ ดังนี้

สารละลายกลูโคสมาตรฐาน 10 กรัมต่อลิตร

สารละลาย 1,000 มิลลิลิตร ใช้กลูโคส 10 กรัม

สารละลาย 50 มิลลิลิตร ใช้กลูโคส  $\frac{10 \times 50}{1,000} = 0.5$  กรัม

สารละลายกลูโคสมาตรฐาน 2, 4, 6 และ 8 กรัมต่อลิตรคำนวณได้ ดังนี้

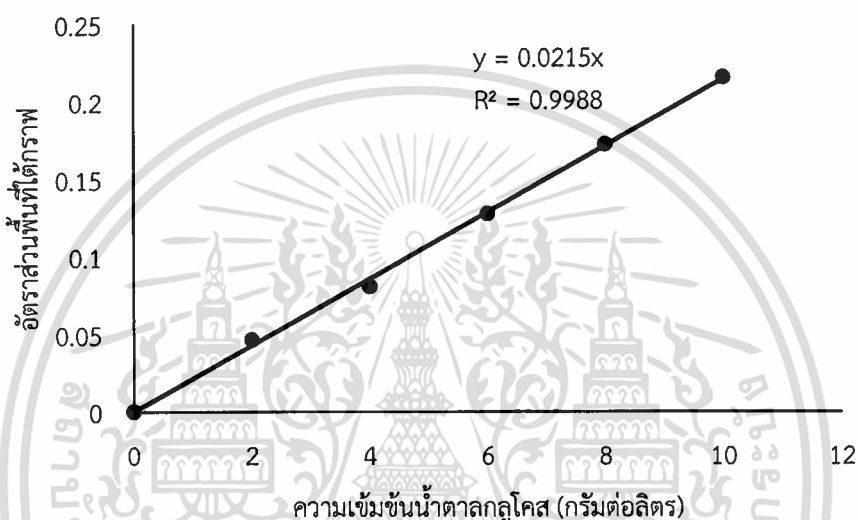
$$\begin{aligned} C_1V_1 &= C_2V_2 \\ (10 \text{ g/L})(V_1) &= (2 \text{ g/L})(10 \text{ ml}) \\ V_1 &= 2 \text{ ml} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง สารละลายกลูโคสมาตรฐาน 2 กรัมต่อลิตรจะต้องใช้สารละลายกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 มิลลิลิตร

ดังนั้น สามารถเตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ดังนี้  
 ที่ความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร ใช้กลูโคส 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 4 มิลลิลิตร  
 ที่ความเข้มข้น 6 กรัมต่อลิตร ใช้กลูโคส 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 6 มิลลิลิตร  
 ที่ความเข้มข้น 8 กรัมต่อลิตร ใช้กลูโคส 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 8 มิลลิลิตร

ตาราง ก.2 พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

กลูโคสมาตรฐาน (กรัมต่อลิตร)	พื้นที่ใต้กราฟ กลูโคส	พื้นที่ใต้กราฟ กลีเซอรอล	พื้นที่ใต้กราฟกลูโคส ต่อพื้นที่ใต้กราฟกลีเซอรอล
0	0	0	0
2	177036	3812807	0.0464
4	312976	3863136	0.0810
6	489202	3827146	0.1278
8	665165	3848545	0.1728
10	827640	3835249	0.2158



รูปที่ ก.2 กราฟกลูโคสมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

#### การเตรียมสารละลายไซโลสมาตรฐาน

คำนวณสารละลายไซโลสมาตรฐานได้ ดังนี้

สารละลายไซโลสมาตรฐาน 10 กรัมต่อลิตร

สารละลาย 1,000 มิลลิลิตร ใช้ไซโลส 10 กรัม

สารละลาย 50 มิลลิลิตร ใช้ไซโลส  $\frac{10 \times 50}{1,000} = 0.5$  กรัม

สารละลายไซโลสมาตรฐาน 2, 4, 6 และ 8 กรัมต่อลิตรคำนวณได้ ดังนี้

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(10 \text{ g/l})(V_1) = (2 \text{ g/l})(10 \text{ ml})$$

$$V_1 = 2 \text{ ml}$$

ตัวอย่าง สารละลายไซโลสมาตรฐาน 2 กรัมต่อลิตรจะต้องใช้สารละลายไซโลส 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 มิลลิลิตร

ดังนั้น สามารถเตรียมสารละลายไซโลสมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ดังนี้

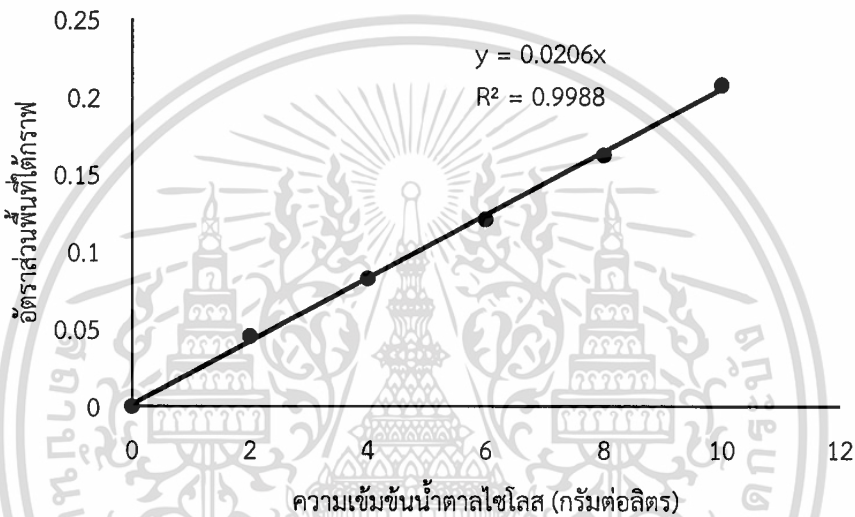
ที่ความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร ใช้ไซโลส 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 4 มิลลิลิตร

ที่ความเข้มข้น 6 กรัมต่อลิตร ใช้ไซโลส 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 6 มิลลิลิตร

ที่ความเข้มข้น 8 กรัมต่อลิตร ใช้ไซโลส 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 8 มิลลิลิตร

ตาราง ก.3 พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายไซโลสมมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

ไซโลสมมาตรฐาน (กรัมต่อลิตร)	พื้นที่ใต้กราฟ ไซโลส	พื้นที่ใต้กราฟ กลีเซอรอล	พื้นที่ใต้กราฟไซโลส ต่อพื้นที่ใต้กราฟกลีเซอรอล
0	0	0	0
2	176034	3868753	0.0455
4	315318	3825275	0.0824
6	465368	3852699	0.1208
8	618668	3811534	0.1623
10	783793	3772153	0.2078



รูปที่ ก.3 กราฟไซโลสมมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

#### การเตรียมสารละลายเซลโลโบโอสมมาตรฐาน

คำนวณสารละลายเซลโลโบโอสมมาตรฐานได้ ดังนี้

สารละลายเซลโลโบโอสมมาตรฐาน 10 กรัมต่อลิตร

สารละลาย 1,000 มิลลิลิตร ใช้เซลโลโบโอส 10 กรัม

สารละลาย 50 มิลลิลิตร ใช้เซลโลโบโอส  $\frac{10 \times 50}{1,000} = 0.5$  กรัม

สารละลายเซลโลโบโอสมมาตรฐาน 2, 4, 6 และ 8 กรัมต่อลิตรคำนวณได้ ดังนี้

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(10 \text{ g/L})(V_1) = (2 \text{ g/L})(10 \text{ ml})$$

$$V_1 = 2 \text{ ml}$$

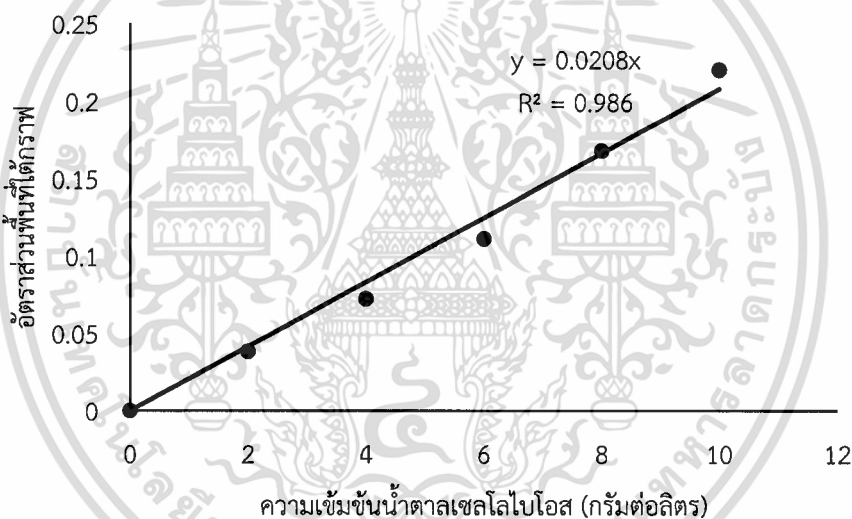
ตัวอย่าง สารละลายเซลโลโบโอสมมาตรฐาน 2 กรัมต่อลิตรจะต้องใช้สารละลายเซลโลโบโอส 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 มิลลิลิตร

ดังนั้น สามารถเตรียมสารละลายเซลโลโบโอสมมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ดังนี้  
ไม่  
ที่ความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร ใช้เซลโลโบโอส 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 4 มิลลิลิตร

ที่ความเข้มข้น 6 กรัมต่อลิตร ใช้เซลโลไบโอส 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 6 มิลลิลิตร  
ที่ความเข้มข้น 8 กรัมต่อลิตร ใช้เซลโลไบโอส 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 8 มิลลิลิตร

ตาราง ก.4 พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายเซลโลไบโอสมมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

เซลโลไบโอส มาตรฐาน (กรัมต่อลิตร)	พื้นที่ใต้กราฟ เซลโลไบโอส	พื้นที่ใต้กราฟ กลีเซอรอล	พื้นที่ใต้กราฟเซลโลไบโอส ต่อพื้นที่ใต้กราฟกลีเซอรอล
0	0	0	0
2	144641	3785657	0.0382
4	271495	3760618	0.0722
6	416206	3750620	0.1110
8	624878	3724914	0.1678
10	814822	3701068	0.2202



รูปที่ ก.4 กราฟเซลโลไบโอสมมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

การเตรียมสารละลายมอลโทสมมาตรฐาน

คำนวณสารละลายมอลโทสมมาตรฐานได้ ดังนี้

สารละลายมอลโทสมมาตรฐาน 10 กรัมต่อลิตร

สารละลาย 1,000 มิลลิลิตร ใช้มอลโทส 10 กรัม

สารละลาย 50 มิลลิลิตร ใช้มอลโทส  $\frac{10 \times 50}{1,000} = 0.5$  กรัม

สารละลายมอลโทสมมาตรฐาน 2, 4, 6 และ 8 กรัมต่อลิตรคำนวณได้ ดังนี้

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(10 \text{ g/L})(V_1) = (2 \text{ g/L})(10 \text{ ml})$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_1 = 2 \text{ ml}$$

ตัวอย่าง สารละลายมอลโทสมาตรฐาน 2 กรัมต่อลิตรจะต้องใช้สารละลายมอลโทส 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 มิลลิลิตร

ดังนั้น สามารถเตรียมสารละลายมอลโทสมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ดังนี้  
 ที่ความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร ใช้มอลโทส 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 4 มิลลิลิตร  
 ที่ความเข้มข้น 6 กรัมต่อลิตร ใช้มอลโทส 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 6 มิลลิลิตร  
 ที่ความเข้มข้น 8 กรัมต่อลิตร ใช้มอลโทส 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 8 มิลลิลิตร

ตาราง ก.5 พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมอลโทสมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

มอลโทสมาตรฐาน (กรัมต่อลิตร)	พื้นที่ใต้กราฟ มอลโทส	พื้นที่ใต้กราฟ กลีเซอรอล	พื้นที่ใต้กราฟมอลโทส ต่อพื้นที่ใต้กราฟกลีเซอรอล
0	0	0	0
2	153809	3726332	0.0413
4	249425	3701988	0.0674
6	405325	3633024	0.1116
8	552455	3650872	0.1513
10	708615	3599603	0.1968



รูปที่ ก.5 กราฟมอลโทสมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การวิเคราะห์ปริมาณบิวทานอลและสารอินทรีย์อื่นๆโดยวิธี HPLC

การเตรียมสารละลายอะซิโตนมาตรฐาน

ความเข้มข้น 99.98%

มวลโมเลกุล 58.05

ความหนาแน่นที่ 25 °C 0.791 กรัมต่อมิลลิลิตร

คำนวณความเข้มข้นอะซิโตนจากสูตรต่อไปนี้

$$C = \frac{10 \times \text{ความหนาแน่น} \times \text{ร้อยละความเข้มข้น}}{\text{มวลโมเลกุล}} = \frac{10 \times 0.791 \times 99.98}{58.05} = 13.62 \text{ โมลาร์}$$

คำนวณสารละลายอะซิโตนมาตรฐานจากสูตรต่อไปนี้

อะซิโตนมาตรฐานเข้มข้น 1 โมลาร์

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(13.62 \text{ M})(V_1) = (1.0 \text{ M})(25 \text{ ml})$$

$$V_1 = 1.84 \text{ ml}$$

อะซิโตนมาตรฐานเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมลาร์

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(1.0 \text{ M})(V_1) = (0.2 \text{ M})(10 \text{ ml})$$

$$V_1 = 2 \text{ ml}$$

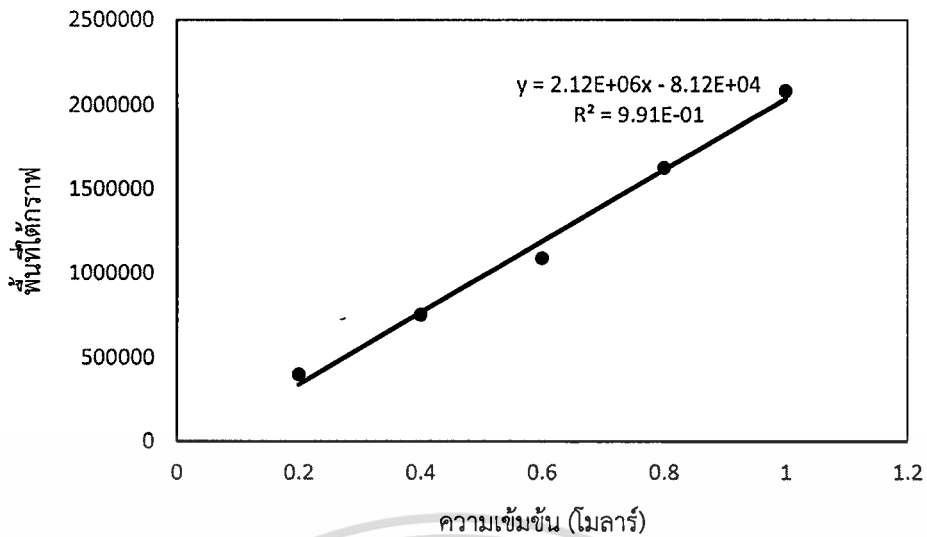
ตัวอย่าง อะซิโตนมาตรฐาน 0.2 โมลาร์ ใช้อะซิโตน 1 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 มิลลิลิตร

ดังนั้น สามารถเตรียมสารละลายอะซิโตนมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ดังนี้  
 ที่ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ใช้อะซิโตน 1 โมลาร์ ปริมาตร 4 มิลลิลิตร  
 ที่ความเข้มข้น 0.6 โมลาร์ ใช้อะซิโตน 1 โมลาร์ ปริมาตร 6 มิลลิลิตร  
 ที่ความเข้มข้น 0.8 โมลาร์ ใช้อะซิโตน 1 โมลาร์ ปริมาตร 8 มิลลิลิตร

ตาราง ก.6 พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายอะซิโตนมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

อะซิโตน มาตรฐาน (โมลาร์)	อะซิโตน มาตรฐาน (กรัมต่อลิตร)	พื้นที่ใต้กราฟ อะซิโตน
0	0	0
0.2	11.61	401156
0.4	23.22	751591
0.6	34.83	1088858
0.8	46.44	1625715
1.0	58.05	2082718

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.6 กราฟอะซีโตนมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

#### การเตรียมสารละลายบิวทานอลมาตรฐาน

ความเข้มข้น 99.4%  
 มวลโมเลกุล 74.12  
 ความหนาแน่นที่ 25 °C 0.81 กรัมต่อมิลลิลิตร

คำนวณความเข้มข้นบิวทานอลจากสูตรต่อไปนี้

$$C = \frac{10 \times \text{ความหนาแน่น} \times \text{ร้อยละความเข้มข้น}}{\text{มวลโมเลกุล}} = \frac{10 \times 0.81 \times 99.4}{74.12} = 10.90 \text{ โมลาร์}$$

คำนวณสารละลายบิวทานอลมาตรฐานจากสูตรต่อไปนี้

บิวทานอลมาตรฐานเข้มข้น 1 โมลาร์

$$\begin{aligned} C_1V_1 &= C_2V_2 \\ (10.90 \text{ M})(V_1) &= (1.0 \text{ M})(25 \text{ ml}) \\ V_1 &= 2.29 \text{ ml} \end{aligned}$$

บิวทานอลมาตรฐานเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมลาร์

$$\begin{aligned} C_1V_1 &= C_2V_2 \\ (1.0 \text{ M})(V_1) &= (0.2 \text{ M})(10 \text{ ml}) \\ V_1 &= 2 \text{ ml} \end{aligned}$$

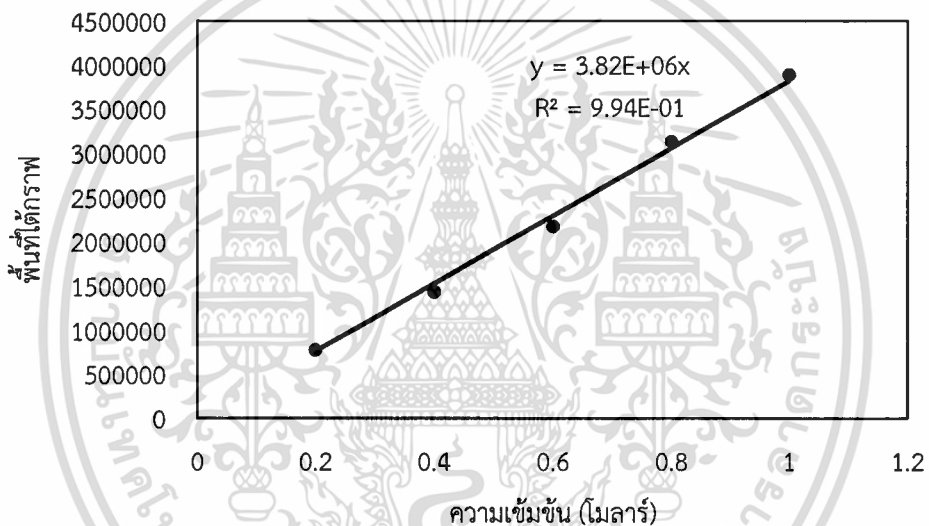
ตัวอย่าง บิวทานอลมาตรฐาน 0.2 โมลาร์ ใช้บิวทานอล 1 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 มิลลิลิตร

ดังนั้น สามารถเตรียมสารละลายบิวทานอลมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ดังนี้  
 ที่ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ใช้บิวทานอล 1 โมลาร์ ปริมาตร 4 มิลลิลิตร  
 ที่ความเข้มข้น 0.6 โมลาร์ ใช้บิวทานอล 1 โมลาร์ ปริมาตร 6 มิลลิลิตร  
 ที่ความเข้มข้น 0.8 โมลาร์ ใช้บิวทานอล 1 โมลาร์ ปริมาตร 8 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.7 พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายบิวทานอลมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

บิวทานอล มาตรฐาน (โมลาร์)	บิวทานอล มาตรฐาน (กรัมต่อลิตร)	พื้นที่ใต้กราฟ บิวทานอล
0	0	0
0.2	14.82	770367
0.4	29.65	1426273
0.6	44.47	2165620
0.8	59.30	3124896
1.0	74.12	3883908



รูปที่ ก.7 กราฟบิวทานอลมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

#### การเตรียมสารละลายเอทานอลมาตรฐาน

ความเข้มข้น 99.5%

มวลโมเลกุล 46.08

ความหนาแน่นที่ 25 °C 0.789 กรัมต่อมิลลิลิตร

คำนวณความเข้มข้นเอทานอลจากสูตรต่อไปนี้

$$C = \frac{10 \times \text{ความหนาแน่น} \times \text{ร้อยละความเข้มข้น}}{\text{มวลโมเลกุล}} = \frac{10 \times 0.789 \times 99.5}{46.08} = 17.04 \text{ โมลาร์}$$

คำนวณสารละลายเอทานอลมาตรฐานจากสูตรต่อไปนี้

เอทานอลมาตรฐานเข้มข้น 1 โมลาร์

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(17.04 \text{ M})(V_1) = (1.0 \text{ M})(25 \text{ ml})$$

$$V_1 = 1.47 \text{ ml}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอทานอลมาตรฐานเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมลาร์

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(1.0 \text{ M})(V_1) = (0.2 \text{ M})(10 \text{ ml})$$

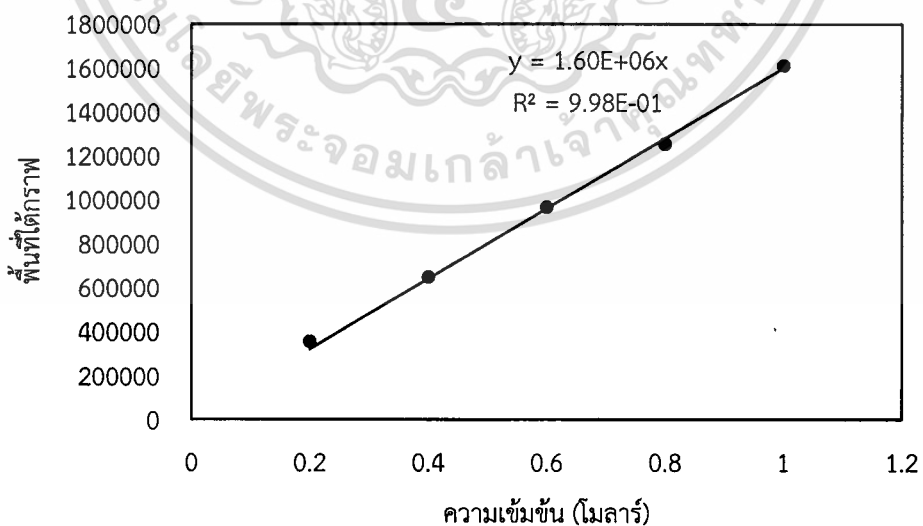
$$V_1 = 2 \text{ ml}$$

ตัวอย่าง เอทานอลมาตรฐาน 0.2 โมลาร์ ใช้เอทานอล 1 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 มิลลิลิตร

ดังนั้น สามารถเตรียมสารละลายเอทานอลมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ดังนี้  
 ที่ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ใช้เอทานอล 1 โมลาร์ ปริมาตร 4 มิลลิลิตร  
 ที่ความเข้มข้น 0.6 โมลาร์ ใช้เอทานอล 1 โมลาร์ ปริมาตร 6 มิลลิลิตร  
 ที่ความเข้มข้น 0.8 โมลาร์ ใช้เอทานอล 1 โมลาร์ ปริมาตร 8 มิลลิลิตร

ตาราง ก.8 พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายเอทานอลมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

เอทานอล มาตรฐาน (โมลาร์)	เอทานอล มาตรฐาน (กรัมต่อลิตร)	พื้นที่ใต้กราฟ เอทานอล
0	0	0
0.2	9.22	352981
0.4	18.43	645211
0.6	27.65	964421
0.8	36.86	1252083
1.0	4.08	1609429



รูปที่ ก.8 กราฟเอทานอลมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การเตรียมสารละลายกรดอะซิติกมาตรฐาน

ความเข้มข้น 100%

มวลโมเลกุล 60.05

ความหนาแน่นที่ 25 °C 1.05 กรัมต่อมิลลิลิตร

คำนวณความเข้มข้นกรดอะซิติกจากสูตรต่อไปนี้

$$C = \frac{10 \times \text{ความหนาแน่น} \times \text{ร้อยละความเข้มข้น}}{\text{มวลโมเลกุล}} = \frac{10 \times 1.05 \times 100}{60.05} = 17.48 \text{ โมลาร์}$$

คำนวณสารละลายกรดอะซิติกมาตรฐานจากสูตรต่อไปนี้

กรดอะซิติกมาตรฐานเข้มข้น 1 โมลาร์

$$\begin{aligned} C_1V_1 &= C_2V_2 \\ (17.48 \text{ M})(V_1) &= (1.0 \text{ M})(25 \text{ ml}) \\ V_1 &= 1.43 \text{ ml} \end{aligned}$$

กรดอะซิติกมาตรฐานเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมลาร์

$$\begin{aligned} C_1V_1 &= C_2V_2 \\ (1.0 \text{ M})(V_1) &= (0.2 \text{ M})(10 \text{ ml}) \\ V_1 &= 2 \text{ ml} \end{aligned}$$

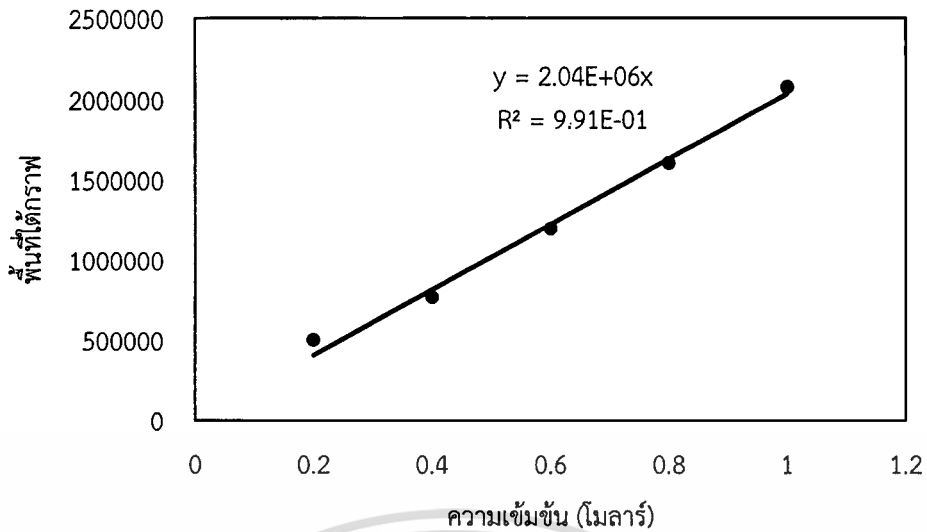
ตัวอย่าง กรดอะซิติกมาตรฐาน 0.2 โมลาร์ ใช้กรดอะซิติก 1 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 มิลลิลิตร

ดังนั้น สามารถเตรียมสารละลายกรดอะซิติกมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ดังนี้  
 ที่ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ใช้กรดอะซิติก 1 โมลาร์ ปริมาตร 4 มิลลิลิตร  
 ที่ความเข้มข้น 0.6 โมลาร์ ใช้กรดอะซิติก 1 โมลาร์ ปริมาตร 6 มิลลิลิตร  
 ที่ความเข้มข้น 0.8 โมลาร์ ใช้กรดอะซิติก 1 โมลาร์ ปริมาตร 8 มิลลิลิตร

ตาราง ก.9 พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายกรดอะซิติกมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

กรดอะซิติก มาตรฐาน (โมลาร์)	กรดอะซิติก มาตรฐาน (กรัมต่อลิตร)	พื้นที่ใต้กราฟ กรดอะซิติก
0	0	0
0.2	12.01	501148
0.4	24.02	768057
0.6	36.03	1194813
0.8	48.04	1602421
1.0	60.05	2075697

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.9 กราฟการตอบสนองเชิงปริมาณมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

#### การเตรียมสารละลายกรดบิวทิริกมาตรฐาน

ความเข้มข้น 99.0%

มวลโมเลกุล 88.11

ความหนาแน่นที่ 25 °C 0.958 กรัมต่อมิลลิลิตร

คำนวณความเข้มข้นกรดบิวทิริกจากสูตรต่อไปนี้

$$C = \frac{10 \times \text{ความหนาแน่น} \times \text{ร้อยละความเข้มข้น}}{\text{มวลโมเลกุล}} = \frac{10 \times 0.958 \times 99.0}{88.11} = 10.76 \text{ โมลาร์}$$

คำนวณสารละลายกรดบิวทิริกมาตรฐานจากสูตรต่อไปนี้

กรดบิวทิริกมาตรฐานเข้มข้น 1 โมลาร์

$$\begin{aligned} C_1V_1 &= C_2V_2 \\ (10.76 \text{ M})(V_1) &= (1.0 \text{ M})(25 \text{ ml}) \\ V_1 &= 2.32 \text{ ml} \end{aligned}$$

กรดบิวทิริกมาตรฐานเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมลาร์

$$\begin{aligned} C_1V_1 &= C_2V_2 \\ (1.0 \text{ M})(V_1) &= (0.2 \text{ M})(10 \text{ ml}) \\ V_1 &= 2 \text{ ml} \end{aligned}$$

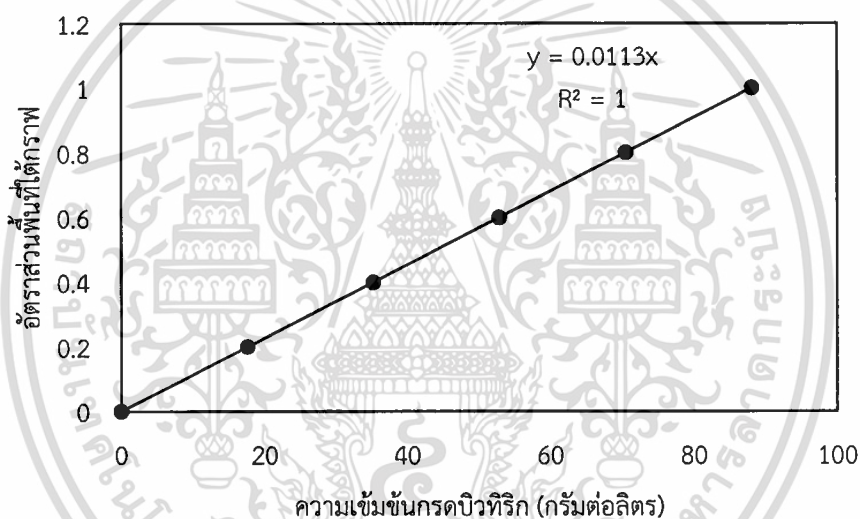
ตัวอย่าง กรดบิวทิริกมาตรฐาน 0.2 โมลาร์ ใช้กรดบิวทิริก 1 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 มิลลิลิตร

ดังนั้น สามารถเตรียมสารละลายกรดบิวทิริกมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ดังนี้  
 ที่ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ใช้กรดบิวทิริก 1 โมลาร์ ปริมาตร 4 มิลลิลิตร  
 ที่ความเข้มข้น 0.6 โมลาร์ ใช้กรดบิวทิริก 1 โมลาร์ ปริมาตร 6 มิลลิลิตร  
 ที่ความเข้มข้น 0.8 โมลาร์ ใช้กรดบิวทิริก 1 โมลาร์ ปริมาตร 8 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.10 พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายกรดบิวทริกมาตรฐาน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

กรดบิวทริก มาตรฐาน (ไมลาร์)	กรดบิวทริก มาตรฐาน (กรัมต่อลิตร)	พื้นที่ใต้กราฟ กรดบิวทริก
0	0	0
0.2	17.62	858000
0.4	35.24	1755486
0.6	52.87	2726710
0.8	70.49	3667097
1.0	88.11	4676175



รูปที่ ก.10 กราฟกรดบิวทริกมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริก เบสโซเดียมไฮดรอกไซด์และน้ำกลั่น

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การปรับสภาพ	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ยต่ำสุด	ค่าเฉลี่ยสูงสุด	Between-Component Variance
					ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน			
น้ำกลั่น	3	1.6800	.03000	.01732	1.6055	1.7545	1.65	1.71	
กรด	3	23.0800	3.53836	2.04287	14.2902	31.8698	19.28	26.28	
เบส	3	1.5000	.12530	.07234	1.1887	1.8113	2.27	1.63	
Total	9	8.7533	10.89014	3.63005	.3824	17.1242	1.65	26.28	
Model Fixed Effects			2.04423	.68141	7.0860	10.4207			
Random Effects				7.16352	-22.0688	39.5755			152.55518

ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	923.689	2	461.844	110.519	.000
Within Groups	25.073	6	4.179		
Total	948.762	8			

ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

การปรับสภาพ	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
เบส	3	1.5000	
น้ำ	3	1.6800	
กรด	3		23.0800
Sig.		.918	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสง ด้วยกรดซัลฟิวริก

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ความเข้มข้นกรด (M)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ยต่ำสุด	ค่าเฉลี่ยสูงสุด	Between-Component Variance
					ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน			
0.2	3	13.4300	2.25542	1.30216	7.8272	19.0328	12.00	16.03	
0.4	3	23.0800	3.53836	2.04287	14.2902	31.8698	19.28	26.28	
0.6	3	19.0333	.33247	.19195	18.2074	19.8592	18.68	19.34	
0.8	3	19.7767	1.50001	.86603	16.0504	23.5029	18.28	21.28	
1.0	3	20.1633	3.08419	1.78066	12.5018	27.8249	17.83	23.66	
Total	15	19.0967	3.85177	.99452	16.9636	21.2297	12.00	26.28	
Model									
Fixed Effects			2.42816	.62695	17.6997	20.4936			
Random Effects				1.57452	14.7251	23.4682			10.43025

ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	148.747	4	37.187	6.307	.008
Within Groups	58.959	10	5.896		
Total	207.706	14			

ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

ความเข้มข้นกรด (M)	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
0.2	3	13.4300	
0.6	3		19.0333
0.8	3		19.7767
1.0	3		20.1633
0.4	3		23.0800
Sig.		1.000	.086

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 การวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสง ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ความเข้มข้น NaOH (M)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ยต่ำสุด	ค่าเฉลี่ยสูงสุด	Between-Component Variance
					ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน			
0.2	3	.7200	.11000	.06351	.4467	.9933	.61	.83	
0.4	3	1.5000	.12530	.07234	1.1887	1.8113	1.38	1.63	
0.6	3	1.5067	.09866	.05696	1.2616	1.7517	1.44	1.62	
0.8	3	1.3400	.05568	.03215	1.2017	1.4783	1.28	1.39	
1.0	3	1.5067	.08737	.05044	1.2896	1.7237	1.41	1.58	
Total	15	1.3147	.32553	.08405	1.1344	1.4949	.61	1.63	
Model Fixed Effects			.09825	.02537	1.2581	1.3712			
Random Effects				.15204	.8925	1.7368			.11237

ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.387	4	.347	35.921	.000
Within Groups	.097	10	.010		
Total	1.484	14			

ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

ความเข้มข้น NaOH (M)	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
0.2	3	.7200	
0.8	3		1.3400
0.4	3		1.5000
0.6	3		1.5067
1.0	3		1.5067
Sig.		1.000	.081

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่พบในเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการ  
ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกและย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	.3833	.10786	.06227	.1154	.6513	.26	.46	
24	3	8.7433	.72858	.42065	6.9334	10.5532	8.06	9.51	
48	3	6.9433	.25007	.14438	6.3221	7.5645	6.77	7.23	
Total	9	5.3567	3.83036	1.27679	2.4124	8.3009	.26	9.51	
Model									
Fixed Effects			.44907	.14969	4.9904	5.7229			
Random Effects				2.54038	-5.5737	16.2870			19.29331

ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	116.163	2	58.082	288.008	.000
Within Groups	1.210	6	.202		
Total	117.373	8			

ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
0	3	.3833		
48	3		6.9433	
24	3			8.7433
Sig.		1.000	1.000	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 การวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่พบในเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ยต่ำสุด	ค่าเฉลี่ยสูงสุด	Between-Component Variance
					ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน			
0	3	1.5300	.07550	.04359	1.3425	1.7175	1.46	1.61	
24	3	5.4667	.56003	.32333	4.0755	6.8579	4.91	6.03	
48	3	3.6800	.93872	.54197	1.3481	6.0119	2.60	4.30	
Total	9	3.5589	1.79280	.59760	2.1808	4.9370	1.46	6.03	
Model									
Fixed Effects			.63260	.21087	3.0429	4.0749			
Random Effects				1.13803	-1.3377	8.4554			3.75194

ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	23.312	2	11.656	29.127	.001
Within Groups	2.401	6	.400		
Total	25.713	8			

ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
0	3	1.5300		
48	3		3.6800	
24	3			5.4667
Sig.		1.000	1.000	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 การวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่วิเคราะห์จากเปลือกกล้วยสุกที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ปริมาณ เอนไซม์ (ml)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0.1	3	5.8433	.11547	.06667	5.5565	6.1302	5.71	5.91	
0.2	3	7.4467	.42147	.24333	6.3997	8.4936	6.97	7.77	
0.3	3	7.8067	.62148	.35881	6.2628	9.3505	7.14	8.37	
0.4	3	7.7400	.98534	.56889	5.2923	10.1877	6.77	8.74	
0.5	3	8.7433	.72858	.42065	6.9334	10.5532	8.06	9.51	
0.6	3	8.8833	.12503	.07219	8.5727	9.1939	8.74	8.97	
0.7	3	7.9433	.67040	.38705	6.2780	9.6087	7.26	8.60	
0.8	3	8.9900	.11533	.06658	8.7035	9.2765	8.86	9.08	
0.9	3	8.9800	.61441	.35473	7.4537	10.5063	8.28	9.43	
1.0	3	8.8933	.44185	.25510	7.7957	9.9910	8.43	9.31	
Total	30	8.1270	1.06976	.19531	7.7275	8.5265	5.71	9.51	
Model Fixed Effects			.55947	.10214	7.9139	8.3401			
Random Effects				.31580	7.4126	8.8414			.89296

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	26.927	9	2.992	9.559	.000
Within Groups	6.260	20	.313		
Total	33.187	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

ปริมาณเอนไซม์ (ml)	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
0.1	3	5.8433			
0.2	3		7.4467		
0.3	3		7.7400	7.7400	
0.4	3		7.8067	7.8067	
0.5	3		7.9433	7.9433	7.9433
0.6	3			8.7433	8.7433
0.7	3				8.8833
0.8	3				8.8933
0.9	3				8.9800
1.0	3				8.9900
Sig.		1.000	.331	.056	.054

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 การวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่วิเคราะห์จากเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ปริมาณ เอนไซม์ (ml)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความคลาด เคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0.1	3	2.8100	.20421	.11790	2.3027	3.3173	2.65	3.04	
0.2	3	4.3700	.38158	.22030	3.4221	5.3179	4.01	4.77	
0.3	3	5.4767	.49095	.28345	4.2571	6.6963	5.14	6.04	
0.4	3	4.8467	.99289	.57325	2.3802	7.3131	3.98	5.93	
0.5	3	5.4667	.56003	.32333	4.0755	6.8579	4.91	6.03	
0.6	3	5.5800	1.79677	1.03737	1.1166	10.0434	3.88	7.46	
0.7	3	6.6467	.90473	.52235	4.3992	8.8941	5.80	7.60	
0.8	3	6.9400	1.21939	.70401	3.9109	9.9691	6.11	8.34	
0.9	3	7.2567	1.00127	.57808	4.7694	9.7439	6.43	8.37	
1.0	3	7.4567	.91500	.52828	5.1837	9.7297	6.54	8.37	
Total	30	5.6850	1.60740	.29347	5.0848	6.2852	2.65	8.37	
Model Fixed Effects			.95401	.17418	5.3217	6.0483			
Random Effects				.45836	4.6481	6.7219			1.79757

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	56.726	9	6.303	6.925	.000
Within Groups	18.203	20	.910		
Total	74.928	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

ปริมาณเอนไซม์ (ml)	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
0.1	3	2.8100			
0.2	3	4.3700	4.3700		
0.3	3		4.8467		
0.4	3		5.4667	5.4667	
0.5	3		5.4767	5.4767	
0.6	3		5.5800	5.5800	
0.7	3			6.6467	6.6467
0.8	3			6.9400	6.9400
0.9	3			7.2567	7.2567
1.0	3				7.4567
Sig.		.059	.177	.054	.353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 การวิเคราะห์ทางสถิติของค่าพีเอชที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร T6 ที่มี น้ำตาลกลูโคสเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	5.5567	.00577	.00333	5.5423	5.5710	5.55	5.56	
12	3	5.1500	.05196	.03000	5.0209	5.2791	5.12	5.21	
24	3	4.9733	.03786	.02186	4.8793	5.0674	4.93	5.00	
36	3	4.9100	.05196	.03000	4.7809	5.0391	4.85	4.94	
48	3	4.8833	.04041	.02333	4.7829	4.9837	4.84	4.92	
72	3	4.8767	.04509	.02603	4.7647	4.9887	4.83	4.92	
96	3	4.8767	.03512	.02028	4.7894	4.9639	4.84	4.91	
120	3	4.8633	.04726	.02728	4.7459	4.9807	4.81	4.90	
144	3	4.7933	.03055	.01764	4.7174	4.8692	4.76	4.82	
168	3	4.8033	.03786	.02186	4.7093	4.8974	4.76	4.83	
Total	30	4.9687	.22431	.04095	4.8849	5.0524	4.76	5.56	
Model Fixed Effects			.04046	.00739	4.9533	4.9841			
Random Effects				.07268	4.8042	5.1331			.05228

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.426	9	.158	96.837	.000
Within Groups	.033	20	.002		
Total	1.459	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
144	3	4.7933					
168	3	4.8033	4.8033				
120	3	4.8633	4.8633	4.8633			
96	3		4.8767	4.8767			
72	3		4.8767	4.8767			
48	3			4.8833			
36	3			4.9100	4.9100		
24	3				4.9733		
12	3					5.1500	
0	3						5.5567
Sig.		.057	.053	.218	.070	1.000	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 การวิเคราะห์ทางสถิติของค่าพีเอชที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร T6 ที่มีน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ที่ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	4.9633	.02309	.01333	4.9060	5.0207	4.95	4.99	
12	3	4.9600	.01732	.01000	4.9170	5.0030	4.95	4.98	
24	3	4.9533	.01528	.00882	4.9154	4.9913	4.94	4.97	
36	3	4.9567	.01528	.00882	4.9187	4.9946	4.94	4.97	
48	3	4.9733	.01528	.00882	4.9354	5.0113	4.96	4.99	
72	3	4.9767	.02082	.01202	4.9250	5.0284	4.96	5.00	
96	3	4.9767	.02082	.01202	4.9250	5.0284	4.96	5.00	
120	3	4.9433	.01528	.00882	4.9054	4.9813	4.93	4.96	
144	3	4.8533	.01155	.00667	4.8246	4.8820	4.84	4.86	
168	3	4.8533	.02309	.01333	4.7960	4.9107	4.84	4.88	
Total	30	4.9410	.04816	.00879	4.9230	4.9590	4.84	5.00	
Model Fixed Effects			.01817	.00332	4.9341	4.9479			
Random Effects				.01499	4.9071	4.9749			.00214

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.061	9	.007	20.428	.000
Within Groups	.007	20	.000		
Total	.067	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
168	3	4.8533	
144	3	4.8533	
120	3		4.9433
24	3		4.9533
36	3		4.9567
12	3		4.9600
0	3		4.9633
48	3		4.9733
72	3		4.9767
96	3		4.9767
Sig.		1.000	.063

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 การวิเคราะห์ทางสถิติของค่าพีเอชที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีน้ำตาล กลูโคสความเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ที่ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	4.4467	.02082	.01202	4.3950	4.4984	4.43	4.47	
12	3	4.4533	.02517	.01453	4.3908	4.5158	4.43	4.48	
24	3	4.4667	.01528	.00882	4.4287	4.5046	4.45	4.48	
36	3	4.4467	.00577	.00333	4.4323	4.4610	4.44	4.45	
48	3	4.4300	.02000	.01155	4.3803	4.4797	4.41	4.45	
72	3	4.4367	.01528	.00882	4.3987	4.4746	4.42	4.45	
96	3	4.4267	.01528	.00882	4.3887	4.4646	4.41	4.44	
120	3	4.3900	.01000	.00577	4.3652	4.4148	4.38	4.40	
144	3	4.2733	.00577	.00333	4.2590	4.2877	4.27	4.28	
168	3	4.2667	.01155	.00667	4.2380	4.2954	4.26	4.28	
Total	30	4.4037	.07194	.01313	4.3768	4.4305	4.26	4.48	
Model Fixed Effects			.01571	.00287	4.3977	4.4096			
Random Effects				.02319	4.3512	4.4561			.00529

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.145	9	.016	65.389	.000
Within Groups	.005	20	.000		
Total	.150	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
168	3	4.2667			
144	3	4.2733			
120	3		4.3900		
96	3			4.4267	
48	3			4.4300	
72	3			4.4367	
0	3			4.4467	4.4467
36	3			4.4467	4.4467
12	3			4.4533	4.4533
24	3				4.4667
Sig.		.609	1.000	.079	.167

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 การวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักเซลล์แห้ง ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร T6 ที่มีน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	.2133	.03055	.01764	.1374	.2892	.18	.24	
12	3	.6933	.11015	.06360	.4197	.9670	.62	.82	
24	3	.4833	.34078	.19675	-.3632	1.3299	.09	.69	
36	3	2.1567	.15948	.09207	1.7605	2.5528	1.98	2.29	
48	3	1.7467	.88489	.51089	-.4515	3.9449	.97	2.71	
72	3	3.1600	1.60599	.92722	-.8295	7.1495	1.64	4.84	
96	3	2.5033	.69429	.40085	.7786	4.2280	1.71	3.00	
120	3	1.4000	.59775	.34511	-.0849	2.8849	.71	1.76	
144	3	1.0367	.37528	.21667	.1044	1.9689	.67	1.42	
168	3	.8400	.28844	.16653	.1235	1.5565	.60	1.16	
Total	30	1.4233	1.07875	.19695	1.0205	1.8261	.09	4.84	
Model Fixed Effects			.67677	.12356	1.1656	1.6811			
Random Effects				.30177	.7407	2.1060			.75796

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24.587	9	2.732	5.965	.000
Within Groups	9.160	20	.458		
Total	33.747	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
0	3	.2133				
24	3	.4833	.4833			
12	3	.6933	.6933			
168	3	.8400	.8400			
144	3	1.0367	1.0367	1.0367		
120	3	1.4000	1.4000	1.4000	1.4000	
48	3		1.7467	1.7467	1.7467	
36	3			2.1567	2.1567	2.1567
96	3				2.5033	2.5033
72	3					3.1600
Sig.		.070	.055	.076	.080	.100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 การวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักเซลล์แห้ง ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์ เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ปรับสภาพกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

### ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	.6833	.55770	.32199	-.7021	2.0687	.16	1.27	
12	3	.4967	.14012	.08090	.1486	.8447	.36	.64	
24	3	.7800	.38301	.22113	-.1715	1.7315	.36	1.11	
36	3	.5400	.49508	.28583	-.6898	1.7698	.13	1.09	
48	3	1.5033	.37005	.21365	.5841	2.4226	1.27	1.93	
72	3	.7000	.89370	.51598	-1.5201	2.9201	.13	1.73	
96	3	.0700	.05196	.03000	-.0591	.1991	.04	.13	
120	3	.1600	.05196	.03000	.0309	.2891	.13	.22	
144	3	.1033	.01155	.00667	.0746	.1320	.09	.11	
168	3	.1100	.15588	.09000	-.2772	.4972	.02	.29	
Total	30	.5147	.54710	.09989	.3104	.7190	.02	1.93	
Model Fixed Effects			.41084	.07501	.3582	.6711			
Random Effects				.14016	.1976	.8317			.14019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.304	9	.589	3.492	.010
Within Groups	3.376	20	.169		
Total	8.680	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
96	3	.0700	
144	3	.1033	
168	3	.1100	
120	3	.1600	
12	3	.4967	
36	3	.5400	
0	3	.6833	
72	3	.7000	
24	3	.7800	
48	3		1.5033
Sig.		.081	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.13 การวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักเซลล์แห้ง ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มี น้ำตาลรีดิวซ์ เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ปรับสภาพกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ยต่ำสุด	ค่าเฉลี่ยสูงสุด	Between-Component Variance
					ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน			
0	3	.5500	.06557	.03786	.3871	.7129	.48	.61	
12	3	.5400	.10817	.06245	.2713	.8087	.45	.66	
24	3	.9500	.21794	.12583	.4086	1.4914	.80	1.20	
36	3	1.6100	.33956	.19604	.7665	2.4535	1.38	2.00	
48	3	.9600	.47032	.27154	-.2083	2.1283	.48	1.42	
72	3	.4233	.12503	.07219	.1127	.7339	.30	.55	
96	3	.2300	.08544	.04933	.0178	.4422	.15	.32	
120	3	.4100	.21517	.12423	-.1245	.9445	.20	.63	
144	3	.3367	.13614	.07860	-.0015	.6749	.23	.49	
168	3	.4067	.15011	.08667	.0338	.7796	.32	.58	
Total	30	.6417	.44475	.08120	.4756	.8077	.15	2.00	
Model Fixed Effects			.22590	.04124	.5556	.7277			
Random Effects				.13216	.3427	.9406			.15764

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.716	9	.524	10.268	.000
Within Groups	1.021	20	.051		
Total	5.736	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
96	3	.2300		
144	3	.3367		
168	3	.4067		
120	3	.4100		
72	3	.4233		
12	3	.5400		
0	3	.5500		
24	3		.9500	
48	3		.9600	
36	3			1.6100
Sig.		.142	.957	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.14 การวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำตาลรีดิวซ์ ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร T6 ที่มี น้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	54.7600	5.07518	2.93016	42.1525	67.3675	49.71	59.86	
12	3	63.8067	.58106	.33548	62.3632	65.2501	63.28	64.43	
24	3	48.9500	1.29549	.74795	45.7318	52.1682	47.57	50.14	
36	3	48.0000	.86000	.49652	45.8636	50.1364	47.14	48.86	
48	3	49.2367	2.21651	1.27970	43.7305	54.7428	47.43	51.71	
72	3	53.7133	.51588	.29784	52.4318	54.9949	53.14	54.14	
96	3	50.3800	4.05190	2.33937	40.3145	60.4455	47.43	55.00	
120	3	34.0467	1.01298	.58485	31.5303	36.5631	33.14	35.14	
144	3	36.6167	2.57508	1.48672	30.2198	43.0135	34.14	39.28	
168	3	35.5200	.21932	.12662	34.9752	36.0648	35.28	35.71	
Total	30	47.5030	9.39031	1.71443	43.9966	51.0094	33.14	64.43	
Model Fixed Effects			2.40448	.43900	46.5873	48.4187			
Random Effects				3.00711	40.7004	54.3056			88.49981

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2441.528	9	271.281	46.922	.000
Within Groups	115.631	20	5.782		
Total	2557.159	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
120	3	34.0467				
168	3	35.5200				
144	3	36.6167				
36	3		48.0000			
24	3		48.9500			
48	3		49.2367			
96	3		50.3800	50.3800		
72	3			53.7133	53.7133	
0	3				54.7600	
12	3					63.8067
Sig.		.230	.280	.105	.600	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.15 การวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำตาลรีดิวซ์ ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร T6 และ น้ำตาลรีดิวซ์ เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ปรับสภาพกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	52.8067	2.68284	1.54894	46.1421	59.4712	49.71	54.43	
12	3	57.4767	1.76398	1.01844	53.0947	61.8586	56.00	59.43	
24	3	54.5233	5.92167	3.41888	39.8131	69.2336	47.71	58.43	
36	3	62.9033	3.42602	1.97802	54.3926	71.4140	59.43	66.28	
48	3	74.9033	3.05739	1.76518	67.3084	82.4983	73.00	78.43	
72	3	71.7600	1.33132	.76864	68.4528	75.0672	70.28	72.86	
96	3	78.0000	1.73205	1.00000	73.6973	82.3027	76.00	79.00	
120	3	50.3833	.90644	.52333	48.1316	52.6351	49.86	51.43	
144	3	58.6700	6.29238	3.63291	43.0389	74.3011	52.28	64.86	
168	3	56.7133	3.11547	1.79872	48.9741	64.4526	53.14	58.86	
Total	30	61.8140	9.82953	1.79462	58.1436	65.4844	47.71	79.00	
Model Fixed Effects			3.48360	.63602	60.4873	63.1407			
Random Effects				3.07876	54.8494	68.7786			90.74226

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2559.260	9	284.362	23.432	.000
Within Groups	242.710	20	12.135		
Total	2801.970	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
120	3	50.3833				
0	3	52.8067	52.8067			
24	3	54.5233	54.5233			
168	3	56.7133	56.7133	56.7133		
12	3		57.4767	57.4767		
144	3		58.6700	58.6700		
36	3			62.9033		
72	3				71.7600	
48	3				74.9033	74.9033
96	3					78.0000
Sig.		.053	.077	.058	.282	.289

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.16 การวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักเซลล์แห้ง ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีน้ำตาลรีดิวซ์ เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ปรับสภาพกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	50.1900	5.09835	2.94354	37.5250	62.8550	45.43	55.57	
12	3	56.9733	1.58828	.91699	53.0278	60.9188	55.28	58.43	
24	3	50.0467	1.77385	1.02413	45.6402	54.4531	48.00	51.14	
36	3	57.4300	1.37655	.79475	54.0105	60.8495	56.43	59.00	
48	3	52.2367	3.08182	1.77929	44.5810	59.8923	49.28	55.43	
72	3	55.2867	5.15039	2.97358	42.4924	68.0809	51.00	61.00	
96	3	59.7100	3.49069	2.01535	51.0387	68.3813	55.71	62.14	
120	3	36.9967	.49652	.28667	35.7632	38.2301	36.71	37.57	
144	3	39.7600	5.07426	2.92962	27.1548	52.3652	34.57	44.71	
168	3	40.0000	2.62290	1.51433	33.4844	46.5156	38.14	43.00	
Total	30	49.8630	8.39513	1.53273	46.7282	52.9978	34.57	62.14	
Model Fixed Effects			3.38586	.61817	48.5735	51.1525			
Random Effects				2.59243	43.9985	55.7275			63.38562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1814.588	9	201.621	17.587	.000
Within Groups	229.281	20	11.464		
Total	2043.869	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
120	3	36.9967			
144	3	39.7600			
168	3	40.0000			
24	3		50.0467		
0	3		50.1900		
48	3		52.2367	52.2367	
72	3		55.2867	55.2867	55.2867
12	3			56.9733	56.9733
36	3			57.4300	57.4300
96	3				59.7100
Sig.		.317	.096	.099	.157

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.17 การวิเคราะห์ทางสถิติความชื้นของอาหาร (OD 600 nm) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร T6 ที่มีน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	.3103	.02706	.01562	.2431	.3776	.28	.33	
12	3	1.2007	.06268	.03619	1.0449	1.3564	1.14	1.27	
24	3	.9793	.10100	.05831	.7284	1.2302	.88	1.08	
36	3	3.8867	2.22588	1.28511	-1.6427	9.4161	1.76	6.20	
48	3	3.2583	.42445	.24506	2.2039	4.3127	2.89	3.72	
72	3	2.6850	.47626	.27497	1.5019	3.8681	2.17	3.10	
96	3	.3807	.04366	.02521	.2722	.4891	.34	.42	
120	3	.9003	.40019	.23105	-.0938	1.8945	.47	1.26	
144	3	.4793	.17122	.09885	.0540	.9047	.29	.61	
168	3	.6210	.17261	.09965	.1922	1.0498	.45	.79	
Total	30	1.4702	1.40631	.25676	.9450	1.9953	.28	6.20	
Model Fixed Effects			.74817	.13660	1.1852	1.7551			
Random Effects				.41347	.5348	2.4055			1.52299

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	46.158	9	5.129	9.162	.000
Within Groups	11.195	20	.560		
Total	57.354	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
0	3	.3103	
96	3	.3807	
144	3	.4793	
168	3	.6210	
120	3	.9003	
24	3	.9793	
12	3	1.2007	
72	3		2.6850
48	3		3.2583
36	3		3.8867
Sig.		.215	.076

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.18 การวิเคราะห์ทางสถิติความชื้นของอาหาร (OD 600 nm) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวิซ์ เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

### ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	.3393	.06307	.03641	.1827	.4960	.28	.41	
12	3	.4983	.11299	.06523	.2177	.7790	.42	.63	
24	3	.5347	.02572	.01485	.4708	.5985	.52	.56	
36	3	.7117	.06784	.03917	.5431	.8802	.67	.79	
48	3	1.9867	.13137	.07585	1.6603	2.3130	1.89	2.14	
72	3	.6707	.10916	.06302	.3995	.9418	.55	.74	
96	3	.4857	.07240	.04180	.3058	.6655	.40	.54	
120	3	.5820	.13313	.07686	.2513	.9127	.43	.69	
144	3	.3807	.05677	.03277	.2397	.5217	.32	.43	
168	3	.6467	.10610	.06125	.3831	.9102	.56	.77	
Total	30	.6836	.46338	.08460	.5106	.8567	.28	2.14	
Model Fixed Effects			.09414	.01719	.6478	.7195			
Random Effects				.14969	.3450	1.0223			.22111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6.050	9	.672	75.846	.000
Within Groups	.177	20	.009		
Total	6.227	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
0	3	.3393					
144	3	.3807	.3807				
96	3	.4857	.4857	.4857			
12	3	.4983	.4983	.4983	.4983		
24	3		.5347	.5347	.5347		
120	3			.5820	.5820	.5820	
168	3			.6467	.6467	.6467	
72	3				.6707	.6707	
36	3					.7117	
48	3						1.9867
Sig.		.071	.079	.073	.056	.137	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.19 การวิเคราะห์ทางสถิติความขุ่นของอาหาร (OD 600 nm) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีน้ำตาลรีดิวซ์ เข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร ได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ปรับสภาพกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

#### ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	.2887	.06937	.04005	.1163	.4610	.24	.37	
12	3	.5313	.14703	.08489	.1661	.8966	.39	.68	
24	3	.5257	.21290	.12292	-.0032	1.0545	.38	.77	
36	3	.5383	.10153	.05862	.2861	.7905	.47	.66	
48	3	.8907	.22905	.13224	.3217	1.4597	.65	1.11	
72	3	.4820	.17965	.10372	.0357	.9283	.35	.69	
96	3	.5513	.01815	.01048	.5063	.5964	.53	.57	
120	3	.5697	.02250	.01299	.5138	.6256	.54	.59	
144	3	.4667	.17774	.10262	.0251	.9082	.31	.66	
168	3	.6043	.05601	.03234	.4652	.7435	.55	.66	
Total	30	.5449	.18615	.03399	.4754	.6144	.24	1.11	
Model Fixed Effects			.14226	.02597	.4907	.5990			
Random Effects				.04715	.4382	.6515			.01548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.600	9	.067	3.295	.013
Within Groups	.405	20	.020		
Total	1.005	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
0	3	.2887		
144	3	.4667	.4667	
72	3	.4820	.4820	
24	3	.5257	.5257	
12	3	.5313	.5313	
36	3	.5383	.5383	
96	3	.5513	.5513	
120	3		.5697	
168	3		.6043	
48	3			.8907
Sig.		.060	.312	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.20 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของอะซิโตน ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นของกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Componen t Variance
					95%				
					ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน			
0	3	1.1253	.10083	.05821	.8749	1.3758	1.06	1.24	
12	3	39.6263	68.18412	39.36612	-129.7524	209.0051	.00	118.36	
24	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
36	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
48	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
72	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
96	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
120	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
144	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
168	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
Total	30	4.0752	21.58743	3.94131	-3.9857	12.1360	.00	118.36	
Model Fixed Effects			21.56174	3.93662	-4.1365	12.2868			
Random Effects				3.95171	-4.8642	13.0146			1.19083

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4216.329	9	468.481	1.008	.466
Within Groups	9298.169	20	464.908		
Total	13514.498	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05
		1
24.	3	.0000
36	3	.0000
48	3	.0000
72	3	.0000
96	3	.0000
120	3	.0000
144	3	.0000
168	3	.0000
0	3	1.1253
12	3	39.6263
Sig.		.066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.21 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของบิวทานอล ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นของกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	.9042	.19619	.11327	.4169	1.3916	.78	1.13	
12	3	.4539	.39317	.22700	-.5228	1.4306	.00	.69	
24	3	1.0407	.11315	.06533	.7596	1.3218	.94	1.16	
36	3	1.8577	.63236	.36509	.2868	3.4286	1.13	2.28	
48	3	1.8038	.49145	.28374	.5829	3.0246	1.27	2.24	
72	3	1.7271	.31882	.18407	.9351	2.5191	1.37	1.99	
96	3	1.5542	.38298	.22111	.6028	2.5055	1.14	1.90	
120	3	1.5520	.48474	.27987	.3479	2.7562	.99	1.86	
144	3	1.5944	.38299	.22112	.6430	2.5458	1.23	1.99	
168	3	1.1630	.61263	.35370	-.3589	2.6848	.47	1.63	
Total	30	1.3651	.56750	.10361	1.1532	1.5770	.00	2.28	
Model Fixed Effects			.43042	.07858	1.2012	1.5290			
Random Effects				.14446	1.0383	1.6919			.14693

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.634	9	.626	3.379	.011
Within Groups	3.705	20	.185		
Total	9.340	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
12	3	.4539		
0	3	.9042	.9042	
24	3	1.0407	1.0407	1.0407
168	3	1.1630	1.1630	1.1630
120	3		1.5520	1.5520
96	3		1.5542	1.5542
144	3		1.5944	1.5944
72	3		1.7271	1.7271
48	3			1.8038
36	3			1.8577
Sig.		.077	.052	.055

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.22 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของเอทานอล ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นของกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	1.8056	.11222	.06479	1.5268	2.0843	1.71	1.93	
12	3	.2757	.24303	.14031	-.3281	.8794	.00	.46	
24	3	.5923	.07276	.04201	.4116	.7731	.51	.65	
36	3	.4018	.00825	.00476	.3813	.4223	.40	.41	
48	3	2.3453	3.31493	1.91387	-5.8894	10.5801	.41	6.17	
72	3	.3903	.03201	.01848	.3108	.4698	.36	.42	
96	3	.3323	.04895	.02826	.2107	.4539	.28	.38	
120	3	.4067	.00577	.00333	.3923	.4210	.40	.41	
144	3	.4833	.03055	.01764	.4074	.5592	.45	.51	
168	3	.3033	.06429	.03712	.1436	.4630	.23	.35	
Total	30	.7337	1.11894	.20429	.3159	1.1515	.00	6.17	
Model Fixed Effects			1.05234	.19213	.3329	1.1345			
Random Effects				.22901	.2156	1.2517			.15530

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	14.160	9	1.573	1.421	.244
Within Groups	22.149	20	1.107		
Total	36.309	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05
		1
12	3	.2757
168	3	.3033
96	3	.3323
72	3	.3903
36	3	.4018
120	3	.4067
144	3	.4833
24	3	.5923
0	3	1.8056
48	3	2.3453
Sig.		.050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.23 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของกรดอะซิติก ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นของกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	6.3133	.22030	.12719	5.7661	6.8606	6.10	6.54	
12	3	.1686	.03634	.02098	.0784	.2589	.13	.19	
24	3	1.3375	.28420	.16409	.6315	2.0435	1.01	1.54	
36	3	1.4447	.02732	.01577	1.3768	1.5125	1.42	1.48	
48	3	1.0399	.91587	.52878	-1.2353	3.3150	.00	1.73	
72	3	1.4757	.20289	.11714	.9717	1.9797	1.25	1.64	
96	3	1.4183	.17698	.10218	.9787	1.8580	1.22	1.56	
120	3	1.4210	.14968	.08642	1.0492	1.7928	1.25	1.53	
144	3	1.5608	.26110	.15075	.9122	2.2094	1.30	1.82	
168	3	1.3879	.25589	.14774	.7522	2.0236	1.10	1.60	
Total	30	1.7568	1.61944	.29567	1.1521	2.3615	.00	6.54	
Model Fixed Effects			.34623	.06321	1.6249	1.8886			
Random Effects				.52231	.5752	2.9383			2.68809

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	73.657	9	8.184	68.274	.000
Within Groups	2.397	20	.120		
Total	76.055	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
12	3	.1686		
48	3		1.0399	
24	3		1.3375	
168	3		1.3879	
96	3		1.4183	
120	3		1.4210	
36	3		1.4447	
72	3		1.4757	
144	3		1.5608	
0	3			6.3133
Sig.		1.000	.123	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.24 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของกรดบิวทริก ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหาร T6 ที่มีความเข้มข้นของกลูโคส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
12	3	.2003	.26213	.15134	-.4508	.8515	.00	.50	
24	3	1.9707	.38387	.22163	1.0171	2.9243	1.55	2.29	
36	3	2.6849	.24286	.14021	2.0816	3.2882	2.49	2.96	
48	3	3.3239	1.38494	.79960	-.1165	6.7643	2.31	4.90	
72	3	2.4073	.39423	.22761	1.4280	3.3867	1.98	2.76	
96	3	2.2356	.41790	.24127	1.1975	3.2737	1.77	2.58	
120	3	2.3049	.12301	.07102	1.9994	2.6105	2.18	2.43	
144	3	2.4037	.35446	.20465	1.5231	3.2842	2.01	2.70	
168	3	1.9278	.38088	.21990	.9817	2.8740	1.49	2.17	
Total	30	1.9459	1.10426	.20161	1.5336	2.3583	.00	4.90	
Model Fixed Effects			.53000	.09676	1.7441	2.1478			
Random Effects				.33191	1.1951	2.6968			1.00801

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	29.744	9	3.305	11.765	.000
Within Groups	5.618	20	.281		
Total	35.362	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
0	3	.0000		
12	3	.2003		
168	3		1.9278	
24	3		1.9707	
96	3		2.2356	
120	3		2.3049	
144	3		2.4037	2.4037
72	3		2.4073	2.4073
36	3		2.6849	2.6849
48	3			3.3239
Sig.		.648	.139	.064

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.25 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของอะซิโตน ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	.0367	.06351	.03667	-.1211	.1944	.00	.11	
12	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
24	3	.0453	.07852	.04533	-.1497	.2404	.00	.14	
36	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
48	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
72	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
96	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
120	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
144	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
168	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
Total	30	.0082	.03139	.00573	-.0035	.0199	.00	.14	
Model Fixed Effects			.03194	.00583	-.0040	.0204			
Random Effects				.00583 <sup>a</sup>	-.0050 <sup>a</sup>	.0214 <sup>a</sup>			-.00004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.008	9	.001	.891	.550
Within Groups	.020	20	.001		
Total	.029	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05
		1
12	3	.0000
36	3	.0000
48	3	.0000
72	3	.0000
96	3	.0000
120	3	.0000
144	3	.0000
168	3	.0000
0	3	.0367
24	3	.0453
Sig.		.148

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.26 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของบิวทานอล ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	.5465	.15034	.08680	.1730	.9200	.37	.64	
12	3	.5693	.15546	.08975	.1831	.9555	.46	.75	
24	3	1.1660	.63817	.36845	-.4193	2.7513	.43	1.60	
36	3	.4895	.09230	.05329	.2602	.7187	.41	.59	
48	3	1.3026	1.11616	.64442	-1.4701	4.0753	.12	2.33	
72	3	.4130	.05405	.03121	.2788	.5473	.35	.46	
96	3	2.0723	.54741	.31604	.7125	3.4322	1.54	2.63	
120	3	2.1487	1.57093	.90697	-1.7537	6.0511	.35	3.23	
144	3	.3864	.02159	.01246	.3328	.4400	.36	.40	
168	3	1.8844	1.46236	.84429	-1.7483	5.5171	.21	2.93	
Total	30	1.0979	.96809	.17675	.7364	1.4594	.12	3.23	
Model Fixed Effects			.81349	.14852	.7881	1.4077			
Random Effects				.22725	.5838	1.6119			.29583

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13.943	9	1.549	2.341	.054
Within Groups	13.235	20	.662		
Total	27.179	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
144	3	.3864		
72	3	.4130		
36	3	.4895		
0	3	.5465	.5465	
12	3	.5693	.5693	
24	3	1.1660	1.1660	1.1660
48	3	1.3026	1.3026	1.3026
168	3	1.8844	1.8844	1.8844
96	3		2.0723	2.0723
120	3			2.1487
Sig.		.062	.054	.198

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.27 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของเอทานอล ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิทซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	.8045	.23005	.13282	.2330	1.3760	.54	.95	
12	3	.7236	.03041	.01756	.6481	.7992	.69	.75	
24	3	4.9884	3.70078	2.13665	-4.2048	14.1817	.72	7.17	
36	3	2.7805	2.60263	1.50263	-3.6848	9.2458	.47	5.60	
48	3	6.1296	2.68536	1.55039	-.5412	12.8004	3.75	9.04	
72	3	.6137	.14242	.08223	.2599	.9675	.46	.73	
96	3	14.3390	4.91745	2.83909	2.1234	26.5546	9.20	19.00	
120	3	14.6260	12.2262 6	7.05884	- 15.7457	44.9977	.53	22.40	
144	3	.7412	.11679	.06743	.4510	1.0313	.61	.84	
168	3	14.1555	11.8999 3	6.87043	- 15.4055	43.7166	.43	21.61	
Total	30	5.9902	7.62522	1.39217	3.1429	8.8375	.43	22.40	
Model Fixed Effects			5.85696	1.06933	3.7596	8.2208			
Random Effects				1.92459	1.6365	10.3439			25.60590

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1000.095	9	111.122	3.239	.014
Within Groups	686.079	20	34.304		
Total	1686.174	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
72	3	.6137	
12	3	.7236	
144	3	.7412	
0	3	.8045	
36	3	2.7805	
24	3	4.9884	4.9884
48	3	6.1296	6.1296
168	3		14.1555
96	3		14.3390
120	3		14.6260
Sig.		.322	.084

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.28 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของกรดอะซิติก ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	1.6803	1.45593	.84058	-1.9364	5.2970	.00	2.57	
12	3	6.2526	1.07840	.62261	3.5737	8.9315	5.33	7.44	
24	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
36	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
48	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
72	3	1.9293	.44702	.25809	.8189	3.0398	1.43	2.30	
96	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
120	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
144	3	9.0007	1.31079	.75678	5.7445	12.2568	7.53	10.03	
168	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
Total	30	1.8863	3.12728	.57096	.7185	3.0540	.00	10.03	
Model Fixed Effects			.72116	.13166	1.6116	2.1609			
Random Effects				1.00594	-.3893	4.1619			9.94571

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	273.215	9	30.357	58.372	.000
Within Groups	10.401	20	.520		
Total	283.616	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
24	3	.0000			
36	3	.0000			
48	3	.0000			
96	3	.0000			
120	3	.0000			
168	3	.0000			
0	3		1.6803		
72	3		1.9293		
12	3			6.2526	
144	3				9.0007
Sig.		1.000	.677	1.000	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.29 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของกรดบิวทริกที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหาร T6 และน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	.2219	.05696	.03288	.0804	.3634	.17	.28	
12	3	.0516	.03242	.01872	-.0290	.1321	.03	.09	
24	3	2.9923	2.60149	1.50197	-3.4701	9.4548	.00	4.72	
36	3	1.0467	1.81288	1.04667	-3.4568	5.5501	.00	3.14	
48	3	4.6890	2.17927	1.25820	-.7246	10.1026	2.40	6.74	
72	3	.0835	.01776	.01025	.0394	.1276	.06	.09	
96	3	2.3893	4.13845	2.38933	-7.8911	12.6698	.00	7.17	
120	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
144	3	.0160	.02771	.01600	-.0528	.0848	.00	.05	
168	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
Total	30	1.1490	2.17886	.39780	.3354	1.9626	.00	7.17	
Model Fixed Effects			1.78705	.32627	.4684	1.8296			
Random Effects				.52283	-.0337	2.3318			1.66899

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	73.805	9	8.201	2.568	.038
Within Groups	63.871	20	3.194		
Total	137.676	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
120	3	.0000	
168	3	.0000	
144	3	.0160	
12	3	.0516	
72	3	.0835	
0	3	.2219	
36	3	1.0467	
96	3	2.3893	2.3893
24	3	2.9923	2.9923
48	3		4.6890
Sig.		.090	.151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.30 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของอะซิโตน ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหารน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	.0667	.11547	.06667	-.2202	.3535	.00	.20	
12	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
24	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
36	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
48	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
72	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
96	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
120	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
144	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
168	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
Total	30	.0067	.03651	.00667	-.0070	.0203	.00	.20	
Model Fixed Effects			.03651	.00667	-.0072	.0206			
Random Effects				.00667 <sup>a</sup>	-.0084 <sup>a</sup>	.0217 <sup>a</sup>			.00000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.012	9	.001	1.000	.471
Within Groups	.027	20	.001		
Total	.039	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

ชั่วโมง	N	Subset for alpha = 0.05
		1
12	3	.0000
24	3	.0000
36	3	.0000
48	3	.0000
72	3	.0000
96	3	.0000
120	3	.0000
144	3	.0000
168	3	.0000
0	3	.0667
Sig.		.067

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.31 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของบิวทานอล ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหารน้ำตาลรีดิฟซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	.3535	.21126	.12197	-.1713	.8783	.22	.60	
12	3	.2540	.08643	.04990	.0393	.4687	.18	.35	
24	3	.8883	.42034	.24268	-.1558	1.9325	.45	1.29	
36	3	.7067	.75783	.43754	-1.1759	2.5892	.14	1.57	
48	3	1.8105	.17311	.09994	1.3804	2.2405	1.64	1.99	
72	3	.4397	.40873	.23598	-.5757	1.4550	.11	.90	
96	3	1.6615	.33043	.19077	.8407	2.4823	1.31	1.97	
120	3	1.4767	1.20650	.69657	-1.5204	4.4738	.10	2.35	
144	3	.1726	.07700	.04445	-.0187	.3639	.10	.25	
168	3	1.7387	.21331	.12315	1.2088	2.2686	1.51	1.93	
Total	30	.9502	.76508	.13968	.6645	1.2359	.10	2.35	
Model Fixed Effects			.51150	.09339	.7554	1.1450			
Random Effects				.20854	.4785	1.4220			.34768

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11.742	9	1.305	4.987	.001
Within Groups	5.233	20	.262		
Total	16.975	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
144	3	.1726		
12	3	.2540		
0	3	.3535		
72	3	.4397		
36	3	.7067	.7067	
24	3	.8883	.8883	.8883
120	3		1.4767	1.4767
96	3			1.6615
168	3			1.7387
48	3			1.8105
Sig.		.143	.095	.059

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.32 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นเอทานอล ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหารน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

### ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	.5818	.15780	.09111	.1898	.9738	.47	.76	
12	3	.3993	.04539	.02621	.2866	.5121	.35	.43	
24	3	5.6597	.32393	.18702	4.8550	6.4644	5.37	6.01	
36	3	4.0896	3.51559	2.02973	-4.6436	12.8228	.20	7.05	
48	3	10.0972	4.10927	2.37249	-1.108	20.3052	6.84	14.71	
72	3	3.0696	2.50954	1.44888	-3.1644	9.3036	.22	4.95	
96	3	6.1355	.96261	.55577	3.7442	8.5268	5.12	7.04	
120	3	9.5370	6.87031	3.96658	-7.5298	26.6038	4.60	17.38	
144	3	.9032	.94696	.54673	-1.4492	3.2556	.32	2.00	
168	3	8.4100	3.01448	1.74041	.9216	15.8984	6.57	11.89	
Total	30	4.8883	4.36693	.79729	3.2577	6.5189	.20	17.38	
Model Fixed Effects			3.06246	.55913	3.7220	6.0546			
Random Effects				1.16342	2.2565	7.5201			10.40929

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	365.459	9	40.607	4.330	.003
Within Groups	187.574	20	9.379		
Total	553.033	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
12	3	.3993			
0	3	.5818			
144	3	.9032			
72	3	3.0696	3.0696		
36	3	4.0896	4.0896	4.0896	
24	3	5.6597	5.6597	5.6597	5.6597
96	3	6.1355	6.1355	6.1355	6.1355
168	3		8.4100	8.4100	8.4100
120	3			9.5370	9.5370
48	3				10.0972
Sig.		.056	.068	.063	.125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.33 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของกรดอะซิติก ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหารน้ำตาลรีดิซซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

#### ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
0	3	.6500	1.12583	.65000	-2.1467	3.4467	.00	1.95	
12	3	6.5807	.79474	.45884	4.6064	8.5549	5.66	7.04	
24	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
36	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
48	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
72	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
96	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
120	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
144	3	10.1967	6.94758	4.01119	-7.0621	27.4554	5.44	18.17	
168	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00	
Total	30	1.7427	3.94934	.72105	.2680	3.2174	.00	18.17	
Model Fixed Effects			2.23982	.40893	.8897	2.5958			
Random Effects				1.14177	-.8401	4.3256			11.36423

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	351.985	9	39.109	7.796	.000
Within Groups	100.336	20	5.017		
Total	452.321	29			

## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
24	3	.0000	
36	3	.0000	
48	3	.0000	
72	3	.0000	
96	3	.0000	
120	3	.0000	
168	3	.0000	
0	3	.6500	
12	3		6.5807
144	3		10.1967
Sig.		.758	.062

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.34 การวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของกรดบิวทริก ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ด้วยอาหารน้ำตาลรีดิซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 45 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน

ตารางค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลา (ชั่วโมง)	N	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความ คลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%		ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย สูงสุด	Between- Component Variance
					ขอบเขต ล่าง	ขอบเขต บน			
.00	3	.1407	.12300	.07101	-.1649	.4462	.00	.23	
12.00	3	.1467	.03612	.02085	.0570	.2364	.12	.19	
24.00	3	4.1983	.59315	.34246	2.7249	5.6718	3.52	4.61	
36.00	3	3.0167	2.65356	1.53203	-3.5751	9.6085	.08	5.25	
48.00	3	4.1217	3.56973	2.06099	-4.7460	12.9894	.00	6.23	
72.00	3	2.0943	1.79742	1.03774	-2.3707	6.5594	.06	3.45	
96.00	3	5.5060	.72821	.42043	3.6970	7.3150	4.67	5.99	
120.00	3	3.1007	3.22663	1.86289	-4.9147	11.1161	.00	6.44	
144.00	3	.0503	.04594	.02652	-.0638	.1645	.00	.09	
168.00	3	4.1303	3.58089	2.06743	-4.7651	13.0258	.00	6.36	
Total	30	2.6506	2.61914	.47819	1.6726	3.6286	.00	6.44	
Model Fixed Effects			2.17140	.39644	1.8236	3.4775			
Random Effects				.62253	1.2423	4.0588			2.30382

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	104.638	9	11.626	2.466	.045
Within Groups	94.299	20	4.715		
Total	198.937	29			

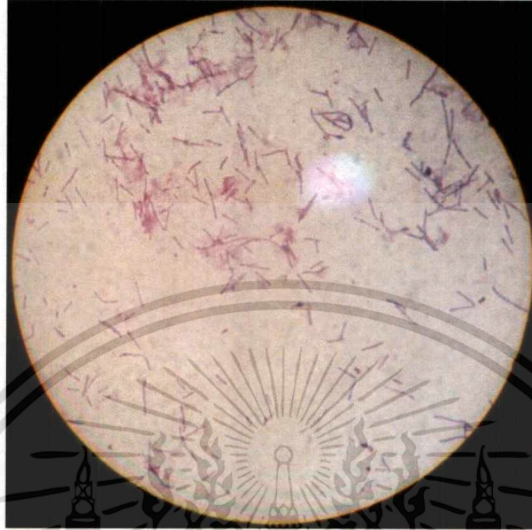
## ตารางแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุดข้อมูล

Duncan<sup>a</sup>

เวลา (ชั่วโมง)	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
144	3	.0503	
0	3	.1407	
12	3	.1467	
72	3	2.0943	2.0943
36	3	3.0167	3.0167
120	3	3.1007	3.1007
48	3	4.1217	4.1217
168	3	4.1303	4.1303
24	3	4.1983	4.1983
96	3		5.5060
Sig.		.055	.106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค  
รูปประกอบการทดลองในงานวิจัย



รูปที่ ค.1 *Clostridium* sp. G10 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 1000 เท่า โดยการย้อมแกรม



รูปที่ ค.2 เชื้อ *Clostridium* sp. G10 บนอาหารแข็ง Reinforced Clostridial Medium (RCM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

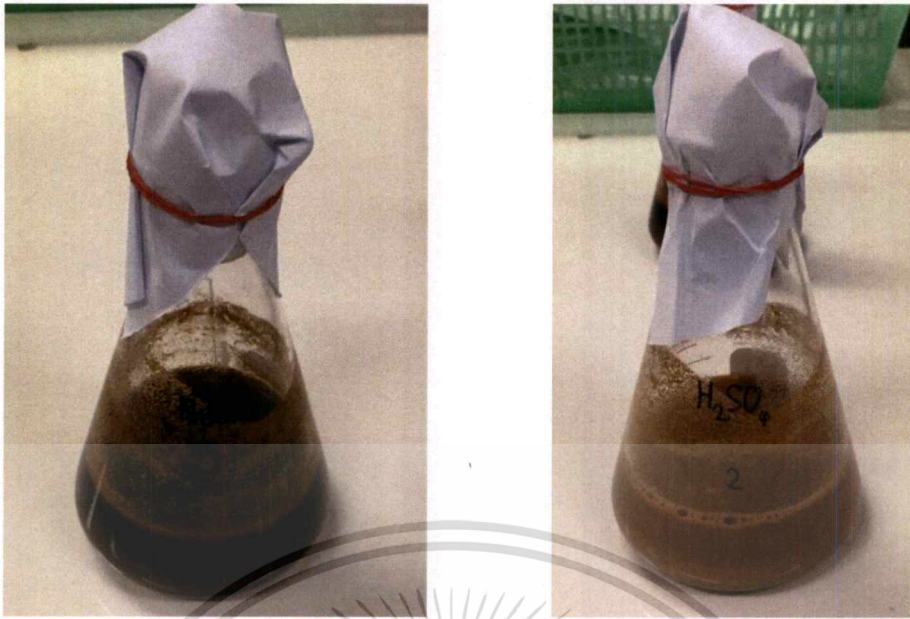


รูปที่ ค.3 เปลือกถั่วลิสงก่อนบด



รูปที่ ค.4 เปลือกถั่วลิสงหลังบดด้วยเครื่องบดอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ ค.5 การปรับสภาพเปลือกถั่วลิสงด้วย (ก) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ข) กรดซัลฟิวริก และ (ค) น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ ค.6 เปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพด้วย (ก) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ข) กรดซัลฟิวริก และ (ค) น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.7 ส่วนใสที่กรองได้จากเปลือกถั่วลิสงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ และย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.8 การเพาะเลี้ยงเชื้อ *Clostridium* sp. G10 ในอาหาร (ก) T6 (ข) T6+hydrolysate และ (ค) hydrolysate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้