

การกลั่นเอทานอลเชิงปฏิบัติ
PRACTICAL ETHANOL DISTILLATION



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การกลั่นเอทานอลเชิงปฏิบัติ
PRACTICAL ETHANOL DISTILLATION



T149428

จิราณุวัฒน์ ธ.น.อ้วน

12884406

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 149428
รับเดือนปี - 8 ค.ศ. 2561

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ปีการศึกษา 2558 ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRACTICAL ETHANOL DISTILLATION



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **ACADEMIC OF YEAR 2015** ผู้ยัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การกลั่นเอทานอลเชิงปฏิบัติ
 Practical Ethanol Distillation
 ชื่อนักศึกษา นายจิราณวัฒน์ ธ.น.อ้วน รหัสนักศึกษา 55051471
 ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
 ภาควิชา ฟิสิกส์
 ปีการศึกษา 2558
 อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.กัจปัญญา สุวรรณสุโข

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
 ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.อาภาภรณ์ สุกุลการะเวก ประธานกรรมการ	
ดร.พิศาล สุขวิสูตร กรรมการ	พิศาล สุขวิสูตร
ผศ.ดร.ภัทริยา ดำรงค์ศักดิ์ กรรมการ	ภัทริยา ดำรงค์ศักดิ์
ดร.กัจปัญญา สุวรรณสุโข กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้กับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การกลั่นเอทานอลเชิงปฏิบัติ
ชื่อนักศึกษา	นายจิรานุวัฒน์ ธ.น.อ้วน รหัสนักศึกษา 55051471
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.)
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กัจปัญญา สุวรรณสุขโข

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการหมักเอทานอลทั้งสองแบบคือการหมักด้วยวิธีการอย่างง่ายและการหมักด้วยวิธีการทางวิชาการและทำการกลั่นแบบลำดับส่วนเพื่อที่จะหาวิธีการและเงื่อนไขที่ทำให้การกลั่นเอทานอลได้ปริมาณมากที่สุดและมีความเข้มข้นมากที่สุดผลที่ได้จะต้องมาจากเงื่อนไขของทั้งกระบวนการหมักและกระบวนการกลั่นซึ่งทำการทดลองทั้งหมด12ครั้งครั้ง1-10 เป็นการหมักอย่างง่ายและครั้งที่11-12เป็นการหมักทางวิชาการเงื่อนไขในการหมักและการกลั่นจะแตกต่างกันออกไปเช่นการหมักจะมีเงื่อนไขในการหมักคือมีอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันโดยมีอัตราส่วนของ กากน้ำตาล น้ำกลั่นและยีสต์ส่วนการกลั่นจะมีเงื่อนไขคือ อุณหภูมิหม้อต้ม อุณหภูมิหอกลั่น ความดันไอและปริมาณสารละลายในหม้อต้มจากการทดลองการหมักทางวิชาการให้ผลในการทดลองที่ดีที่สุดคือสามารถผลิตเอทานอลได้ปริมาณมากที่สุด 230 มิลลิลิตรและมีความเข้มข้น 89% จากเงื่อนไขที่ว่าสารละลายในหม้อต้มปริมาณ 6 ลิตร ความดันไอ 2 บาร์ อุณหภูมิหม้อต้ม 180 °C ตามลำดับ

คำสำคัญ: การกลั่นลำดับส่วน การหมักทางวิชาการ การหมักอย่างง่าย

Title	Practical Ethanol Distillation	
Students	Mr.Jiranuwat Tanaoun	Student ID 55051471
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic year	2015	
Advisor	Dr.Kajpanya Suwansukho	

Abstract

This special project is studied ethanol distillation with two methods that is simple fermentation and biological fermentation method. The study in to final out distillation conditions to get high volume and concentration of distilled ethanol. In the experiment, 10 conditions was set of simple method with different mixture ratio of distillation water molasses and bread yeast. Another two conditions in biological process. The Experiment results show that biological method have highest volume and concentration of distilled ethanol with 230 ml and 89% of respectively. The best condition is boiling temp of 180 °C, boiling pressure of 2 bar and 6 L of fermented solutions.

keywords: A simple fermentation method, Distillation fractionation, Fermentation with academic

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณาและความร่วมมือของทุกๆท่าน ขอขอบพระคุณ ดร.กาจปัญญา สุวรรณสุขโข ที่คอยให้คำปรึกษาดูแลอย่างใกล้ชิดและได้ให้โอกาสให้เราได้ทำโครงการพิเศษนี้เพียงคนเดียวเพื่อเป็นการพิสูจน์การทำงานความอดทนและปัญหาต่างๆที่จะต้องเจอในการทำงานคนเดียวแต่ความรู้ที่ได้กลับมาและความสามารถที่มากขึ้นและให้ความช่วยเหลือแนะนำที่ดีในการปรับปรุงข้อบกพร่องในการทำโครงการพิเศษและขอขอบพระคุณกรรมการสอบโครงการพิเศษ คือ ดร.อาภาภรณ์ สกฤการะเวก ดร.พิศาล สุขวิสูตรและผศ.ดร.ภัทริยา ดำรงค์ศักดิ์ ที่ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ภาควิชา ชีววิทยา ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการหมักและให้ความรู้ในเรื่องอุปกรณ์ต่างๆ

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ สาขาฟิสิกส์ ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการชีววิทยา และเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ สาขาวิชาชีววิทยา ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ศูนย์ปฏิบัติการเครื่องมื่อวิทยาศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือ รวมทั้งให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือ

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ได้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดูและอบรมสั่งสอนและเป็นกำลังใจเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงเพื่อนๆ และบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา ผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

จิรานูวัฒน์ ธ.น.อ้วน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ประเภทของเอทานอล	4
2.2 ขั้นตอนการผลิตเอทานอลด้วยวิธีการหมัก	5
2.2.1 วัตถุประสงค์ประเภทน้ำตาล	5
2.2.2 ขั้นตอนการกำจัดสิ่งปนเปื้อน (Pre-treatment)	7
2.2.3 ขั้นตอนการเจือจาง (Dilution)	7
2.2.4 ขั้นตอนการเตรียมกล้าเชื้อยีสต์ (Yeast propagation)	7
2.2.5 ขั้นตอนการหมัก (Fermentation)	7
2.2.6 ขั้นตอนการกลั่น (Distillation)	8
2.3 การตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์โดยใช้เครื่องอีบูลลิโอมิเตอร์ (EBULLIOMETER)	9
2.3.1 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณแอลกอฮอล์	9
2.3.2 การหาจุดเดือดของน้ำ	9
2.3.3 การหาจุดเดือดของไวน์	9
2.4 ผลพลอยได้จากการผลิตเอทานอล	10
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	11
3.1 การทดลองแบ่งออกเป็น 2	11
3.1.1 ตารางแสดงเงื่อนไขในการหมักด้วยวิธีการอย่างง่าย	11
3.1.2 ตารางแสดงเงื่อนไขในการหมักด้วยวิธีการทางวิชาการ	11
3.2 การหมักด้วยวิธีการอย่างง่าย	12
3.3 การหมักด้วยวิธีการทางวิชาการ	15
3.4 วิธีการทดลองการกลั่น	17

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.5 วิธีการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์โดยใช้เครื่องอีบูลลิโอมิเตอร์(EBULLIOMETER)	20
3.5.1 การหาจุดเดือดของน้ำ	21
3.5.2 การหาจุดเดือดของไวน์	21
3.5.3 การหาจุดเดือดของเอทานอล	21
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	22
4.1 เงื่อนไขในการหมักและการกลั่น	22
4.1.1 ตารางแสดงเงื่อนไขในการหมักด้วยวิธีการอย่างง่าย	22
4.1.2 ตารางแสดงเงื่อนไขในการหมักด้วยวิธีการทางวิชาการ	22
4.2 ผลที่ได้จากการหมักและการกลั่น	23
4.2.1 ค่าผลการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของการหมักด้วยวิธีการอย่างง่าย	23
4.2.2 ค่าผลการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของการหมักด้วยวิธีการทางวิชาการ	23
4.2.3 ค่าผลการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของเอทานอลที่กลั่นได้ด้วยวิธีการหมักอย่างง่าย	24
4.2.4 ค่าผลการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของเอทานอลที่กลั่นได้ด้วยวิธีการหมักทางวิชาการ	24
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	26
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.4 ตารางแสดงขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน	2
3.1.1 ตารางแสดงเงื่อนไขในการหมักด้วยวิธีการอย่างง่าย	11
3.1.2 ตารางแสดงเงื่อนไขในการหมักด้วยวิธีการทางวิชาการ	11
4.1.1 ตารางแสดงเงื่อนไขในการหมักด้วยวิธีการอย่างง่าย	22
4.1.2 ตารางแสดงเงื่อนไขในการหมักด้วยวิธีการทางวิชาการ	22
4.2.1 ค่าผลการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของการหมักด้วยวิธีการอย่างง่าย	23
4.2.2 ค่าผลการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของการหมักด้วยวิธีการทางวิชาการ	23
4.2.3 ค่าผลการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของเอทานอลที่กลั่นได้ด้วยวิธีการหมักอย่างง่าย	24
4.2.4 ค่าผลการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของเอทานอลที่กลั่นได้ด้วยวิธีการหมักทางวิชาการ	24



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดง Ethanol straight-chain ประกอบด้วยโมเลกุลของ Hydroxyl (-OH) ที่ยึดเหนี่ยวกับอะตอมของคาร์บอน(C)	3
2.2 แสดงกระบวนการกลั่นเอทานอล	8
2.3 เครื่องอีบูลลิโอมิเตอร์(EBULLIOMETER)	9
2.4 ผลพลอยได้จากการผลิตเอทานอล	10
3.1 หัวเชื้อแห้งสำเร็จรูป	12
3.2 แสดงการทำความสะอาดถังหมัก	12
3.3 แสดงการเตรียมน้ำกลั่น	13
3.4 แสดงการเตรียมน้ำตาล	13
3.5 แสดงการละลายกากน้ำตาล	13
3.6 แสดงการวัดอุณหภูมิสารละลาย	13
3.7 แสดงการเก็บถังหมักไว้ที่เหมาะสม	14
3.8 หัวเชื้อที่เตรียมไว้เรียบร้อยแล้ว	15
3.9 สารละลายกากน้ำตาล และ Refractometer	15
3.10 แสดงการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C	16
3.11 ทำการเติมหัวเชื้อลงในสารละลายกากน้ำตาล	16
3.12 หมักทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 °C ± 2 °C	17
3.13 น้ำหมักที่พร้อมสำหรับการกลั่น	17
3.14 แสดงการเติมน้ำหมัก	18
3.15 ถังคูลลิ่ง	18
3.16 แสดงระบบการกลั่น	18
3.17 กล่องควบคุมอุณหภูมิหม้อต้ม	19
3.18 หม้อต้มน้ำหมัก	19
3.19 อุณหภูมิหอกลั่นและเอทานอลที่กลั่นได้	19
3.20 เครื่องอีบูลลิโอมิเตอร์(EBULLIOMETER)	20

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
-OH	หมู่ไฮดรอกซิล
C	อะตอมคาร์บอน
CO ₂	คาร์บอนไดออกไซด์
H ₂ SO ₄	กรดซัลฟิวริก
CaSO ₄	แคลเซียมซัลเฟต
°C	องศาเซลเซียส
<i>S. cerevisiae</i>	สายพันธุ์ยีสต์
ETBE	เป็นสารเคมีที่ช่วยเพิ่มค่าออกเทนในน้ำมัน
MTBE	เป็นสารเติมแต่งในน้ำมันเบนซิน
PH	วัดค่าความเป็นกรดเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแป้งจากพืชเป็นน้ำตาลแล้วเปลี่ยนจากน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์เมื่อทำให้เป็นแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 95% โดยการกลั่นจะเรียกว่า เอทานอล (Ethanol) เอทานอลที่นำไปผสมในน้ำมันเพื่อใช้เติมเครื่องยนต์เป็นแอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ตั้งแต่ 99.5% โดยปริมาตรซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและมีผลผลิตทางการเกษตรรวมถึงผลผลิตเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพสามารถใช้เป็นพลังงานได้ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ปาล์ม น้ำมัน แกลบ และชังข้าวโพด เป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าและพลังงานความร้อนสำหรับการผลิตอุตสาหกรรม ส่วนกากน้ำตาล น้ำอ้อย และมันสำปะหลังใช้ผลิตเอทานอลและน้ำมันปาล์มและสเตรินใช้ผลิตไบโอดีเซล เป็นต้น ความเป็นมาของแก๊สโซฮอล์ในประเทศไทยเกิดขึ้นจากแนวพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เมื่อปี 2528 ที่ทรงเล็งเห็นว่าประเทศไทยอาจประสบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำมันและปัญหาพืชผลทางการเกษตรมีราคาตกต่ำจึงทรงมีพระราชดำริให้โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาศึกษาการนำอ้อยมาแปรรูปเป็นเอทานอลโดยการนำเอทานอลที่ผลิตได้นี้มาผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อผลิตเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ และใช้เป็นพลังงานทดแทน ซึ่งในปี 2529 ทางโครงการส่วนพระองค์ได้เริ่มดำเนินการผลิตเอทานอลจากอ้อย จากนั้นจึงได้มีหน่วยงานรัฐและเอกชนให้ความร่วมมือในการพัฒนาเอทานอลที่ใช้เติมรถยนต์อย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2539 การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) ร่วมมือกับสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) และโครงการส่วนพระองค์ได้ร่วมกันปรับปรุงคุณภาพเอทานอลที่ใช้เติมรถยนต์โดยการนำเอทานอลที่โครงการส่วนพระองค์ผลิตได้ที่มีความบริสุทธิ์ 95% ไปกลั่นซ้ำเพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์เป็นเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% แล้วจึงนำมาผสมกับน้ำมันเบนซินออกเทน 91 ในอัตราส่วนของเอทานอลร้อยละ 10 และน้ำมันเบนซินอีกร้อยละ 90 เป็นน้ำมัน “แก๊สโซฮอล์” ทดลองเติมให้กับรถยนต์เบนซินของโครงการส่วนพระองค์

สำหรับโครงการพิเศษนี้จะศึกษากระบวนการหมักเชื้อในการหมักของกากน้ำตาลโดยจะหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้สามารถกลั่นเอทานอลให้ได้ความเข้มข้นมากที่สุดและได้ปริมาณมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนาการกลั่นให้ได้แอลกอฮอล์ปริมาณมากที่สุดและมีความเข้มข้นมากที่สุด
- 2) เพื่อศึกษาและพัฒนาวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์ให้สามารถใช้ได้ในสถานะที่สามารถนำมาทดแทนน้ำมันได้โดยตรง
- 3) เพื่อศึกษาหลักการทำงานของหมัก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องกลั่นและระบบการกลั่น
- 2) ศึกษาวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมสำหรับการหมัก
- 3) ศึกษาการหมักกากน้ำตาลในระบบการกลั่น
- 4) ศึกษาอีสต์ที่เหมาะสมที่จะนำมาทดลองสำหรับการหมักเพื่อการกลั่นเอทานอล

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.4 แสดงขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

ช่วงเวลา	ขั้นตอนการดำเนินงาน
สิงหาคม – พฤศจิกายน พ.ศ. 2558	- ค้นคว้ารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการกลั่น - ค้นคว้าหาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อให้การกลั่นที่ได้มีความเข้มข้นมากที่สุดและได้ปริมาณมากที่สุด
ตุลาคม – พฤศจิกายน พ.ศ. 2558	- ค้นคว้าหาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อทำการหาวัตถุดิบที่จะนำมาทำการกลั่นให้ได้ตามเงื่อนไขที่ต้องการ
พฤศจิกายน – มกราคม พ.ศ. 2559	- ลงมือปฏิบัติทำการกลั่นจริงโดยใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกัน - ทำการทดสอบหาความเข้มข้นของการกลั่นและทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ
มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2559	- นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์ผลเพื่อหาสัดส่วนในการผลิตเอทานอล - สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองของโครงการ

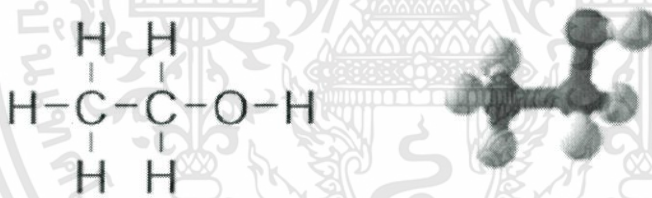
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เพื่อความรู้เรื่องการกลั่นในวิธีต่างๆซึ่งสามารถนำไปต่อยอดในอนาคตได้
- 2) เพื่อให้นักศึกษาสามารถใช้เป็นแลปปฏิบัติการพลังงานทางเลือกได้
- 3) เพื่อเข้าใจแนวทางการพัฒนาพลังงานทดแทนมาใช้เพิ่มมากขึ้นซึ่งช่วยลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศรวมทั้งลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งจะส่งผลดีต่อประเทศชาติโดยรวมอย่างยั่งยืนต่อไปและเผยแพร่ให้กับผู้ที่มีความสนใจได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอทานอล (ethanol) หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ต่ออยู่กับสายโซ่ของไฮโดรคาร์บอน (ดังแสดงในรูปที่ 2.1) มีสูตรทางเคมี C_2H_5OH กระบวนการผลิตเอทานอล มี 2 วิธี คือการผลิตจากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีจากเอทิลีน (ethylene) เราเรียกว่า เอทานอลสังเคราะห์ (synthetic ethanol) และการผลิตจากกระบวนการทางชีวเคมีโดยใช้ผลิตผลจากพืชหรือวัสดุทางการเกษตรจำพวก น้ำตาล แป้ง และเซลลูโลส เป็นวัตถุดิบเราเรียกเอทานอลนี้ว่าไบโอเอทานอล (bio-ethanol) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอเอทานอลนั้นได้จากจัดได้ 2 กลุ่ม คือ 1. พืชที่มีสารประเภท น้ำตาล และแป้ง ได้แก่ อ้อย บีทรูท (beetroot) ข้าวฟ่างหวาน (sweet sorghum) ข้าวโพด ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง มันสำปะหลัง มันฝรั่ง มันเทศ และ 2. จากพวกเซลลูโลส หรือ ลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic Material) เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรตที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์พืชส่วนมากเป็นเส้นใยหรือเป็นผลพลอยได้จากผลผลิตทางการเกษตร เช่น เศษเหลือใช้จากการทำสวนปาล์ม ต้นปาล์ม เส้นใยปาล์ม ทางใบปาล์ม ทะลายปาล์ม จากพืชไร่และนาข้าว ได้แก่ ฟางข้าว ชานอ้อย ชังข้าวโพด รำข้าว และจากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้และกระดาษ เช่น เศษไม้ เศษกระดาษ ไม้เลื่อย วัชพืช และเศษจากโรงกระดาษ เป็นต้น



รูปที่ 2.1 แสดง Ethanol straight-chain ประกอบด้วยโมเลกุลของ Hydroxyl (-OH) ที่ยึดเหนี่ยวกับอะตอมของคาร์บอน (C)

2.1 ประเภทของเอทานอล

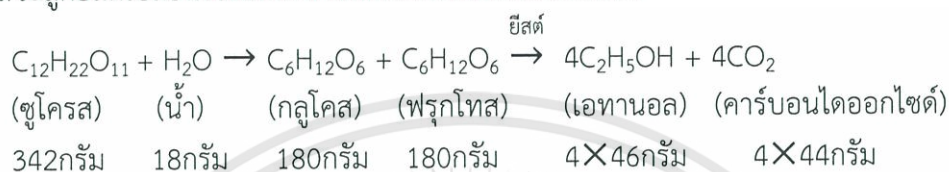
เอทานอล (Ethanol) หรือ (เอทิลแอลกอฮอล์) (Ethyl alcohol) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งเอทานอลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน สามารถละลายทั้งในน้ำและสารละลายอินทรีย์อื่นๆ เป็นแอลกอฮอล์ที่สามารถนำมาบริโภคนอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในรูปเอทานอลไร้น้ำ (Anhydrous ethanol) ที่มีความบริสุทธิ์สูง (เข้มข้นร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร)หรืออาจใช้เป็นเอทานอลที่มีน้ำ (hydrous ethanol) การนำเอาเอทานอลไปใช้นั้นสามารถนำไปใช้ได้หลายทางดังนี้

1. แอลกอฮอล์ที่ใช้รับประทานได้โดยตรง (Portable Alcohol) ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสุราเครื่องสำอางค์ และยา
2. แอลกอฮอล์ที่ไม่ใช้รับประทานโดยตรง (Industrial Alcohol) ตัวอย่างเช่น กรดอะซิติก หรือ กรดน้ำส้ม กรดมะนาว ที่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมทางการแพทย์ และนอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเส้นใยและโลหะ
3. แอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงมีความบริสุทธิ์ สูง 95% หรือ 99.5-99.6% แอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์แตกต่างกันนี้สามารถนำมาใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงได้ 3 แบบดังต่อไปนี้
 - 3.1 แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 95% ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงทดแทนน้ำมัน เบนซิน หรือ ดีเซล ใช้กับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดสูง
 - 3.2 แอลกอฮอล์ 99.5% - 99.6% เมื่อผสมกับน้ำมันเบนซินจะเรียกกันว่าแก๊ซโซฮอล์โดยที่แก๊ซโซฮอล์ 95 หมายถึงการผสมน้ำมันเบนซิน 95 กับเอทานอลในสัดส่วน 9:1 โดยที่ยังรักษาค่าออกเทนไว้ได้ในระดับเดิมสัดส่วนการผสมเอทานอลกับน้ำมันนั้นมีใช้กันอยู่หลายประเภทในหลากหลายประเทศ E85 เป็นชื่อที่เรียกเชื้อเพลิงที่ได้จากการผสมน้ำมันกับเอทานอลโดยมีสัดส่วนของเอทานอลสูงถึง 85% และมีค่าออกเทนสูงมีใช้กันในประเทศในแถบบราซิล อเมริกา และยุโรปอย่างไรก็ดีน้ำมันชนิดนี้ไม่สามารถใช้ได้กับรถยนต์รุ่นส่วนใหญ่ที่ใช้อยู่ในประเทศไทยเนื่องจากต้องเป็นรถยนต์ที่มีเครื่องยนต์ที่ทนต่อการกัดกร่อนสูงกว่าปกติดังนั้นในการใช้น้ำมันชนิดนี้จึงจำเป็นต้องใช้เวลาในการเตรียมความพร้อมทั้งในด้านของผู้ใช้รถยนต์และรวมถึงผู้จำหน่ายน้ำมันที่ต้องคำนึงถึงกระบวนการผลิตและขั้นตอนการจัดจำหน่าย (Electricity and Industry Magazine)
 - 3.3 เป็นสารเคมีที่ช่วยเพิ่มค่าออกเทนในน้ำมันโดยการเปลี่ยนรูปเอทานอลเป็น ETBE (Ethyl Tertiary Butyl Ether) สามารถใช้ทดแทนสาร MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) ซึ่ง MTBE เป็นสารเติมแต่งในน้ำมันเบนซินที่หลายประเทศประกาศห้ามใช้เนื่องจากก่อให้เกิดมลภาวะในอากาศที่สูงกว่าสารเติมแต่งอื่นๆ

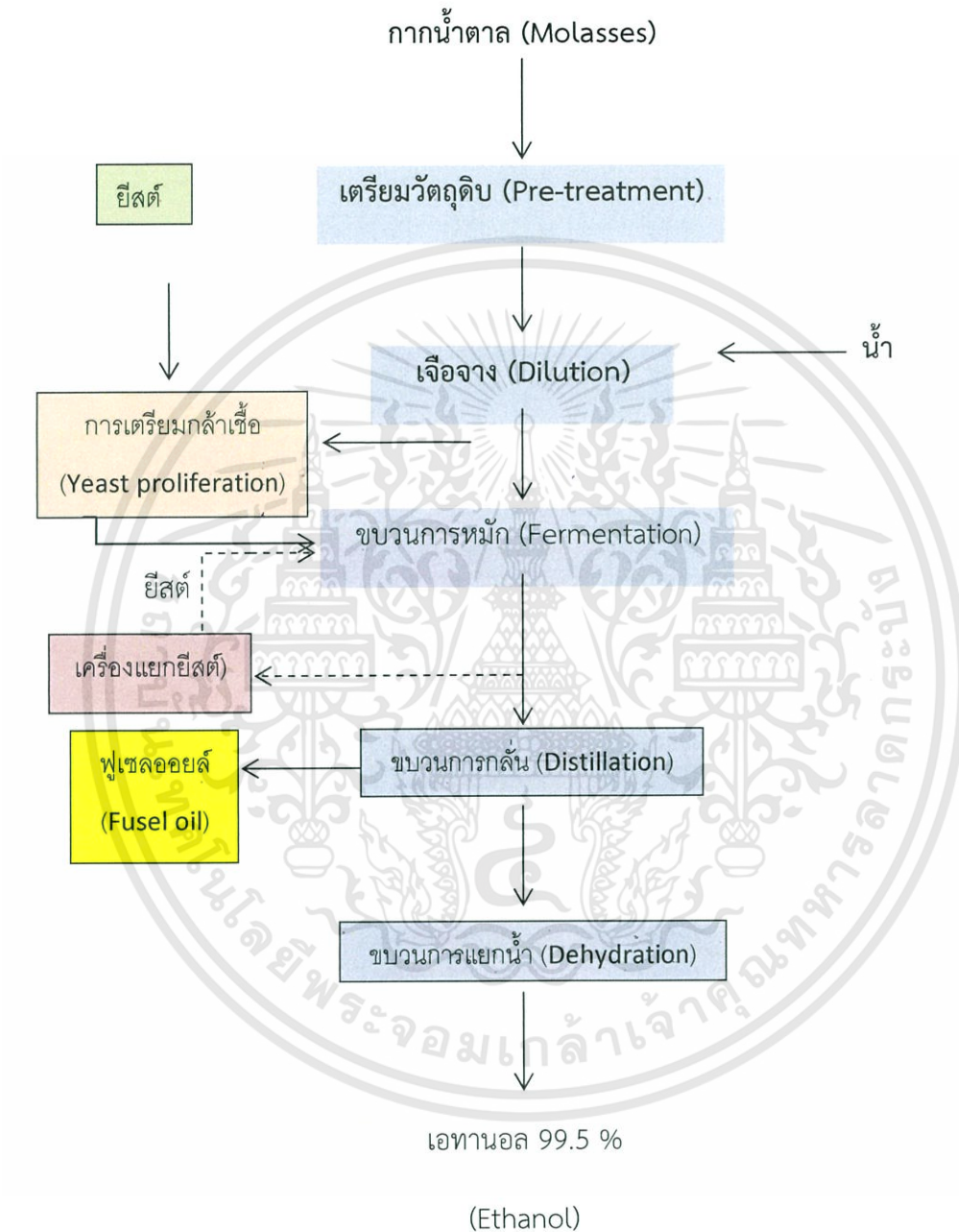
2.2 ขั้นตอนการผลิตเอทานอลด้วยวิธีการหมัก

2.2.1 วัตถุดิบประเภทน้ำตาล วัตถุดิบประเภทน้ำตาลที่ใช้ในการผลิตเอทานอล ได้แก่ อ้อย กากน้ำตาล และ บีทน้ำตาล ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลซูโครสที่เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ชนิด คือ น้ำตาลกลูโคส และ น้ำตาลฟรุกโทส

ในการหมักเอทานอลจากน้ำตาลซูโครสนั้นมีขั้นตอน คือ ขั้นแรกน้ำตาลซูโครสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ได้น้ำตาลกลูโคส และฟรุกโทส จากนั้นน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโทสจะถูกยีสต์เปลี่ยนไปเป็นเอทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์



ขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้ คือ ขั้นตอนการกำจัดสิ่งปนเปื้อน (Pre-treatment) , ขั้นตอนการเจือจาง (Dilution) , ขั้นตอนการเตรียมกล้าเชื้อและการหมัก (Fermentation) , ขั้นตอนการกลั่น (Distillation) และขั้นตอนการแยกน้ำ (Dehydration)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ขั้นตอนการกำจัดสิ่งปนเปื้อน (Pre-treatment)

ในขั้นตอนนี้กากน้ำตาลที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบจะมีองค์ประกอบที่เป็นของแข็ง คือ แคลเซียม ถ้ามีปริมาณมากเกินไปก็จะทำให้ประสิทธิภาพการหมักลดลง โดยทั่วไปกากน้ำตาลจะประกอบด้วยแคลเซียมปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของกากน้ำตาลดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องแยกแคลเซียมออกก่อนการแยกแคลเซียมนั้นทำได้โดยการใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) โดยกรดซัลฟิวริกจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมเกิดเป็นตะกอนของแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) จากนั้นจึงทำการแยกตะกอนออกแล้วนำส่วนใสเข้าสู่ขั้นตอนการเจือจางต่อไป แต่อย่างไรก็ตามบางเทคโนโลยีก็ไม่มีขั้นตอนการกำจัดสิ่งปนเปื้อน (Pre-treatment)

2.2.3 ขั้นตอนการเจือจาง (Dilution)

กากน้ำตาลที่ผ่านขั้นตอนการกำจัดสิ่งปนเปื้อน (Pre-treatment) จะถูกนำมาเจือจางด้วยน้ำร้อนเพื่อลดโอกาสการปนเปื้อนจากเชื้ออื่นและให้ความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเชื้อยีสต์ จากนั้นกากน้ำตาลที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสมก็จะเข้าสู่กระบวนการหมักต่อไป

2.2.4 ขั้นตอนการเตรียมกล้าเชื้อยีสต์ (Yeast propagation)

สายพันธุ์ของยีสต์ที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตเอทานอล คือ *S. cerevisiae* ยีสต์ในสายพันธุ์นี้มีหลากหลายบางสายพันธุ์มีคุณสมบัติสามารถทนต่อเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงให้อัตราการผลิตเอทานอลสูง (Wilkie et al., 2000) สำหรับขั้นตอนการเตรียมกล้าเชื้อนั้นจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อยีสต์ที่ใช้ ได้แก่ เชื้อยีสต์สด (Fresh yeast) และเชื้อผง (Active dry yeast) โดยถ้าใช้เชื้อสดการเก็บรักษาอยู่ในอาหารแข็งการนำมาใช้ต้องทำการเลี้ยงเชื้อก่อน (Refresh) โดยเชื้อยีสต์ที่อยู่บนอาหารแข็งลงในหลอดแก้วขนาดเล็กที่มีอาหารเหลวจากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเชื้อยีสต์ที่ได้ไปเลี้ยงเพื่อขยายปริมาณต่อจนได้ปริมาณกล้าเชื้อที่ต้องการ (คิดเป็นร้อยละ 5-10 โดยปริมาตรของปริมาตรของถังหมักที่ใช้) ซึ่งต้องใช้เวลาบางส่วนการใช้ยีสต์ผงนั้นการเตรียมกล้าเชื้อจะทำได้ง่ายกว่าโดยใช้ปริมาณเชื้อยีสต์ที่เหมาะสมแล้วนำมาเลี้ยงเชื้อโดยใช้เวลา 4-6 ชั่วโมง ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าการใช้เชื้อสดแต่มีข้อเสียคือราคาแพง

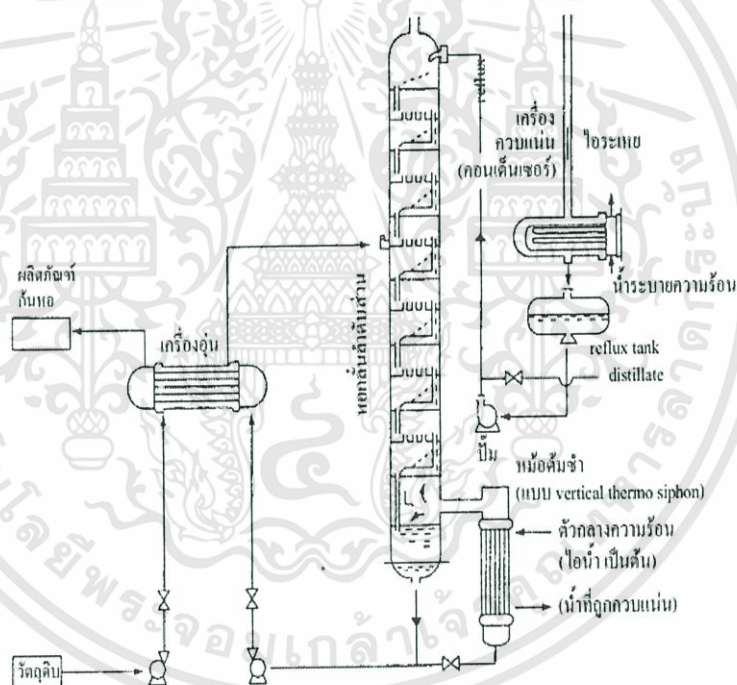
2.2.5 ขั้นตอนการหมัก (Fermentation)

สำหรับกระบวนการหมักเอทานอลนั้น สามารถทำได้หลายแบบทั้งการหมักแบบครั้งเดียว (Batch) และการหมักแบบต่อเนื่อง (Continuous) แต่โดยส่วนใหญ่แล้วการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลนั้นจะใช้กระบวนการหมักแบบต่อเนื่องซึ่งมีข้อดีคือต้นทุนต่ำในการลงทุนสำหรับอุปกรณ์จะต่ำกว่าการหมักแบบครั้งเดียวและไม่ต้องเสียเวลาในการทำความสะอาดระบบการหมักแต่ก็มีข้อเสียคือโอกาสปนเปื้อนจากเชื้ออื่นสูง (Roehr, 2001) นอกจากนี้ในระบบการผลิตเอทานอลแบบต่อเนื่องยังสามารถแยกเอาเชื้อยีสต์ที่ออกมาจากระบบหมุนเวียนกลับเข้าไปในถังหมักใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหมักให้ดีขึ้น

หลังจากผ่านกระบวนการหมักจะได้รับความเข้มข้นของเอทานอลในน้ำหมักประมาณร้อยละ 9-12 ในขั้นตอนการหมักนั้นนอกจากจะได้เอทานอลเป็นผลผลิตแล้วยังมีคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ด้วยโดยน้ำตาลกลูโคส 100 กรัม จะผลิตเอทานอลได้ 51.1 กรัม และคาร์บอนไดออกไซด์ 48.9 กรัม

2.2.6 ขั้นตอนการกลั่น (Distillation)

เป็นกระบวนการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ร้อยละ 95 โดยหลักการทำงานนั้นจะมีการให้ความร้อนแก่น้ำสา (มีเอทานอลเริ่มต้นประมาณร้อยละ 7-11) ด้วยไอน้ำทำให้เอทานอลในน้ำสาระเหยกลายเป็นไอ แต่ก็จะมีน้ำระเหยขึ้นมาพร้อมกับไอเอทานอลด้วยซึ่งความเข้มข้นของเอทานอลในไอจะเข้มข้นกว่าในของเหลวการที่จะกลั่นให้ได้เอทานอลความเข้มข้นสูงๆนั้นต้องทำให้เอทานอลระเหยและควบแน่นหลายๆครั้งซึ่งในแต่ละครั้งความเข้มข้นของเอทานอลจะสูงขึ้นเรื่อยๆภายในหอกลั่นแต่ก็ไม่สามารถกลั่นให้ได้ความเข้มข้นถึงร้อยละ 100 เพราะเมื่อกั่นเอทานอลมีความเข้มข้นร้อยละ 96 ความเข้มข้นของไอเอทานอลที่ระเหยออกมาจากของเหลวจะเท่ากับความเข้มข้นของเอทานอลในของเหลวจึงทำให้ไม่สามารถกลั่นแยกเอทานอลให้ได้ความเข้มข้นถึงร้อยละ 100 ได้ ดังนั้นเอทานอลที่ได้จากการกลั่นหอกลั่นจะกำหนดให้มีความบริสุทธิ์ที่ร้อยละ 95 สำหรับในกระบวนการกลั่นนั้นจะได้ฟูเซลอยล์ (Fusel oil) เป็นผลผลิตพลอยได้โดยในการผลิตเอทานอล 1,000 ลิตร จะได้ฟูเซลอยล์ 5 ลิตร และมีน้ำกากสาเป็นน้ำเสียด้วยโดยการผลิตเอทานอล 1 ลิตร จะมีน้ำกากสา 10-15 ลิตร



รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการกลั่นเอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์โดยใช้เครื่องอีบูลิโอมิเตอร์(EBULLIOMETER)

หลักการของเครื่องมือชนิดนี้เกี่ยวข้องกับจุดเดือดโดยปกติจุดเดือดของเอทานอลประมาณ 76-78 °C และจุดเดือดของน้ำประมาณ 100 °C ถ้าตัวอย่างไวน์มีแอลกอฮอล์สูงจุดเดือดจะใกล้เคียงกับจุดเดือดของเอทานอลแต่ถ้าตัวอย่างไวน์มีแอลกอฮอล์ต่ำจุดเดือดจะใกล้เคียงจุดเดือดของน้ำ

2.3.1 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณแอลกอฮอล์

ทำการหาจุดเดือดของน้ำ เนื่องจากความดันบรรยากาศมีผลต่อจุดเดือดของน้ำจึงต้องทำการตรวจสอบจุดเดือดของน้ำวันละหลายครั้งเมื่อได้จุดเดือดของน้ำแล้วนำไปบันทึกหรือตั้ง scale

เจือจางไวน์ถ้าหากไวน์มีปริมาณแอลกอฮอล์มากกว่า 25% ในการเจือจางควรใช้ volumetric pipet และ volumetric flasks นำน้ำที่ใช้เจือจางควรมีอุณหภูมิเดียวกันไวน์ และควรทำการเจือจางอย่างระมัดระวัง

หาจุดเดือดของไวน์ เมื่อได้จุดเดือดของไวน์ นำไปอ่านค่าจากตารางหรือ sliding scale แล้วคูณด้วย dilution factor เพื่อหาปริมาณของแอลกอฮอล์ที่แท้จริงของไวน์ที่ไม่ได้เจือจาง (วิธีการหาจุดเดือดของน้ำและไวน์ทำตามวิธีการข้างล่างนี้)

2.3.2 การหาจุดเดือดของน้ำ

เติมแอลกอฮอล์ ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงลงในตะเกียง

Rinse หม้อต้มด้วยน้ำจากนั้นเทน้ำลงไปในหม้อต้ม โดยวัดปริมาตรของน้ำด้วยหลอดแก้วให้ได้เท่าขีด EAU หรือ 15 มล.

วางเทอร์โมมิเตอร์ลงที่จุด “A”

จุดตะเกียงไว้ใต้ “B” ทันทีที่ปรอทเริ่มขึ้น ไอน้ำจะออกมาบนจุดสูงสุดของ cooler

อ่านอุณหภูมิเมื่อปรอทคงที่ เช่นอ่านได้ 100.1 นำไปตั้งบนแผ่น sliding scale โดยตั้งไว้ที่ 100.1 แล้วล็อคไว้ให้ scale 100.1 ด้านในตรงกับ scale 0 ด้านนอก

2.3.3 การหาจุดเดือดของไวน์

เปิดก๊อก “F” rinse ด้วยไวน์ที่จะทดสอบประมาณ 5-10 มล. แล้วเททิ้ง

เทไวน์ลงในหม้อต้ม (วัดปริมาตรขีด VIN หรือ 50 มล.)

วางเทอร์โมมิเตอร์ที่จุด “A”

เติมน้ำใน cooling tank “ D-E ”

ให้ความร้อน ปรอทจะขึ้นและหยุดในที่สุด คอยจนกระทั่งปรอทคงที่ (ปรอทจะขึ้นลงอ่านจุดที่สูงที่สุด) ตัวอย่างเช่น อ่านได้ 90.7 นำไปเทียบกับ sliding scale อ่าน % ของแอลกอฮอล์ซึ่งจะอ่านได้ 13.5% โดยปริมาตร (ตาม scale ด้านนอก)



รูปที่ 2.3 เครื่องอีบูลิโอมิเตอร์(EBULLIOMETER)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ผลพลอยได้จากการผลิตเอทานอล

ในกระบวนการผลิตเอทานอลนอกจากได้เอทานอลเป็นผลิตภัณฑ์หลักแล้วยังเกิดผลิตภัณฑ์รองหรือผลพลอยได้!อีกหลายๆผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ฟิวเซลอยล์ และอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีของเสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิตด้วย เช่นน้ำเสียจากกระบวนการกลั่นกากที่ออกจากขั้นตอนการหมักและขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเป็นต้น ซึ่งส่วนต่างๆเหล่านี้หากปล่อยไปสู่สิ่งแวดล้อมจะก่อให้เกิดมลภาวะเพื่อเป็นการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมและลดต้นทุนการผลิตลดลง ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์รองและของเสียขึ้นอาทิ

- กระบวนการกำจัดน้ำกากสำโดยการแปรรูปไปเป็นปุ๋ยชีวภาพอาหารสัตว์หรือก๊าซชีวภาพ
- กระบวนการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยการทำให้บริสุทธิ์และแปรรูปไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องทำความเย็น น้ำอัดลม น้ำโซดา น้ำแข็งแห้ง เครื่องมือดับเพลิง เป็นต้น
- กระบวนการกำจัดฟิวเซลอยล์โดยการแปรรูปไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแกล็กเกอร์ผสมทำกาว น้ำหอมบางชนิด ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช และอื่นๆ



รูปที่ 2.4 ผลพลอยได้จากการผลิตเอทานอล

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

- 1) การหมักด้วยวิธีการอย่างง่าย
- 2) การหมักด้วยวิธีการทางวิชาการ

3.1.1 ตารางแสดงเงื่อนไขในการหมักด้วยวิธีการอย่างง่าย

ครั้งที่	อัตราส่วน (กรัม)	กากน้ำตาล (กรัม)	น้ำกลั่น (ลิตร)	ยีสต์ (กรัม)	ความดันไอ (Bar)	อุณหภูมิหม้อต้ม (องศาเซลเซียส)
1	500	5	100	2	180	
2	700	7	150	2	120	
3	700	7	150	2	150	
4	700	7	150	2	180	
5	700	7	150	2	180	
6	700	7	200	2	180	
7	700	7	300	2	180	
8	700	7	500	2	180	
9	700	7	50	0.5	180	
10	700	7	100	2	180	

3.1.2 ตารางแสดงเงื่อนไขในการหมักด้วยวิธีการทางวิชาการ

ครั้งที่	อัตราส่วน	น้ำหมักจากภาควิชา ชีววิทยา(ลิตร)	ความดันไอ (Bar)	อุณหภูมิหม้อต้ม (องศาเซลเซียส)
11	6	2	180	
12	6	2	180	

3.2 การหมักด้วยวิธีการอย่างง่าย

การเตรียมหัวเชื้อ (Starter)



รูปที่ 3.1 หัวเชื้อแห้งสำเร็จรูป

ยีสต์ที่ใช้ในการทดลองคือยีสต์ขนมปังเป็นยีสต์แห้งสำเร็จรูปง่ายสำหรับการเตรียมสามารถชั่งปริมาณยีสต์ได้ตามเงื่อนไขที่ทดลอง

ขั้นตอนการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อถึงหมัก



รูปที่ 3.2 แสดงการทำความสะอาดถึงหมัก

จะต้องทำความสะอาดถึงหมักทุกครั้งก่อนทำการหมักเพื่อที่จะไม่ให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียที่จะส่งผลกระทบในระการหมักได้โดยจะต้องทำการเช็ดถึงหมักด้วยแอลกอฮอล์ด้านในตัวถังและฝาปิดถึงหมักด้วยจากนั้นต้มน้ำเดือดแล้วเทลงในถึงจากนั้นทำการล้างถึงเป็นการฆ่าเชื้อโดยน้ำร้อนอีกครั้งหนึ่งเพราะทุกขั้นตอนต้องทำให้ปลอดเชื้อแบคทีเรียและสะอาดมากที่สุด

ขั้นตอนการหมัก



รูปที่ 3.3 แสดงการเตรียมน้ำกลั่น
ทำการตวงน้ำกลั่นในปริมาณตามเงื่อนไขที่ต้องการทดลอง



รูปที่ 3.4 แสดงการเตรียมน้ำตาล
ทำการตวงกากน้ำตาลในปริมาณตามเงื่อนไขที่ต้องการทดลอง

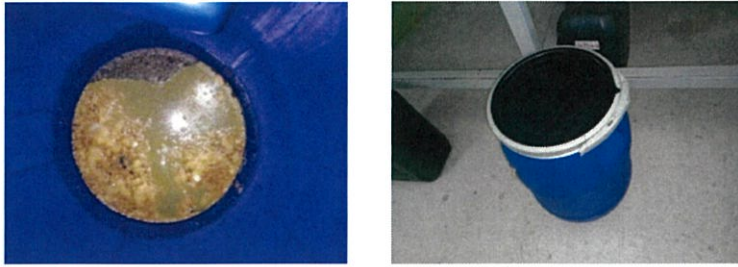


รูปที่ 3.5 แสดงการละลายกากน้ำตาล
ตม่น้ำให้เดือดแล้วเทลงในสารละลายกากน้ำตาลเพื่อให้กากน้ำตาลและน้ำกลั่นละลายเป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ 3.6 แสดงการวัดอุณหภูมิสารละลาย
นำเทอร์โมมิเตอร์มาวัดอุณหภูมิของสารละลายให้มีอุณหภูมิของสารละลายอยู่ที่ 30-35 °C
จึงจะสามารถเทหัวเชื้อหรือยีสต์ที่เตรียมไว้ลงในสารละลายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



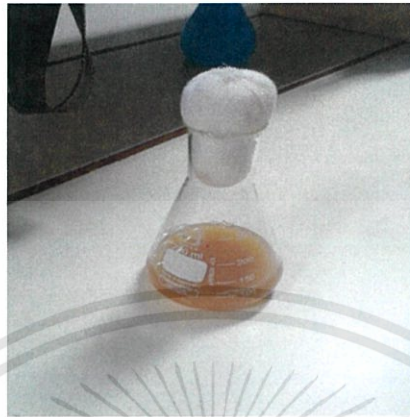
รูปที่ 3.7 แสดงการเก็บถังหมักไว้ที่เหมาะสม

เทหัวเชื้อหรือยีสต์ที่ได้เตรียมไว้ลงในสารละลายกากน้ำตาลแล้วขนให้เข้ากันจากนั้นปิดฝาถังหมักให้มิดชิดเพื่อป้องกันเชื้อแบคทีเรียและนำไปวางในที่อุณหภูมิประมาณ 30 °C จากนั้นปล่อยให้หมักไว้เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมงจึงจะสามารถนำน้ำหมักไปทำการกลั่นต่อไปได้



3.3 การหมักด้วยวิธีการทางวิชาการ

การเตรียมหัวเชื้อ (Starter)



รูปที่ 3.8 หัวเชื้อที่เตรียมไว้เรียบร้อยแล้ว

ยีสต์ที่ใช้ในการทดลองคือ ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ใช้ปริมาณทั้งหมด 600 มิลลิลิตรต่อสารละลายกากน้ำตาล 6 ลิตร

การหมัก (Fermentation)

สารละลายกากน้ำตาล



Refractometer



รูปที่ 3.9 สารละลายกากน้ำตาล และ Refractometer

ในขั้นตอนกระบวนการหมักนี้เราจะต้องทำการปรับค่าความหวานของกากน้ำตาลนี้โดยการนำกากน้ำตาลที่เตรียมไว้แล้วมาทำการต้มกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน กากน้ำตาล 500 กรัม น้ำกลั่น 5000 กรัม ในปริมาณที่เราต้องการจะทำการกลั่นเพื่อให้ได้สารละลายทั้งหมดประมาณ 6 ลิตร จากนั้นทำการวัดค่าความหวานโดยใช้เครื่อง Refractometer ในการวัดโดยจะต้องปรับค่าความหวานให้ได้ 15-20 brix โดยเติม $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.1 % และทำการปรับค่า PH ให้ได้ 4-5 โดยการเติม H_2SO_4

เครื่อง Autoclave



รูปที่ 3.10 แสดงการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C
หลังจากทำการปรับค่าเพื่อเหมาะสมแก่สภาวะการหมักเรียบร้อยแล้วจากนั้นทำการแบ่งสารละลายใส่ Flask แล้วนำไปฆ่าเชื้อในเครื่อง Autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C



รูปที่ 3.11 ทำการเติมหัวเชื้อลงในสารละลายกากน้ำตาล
จากที่ได้ทำการฆ่าเชื้อเรียบร้อยแล้วจากนั้นนำสารละลายเอามาจากเครื่อง Autoclave แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นสักพักเพื่อให้อยู่ในอุณหภูมิห้องแล้วทำการเติมหัวเชื้อที่ได้เตรียมไว้ตั้งแต่ขั้นต้นในปริมาณ 5-10 % ของปริมาณสารละลายทั้งหมด



รูปที่ 3.12 หมักทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง $30^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ หลังจากที่ได้เติมหัวเชื้อลงไปในสารละลายเรียบร้อยแล้วจากนั้นนำสารละลายทั้งหมดไปหมักทิ้งไว้ในที่ปลอดเชื้อโดยมีตาข่ายล้อมรอบไว้ซึ่งทำการหมักเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง

3.4 วิธีการทดลองการกลั่น



รูปที่ 3.13 น้ำหมักที่พร้อมสำหรับการกลั่น ทำการกรองตะกอนที่มีในน้ำหมักออกเอาเฉพาะสารละลายเท่านั้น



รูปที่ 3.14 แสดงการเติมน้ำหมัก
นำน้ำหมักที่กรองแล้วมาเติมลงในหม้อต้ม



รูปที่ 3.15 ถัง쿨ลิ่ง
ทำการ cooling เตรียมไว้สำหรับการควบแน่นอุณหภูมิของน้ำอยู่ที่ 15 °C



รูปที่ 3.16 แสดงระบบการกลั่น
ตรวจเช็คระบบไฟฟ้าระบบวาล์วทุกระบบก่อนทำการเดินเครื่อง

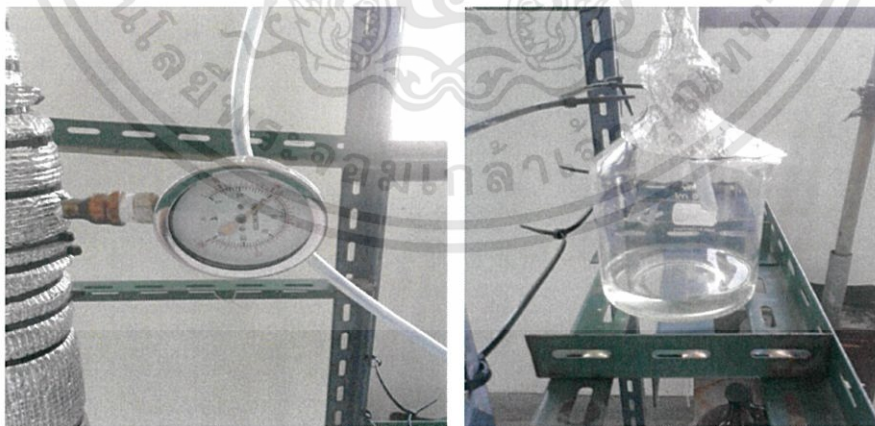
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 กล่องควบคุมอุณหภูมิหม้อต้ม
เปิดสวิตซ์เพื่อให้ Heater ทำความร้อนให้กับหม้อต้ม(ระบบพร้อมทำการกลั่น)สามารถปรับอุณหภูมิของหม้อต้มโดย Temp control ได้ตามเงื่อนไขที่ทำการทดลอง

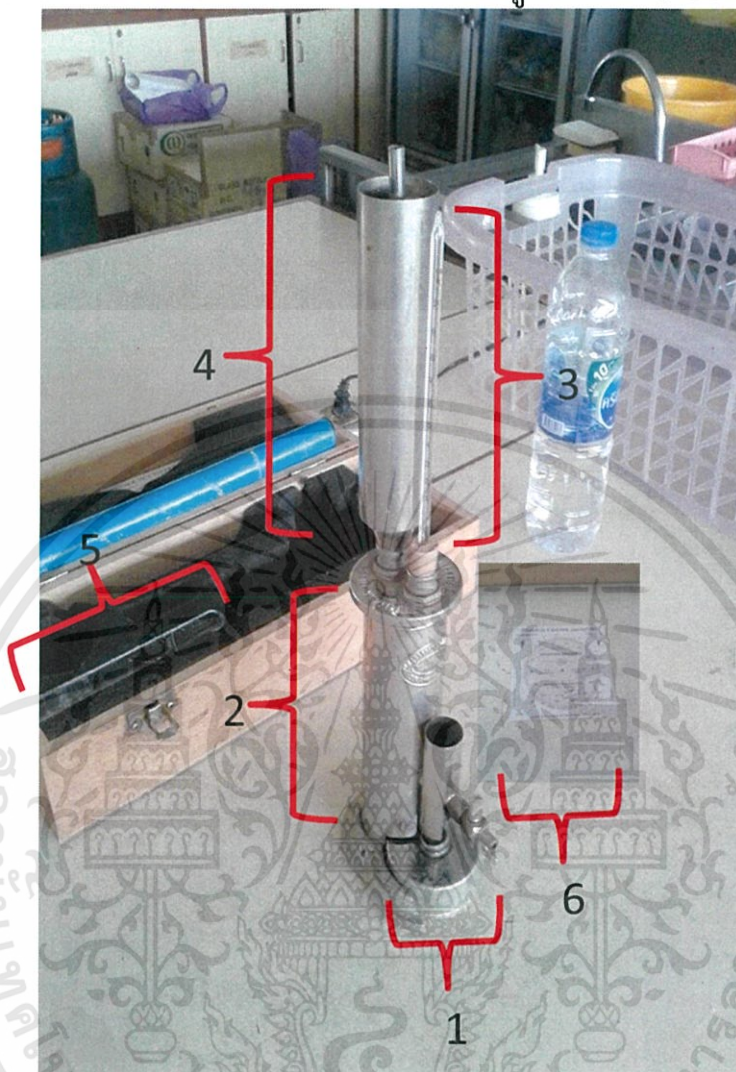


รูปที่ 3.18 หม้อต้มน้ำหมัก
สังเกตความดันไอของหม้อต้มและทำการจดบันทึกค่าของ เวลา(นาท)ในระหว่างการกลั่น
ทุกๆ5นาทีอุณหภูมิหม้อต้ม($^{\circ}\text{C}$), อุณหภูมิหอกลั่น($^{\circ}\text{C}$), ความดัน(Bar)



รูปที่ 3.19 อุณหภูมิหอกลั่นและเอทานอลที่กลั่นได้
สังเกตที่อุณหภูมิของหอกลั่นเมื่ออุณหภูมิอยู่ระหว่าง $76-78^{\circ}\text{C}$ จะเริ่มสังเกตเห็นหยดของเอ
ทานอลที่ได้จากการควบแน่น

3.5 วิธีการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์โดยใช้เครื่องอีบูลลิโอมิเตอร์(EBULLIOMETER)



รูปที่ 3.20 เครื่องอีบูลลิโอมิเตอร์(EBULLIOMETER)

ส่วนประกอบ

1. Lamp alcohol
2. Ebulliometer boiler
3. Standardized centigrade thermometer
4. Cooling tank
5. Measuring cylinder
6. Sliding scale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

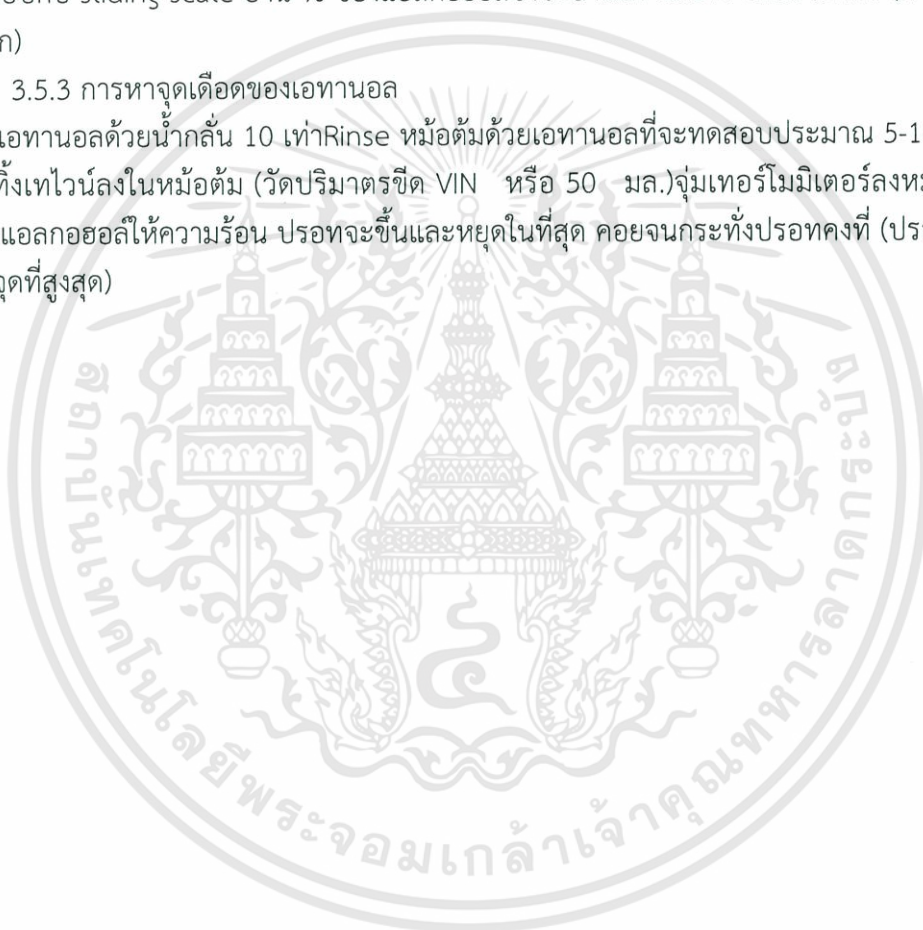
3.5.1 การหาจุดเดือดของน้ำเติมน้ำเย็นลงใน cooling tank ให้เติม Rinse หม้อต้มด้วยน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นโดยใช้หลอดแก้ววัดปริมาตรให้ได้เท่าขีด EAU หรือ 15 มล. จุ่มเทอร์โมมิเตอร์ลงหม้อต้มจุดตะเกียงแอลกอฮอล์อ่านอุณหภูมิเมื่อปรอทคงที่ เช่นอ่านได้ 100.1 นำไปตั้งบนแผ่น sliding scale โดยตั้งไว้ที่ 100.1 แล้ว ล็อคไว้ให้ scale 100.1 ด้านในตรงกับ scale 0 ด้านนอก

3.5.2 การหาจุดเดือดของไวน์

Rinse หม้อต้มด้วยไวน์ที่จะทดสอบประมาณ 5-10 มล. แล้วเททิ้งเทไวน์ลงในหม้อต้ม (วัดปริมาตรขีด VIN หรือ 50 มล.) จุ่มเทอร์โมมิเตอร์ลงหม้อต้มจุดตะเกียงแอลกอฮอล์ให้ความร้อน ปรอทจะขึ้นและหยุดในที่สุด คอยจนกระทั่งปรอทคงที่ (ปรอทจะขึ้นลงอ่านจุดที่สูงที่สุด) ตัวอย่างเช่น อ่านได้ 90.7 นำไปเทียบกับ sliding scale อ่าน % ของแอลกอฮอล์ซึ่งจะอ่านได้ 13.5% โดยปริมาตร (ตาม scale ด้านนอก)

3.5.3 การหาจุดเดือดของเอทานอล

เจือจางเอทานอลด้วยน้ำกลั่น 10 เท่า Rinse หม้อต้มด้วยเอทานอลที่จะทดสอบประมาณ 5-10 มล. แล้วเททิ้งเทไวน์ลงในหม้อต้ม (วัดปริมาตรขีด VIN หรือ 50 มล.) จุ่มเทอร์โมมิเตอร์ลงหม้อต้มจุดตะเกียงแอลกอฮอล์ให้ความร้อน ปรอทจะขึ้นและหยุดในที่สุด คอยจนกระทั่งปรอทคงที่ (ปรอทจะขึ้นลงอ่านจุดที่สูงที่สุด)



บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 เงื่อนไขในการหมักและการกลั่น

4.1.1 ตารางแสดงเงื่อนไขในการหมักด้วยวิธีการอย่างง่าย

ครั้งที่	อัตราส่วน	กากน้ำตาล (กรัม)	น้ำกลั่น (ลิตร)	ยีสต์ (กรัม)	ความดันไอ (Bar)	อุณหภูมิหม้อต้ม (องศาเซลเซียส)
1		500	5	100	2	180
2		700	7	150	2	120
3		700	7	150	2	150
4		700	7	150	2	180
5		700	7	150	2	180
6		700	7	200	2	180
7		700	7	300	2	180
8		700	7	500	2	180
9		700	7	50	0.5	180
10		700	7	100	2	180

4.1.2 ตารางแสดงเงื่อนไขในการหมักด้วยวิธีการทางวิชาการ

ครั้งที่	อัตราส่วน	น้ำหมักจากภาควิชา ชีววิทยา(ลิตร)	ความดันไอ (Bar)	อุณหภูมิหม้อต้ม (องศาเซลเซียส)
11		6	2	180
12		6	2	180

4.2 ผลที่ได้จากการหมักและการกลั่น

จากการทดลองทำการหมักและการกลั่นเอทานอลใน 2 สภาวะคือ การหมักอย่างง่ายและการหมักในทางวิชาการ ซึ่งผลการทดลองอยู่ในภาคผนวก

ตาราง 4.2.1 ค่าผลการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของการหมักด้วยวิธีการอย่างง่าย

ครั้งที่	ผลการทดลอง	จุดเดือดของน้ำ (องศาเซลเซียส)	จุดเดือดของ น้ำหมัก (องศาเซลเซียส)	ปริมาณแอลกอฮอล์ ในน้ำหมัก(%)	ปริมาณ เอทานอล ที่กลั่นได้ (มิลลิลิตร)
1		97.5	95.5	2.15	0
2		97	95	2.1	0
3		98	96.1	2.05	0
4		98	96	2.15	115
5		98	96	2.15	158
6		98	96.2	1.9	85
7		98	96	2.15	161
8		98	96	2.15	160
9		98	96.1	2.05	144
10		97.5	95.5	2.15	155

จากตารางที่ 4.2.1 แสดงผลการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของการหมักอย่างง่ายซึ่งในแต่ละการทดลองก็มีอัตราส่วนในการหมักและการกลั่นแตกต่างกันไปจากตารางการทดลองจะเห็นได้ว่าการหมักครั้งที่ 7 ซึ่งมีอัตราส่วนในการหมักและเงื่อนไขการกลั่นคือ อัตราส่วน: กากน้ำตาล 700 กรัม : น้ำกลั่น 7 ลิตร : ยีสต์ 300 กรัม เงื่อนไขการกลั่น ความดันไอ: 2 Bar : อุณหภูมิหม้อต้ม 180 องศาเซลเซียส เห็นได้ว่าเอทานอลที่กลั่นได้มีปริมาณมากที่สุดคือ 161 มิลลิลิตร การหมักครั้งที่ 1,2,3 ไม่สามารถกลั่นเอทานอลได้เนื่องจากเงื่อนไขในการกลั่นไม่เหมาะสมสำหรับการกลั่นเอทานอลเพราะอุณหภูมิหม้อต้มไม่ได้ต้มที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

ตาราง 4.2.2 ค่าผลการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของการหมักด้วยวิธีการทางวิชาการ

ครั้งที่	ผลการทดลอง	จุดเดือดของน้ำ (องศาเซลเซียส)	จุดเดือดของ น้ำหมัก (องศาเซลเซียส)	ปริมาณแอลกอฮอล์ ในน้ำหมัก(%)	ปริมาณ เอทานอล ที่กลั่นได้ (มิลลิลิตร)
11		98	96	2.15	99
12		98	93.5	5.3	230

จากตารางที่ 4.2.2 แสดงผลการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของการหมักด้วยวิธีการทางวิชาการซึ่งทั้งสองการทดลองนี้ได้ทำการหมักที่ภาควิชาชีววิทยาซึ่งทำการหมักในปริมาณ 6 ลิตร ซึ่งได้ผลการทดลองที่แตกต่างกันเนื่องจากระยะเวลาในการหมักของทั้งสองครั้งแตกต่างกันแต่ในการหมักครั้งที่ 12 ทำการหมักตามระยะเวลาที่กำหนดจึงทำให้ได้ผลการทดลองดีคือสามารถตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ได้ถึง 5.3 % ของสารละลายทั้งหมดและสามารถกลั่นเอทานอลได้ปริมาณ 230

มิลลิลิตร ผลที่ได้แตกต่างกันมากเนื่องจากระยะเวลาในการหมักแตกต่างกัน การกลั่นครั้งที่ 11 มีระยะเวลาในการหมักเป็นเวลา 1 เดือนไม่ตรงตามหลักวิชาการ การหมักครั้งที่ 12 มีระยะเวลาในการหมักเป็นเวลา 48 ชั่วโมงซึ่งตรงตามหลักวิชาการจึงได้ผลการทดลองที่แตกต่างกัน

ตาราง 4.2.3 ค่าผลการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของเอทานอลที่กลั่นได้ด้วยวิธีการหมักอย่างง่าย

ครั้งที่	ผลการทดลอง	จุดเดือดของน้ำ (องศาเซลเซียส)	จุดเดือดของเอทานอล (องศาเซลเซียส)	ปริมาณ แอลกอฮอล์ (%)	เอทานอล (มิลลิลิตร)
1		0	0	0	0
2		0	0	0	0
3		0	0	0	0
4		98	91.9	76	115
5		98	92	74.1	158
6		97	91	74	85
7		98	92	74	161
8		98	91.9	76	160
9		98	92	74.5	144
10		98	91.9	76	155

จากตารางที่ 4.2.3 แสดงผลการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของเอทานอลที่กลั่นได้ด้วยวิธีการหมักอย่างง่ายจากตารางการทดลองจะเห็นได้ว่าการกลั่น 10 ครั้งด้วยวิธีการหมักอย่างง่ายสามารถกลั่นได้เอทานอลทั้งหมด 7 ครั้ง เห็นได้ว่าการกลั่นครั้งที่ 4,8,10 สามารถกลั่นแล้วได้ความเข้มข้นถึง 76%

ตาราง 4.2.4 ค่าผลการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของเอทานอลที่กลั่นได้ด้วยวิธีการหมักทางวิชาการ

ครั้งที่	ผลการทดลอง	จุดเดือดของน้ำ (องศาเซลเซียส)	จุดเดือดของเอทานอล (องศาเซลเซียส)	ปริมาณ แอลกอฮอล์ (%)	เอทานอล (มิลลิลิตร)
11		98.1	91.5	84	99
12		98	91.1	89	230

จากตารางที่ 4.2.4 แสดงผลการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของเอทานอลที่กลั่นได้ด้วยวิธีการหมักทางวิชาการซึ่งทั้งสองการทดลองนี้ได้ทำการหมักที่ภาควิชาชีววิทยาซึ่งทำการหมักในปริมาณ 6 ลิตรซึ่งได้ผลการทดลองที่แตกต่างกันเนื่องจากระยะเวลาในการหมักของทั้งสองครั้งแตกต่างกันแต่ในการหมักครั้งที่ 12 ทำการหมักตามระยะเวลาที่กำหนดจึงทำให้ได้ผลการทดลองดีคือสามารถตรวจวัดความเข้มข้นได้ถึง 89% และสามารถกลั่นเอทานอลได้ปริมาณมากที่สุดจากการกลั่นทั้งหมด 12 ครั้ง และได้ปริมาณของเอทานอลที่กลั่นได้คือ 230 มิลลิลิตร ผลที่ได้แตกต่างกันมากเนื่องจากระยะเวลาในการหมักแตกต่างกัน การกลั่นครั้งที่ 11 มีระยะเวลาในการหมักเป็นเวลา 1 เดือนไม่ตรงตามหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิชาการ การหมักครั้งที่ 12 มีระยะเวลาในการหมักเป็นเวลา 48 ชั่วโมงซึ่งตรงตามหลักวิชาการจึงได้ผลการทดลองที่แตกต่างกัน

จากตารางที่ 4.1.1-4.1.4 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของผลการทดลองในระหว่างการหมักด้วยวิธีการอย่างง่ายและการหมักด้วยวิธีการทางวิชาการซึ่งผลที่ได้จากการหมักทางวิชาการจะได้ผลที่มีแนวโน้มที่ดีกว่าการหมักอย่างง่ายทั้งนี้ก็เนื่องจากการหมักในทางวิชาการจะใช้ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ในการหมักซึ่งเป็นยีสต์ที่ผลิตแอลกอฮอล์โดยเฉพาะแต่สำหรับการหมักอย่างง่ายเราจะใช้ยีสต์แห้งสำเร็จรูปในการหมักซึ่งก็สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้แต่จะได้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่น้อยจากผลการทดลองที่ได้ก็ต้องขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการกลั่นเป็นสำคัญอีกด้วยคือ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทดลองต้องใช้อุณหภูมิหม้อ 180 °C และจะต้องมีน้ำหมักในหม้อต้มในปริมาณ 6 ลิตรขึ้นไปจึงจะสามารถทำการกลั่นเอทานอลได้



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษากระบวนการหมัก 2 แบบคือ การหมักอย่างง่ายและการหมักทางวิชาการโดยการหมักอย่างง่ายใช้ยีสต์แห้งสำเร็จรูปของขนมปังในกระบวนการหมักและการหมักทางวิชาการใช้ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ในกระบวนการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ในปริมาณมากที่สุดและได้ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์มากที่สุดโดยมีเงื่อนไขสำหรับการหมักและการกลั่นของในแต่ละการทดลองแตกต่างกันไปและศึกษาระบบหอกลั่นเอทานอลและหลักการในการกลั่นเอทานอลซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้ เงื่อนไขสำหรับการกลั่นที่จะสามารถกลั่นเอทานอลออกมาได้ต้องมีเงื่อนไขดังนี้ อุณหภูมิหม้อต้ม 180°C สารละลายน้ำหมักในหม้อต้มปริมาณ 6 ลิตร เป็นอย่างน้อยในกระบวนการหมักอย่างง่ายซึ่งทำการทดลองทั้งหมด10ครั้งซึ่งได้ผลดังนี้ การกลั่นครั้งที่1-3ไม่ได้เอทานอลจากการกลั่น การกลั่นเอทานอลครั้งที่ 7 ได้เอทานอลปริมาณมากที่สุด 161 มิลลิลิตร การกลั่นเอทานอลครั้งที่ 6 ได้เอทานอลปริมาณน้อยที่สุด 85 ลิตร และมีปริมาณแอลกอฮอล์ของการทดลองทั้ง10ครั้งเฉลี่ย 2.1% และ ผลการตรวจปริมาณความเข้มข้นของเอทานอลของการหมักอย่างง่ายได้ความเข้มข้นของเอทานอลโดยเฉลี่ย75% ในกระบวนการหมักทางวิชาการซึ่งทำการทดลองทั้งหมด2ครั้งซึ่งได้ผลดังนี้ การกลั่นเอทานอลครั้งที่ 12 ได้เอทานอลปริมาณมากที่สุด 230 มิลลิลิตร และมีปริมาณแอลกอฮอล์ 5.3% และ ผลการตรวจปริมาณความเข้มข้นของเอทานอลของการหมักทางวิชาการได้ความเข้มข้นเอทานอลครั้งที่11คือ 84% และครั้งที่12คือ 89% จะเห็นได้ว่าการหมักเอทานอลในทางวิชาการให้ผลการทดลองทั้งในด้านปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้และความเข้มข้นของเอทานอลมีค่ามากที่สุดหรือมีแนวโน้มที่ดีกว่าการหมักด้วยวิธีการอย่างง่าย

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองการกลั่นจะมีอุปสรรคมากมายเช่นท่อแรงดันไอระหว่างหม้อต้มกับหอกลั่นจะต้องเป็นท่อที่ทนความร้อนสูงเพื่อป้องกันการรั่วของท่อจากความร้อนที่สูงมากและ Temp control ไม่ทำงานต้องใช้เวลาในการซ่อมบำรุงเป็นเวลานานถึงคุณลุงไม่ทำงานจึงต้องทำการปรับลดอุณหภูมิของหม้อต้มจึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่าระหว่างการทดลองได้แต่อย่างไรก็ตามเราต้องทำการกลั่นในอุณหภูมิที่เหมาะสมและในปริมาณที่เหมาะสมด้วยจากที่ได้ทำการทดลองยังมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาระบบต่อและสามารถใช้ในการเรียนรู้หรือเป็นแลปปฏิบัติการของภาควิชาฟิสิกส์ได้อย่างแน่นอน

เอกสารอ้างอิง

- [1] อนุรักษ์ ไทยตระกูล, ประดิษฐ์ ครัววัฒนา, วิเชียร ยงมานิตชัย และวิไล สันติโสภาคี. 2536. บทบาทของแบคทีเรียในการหมักแอลกอฮอล์ทางอุตสาหกรรม, รวมงานวิจัยการผลิตแอลกอฮอล์ที่ทำในประเทศไทย. 2526-2534. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- [2] ปนิตา กิตติรัตน์หมาย. 2546. การปรับปรุงประสิทธิภาพการหมักเอทานอลโดยใช้ยีสต์ตกตะกอนและเทคนิครีพีทเพดแบทซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ฯ.
- [3] การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตเอทานอล ประจำปี 2552, ส่วนบริหารจัดการข้อมูลและปรึกษาแนะนำ, สำนักบริหารยุทธศาสตร์, กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม
- [4] การศึกษาเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลของสหรัฐอเมริกาและไทย, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(วว.), ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (ศว.),กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กระทรวงพลังงาน, กุมภาพันธ์ 2551
- [5] รายงานฉบับสมบูรณ์ การผลิตและการใช้เชื้อเพลิงเอทานอล, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กันยายน 2548
- [6] รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งเอทานอล การผสม และการขนส่งแก๊สโซฮอลล์, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, มูลนิธิเพื่อสถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, เมษายน 2552
- [7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน,
<http://www.dede.go.th>



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การกลั่นเอทานอลครั้งที่ 1

อัตราส่วน: กากน้ำตาล 500 กรัม : น้ำกลั่น 5 ลิตร : ยีสต์ 100 กรัม

ความดันไอน้ำ: 2 Bar : อุณหภูมิหม้อต้ม 180 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิก้อน (°C)	ความดัน (Bar)
0	189.7	34	0.2
5	208	35	0.1
10	211.4	35	1.3
15	190.3	35	0
20	194	35	0
25	214.1	35	1.4
30	209.4	36	0
35	189.6	36	0
40	198.7	36	1.7
45	216.6	36	0
50	201.5	37	1.6
55	189.6	37	0
60	203.1	38	0.5
65	217.4	38	0.1
70	195.9	39	1.2
75	192.4	40	0.4
80	212.6	40	0.2
85	216.2	40	0.8
90	189.9	41	0.6
95	198.5	41	0.3
100	213.1	44	0.3
105	204.5	46	1.6
110	189.7	48	0.7
115	202.3	50	0.1
120	217.3	51	1.6
125	210.9	52	1.8
130	190.4	53	0.2
135	207.4	53	2.3
140	217.5	55	1
145	197.5	55	1.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาทื)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
150	194.4	56	1.2
155	203.5	57	0.8
160	214.6	57	2.1
165	191.3	57	1.8
170	198.6	58	1.6
175	174	58	0.8
180	169.7	58	0.6
185	191.8	59	0.3
190	189.8	59	0.3
195	170.2	60	1.6
200	186.1	60	0.7
205	192.5	61	1.9

การกลั่นเอทานอลครั้งที่ 2

อัตราส่วน: กากน้ำตาล 700 กรัม : น้ำกลั่น 7 ลิตร : ยีสต์ 150 กรัม

ความดันไอ: 2 Bar : อุณหภูมิหม้อต้ม 120 องศาเซลเซียส

เวลา (นาทื)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
0	41.4	34	0
5	44.7	34	1.8
10	52.9	34	0.2
15	59.1	34	0.2
20	65.5	34	1.9
25	70.7	34	0.4
30	78.3	34	0.8
35	90.5	34	0.8
40	125.1	34	1.2
45	130.1	34	1.2
50	127	34	1.2
55	110	34	1.3
60	120.7	34	1.4
65	130.1	34	1.8
70	138.6	34	1.8
75	120.4	34	1.8
80	117.1	35	1.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
85	121.2	35	2
90	130.1	35	1.2
95	125.7	35	0
100	135.6	35	0.2
105	119.8	35	1.2
110	132.7	35	1.8
115	118	35	1.5
120	137.9	35	1.8
125	121.2	35	1.8
130	115.8	35	2
135	129.4	35	2
140	110.7	35	2.2
145	138.2	36	1
150	120.4	36	1.6
155	117.1	36	0
160	121.2	36	0.9
165	130.6	36	1
170	123	36	0
175	135.6	36	0
180	119.8	36	0
185	120.7	36	0
190	138.6	36	0
195	121.2	36	0
200	130.7	36	0
205	109.3	36	0
210	128.5	36	0
215	117.6	36	0.5
220	134.2	37	1
225	111.7	37	0.9
230	133.9	37	1.8
235	119.8	37	1
240	132.7	37	0
245	118	37	1.4
250	137.9	37	0.9
255	121.2	37	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาทื)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
260	138.6	37	1
265	120.4	37	0
270	117.1	37	1.6
275	121.2	37	1
280	130.1	37	2
285	125.9	38	0.9
290	135.6	38	2
295	119.8	38	1.2
300	132.7	38	0.6
305	114.8	38	0.9
310	131.3	38	0
315	110.7	38	0
320	138.2	38	0
325	120.4	38	0
330	117.1	38	0
335	121.2	39	0
340	138.5	39	0
345	127.9	39	0
350	135.6	39	1.8
355	119.8	39	1.8
360	134.2	39	1.8
365	111.7	40	1.8
370	133.9	40	2
375	119.8	40	1.2
380	132.7	40	0
385	118	40	0
390	137.9	40	0
400	121.2	40	0
405	130.3	40	0
410	118.7	40	0
415	128.2	40	1.6
420	115.5	40	0
425	137.9	41	0.9
430	121.2	41	1.8
435	138.6	41	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
440	120.4	41	0
445	117.1	41	1.4
450	121.2	41	0.9
455	130.1	41	2
460	125.9	41	1
465	135.6	41	0
470	119.8	41	0.2
475	132.7	41	1.8
480	112.5	41	0.4

การกลั่นเอทานอลครั้งที่ 3

อัตราส่วน: กากน้ำตาล 700 กรัม : น้ำกลั่น 7 ลิตร : ยีสต์ 150 กรัม

ความดันไอ: 2 Bar : อุณหภูมิหม้อต้ม 150 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
0	53	34	0.2
5	134	34	1.2
10	154.4	34	1.8
15	168.8	34	1.5
20	142	34	1.8
25	156.7	34	1.8
30	166.4	34	2
35	141.3	34	2
40	160.6	34	2.2
45	148.7	34	1
50	150	34	1.6
55	154.6	34	0
60	161.1	34	0.9
65	155	35	1
70	145	35	0
75	168	35	0
80	150	36	0
85	149.5	36	0
90	170	37	0
95	151.7	37	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับพนักงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แบ่งไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
100	162.6	38	0
105	171.6	38	0
110	143.5	39	0
115	160	40	0.5
120	170.5	40	1
125	146.3	40	0.9
130	161.2	40	1.8
135	147.3	41	1
140	153.5	42	0
145	172	42	1.4
150	144.6	42	0.9
155	164.6	42	2
160	169	43	1
165	149	43	0
170	170	44	1.6
175	147.4	44	1
180	150	44	2
185	170	44	0.9
190	144.5	44	2
195	165.3	44	1.2
200	150	44	0.6
205	153.4	44	1.8
210	173.6	44	0.8
215	143	44	2
220	164	44	1.6
225	170	44	0
230	151.1	44	2
235	172.3	44	0
240	159.2	44	0
245	163.5	44	1.2
250	164.7	44	1.6
255	145.4	44	1
260	171.3	44	2
265	159.7	44	1.2
270	171.6	45	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้และเผยแพร่ด้วยการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
275	143.5	45	0.9
280	160	45	2
285	170.5	45	1.2
290	146.3	45	0.6
295	161.2	45	1.8
300	147.3	45	0.8
305	168.7	45	2
310	154.3	45	1.6
315	172.4	45	0

การกลั่นเอทานอลครั้งที่ 4

อัตราส่วน: กากน้ำตาล 700 กรัม : น้ำกลั่น 7 ลิตร : ยีสต์ 150 กรัม

ความดันไอน้ำ: 2 Bar : อุณหภูมิหม้อต้ม 180 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
0	38.4	32	0.0
5	119.8	32	1.9
10	194.5	32	1.8
15	188.9	32	1.5
20	171.2	33	1.8
25	183.3	33	1.8
30	196.8	33	2
35	193.7	33	2
40	181.4	34	2.2
45	190.8	34	1
50	170.4	34	1.6
55	174.3	35	0
60	197.6	35	0.9
65	174	36	2.2
70	169.7	68	1
75	191.8	77	1.6
80	189.8	77	0
85	170.2	78	0.9
90	186.1	78	0
95	192.5	78	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
100	176.7	78	0
105	179	79	0
110	188	79	0
115	184.3	79	0
120	175.2	79	0
125	135.2	79	0
130	116.3	78	0
135	176.3	78	0
140	171.1	78	0
145	177.2	78	0
150	178.1	78	0
155	173.2	79	0
160	192.8	80	0
165	174.4	80	0
170	186.7	82	0
175	172.5	81	0
180	187.8	80	0
185	178.2	79	0
190	177.2	78	0
195	172.5	78	0
200	177.5	76	0
205	197.9	76	0
210	174	76	0
215	187.4	77	0
220	199	77	0
225	171.1	77	0
230	199.5	78	0
235	178	78	0
240	176.6	78	0
245	199.4	79	0
250	175.3	79	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกลั่นเอทานอลครั้งที่ 5

อัตราส่วน: กากน้ำตาล 700 กรัม : น้ำกลั่น 7 ลิตร : ยีสต์ 150 กรัม

ความดันไอน้ำ: 2 Bar : อุณหภูมิหม้อต้ม 180 องศาเซลเซียส

เวลา (นาท)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิก้อน (°C)	ความดัน (Bar)
0	117.5	34	0.1
5	182	34	1.2
10	192	34	1.8
15	194.1	34	1.5
20	190	34	1.8
25	170.4	34	1.8
30	174.3	35	2
35	197.6	35	2
40	174	36	2.2
45	169.7	38	1
50	191.8	49	1.6
55	189.8	72	0
60	170.2	76	0.9
65	186.1	77	1
70	192.5	77	2
75	176.7	78	0
80	179	78	0
85	188	78	0
90	184.3	78	0
95	175.2	78	0
100	135.2	78	0
105	116.3	78	0
110	176.3	78	0
115	171.1	85	0
120	177.2	90	0
125	178.1	86	0
130	173.2	90	0
135	192.8	89	0
140	174.4	87	0
145	186.7	80	0
150	172.5	82	0
155	187.8	90	0

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
160	178.2	80	0
165	177.2	95	0
170	177.5	68	0
175	197.9	61	0
180	174	65	0
185	187.4	68	0
190	199	68	0
195	171.1	72	0
200	199.5	70	0
205	178	80	0
210	176.6	82	0
215	199.4	82	0
220	177.3	83	0
225	193.9	80	0
230	174	82	0
235	169.7	84	0
240	191.8	79	0
245	189.8	79	0

การกลั่นเอทานอลครั้งที่ 6

อัตราส่วน: กากน้ำตาล 700 กรัม : น้ำกลั่น 7 ลิตร : ยีสต์ 200 กรัม

ความดันไอน้ำ: 2 Bar : อุณหภูมิหม้อต้ม 180 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
0	30.5	32	0
5	120.7	32	0.2
10	170.3	32	1.2
15	187.2	32	1.8
20	172	32	1.5
25	194	32	1.8
30	175	32	1.6
35	184	32	0
40	190.4	33	1.4
45	174.8	33	0.9
50	185.1	33	0.2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
55	170.9	33	1.2
60	187.5	34	1.8
65	172.7	48	1.5
70	177.6	64	1.8
75	190.1	72	1.6
80	170.7	77	2
85	173.3	77	0
90	176.9	77	0
95	190.1	77	0
100	176.6	77	0
105	190.7	77	0
110	170.4	77	0
115	189.2	77	0
120	199.5	77	0
125	178	77	0
130	176.6	78	0
135	199.4	78	0
140	177.3	78	0
145	193.9	78	0
150	170.2	78	0
155	186.1	78	0
160	192.5	78	0
165	176.7	78	0
170	179	78	0
175	188	79	0
180	184.3	79	0
185	175.2	80	0
190	135.2	80	0
195	116.3	81	0
200	176.3	79	0
205	171.1	79	0
210	177.2	79	0
215	178.1	78	0
220	173.2	78	0
225	192.8	78	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แบ่งไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลิ้น (°C)	ความดัน (Bar)
230	174.4	77	0
235	186.7	77	0
240	168.5	75	0
245	184.3	75	0
250	175.2	77	0

การกลั่นเอทานอลครั้งที่ 7

อัตราส่วน: กากน้ำตาล 700 กรัม : น้ำกลั่น 7 ลิตร : ยีสต์ 300 กรัม

ความดันไอน้ำ: 2 Bar : อุณหภูมิหม้อต้ม 180 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลิ้น (°C)	ความดัน (Bar)
0	32	32	0
5	143.6	32	1.2
10	189.4	32	1.8
15	194.8	32	1.5
20	187.3	32	1.8
25	171.5	32	1.8
30	185.7	32	2
35	174.4	33	2
40	186.7	33	2.2
45	168.5	33	1
50	190.5	33	1.6
55	185.6	34	0
60	174.2	38	0.9
65	197.3	55	2.2
70	196.4	74	1
75	190.5	76	1.6
80	174.8	77	0.9
85	190.5	77	0
90	175.4	77	0
95	164.2	77	0
100	192.5	78	0
105	176.7	78	0
110	179	78	0
115	188	78	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิก้อน (°C)	ความดัน (Bar)
120	184.3	78	0
125	175.2	78	0
130	135.2	78	0
135	116.3	78	0
140	185.6	80	0
145	174.2	85	0
150	190.5	90	0
155	185.6	90	0
160	174.2	80	0
165	197.3	79	0
170	196.4	78	0
175	190.5	79	0
180	174.8	79	0
185	190.5	79	0
190	175.4	78	0
195	164.2	78	0
200	192.5	80	0
205	176.7	79	0
210	179	78	0
215	174.8	78	0
220	185.1	81	0
225	170.9	79	0
230	187.5	80	0
235	172.7	78	0
240	177.6	78	0

การกลั่นเอทานอลครั้งที่ 8

อัตราส่วน: กากน้ำตาล 700 กรัม : น้ำกลั่น 7 ลิตร : ยีสต์ 500 กรัม

ความดันไอน้ำ: 2 Bar : อุณหภูมิหม้อต้ม 180 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิก้อน (°C)	ความดัน (Bar)
0	34	32	0.1
5	197.6	32	1.2
10	180.5	32	1.8
15	174.2	32	1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
20	195.8	33	1.8
25	197.3	33	1.8
30	187.4	33	2
35	172.7	33	2
40	185.6	33	2.2
45	178.9	34	1
50	190	34	1.6
55	195.8	39	0
60	182.6	45	0.9
65	194.4	69	1
70	177.8	76	0
75	180.7	76	1.6
80	192.6	76	0
85	175.4	77	2
90	183.6	77	0
95	189.7	77	0
100	193.6	77	0
105	174.5	77	0
110	186.2	77	0
115	170.4	77	0
120	194.7	77	0
125	187.2	77	0
130	172.6	78	0
135	195.7	78	0
140	173.6	78	0
145	198.2	78	0
150	176.3	78	0
155	185.6	78	0
160	174.2	78	0
165	197.3	78	0
170	196.4	78	0
175	190.5	78	0
180	174.8	78	0
185	190.5	78	0
190	175.4	78	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
195	164.2	78	0
200	192.5	78	0
205	176.7	80	0
210	179	80	0
215	174.8	81	0
220	185.1	79	0
225	177.8	79	0
230	180.7	79	0
235	192.6	78	0
240	175.4	80	0

การกลั่นเอทานอลครั้งที่ 9

อัตราส่วน: กากน้ำตาล 700 กรัม : น้ำกลั่น 7 ลิตร : ยีสต์ 50 กรัม

ความดันไอ: 0.5 Bar : อุณหภูมิหม้อต้ม 180 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
0	34.5	34	0
5	125.7	34	0.5
10	198	34	0.2
15	171.6	34	0.2
20	188.4	34	0.4
25	191.2	34	0.5
30	178.9	34	0
35	189.2	34	0.2
40	170.5	34	0.1
45	198.9	34	0.5
50	180.5	35	0.2
55	180.6	35	0.2
60	190.2	35	0.4
65	198.4	35	0.5
70	175.1	35	0
75	172.6	37	0.5
80	170.6	37	0
85	191.3	37	0.2
90	192.7	40	0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ด้วยการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
95	182.3	44	0.5
100	192.7	58	0.2
105	182.3	74	0.1
110	192.7	74	0.5
115	171.8	77	0
120	187	77	0.2
125	195.4	77	0.1
130	170.8	77	0
135	189.6	77	0
140	197.5	77	0
145	171.9	77	0
150	185.2	78	0
155	189.9	78	0
160	170.4	80	0
165	187.5	81	0
170	169.2	84	0
175	194.8	86	0
180	180.3	88	0
185	172.8	86	0
190	190.1	83	0
195	186.7	82	0
200	150.4	80	0
205	170.6	80	0
210	165.4	79	0
215	178	80	0
220	160	81	0
225	180.7	82	0
230	185.5	81	0
235	169.2	80	0
240	194.8	79	0
245	180.3	80	0
250	172.8	78	0
255	190.1	79	0
260	186.7	79	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกลั่นเอทานอลครั้งที่ 10

อัตราส่วน: กากน้ำตาล 700 กรัม : น้ำกลั่น 7 ลิตร : ยีสต์ 100 กรัม

ความดันไอ: 2 Bar : อุณหภูมิหม้อต้ม 180 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิก้อน (°C)	ความดัน (Bar)
0	34.7	34	0
5	157.8	34	1.9
10	191.5	34	0
15	185.4	34	0
20	178.6	34	0
25	188.5	34	0
30	190.8	34	0
35	181.7	34	0
40	175.2	34	0
45	186.9	34	0
50	198.1	35	0
55	174.2	35	0
60	180.7	38	0
65	192.3	39	0
70	185.4	42	0
75	188.3	52	0
80	196.8	61	0
85	175.4	77	0
90	189.1	77	0
95	169.7	77	0
100	190.2	77	0
105	179.8	77	0
110	185.6	77	0
115	172.4	77	0
120	194.4	77	0
125	182.8	77	0
130	190.1	77	0
135	185.7	77	0
140	174.8	78	0
145	190.9	78	0
150	172.1	78	0
155	199.4	78	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
160	174.5	79	0
165	180.9	79	0
170	146.4	79	0
175	168.2	79	0
180	170.1	79	0
185	175.4	79	0
190	150.8	82	0
195	150.4	82	0
200	170.6	85	0
205	165.4	86	0
210	178	85	0
215	160	82	0
220	180.7	80	0
225	185.5	80	0
230	169.2	77	0
235	194.8	80	0
240	188.3	82	0
245	196.8	80	0
250	175.4	79	0
255	189.1	80	0
260	169.7	79	0
265	190.2	80	0
270	179.8	79	0
275	185.6	78	0
280	172.4	78	0
285	165.4	78	0
290	178	78	0
295	160	78	0
300	196.8	79	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกลั่นเอทานอลครั้งที่ 11

อัตราส่วน: น้ำหมักจากภาควิชาชีวะ ปริมาณ 6 ลิตร

ความดันไอน้ำ: 2 Bar : อุณหภูมิหม้อต้ม 180 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลั่น (°C)	ความดัน (Bar)
0	37.5	32	0.2
5	158.1	35	1.8
10	176.7	35	0.5
15	186.2	35	0.2
20	196.3	35	0.8
25	178.5	35	0.1
30	170.5	35	0.4
35	186.6	35	1.1
40	193.5	37	1.2
45	177.4	38	0.4
50	171.2	43	1
55	185.2	68	0.8
60	194.6	77	0.8
65	180.7	78	0.7
70	171.6	78	1
75	176.2	78	0.9
80	184.5	78	0
85	182	78	0
90	172.4	79	0
95	171.9	80	0
100	187.2	83	0
105	175.2	81	0
110	172.4	78	0
115	176.7	75	0
120	174.3	74	0
125	177.4	78	0
130	190	80	0
135	194	81	0
140	186.6	83	0
145	175.9	88	0
150	170.6	82	0
155	177.8	78	0

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
160	189	77	0
165	196.6	76	0
170	170.3	75	0
175	179.9	79	0
180	191.7	80	0
185	170.6	82	0
190	186	79	0
195	175.9	78	0
200	176	78	0
205	189.6	79	0
210	177.3	80	0
215	176.6	80	0
220	173	81	0
225	175	79	0
230	175.5	78	0
235	180	79	0
240	193.4	78	0

การกลั่นเอทานอลครั้งที่ 12

อัตราส่วน: น้ำหมักจากภาควิชาชีวะ ปริมาณ 6 ลิตร

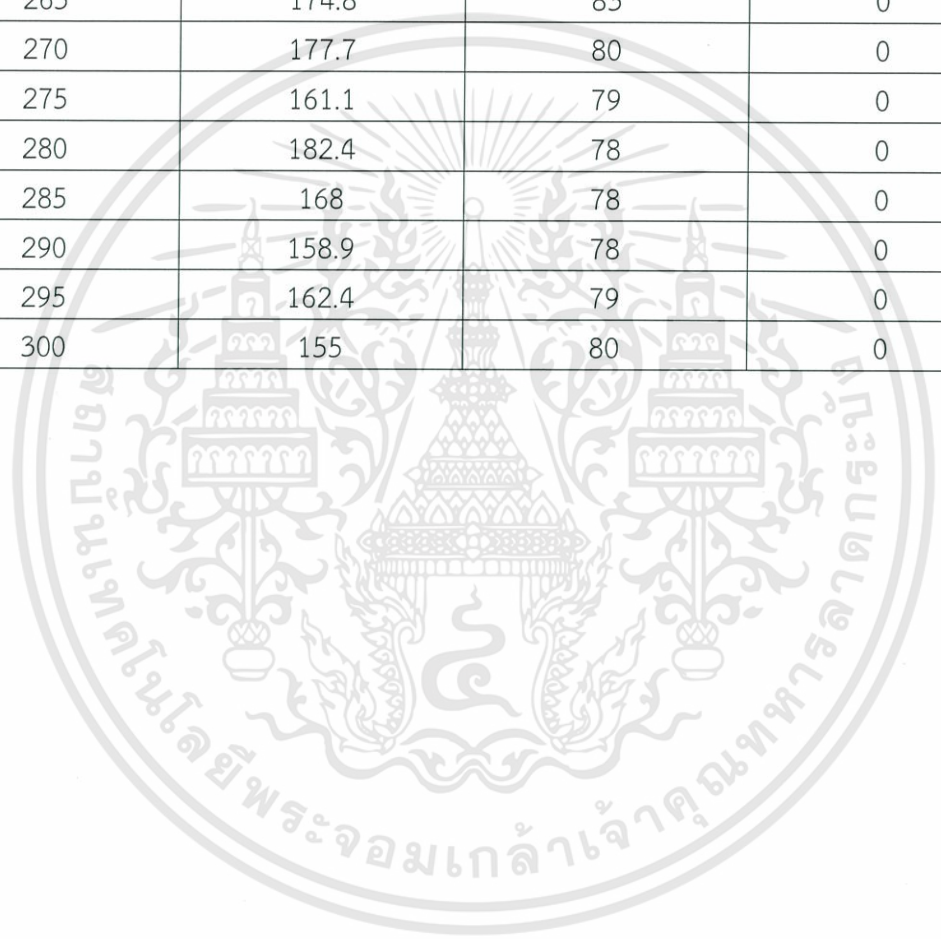
ความดันไอ: 2 Bar : อุณหภูมิหม้อต้ม 180 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
0	38.5	35	0
5	111.9	35	1
10	198	35	2
15	181.7	35	0
20	168.8	35	0
25	175.4	35	0
30	189.4	35	0
35	195.2	36	0
40	170.2	36	0
45	189.1	36	0
50	169.7	36	0
55	190.2	37	0

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
60	179.8	38	0
65	185.6	44	0
70	172.4	57	0
75	165.4	68	0
80	191.7	77	0
85	184.4	77	0
90	190.1	77	0
95	188.5	77	0
100	171.9	77	0
105	180.7	77	0
110	185.5	77	0
115	169.2	77	0
120	194.8	77	0
125	188.3	77	0
130	172.6	78	0
135	193.6	78	0
140	179.4	78	0
145	185.6	78	0
150	169.9	80	0
155	173.3	83	0
160	180.2	85	0
165	155.7	82	0
170	148.6	83	0
175	172.3	82	0
180	158.9	81	0
185	167.7	80	0
190	177.6	80	0
195	164.8	81	0
200	156.3	79	0
205	162.8	78	0
210	166.4	79	0
215	141.3	78	0
220	160.6	79	0
225	148.7	80	0
230	150	79	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิหม้อต้ม (°C)	อุณหภูมิหอกลับ (°C)	ความดัน (Bar)
235	171.3	77	0
240	162.6	80	0
245	166.5	81	0
250	165.2	82	0
255	170.9	80	0
260	180.3	81	0
265	174.8	83	0
270	177.7	80	0
275	161.1	79	0
280	182.4	78	0
285	168	78	0
290	158.9	78	0
295	162.4	79	0
300	155	80	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้