

## บทที่ 4

### กระบวนการผลิตเอทานอล

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงกระบวนการผลิตเอทานอล ซึ่งประกอบไปด้วยหัวข้อ 4.1 ประเภทของกระบวนการผลิตเอทานอล 4.2 ประเภทวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล 4.3 การทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 โดยการกลั่น และ 4.4 การทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 ซึ่งในแต่ละหัวข้อมียุทธศาสตร์ดังต่อไปนี้

#### 4.1 ประเภทของกระบวนการผลิตเอทานอล

กระบวนการผลิตเอทานอลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ กระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี (chemical synthesis) และกระบวนการหมัก (fermentation)

4.1.1 การผลิตเอทานอลจากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical Synthesis) เป็นการผลิตจากอนุพันธ์สารปิโตรเลียม เช่น เอทีลิน เป็นต้น กระบวนการนี้มีราคาต้นทุนวัตถุดิบสูง และกระบวนการผลิตค่อนข้างยุ่งยาก ทำให้ไม่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน (F.O.Licht, 2001)

4.1.2 การผลิตเอทานอลจากกระบวนการหมัก (Fermentation) เป็นกระบวนการผลิตเอทานอลที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน ซึ่งเป็นการผลิตเอทานอลจากน้ำตาล โดยยีสต์ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก ยีสต์จะใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นอาหารและเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอล เรียกว่า ไกลโคไลซิส (glycolysis) ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ดังรูป 4.1 และขั้นตอนที่ 2 เป็นการกลั่นเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์เป็น 95%



รูป 4.1 การเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอลโดยการหมักของยีสต์

ที่มา: Murtagh (1999)

## 4.2 ประเภทวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล

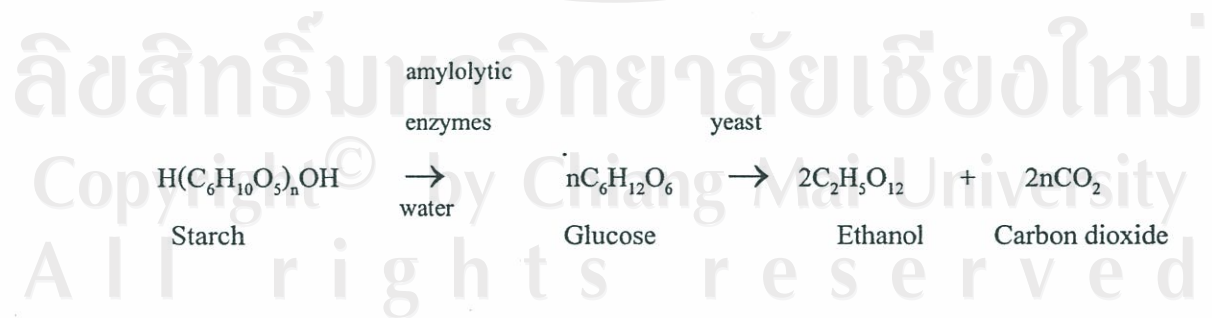
วัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเป็นเอทานอลแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ วัตถุดิบประเภทน้ำตาล (sugar) วัตถุดิบประเภทแป้ง (starch) และวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 วัตถุดิบประเภทน้ำตาล (Sugar) ได้แก่ อ้อย กากน้ำตาล และบีทน้ำตาล ยีสต์สามารถใช้วัตถุดิบประเภทนี้ได้เลยโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการใด ๆ ดังรูป 4.2



รูป 4.2 การผลิตเอทานอลจากน้ำตาลกลูโคสโดยกระบวนการหมัก  
ที่มา: Murtagh (1999)

4.2.2 วัตถุดิบประเภทแป้ง (Starch) ได้แก่ มันสำปะหลัง ธัญพืช และมันฝรั่ง เป็นต้น โดยแป้งจะเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส ดังนั้นต้องผ่านการย่อยเพื่อให้ได้น้ำตาลกลูโคสก่อนจึงสามารถเข้าสู่กระบวนการหมักได้ ดังรูป 4.3



รูป 4.3 การเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล  
ที่มา : Ingledew (1999)

กระบวนการย่อยแป้งในการผลิตเอทานอลนั้นมี 2 ขั้นตอน คือ การย่อยครั้งแรก (liquefaction) และ การย่อยครั้งสุดท้าย (saccharification)

(1) การย่อยครั้งแรก (liquefaction) ขั้นตอนนี้จะใช้กรดหรือเอนไซม์กลุ่มแอลฟาอะไมเลส (alpha-amylase) ย่อยแป้งให้ได้มีโมเลกุลขนาดเล็กลงและมีความหนืดลดลง

(2) การย่อยครั้งสุดท้าย (saccharification) สารละลายน้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้งควรมีสวมมูลเด็กซ์โทรสสูง ยีสต์จึงจะทำงานได้ดี ขั้นตอนนี้จะใช้เอนไซม์กลูโคอะไมเลส (glucoamylase) เข้าไปย่อยในน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เมื่อสิ้นสุดการย่อยจะใช้ความร้อนและฆ่าเชื้อที่อาจปนเปื้อนก่อนจะเข้ากระบวนการหมักยีสต์เพื่อเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอล

**4.2.3 วัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose)** ส่วนมากเป็นผลิตผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเกษตร ได้แก่ กากอ้อย ชังข้าวโพด ฟางข้าว และของเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ ในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบนี้มีขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ดังนี้

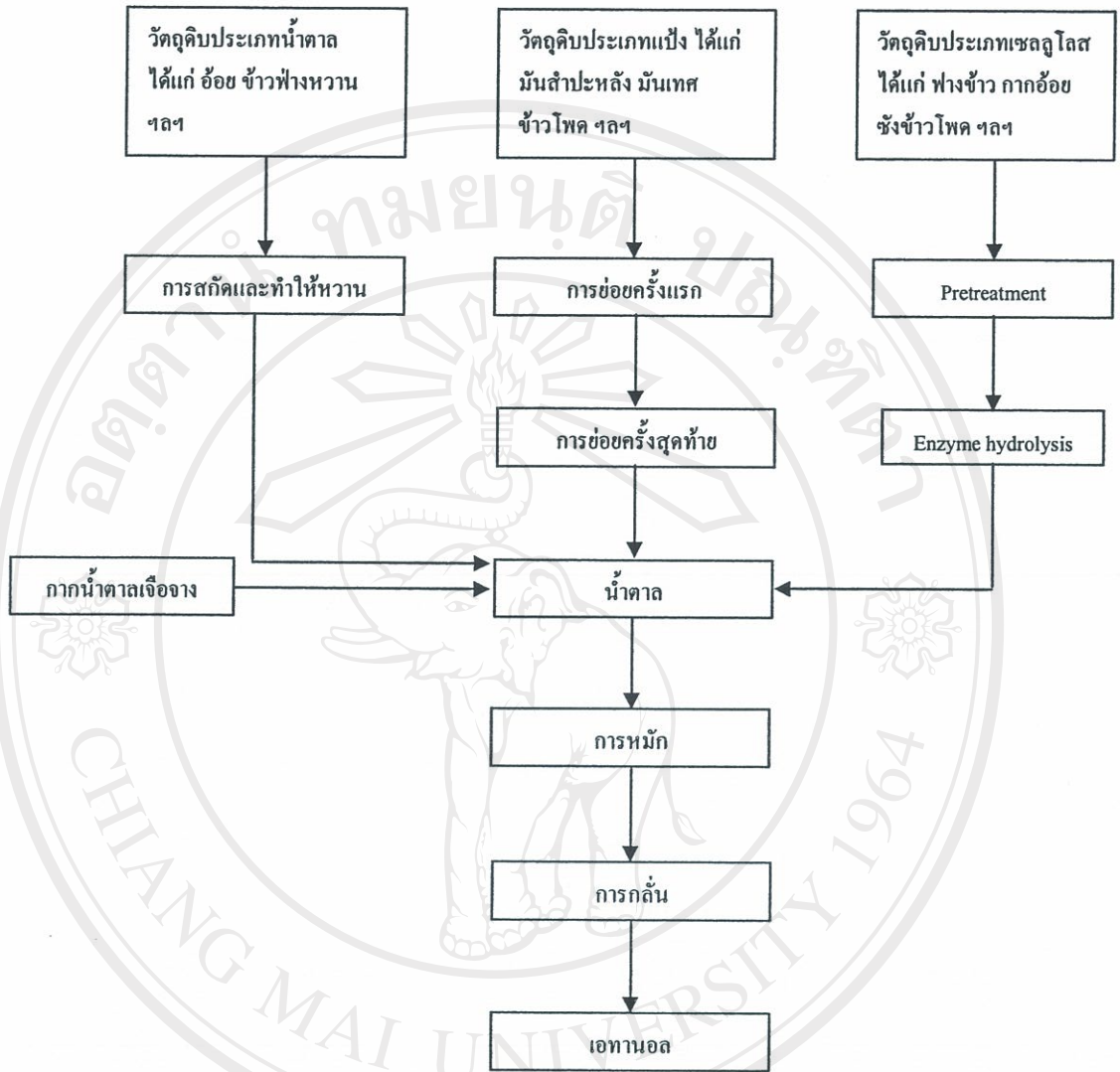
(1) การทำ pretreatment เป็นการแตกพันธะที่เซลลูโลสจับกับสารประกอบอื่น ๆ ออกเพื่อให้เอนไซม์เซลลูโลสสามารถเข้าถึงและย่อยเซลลูโลสได้ง่ายขึ้น มีวิธีทางเคมี คือ การย่อยด้วยกรดเจือจาง ย่อยด้วยกรดเข้มข้น และย่อยด้วยด่าง เป็นต้น วิธีทางกายภาพ คือ การระเบิดด้วยไอน้ำ เป็นต้น

(2) การย่อย ซึ่งมี 2 วิธี คือ การย่อยด้วยกรด และการย่อยด้วยเอนไซม์ การย่อยด้วยกรด มี 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการย่อยเฮมิเซลลูโลสให้ได้น้ำตาลเพนโตส จากนั้นขั้นตอนที่ 2 เป็นการย่อยเซลลูโลสให้ได้น้ำตาลกลูโคส ส่วนการย่อยด้วยเอนไซม์ ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้ คือ simultaneous saccharification and fermentation (SSF) เป็นการรวมการย่อยและการหมักในถังหมักเดียวกัน (Katzen et al.,1999)

(3) การหมักน้ำตาลที่ได้ให้เป็นเอทานอล เป็นวิธีการหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถใช้น้ำตาลชนิดนั้น ๆ ได้

กระบวนการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักจากวัตถุดิบทางเกษตรทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ วัตถุดิบประเภทน้ำตาล วัตถุดิบประเภทแป้ง และวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส สามารถสรุปได้

ดังภาพ 4.4



# ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รูป 4.4 การผลิตเอทานอล โดยกระบวนการหมักจากวัตถุดิบทางการเกษตร

ที่มา : เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์ และคณะ (2546)

Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

### 4.3 การทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 โดยการกลั่น

การทำเอทานอลบริสุทธิ์ร้อยละ 95 สามารถทำได้โดยกระบวนการกลั่น ซึ่งเป็นการให้ความร้อนแก่เอทานอลจนระเหยเป็นไอ แล้วจึงทำให้ไอนั้นระเหยกลั่นตัวเป็นของเหลวอีกครั้ง ในกระบวนการผลิตเอทานอลโดยทั่วไปจะกลั่นโดยใช้หอกลั่น โดยให้ความร้อนแก่น้ำสำ ทำให้แอลกอฮอล์ในน้ำสำระเหยกลายเป็นไอ การที่จะกลั่นให้ได้แอลกอฮอล์เปอร์เซ็นต์สูง ๆ นั้น ต้องทำให้แอลกอฮอล์ระเหยและควบแน่นหลาย ๆ ครั้ง จึงทำเป็นหลายชั้น แต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถกลั่นแอลกอฮอล์ให้ได้ความเข้มข้นถึง 100% ได้ เพราะเมื่อกลั่นจนแอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 96 ความเข้มข้นของไอแอลกอฮอล์ที่ระเหยออกมาจากของเหลวจะเท่ากับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในของเหลว จึงทำให้ไม่สามารถกลั่นแยกแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นถึง 100% ได้

### 4.4 การทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5

ระบบการกลั่นแอลกอฮอล์จากน้ำสำให้ได้ความเข้มข้นร้อยละ 95 โดยทั่วไปใช้หอกลั่นลำดับส่วนปกติ ส่วนวิธีการที่ทำให้แอลกอฮอล์มีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 95 มีดังนี้

#### 4.4.1 การกลั่นแบบ Azeotropic Distillation

การกลั่นแบบ azeotropic distillation เป็นวิธีการกลั่นแยกของผสม โดยใช้ตัวทำละลายใส่ลงไปเพื่อที่จะทำให้มีการรวมตัวได้ส่วนผสมอะซิโโทรอปต์วใหม่ (azeotrope mixture) ทำให้สารประกอบหลัก (key component) กับตัวทำละลายรวมตัวกันเป็นสารประกอบใหม่ อย่างเช่นการแยกน้ำออกจากเอทานอลเพื่อให้ได้เอทานอลบริสุทธิ์ ซึ่งไม่สามารถทำได้โดยการกลั่นตามลำดับส่วน เพราะน้ำกับเอทานอลจะเกิดอะซิโโทรอปต์จุดเดือด 78.2 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงต้องเติมสารช่วยกลั่นที่จะเข้าไปรวมตัวกับน้ำหรือเอทานอล สารช่วยกลั่นที่วานี้ ได้แก่ เบนซีน

ในปัจจุบันไม่นิยมใช้วิธีการกลั่นแบบ azeotropic distillation เนื่องจาก เบนซีนเป็นสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งและติดไฟได้ง่าย มีความซับซ้อนในการทำงาน และเสียค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากมีค่าก่อสร้างแพงและใช้พลังงานไอน้ำมากเมื่อเทียบกับวิธีอื่น

#### 4.4.2 Molecular Sieve Dehydration

molecular sieve dehydration หรือ วิธีการดูดซับ เริ่มมีการพัฒนาดังแต่ปี พ.ศ. 2500 เมื่อมีการจดสิทธิบัตรการใช้ zeolyte เป็นตัวดูดความชื้นของอากาศ ซึ่งมีลักษณะเป็น synthetic zeolyte คือ มีขนาดรูพรุนที่เท่า ๆ กันมากที่สุด (Bibb Swain, 1999) ส่วนคุณสมบัติและการใช้งานของ zeolyte ที่มีการใช้มากในอุตสาหกรรมแสดงดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 คุณสมบัติ ขนาดของช่องว่างและการใช้งานของ zeolyte ชนิดต่าง ๆ

Zeolyte	ประจุบวก	ขนาดของช่องว่าง, A	การนำไปใช้งาน
3A	K <sup>+</sup>	2.9	ทำให้ก๊าซปราศจากน้ำ
4A	Na <sup>+</sup>	3.8	แยกน้ำและCO <sub>2</sub> ออกจากอากาศ
5A	Ca <sup>2+</sup>	4.4	แยกอากาศและพาราฟินชนิดเส้นตรง
10X	Ca <sup>2+</sup>	8.0	แยกอากาศเพื่อกำจัดสาร mercaptans
13X	Na <sup>+</sup>	8.4	แยกอากาศเพื่อกำจัดสาร mercaptans

ที่มา : บุญยพัต สุภานิช และคณะ (2546)

ในการทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์จะใช้เม็ดบีดของสารจำพวก zeolyte เช่น potassium alumi-silicates จะมีลักษณะกลมและมีรูพรุนอยู่บนผิว รูพรุนมีขนาด 3 A ( $1 \text{ A} = 10^{-8}$  เซนติเมตร) ซึ่งโมเลกุลของน้ำมีขนาด 2.8 A จะถูกจับเข้ารูพรุนเหล่านี้ ส่วนเอทานอลจะมีขนาดโมเลกุล 4.4 Angstroms จะไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนเหล่านี้ได้ (Bibb Swain, 1999)

กระบวนการดูดซับน้ำเกิดขึ้นเมื่อมีการเอาไอของเอทานอลที่มีน้ำอยู่เข้าเครื่อง dehydrators ที่มีการบรรจุเม็ด zeolyte โมเลกุลของน้ำจะถูกดูดซับอยู่ในเม็ดบีด และไอของเอทานอลที่ถูกดูดซับน้ำออกไปแล้วก็จะผ่านออกมาจาก dehydrators เมื่อ zeolyte ดูดซับน้ำไว้มากพอแล้วก็จะทำการถ่ายเทน้ำออก (regeneration) โดยผ่านไอร้อนของก๊าซเข้าไปเพื่อระเหยน้ำออกมา (Bibb Swain, 1999)

#### 4.4.3 Membrane Pervaporator

เครื่อง membrane pervaporator ผู้บุกเบิก คือ บริษัท sulzer chemtech ของประเทศเยอรมนี วิธีนี้เป็นการประยุกต์เทคโนโลยีใหม่มาใช้ในการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ pervaporation เป็น คำผสมมาจากคำว่า permeation ซึ่งหมายถึงการแพร่ผ่านเมมเบรน (membrane) หรือเยื่อแผ่นสังเคราะห์โดยอาศัยความดันและความแตกต่างของความเข้มข้น และคำว่า evaporation ซึ่งหมายถึงการระเหยโดยอาศัยความร้อนซึ่งอาจกล่าวได้ว่า pervaporation เป็นการทำให้สารละลายเข้มข้นขึ้นโดยทำให้สารละลายอีกตัวหนึ่งแพร่ผ่านเมมเบรนออกไปโดยใช้ความร้อน โดยเมมเบรน สามารถเลือกสารต่าง ๆ ให้แพร่ผ่านได้ด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกันทำให้สามารถที่จะแยกสารละลายหนึ่ง เช่น น้ำออกจากเอทานอลได้ โดยรูปแบบของการแพร่กระจายผ่านเยื่อแผ่น

เยื่อแผ่นที่ใช้ในกระบวนการนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ แบบที่ 1 คือ เยื่อแผ่นที่เลือกผ่านน้ำ เป็นเยื่อแผ่นชนิดให้น้ำผ่านไปทางของขาออก (permeate) ในส่วนของเอทานอลซึ่งไม่สามารถผ่านเมมเบรนออกไปได้จะถูกแยกน้ำออกด้วยเมมเบรนชุดต่อไปจนมีความบริสุทธิ์ถึงร้อยละ 99.5 ส่วนแบบที่ 2 เป็นเยื่อแผ่นที่เลือกสารอินทรีย์จะเป็นเยื่อแผ่นชนิดที่ยอมให้เอทานอลผ่านไปด้านของขาออก (permeate) ทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น ส่วนน้ำจะซึมผ่านไม่ได้ การกลั่นวิธีนี้มีข้อดี คือ ใช้พลังงานในการกลั่นต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี azeotropic distillation