โอกาสของมันสำปะหลังกับอุตสาหกรรมเอทานอลของไทย

เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ[1]
สิทธิโชค วัลลภาทิตย์[1]
หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ
บุญเรียง ล้ำชัยภูมิ
กล้าณรงค์ ศรีรอต[2,3]
[2]สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[3]ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. คำนำ

ในสภาวะปัจจุบันประเทศไทยต้องประสบกับความเสียเปรียบทางด้านพลังงาน เนื่องจากมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศเพื่อการขนส่งในปริมาณที่สูงมาก และเมื่อราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกมีราคาสูงและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดเวลา ส่งผลให้ประเทศไทยต้องเผชิญกับความเสียเปรียบทางด้านเศรษฐกิจอีกด้วย การพิจารณาหาแหล่งพลังงานใหม่เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันจึงเป็นนโยบายที่สำคัญอันหนึ่งที่มีหน่วยงานต่างๆ ได้พยายามผลักดันมาโดยตลอดอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนที่มาจากวัตถุดิบทางการเกษตรที่สามารถผลิตเองได้ภายในประเทศ อันจะนำไปสู่การสร้างเสถียรภาพและความมั่นคงทั้งทางด้านพลังงานด้านการเกษตร และด้านเศรษฐกิจของประเทศอย่างยั่งยืน

แหล่งพลังงานทดแทนที่สำคัญอันหนึ่งของโลก คือ พลังงานชีวมวล ซึ่งหมายถึง พลังงานที่ได้จากสิ่งมีชีวิต ทั้งพืชและสัตว์ รวมถึงผลพลอยได้และของเสียที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต เช่น แกลบ มูลสัตว์ เป็นต้น จุดเด่นของพลังงานชีวมวลนั้น คือ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก (Renewable energy) และช่วยลดการเกิดมลภาวะของสิ่งแวดล้อม (Environmentally friendly energy) พลังงานชีวมวลที่สำคัญที่สามารถนำมาใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์มีอยู่ 2 ประเภทหลัก ได้แก่ เอทานอลและไบโอดีเซล

2. เอทานอลคืออะไร

เอทานอล (Ethanol) หรือเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) คือสารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วยคาร์บอนไฮโดรเจนและออกซิเจน เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งเพื่อการบริโภค (Beverage alcohol ซึ่งหมายถึงรูปแบบใดๆ ของเอทานอลที่ถูกกลั่นและมีความเหมาะสมสำหรับการบริโภคของมนุษย์ตามกฎหมาย โดยมักจะมีข้อจำกัดว่าต้องเป็นแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักด้วยกระบวนการทางธรรมชาติไม่ใช่กระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี) และเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง (Fuel alcohol)หมายถึงเอทานอลที่ถูกกำจัดน้ำออกจนเกือบหมด หรือเอทานอลไร้น้ำ (anhydrous ethanol) ที่มีความบริสุทธิ์สูง (99.5%) สามารถนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ 3 รูปแบบ ได้แก่

(1) ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงเพื่อทดแทนน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล
(2) ใช้ผสมกับน้ำมันเบนซิน เรียกว่า แก๊สโซฮอล์ (Gasohol) หรือผสมกับน้ำมันดีเซล เรียกว่า ดีโซฮอล์ (Diesohol)
(3) ใช้เป็นสารเพิ่มค่าออกเทนของน้ำมันให้กับเครื่องยนต์ได้แก่ Ethyl Tertiary Butyl Ether (ETBE)

การใช้เอทานอลบริสุทธิ์เพื่อเป็นเชื้อเพลิงที่สะดวกในขณะนี้โดยต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ คือ การใช้ในรูปแบบของการผสมกับน้ำมันโดยเอทานอลที่ผสมในสัดส่วน 5-30% โดยปริมาตร จะสามารถใช้เป็นทดแทนสารเอ็มทีบีอี (Methyl tertiary butyl ether; MTBE) ที่เป็นสารเพิ่มออกซิเจนและออกเทนในน้ำมันได้ ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงในหลายประเทศ เช่น บราซิลจะนำเอทานอลความเข้มข้น 99.5% โดยปริมาตร มาผสมกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วน 20% โดยปริมาตร และใช้ชื่อผลิตภัณฑ์ว่า "Proalcohol" สหรัฐอเมริกาใช้เอทานอลผสมกับน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วในอัตราส่วน 10:90 เรียกว่า แก๊สโซฮอล์ (Gasohol) ออสเตรเลียนำเอทานอลผสมกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วน 15:85 และใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ในชื่อผลิตภัณฑ์ "Petranol" ฟิลิปปินส์ผสมเอทานอล (ซึ่งผลิตจากอ้อย) กับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วน 20 : 80 เรียกว่า "Alcogas" เป็นต้น

2.1 กระบวนการผลิตเอทานอล

กระบวนการผลิตเอทานอลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ กระบวนการสังเคราะห์ ทางเคมี(Chemical synthesis) และกระบวนการหมัก (Fermentation)

(1) เอทานอลที่ผลิตจากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical synthesis) เป็นการผลิตจากอนุพันธ์สารปิโตรเลียม เช่น เอทิลีนด้วย ปฏิกิริยาการระเหยน้ำ (dehydration) เป็นต้น

(2) กระบวนการหมัก(Fermentation)เป็นการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลด้วยเชื้อยีสต์ จะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกยีสต์จะใช้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) เป็นอาหารและเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลโดยกระบวนการ Glycolysis ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ดังสมการ

$$\underset{100}{C_6H_{12}O_6} + \text{ยีสต์} \longrightarrow \underset{48.89}{2CO_2} + \underset{51.11}{2C_2H_5O_{12}} + 28.7\ \text{kcal}$$

โดยตามทฤษฎีน้ำตาลกลูโคส 100% จะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และเอทานอล 48.89 และ 51.11% โดยน้ำหนัก ตามลำดับแต่ในทางปฏิบัติแล้วจะเกิดการสูญเสียได้เป็นสารประกอบอื่นๆหรือใช้ในการสร้างเซลล์ของยีสต์ ทำให้ได้เอทานอลประมาณ 48% เมื่อได้เอทานอลแล้วขั้นตอนที่ 2 จึงเป็นการทำให้เอทานอลมีความเข้มข้นและบริสุทธิ์สูงขึ้นโดยการกลั่น

2.2 วัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล

ในปัจจุบันการผลิตเอทานอลในระดับอุตสาหกรรมทั่วโลกประมาณ 93% จะใช้กระบวนการหมัก ซึ่งวัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตเอทานอลจะเป็นสารประกอบจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวอยู่ในโครงสร้างโมเลกุลสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท (ภาพที่ 1) ดังนี้

(1) วัตถุดิบประเภทน้ำตาล ได้แก่ น้ำอ้อย กากน้ำตาล และบีทน้ำตาล ยีสต์สามารถใช้วัตถุดิบประเภทนี้ได้โดยตรงและไม่ต้องผ่านกระบวนการใด ๆ

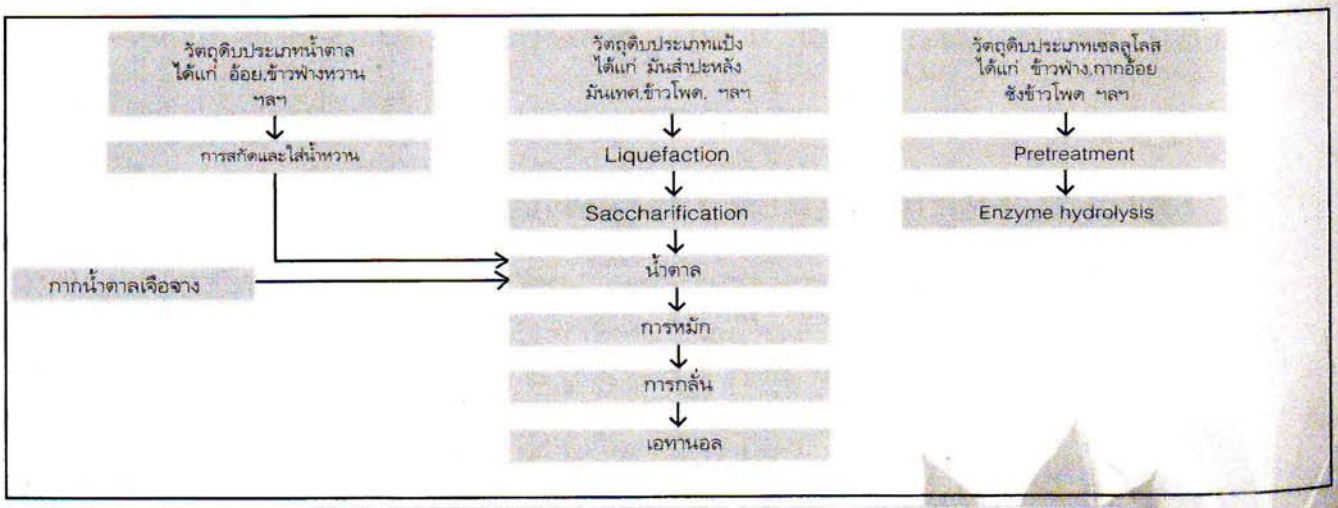
(2) วัตถุดิบประเภทแป้ง ได้แก่ ธัญพืช ข้าวโพด มันสำปะหลัง และมันฝรั่ง เป็นต้น ในการผลิตเอทานอลนั้น แป้งในวัตถุดิบจะต้องถูกย่อย (Starch hydrolysis) ให้ได้น้ำตาลกลูโคสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวก่อน ยีสต์จึงจะสามารถเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลได้ ซึ่งการย่อยแป้งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ

- การย่อยครั้งแรกหรือการทำให้เหลว (Liquefaction) ขั้นตอนนี้จะใช้กรดหรือเอ็นไซม์กลุ่มแอลฟาอะมิเลส (α- amylase) ที่มีกิจกรรมการย่อยแป้งที่อุณหภูมิสูงประมาณ 80 ถึง 95 องศาเซลเซียส ให้ได้โมเลกุลขนาดเล็กลงและมีความหนืดลดลง ของเหลวที่ได้จะมีค่าสมมูลเด็กซ์โทรส (Dextrose equivalent. DE) อยู่ในช่วง 10-15 เรียกว่า เด็กซ์ทริน
- การย่อยครั้งสุดท้ายหรือการทำให้หวาน (Saccharification) ขั้นตอนนี้จะใช้เอ็นไซม์กลูโคอะมิเลส (Glucoamylase) ย่อยเด็กซ์ทรินให้ได้น้ำตาลที่มีขนาดโมเลกุลเดี่ยวหรือที่ยีสต์สามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งโดยทั่วไปเอนไซม์ในกลุ่มนี้จะมีกิจกรรมที่อุณหภูมิสูงปานกลาง คือ ประมาณ 55 ถึง 65 องศาเซลเซียส

(3) วัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส ส่วนมากวัตถุดิบกลุ่มนี้จะเป็นผลิตผลพลอยได้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว กากอ้อย ซังข้าวโพด และของเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ เป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบประเภทนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 4 ชนิดคือ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่น ๆ ขั้นตอนในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบในกลุ่มนี้จะประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

- การเตรียมวัตถุดิบ (Pretreatment) เป็นการทำลายโครงสร้างที่แข็งแรงของเซลลูโลส เพื่อให้ เอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase) สามารถเข้าถึงและย่อยเซลลูโลสได้ง่ายขึ้น สามารถทำได้ทั้งวิธีทางเคมี ได้แก่ การย่อยด้วยกรดเจือจาง ย่อยด้วยกรดเข้มข้น และย่อยด้วยด่างเป็นต้น และวิธีทางกายภาพได้แก่ การระเบิด ไอน้ำ เป็นต้น หรืออาจใช้ทั้ง 2 วิธี ร่วมกันได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ
- การย่อย (Hydrolysis) มี 2 วิธี คือการย่อยด้วยกรดหรือการย่อยด้วยเอนไซม์ การย่อยด้วยกรดจะมี 2 ขั้น ขั้นแรกจะเป็นการย่อยเฮมิเซลลูโลสให้ได้น้ำตาลเพนโตส จากนั้นขั้นที่สองจะเป็นการย่อยเซลลูโลสให้ได้น้ำตาลกลูโคสส่วนการย่อยด้วยเอนไซม์จะใช้เอนไซม์เซลลูโลสเพื่อเป็นน้ำตาลกลูโคส

การหมักน้ำตาลที่ได้ให้เป็นเอทานอลโดยเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถใช้น้ำตาลชนิดนั้น ๆได้



ภาพที่ 1 การผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักจากวัตถุดิบทางการเกษตร

สำหรับเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบจำพวกแป้งและน้ำตาลได้รับการวิจัยและพัฒนา สามารถจำหน่ายเป็น Know-how มากมายทั่วโลก เปลี่ยนจากระบบ Batch เป็นระบบ continuous เทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย (ตารางที่ 1) ประกอบด้วย

(1) "BIOSTIL" เป็นเทคโนโลยีการผลิตที่พัฒนาโดยบริษัท Alfa - Laval AB. ประเทศสวีเดน โรงงานแรกที่ใช้เทคโนโลยีเป็นโรงงานกลั่นเอทานอลในประเทศออสเตรเลีย ด้วยกำลังการผลิต 12,000 ลิตรต่อวัน และต่อมามีการนำเทคโนโลยี เข้าประเทศอินเดีย ฝรั่งเศส เยอรมัน บราซิล และ ปากีสถาน จุดเด่นของเทคโนโลยีนี้คือใช้ยีสต์สายพันธุ์พิเศษ Schizosaccharomyces pombe ซึ่งสามารถใช้กากน้ำตาลที่ความเข้มข้นสูง 40-45°Brix ได้ ซึ่งความเข้มข้นน้ำตาลสูงจะทำให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้ออื่นได้น้อย ภายหลังการหมักสิ้นสุดสารละลายที่ได้จะผ่านเข้าเครื่องเหวี่ยงความเร็วสูงแยกครีมยีสต์ออกมาหมุนเวียนกลับเข้าถังหมักใหม่ ซึ่งยีสต์มีการเจริญเติบโตที่แล้วจึงไม่ต้องเติมสารอาหารเข้าในระบบและยังได้ผลผลิตสูง ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลและการกลั่นมีค่า 91-92% และ 99% ตามลำดับนอกจากนี้ระบบใช้ถังหมักเพียงถังเดียวทำให้ใช้พื้นที่น้อย ระบบควบคุมอัตโนมัติทำให้ง่ายต่อการควบคุม ใช้เครื่องมือน้อยทำให้ต้นทุนคงที่ต่ำ แต่ข้อจำกัดคือ ความเข้มข้นของเอทานอลต่ำเพียง 5-7% โดยปริมาตรเท่านั้น ทำให้ ต้องใช้พลังงานมากในการกลั่น

(2) "HIFERM-GR" หรือ "CASCADE" เป็นระบบที่พัฒนาโดยบริษัท Vogelbusch Ges.m.b.H. ประเทศออสเตรีย โรงงานใช้เทคโนโลยีนี้อยู่ในทวีปยุโรป อินโดนีเซีย สหรัฐอเมริกา และแคนาดา จุดเด่นของเทคโนโลยีนี้คือ ประสิทธิภาพในการหมักสูง 90% ได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูง 8.5-9.5% โดยปริมาตร ทำให้ใช้พลังงานในการกลั่นต่ำ ต้นทุนการผลิตต่ำทนต่อเกลือแคลเซียมที่ความเข้มข้นสูง และเวลาในการหมักต่ำ

(3) "HOECHST-UHDE" จุดเด่นของเทคโนโลยีนี้คือ ยีสต์ที่ใช้เป็นชนิดลอยตัวขึ้น (flocculating yeast) และถังหมักเป็นชนิด loop reactor ซึ่งทำให้การหมักสิ้นสุดรวดเร็วและรักษาความเข้มข้นของยีสต์ให้สูงสุดตลอดการหมัก จะได้ความเข้มข้นของเอทานอล 7.5-8.0% โดยปริมาตร โรงงานที่ใช้เทคโนโลยีนี้คือ โรงกลั่น Diana ซึ่งเป็นโรงกลั่นขนาดใหญ่ที่ประเทศบราซิล ผลิตได้ 75,000 ลิตรต่อวัน ข้อดีและข้อเสียของระบบนี้จะคล้ายกับระบบ BIOSTIL

(4) "LURGI" พัฒนาโดยบริษัท Messrs.LURGI เป็นระบบต่อเนื่องที่ใช้ถังหมัก 6 ถังเรียงกัน ซึ่งภายในมียีสต์ที่ตรึงไว้บน sodium-alginate หรือ calcium-alginate (immobilized yeast) วัตถุดิบจะไหลเข้าถังหมักที่ 1 ความเข้มข้นของเอทานอลจะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและน้ำหมักที่ออกจากถังหมักที่ 6 จะเข้ากระบวนการกลั่นต่อไปยีสต์ในแต่ละถังจะมีการปรับตัวให้เข้ากับความเข้มข้นของเอทานอล อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของเทคโนโลยีนี้คือ จะต้องมีการเติมสารอาหารให้ยีสต์ในแต่ละถังเจริญเติบโต สารอาหารบางส่วนจะออกมาพร้อมกับน้ำหมักและต้องไม่ให้มีซูโครสหรือน้ำตาลอินเวิร์ทออกมาด้วยเนื่องจากจะทำให้ผลผลิตที่ได้ลดลง

(5) "STARCOSA" เป็นระบบการหมักต่อเนื่อง 2 ขั้นตอน ที่พัฒนาโดยบริษัท STARCOSA ประเทศเยอรมัน มีการนำ Micro filtration membrane มาใช้แทนการฆ่าเชื้อวัตถุดิบก่อนเข้าถังหมักและป้องกันไม่ให้ยีสต์ออกจากถังหมัก ขั้นตอนแรกจะเป็นถังหมักที่ใช้เพื่อเพิ่มปริมาณเซลล์ยีสต์ จะมีความเข้มข้นของยีสต์สูง ขั้นตอนที่ 2 จะเป็นการหมักให้ได้เอทานอล ยีสต์จะมีการหมุนเวียนระหว่างถังหมักทั้งสองถัง ความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้ปริมาณ 6.5-8.0% โดยปริมาตรส่วนข้อจำกัดของเทคโนโลยีนี้คือต้นทุนสูง

ตารางที่ 1 สรุปและเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบแป้งและน้ำตาล

ปัจจัย	Batch	Cascade	BIOSTIL	UHDE	LURGI	STARCOSA
ความเข้มข้นยีสต์ (กรัม/ลิตร)	3-8	6-10	40-55	50	35-45	120-150
ผลที่ได้ (% yield)	88-92	90-92	90-92	90-95	85-95	94
ความเข้มข้นเอทานอล (% โดยปริมาณ)	7-9	8-10	5-7	6.5-7.5	8-9	7-8
Productivity (1 Eth./m^3h)	1.5-7	3-30	7	15-17	12-15	21

3. โอกาสของมันสำปะหลังกับอุตสาหกรรมเอทานอลของไทย

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ที่มีปริมาณการผลิตโดยประมาณ 16 ถึง 18 ล้านตันหัวมันสดต่อปี ในหัวมันสำปะหลังจะมีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่สูง (ประมาณร้อยละ 70 ถึง 85 โดยน้ำหนักแห้ง) ดังนั้นมันสำปะหลังจึงเป็นวัตถุดิบทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตเอทานอลได้ โดยการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง สามารถนำมันสำปะหลังที่มีมากในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวมาแปรรูปเป็นมันเส้น เพื่อความสะดวกและยืดอายุการเก็บ ตลอดจนสะดวกต่อการขนส่ง

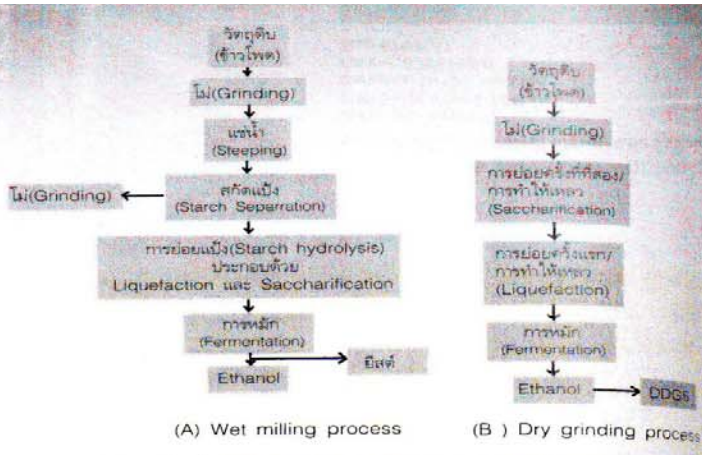
แต่เมื่อพิจารณาถึงโอกาสของมันสำปะหลังที่เป็นวัตถุดิบจำพวกแป้งแล้ว ปัญหาที่สำคัญ คือ กระบวนการผลิตที่ติดลบ ซึ่งหมายถึง ในการผลิตนั้นต้องเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลและเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ จากนั้นต้องทำการกลั่นน้ำหมัก เพื่อให้ได้เป็นแอลกอฮอล์ที่บริสุทธิ์หรือเอทานอล เมื่อพิจารณาถึงผลลัพธ์ของพลังงานที่ได้ พบว่า พลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ของเอทานอลที่ผลิตได้ยังน้อยกว่าพลังงานที่ต้องใส่เข้าไปในกระบวนการผลิตนับตั้งแต่การย่อยแป้งนั่นเองหรือกล่าวได้ว่าเป็นกระบวนการผลิตที่ขาดทุนพลังงาน

แต่จากปัจจัยผลักดันที่สำคัญ 2 ประการสำหรับอุตสาหกรรมเอทานอลของประเทศไทย คือวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูง คือ มันสำปะหลังที่มีปริมาณมากและราคาถูก กับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของการหมักเอทานอลจากพืชที่มีแป้งสูงของประเทศที่พัฒนาอย่างเช่นสหรัฐอเมริกานั้น จึงทำให้อุตสาหกรรมเอทานอลจากมันสำปะหลังมีความเป็นไปได้ ทั้งนี้เทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากข้าวโพดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท(ภาพที่ 2) ได้แก่

(1) Wet milling process ในการผลิตจะเริ่มจากการแช่เมล็ดข้าวโพด ทำการโม่และแยกองค์ประกอบอื่น ๆ ได้แก่ น้ำมัน กากโปรตีนที่มีอยู่ในข้าวโพดออกจากแป้งจากนั้นจึงนำน้ำแป้งไปปรับให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ เช่น ค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 6 (ขึ้นอยู่กับชนิดของเอนไซม์) แล้วจึงเริ่มการย่อยครั้งแรกด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส ซึ่งจะมีการให้ความร้อนด้วยระบบ jet cooker กับ

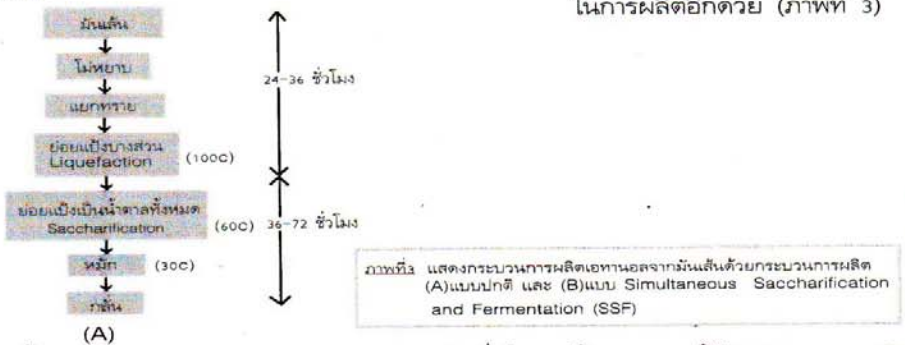
น้ำแป้งที่อุณหภูมิประมาณ 80 ถึง 90 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้แป้งเกิดการละลาย (Gelatinization) และช่วยในการทำงานของเอนไซม์ เมื่อย่อยครั้งแรกแล้ว จึงทำให้น้ำแป้งเย็นลงและปรับให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยครั้งที่สอง เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 4.5 ถึง 5.0 เติมน้ำย่อยกลูโคสอะมิเลสเพื่อเปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาลกลูโคส และนำน้ำตาลที่ได้เข้าสู่กระบวนการหมักและกลั่นต่อไป

(2) Dry grinding process ในการผลิตจะเริ่มจากการโม่วัตถุดิบด้วยเครื่องโม่ (Hammer mill) ให้มีขนาดที่เหมาะสม หลังจากนั้นจึงผสมกับน้ำ ปรับให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6 (ขึ้นอยู่กับชนิดของเอนไซม์)แล้วจึงเริ่มการย่อยครั้งแรกด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส ซึ่งจะมีการให้ความร้อนกับน้ำแป้งที่อุณหภูมิประมาณ 80 ถึง 90 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้แป้งเกิดการละลาย(Gelatinization)และช่วยในการทำงานของเอนไซม์ เมื่อย่อยครั้งแรกแล้วจึงทำให้น้ำแป้งเย็นลงและปรับให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยครั้งที่สอง เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ4.5 ถึง 5.0 เพื่อเปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาลกลูโคสสำหรับหมักต่อไปการหมักจะใช้ระยะเวลาประมาณ 48 ถึง 72 ชั่วโมง และได้น้ำหมักที่มีเอทานอลเข้มข้นประมาณ 10 ถึง 12% โดยปริมาตร น้ำหมักที่ได้จะเข้าสู่กระบวนการกลั่นลำดับส่วน ทำให้เอทานอลมีความเข้มข้น 95% โดยปริมาตรและทำให้บริสุทธิ์ต่อไปซึ่งในกระบวนการกลั่นเอทานอลจะได้น้ำทิ้งที่เกิดจากการกลั่น (Stillage) ที่สามารถนำไปทำให้เข้มข้นขึ้น และผสมกับกากที่ได้จากการหมักทำให้แห้งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า Distiller Dried Grains with Soluble (DDGS) ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้



ภาพที่ 2 แสดงกระบวนการผลิตเอทานอล โดยวิธี (A) และ (B)

โอกาสของการใช้มันสำปะหลังในการผลิตเอทานอลเพิ่มมากขึ้น เมื่อมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้ โดยการรวมขั้นตอนการย่อยครั้งสุดท้าย (Saccharification) เข้าไว้ในขั้นตอนเดียวกันกับการหมัก (Fermentation) ซึ่งจะเรียกกระบวนการนี้ว่า Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) โดยเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ผลิตน้ำตาลกลูโคสจะมีกิจกรรมการย่อยแป้งได้ในสภาวะเดียวกับการหมัก กล่าวคือ ที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 4.0 ถึง 4.5 ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการย่อยแป้งในขั้นที่สอง รวมทั้งยังช่วยประหยัดพลังงานในการผลิตอีกด้วย (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 แสดงกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้นด้วยกระบวนการผลิต (A)แบบปกติ และ (B)แบบ Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)

นอกจากนี้อุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบที่เป็นแป้งดังเช่นมันสำปะหลัง มีแนวโน้มที่จะมีต้นทุนการผลิตที่ลดลง เนื่องมาจากการพัฒนาเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่สำคัญ ได้แก่

1.เทคโนโลยีชีวภาพ ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีชีวภาพทำให้เกิดการพัฒนาเอนไซม์ที่มีกิจกรรมสูงขึ้น ใช้งานได้สะดวกยิ่งและมีราคาที่ถูกลง รวมไปถึงการพัฒนาเชื้อยีสต์ที่มีความเหมาะสมต่อกระบวนการหมักยิ่งขึ้น เช่น ยีสต์ที่ทนอุณหภูมิได้สูงขึ้น (Thermosac ของบริษัท Alltech,Co.)

2.เทคโนโลยีการผลิตเอทานอลไร้น้ำ การทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์สูงขึ้นจาก 95% เป็น 99.5% แต่เดิมนิยมใช้การกลั่นแบบ Azeotropic Distillation ซึ่งเป็นวิธีการกลั่นแยกของผสม โดยใช้คุณสมบัติแบบจุดเดือดร่วม (Aceotropic) ของผสมซึ่งโรงงานผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ในปัจจุบันไม่ค่อยนิยมใช้วิธีนี้ เนื่องจากต้องมีการใช้สารช่วยกลั่นได้แก่ เบนซีน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งและติดไฟได้ง่าย รวมทั้งความซับซ้อนของการทำงานค่าก่อสร้างที่แพงและมีการใช้พลังงาน (ไอน้ำ) มากในการกลั่น ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีการผลิตเอทานอลไร้น้ำได้มีการพัฒนาขึ้นมาก โดยสามารถใช้ Molecular Sieve Dehydrator ซึ่งเป็นสารจำพวก Zeolyte ที่เป็นตัวดูดความชื้นของอากาศดูดซับน้ำออกจากเอทานอลที่ได้จากการกลั่น หรือใช้เทคโนโลยี Membrane Pervaporator ซึ่งจะใช้หลักการทำงานของเมมเบรน (permeate membrane) ร่วมกับการระเหย (Evaporation) ทำให้ต้นทุนและความยุ่งยากในการทำเอทานอลบริสุทธิ์ลดลง

4. สรุป

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในอดีตเรื่องการผลิตเอทานอลจากมันสำปหลังดูจะเป็นเรื่องที่ห่างไกลความเป็นจริงสำหรับอุตสาหกรรมยิ่งนัก จากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่มีในปัจจุบัน และที่ยังคงพัฒนาอยู่อย่างต่อเนื่อง ทำให้โอกาสของมันสำปะหลังในอุตสาหกรรมเอทานอลเป็นจริงขึ้น โดยเริ่มตั้งแต่การพัฒนาเชื้อแป้งในหัวมันสำปะหลังให้มีมากขึ้น ก ลดพลังงานที่ใช้จากเดิมกว่า 30% โดยการพัฒนากระบวนการย่อย ระบบ SSF การพัฒนาใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้งหลังจากการหมและกลั่น ในขณะนี้จึงถือได้ว่าเป็นยุคของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังอย่างแท้จริง

ที่มา : รายงานประจำปี สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย 2548 ครบรอบ 28 ปี