

มันสำปะหลังกับอุตสาหกรรมเอทานอลของไทย

กล้าณรงค์ ศรีรอด^{1,2}, เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ³ และสิทธิโชค วัลลภาทิพย์³

1) ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3) หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทย มีปริมาณการผลิตประมาณ 16 ถึง 18 ล้านตันหัวมันสดต่อปี ในหัวมันสำปะหลังจะมีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่สูง (ประมาณร้อยละ 70 ถึง 85 โดยน้ำหนักแห้ง) ดังนั้นมันสำปะหลังจึงเป็นวัตถุดิบทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตเอทานอลได้ โดยการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังนั้นสามารถนำมันสำปะหลังที่มีมากในช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวมาแปรรูปเป็นมันเส้น เพื่อความสะดวกต่อการขนส่งและการจัดเก็บวัตถุดิบ แต่เมื่อพิจารณาถึงโอกาสของ มันสำปะหลังที่เป็นวัตถุดิบจำพวกแป้งสำหรับผลิตเอทานอลแล้ว พบว่าปัญหาที่สำคัญคือกระบวนการผลิตที่ติดลบ ซึ่งหมายถึง ในกระบวนการผลิตนั้นต้องมีการต้ม แป้งและย่อยเพื่อเปลี่ยนแป้งในหัวมันสำปะหลังให้เป็นน้ำตาล แล้วจึงหมักเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ จากนั้นต้องทำการกลั่นน้ำหมักเพื่อให้ได้เป็นแอลกอฮอล์ที่บริสุทธิ์หรือเอทานอล แต่จากปัจจัยผลลัคน์ที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมเอทานอลของไทย 2 ประการ คือ วัตถุดิบที่มีศักยภาพสูง ได้แก่ มันสำปะหลังที่มีปริมาณมากและราคาถูกและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการหมักเอทานอลจากพืชที่มีแป้งสูงของประเทศที่พัฒนาแล้วอย่างเช่น สหรัฐอเมริกาซึ่งใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล จึงทำให้สามารถนำเทคโนโลยีนี้มาพัฒนาใช้กับการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังซึ่งจะช่วยเพิ่มโอกาสของมันสำปะหลังกับอุตสาหกรรมเอทานอลของไทยได้

1) ปัญหาพลังงานของประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่ต้องพึ่งพาอาศัยพลังงานเชื้อเพลิงจากการนำเข้าเป็นส่วนใหญ่ โดยในปี พ.ศ. 2547 ประเทศไทยมีการนำเข้าน้ำมันดิบเพื่อ

ผลิตเป็นเชื้อเพลิงประมาณ 50,622 ล้านลิตรหรือคิดเป็น 139 ล้านลิตรต่อวัน ซึ่งทำให้ประเทศต้องสูญเสียเงินตราจำนวนมาก ทั้งนี้ประเทศไทยมีการใช้พลังงานสูงมากโดยมีปริมาณการใช้ผลิตภัณฑ์น้ำมันสำเร็จรูป ได้แก่ น้ำมันเบนซินประมาณ 20 ล้านลิตรต่อวัน และน้ำมันดีเซลประมาณ 40 ล้านลิตรต่อวัน และเมื่อราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกมีราคาสูงและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดเวลา ส่งผลให้ประเทศไทยต้องเผชิญกับความเสียหายเปรียบทางด้านเศรษฐกิจ จากภาวะวิกฤติทางเศรษฐกิจและปัญหาพลังงานของประเทศ รัฐบาลจึงมีนโยบายที่จะพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนอื่น เพื่อเป็นการสร้างความมั่นคงด้านเศรษฐกิจและพลังงานให้กับประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้พลังงานทดแทนที่ได้จากวัตถุดิบทางการเกษตรที่มีอยู่ภายในประเทศ เพื่อเป็นการสร้างเสถียรภาพด้านราคาให้กับวัตถุดิบทางการเกษตร และสร้างรายได้และความมั่นคงให้กับเกษตรกร

2) การใช้เอทานอลเป็นพลังงานทดแทน

พลังงานทดแทนที่สำคัญซึ่งสามารถนำมาใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์มีอยู่ 2 ประเภทหลัก ได้แก่ เอทานอล และไบโอดีเซล โดยเอทานอลสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบทางการเกษตรจำพวกแป้งและน้ำตาล และวัสดุเหลือทิ้งจำพวกเซลลูโลส ส่วนไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากพืชน้ำมัน โดยเอทานอลและไบโอดีเซลนี้สามารถที่จะพัฒนาใช้เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่เพื่อทดแทนการนำเข้าน้ำมันดิบ และใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับภาคการขนส่ง

เอทานอล (ethanol) หรือเอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง เอทานอลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน มีสูตรเคมี



คือ C_2H_5OH เป็นของเหลวที่ไม่มีสี จุดไฟติด ระเหยง่าย สามารถละลายได้ทั้งในน้ำและสารละลายอินทรีย์อื่น ๆ เป็นแอลกอฮอล์ที่สามารถนำมาบริโภคได้ นอกจากนี้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูง หรือแอลกอฮอล์ไร้น้ำ (anhydrous alcohol) จะมีค่าออกเทนสูง สามารถนำมาผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ เอทานอลเป็นสารประกอบที่ย่อยสลายเองได้ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดิบซึ่งเป็นแหล่งพลังงานจากซากพืช ซากสัตว์ การใช้เอทานอลมีข้อดีหลายประการ กล่าวคือ เอทานอลเป็นพลังงานทดแทนที่มีการเผาไหม้สะอาดและไม่สร้างก๊าซพิษที่มีผลต่อการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก การใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงสามารถใช้ในรูปของเอทานอลไร้น้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง (เข้มข้นร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร) หรืออาจใช้เป็นเอทานอลที่มีน้ำ (hydrous ethanol) โดยสามารถนำเอทานอลมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ 3 รูปแบบ ได้แก่

- (1) ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงเพื่อทดแทนน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล
- (2) ใช้ผสมกับน้ำมันเบนซิน เรียกว่า แก๊สโซฮอล์ (Gasohol) หรือผสมกับน้ำมันดีเซล เรียกว่า ดีโซฮอล์ (Diesohol) เพื่อเป็นสารเพิ่มค่าออกเทน โดยจะผสมกับน้ำมันเบนซิน (Gasoline) ได้ในสัดส่วนร้อยละ 5 ถึง 30 โดยปริมาตร และไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์หรือดัดแปลงเล็กน้อย
- (3) ใช้เป็นสารเพิ่มค่าออกเทนของน้ำมันให้กับเครื่องยนต์ในรูปของ Ethyl Tertiary Butyl Ether (ETBE)

ปัจจุบันการใช้เอทานอลในรูปแอลกอฮอล์ที่มีน้ำ (Hydrous alcohol) เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงมีเฉพาะในประเทศบราซิลเท่านั้น ซึ่งมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ของรถยนต์และผลิตในเชิงพาณิชย์ ส่วนการใช้ประโยชน์เอทานอลในรูปที่ไร้น้ำหรือ Anhydrous alcohol ปัจจุบันมีการใช้ในหลายประเทศ เช่น บราซิลจะนำเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร มาผสมกับน้ำมันเบนซิน ในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยปริมาตร และใช้ชื่อผลิตภัณฑ์ว่า “Proalcohol” สหรัฐอเมริกาใช้เอทานอลผสมกับน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วในอัตราส่วน 10:90

เรียกว่า แก๊สโซฮอล์ (Gasohol) ชนิด E10 ออสเตรเลีย นำเอทานอลผสมกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วน 15:85 เรียกว่า E15 และใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ในชื่อผลิตภัณฑ์ “Petranol” ฟิลิปปินส์ผสมเอทานอลซึ่งผลิตจากอ้อยกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วน 20:80 (E20) เรียกว่า “Alcogas” เป็นต้น

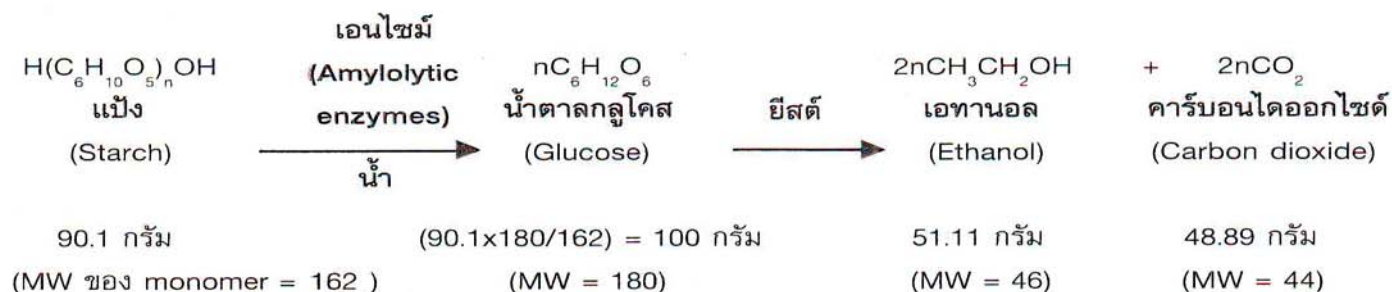
ส่วนนโยบายการใช้เอทานอลเป็นพลังงานทดแทนของไทย รัฐบาลได้กำหนดเป้าหมายที่จะใช้เอทานอลผสมน้ำมันเบนซิน หรือที่เรียกกันว่า “แก๊สโซฮอล์” เป็น 2 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 (ปี 2547-2549) กำหนดนโยบายลดการใช้สาร MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) ซึ่งเป็นสารเพิ่มปริมาณออกซิเจนเพื่อเพิ่มค่าออกเทน (oxygenate) ในน้ำมันเบนซิน 95 (MTBE Replacement) และกำหนดมาตรการยกเลิกการใช้สาร MTBE ในน้ำมันเบนซิน 95 ภายในปี 2549 แต่ทั้งนี้หากมีการขาดแคลนเอทานอลหรือราคาเอทานอลมีราคาสูงเกินกว่าที่ยอมรับได้ให้มีการใช้สาร MTBE ได้ และเพื่อให้เอทานอลสามารถแข่งขันกับสาร MTBE ได้ จึงมีกำหนดให้มีการปรับปรุงอัตราภาษีนำเข้าสาร MTBE ตามความเหมาะสมในแต่ละช่วงเวลา

ระยะที่ 2 (ปี 2549-2559) กำหนดนโยบายการใช้ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ในเบนซิน 95 และ 91 ทั่วประเทศ (Gasohol Mandate) ทั้งนี้ได้มีการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนทั้งหมดของประเทศร้อยละ 8 ในปี 2554

3) การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลได้ โดยในหัวมันจะมีแป้งที่สามารถนำมาผ่านกระบวนการย่อยเพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล จากนั้นจึงทำการหมักน้ำตาลที่ได้ด้วยเชื้อยีสต์ (ดังภาพที่ 1) เอทานอลที่ผลิตได้สามารถใช้ทำเครื่องดื่ม หรือกลั่นเพื่อแยกน้ำสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ทั้งนี้ในการพิจารณาผลผลิตของเอทานอลที่ได้ จะขึ้นอยู่กับปริมาณแป้งที่มีในวัตถุดิบเป็นสำคัญ โดยการคำนวณผลผลิตของเอทานอลที่ได้จากหัวมันสดและมันเส้นมีขั้นตอนดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 1 การผลิตเอทานอลจากแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์และหมักด้วยเชื้อยีสต์
ที่มา : Ingledew (1999)

ตารางที่ 1 การคำนวณเอทานอลที่ผลิตได้จากหัวมันสำปะหลัง

1	จากทฤษฎี 511 กรัมของเอทานอลจะผลิตได้จากน้ำตาลกลูโคส* 1 ลิตรเอทานอล (ประมาณ 789.3 กรัม) ผลิตได้จากน้ำตาลกลูโคส	1 กิโลกรัม 1.5446 กิโลกรัม
2	หัวมันสำปะหลัง 100 กิโลกรัม จะมีปริมาณแป้ง แป้ง 27 กิโลกรัม จะผลิตเป็นน้ำตาลกลูโคส	27 กิโลกรัม ** 30 กิโลกรัม
3	ฉะนั้นน้ำตาลกลูโคส 30 กิโลกรัมจะได้จากหัวมันสำปะหลัง จากน้ำตาลกลูโคส 1.5446 กิโลกรัม จะได้จากหัวมันสำปะหลัง	100 กิโลกรัม 5.15 กิโลกรัม
4	ในการผลิตควรได้ประสิทธิภาพร้อยละ 85 ของผลได้ทางทฤษฎี ฉะนั้น 1 ลิตรเอทานอล ควรผลิตได้จากหัวมันสำปะหลัง	6.1 กิโลกรัม

* Wheals et al. (1999)

** แป้งและโพลีแซคคาไรด์อื่น ๆ ที่ย่อยเป็นน้ำตาลกลูโคสได้

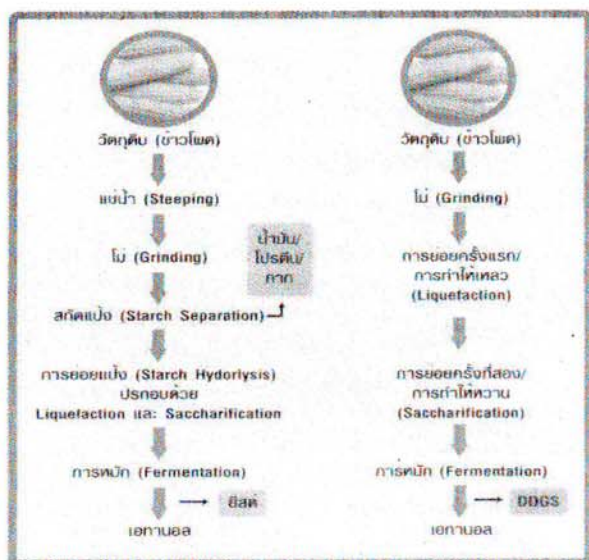
ตารางที่ 2 การคำนวณเอทานอลที่ผลิตได้จากมันเส้น

1	จากทฤษฎี 511 กรัมของเอทานอลจะผลิตได้จากน้ำตาลกลูโคส* 1 ลิตรเอทานอล (ประมาณ 789.3 กรัม) ผลิตได้จากน้ำตาลกลูโคส	1 กิโลกรัม 1.5446 กิโลกรัม
2	มันเส้น 100 กิโลกรัม จะมีปริมาณแป้ง แป้ง 65 กิโลกรัม จะผลิตเป็นน้ำตาลกลูโคส	65 กิโลกรัม ** 71.5 กิโลกรัม
3	ฉะนั้นน้ำตาลกลูโคส 71.5 กิโลกรัม จะได้จากมันเส้น จากน้ำตาลกลูโคส 1.5446 กิโลกรัม จะได้จากมันเส้น	100 กิโลกรัม 2.2 กิโลกรัม
4	ในการผลิตควรได้ประสิทธิภาพร้อยละ 85 ของผลได้ทางทฤษฎี ฉะนั้น 1 ลิตรเอทานอล ควรผลิตได้จากมันเส้น	2.5 กิโลกรัม

* Wheals et al. (1999)

** ปริมาณแป้งในมันเส้น (ความชื้นไม่เกินร้อยละ 14) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 65

เทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและมันเส้น ในระดับอุตสาหกรรมเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงนั้น พบว่ายังมีไม่มากนัก โดยมีการผลิตบ้างในประเทศจีนและเกาหลี ดังนั้นกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังจึงมีการประยุกต์และพัฒนามาจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกับมันสำปะหลัง ทั้งนี้ข้าวโพดยังเป็นวัตถุดิบจำพวกแป้งที่มีการนำมาใช้ผลิตเอทานอลเพื่อเป็นเชื้อเพลิงมากที่สุดในโลกอีกด้วย โดยผู้ผลิตรายใหญ่คือ ประเทศสหรัฐอเมริกา เทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากข้าวโพดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ กระบวนการผลิตแบบไม่เปียกและแบบไม่แห้ง (ดังภาพที่ 2) โดยมีรายละเอียด ดังนี้



ภาพที่ 2 กระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบที่มีแป้งโดย (A) กระบวนการไม่เปียก (Wet milling process) และ (B) กระบวนการไม่แห้ง (Dry grinding process)

3.1) กระบวนการแบบไม่เปียก (Wet milling process)

ในการผลิตจะเริ่มจากการแช่เมล็ดข้าวโพด ทำการโม่และแยกองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ น้ำมัน กาก โปรตีน ที่มีอยู่ในข้าวโพดออกจากแป้ง จากนั้นจึงนำน้ำแป้งไปปรับให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของ

เอนไซม์ (เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเอนไซม์ ปริมาณแคลเซียม เป็นต้น) แล้วจึงเริ่มการย่อยครั้งแรกด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส ซึ่งจะมีการให้ความร้อนด้วยระบบ jet cooker กับน้ำแป้งที่อุณหภูมิประมาณ 80 ถึง 90 องศาเซลเซียส เพื่อให้แป้งสุก และละลาย (Gelatinization) เป็นการช่วยในการทำงานของเอนไซม์ เมื่อย่อยครั้งแรกแล้ว จึงทำให้น้ำแป้งเย็นลง และปรับให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยครั้งที่สอง (เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 4.5 ถึง 5.0 เป็นต้น) เติมเอนไซม์กลูโคอะมิเลสเพื่อเปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาลกลูโคส และนำน้ำตาลที่ได้เข้าสู่กระบวนการหมัก กลับและกำจัดน้ำต่อไป

3.2) กระบวนการไม่แห้ง (Dry grinding process)

ในการผลิตจะเริ่มจากการโม่วัตถุดิบด้วยเครื่องโม่ (Hammer mill) ให้มีขนาดที่เหมาะสม หลังจากนั้นจึงผสมกับน้ำ ปรับให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ (เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเอนไซม์ เป็นต้น) แล้วจึงเริ่มการย่อยครั้งแรกด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส ซึ่งจะมีการให้ความร้อนกับน้ำแป้งที่อุณหภูมิประมาณ 80 ถึง 90 องศาเซลเซียส เพื่อให้แป้งสุก และละลาย (Gelatinization) ซึ่งจะช่วยในการทำงานของเอนไซม์ เมื่อย่อยครั้งแรกแล้ว จึงทำให้น้ำแป้งเย็นลง และปรับให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยครั้งที่สอง (เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 4.5 ถึง 5.0 เป็นต้น) เพื่อเปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาลกลูโคส สำหรับหมักต่อไป การหมักจะใช้ระยะเวลาประมาณ 48 ถึง 72 ชั่วโมง และได้น้ำหมักที่มีเอทานอลเข้มข้นประมาณร้อยละ 10 ถึง 12 โดยปริมาตร น้ำหมักที่ได้จะนำเข้าสู่กระบวนการกลั่นลำดับส่วนทำให้เอทานอลมีความเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร และทำให้บริสุทธิ์ต่อไป ซึ่งในกระบวนการกลั่นเอทานอลจะได้น้ำทิ้งที่เกิดจากการกลั่น (stillage) ที่สามารถนำไปทำให้เข้มข้นขึ้นและผสมกับกากที่ได้จากการหมัก แล้วทำให้แห้ง จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า Distiller Dried Grains with Soluble (DDGS) ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง สามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

โดยทั่วไปกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ (Conventional process) เช่น มันสำปะหลัง ข้าว และข้าวโพด จะมีขั้นตอนต่าง ๆ ที่สำคัญ ดังนี้

(1) การเตรียมวัตถุดิบ

ในขั้นตอนนี้จะมีสิ่งสำคัญ คือ การโม่เพื่อลดขนาดของวัตถุดิบเพื่อช่วยในเรื่องของการผสม และการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ จากนั้นผสมน้ำและให้ความร้อนแก่น้ำแป้งเพื่อทำให้แป้งสุก ซึ่งโดยทั่วไปธรรมชาติของแป้งจะมีลักษณะเป็นเม็ดแป้ง (starch granule) ที่มีโครงสร้างกึ่งผลึก (semi-crystalline structure) ทำให้เม็ดแป้งของแป้งดิบ (native starch) มีลักษณะที่แขวนลอยและไม่ละลายในน้ำเย็น ซึ่งโครงสร้างที่แข็งแรงนี้จะขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ด้วย แต่เมื่อเม็ดแป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำได้รับความร้อน ความร้อนจะทำให้แป้งสุกและละลายน้ำได้ดีขึ้น หรือที่เรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน (starch gelatinization) ของแป้ง โดยทั่วไปอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งจะมีค่าประมาณ 55 - 70 องศาเซลเซียส) เมื่อเม็ดแป้งเริ่มละลายน้ำจะทำให้เอนไซม์สามารถเกิดกิจกรรมกับแป้งได้ดีขึ้น ดังนั้นโดยทั่วไปในกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบที่เป็นแป้งจะต้องมีขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ โดยการผสมน้ำและให้ความร้อนเพื่อทำให้แป้งสุกและละลายน้ำได้ดีขึ้น

(2) การย่อยแป้งเพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำตาล

ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบนั้น แป้งในวัตถุดิบจะต้องถูกย่อยให้ได้น้ำตาลที่มีโมเลกุลขนาดเล็กก่อน โดยทั่วไปการย่อยแป้งจะประกอบด้วยการย่อย 2 ครั้ง คือการย่อยครั้งแรกหรือการทำให้แป้งเหลว (Liquefaction) ด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -amylase) และการย่อยครั้งสุดท้ายหรือการเปลี่ยนเป็นน้ำตาล (Saccharification) ด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลส (glucoamylase)

2.1) การย่อยครั้งแรกหรือการทำให้เหลว (Liquefaction) ขั้นตอนนี้จะใช้กรดหรือเอนไซม์กลุ่ม

แอลฟาอะไมเลส (α -amylase) ในการทำปฏิกิริยา โดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเป็นเอนไซม์ที่มีกิจกรรมเกิดขึ้นแบบสุ่มภายในโมเลกุลแป้ง (endo-acting enzyme) ที่ตัดพันธะระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส เอนไซม์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมหมักสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ โดยจะมีกิจกรรมย่อยแป้งที่อุณหภูมิประมาณ 100-105 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้แป้งสุกและเอนไซม์สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ง่าย ทำให้ได้โมเลกุลแป้งที่มีขนาดเล็กลงและมีความหนืดลดลงอย่างรวดเร็วของเหลวที่ได้จะมีค่าสมมูลเด็กโทรส (Dextrose equivalent, DE ซึ่งหมายถึง ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลรีดิวซ์ เมื่อคิดเทียบกับน้ำตาลกลูโคสที่มีในตัวอย่างต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด) อยู่ในช่วง 10 ถึง 20 เรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้ว่า เด็กซ์ทริน (dextrin)

2.2) การย่อยครั้งสุดท้ายหรือการเปลี่ยนเป็นน้ำตาล (Saccharification) สารละลายน้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้งควรมีสมมูลเด็กซ์โทรส (Dextrose equivalent) สูง ซึ่งบ่งบอกว่าโมเลกุลแป้งส่วนใหญ่ถูกย่อย (hydrolysis) เป็นน้ำตาล ยีสต์จึงทำงานได้ดี ในขั้นตอนนี้จะใช้เอนไซม์กลูโคอะไมเลส (glucoamylase) ในการย่อยเด็กซ์ทรินที่ได้จากการย่อยครั้งแรก ย่อยได้น้ำตาลที่มีความหวานเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปในขั้นตอนการย่อยครั้งสุดท้ายนี้จะใช้เวลาในการย่อยประมาณ 10 ถึง 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50 ถึง 60 องศาเซลเซียส (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของเอนไซม์ที่ใช้ รวมทั้งสภาวะในการย่อย)

(3) การหมักน้ำตาลเป็นเอทานอลด้วยเชื้อยีสต์ ปกติโดยทั่วไปการหมักทำได้โดยการเตรียมน้ำหมัก (mash) ที่มีความเข้มข้นของน้ำตาล (ที่ยีสต์ใช้ได้) ประมาณร้อยละ 14 ถึง 18 ที่สภาพความเป็นกรดต่างประมาณ 4.5 ถึง 5.0 เพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของยีสต์ และป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ จากนั้นผสมเชื้อยีสต์ที่เตรียมไว้ประมาณร้อยละ 5 ถึง 8 โดยปริมาตร แล้วหมักในสภาพจำกัดอากาศที่อุณหภูมิประมาณ 25 ถึง 35 องศา

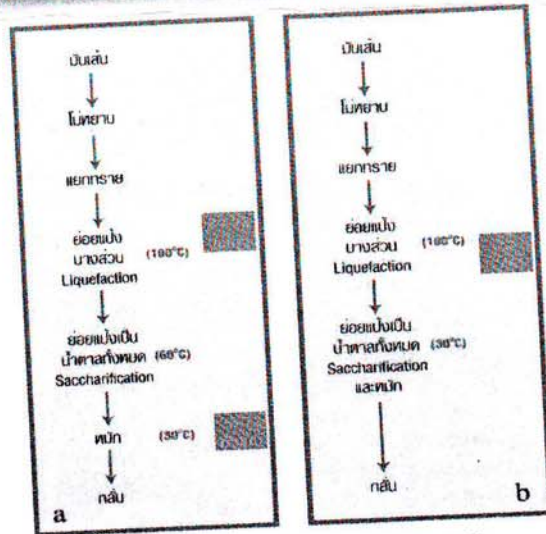
เซลเซียส ประมาณ 30 ถึง 72 ชั่วโมง จะได้น้ำหมักที่มีความเข้มข้นของเอทานอลประมาณร้อยละ 6 ถึง 9 โดยปริมาตร เมื่อได้น้ำหมักแล้ว สามารถนำน้ำหมักที่ได้ไปผ่านกระบวนการกลั่น และกำจัดน้ำเพื่อผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ต่อไป

สำหรับเทคโนโลยีการหมักมี 2 แบบ คือ

- แบบ batch หมายถึง การผสมหัวเชื้อลงในน้ำหมักและการหมักเกิดขึ้นในถังหมักใบเดียวกันจนเสร็จสิ้นการหมักใน 72 ชั่วโมง

- แบบต่อเนื่อง หมายถึง มีการผสมหัวเชื้อและน้ำหมักในถังหมักใบแรก และปล่อยให้มีการไหลของน้ำหมักไปสู่ถังที่ 2, 3, 4 หรือ 5 จนกระทั่งได้ความเข้มข้นของเอทานอลที่ต้องการ น้ำหมักจะผ่านเครื่องแยกเซลล์ออก นำเซลล์ยีสต์มาล้างด้วยกรดและบางส่วนกลับมาป้อนถังหมักถังแรกกับน้ำหมักที่เข้ามาใหม่ต่อไป

อย่างไรก็ตามในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบที่เป็นแป้งนั้น ปัจจุบันได้มีการพัฒนากระบวนการผลิต โดยมีการรวมขั้นตอนการย่อยครั้งสุดท้าย เพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลด้วยเอนไซม์กลูโคสโคมิเลส (saccharification) พร้อมกับหมักด้วยเชื้อยีสต์ในขั้นตอนเดียวกัน เรียกกระบวนการนี้ว่า Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) โดยในกระบวนการผลิตแบบSSF นี้ หลังจากขั้นตอนการย่อยแป้งครั้งแรกด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส (liquefaction) แล้วจะทำการเติมเอนไซม์กลูโคสโคมิเลส พร้อมกับเชื้อยีสต์ (ดังภาพที่ 3) ทำให้การย่อยแป้งครั้งสุดท้าย (saccharification) ด้วยเอนไซม์เกิดขึ้นพร้อมกับการหมักด้วยเชื้อยีสต์ในขั้นตอนเดียวกัน ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาและประหยัดพลังงานของกระบวนการผลิต เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบที่เป็นแป้งได้



ภาพที่ 3 การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังด้วย (a) กระบวนการผลิตแบบแบบทั่วไป (Conventional process) และ (b) แบบ Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) Process

(4) การทำเอทานอลบริสุทธิ์

โดยทั่วไปโรงงานเอทานอลจะกลั่นสาที่ได้ออกมาหมักเป็นเอทานอลบริสุทธิ์ 95% ในขั้นแรก และขั้นต่อมาจะทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์สูงขึ้นจาก 95% เป็น 99.5% (เอทานอลไร้น้ำ) แต่เดิมในขั้นตอนการทำเอทานอลไร้น้ำนิยมใช้การกลั่นแบบ Azeotropic Distillation ซึ่งเป็นวิธีการกลั่นแยกของผสมโดยใช้คุณสมบัติแบบจุดเดือดร่วม (azeotropic) ของของผสมซึ่งโรงงานผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ในปัจจุบันไม่ค่อยนิยมใช้วิธีการนี้ เนื่องจากต้องมีการใช้สารช่วยกลั่น ได้แก่ เบนซีน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งและติดไฟได้ง่าย รวมทั้งความซับซ้อนของการทำงาน ค่าก่อสร้างที่แพงและมีการใช้พลังงาน (ไอน้ำ) มากในการกลั่น ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีการผลิตเอทานอลไร้น้ำได้มีการพัฒนาขึ้นมา โดยสามารถใช้ Molecular Sieve Dehydrator ซึ่งเป็นสารจำพวก Zeolyte ที่เป็นตัวดูดซับความชื้นของอากาศดูดซับน้ำออกจากเอทานอลที่ได้จากการกลั่น หรือใช้เทคโนโลยี Membrane Pervaporator ซึ่งจะใช้หลักการทำงานของเมมเบรน (permeate membrane) ร่วมกับการระเหย (evaporation) ทำให้ต้นทุนและความยุ่งยากในการทำเอทานอลบริสุทธิ์ลง

5) โอกาสและอนาคตของมันสำปะหลังกับอุตสาหกรรมเอทานอล

ในอดีตการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในระดับอุตสาหกรรมเป็นเรื่องที่ห่างไกลความเป็นจริง เนื่องจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากแป้งจะค่อนข้างยุ่งยากกว่าการใช้น้ำตาลและสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่า แต่จากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่มีในปัจจุบัน และที่ยังคงพัฒนาอยู่อย่างต่อเนื่องทำให้โอกาสของมันสำปะหลังในอุตสาหกรรมเอทานอลเป็นจริงขึ้น อย่างไรก็ตามการพัฒนาระบบการผลิตยังคงดำเนินไปอย่างต่อเนื่องทั้งภายในประเทศโดยการผลักดันของรัฐ รวมทั้งการพัฒนาเทคโนโลยีด้านต่าง ๆ ในต่างประเทศ ได้แก่

■ การพัฒนาระบบการหมักที่มีความเข้มข้นของวัตถุดิบสูง (High gravity fermentation) เพื่อลดปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งจะเป็นการลดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ส่งผลทำให้ต้นทุนในการจัดการของเสียลดต่ำ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

■ การพัฒนาเชื้อยีสต์ที่สามารถหมักได้ที่อุณหภูมิสูง และสามารถผลิตเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงได้ ซึ่งจะช่วยลดพลังงานของกระบวนการผลิตได้

■ การพัฒนาระบบการผลิตที่ลดการใช้พลังงาน ที่สำคัญได้แก่ การลดพลังงานในระหว่างการย่อยแป้งเป็นน้ำตาล ในกรณีที่ใช้วัตถุดิบที่เป็นแป้ง การลดพลังงานในการผลิตเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น

■ การพัฒนาวัตถุดิบที่มีปริมาณแป้งและน้ำตาลสูงขึ้น รวมทั้งการพัฒนาพันธุ์และวิธีการเพาะปลูกที่ให้ผลผลิตสูง เพื่อเป็นการลดต้นทุนของการผลิตวัตถุดิบ

การพัฒนาในด้านต่าง ๆ เหล่านี้จะเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญยิ่งต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลจากวัตถุดิบทางการเกษตรที่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ อันจะนำไปสู่การสร้าง เสถียรภาพและความมั่นคงทั้งทางด้านพลังงาน ด้านการเกษตร และด้านเศรษฐกิจของประเทศอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

- Ingledeu, W.M. 1999. Alcohol production by *Saccharomyces cerevisiae*: a yeast primer. In Jacques, K., Lyons, T.P. and D.R. Kelsall. The Alcohol textbook 3rd Edition. Nottingham University Press. Nottingham. pp. 49-87.
- Wheals, A.E., L.C. Basso, D.M.G. Alves and H.V. Amorim. 1999. Fuel ethanol after 25 years. TIBTECH DECEMBER (Vol. 17) 482 - 487.