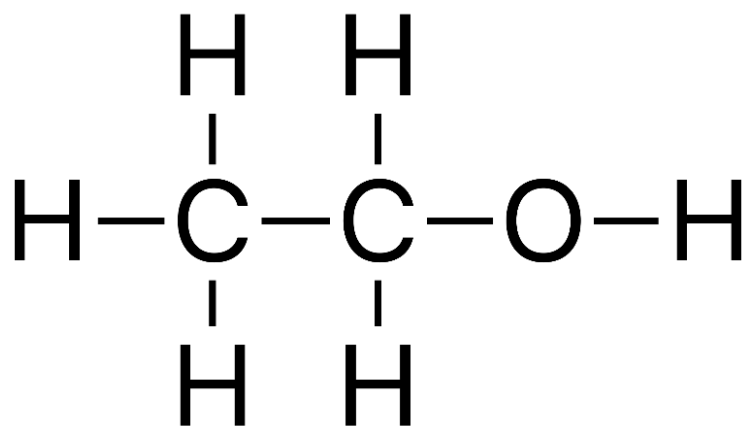


ห่วงโซ่อุปทานไบโอเอทานอล (Bioethanol Supply Chain)

1. ข้อมูลทั่วไป

เอทานอล (C_2H_5OH) หรือเอทิลแอลกอฮอล์ เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่สำคัญและถูกนำมาใช้ทดแทนน้ำมันเบนซินในภาคการขนส่งอย่างแพร่หลาย โดยผลิตจากกระบวนการทางชีวภาพ เช่น การหมักน้ำตาลด้วยจุลินทรีย์ จัดเป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนที่มีบทบาทในการลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอลชีวภาพมาจากชีวมวลหลากหลายประเภท ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มน้ำตาล กลุ่มแป้ง และกลุ่มลิกโนเซลลูโลส โดยตัวอย่างวัตถุดิบที่นิยมใช้ เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี มันสำปะหลัง อ้อย ฟางข้าว เศษวัสดุทางการเกษตร ชีเลื่อย รวมถึงพืชพลังงาน เช่น หญ้าและไม้โตเร็ว นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาเพื่อนำของเสียจากชุมชนมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลอีกด้วย เอทานอลชีวภาพมีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีความเป็นพิษต่ำ และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เมื่อเผาไหม้จะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นหลัก อีกทั้งยังเป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าออกเทนสูง จึงถูกนำมาใช้ผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อปรับปรุงคุณภาพการเผาไหม้ โดยช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนในเชื้อเพลิง ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และลดการปล่อยมลพิษ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ในด้านการใช้งาน เอทานอลมักถูกผสมกับน้ำมันเบนซินในสัดส่วนต่าง ๆ เช่น E10 (เอทานอล 10%) ซึ่งสามารถใช้กับเครื่องยนต์ทั่วไปได้โดยไม่ต้องปรับปรุงเครื่องยนต์ และ E85 (เอทานอล 85%) ซึ่งใช้กับเครื่องยนต์ที่ออกแบบเฉพาะ (Flexible Fuel Vehicle: FFV) นอกจากนี้ การใช้เอทานอลยังเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพเชื้อเพลิงในหลายประเทศ เช่น มาตรฐาน EN 228 ของสหภาพยุโรป^{1,2}

รูปที่ 1 โครงสร้าง เอทานอล (C_2H_5OH) หรือเอทิลแอลกอฮอล์



ที่มา: panyachemipan

¹ ที่มา: Bala et al. (2023). Prospects of clean energy from bacteria, fungus, and algae. In Relationship Between Microbes and the Environment for Sustainable Ecosystem Services (pp. 83–95). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89936-9.00002-3>

² ที่มา: Chisti & Karimi (2024). Bioethanol production. In Encyclopedia of Sustainable Technologies (Vol. 3, pp. 279–294). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90386-8.00017-6>

สมบัติทางกายภาพและเคมีของไบโอเอทานอล

ไบโอเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นเอทิลแอลกอฮอล์ ที่ผลิตจากวัตถุดิบชีวภาพ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ผ่านกระบวนการหมักและการกลั่น โดยทั่วไปสามารถจำแนกการใช้งานออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ การใช้เป็นเครื่องต้มแอลกอฮอล์ การใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก และการใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรม ในภาคพลังงาน ไบโอเอทานอลสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ เนื่องจากเป็นสารที่ติดไฟได้ อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปนิยมใช้ในรูปแบบของการผสมกับน้ำมันเบนซิน เพื่อเพิ่มค่าออกเทน (High Octane Mogas Component: HOMC) และช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์

ในด้านโครงสร้างทางเคมี ไบโอเอทานอลเป็นสารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) อยู่ในโมเลกุล ซึ่งทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonding) ได้ ส่งผลให้มีความสามารถในการละลายสูง โดยสามารถละลายได้ในน้ำทุกอัตราส่วน รวมถึงตัวทำละลายอินทรีย์หลายชนิด เช่น อีเทอร์ เบนซิน และอะซิโตน นอกจากนี้ ไบโอเอทานอลยังจัดเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในโมเลกุล (oxygenated fuel) จึงช่วยให้การเผาไหม้มีความสมบูรณ์มากขึ้น ส่งผลให้การปล่อยอนุภาคและมลพิษบางชนิดต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล อีกทั้งยังมีค่าออกเทนสูง โดยมีค่า Research Octane Number (RON) อยู่ในช่วงประมาณ 108–110 ซึ่งสูงกว่าน้ำมันเบนซิน (RON ประมาณ 91–99) จึงช่วยลดปัญหาการน็อกของเครื่องยนต์ อย่างไรก็ตาม ไบโอเอทานอลมีค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value; LHV) ประมาณ 26–27 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าน้ำมันเบนซิน (ประมาณ 42–44 เมกะจูลต่อกิโลกรัม) ส่งผลให้ต้องใช้ในปริมาณมากขึ้นเพื่อให้ได้พลังงานเทียบเท่ากัน

ในด้านสมบัติทางกายภาพ ไบโอเอทานอลบริสุทธิ์เป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว และติดไฟได้ง่าย โดยให้เปลวไฟสีน้ำเงินจางซึ่งมองเห็นได้ไม่ชัดเจน นอกจากนี้ยังมีความหนาแน่นประมาณ 0.789 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรที่อุณหภูมิ 20°C และโดยทั่วไปไบโอเอทานอลเชื้อเพลิงจะผ่านกระบวนการกำจัดน้ำ (dehydration) ให้มีปริมาณน้ำต่ำกว่า 1% โดยปริมาตร เพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน ในด้านสมบัติทางเคมีอื่น ๆ ไบโอเอทานอลมีความเป็นกรดอ่อน (pH ต่ำเล็กน้อย) ซึ่งอาจก่อให้เกิดการกัดกร่อนในระบบเชื้อเพลิงได้ หากไม่มีการควบคุมหรือเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม โดยสมบัติทางกายภาพและเคมีของไบโอเอทานอลโดยสรุปแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของไบโอเอทานอล (Bioethanol Properties)³

สมบัติ (Property)	คำอธิบาย (Description)
ความหนาแน่นของไอ (Vapour density)	ไอของไบโอเอทานอลมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศ คล้ายกับน้ำมันเบนซิน จึงมักสะสมอยู่ใกล้พื้นดิน ดังนั้นการจัดการและการเก็บรักษาควรใช้ความระมัดระวังเช่นเดียวกับเบนซิน

³ที่มา: Gis, W., Stępień, Z., Kruczyński, S. W., & Zin, D. (2018). Bioethanol as a fuel component for spark-ignition engines. *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów*, 121–129.

สมบัติ (Property)	คำอธิบาย (Description)
การละลายในน้ำ (Solubility in water)	ไบโอเอทานอลมีคุณสมบัติดูดความชื้นสูง (hygroscopic) การมีน้ำในปริมาณมากอาจทำให้เกิดการแยกชั้นในส่วนผสมระหว่างเอทานอลกับเบนซิน จึงต้องควบคุมปริมาณน้ำในอุปกรณ์และภาชนะให้น้อยที่สุด
ค่าความร้อน (Calorific value)	ไบโอเอทานอลมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันเบนซินประมาณ 30% จึงต้องใช้ในปริมาณมากกว่าเพื่อให้ได้พลังงานเทียบเท่ากัน
การมองเห็นเปลวไฟ (Flame visibility)	เปลวไฟจากการเผาไหม้ของไบโอเอทานอลมองเห็นได้ยากกว่าเบนซิน แต่ยังสามารถมองเห็นได้ในเวลากลางวัน
ความหนาแน่น (Density)	ไบโอเอทานอลและสารผสมกับเบนซินมีความหนาแน่นมากกว่าเบนซิน
การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity)	ไบโอเอทานอลและสารผสมมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าเบนซิน ซึ่งอาจเป็นข้อเสียเนื่องจากอาจก่อให้เกิดการกัดกร่อนของวัสดุบางชนิด
อัตราส่วนสโตอิชิโอเมตริก (Stoichiometric ratio)	ไบโอเอทานอลมีอะตอมออกซิเจนอยู่ในโมเลกุล ทำให้อัตราส่วนสโตอิชิโอเมตริกระหว่างเอทานอลกับอากาศต่ำกว่าเบนซิน
ความเป็นพิษ (Toxicity)	ไบโอเอทานอลบริสุทธิ์ในปริมาณเล็กน้อยไม่เป็นพิษและไม่ก่อมะเร็ง แต่เอทานอลเชื้อเพลิงและสารผสมกับเบนซินอาจมีความเป็นพิษและก่อมะเร็งเนื่องจากมีไฮโดรคาร์บอนจากเบนซิน
ความไวไฟ (Flammability)	ขึ้นอยู่กับชนิดของสารผสมไบโอเอทานอล ไอระเหยในถังอาจอยู่ในช่วงความไวไฟ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการติดไฟได้

2. กระบวนการสังเคราะห์

กระบวนการผลิตไบโอเอทานอลจากวัตถุดิบหมุนเวียนประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน ได้แก่ การปรับสภาพวัตถุดิบ (Pretreatment) การย่อยสลาย (Hydrolysis) การหมัก (Fermentation) และการแยกและทำบริสุทธิ์ (Separation and Purification) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การปรับสภาพวัตถุดิบ (Pretreatment) เป็นขั้นตอนสำคัญ โดยเฉพาะสำหรับวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส เช่น ฟางข้าวและเศษไม้ ซึ่งมีโครงสร้างซับซ้อนจากลิกนินและเฮมิเซลลูโลส การปรับสภาพมีวัตถุประสงค์เพื่อทำลายโครงสร้างดังกล่าว และเพิ่มความสามารถในการเข้าถึงเซลลูโลสของเอนไซม์ ส่งผลให้การย่อยสลายเป็นน้ำตาลทำได้ง่ายขึ้น วิธีการปรับสภาพสามารถแบ่งออกเป็นหลายรูปแบบ ได้แก่

- วิธีทางกายภาพ เช่น การบด (milling) เพื่อลดขนาดอนุภาค
- วิธีทางเคมี เช่น การใช้กรดเจือจาง ต่าง หรือสารตัวทำละลายอินทรีย์ (organosolv)
- วิธีทางกายภาพ-เคมี เช่น การระเบิดด้วยไอน้ำ (steam explosion) หรือการใช้แอมโมเนีย (AFEX)

- วิธีการชีวภาพ เช่น การใช้จุลินทรีย์หรือเชื้อราในการย่อยสลายลิกนิน

2. การย่อยสลาย (Hydrolysis) เป็นกระบวนการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตสายยาวให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่สามารถนำไปหมักได้ โดยชนิดของเอนไซม์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุดิบ ได้แก่

- วัตถุดิบประเภทแป้ง ใช้เอนไซม์ α -amylase และ glucoamylase เพื่อย่อยแป้งให้เป็นกลูโคส
- วัตถุดิบประเภทเซลลูโลส ใช้เอนไซม์กลุ่มเซลลูเลส (cellulases) ซึ่งทำงานร่วมกันในการย่อยเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส

3. การหมัก (Fermentation) เป็นกระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นเอทานอลโดยใช้จุลินทรีย์ โดยเฉพาะยีสต์ชนิด *Saccharomyces cerevisiae* ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic condition) รูปแบบของกระบวนการหมักมีหลายลักษณะ ได้แก่

- SHF (Separate Hydrolysis and Fermentation): แยกขั้นตอนการย่อยและการหมักออกจากกัน
- SSF (Simultaneous Saccharification and Fermentation): การย่อยและการหมักเกิดขึ้นพร้อมกันในถังเดียว ช่วยลดการยับยั้งของเอนไซม์
- CBP (Consolidated Bioprocessing): การผลิตเอนไซม์ การย่อย และการหมักเกิดขึ้นพร้อมกัน โดย

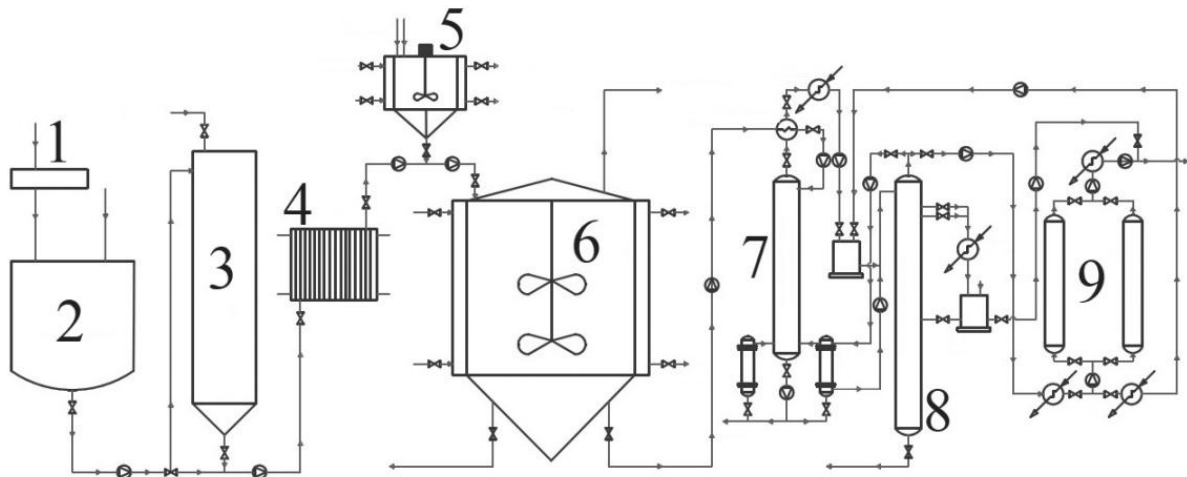
4. การแยกและการทำบริสุทธิ์ (Separation and Purification) หลังจากการหมัก จะได้น้ำหมักที่มีเอทานอลในความเข้มข้นต่ำ จึงต้องผ่านกระบวนการแยกและทำบริสุทธิ์ ได้แก่

- การกลั่น (distillation) เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลให้ได้ประมาณ 92.4–94% โดยมวล
- การขจัดน้ำ (dehydration) เพื่อผลิตเอทานอลบริสุทธิ์สูง (anhydrous ethanol) มากกว่า 99.5% โดยนิยมใช้เทคนิคโมเลกุลาร์ซีฟ (molecular sieves) หรือวิธีการกลั่นแบบพิเศษเพื่อแยกจุดอะซีโอโทรป (azeotrope) ของเอทานอลและน้ำ

นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาเทคโนโลยีการแยกขั้นสูง เช่น การแยกด้วยเมมเบรน (pervaporation) และการชะล้างด้วยก๊าซ (gas stripping) ซึ่งสามารถช่วยแยกเอทานอลออกจากถังหมักได้อย่างต่อเนื่อง ลดการยับยั้งของจุลินทรีย์ และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต⁴

⁴ ที่มา: Bušić, A., Marđetko, N., Kundas, S., Morzak, G., Belskaya, H., Ivančić Šantek, M., Komes, D., Novak, S., & Šantek, B. (2018). Bioethanol production from renewable raw materials and its separation and purification: A review. Food Technology and Biotechnology, 56(3), 289–311. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5546>

รูปที่ 2 ขั้นตอนและอุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิตไบโอเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส



หมายเหตุ: 1 คือ การบด (milling) 2 คือ การปรับสภาพวัตถุดิบ (pretreatment) 3 คือ การย่อยน้ำตาล (saccharification) 4 คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) 5 คือ ถังเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ (propagator) 6 คือ ถังปฏิกรณ์ชีวภาพ (bioreactor) 7 คือ หอกลั่นแบบสตรipping (stripping column) 8 คือ หอกลั่นลำดับส่วน (rectifying column) 9 คือ โมเลกุลาร์ซีฟ (molecular sieves)

ที่มา: Bušić, A. et al. (2018)

ตัวอย่างเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลในปัจจุบัน

1. **BIOSTIL** เป็นเทคโนโลยีการผลิตที่พัฒนาโดยบริษัท Alfa-Laval AB ประเทศสวีเดน จุดเด่นของเทคโนโลยีนี้คือการใช้ยีสต์สายพันธุ์พิเศษ *Schizosaccharomyces pombe* ซึ่งสามารถใช้กากน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงประมาณ 40–45 ° Brix ได้ ความเข้มข้นของน้ำตาลที่สูงช่วยลดโอกาสการปนเปื้อนของจุลินทรีย์อื่น ภายหลังสิ้นสุดการหมัก สารละลายจะถูกส่งผ่านเครื่องเหวี่ยงความเร็วสูงเพื่อแยกครีมยีสต์ออก และหมุนเวียนกลับเข้าสู่ถังหมักใหม่ เนื่องจากยีสต์มีการเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารเพิ่มเติม อีกทั้งยังให้ผลผลิตในระดับสูง ระบบนี้ใช้ถังหมักเพียงถังเดียว ทำให้ใช้พื้นที่น้อย มีระบบควบคุมอัตโนมัติ ใช้เครื่องมือไม่มาก ส่งผลให้ต้นทุนคงที่ต่ำ อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดคือได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นเพียงประมาณ 5–7 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จึงต้องใช้พลังงานสูงในขั้นตอนการกลั่น

2. **HIFERM-GR หรือ “CASCADE”** เป็นระบบที่พัฒนาโดยบริษัท Vogelbusch Ges.m.b.H. ประเทศออสเตรีย โดยมีการใช้งานในหลายประเทศ เช่น ในทวีปยุโรป อินเดีย เอเชีย สหรัฐอเมริกา และแคนาดา จุดเด่นของเทคโนโลยีนี้คือมีประสิทธิภาพในการหมักสูงประมาณร้อยละ 90 และสามารถผลิตเอทานอลที่มีความเข้มข้นประมาณ 8.5–9.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ใช้พลังงานในการกลั่นต่ำ และมีต้นทุนการผลิตต่ำ นอกจากนี้ยังมีความทนทานต่อเกลือแคลเซียมที่มีความเข้มข้นสูง และใช้เวลาในการหมักสั้น

3. **HOECHST-UHDE** เทคโนโลยีนี้ใช้ยีสต์ชนิดรวมตัวกันเป็นก้อน (flocculating yeast) และใช้ถังหมักแบบลูปรีแอกเตอร์ (loop reactor) ซึ่งช่วยให้กระบวนการหมักเสร็จสิ้นได้รวดเร็ว และสามารถรักษาความเข้มข้นของยีสต์ให้อยู่ในระดับสูงตลอดกระบวนการหมัก โดยจะได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นประมาณ 7.5–8.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ข้อดีและข้อจำกัดของระบบนี้มีลักษณะใกล้เคียงกับระบบ BIOSTIL

4. HOECHST-UHDE เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาโดยบริษัท LURGI โดยเป็นระบบการหมักแบบต่อเนื่อง ใช้ถังหมักจำนวน 6 ถังเรียงต่อกัน ภายในถังมีการใช้ยีสต์ตรึง (immobilized yeast) วัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าสู่ถังหมักถังแรก และความเข้มข้นของเอทานอลจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละถัง น้ำหมักจากถังหมักที่ 6 จะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการกลั่นต่อไป โดยยีสต์ในแต่ละถังจะสามารถปรับตัวให้เหมาะสมกับความเข้มข้นของเอทานอลที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของเทคโนโลยีนี้คือจำเป็นต้องมีการเติมสารอาหารให้ยีสต์ในแต่ละถังเพื่อให้สามารถเจริญเติบโตได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากสารอาหารบางส่วนจะถูกพาออกไปพร้อมกับน้ำหมัก อีกทั้งต้องควบคุมไม่ให้มีจุลินทรีย์ก่อโรคในระบบ เนื่องจากจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตลดลง⁵

3. การวิเคราะห์ห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมการผลิตและแปรรูปไบโอเอทานอล

ไบโอเอทานอลมีบทบาทเชิงเปลี่ยนแปลงต่ออุตสาหกรรมชีวภาพ โดยทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนสำคัญในการเปลี่ยนผ่านจากเศรษฐกิจที่พึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล ไปสู่เศรษฐกิจชีวภาพแบบหมุนเวียน นอกจากนี้ ยังส่งเสริมการพัฒนาโรงกลั่นชีวภาพ (biorefinery) ซึ่งไม่ได้ผลิตเพียงเชื้อเพลิงเท่านั้น แต่ยังบูรณาการการผลิตอาหาร อาหารสัตว์ และสารเคมีชีวภาพควบคู่กันไปลดการพึ่งพาวัตถุดิบนำเข้า เพิ่มมูลค่าเศรษฐกิจชุมชน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อดำเนินการอย่างยั่งยืน ดยจากข้อมูลทั้งหมด สามารถวิเคราะห์และจัดทำแผนภาพห่วงโซ่อุปทานของการผลิตไบโอเอทานอลได้ตามที่**แสดงดังรูปที่ 3**

3.1 อุตสาหกรรมต้นน้ำ (Upstream)

มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ การเลือกชนิดพืชและพื้นที่เพาะปลูกขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสภาพภูมิอากาศและดินของแต่ละประเทศ พืชที่นิยมใช้ในการผลิตไบโอเอทานอล ได้แก่ มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพด และข้าวสาลี เนื่องจากมีปริมาณแป้งและน้ำตาลสูง ซึ่งเหมาะต่อการหมักเป็นเอทานอล ทั้งนี้ แต่ละประเทศมีการเลือกใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกันตามความได้เปรียบเชิงเกษตรกรรมของตน เช่น สหรัฐอเมริกาพึ่งพา ข้าวโพด เป็นหลักเนื่องจากมีผลผลิตสูงและราคาถูก บราซิลใช้ อ้อย ซึ่งให้ผลผลิตน้ำตาลสูงในสภาพภูมิอากาศเขตร้อน ขณะที่สหภาพยุโรปนิยมใช้ ข้าวสาลีและหัวบีต เป็นวัตถุดิบหลัก

สำหรับประเทศไทย วัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอเอทานอลคือ อ้อยและมันสำปะหลัง โดยไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกมันสำปะหลังรายใหญ่ของโลก ทำให้วัตถุดิบชนิดนี้มีปริมาณมากและต้นทุนต่ำ หลังจากการเก็บเกี่ยว ผลผลิตเหล่านี้จะถูกนำเข้าโรงงานเพื่อเข้าสู่กระบวนการแปรรูปเบื้องต้น อ้อยจะถูกคั้นเอาน้ำอ้อยหรือน้ำกากน้ำตาล (Molasses) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำตาลมาใช้เป็นวัตถุดิบ ส่วนมันสำปะหลังจะผ่านการบดและสกัดเพื่อให้ได้แป้ง ซึ่งทั้งสองส่วนนี้จะถูกนำไปหมักด้วยจุลินทรีย์เพื่อผลิตเอทานอลต่อไป กระบวนการนี้เป็นขั้นตอนสำคัญที่เชื่อมโยงภาคการเกษตรกับอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวภาพ ทำให้อุตสาหกรรมไบโอเอทานอลเป็นตัวอย่างของการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตทางการเกษตร และช่วยส่งเสริมความยั่งยืนทางพลังงานของประเทศในระยะยาว

⁵ที่มา: Choonut, A., & Sangkharak, K. (2018). The production of ethanol and the utilization of wastes from ethanol industry. Thaksin University Journal, 19(2).

3.2 อุตสาหกรรมกลางน้ำ (Midstream)

อุตสาหกรรมกลางน้ำของไบโอเอทานอลครอบคลุมกระบวนการแปรรูปวัตถุดิบทางการเกษตรให้กลายเป็นเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน วัตถุดิบที่ส่งมาจากภาคการเกษตรจะผ่านการตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้น เช่น ปริมาณน้ำตาล ปริมาณแป้ง และความชื้น ก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต

- **อ้อย** จะถูกนำเข้าเครื่องหีบเพื่อคั้นเอาน้ำอ้อย หรือในกรณีที่ใช้กากน้ำตาล (Molasses) จะรับโดยตรงจากโรงงานน้ำตาล น้ำอ้อยและกากน้ำตาลมีน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรักโทสในปริมาณสูง ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปหมักได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนย่อยแป้งเพิ่มเติม
- **มันสำปะหลัง** จะถูกล้างและบดละเอียด จากนั้นผสมน้ำเพื่อให้ได้กากมันเหลว (Slurry) ก่อนส่งเข้าสู่กระบวนการต้มและย่อยแป้งในขั้นตอนถัดไป

สำหรับวัตถุดิบที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น มันสำปะหลัง จำเป็นต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลก่อนการหมัก โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การทำให้เป็นของเหลว (liquefaction) ซึ่งให้ความร้อนประมาณ 80–90°C พร้อมเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส เพื่อย่อยแป้งให้เป็นเดกซ์ทริน และการทำให้เป็นน้ำตาล (Saccharification) โดยลดอุณหภูมิลงเหลือประมาณ 60–65°C และเติมเอนไซม์กลูโคอะไมเลส เพื่อเปลี่ยนเดกซ์ทรินเป็นกลูโคส ซึ่งสามารถนำไปหมักด้วยยีสต์เพื่อผลิตเอทานอลต่อไป⁶

กระบวนการต่อมาถือเป็นหัวใจสำคัญของการผลิตไบโอเอทานอล โดยจุลินทรีย์จะเปลี่ยนน้ำตาลให้กลายเป็นเอทานอลและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จุลินทรีย์ที่นิยมใช้คือ ยีสต์สายพันธุ์ *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ใช้กันมากที่สุดในการผลิตเอทานอลระดับอุตสาหกรรม⁷ มีประสิทธิภาพสูงในการหมักน้ำตาลภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic Condition) อุณหภูมิที่เหมาะสมในการหมักอยู่ที่ประมาณ 30–35°C โดยใช้เวลาหมักประมาณ 24–72 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำตาลและสายพันธุ์ยีสต์⁸ ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ น้ำเบียร์ (Beer หรือ Broth) ซึ่งมีความเข้มข้นของเอทานอลอยู่ที่ประมาณ 8–12% โดยปริมาตร ก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักสามารถรวบรวมและจำหน่ายเป็นผลพลอยได้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม น้ำเบียร์ที่ได้จากการหมักมีความเข้มข้นของเอทานอลต่ำ จึงต้องผ่านกระบวนการกลั่นเพื่อแยกและเพิ่มความเข้มข้นในขั้นแรกจะใช้หอกลั่น (Distillation Column) แยกเอทานอลออกจากน้ำและสิ่งเจือปน ทำให้ได้เอทานอลความเข้มข้นประมาณ 40–70% จากนั้นจะผ่านการกลั่นซ้ำในหอกลั่นที่ 2 เพื่อเพิ่มบริสุทธิ์ให้ได้ประมาณ 95–96% โดยปริมาตร (Hydrous Ethanol หรือ Azeotrope) ซึ่งเป็นจุดสูงสุดที่สามารถกลั่นได้ด้วยวิธีปกติ เนื่องจากเอทานอลและน้ำจะเกิดสถานะอะซีโอโทรป ทำให้ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ด้วยการกลั่นธรรมดาอีกต่อไป

⁶ ที่มา: Bušić, A., Mardetko, N., Kundas, S., Morzak, G., Belskaya, H., Šantek, M. I., ... & Šantek, B. (2018). Bioethanol production from renewable raw materials and its separation and purification: A review. *Food Technology and Biotechnology*, 56(3), 289–311.

⁷ ที่มา: Phong, H. X., Nguyen, H. V., & Nhan, N. T. (2023). Current ethanol production requirements for the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *PMC/NCBI*.

⁸ ที่มา: Techaparin, A., Thanonkeo, P., & Thanonkeo, S. (2022). Evaluation of thermotolerant and ethanol-tolerant *Saccharomyces cerevisiae* as an alternative strain for bioethanol production from industrial feedstocks. *3 Biotech*, 13(1).

ของเหลวที่เหลือจากหมัก (Stillage หรือ Vinasse) สามารถนำไปบำบัดและใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพหรืออาหารสัตว์ได้ เพื่อให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.5% ขึ้นไป (Anhydrous Ethanol) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ต้องการสำหรับการผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิง จะต้องผ่านกระบวนการดewater โดยวิธีที่นิยมใช้มี 2 รูปแบบ คือ Molecular Sieve Adsorption เป็นวิธีที่นิยมที่สุดในปัจจุบัน โดยใช้ตะแกรงโมเลกุล (Zeolite) ที่มีรูพรุนขนาดเล็กดูดซับโมเลกุลของน้ำออกจากเอทานอล วิธีนี้ประหยัดพลังงานและให้ผลผลิตที่มีความบริสุทธิ์สูง และ Azeotropic Distillation ใช้สารตัวกลาง เช่น เบนซีนหรือไซโคลเฮกเซน ช่วยทำลายสถานะอะซีโอโทรปเพื่อแยกน้ำออก อย่างไรก็ตาม วิธีนี้มีต้นทุนสูงและมีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยมากกว่า⁹

ก่อนส่งมอบ เอทานอลจะผ่านการตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนด เช่น ความบริสุทธิ์ ปริมาณน้ำ และสิ่งเจือปน จากนั้นจะถูกเก็บในถังเก็บขนาดใหญ่ที่ออกแบบเป็นพิเศษเพื่อป้องกันการดูดซับความชื้นจากอากาศ เนื่องจากเอทานอลมีคุณสมบัติดูดน้ำได้ดี (Hygroscopic) ซึ่งอาจลดความบริสุทธิ์ลงได้¹⁰

ทั้งนี้ ผลิตภัณฑ์เอทานอลสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ (1) เอทานอลเกรดเชื้อเพลิง (Fuel Alcohol) (2) เอทานอลเกรดอุตสาหกรรม (Industrial Alcohol: IA) และ (3) เอทานอลเกรดเภสัชกรรม หรือเอทานอลบริสุทธิ์พิเศษ (Potable Alcohol หรือ Extra Neutral Alcohol: ENA) ซึ่งแต่ละประเภทมีข้อกำหนดด้านคุณภาพและวัตถุประสงค์การใช้งานที่แตกต่างกัน

โดยในประเทศไทยมีผู้ผลิตไบโอเอทานอลรวมทั้งสิ้นประมาณ 28 แห่ง ที่อยู่ภายใต้การกำกับของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) และกรมสรรพสามิต ซึ่งเป็นโรงงานผลิตเอทานอลเกรดเชื้อเพลิง (Fuel Alcohol) ที่ได้รับอนุญาตให้ผลิต เพื่อใช้ผสมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ภายใต้โครงสร้างนโยบายพลังงานของประเทศ กำลังการผลิตที่จดทะเบียนกับกรมสรรพสามิต 7,220,000 ลิตร/วัน ซึ่งสามารถจำแนกตามประเภทวัตถุดิบหลักได้เป็น จากกากน้ำตาลวัตถุดิบมันสำปะหลัง วัตถุดิบน้ำอ้อย และ โดยโรงงานที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบมักเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมน้ำตาล เนื่องจากกากน้ำตาลเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลจากอ้อย จึงช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือทิ้งทางการเกษตร ในขณะที่โรงงานที่ใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบจะอาศัยกระบวนการแปรรูปแบ่งให้เป็นน้ำตาลก่อนเข้าสู่กระบวนการหมัก โดยตัวอย่างโรงงานผลิตไบโอเอทานอลดังแสดงใน **ตารางที่ 2**

⁹ ที่มา: Kaur, A., Quintero, A. F., & Leboreiro, J. (2025). Azeotropic and extractive distillation for bio-ethanol dehydration: Process design, simulation, and cost analysis. Processes, 13(11), 3634.

¹⁰ ที่มา: Kaur, A., Quintero, A. F., & Leboreiro, J. (2025). Azeotropic and extractive distillation for bio-ethanol dehydration: Process design, simulation, and cost analysis. Processes, 13(11), 3634.

ตารางที่ 2 ตัวอย่างผู้ผลิตเอทานอลในประเทศไทย

บริษัทผู้ผลิต	วัตถุดิบ	ที่อยู่	เบอร์โทร
บจก.ไทยรุ่งเรือง พลังงาน	กากน้ำตาล	794 อาคารไทยรวมทุน ถนนกรุงเกษม แขวงวัดโสมนัส เขตป้อมปราบฯ กรุงเทพฯ 10100	02-282-2022
บจก.จีจีซี เคทิส ไบโออินดัสเทรียล	วัตถุดิบน้ำอ้อย/ กากน้ำตาล	333 หมู่ 14 ตำบล หองโพ อำเภอดาคลี จังหวัดนครสวรรค์ ประเทศไทย 60140	056-200851-3
บจก.อิมเพรส เอทานอล	วัตถุดิบมัน สำปะหลัง/ กากน้ำตาล	160/833 อาคารไอทีเอฟ-สิลมพาลีส ชั้น 32 ถนนสีลม แขวงสุริยวงศ์ เขตบางรัก กรุงเทพมหานคร 10500	038 088 130
บจก.อุบล ไบโอ เอ ทานอล	มันสด/มันเส้น	333 หมู่ 9 ตำบลนาดี อำเภอนาเยี่ย จังหวัดอุบลราชธานี 34160	045-252777
บจก.อี 85	สด/น้ำแป้ง	78 หมู่ 4 ตำบล ท่าตูม อำเภอ ศรีมหาโพธิ จังหวัด ปราจีนบุรี รหัสไปรษณีย์ 25140	037-208800

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ข้อมูล ณ วันที่ 1 เมษายน 2569

อุตสาหกรรมไบโอเอทานอลในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มุ่งเน้นการผลิตและการใช้ภายในประเทศเป็นหลัก โดยเฉพาะเอทานอลเชื้อเพลิงซึ่งมีนโยบายให้ใช้จากการผลิตภายในประเทศทั้งหมด ทั้งนี้ กระทรวงพลังงานไม่เคยมีการอนุมัติให้นำเข้าเอทานอลเชื้อเพลิง เนื่องจากต้องการส่งเสริมความมั่นคงทางพลังงานและสนับสนุนผู้ผลิตภายในประเทศ

ในส่วนของเอทานอลอุตสาหกรรม (ที่ไม่ใช่เชื้อเพลิง) มีการนำเข้าในปริมาณเล็กน้อย โดยส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง ซึ่งต้องการคุณภาพหรือคุณสมบัติเฉพาะบางประการ นอกจากนี้ ประเทศไทยมีการจัดเก็บภาษีนำเข้าเอทานอลในอัตราประมาณ 2.5 บาทต่อลิตร เพื่อเป็นมาตรการคุ้มครองอุตสาหกรรมภายในประเทศและรักษาขีดความสามารถในการแข่งขันของผู้ผลิตในประเทศ

3.1 อุตสาหกรรมปลายน้ำ (Downstream)

ตลาดไบโอเอทานอลโลกมีมูลค่าอยู่ที่ประมาณ 84.02 พันล้านดอลลาร์สหรัฐในปี ค.ศ. 2025 และคาดว่าจะเติบโตจาก 88.40 พันล้านดอลลาร์สหรัฐในปี ค.ศ. 2026 ไปสู่ 131.78 พันล้านดอลลาร์สหรัฐภายในปี ค.ศ. 2034 โดยมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อปี (CAGR) อยู่ที่ร้อยละ 5.12 ตลอดช่วงระยะเวลาคาดการณ์ ทั้งนี้ทวีปอเมริกาเหนือครองส่วนแบ่งตลาดมากที่สุด โดยมีสัดส่วนร้อยละ 41.39 ในปี ค.ศ. 2025¹¹

¹¹ ที่มา: <https://markets.businessinsider.com/commodities/naphthapreis>

ตลาดไบโอเอทานอลประเทศไทยมีปัจจัยขับเคลื่อนหลักจากความต้องการใช้แก๊สโซฮอล์ในภาคขนส่ง และนโยบายส่งเสริมพลังงานทดแทนของภาครัฐ ซึ่งมุ่งลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและเพิ่มความมั่นคงทางพลังงานของประเทศ

ไบโอเอทานอลสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมปลายทางได้อย่างหลากหลาย ได้แก่ อุตสาหกรรมพลังงาน อุตสาหกรรมเคมีพื้นฐาน อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ดูแลร่างกายและเครื่องสำอาง ตลอดจนภาคอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตาม การใช้ไบโอเอทานอลในประเทศไทยส่วนใหญ่ยังคงกระจุกตัวอยู่ในภาคพลังงาน โดยเฉพาะการนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ (เช่น E10, E20 และ E85) ซึ่งเป็นการใช้ในสัดส่วนที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้งานในภาคอื่น นอกจากนี้ แนวโน้มการใช้ไบโอเอทานอลในอุตสาหกรรมเคมีชีวภาพและผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงเริ่มได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากสามารถต่อยอดไปสู่การผลิตสารเคมีชีวภาพและวัสดุชีวภาพต่าง ๆ ซึ่งช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบทางการเกษตร และสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy) ของประเทศในระยะยาว

3.1.1 อุตสาหกรรมเชื้อเพลิง

อุตสาหกรรมเชื้อเพลิงถือเป็นภาคการใช้งานหลักของไบโอเอทานอลในประเทศไทย โดยเอทานอลที่ใช้จะต้องเป็นเอทานอลเกรดเชื้อเพลิงซึ่งมีความบริสุทธิ์สูง โดยทั่วไปมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร เอทานอลดังกล่าวทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มค่าออกเทน (octane booster) ทดแทนสารเมทิลเทอร์เชียรีบิวทิลอีเทอร์ (MTBE) และช่วยลดการพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันดิบ

เมื่อเอทานอลถูกนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินในสัดส่วนที่กำหนด จะเรียกว่า “น้ำมันแก๊สโซฮอล์” ซึ่งในประเทศไทยมีการใช้หลายระดับ ได้แก่ E10, E20 และ E85 โดยตัวเลขที่กำกับหลังตัวอักษร E หมายถึงสัดส่วนของเอทานอลที่ผสมอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นร้อยละโดยปริมาตร เช่น

- E10 หมายถึง มีเอทานอลร้อยละ 10 และน้ำมันเบนซินร้อยละ 90
- E20 หมายถึง มีเอทานอลร้อยละ 20 และน้ำมันเบนซินร้อยละ 80
- E85 หมายถึง มีเอทานอลประมาณร้อยละ 85 และน้ำมันเบนซินร้อยละ 15

ทั้งนี้ การเลือกใช้ระดับการผสมเอทานอลขึ้นอยู่กับประเภทของเครื่องยนต์และการออกแบบของยานยนต์ โดยรถยนต์ทั่วไปสามารถรองรับ E10 ได้ทั้งหมด ในขณะที่รถยนต์บางรุ่นที่ออกแบบให้รองรับเชื้อเพลิงทางเลือกสามารถใช้ E20 หรือ E85 ได้ ซึ่งเรียกว่า Flexible Fuel Vehicle (FFV) การเพิ่มสัดส่วนเอทานอลในน้ำมันเชื้อเพลิงนอกจากจะช่วยเพิ่มค่าออกเทนและประสิทธิภาพการเผาไหม้แล้ว ยังช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษทางอากาศบางชนิด

ดังนั้น เอทานอลเกรดเชื้อเพลิงจึงมีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างพลังงานทดแทนของประเทศ ทั้งในด้านการเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงาน การเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตร และการสนับสนุนการพัฒนาที่ยั่งยืนในระยะยาว

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (DEDE) มีนโยบายส่งเสริมการสร้างมูลค่าเพิ่มจากเอทานอล แนวทางสำคัญคือการส่งเสริมการเพิ่มมูลค่าให้กับเอทานอลจากเดิมที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคขนส่งไปสู่การพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืน (Sustainable Aviation Fuel: SAF) ซึ่งมีมูลค่าสูงกว่าและมีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระดับโลก ดังแสดงในรูปที่ 4

เทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการดังกล่าวคือ Alcohol-to-Jet ซึ่งเป็นกระบวนการแปรสภาพเอทานอลให้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องบิน โดยผ่านขั้นตอนสำคัญ เช่น การคายน้ำ (dehydration) เพื่อเปลี่ยนเอทานอลเป็นเอทิลีน จากนั้นจึงนำไปผ่านกระบวนการโอลิโกเมไรเซชัน (oligomerization) และไฮโดรโพรเซสซิง (hydroprocessing) เพื่อปรับโครงสร้างโมเลกุลให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันอากาศยาน (jet fuel) ที่สามารถใช้งานได้จริงในเครื่องยนต์อากาศยาน

การพัฒนาเทคโนโลยี ATJ ดังกล่าวเปิดโอกาสสำคัญทั้งในด้านการส่งออกและการใช้ภายในประเทศ เนื่องจากอุตสาหกรรมการบินทั่วโลกมีแนวโน้มเพิ่มความต้องการใช้ SAF เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ขณะเดียวกัน ประเทศไทยซึ่งมีศักยภาพในการผลิตเอทานอลจากภาคเกษตร เช่น อ้อยและมันสำปะหลัง สามารถต่อยอดไปสู่การผลิต SAF เพื่อรองรับความต้องการของสายการบินภายในประเทศได้ในอนาคต

นอกจากนี้ การส่งเสริมการผลิต SAF จากเอทานอลยังช่วยยกระดับห่วงโซ่มูลค่าของอุตสาหกรรมชีวภาพไทย จากเดิมที่เน้นการผลิตเชื้อเพลิงพื้นฐาน ไปสู่การผลิตผลิตภัณฑ์พลังงานขั้นสูง (advanced biofuels) ซึ่งมีมูลค่าเพิ่มสูง สนับสนุนเศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy) และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศในตลาดพลังงานสะอาดระดับสากล

รูปที่ 4 การส่งเสริม SAF ตามร่าง oil pln



3.1.2 อุตสาหกรรมเคมีพื้นฐาน

ไบโอเอทานอลถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเคมีพื้นฐานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถทำหน้าที่เป็นสารเคมีตั้งต้น (feedstock) สำหรับการผลิตสารเคมีชนิดต่าง ๆ ได้หลากหลาย โดยสามารถแปรสภาพผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อผลิตสารสำคัญ เช่น เอทิลีน อะซีตัลดีไฮด์ และกรดอะซิติก ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง

นอกจากนี้ ไบโอเอทานอลยังสามารถนำไปใช้ในการผลิตพลาสติกชีวภาพ ตัวทำละลาย และสารเคมีมูลค่าสูงอื่น ๆ ได้ ซึ่งช่วยลดการพึ่งพาวัตถุดิบจากปิโตรเลียม

นอกจากนี้ ในช่วงสถานการณ์การระบาดของ COVID-19 เอทานอลยังมีบทบาทสำคัญในฐานะวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ โดยเฉพาะแอลกอฮอล์สำหรับล้างมือและน้ำยาฆ่าเชื้อพื้นผิว ซึ่งมีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงเวลาดังกล่าว เนื่องจากเอทานอลมีคุณสมบัติในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะเมื่อใช้ในความเข้มข้นที่เหมาะสม (โดยทั่วไปประมาณร้อยละ 70 โดยปริมาตร)

3.1.3 อุตสาหกรรมอาหาร

ไบโอเอทานอลมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะในฐานะเอทานอลเกรดบริโภค (potable alcohol หรือ Extra Neutral Alcohol: ENA) ซึ่งต้องมีความบริสุทธิ์สูงและผ่านมาตรฐานความปลอดภัยสำหรับการบริโภค เอทานอลประเภทนี้ถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น สุรา เบียร์ และไวน์ รวมถึงใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด

นอกจากนี้ เอทานอลยังถูกใช้เป็นตัวทำละลายในกระบวนการสกัดสารสำคัญจากวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น สารแต่งกลิ่น (flavoring agents) และสารสกัดจากสมุนไพร ซึ่งนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม เนื่องจากมีความปลอดภัยและสามารถระเหยได้ง่าย ไม่ทิ้งสารตกค้างในผลิตภัณฑ์

ในบางกรณี เอทานอลยังถูกนำมาใช้เป็นสารช่วยยืดอายุการเก็บรักษา (preservative) ในผลิตภัณฑ์อาหารบางประเภท เนื่องจากมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตาม การใช้งานต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนดและมาตรฐานด้านความปลอดภัยอาหารอย่างเคร่งครัด

ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว ไบโอเอทานอลจึงมีบทบาทในอุตสาหกรรมอาหารทั้งในด้านการเป็นวัตถุดิบโดยตรงและเป็นสารช่วยในกระบวนการผลิต ซึ่งช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในด้านคุณภาพและความปลอดภัย

3.1.4 อุตสาหกรรมเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์ดูแลร่างกาย

ไบโอเอทานอลมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์ดูแลร่างกาย เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย (solvent) ที่มีประสิทธิภาพ สามารถละลายสารออกฤทธิ์ น้ำหอม และสารสกัดจากธรรมชาติได้ดี อีกทั้งยังระเหยได้ง่าย ไม่ทิ้งคราบตกค้างบนผิว จึงถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภท เช่น น้ำหอม โทเนอร์ สเปรย์ระงับกลิ่นกาย เจลล้างมือ และผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด

ผิว นอกจากนี้ เอทานอลยังมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จึงช่วยเสริมประสิทธิภาพในการทำความสะอาดและรักษาสุขอนามัยของผู้บริโภค โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำความสะอาดและความปลอดภัยสูง อย่างไรก็ตาม การใช้เอทานอลในเครื่องสำอางต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนดและมาตรฐานความปลอดภัย เพื่อป้องกันการระคายเคืองต่อผิวหนัง โดยเฉพาะในผู้ที่มีผิวบอบบาง

ด้วยคุณสมบัติที่หลากหลายดังกล่าว ไบโอเอทานอลจึงเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์ดูแลร่างกาย ทั้งในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์และการตอบสนองความต้องการด้านสุขอนามัยและความสะดวกสบายของผู้บริโภค

3.1.5 อุตสาหกรรมชีวเภสัชภัณฑ์

ในบริบทของอุตสาหกรรมชีวเภสัชภัณฑ์ การใช้ไบโอเอทานอลมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากอุตสาหกรรมทั่วไป โดยมุ่งเน้นไปที่กระบวนการผลิตสารชีวภาพที่มีความซับซ้อนและต้องการความแม่นยำสูง เอทานอลถูกนำมาใช้ในส่วนขั้นตอนสำคัญ เช่น การแยกและทำให้บริสุทธิ์ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งต้องอาศัยการควบคุมสภาวะอย่างเข้มงวดเพื่อคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์

โดย ไบโอเอทานอล สามารถใช้เป็นตัวทำละลาย (solvent) และสารช่วยในกระบวนการผลิตยาและผลิตภัณฑ์ทางชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในกระบวนการสกัดสารออกฤทธิ์จากวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น สมุนไพร หรือจุลินทรีย์ ซึ่งต้องการตัวทำละลายที่มีความปลอดภัยและสามารถควบคุมคุณภาพได้

นอกจากนี้ เอทานอลยังถูกนำมาใช้เป็นสารฆ่าเชื้อ (antiseptic) และสารกันเสียในผลิตภัณฑ์ทางเภสัชกรรมบางประเภท เช่น ยาฆ่าเชื้อ และผลิตภัณฑ์สำหรับทำความสะอาดอุปกรณ์ทางการแพทย์ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการยับยั้งและทำลายจุลินทรีย์ได้ดี โดยเฉพาะเมื่อใช้ในความเข้มข้นที่เหมาะสม ในกระบวนการผลิตชีวเภสัชภัณฑ์ เอทานอลยังมีบทบาทในขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ (purification) และการตกตะกอน (precipitation) ของโปรตีนหรือสารชีวโมเลกุลบางชนิด ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

3.1.6 อุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ

ในช่วงที่ผ่านมา ความต้องการวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้ผลักดันให้อุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ (bioplastics) เติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยไบโอเอทานอลถือเป็นวัตถุดิบตั้งต้นที่มีศักยภาพในการพัฒนาไปสู่ผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ผ่านกระบวนการแปรรูปทางเคมีให้เป็นสารตั้งต้นสำคัญ เช่น เอทิลีน ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพประเภทต่าง ๆ เช่น โพลีเอทิลีนชีวภาพ (bio-PE)

กระบวนการดังกล่าวช่วยเปลี่ยนบทบาทของเอทานอลจากเชื้อเพลิงพื้นฐานไปสู่การเป็นแพลตฟอร์มเคมีชีวภาพ (bio-based platform chemical) ที่สามารถต่อยอดไปสู่วัสดุที่มีมูลค่าเพิ่มสูงและมีความหลากหลายในการใช้งาน เช่น บรรจุภัณฑ์ พลาสติกใช้ในชีวิตประจำวัน และวัสดุอุตสาหกรรม

นอกจากนี้ การใช้ไบโอเอทานอลในการผลิตพลาสติกชีวภาพยังมีส่วนช่วยลดการพึ่งพาวัตถุดิบจากปิโตรเลียม และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและปัญหาขยะ

พลาสติกในระยะยาว จึงสอดคล้องกับแนวโน้มการพัฒนาอุตสาหกรรมสีเขียวและเศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy)

จากโครงสร้างห่วงโซ่อุปทานตั้งแต่ต้นน้ำที่เริ่มจากการผลิตวัตถุดิบทางการเกษตร การแปรรูปในภาคกลางน้ำสู่เอทานอลเกรดต่าง ๆ ตลอดจนการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมปลายน้ำที่หลากหลาย สะท้อนให้เห็นว่าไบโอเอทานอลเป็นผลิตภัณฑ์ชีวภาพที่มีบทบาทครอบคลุมตลอดทั้งห่วงโซ่คุณค่า ด้วยความสามารถในการเชื่อมโยงภาคการผลิตตั้งแต่เกษตรกรรมไปจนถึงอุตสาหกรรมขั้นสูง ไบโอเอทานอลจึงเป็นกลไกสำคัญในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับทรัพยากรชีวภาพของประเทศ และมีศักยภาพในการพัฒนาไปสู่อุตสาหกรรมชีวภาพสมัยใหม่ที่มีความยั่งยืนในระยะยาว