

## ไบโอบิวทานอล: เชื้อเพลิงเหลวที่กำลังจะมาทดแทนเอทานอล Biobutanol: The Coming Liquid Fuel for Ethanol Substitution

ชนิกา อื้อพานิช<sup>1</sup> ชมภูณัฐ วิรุณานนท์<sup>2</sup> และ วรวิฑูมิ จุฬาลักษณ์านุกุล<sup>3\*</sup>  
Chanika Ouephanit<sup>1</sup> Chompunuch Virunanon<sup>2</sup> and Warawut Chulalaksananukul<sup>3\*</sup>

### บทคัดย่อ

เนื่องจากปัญหาสิ่งแวดล้อมและวิกฤตพลังงาน พลังงานทางเลือกจึงเป็นทางออกที่น่าสนใจ เชื้อเพลิงทางเลือกเหลวซึ่งเป็นที่นิยมในขณะนี้ ได้แก่ ไบโอเอทานอล และไบโอบิวทานอล ไบโอบิวทานอลจัดเป็นเชื้อเพลิงหมุนเวียนที่ดี เนื่องจากให้พลังงานและสามารถผสมกับก๊าซโซลีนได้มากกว่าไบโอเอทานอลโดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ ในอดีตการผลิตไบโอบิวทานอลจากกระบวนการหมักแอซีโตน-บิวทานอล-เอทานอล (ABE) โดยคลอสทริเดียม เคยเป็นอุตสาหกรรมการหมักขนาดใหญ่ แต่ไม่สามารถแข่งขันกับการผลิตบิวทานอลจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่พัฒนาอย่างรวดเร็วในยุคนี้ได้ ในยุคปัจจุบันที่เป็นวิกฤตของเชื้อเพลิงปิโตรเลียม การผลิตบิวทานอลด้วยกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพจึงกลับมาเป็นที่น่าสนใจ ในบทความนี้กล่าวถึง ประวัติ การผลิตด้วยกระบวนการทางชีวภาพ และประโยชน์ของไบโอบิวทานอลทั้งทางด้านความเป็นพลังงานทางเลือกและประโยชน์ในด้านอื่นๆ ซึ่งมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมต่างๆ

**คำสำคัญ:** พลังงานทางเลือก ไบโอบิวทานอล คลอสทริเดียม กระบวนการหมักแอซีโตน-บิวทานอล-เอทานอล (ABE)

### Abstract

Due to environmental problems and the energy crisis, alternative energy production is facing many challenges. Liquid biofuels have been promoted, especially bioethanol and biobutanol. Biobutanol is a promising renewable fuel due to its higher energy density than that of bioethanol. It can be blended with gasoline at higher concentrations than ethanol without engine modification. Biobutanol production with Acetone-Butanol-Ethanol (ABE) fermentation using *Clostridium* spp. used to be the large-scale type of industrial fermentation. Later on it was not able to compete with petroleum-derived butanol due to the fast development of the petrochemical industry. Nowadays, the energy crisis has become a serious problem and thus biobutanol production based on the biotechnological process has become an interesting alternative. This review is focused on the history, biological production process, and use of biobutanol as alternative energy and other industrial points of view.

**Keyword:** Alternative Energy, Biobutanol, *Clostridium* sp., Acetone-Butanol-Ethanol (ABE) Fermentation

<sup>1</sup> นิสิต หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<sup>2</sup> อาจารย์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<sup>3</sup> รองศาสตราจารย์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

\* Corresponding Author, Tel 0-2218-5482, E-mail: warawut.c@chula.ac.th

## 1. บทนำ

ปัจจุบันการเพิ่มขึ้นของประชากรส่งผลให้ความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ปัญหาที่ตามมาคือ การลดลงอย่างต่อเนื่องของแหล่งน้ำมันปิโตรเลียม และการราคาสูงขึ้น ดังนั้น การหาแหล่งพลังงานใหม่หรือการผลิตเชื้อเพลิงขึ้นมาทดแทนจึงได้รับความสนใจมากขึ้น ทำให้พลังงานทางเลือกใหม่ เช่น ไบโอดีเซล และไบโอแอลกอฮอล์ ถูกพัฒนาขึ้นอย่างกว้างขวาง พลังงานทางเลือกที่ได้รับความสนใจในการพัฒนาเพื่อเป็นพลังงานทดแทนในปัจจุบัน คือ เอทานอล ที่ใช้เดิมหรือแทนที่น้ำมันจากปิโตรเลียม [1] เอทานอลเป็นไบโอแอลกอฮอล์ที่มีการศึกษาและนำมาใช้อย่างแพร่หลาย แต่ปัจจุบันมีผู้ให้ความสนใจชีวทานอลเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีข้อดีกว่าเอทานอล คือ การที่มีค่าออกเทนใกล้เคียงน้ำมันทำให้ผสมกับน้ำมันได้ดีกว่า ค่าพลังงานและจุดเดือดสูงกว่า สามารถขนส่งตามท่อส่งน้ำมันและไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์เนื่องจากไม่มีการกัดกร่อน [2] การผลิตไบโอแอลกอฮอล์สามารถใช้สารตั้งต้นได้หลายประเภท ได้แก่ เซลลูโลส แป้ง และน้ำตาล โดยการผลิตจากวัตถุดิบกลีโคเซลลูโลสต้องผ่านขั้นตอนการปรับสภาพและการย่อยก่อนจึงเข้าสู่ขั้นตอนการหมักได้ ในขณะที่การผลิตจากแป้งไม่ต้องผ่านขั้นตอนการปรับสภาพแต่ยังต้องผ่านขั้นตอนการย่อยก่อนจึงเข้าสู่ขั้นตอนการหมัก ส่วนการผลิตจากน้ำตาลเป็นสารตั้งต้นไม่ต้องผ่านขั้นตอนการปรับสภาพและการย่อยสามารถเข้าสู่ขั้นตอนการหมักได้เลย [3] จึงสะดวก รวดเร็ว และไม่ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในกระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบ

## 2. บิวทานอล

บิวทานอล (IUPAC Nomenclature, 1-butanol; CAS no. 71-36-3) เป็นที่รู้จักกันคือบิวทิลแอลกอฮอล์ (Butyl Alcohol) มีองค์ประกอบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 4 คาร์บอนอะลิฟาติกแอลกอฮอล์ (4-carbon Aliphatic Alcohol) สายตรง มีโครงสร้างโมเลกุลเป็น  $C_4H_9OH$  น้ำหนักโมเลกุล 74.12 กรัมต่อโมล

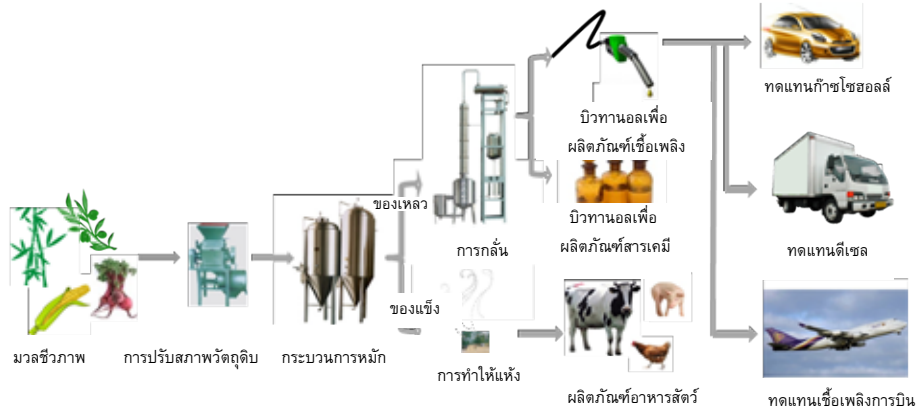
บิวทานอลไม่มีสี ติดไฟได้ เป็นของเหลวที่มี

คุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำเล็กน้อย (Slightly Hydrophobic Liquid) มีกลิ่นคล้ายคลึงกับกลัวยและมีกลิ่นแอลกอฮอล์รุนแรง ระคายเคืองต่อตาและผิวหนัง มีคุณสมบัติสามารถรวมกับสารทำละลายอินทรีย์ได้เกือบทั้งหมดอย่างสมบูรณ์ แต่สามารถแยกออกจากน้ำ [4], [5] สารเคมีอื่นๆ ที่เป็นแอลกอฮอล์กลุ่มเดียวกัน คือเมทานอล (คาร์บอน 1 คาร์บอนเป็นองค์ประกอบ) เอทานอล (2 คาร์บอน) และโพรพานอล (3 คาร์บอน)

## 3. การผลิตไบโอบิวทานอลด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

คลอสทริเดียม (*Clostridium* spp.) จัดเป็นแบคทีเรียที่มีศักยภาพในการผลิตบิวทานอลในภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobe) ซึ่งส่งผลดีต่อกระบวนการหมักโดยลดต้นทุนในการใช้ไบโอดีเพื่อให้อากาศ เนื่องจากปกติแล้วราคาไบโอดีในถังหมักจะเป็นครึ่งหนึ่งของราคาถังหมัก แบคทีเรียชนิดนี้เป็นแบคทีเรียแกรมบวก มีรูปร่างเป็นท่อน สามารถสร้างสปอร์ได้ โดยสปอร์มีรูปร่างได้ทั้งกลมและรี [6], [7] สามารถพบได้ในรูปสปอร์กระจายทั่วไปในธรรมชาติ เช่น ดิน น้ำ ของเสีย ลำไส้ของมนุษย์และสัตว์ มีคุณสมบัติในการหมักเซลลูโลส แป้ง และน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ โดยเฉพาะบิวทานอล การคัดเลือกและคัดแยกสายพันธุ์ใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในการผลิตบิวทานอลจึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น

ในกระบวนการหมักด้วย *Clostridium* spp. พบว่านอกจากบิวทานอลแล้ว แบคทีเรียยังมีศักยภาพในการผลิตตัวทำละลายอื่น คือ แอซีโตนและเอทานอล เกิดเป็นผลิตภัณฑ์พร้อมบิวทานอล ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าและนำมาใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมต่างๆ สำหรับกระบวนการทางชีวภาพแล้ว การหมักเพื่อผลิตเชื้อเพลิงเหลวเป็นหนึ่งในงานวิจัยที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะทางแถบยุโรป ซึ่งมีการทำงานสะสมองค์ความรู้ทางด้านนี้มานานแล้ว กระบวนการหมักเพื่อผลิตตัวทำละลายและเชื้อเพลิงเหลวเป็นที่รู้จักกันดีในชื่อของ ABE Fermentation ซึ่งมีมาตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 1 เนื่องจากความจำเป็นในการใช้ตัวทำละลายเหล่านี้เพื่อผลิตอาวุธ ส่งผลให้มีการ



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตไบโอบิวทานอล

เปิดโรงงานหมักเอซีโทนขึ้น โดยแบคทีเรียสกุลที่นำมาใช้เพื่อผลิต คือ *Clostridium* กระบวนการผลิตไบโอบิวทานอลและการนำไปใช้แสดงดังรูปที่ 1

ในปี 1912 ถึงปี 1914 เซม วิทแมนน์ (Chaim Weizmann) ได้ทำการแยกจุลินทรีย์จำนวนหนึ่งที่มีความสามารถผลิตเอซีโทนและบิวทานอล ซึ่งต่อมาให้ชื่อจุลินทรีย์นี้ว่า *C. acetobutylicum* โรงงานผลิตเอซีโทนจากจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้เกิดขึ้นที่อังกฤษในปี 1916 โดยใช้ข้าวโพดเป็นสารชีวมวล ในยุคเวลาสงครามโลกครั้งที่ 1 อุตสาหกรรมการผลิตเอซีโทน-บิวทานอล-เอทานอล (ABE) โดยใช้จุลินทรีย์ *Clostridium* spp. ประสบความสำเร็จอย่างยิ่ง ในช่วงแรกของศตวรรษที่ 20 การผลิตเอซีโทน-บิวทานอลโดยจุลินทรีย์ชนิดเดียวแบบบริสุทธิ์ (Pure Culture) นับเป็นการผลิตสารเคมีระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ด้วยจุลินทรีย์เช่นเดียวกับกระบวนการหมักขนาดใหญ่ภายใต้ภาวะปลอดเชื้อ ดังนั้น ประชาชนจึงเห็นความสำคัญการพัฒนาต่อไปสู่กระบวนการหมักสมัยใหม่ [8] ในระยะแรกนั้น การผลิตเพื่อให้ได้เอซีโทนเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ต้องการ เพื่อใช้ในการผลิตชนวนระเบิดที่ประกอบด้วยไนโตรกลีเซอรินและเซลลูโลสไนเตรท ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตระเบิด จึงมีโรงงานผลิตเอซีโทนจากจุลินทรีย์นี้แพร่หลายไปในอเมริกาและแคนาดา และโรงงานเหล่านี้ได้ปิดลงหลังสิ้นสุดสงครามเนื่องจากความต้องการเอซีโทนลดน้อยลง

อย่างไรก็ตาม การขยายตัวของอุตสาหกรรมรถยนต์หลังสงครามโลกทำให้เกิดความต้องการบิวทานอลมากขึ้น เนื่องจากบิวทานอลสามารถใช้เป็นตัวทำละลายผสมในแล็กเกอร์ (Lacquer) ซึ่งเป็นสารเคลือบเงารถยนต์ โรงงานต่าง ๆ ในอเมริกาก็เปิดขึ้นใหม่ จนกระทั่งเมื่อสิทธิบัตรโรงงานการผลิตของวิทแมนน์ (Weizmann) ได้สิ้นสุดลง จึงมีโรงงานใหม่ ๆ เกิดขึ้นมากมายเพื่อการผลิตเอซีโทนและบิวทานอล ทั้งในญี่ปุ่น อินเดีย ออสเตรเลีย และอเมริกาใต้ โดยใช้ *C. acetobutylicum* เป็นหลักในการผลิต [9] ในยุคปี 1950-1960 กระบวนการหมักเพื่อให้ได้ ABE หยุดชะงักทั้งหมดทั้งในยุโรปและอเมริกาเหนือ เนื่องจากไม่สามารถแข่งขันได้กับวิธีการสังเคราะห์ทางปิโตรเคมีในประเทศจีน

โดยทั่วไปผลผลิตรวม ABE ของ *Clostridium* spp. มีตั้งแต่ 0.9 จนถึงสูงสุด 20 กรัมต่อลิตร และความสามารถในการผลิต คือ 0.04 จนถึง 0.24 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ความสามารถในการผลิต ABE ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชีวมวลที่ใช้ อุณหภูมิ และชนิดของจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นต้น [10] อย่างไรก็ตาม หากจะเน้นความสนใจไปที่กระบวนการผลิตแล้ว ความสามารถในการผลิตสารทำละลายต่างๆ ยังอยู่ในปริมาณจำกัดอยู่ เนื่องจากโดยหลักการแล้วความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่เกิดความเป็นพิษและเมื่อเซลล์มีการสะสมสารพิษเหล่านั้นจนมากพอ เซลล์จะหยุดการเจริญและตายใน

ที่สุด ปัญหาเหล่านี้เป็นผลมาจากการขาดความทนทานต่อผลิตภัณฑ์ตัวทำละลายที่จุลินทรีย์หมักและผลิตขึ้น ทำให้การผลิตด้วยวิธีนี้ไม่สามารถแข่งขันได้กับวิธีการสังเคราะห์ทางปิโตรเคมีได้

แต่เนื่องจากการใช้น้ำมันปิโตรเลียมที่สูงขึ้น ราคาที่พุ่งขึ้นอย่างมากในปัจจุบัน การใช้เชื้อเพลิงชีวภาพเพื่อทดแทนบางส่วนของการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลเป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งทั่วโลก เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงทดแทนทั้งหมดแล้ว ไบโอบิวทานอลจึงมีบทบาทสำคัญในยุคต่อไปของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยที่การผลิตเอซีโตนและบิวทานอลจากการหมักของจุลินทรีย์ในสกุลนี้ จากของเสียจำพวกสารชีวภาพทางการเกษตร เช่น เศษไม้ ชังข้าวโพด ฟางข้าว และกากชานอ้อย กำลังได้รับความนิยมสนใจเป็นอย่างมากในโรงงานต่างๆ ในยุโรปและอเมริกา [11] เนื่องจากการผลิตสารละลายอินทรีย์โดยกระบวนการทางชีวภาพ จากการใช้จุลินทรีย์หมักสารชีวมวลเป็นประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมโดยไม่ก่อให้เกิดมลพิษและไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ปัจจุบันบิวทานอลเป็นสารเคมีที่สำคัญที่ผลิตได้ประมาณ 5-10 ล้านตัน และถูกคาดการณ์ในอนาคตไว้ว่า อัตราการเพิ่มการผลิตบิวทานอลจะสูงขึ้นถึง 3 เพอร์เซ็นต์ต่อปี ใน 5 ปีข้างหน้า [4]

#### 4. การใช้บิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงเหลว

ไบโอบิวทานอล เป็นบิวทานอลที่ผลิตได้จากสารตั้งต้นและกระบวนการผลิตทางชีวภาพ สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวในเครื่องยนต์ได้ในอนาคตอันใกล้ ถึงแม้ว่าในขณะนี้ด้วยเหตุผลหลายประการ เอทานอลยังคงเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่นิยมในปัจจุบันมากกว่าก็ตาม [12], [13] อย่างไรก็ตามบิวทานอลจัดเป็นสารที่มีข้อดีกว่าเอทานอลหลายประการ เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี [14] รวมถึงคุณสมบัติทางระดับพลังงานที่ดีกว่าเอทานอล กล่าวคือไบโอบิวทานอลมีคุณสมบัติด้านพลังงานที่ใกล้เคียงกับก๊าซโซลีน (น้ำมันเบนซิน) มากกว่าเอทานอล เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่เท่ากันเครื่องยนต์จะใช้เอทานอลหมดเร็วกว่าบิวทานอล นอกจากนี้ บิวทานอลมีความเป็นขี้ผึ้งต่ำกว่า

จึงสามารถผสมกับก๊าซโซลีนโดยทั่วไปในอัตราผสมใดก็ได้ [15] การใช้บิวทานอลไม่ต้องปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ มีรายงานการทดลองใช้บิวทานอลเติมแทนก๊าซโซลีนพบว่าเครื่องยนต์เดินได้ตามปกติ โดยที่มีการใช้บิวทานอลสูงกว่าก๊าซโซลีน 9 เพอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าเครื่องยนต์ใช้บิวทานอลในปริมาณที่สูงกว่าก๊าซโซลีน แต่พบว่าการใช้ไบโอบิวทานอลมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน และการปล่อยสารพิษ  $\text{NO}_x$  ลดลงมาก ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมของโลก

ข้อได้เปรียบของการใช้บิวทานอลมากกว่าเอทานอล [16] คือ

- 1) การระเหย (Volatility) ต่ำกว่า จึงเป็นพิษน้อยกว่า (มีค่า Reid Vapor Pressure (RVP) ต่ำกว่า 7.5 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับเอทานอล)
- 2) บิวทานอลไม่ดูดซับความชื้น (จึงมีค่า Hygroscopicity ต่ำกว่า)
- 3) บิวทานอลมีค่าการกัดกร่อนต่ำกว่า
- 4) การใช้บิวทานอลปลอดภัยกว่าเอทานอล เนื่องจากมีค่าการติดไฟ (Flash Point) สูงกว่า ( $35^{\circ}\text{C}$  และ  $14^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ) และมีค่าแรงดันเป็นไอต่ำกว่า
- 5) มีค่าออกเทนสูงกว่า
- 6) บิวทานอลมีค่าพลังงานสูงกว่าเอทานอล โดยบิวทานอลมีค่า 110,000 BTU ต่อแกลลอน ในขณะที่เอทานอลมีค่า 84,000 BTU ต่อแกลลอน
- 7) สามารถผสมรวมกับทั้งก๊าซโซลีนและดีเซลได้สมบูรณ์

ดังนั้น จึงทำให้การใช้บิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงมีความปลอดภัย รวมทั้งอุปกรณ์ การเก็บ และการเติม บิวทานอลยังสามารถใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในสถานีเติมน้ำมันและรถยนต์โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนใดๆ เลย [16] ในขณะที่การผสมเอทานอลให้อยู่ในระบบต้องจำกัดให้อยู่ในช่วงเวลานั้นๆ จึงเหมาะสม ทั้งบิวทานอลยังไม่กระทบต่อระบบการเก็บและการเติมของเชื้อเพลิงเหลวเหล่านี้ การที่ค่าแรงดันการเป็นไอ (Vapor Pressure) ของบิวทานอลมีค่าเท่ากับ 4 มิลลิเมตรปรอทที่ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเอทานอล 11 เท่า ซึ่งมีค่าเป็น 45 มิลลิเมตร

ปรอทที่ 20 องศาเซลเซียส จึงทำให้สามารถเติมโดยตรงกับก๊าซโซลีนโดยไม่มีการสูญเสียจากการระเหย จึงไม่มีผลกระทบต่อชั้นข้างเคียง และจากคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของบิวทานอลทำให้สะดวกต่อการผสมกับก๊าซโซลีนโดยไม่มีการแยกชั้นขึ้นในที่ที่มีน้ำอยู่ด้วยก็ตาม (เนื่องจากการปนของน้ำโดยตรงน้อยมาก) แต่มีค่าออกเทนใกล้เคียงกับก๊าซโซลีน ซึ่งสามารถเติมสารเพิ่มค่าออกเทนได้ เมื่อเปรียบเทียบการผสมเชื้อเพลิงชีวภาพอื่นๆ กับก๊าซโซลีน (ตารางที่ 1)

ด้วยเหตุผลดังกล่าว บริษัทน้ำมันหลายๆ บริษัทจึงสนใจและลงทุนในโครงการการผลิตบิวทานอลจากชีวมวล หากดูแล้วบริษัทที่มีความสนใจในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ คือ BP และ (Dupont) ซึ่งมีความร่วมมือกับหลายองค์กรทางการวิจัยและการศึกษาในการพัฒนาและผลิตไบโอบิวทานอลในระดับอุตสาหกรรมในปี 2006 และเสนอโครงการเพื่อผลิตไบโอบิวทานอลปริมาณ 30,000 ตันต่อปี และมีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้กับเอทานอลของ British Sugar ในอังกฤษ ผลจากการทดสอบจาก BP และ Dupont ในปี 2008 แสดงว่าการใช้ไบโอบิวทานอลสามารถเพิ่มการผสมระหว่างเชื้อเพลิงชีวภาพในก๊าซโซลีนมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณที่ใช้ในการผสมระหว่างเอทานอล (แก๊สโซฮอลล์ E10) และปราศจากความสมดุลย์ในสมรรถนะของเครื่องยนต์ เป็นผลให้ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ในกรณีที่ใช้แก๊สโซฮอลล์ที่มีอัตราส่วน

เอทานอลสูงขึ้น เช่น E20 หรือ E85

## 5. ประโยชน์จากบิวทานอล

นอกจากการนำบิวทานอลมาเป็นเชื้อเพลิงเหลวใช้กับเครื่องยนต์แล้ว บิวทานอลยังมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมทางเคมีมากมาย บิวทานอลส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบเอสเทอร์ (Ester Derivative) เช่น บิวทิล อะครีเลท (Butyl Acrylate) ซึ่งใช้เป็นสารตัวกลางในปฏิกิริยาเคมี เป็นสารเคลือบผิว และเป็นสารผสมในสี นอกจากนี้บิวทานอลยังเป็นสารที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการเป็นตัวทำละลายสำหรับสารเคลือบไม้และวัสดุต่างๆ ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ (Acid Curable Lacquers และ Baking Finish) การใช้ประโยชน์จากบิวทานอลและสารประกอบอื่นๆ คือ เป็นทินเนอร์สำหรับผสมสี (Paint Thinner) เป็นตัวทำละลายในสี (Solvent for Dyes) เช่น หมึกพริ้นท์ และเป็นสารสกัดในกระบวนการผลิตยาและสารธรรมชาติ เช่น ยาปฏิชีวนะ (Antibiotic) ฮอร์โมน (Hormones) และวิตามิน (Vitamins) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้บิวทานอลในประโยชน์ด้านอื่นๆ เช่น กระจกนิรภัย (Safety Glass) สารทำความสะอาด (Detergents) อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เช่น สารตกแต่งตา (Eye Makeup) ยาทาเล็บ สารในผลิตภัณฑ์การโกนหนวด ผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับสุขภาพอนามัย นอกจากนี้เป็นสารสำหรับการสกัด และอุตสาหกรรมอาหารและกลิ่น [4], [5]

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของบิวทานอล ก๊าซโซลีน และเอทานอล [4], [17]

คุณสมบัติ	บิวทานอล	ก๊าซโซลีน	เอทานอล
ความหนาแน่นพลังงาน (Energy Density, MJ/L)	29.2	32	19.6
อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันและอากาศ (Air-fuel Ratio)	11.2	14.6	9
ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Heat of Vaporization, MJ/kg)	0.43	0.36	0.92
ปริมาณพลังงาน (Energy Content/Value, BTU/gal)	110,000	115,000	84,000
ความสามารถในการละลายน้ำ 100 กรัม (Solubility)	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	ละลาย
ค่าออกเทนโดยวิธีวิจัย (Research Octane Number, RON)	96	91-99	129
ค่าออกเทนโดยวิธีมอเตอร์ (Motor Octane Number, MON)	78	81-89	102

ปัจจุบันบริษัทไบโอเทคโนโลยี เช่น ButylFuel, Cathay Industrial Biotech, Cobalt Biofuels, Green Biologics, Metabolic Explorer, Tetravita Bioscience และอีกหลายแห่งทั่วโลกทุ่มเทกับการค้นหาคัดเลือกและพัฒนาสายพันธุ์ รวมทั้งพัฒนากระบวนการหมักเพื่อการผลิต ABE อย่างมีประสิทธิภาพในระดับอุตสาหกรรม กระบวนการหมัก ABE ในโรงงานบางแห่ง เช่น ในประเทศจีนและบราซิลสามารถผลิตได้จริงในระดับอุตสาหกรรม สำหรับกระบวนการผลิต ABE ในยุโรป อเมริกา รัสเซีย มีการอภิปรายถกเถียงกันถึงวิธีการพัฒนาเพื่อมาผลิตจริงในระดับอุตสาหกรรม [18] – [20]

ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวกับบิวทานอลในประเทศไทย ส่วนมากเป็นการผลิต ABE ด้วยจุลินทรีย์ *Clostridium* spp. การศึกษาแหล่งคาร์บอนที่จุลินทรีย์ใช้ได้ นับเป็นวิธีทางหนึ่งที่จะช่วยลดต้นทุนการผลิตเพื่อให้กระบวนการดังกล่าวเป็นจริงในอุตสาหกรรมได้ ในงานของ Ouephanit และคณะ (2011) ได้มีการศึกษาเพื่อหาศักยภาพของน้ำเสียจากโรงงานมันสำปะหลังมาใช้ในการผลิต พบว่าน้ำเสียดังกล่าวมีศักยภาพที่จะนำมาพัฒนาเป็นสารตั้งต้นในการผลิตได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามการดัดแปลงอื่นๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต รวมถึงการพัฒนากระบวนการหมักเพื่อเพิ่มอัตราส่วนผลผลิตให้มากขึ้นนั้นถือเป็นเรื่องสำคัญในทางอุตสาหกรรม ทั้งนี้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการพัฒนากระบวนการขั้นนี้อยู่อย่างหลากหลาย [21]-[24] ทั้งในด้านการพัฒนาสารตั้งต้นจากแหล่งที่มีศักยภาพเพื่อลดต้นทุนการผลิต และในเชิงเทคนิคเพื่อเพิ่มผลผลิตบิวทานอลที่ได้ ความเป็นไปได้ในอนาคตสำหรับบิวทานอลเพื่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ คือการนำวิธีทางพันธุวิศวกรรมมาใช้ในการพัฒนาสายพันธุ์ที่ดียิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

### เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Demirbas, “Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections,” *Energy Conversion and Management*, vol.49, pp.2106-2116, 2008.
- [2] H. T. M. Tran, B. Cheirsilp, B. Hodgson, and K. Umsakul, “Potential use of *Bacillus subtilis* in a co-culture with *Clostridium butylicum* for acetone–butanol–ethanol production from cassava starch,” *Biochemical Engineering Journal*, vol.48, pp.260-267, 2010.
- [3] O. J. Sánchez and C. A. Cardona, “Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks,” *Bioresource Technology*, vol.99, pp. 5270-5295, 2008.
- [4] S. Y. Lee, J. H. Park, S. H. Jang, L. K. Nielsen, J. Kim, and K. S. Jung, “Fermentative butanol production by *Clostridia*,” *Biotechnology and Bioengineering*, vol.101, pp. 209-228, 2008.
- [5] P. Dürre, “Fermentative butanol production—bulk chemical and biofuel,” *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol.1125, pp.353-362, 2008.
- [6] Y. Tashiro, K. Takeda, G. Kobayashi, and K. Sonomoto, “High production of acetone-butanol-ethanol with high cell density culture by cell-recycling and bleeding,” *Journal of Biotechnology*, vol.120, pp.197-206, 2005.
- [7] C. Virunanon, S. Chantaropamai, J. Denduangbaripant, and W. Chulalakasanankul, “Solventogenic-cellulolytic clostridia from 4-step-screening process in agricultural waste and cow intestinal tract,” *Anaerobe*, vol.14, pp.109-117, 2008.
- [8] D. T. Jones and D. R. Woods, “Acetone-butanol fermentation revisited,” *Microbiological Reviews*, vol. 50, pp. 484-524, 1986.
- [9] S. F. Lee, C. W. Forsberg, and L. N. Gibbins, “Xylanolytic activity of *Clostridium acetobutylicum*,” *Applied and Environmental Microbiology*, vol.50, pp.1068–1076, 1985.
- [10] B. M. Ennis and I. S. Maddox, “Continuous acetone-butanol-ethanol (ABE) fermentation



- using immobilized cell of *Clostridium acetobutylicum* in a packed bed reactor and intergration with product removal by pervaporation,” *Biotechnology and Bioengineering*, vol.38, pp. 518-527, 1989.
- [11] E. Guedon, M. Desvaux, and H. Petitdemange, “Improvement of cellulolytic properties of *Clostridium cellulolyticum* by metabolic engineering,” *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 68, pp. 53-58, 2002.
- [12] A. C. Hansen, Q. Zhang, and P. W. L. Lyne, “Ethanol diesel fuel blends – a review,” *Bioresource Technology*, vol. 96, pp.277-285, 2005.
- [13] R. K. Niven, “Ethanol in gasoline: environmental impacts and sustainability review article,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 9, pp.535-555, 2005.
- [14] G. W. Huber, I. Sara, and A. Corma, “Synthesis of transportation fuels from biomass: chemistry, catalysts and engineering,” *Chemical Reviews*, vol.106, pp. 4044-4098, 2006.
- [15] S. Atsumi, T. Hanai, and J. C. Liao, “Non-fermentative pathways for synthesis of branched-chain higher alcohols as biofuels,” *Nature*, vol.451, pp. 86-89, 2008.
- [16] P. Dürre, “Biobutanol: an attractive biofuel,” *Bio-technology Journal*, vol.2, pp.1525-1534, 2007.
- [17] S. E. Davis and S. A. Morton, “Investigation of ionic liquids for the separation of butanol and water,” *Separation Science and Technology*, vol.43, pp. 2460-2472, 2008.
- [18] T. Ezeji, N. Qureshi, and H. P. Blaschek, “Production of acetone-butanol-ethanol (ABE) in a continuous flow bioreactor using degermed corn and *Clostridium beijerinckii*,” *Process Biochemistry*, vol.42, pp.34-39, 2007.
- [19] D. Karakashev, A. B. Thomsen, and I. Angelidaki, “Anaerobic biotechnological approaches for production of liquid Energy carriers from biomass,” *Biotechnology Letters*, vol. 29, pp.1005-1012, 2007.
- [20] V. V. Zverlov, O. Berezina, G. A. Velikodvorskaya, and W. H. Schwarz, “Bacterial acetone and butanol production by industrial fermentation in the Soviet Union: use of hydrolyzed agricultural waste for birefinary,” *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol.71, pp.587-597, 2006.
- [21] C. Ouephanit, C. Virunanon, V. Burapatana, and W. Chulalaksananukul, “Effects of oxygen removal methods and glucose grades on butanol production in *Clostridium* sp.,” in *The 15th Biological Sciences Graduate Congress (BSGC), 15-17 December 2010*, Institute of Biological Science, University of Malaysia, Malaysia, 2010.
- [22] C. Ouephanit, C. Virunanon, V. Burapatana, and W. Chulalaksananukul, “Biobutanol production from tapioca starch wastewater by *Clostridium* sp.,” in *The 22nd Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology “International Conference on Biotechnology for Healthy Living”*, 20-22 October 2010, Trang, Thailand, pp. 179.
- [23] C. Ouephanit, C. Virunanon, V. Burapatana, and W. Chulalaksananukul, “Butanol and Ethanol Production from Tapioca Starch Wastewater by *Clostridia* strains of Thailand,” in *Genetics for National Energy Crisis 2009 Proceeding*, 25-27 March 2009. Pratumthani. Thailand. pp. 197-200.
- [24] C. Ouephanit, C. Virunanon, and W. Chulalaksananukul, “Factors affecting butanol production of *Clostridium* sp.,” in *Thailand Research Symposium 2010 Proceedings Oral Presentation*, 26-30 August 2010, Bangkok, Thailand, pp. 51-52.