เทคโนโลยีการผลิตเอทานอล

เทคโนโลยีการผลิตเอทานอลได้มีการคิดค้นกันมาเป็นเวลานาน และมีการพัฒนาปรับปรุงให้ดีขึ้นเรื่อยๆ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการผลิต เช่น การนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในระบบควบคุมกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตาม วัตถุประสงค์ที่สำคัญคือ ความพยายามในการลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต เช่น การประหยัดพลังงานที่ใช้ในการผลิต วัตถุดิบ และแรงงาน

เอทานอล (Ethanol) หรือเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) เป็นสารอินทรีย์ที่มีสูตรโมเลกุล C_2H_5OH มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 46.07 จุดเดือดประมาณ 78 °ซ เป็นของเหลวใสไม่มีสี ติดไฟง่าย ให้เปลวไฟสีน้ำเงินที่ไม่มีควัน โดยปกติเอทานอลสามารถรวมตัวกับน้ำ อีเทอร์ (Ether) หรือคลอโรฟอร์ม (Chloroform) ได้ทุกส่วน

เอทานอลถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย เช่น ใช้เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ หรือคุ้นเคยกันดีก็คือ "เหล้า ไวน์ และเบียร์" ใช้ในอุตสาหกรรมยา ใช้เป็นตัวทำละลายในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เช่น สี แล็กเกอร์ ยาเคลือบน้ำมันและขี้ผึ้ง (ครีมขัดรองเท้า) ไนโตรเซลลูโลส เรซิน ใช้เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์สารเคมีและชีวเคมี ใช้เป็นสารเพิ่มค่าออกเทนในน้ำมันเบนซิน ที่เรียกว่าแก๊สโซฮอล์ ใช้ผลิตเป็นอาหาร เช่น น้ำส้มสายชู เจลาติน ใช้ทางด้านการแพทย์ เช่น ใช้เช็ดแผล ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ใช้เป็นตัวรีเอเจนต์ในห้องปฏิบัติการ และอื่นๆ เป็นต้น

กระบวนการผลิตเอทานอล

กระบวนการผลิตเอทานอลสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี ดังนี้

วิธีที่ 1 ได้แก่ การใช้กระบวนการทางเคมีในการสังเคราะห์เอทานอล โดยใช้เอทิลีน (Ethylene) เป็นวัตถุดิบ เอทานอลที่ได้เช่นนี้เรียกว่า "เอทานอลสังเคราะห์" (Synthetic ethanol)

วิธีที่ 2 ได้แก่ การใช้วิธีการทางชีวเคมีเพื่อผลิตเอทานอล โดยใช้วัสดุเกษตรที่มีองค์ประกอบประเภท แป้ง น้ำตาล หรือเซลลูโลส เป็นวัตถุดิบ เอทานอลที่ได้เช่นนี้เรียกว่า "ไบโอเอทานอล" (Bio-ethanol)

ในบทความนี้ จะขอกล่าวถึงเฉพาะกระบวนการผลิตเอทานอลด้วยวิธีไบโอเอทานอล ซึ่งมี 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบก่อนการหมัก การเตรียมหัวเชื้อและการหมัก การแยกผลิตภัณฑ์เอทานอลและการทำให้บริสุทธิ์ และการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์รองและของเสียจากโรงงานเอทานอล โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การเตรียมวัตถุดิบก่อนการหมัก

ขั้นตอนแรกในกระบวนการผลิตเอทานอล คือ การเตรียมวัตถุดิบก่อนการหมัก ซึ่งมีหลายแบบขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ เช่น

• วัตถุดิบที่สามารถใช้เชื้อจุลินทรีย์และการจัดเตรียมทำได้ง่าย ได้แก่ วัตถุดิบที่เป็นกากน้ำตาล เพียงเจือจางด้วยน้ำเพื่อปรับความเข้มข้นให้เหมาะสม ก็สามารถนำไปหมักได้

• วัตถุดิบที่ใช้ได้ยากและการจัดเตรียมจะค่อนข้างซับซ้อน เช่น หัวมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นวัตถุดิบประเภทแป้ง หรือเซลลูโลส วัตถุดิบประเภทเยื่อ ใย จะต้องนำไปผ่านกระบวนการย่อยให้เป็นน้ำตาลด้วยการใช้กรดหรือเอนไซม์ (น้ำย่อย) เพื่อนำให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมก่อนจะทำการหมักต่อไป

การเปลี่ยนแป้งให้มีโครงสร้างโมเลกุลอยู่ในรูปน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (ในรูปของกลูโคส) ต้องใช้กระบวนการทางเคมีและชีวเคมี กระบวนการที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 Acid hydrolysis เป็นวิธีการใช้กรดย่อยแป้ง

วิธีที่ 2 Enzymatic hydrolysis เป็นวิธีการใช้เอนไซม์ในการย่อยแป้ง

วิธีการใช้เอนไซม์ในการย่อยแป้งจะเป็นที่นิยมมากกว่า เนื่องจากเป็นวิธีการที่สะดวกและประหยัดต้นทุนการผลิต รวมทั้งไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้หัวมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบจะใช้เอนไซม์ 2 ชนิด ได้แก่ แอลฟา-อะไมเลส (α-amylase) ในขั้นตอนที่เรียกว่า Liquefaction และกลูโค-อะไมเลส หรือ เบตา-อะไมเลส (Gluco-amylase หรือ β-amylase) ในขั้นตอนที่เรียกว่า Saccharification

2. การเตรียมหัวเชื้อและการหมัก

การเตรียมหัวเชื้อ

ขั้นตอนที่สองในกระบวนการผลิตเอทานอลคือ ขั้นตอนการเตรียมหัวเชื้อ (Inoculum) เพื่อให้ได้เชื้อจุลินทรีย์ที่แข็งแรงและมีปริมาณมากเพียงพอสำหรับใช้ในการหมัก (Fermentation) รวมทั้งต้องปราศจากการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์อื่นที่ไม่ต้องการ เมื่อเตรียมหัวเชื้อเรียบร้อยแล้ว จึงถ่ายลงในถังหมักผสมกับวัตถุดิบ จากนั้นทำการปรับและควบคุมสภาวะของการหมัก เช่น อัตราการให้อากาศ (Aeration rate) อัตราการกวน (Agitation rate) ค่าพีเอช (pH) และอุณหภูมิในระหว่างการหมัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของการหมัก ชนิดของผลิตภัณฑ์ และชนิดของจุลินทรีย์ที่ใช้

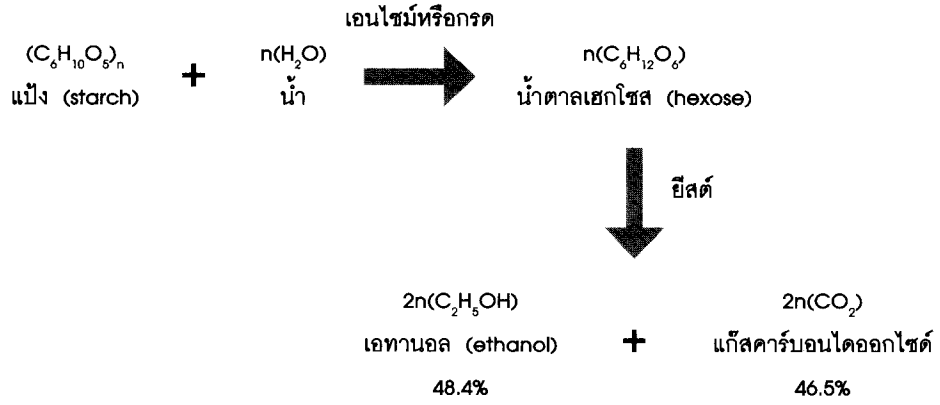
เชื้อยีสต์ที่นำมาใช้เป็นยีสต์สายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว เช่น *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5596 ซึ่งใช้ในการหมักหัวมันสำปะหลัง เป็นต้น เมื่อใช้วัตถุดิบต่างประเภทกันก็จะใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันด้วย อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนการเตรียมหัวเชื้ออาจไม่จำเป็นต้องมี หากมีการนำเอาเชื้อยีสต์แห้ง (Dry yeast) มาใช้แทน โดยการนำเชื้อยีสต์แห้งในปริมาณที่ต้องการ ผสมกับวัตถุดิบ (น้ำตาล) ในถังหมักได้เลย

การหมัก

เมื่อเตรียมวัตถุดิบพร้อมแล้ว นำมาถ่ายลงในถังหมัก (Fermentor) วัตถุดิบอาจผ่านหรือไม่ผ่านขั้นตอนการฆ่าเชื้อ ขึ้นอยู่กับชนิดของการหมักและวัตถุดิบที่ใช้ เช่น กากน้ำตาลสามารถนำไปหมักเป็นแอลกอฮอล์โดยไม่ต้องทำการฆ่าเชื้อก่อน เป็นต้น

ขั้นตอนการหมักเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่เกิดจากการทำงานของเชื้อยีสต์ในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคส ภายใต้สภาพที่ปราศจากออกซิเจนหรือมีออกซิเจนเพียงเล็กน้อย ให้เป็นแอลกอฮอล์ โดยทั่วไปการหมักจะใช้เวลาประมาณ 2 - 3 วัน เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 8 - 12 โดยปริมาตร

ตามทฤษฎี ยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นแอลกอฮอล์ได้ร้อยละ 51.1 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 48.9 โดยน้ำหนัก และมีความร้อนเกิดขึ้น ตามสมการเคมี ดังนี้



สมการเคมีแสดงกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทแป้งและน้ำตาล

แต่ในทางปฏิบัติ น้ำตาลเพียงร้อยละ 95 เท่านั้นที่จะเปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์ นอกจากนั้นยีสต์จะใช้สำหรับการเจริญเติบโตของตัวมันเอง และเปลี่ยนเป็นผลพลอยได้อื่น ได้แก่

Acetaldehyde	ร้อยละ 0-0.03
Acetic acid	ร้อยละ 0.05-0.25
Glycerine	ร้อยละ 2.5-3.6
Lactic acid	ร้อยละ 0-0.2
Succinic acid	ร้อยละ 0.5-0.77
Fusel oil	ร้อยละ 0.25-0.5
Furfural	เล็กน้อย

การหมักแอลกอฮอล์ แบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1. **การหมักแบบแบทช์** (Batch fermentation) เป็นกระบวนการหมักผลิตภัณฑ์โดยอาศัยการ

เติมวัตถุดิบ สารอาหาร และหัวเชื้อ ลงไปในถังหมักเพียงครั้งเดียว ตลอดกระบวนการ

2. **การหมักแบบเฟดแบทช์** (Fed batch fermentation) เป็นกระบวนการหมักที่มีการเติมวัตถุดิบและสารอาหารลงไปในถังหมักมากกว่า 1 ครั้งขึ้นไป เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถใช้วัตถุดิบและสารอาหารได้ในปริมาณสูงขึ้น

3. **การหมักแบบต่อเนื่อง** (Continuous fermentation) เป็นกระบวนการหมักที่มีการเติมวัตถุดิบและสารอาหารเข้าไปในถังหมัก และแยกเอาผลิตภัณฑ์ออกมาตลอดเวลา ทำให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้สูงสุดในระยะเวลาเท่ากัน เมื่อเทียบกับการหมักทั้งสองชนิดที่กล่าวมา

อย่าไรก็ตาม การหมักแอลกอฮอล์ในประเทศไทย เช่น การผลิตแอลกอฮอล์เพื่อผลิตสุรา ส่วนใหญ่ยังเป็นการหมักแบบแบทช์ รวมทั้งการหมักแอลกออฮอล์จากมันสำปะหลังด้วย ซึ่งยังไม่มีที่ใดๆ ในโลกใช้กระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง

3. การแยกผลิตภัณฑ์เอทานอลและการทำให้บริสุทธิ์

ขั้นตอนที่สามในกระบวนการผลิตเอทานอลคือการแยกเอทานอลและทำให้บริสุทธิ์ เป็นการแยกเอทานอลที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 8 - 12 โดยปริมาตร ออกจากน้ำหมักหรือน้ำส่า โดยใช้กระบวนการทางเคมี ได้แก่ กระบวนการกลั่นลำดับส่วน ซึ่งสามารถแยกเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์ร้อยละ 95.6 โดยปริมาตร (ในทางปฏิบัติจะเรียกว่า เอทานอลร้อยละ 95) อย่างไรก็ตาม การกลั่นที่ความดันบรรยากาศจะไม่สามารถผลิตเอทานอลให้มีความเข้มข้นสูงกว่านี้ได้ เนื่องจากเกิดองค์ประกอบที่เป็นสารผสมคงจุดเดือด (Azeotropic mixture) หรือของผสมของสารที่มีจุดเดือดคงที่ แต่ในการนำไปใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงจะต้องทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์สูงขึ้นที่ระดับไม่ต่ำกว่าร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูง เช่นนี้เรียกว่า เอทานอลไร้น้ำ (Anhydrous ethanol หรือ Absolute ethanol) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคอื่นๆ มาช่วยแยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 95.6 โดยปริมาตร

กรรมวิธีหรือเทคโนโลยีการแยกน้ำเพื่อผลิตเอทานอลไร้น้ำ ที่นิยมใช้มีอยู่ 3 วิธี ได้แก่

- กระบวนการแยกน้ำด้วยวิธีกลั่นสกัดแยกกับสารตัวที่สาม (Extractive distillation with the third component) เป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้กันมานาน จนถึงปัจจุบันก็ยังใช้กันในเชิงพาณิชย์อยู่ แต่ได้มีการปรับเปลี่ยนสารตัวที่สามจากสารเบนซีน (Benzene) มาใช้สารไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane) ซึ่งมีอันตรายน้อยกว่าแทน
- กระบวนการแยกด้วยวิธีเมมเบรน (Membrane pervaporation)
- กระบวนการแยกด้วยวิธีโมเลคูลาร์ซีฟ (Molecular sieve separation)

สองวิธีหลังเป็นเทคโนโลยีที่ค่อนข้างใหม่ อย่างไรก็ตามวิธีการทั้ง 3 ข้างต้นนี้ มีทั้งข้อดีและข้อเสีย การพิจารณาว่าจะเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้เอทานอล รวมทั้งความสะดวกในการปฏิบัติงานและต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

4. การใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์รองและของเสียจากโรงงาน

ขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการผลิตเอทานอลคือ การใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์รองและของเสียจากโรงงานเอทานอล ในกระบวนการผลิตเอทานอลนั้น นอกจากจะได้เอทานอลเป็นผลิตภัณฑ์หลักแล้ว ยังเกิดผลิตภัณฑ์รองอื่นอีก ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำมันฟิวเซล และอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต เช่น น้ำเสียจากกระบวนการกลั่น กากที่ออกจากขั้นตอนการหมักและขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ เป็นต้น ของเสียเหล่านี้หากปล่อยไปสู่สิ่งแวดล้อมจะก่อให้เกิดมลภาวะ

ดังนั้นเพื่อช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมและช่วยลดต้นทุนการผลิต ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์รองและของเสียขึ้น เช่น

- กระบวนการกำจัดน้ำกากส่า โดยการแปรรูปไปเป็นปุ๋ยชีวภาพ เป็นอาหารสัตว์ และเป็นแก๊สชีวภาพ
- กระบวนการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการทำให้บริสุทธิ์และแปรรูปไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องทำความเย็น น้ำอัดลม น้ำโซดา น้ำแข็งแห้ง อุปกรณ์ดับเพลิง เป็นต้น
- กระบวนการกำจัดน้ำมันฟิวเซล โดยการแปรรูปไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแล็กเกอร์ ผสมทำกาว น้ำหอมบางชนิด ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช และอื่นๆ

การใช้เอทานอลไร้น้ำเป็นเชื้อเพลิง

เอทานอลไร้น้ำที่ผลิตได้ สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ 3 รูปแบบคือ

1. เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง ทดแทนน้ำมันเบนซินและดีเซล
2. ใช้ในรูปน้ำมันเชื้อเพลิงผสม โดยนำไปผสมกับน้ำมันเบนซิน เรียกว่า "แก๊สโซฮอล์" (Gasohol) หรือผสมกับน้ำมันดีเซล เรียกว่า "ดีโซฮอล์" (Diesohol)
3. ใช้เป็นสารเติมแต่งหรือสารเคมีเพิ่มออกเทนให้แก่เครื่องยนต์ เป็นการทดแทนสาร MTBE (Methyl tertiary butyl ether) หรือ ETBE (Ethyl tertiary butyl ether) ที่ผลิตได้จากปิโตรเลียม

สำหรับประเทศไทย ได้ให้ความสำคัญกับการใช้เอทานอลในรูปน้ำมันเชื้อเพลิงผสม โดยได้มีการทดลองตลาดไปแล้วโดยหน่วยงานหลัก 4 หน่วยงาน ได้แก่ โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) และบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)

โครงการทดลองตลาด "แก๊สโซฮอล์" ดังกล่าว ใช้ส่วนผสมระหว่างน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วออกเทน 91 ต่อเอทานอลในอัตรา 90 : 10 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่คณะกรรมการเอทานอลแห่งชาตินำไปกำหนดในระดับนโยบายของชาติไว้แล้ว โดยในเบื้องต้นให้เป็นตัวแทนสาร MTBE ที่นำเข้าจากต่างประเทศ ในอนาคตหากมีการผลิตเอทานอลมากขึ้น ก็จะขยายไปใช้ในเนื้อน้ำมันเชื้อเพลิงต่อไป

ผลการทดลองในปัจจุบันสอดคล้องกับผลการทดลองในอดีตช่วงปี พ.ศ. 2528 - 2530 ซึ่ง

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เคยใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันเบนซินธรรมดาต่อเอทานอลเท่ากับ 85 : 15 และในการทดลองตลาดร่วมกับบริษัท สองพลอย จำกัด และการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย จัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ "น้ำมันเบนซินผสมพิเศษ" หรือแก๊สโซฮอล์ ที่รู้จักกันในปัจจุบัน ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างน้ำมันเบนซินธรรมดาต่อน้ำมันเบนซินซูเปอร์ต่อเอทานอลในอัตราส่วนเท่ากับ 15 : 35 : 50 ผลปรากฏว่า ผู้บริโภคยอมรับคุณภาพของน้ำมันเบนซินพิเศษนี้ โดยเฉพาะในเรื่องของการลดมลพิษจากไอเสีย พบว่าการใช้แก๊สโซฮอล์ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ทำให้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (HC) ลดลง

ข้อดีของการใช้เอทานอลจากวัสดุเกษตรเป็นพลังงานทดแทน สรุปได้ดังนี้

1. เกษตรกรมีแหล่งหรือทางเลือกในการขายวัตถุดิบเพิ่มขึ้น
2. เกษตรกรสามารถสร้างโรงงานผลิตในแหล่งวัตถุดิบกระจายออกไปทั่วประเทศ
3. สามารถผลิตใช้เองโดยไม่มีวันหมด
4. สร้างงานให้เกษตรกรเพิ่มขึ้น ลดปัญหาการว่างงาน และกระจายแหล่งงานสู่ชนบท
5. ช่วยประหยัดเงินตราต่างประเทศ
6. ช่วยให้ประเทศชาติมีแหล่งพลังงานเพิ่มขึ้น
7. เพิ่มอำนาจต่อรองให้กับเกษตรกร
8. ยกระดับราคาพืชไร่และสร้างเสถียรภาพด้านราคา
9. ลดมลพิษในอากาศจากสารเพิ่มค่าออกเทน MTBE โดยใช้เอทานอลผสมแทน
10. ตัดค่าขนส่งและค่าประกันทั้งในการส่งออกผลผลิตจากพืชไร่ไปยังตลาดต่างประเทศ และการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิง
11. ด้านเศรษฐกิจ ทำให้มีเงินทุนหมุนเวียนเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. ธีรภัทร ศรีนรคุตร, "**เชื้อเพลิงเอทานอลจากวัสดุการเกษตร : แหล่งพลังงานทางเลือกใหม่ของคนไทย**", วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 15, ฉบับที่ 3, กันยายน- ธันวาคม พ.ศ. 2543, หน้า 5-8.
2. วราวุฒิ ครูส่ง, "**เทคโนโลยีชีวภาพ**", สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 1, พ.ศ. 2529.
3. พูนศุข อัตถะสัมปุณณะ, ธีรภัทร ศรีนรคุตร, ศจี ปิยะพงศ์ และสุรพงษ์ จันทร์ผ่องศรี, "**ความเป็นไปได้ของการผลิตและการใช้แอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิง**", สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ, พ.ศ. 2540.
4. พูนศุข อัตถะสัมปุณณะ, ประไพศรี สมใจ, อำพล เอื้ออารี, สุภาพ อัจฉริยศรีพงศ์, ดำรง คามีศักดิ์, ธีรภัทร ศรีนรคุตร และขัขขัย ขัยสัตตปกรณ์, "**การผลิตเอทานอลจากวัสดุเกษตร เพื่อเป็นพลังงานทดแทน**", สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ, พ.ศ. 2530.

(ข้อมูลจาก คณะกรรมาธิการการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร)