

## การเตรียมเอทานอลจากซังข้าวโพดโดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับใช้ประโยชน์ในน้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์

### Ethanol Preparation from Corn Cob by Using Activated Carbon as Catalyst for Gasohol Fuel Utilization

อำไพ ทองใบ<sup>1</sup> ปิยรัตน์ มุลศรี<sup>2\*</sup> และ เสาวภา ชูมณี<sup>3</sup>

Amphai Thongbai<sup>1</sup> Piya-rut Moonsri<sup>2\*</sup> and Saowapha Chumanee<sup>3</sup>

<sup>1</sup>นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

<sup>2</sup>อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

<sup>3</sup>อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการผลิตและเปรียบเทียบเอทานอลจากซังข้าวโพดโดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารละลายเอทานอลที่ได้จากการหมัก มี 3 ตัวแปร

1. การหมักสารละลายซังข้าวโพด 2.การหมักสารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 3.การหมักสารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีสารละลายที่ได้จากการหมัก คุณสมบัติทางเคมีที่ได้จากการกลั่น ปริมาณความเข้มข้นเอทานอลและความหนาแน่น ศึกษาคุณภาพน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 จากเอทานอลที่ผลิตได้ หาความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ จุดไหลเท และการก่อก้อนแผ่นทองแดงของน้ำมัน พบว่า การผลิตเอทานอลจากซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีอัตราเร่ง การลดลงของน้ำตาลรีดิวซ์และอัตราการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์เอทานอลสูงกว่าวิธีอื่น การหมักในวันที่ 7 มีปริมาณเอทานอล เท่ากับ 11.1 % การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของสารละลายเอทานอล พบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการหมักสารละลายซังข้าวโพด สารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 และสารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีค่าลดลงในวันที่ 7 เท่ากับ 3.97, 3.53 , 3.64 mg/ml ตามลำดับ ปริมาณกรดซิตริกจากการหมักสารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีค่าสูงกว่าการหมักชนิดอื่น การศึกษาค่า pH และความหนาแน่นของสารละลายเอทานอล พบว่า การหมักสารละลายซังข้าวโพด มีค่า เท่ากับ 4.40, 1.0547 g/ml สารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 มีค่าเท่ากับ 4.28, 1.0298 g/ml และสารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีค่าเท่ากับ 4.25, 1.0103 g/ml การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเอทานอลจากการกลั่น พบว่า การกลั่นลำดับที่ 3 ที่อุณหภูมิ 76 -78 °C มีปริมาณความเข้มข้นเอทานอล เท่ากับ 91.4 % โดยปริมาตร และความหนาแน่น เท่ากับ 0.824 g/cm<sup>3</sup> การศึกษาคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงจากเอทานอลที่ผลิตได้ พบว่า น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 มีความหนาแน่น เท่ากับ 0.7385, 0.7584 g/ml ความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 57.18, 55.97 deg. และจุดไหลเทของ

น้ำมัน เท่ากับ  $-6^{\circ}\text{C}$  และ  $2^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ผลทดสอบการกัดกร่อนแผ่นทองแดงของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  และที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

**คำสำคัญ :** เอทานอล ชั่งข้าวโพด ถ่านกัมมันต์ ตัวเร่งปฏิกิริยา แก๊สโซฮอล์

### Abstract

This research is to study and compare the production of ethanol from corn cob by using activated carbon as the catalyst and the study of chemical and physical properties a solution of ethanol from fermentation. There are three variables. 1. The fermentation solution of corn cob. 2. The fermentation solution of corn cob by yeast *s. cerevisiae* TISTR 5339. 3. The fermentation solution of corn cob by yeast *s. cerevisiae* TISTR 5339 by using activated carbon as a catalyst. The study physical of properties and chemical of solvents from fermentation. The chemistry of distillation. The concentration of ethanol and density. The study of gasohol 95 and gasohol 91 from ethanol production. Density, specific gravity, pour point of the oil and copper corrosion was found that the production of ethanol from corn cob by yeast *s. cerevisiae* TISTR 5339 by using activated carbon as a catalyst to accelerate. The reduction of the reducing sugars and the rate of increase of the percentage of ethanol is higher than other methods. Fermentation on the 7<sup>th</sup> volume of ethanol equivalent to 11.1%. The study chemical properties of ethanol solution that reducing sugar from corn cob fermentation . The solution of corn cob by yeast *s. cerevisiae* TISTR 5339 and solution of corn cob by yeast *s. cerevisiae* TISTR 5339 by using activated carbon as a catalyst. The decline on the 7<sup>th</sup> was 3.97, 3.53, 3.64 mg / ml respectively of citric acid from fermented corn cob slurry by yeast *s. cerevisiae* TISTR 5339 by using activated carbon as the catalyst is higher than other types of fermentation. The study of pH and density of the aqueous solution of ethanol found that fermentation solution of corn cob is equal to 4.40, 1.0547 g / ml. The solution of corn cob by yeast *s. cerevisiae* TISTR 5339 is equal to 4.28. 1.0298 g / ml solution of corn cob by yeast *s. cerevisiae* TISTR 5339 by using activated carbon as a catalyst is equal to 4.25, 1.0103 g / ml of the chemical properties of ethanol by distillation found that the refining of the 3<sup>th</sup> at  $76-78^{\circ}\text{C}$ . There are concentrations of ethanol equal to 91.4 % by volume and density of  $0.824\text{ g / cm}^3$  . The study of quality fuel from ethanol produced found that gasohol 95 and gasohol 91 has a density equal to 0.7385, 0.7584 g / ml specific gravity of 57.18, 55.97 deg., and the pour point of oil equivalent  $-6^{\circ}\text{C}$  and  $2^{\circ}\text{C}$  respective test results the corrosion of copper to gasohol 95 and gasohol 91 at  $50^{\circ}\text{C}$  and  $100^{\circ}\text{C}$  temperature showed that there is no change.

**Keywords :** Production of Ethanol, Corn Cob, Activated Carbon, Catalyst, Gasohol

## บทนำ

เอทานอล (ethanol) หรือเอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) เป็นแอลกอฮอล์ที่แปรรูปมาจากพืชจำพวกแป้งและน้ำตาลรวมทั้งเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส โดยผ่านกระบวนการหมัก (fermentation) โดยวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับใช้ในการหมักเพื่อผลิตเอทานอลชีวภาพสามารถหาได้จากพืชหลายชนิดที่มีน้ำตาลหรือแป้ง ได้แก่ อ้อย ข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง มันสำปะหลัง และสาหร่าย เป็นต้น (วิโรจน์ พุทธิวิธิ 2553 : ออนไลน์) เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูงสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงให้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในซึ่งเป็นเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดสูงได้ และสามารถนำไปผสมกับน้ำมันเบนซิน (น้ำมันแก๊สโซลีน) เพื่อผลิตเป็นน้ำมันแก๊สโซลีนสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ได้ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิลได้ การใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงในยานยนต์โดยตรงหรือนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินมีข้อดีทั้งสามารถลดการใช้ปริมาณน้ำมันเบนซินลงและช่วยเพิ่มคุณสมบัติของน้ำมันเบนซินให้ดีขึ้น โดยจะใช้สัญลักษณ์ E แทนปริมาณเปอร์เซ็นต์ของ เอทานอลในสารผสมของเชื้อเพลิง ซึ่งเอทานอลบริสุทธิ์จะใช้สัญลักษณ์เป็น E100 เมื่อนำเอทานอลมาผสมกับน้ำมันเบนซินเป็นน้ำมัน E10 แสดงว่าในเชื้อเพลิงนั้นมีการผสมเอทานอลลงไป 10 % ในน้ำมันเบนซิน ค่าออกเทนัมเบอร์ของเอทานอลมีค่าประมาณ 111 ซึ่งสูงกว่าน้ำมันเบนซินเกรดการค้าทั่วไปซึ่งอยู่ในช่วง 88-98 แสดงว่าเอทานอลสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดสูงได้ดีกว่า การนำเอทานอลไปผสมกับน้ำมันเบนซินจึงเป็นการช่วยเพิ่มค่าออกเทนัมเบอร์ให้กับน้ำมันเบนซินด้วย นอกจากนี้แล้วการเผาไหม้เชื้อเพลิงเอทานอลเป็นการเผาไหม้ที่ค่อนข้างสะอาดและไม่ปล่อยแก๊สที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศเกิดขึ้นมากนัก การเก็บรักษาทำได้ง่ายและมีความปลอดภัยในการใช้งาน อีกทั้งสามารถใช้งานในสถานะที่มีอุณหภูมิต่ำได้โดยไม่มีปัญหา (ปิยรัตน์ มูลศรี, 2558) เนื่องจากประชากรในจังหวัดเพชรบูรณ์ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม พืชไร่ที่ปลูกมากที่สุด คือ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จึงมีวัสดุเหลือทิ้งจากชังข้าวโพดในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก (รายงานสถานการณ์อุตสาหกรรมจังหวัดเพชรบูรณ์ 2553 : ออนไลน์) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการผลิตเอทานอลจากชังข้าวโพดโดยการใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อนำผลผลิตเอทานอลที่ได้ไปใช้ประโยชน์สำหรับการใช้เป็นพลังงานทดแทนต่อไป

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการผลิตและเปรียบเทียบเอทานอลจากชังข้าวโพดโดยการใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารละลายเอทานอลที่ได้จากการหมัก

## วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เอทานอล ชื่อสามัญ คือ เอทิลแอลกอฮอล์ ชื่อตาม IUPAC คือ เอทานอล มีสูตรอย่างง่าย  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง เป็นของเหลวไม่มีสี จุดไฟติด ระเหยง่าย มีกลิ่นเฉพาะตัว มีความหนาแน่น 0.7937 ที่ 15 องศาเซลเซียส ที่จุดเดือด 78.5 องศาเซลเซียส และจุดเยือกแข็ง -115 องศาเซลเซียส ที่ 760 มิลลิเมตรปรอท สามารถลอยได้ในน้ำในทุกอัตราส่วน และสารละลายอินทรีย์อื่น ๆ (ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์ 2542 : 142,152)

**ประเภทเอทานอลที่อุปโภคบริโภค** มีอยู่หลายประเภท เช่น ใช้เป็นเครื่องดื่ม ใช้ในการแพทย์ และอื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งทางสำนักงานอุตสาหกรรม ได้จัดแบ่งประเภทของเอทานอล ออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. Denatured alcohol ( 88.8 °GL.) เป็นแอลกอฮอล์ที่ใช้สำหรับการให้ความร้อนและแสงสว่าง
2. Fine alcohol ( 96.0 - 96.5 °GL.) เป็นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการแพทย์ เกษตรกรรมการผลิตเครื่องสำอาง และเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม
3. Industrial alcohol (96.5 °GL.) เป็นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเป็นรีเจนต์ในห้องปฏิบัติการ
4. Absolute alcohol หรือ Anhydrous alcohol ( 99.7 - 99.8° GL.) เป็นแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ในเครื่องยนต์

หมายเหตุ °GL. หมายถึง The degree Gay - Lussac ซึ่งสามารถวัดค่านี้ได้โดยใช้เครื่องไฮโดรมิเตอร์ ซึ่งจะอ่านค่าเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของเอทิลแอลกอฮอล์ ในส่วนผสมของเอทิลแอลกอฮอล์ต่อน้ำ (ยงยุทธ ราชพันธุ์ 2545 : 1)

#### **ประเภทวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอล**

โดยทั่วไปเอทานอลจะทำมาจากวัตถุดิบจำพวกน้ำตาลและแป้งมันสำปะหลัง แต่ว่าต้นทุนวัตถุดิบยังอยู่ในเกณฑ์สูงและวัตถุดิบข้างต้นยังสามารถผลิตสินค้าชนิดอื่น เช่น เป็นอาหารซึ่งถือว่ามีความสำคัญมากกว่า ปัจจุบันมีผู้สนใจที่จะศึกษาการผลิตเอทานอลจากชีวมวล ซึ่งชีวมวล หมายถึง สิ่งที่ได้จากสิ่งมีชีวิต หรือองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต หรืออินทรีย์สารต่าง ๆ เช่น ไม้ยืนต้น พืชที่มีส่วนประกอบเป็นแป้ง น้ำตาลและเซลลูโลส วัชพืชบก วัชพืชน้ำ และของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร (สุธรรม ปทุมสวัสดิ์ 2546 : 37) ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอล สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. สารจำพวกน้ำตาล ได้แก่ น้ำอ้อย และกากน้ำตาล ซึ่งจะนำเข้าสู่กระบวนการผลิตเอทานอลได้โดยตรง
2. สารจำพวกแป้ง ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวสาลี และมันสำปะหลัง โดยที่ก่อนจะนำเข้าสู่กระบวนการผลิตเอทานอล สารจำพวกแป้งจะต้องถูกเปลี่ยนไปเป็นสารจำพวกน้ำตาลโดยเอนไซม์เสียก่อน
3. สารจำพวกเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เช่น กากอ้อย ฟางข้าว ชังข้าวโพด และของเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ซึ่งก่อนจะนำเข้าสู่กระบวนการผลิตเอทานอล จะต้องถูกเปลี่ยนไปเป็นสารจำพวกน้ำตาลเสียก่อน ได้แก่ พืชที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ

#### **การผลิตเอทานอลจากชีวมวลที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ**

การผลิตเอทานอลจากชีวมวลที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ โดยการย่อยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสให้ได้น้ำตาล แล้วนำน้ำตาลที่ได้เปลี่ยนเป็นเอทานอลโดยการหมักด้วยยีสต์ ซึ่งลักษณะของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส มีดังนี้

1. เซลลูโลสเป็นสารประกอบโพลิเมอร์เชิงเส้นตรง ที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำ ๆ กัน คือ น้ำตาลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ โดยจะต่อกันที่ตำแหน่ง (β -1,4) สูตรโมเลกุลทั่วไป คือ (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง ที่อยู่ในผนังเซลล์พืช โดยพบรวมตัวอยู่กับลิกนิน เพนโตเซนกัน แทนนินไขมัน และสารที่ทำให้เกิดสี เซลลูโลสที่ได้จากแต่ละส่วนของพืช จะมีความแข็งแรง และความเหนียวแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอายุและชนิดของพืช (นิธิยา รัตนปพนธ์ 2545 : 178)

เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมาก และโครงสร้างของเซลลูโลสยังจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมาก (ยงยุทธ์ ราชพันธุ์ 2545 : 1) ส่วนที่เกิดผลึกจึงมีความหนาแน่นมาก จึงทนทานต่อการถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์และสารเคมีมากกว่าส่วนที่ไม่ตกผลึก นอกจากนี้ส่วนที่เป็นผลึกยังดูดน้ำได้น้อยกว่าด้วย ทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งอุณหภูมิของการหลอมตัวจึงสูงเช่นกัน แต่มักจะเกิดการสลายตัวของผลึกก่อนที่จะถึงอุณหภูมิหลอมตัว เซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลต่ำก็จะส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี ในทางอุตสาหกรรมจะหาน้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณได้โดยการวัดความหนืด โครงสร้างของเซลลูโลส

2. เอมิเซลลูโลสไม่ใช่สารเริ่มต้นของเซลลูโลส และไม่ได้เป็นส่วนใดส่วนหนึ่งในกระบวนการสังเคราะห์เซลลูโลส แต่เป็นกลุ่มของเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่ง ซึ่งคล้ายเซลลูโลส ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด ตั้งแต่ 2 - 4 ชนิดขึ้นไป มีทั้งน้ำตาลเฮกซอสและเพนโทส น้ำตาลที่พบมากคือน้ำตาลไซโลส อะราบินอส นอกจากนี้ยังพบน้ำตาลกลูโคส แบนโนส กาแล็กโทส และกรดกลูคูโรนิก ลักษณะโครงสร้างของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เอมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่น ๆ เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ ไม่ละลายน้ำ มีสูตรทางเคมี  $(C_6H_{12}O_5)_n$  (นิธิยา รัตนปณนธ์ 2545 : 181)

3. การย่อยเอมิเซลลูโลสและเซลลูโลส เนื่องจากโครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสเท่านั้น ซึ่งน้ำตาลชนิดนี้สามารถผลิตได้ด้วยการไฮโดรไลซิสเอมิเซลลูโลสและเซลลูโลส โดยทำการไฮโดรไลซิส 2 ครั้ง ความแตกต่างของโครงสร้างระหว่างเอมิเซลลูโลสและเซลลูโลส กล่าวคือ เอมิเซลลูโลสเป็นอสัณฐานขนาดเล็ก DP ประมาณ 100 ไฮโดรไลซิสได้ง่ายกว่า แต่เซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์ขนาดใหญ่และมีโครงสร้างเป็นระเบียบ ไฮโดรไลซิสได้ยากกว่า ดังนั้นต้องไฮโดรไลซิสเอมิเซลลูโลสก่อน โดยใช้อุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของกรดต่ำ แล้วจึงตามด้วยการไฮโดรไลซิสเอมิเซลลูโลสก่อน โดยใช้อุณหภูมิสูงและความเข้มข้นของกรดสูง ซึ่งถ้าใช้สภาวะที่อุณหภูมิสูงและความเข้มข้นของกรดสูงดังกล่าว ในการไฮโดรไลซิสเอมิเซลลูโลส จะทำให้เกิดการสลายตัวของเอมิเซลลูโลสไปเป็นเฟอฟูราล ซึ่งเป็นสารที่ไม่ต้องการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องไฮโดรไลซิส 2 ขั้นตอน เพื่อให้ทั้งเอมิเซลลูโลสและเซลลูโลสเปลี่ยนเป็นน้ำตาลคู่ เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำตาลที่มากขึ้นในปริมาณที่มากเพียงพอที่จะสามารถผลิตในเชิงอุตสาหกรรม และเพื่อเพิ่มปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมัก (ยงยุทธ์ ราชพันธุ์ 2545 : 1)

### ความสำคัญของเอทานอล

เอทานอลมีค่าออกเทนสูง เมื่อนำไปผสมกับน้ำมันเบนซิน เรียกว่า น้ำมันแก๊สโซฮอล์ได้ ถ้าผสมกับน้ำมันดีเซล เรียกว่า น้ำมันดีเซลโซฮอล์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เอทานอลเป็นบริสุทธ์เชื้อเพลิงได้โดยตรง โดยไม่ต้องผสมกับน้ำมัน เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดและเผาไหม้ได้สมบูรณ์ ช่วยลดการเกิดมลพิษในอากาศ และเป็นผลดีต่อสภาวะแวดล้อม และมีฐานวัตถุดิบมาจากพืช ซึ่งสามารถดูดซับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศได้ การใช้เอทานอลจะช่วยพัฒนาสภาพแวดล้อม เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ไร้สารพิษ เช่น ซัลเฟอร์ และมีโมเลกุลออกซิเจนเป็นส่วนประกอบถึงร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก เมื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์จึงเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าเชื้อเพลิงทั่วไป ระบบเครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอลจึงสะอาดกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้้ำมันเบนซินหรือดีเซลได้ (สมาคมการค้าผู้ผลิตเอทานอลไทย 2555 : ออนไลน์)

### กระบวนการผลิตเอทานอล

กระบวนการผลิตเอทานอล ประกอบด้วยกระบวนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล กระบวนการหมัก และการแยกผลิตภัณฑ์เอทานอลและการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบนั้น ถ้าเป็นประเภทแป้งหรือเซลลูโลส เช่น มันสำปะหลังและธัญพืช จะต้องนำไปผ่านกระบวนการย่อยแป้งหรือเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลก่อน ด้วยการใช้กรดหรือเอนไซม์ ส่วนวัตถุดิบประเภทน้ำตาล เช่น กากน้ำตาลหรือน้ำอ้อย เมื่อปรับความเข้มข้นให้เหมาะสมแล้วสามารถนำไปหมักได้ ในกระบวนการหมัก จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ยีสต์ การเลือกใช้นิตของเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับวัตถุดิบที่นำมาหมักจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหมัก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมัก คือ เอธิลแอลกอฮอล์ หรือเอทานอล ที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 8 - 12 โดยปริมาตร น้ำหมักที่ได้จากกระบวนการหมัก นำมาแยกเอทานอลออกโดยใช้กระบวนการกลั่นลำดับส่วน ซึ่งสามารถแยกเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 95 โดยปริมาตร จากนั้นจึงเข้าสู่กรรมวิธีในการแยกน้ำ โดยการใช้โมเลกุลาร์ซีฟ เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ ร้อยละ 95 จะผ่านเข้าไปในหอดูดซับที่บรรจุตัวดูดซับประเภท ซีโอไลต์ โมเลกุลของเอทานอลจะไหลผ่านช่องว่างของซีโอไลต์ออกไปได้ แต่โมเลกุลของน้ำจะถูกดูดซับไว้ ทำให้ เอทานอลที่ไหลออกไปมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 ส่วนซีโอไลต์ที่ดูดซับน้ำไว้จะถูกรีเจนเนอเรตโดยการไล่ไอน้ำออก เอทานอลความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 สามารถนำไปผสมกับน้ำมันเบนซิน เพื่อใช้ในรถยนต์เครื่องยนต์เบนซินได้ (สมาคมการค้าผู้ผลิตเอทานอลไทย 2555 : ออนไลน์)

### การหมักวัตถุดิบประเภทเซลลูโลส

การหมักวัตถุดิบประเภทเซลลูโลส ขั้นแรกต้องทำการเปลี่ยนเซลลูโลสเป็นน้ำตาลก่อน เพื่อเข้ากระบวนการหมัก จากแป้งและน้ำตาลให้ได้เอทานอลจากเซลลูโลส มี 3 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นตอนการเปลี่ยนเซลลูโลสเป็นน้ำตาลกลูโคสขั้นตอนแรก ทำให้เซลลูโลสจากพืช ในโครงการวิจัยใช้ซังข้าวโพดตากแห้ง ใช้กรดย่อยเพื่อเปลี่ยนเซลลูโลสเป็นน้ำตาลกลูโคส เซลลูโลสเป็นโพลีแซ็กคาไรด์สายยาวประกอบด้วยน้ำตาล D – กลูโคส ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบตา ( $\beta$  -1,4) ไกลโคซิดิก แต่ละเส้นวางตัวเป็นเส้นยาวเรียงขนานและเชื่อมกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติไม่ละลายน้ำ เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ของพืช สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมไม่สามารถย่อยเซลลูโลสได้แต่สัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น วัวสามารถย่อยได้เนื่องจากแบคทีเรียในรูเมน สามารถสังเคราะห์เอนไซม์เซลลูเลสเพื่อย่อยได้

2. ขั้นตอนการหมักน้ำตาลเป็นเอทานอล สารละลายน้ำตาลที่ได้จากการเปลี่ยนเซลลูโลสเป็นน้ำตาลที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ปรับสภาพความเป็นกรดต่างให้เหมาะสมกับการหมัก ในงานวิจัยนี้ใช้การหมักแบบกะ เป็นการหมักโดยใส่เชื้อและน้ำหมักในถังเดียวกันและเกิดการหมักขึ้นในถังเดียวกันจนเสร็จ ข้อดีของการหมักแบบกะ คือ การติดตั้งอุปกรณ์มีค่าใช้จ่ายต่ำ ไม่ต้องฆ่าเชื้อในถัง ไม่ต้องใช้บุคคลที่มีความชำนาญสูงในการควบคุมการหมัก

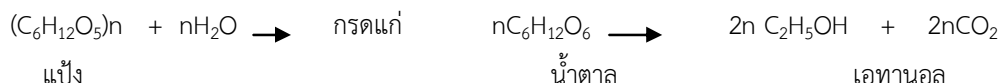
3. ขั้นตอนการทำเอทานอลให้บริสุทธิ์ สามารถแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการกลั่นเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล เป็น 99.5 % โดยปริมาตร ซึ่งไม่สามารถเพิ่มความเข้มข้นให้สูงขึ้นได้อีกด้วยการกลั่นปกติ ขั้นตอนการทำเอทานอลให้บริสุทธิ์ 99.5 % โดยปริมาตร ซึ่งมีเทคโนโลยีหลายรูปแบบ เช่น การกลั่นแบบอะซิโโทป การดูดซับน้ำโดยใช้สารดูดซับหรือใช้เยื่อแผ่น

การกลั่นเป็นขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานความร้อนสูง โดยทั่วไปการกลั่นเบียร์ที่ได้จากการหมักจะให้ความเข้มข้นของเอทานอล ประมาณ 10 % การกลั่นการหมักของสารละลายแต่ละชนิดให้ความเข้มข้นของเอทานอลแตกต่างกัน (รัชดาภรณ์ เบญจวัฒน์ นนท์ 2552 : 5, 6)

#### กระบวนการหมักเอทานอล

การหมักเอทานอลโดยใช้ยีสต์ ต้องมีความเข้าใจและให้ความสมดุล 2 ส่วน คือ

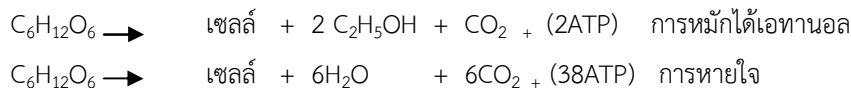
1. ลักษณะเฉพาะและคุณสมบัติของยีสต์ การหมักเอทานอลส่วนมากใช้ยีสต์สายพันธุ์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 เพราะสามารถผลิตเอทานอลได้สูง ทนต่อสภาพแวดล้อมที่มีเอทานอลได้ดีกว่ายีสต์อีกหลายสายพันธุ์ การทำงานของยีสต์ในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอลเกิดขึ้นในระดับเซลล์ และปลดปล่อยเอทานอลออกมาออกเซลล์ ตามทฤษฎีการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอลได้ 51.1 % ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ



การหมักในทางปฏิบัติมีน้ำตาลเพียง 95.5 % ที่เปลี่ยนเป็นเอทานอลส่วนที่เหลือยีสต์จะใช้ในการเจริญเติบโต และสร้างสารอื่น ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ 45.5 % อะซีตัลดีไฮด์ 0.3 % กรดอะซิติก 0.25 %

กลีเซอริน 3.0 % กรดแลกติก กรดซัลซินิก ฟูลอออยล์ 0.25 – 0.5 % และเฟอฟูรอลอีกเล็กน้อย (กล้าณรงค์ ศรีรอด 2548 : 9)

การทำงานของยีสต์ในการหมักเอทานอลเกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ ยีสต์จะใช้กลูโคสส่วนใหญ่ในการผลิตเอทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์และได้พลังงานในรูปแบบ ATP ขั้นตอนนี้เรียกว่า ethanol fermentation ดังสมการข้างล่าง



2. จัดการให้มีปัจจัยที่จำเป็นต่อการทำงานของยีสต์ ปัจจัยที่จำเป็นต่อการทำงานของยีสต์ในกระบวนการหมัก เพื่อให้การหมักมีประสิทธิภาพสูงสุดและได้ปริมาณเอทานอลสูงจำเป็นต้องมีปัจจัยแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานของยีสต์ในการหมักเอทานอล โดยมีองค์ประกอบที่เป็นปัจจัยสำคัญและองค์ประกอบด้านสภาพแวดล้อมอื่น ๆ

#### วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาการผลิตและเปรียบเทียบเอทานอลจากสารละลายซังข้าวโพด ตามขั้นตอน ดังนี้

- 1.1 โดยนำสารละลายซังข้าวโพด ปรับความหวาน 20 Brix และ pH 5 ด้วยสารละลาย 1 N NaOH
- 1.2 นำสารละลายซังข้าวโพดที่ปรับแล้วใน 1.1 นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C นาน 20 นาที
- 1.3 เตรียมตัวอย่างสารละลายซังข้าวโพด ในข้อ 1.2 จำนวน 3 ตัวอย่าง
  - 1.3.1 สารละลายซังข้าวโพด ปริมาตร 250 ml

1.3.2 สารละลายซังข้าวโพดใส่ยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) โดยปริมาตร ปริมาตร 250 ml (ใส่เชื้อยีสต์ที่เพาะเลี้ยงไว้ 5 % จากปริมาตรสารละลายทั้งหมด 100 ml ใช้สารละลายซังข้าวโพด ปริมาตร 95 ml ต่อเชื้อยีสต์ ปริมาตร 5 ml )

1.3.3 สารละลายซังข้าวโพด ใส่ยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) โดยปริมาตร เติมน้ำมันก๊าด 1 % โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาตร 250 ml

1.4 นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ใน 1.3 ไปหมักในตูบ่มแบบควบคุมอุณหภูมิ 30 °C ระยะเวลาในการหมัก 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 วัน และเก็บตัวอย่างตรวจวัดปริมาณเอทานอลในแต่ละวัน ด้วยเครื่องวัดปริมาณแอลกอฮอล์

2. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารละลายเอทานอลที่ได้จากการหมักที่สภาวะเหมาะสม โดยนำสารละลายตัวอย่างที่หมักไว้ในข้อ 1.4 ทั้ง 3 วิธี นำมาศึกษาคุณสมบัติ ดังนี้

2.1 ตรวจหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ในแต่ละวันโดย Dinitrosalicylic acid (DNS)

2.2 ปริมาณกรดซิตริกในแต่ละวัน โดยวิธี Titratable acidity ตามวิธีใน AOAC (1990)

2.3 ปริมาณเอทานอลด้วยเครื่องวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในแต่ละวัน

2.4 ตรวจหาค่า pH และความหนาแน่นของสารละลายเอทานอลที่ได้จากการหมัก

3. การศึกษาคุณสมบัติเอทานอลที่ได้จากการกลั่น ดังนี้

3.1 หาปริมาณความเข้มข้นเอทานอล ใช้สารละลายเอทานอลความเข้มข้นเริ่มต้น 10.0 % โดยปริมาตร โดยกลั่นแบบรีฟลักซ์ 3 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 90-95 °C , 80-83 °C และ 76-78 °C ( การกลั่นแบบรีฟลักซ์ เป็นกระบวนการกลั่นแยกเอทานอลให้กลายเป็นของเหลวกลับไปยังภาชนะอีกอันหนึ่ง ของเหลวที่เกิดการควบแน่นและหยดกลับนี้ จะช่วยให้ไอมีความบริสุทธิ์มากขึ้น และเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้น )

3.2 แล้วนำเอทานอลที่กลั่นได้ หาความหนาแน่นของเอทานอลโดยใช้ขวดพิคโนมิเตอร์

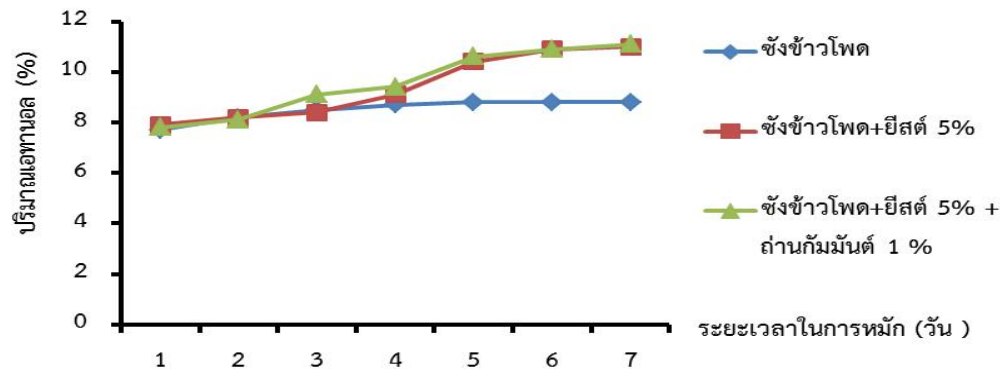
4. การศึกษาคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงจากเอทานอลที่ผลิตได้ ดังนี้

4.1 นำเอทานอลที่กลั่นได้ในข้อ 3.2 นำมาทดลองผสมกับน้ำมันเบนซินพื้นฐาน ผลิตเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ในอัตราส่วน 90 : 10 และ 80 : 20

4.2 นำน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ที่ผลิตได้จากข้อ 4.1 มาตรวจสอบหาความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น จุดไหลเท และการกัดกร่อนแผ่นทองแดงของน้ำมัน

## ผลการวิจัย

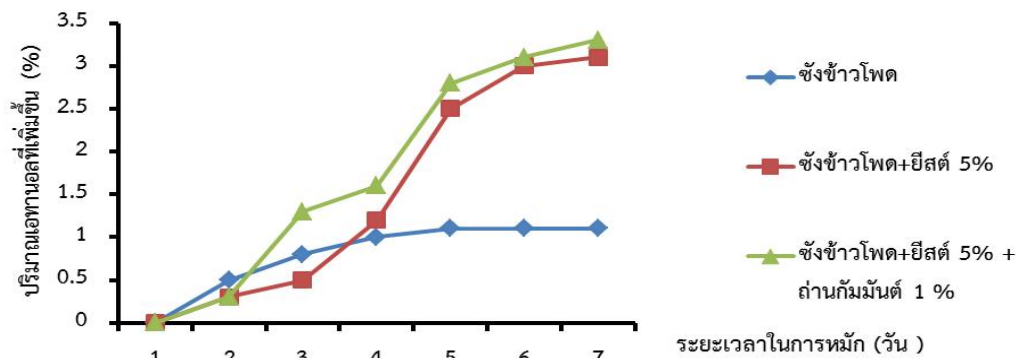
ผลการศึกษาการผลิตและเปรียบเทียบเอทานอลจากสารละลายซังข้าวโพด สารละลายซังข้าวโพดใส่ยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) โดยปริมาตร และสารละลายซังข้าวโพด ใส่ยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) โดยปริมาตร เติมน้ำมันก๊าด 1 % โดยน้ำหนักแห้ง ผลการทดลอง ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักสารละลายซังข้าวโพด สารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) และสารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากภาพที่ 1 พบว่า ปริมาณเอทานอลจากการผลิตเอทานอลสารละลายจากซังข้าวโพด ซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) และการผลิตเอทานอลจากซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในช่วงการหมักวันที่ 5 มีค่า เท่ากับ 8.8, 10.4 และ 10.6 ตามลำดับ เมื่อครบ 7 วัน จะมีค่า เท่ากับ 8.8, 11.0 และ 11.1 ตามลำดับ การใส่ถ่านกัมมันต์ทำให้ช่วงการหมักวันที่ 5 สูงกว่าวิธีอื่น

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารละลายเอทานอลที่ได้จากการหมักนาน 7 วัน ผลการหาปริมาณเอทานอล ดังภาพที่ 2 ความเข้มข้นเอทานอลจากการกลั่นแบบรีฟลักซ์ แสดงดังตารางที่ 1 คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงจากเอทานอลที่ผลิตได้ แสดงดังตารางที่ 2 และผลการทดสอบการกัดกร่อนแผ่นทองแดงของน้ำมันเชื้อเพลิง แสดงดังตารางที่ 3



ภาพที่ 2 แสดงปริมาณเอทานอลที่เพิ่มขึ้นในแต่ละวันจากการหมักนานทั้งหมด 7 วัน

จากภาพที่ 2 พบว่า ปริมาณเอทานอลที่เพิ่มขึ้น จากการหมักสารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะเพิ่มมากขึ้นในช่วงการหมักในวันที่ 3 และ วันที่ 5 สูงกว่า การผลิตเอทานอลจากสารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) และสารละลายซังข้าวโพด ตามลำดับโดยมีปริมาณเปอร์เซ็นต์เอทานอลที่เพิ่มขึ้นในการหมักวันที่ 5 มีค่า เท่ากับ 2.8, 2.5 และ 1.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

**ตารางที่ 1** แสดงความเข้มข้นเอทานอลจากการกลั่นแบบรีฟลักซ์

| กลั่นลำดับที่ | กลั่นเอทานอลแบบรีฟลักซ์ |                                               |                                     |
|---------------|-------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------|
|               | อุณหภูมิในการกลั่น(°C)  | ความเข้มข้นเอทานอล<br>(เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) | ความหนาแน่น<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |
| 1             | 90-95                   | 56.8                                          | 0.947                               |
| 2             | 80-83                   | 83.2                                          | 0.885                               |
| 3             | 76-78                   | 91.4                                          | 0.824                               |

จากตารางที่ 1 พบว่า การกลั่นสารละลายเอทานอลแบบรีฟลักซ์ กลั่นลำดับที่ 3 ปริมาณความเข้มข้น เอทานอล เท่ากับ 91.4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 76 – 78 °C ซึ่งสูงกว่า การกลั่นในลำดับที่ 2 และ 3 ตามลำดับ และความหนาแน่น การกลั่นลำดับที่ 1 มีค่ามากกว่า ลำดับที่ 2 และ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 0.947 g/cm<sup>3</sup>, 0.885 g/cm<sup>3</sup>, 0.824 g/cm<sup>3</sup> ตามลำดับ

**ตารางที่ 2** แสดงคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงจากเอทานอลที่ผลิตได้

| ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง   | Density<br>(g/ml) (15.6°C) | API gravity<br>(deg.) | Pour point<br>(°C) |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------|
| 1. แก๊สโซลีน (ค่ามาตรฐาน) | 0.7400                     | 59.53                 | -22                |
| 2. E 10                   | 0.7385                     | 57.18                 | -6                 |
| 3. E 20                   | 0.7584                     | 55.97                 | 2                  |

จากตารางที่ 2 พบว่า น้ำมันเชื้อเพลิง E10 มีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 0.7385 g/ml ความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 57.18 deg. และจุดไหลเท เท่ากับ -6 °C ซึ่งมีค่าน้อยกว่า -10 °C และน้ำมัน E 20 มีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 0.7584 g/ml. ความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 55.97 deg. และจุดไหลเท เท่ากับ 2 °C ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10 °C

ตารางที่ 3 แสดงการกักกรองแผ่นทองแดงของน้ำมันเชื้อเพลิง

| ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง | อุณหภูมิในการทดลอง | การเปลี่ยนแปลง      |
|-------------------------|--------------------|---------------------|
| 1. E 10                 | 50 °C              | ไม่มีการเปลี่ยนแปลง |
| 2. E 10                 | 100 °C             | ไม่มีการเปลี่ยนแปลง |
| 3. E 20                 | 50 °C              | ไม่มีการเปลี่ยนแปลง |
| 4. E 20                 | 100 °C             | ไม่มีการเปลี่ยนแปลง |

จากตารางที่ 3 พบว่า การกักกรองแผ่นทองแดงของน้ำมัน E 10 และน้ำมัน E 20 ที่อุณหภูมิ 50 °C และที่อุณหภูมิ 100 °C ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

### สรุปและวิจารณ์ผล

การศึกษาการผลิตและเปรียบเทียบเอทานอลจากสารละลายซังข้าวโพด พบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณเอทานอลจากการหมักสารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในช่วง 5 วันแรกสูงกว่าสารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) และซังข้าวโพด โดยมีปริมาณเปอร์เซ็นต์เอทานอลสูงที่สุดในการหมักวันที่ 7 เท่ากับ 11.1, 11.0 และ 8.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การผลิตเอทานอลจากซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้มีอัตราเร่งการลดลงของน้ำตาลรีดิวซ์และอัตราการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์เอทานอลในการหมักช่วงระยะแรกๆ 1-5 วันสูงกว่าการหมักชนิดอื่น การศึกษาคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของสารละลายเอทานอลที่ได้จากการหมักที่สภาวะเหมาะสมพบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ จากการหมักสารละลายซังข้าวโพด มีค่าลดลงตามช่วงวันที่หมักในวันที่ 1 - 7 เท่ากับ 6.22, 6.21, 5.78, 5.44, 5.10, 5.35 และ 3.97 mg/ml ตามลำดับ การหมักสารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) มีค่าลดลงตามช่วงวันที่หมักในวันที่ 1 - 7 เท่ากับ 7.26, 6.33, 5.86, 5.45, 5.34, 4.45 และ 3.53 mg/ml ตามลำดับ และการหมักสารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีค่าลดลงตามช่วงวันที่หมักในวันที่ 1 - 7 เท่ากับ 7.48, 5.89, 5.51, 5.25, 5.18, 5.03 และ 3.64 mg/ml ตามลำดับ ปริมาณกรดซิตริกจากการหมักสารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะสูงกว่าการผลิตเอทานอลจากซังข้าวโพด และการผลิตเอทานอลจากซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) ตลอดช่วงเวลาของการหมัก ปริมาณเอทานอลจากการหมักสารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการหมักโดยใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) และไม่ใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) ในช่วงการหมักครบ 7 วัน เท่ากับ 11.1, 11.0 และ 8.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการหาค่า pH ของสารละลายเอทานอลที่ได้จากการหมัก พบว่า ค่า pH ของสารละลายซังข้าวโพด จะสูงกว่าสารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) และสารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เท่ากับ 4.40, 4.28 และ 4.2 ตามลำดับ และความหนาแน่นของสารละลาย ซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 (5%) โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะสูงกว่าสารละลายซังข้าวโพดและสารละลายซังข้าวโพดด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339

(5%) เท่ากับ 1.0547, 1.0298 และ 1.0103 g/ml ตามลำดับ การศึกษาสมบัติเอทานอลที่ได้จากการกลั่น พบว่า การกลั่นสารละลายเอทานอลแบบรีฟลักซ์ กลั่น 3 ครั้ง การกลั่นลำดับที่ 3 ปริมาณความเข้มข้นเอทานอล เท่ากับ 91.4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 76-78 °C ซึ่งสูงกว่าการกลั่นในลำดับที่ 2 และ 3 ตามลำดับ และความหนาแน่น การกลั่นลำดับที่ 1 มีค่ามากกว่าลำดับที่ 2 และ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 0.947 g/cm<sup>3</sup>, 0.885 g/cm<sup>3</sup>, 0.824 g/cm<sup>3</sup> ตามลำดับ การศึกษาคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงจากเอทานอลที่ผลิตได้เป็นน้ำมัน E10 และ E20 พบว่า น้ำมัน E10 มีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 0.7385 g/ml ความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 57.18 deg. และจุดไหลเท เท่ากับ -6 °C ซึ่งมีค่าน้อยกว่า -10 °C และน้ำมัน E 20 มีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 0.7584 g/ml. ความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 55.97 deg. และจุดไหลเท เท่ากับ 2 °C ซึ่งมีค่าน้อยกว่า -10 °C คุณภาพของน้ำมัน E 10 และน้ำมัน E 20 จากเอทานอลที่ผลิตได้มีค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และจุดไหลเทใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานน้ำมันแก๊สโซลีน เมื่อทดสอบการกัดกร่อนแผ่นทองแดง พบว่า น้ำมัน E 10 และน้ำมัน E 20 ที่อุณหภูมิ 50 °C และที่อุณหภูมิ 100 °C ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงคุณภาพน้ำมันที่ดีของน้ำมันเชื้อเพลิง

#### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5339 ในการวิจัยทดลอง และขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่อุปกรณ์ในการวิจัยทดลอง

#### เอกสารอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด. (2548). การพัฒนาการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อลดต้นทุนการผลิตและปลอดภัยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. (2542). *เคมีอินทรีย์พื้นฐาน*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- นิธยา รัตนพานนท์. (2545). *เคมีอาหาร*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- ปิยรัตน์ มูลศรี. (2558). *เคมีเชื้อเพลิง*. เพชรบูรณ์ : สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- ยงยุทธ์ ราชพันแสน. (2545). การผลิตเอทานอลชีวภาพจากฟางข้าว. ขอนแก่น : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- รัชดาภรณ์ เบญจพัฒนานนท์. (2552). การศึกษาการผลิตเอทานอลจากหยวกกล้วยโดยยีสต์ด้วยวิธีหมักแบบกะ. สาขาภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.
- วิโรจน์ พุทธิวิถิ. (2553). *รู้จักเอทานอล*. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://water-pacific.com/index.php/2010-08-14-10-07-37>. (1 เมษายน 2556).
- สมาคมการค้าผู้ผลิตเอทานอลไทย. (2555). *เอทานอลคืออะไร*. (ออนไลน์). สืบค้นจาก :

สำนักงานสถิติจังหวัดเพชรบูรณ์. (2553). รายงานสถานการณ์อุตสาหกรรมจังหวัดเพชรบูรณ์.

(ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.phetchabun.go.th/book/buntyai55.pdf>.

(1 เมษายน 2556).

สุธรรม ปทุมสวัสดิ์. (2546). “พลังงานชีวมวล” พัฒนาเทคนิคนักศึกษา. ปีที่ 16. ฉบับที่ 48.

(ต.ค. – ธ.ค. 46)