บทความวิจัย

การผลิตเอทานอลจากลำต้นปาล์มที่ผ่านการเตรียมโดยวิธีการทางเคมีด้วยยีสต์สายพันธุ์ *Saccharomyces cerevisiae*

Ethanol Production from Chemical Pretreated Oil Palm Trunk by Yeast *Saccharomyces cerevisiae*

สุรีย์พร กำเนิดกลาง[1] นูรฮายาตี อามะ[2] กนกพร สังขรักษ์[3] และสมพงศ์ โอทอง[4*]

Sureeporn Kumneadklang[1], Nurahatee Arhma[2], Kanokporn Sangkarak[3] and Sompong O-Thong [4*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตเอทานอลจากลำต้นปาล์มที่ผ่านการเตรียมโดยวิธีทางเคมีโดยศึกษาการเตรียมลำต้นปาล์มด้วย ร้อยละ 2 ของ H_2SO_4 NaOH และ NaOH+H_2O_2 ต่อคุณภาพของเซลลูโลสจากลำต้นปาล์มในการย่อยเซลลูโลสด้วยเอนไซม์ และ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลด้วยยีสต์การเตรียมลำต้นปาล์มด้วยร้อยละ 2 ของ NaOH+H_2O_2 ย่อยเฮมิเซลลูโลสได้สูงที่สุด รองลงมาคือร้อยละ 2 ของ NaOH และร้อยละ 2 ของ H_2SO_4 การเตรียมลำต้นปาล์มด้วยร้อยละ 2 ของ NaOH+H_2O_2 ที่อัตราส่วนเซลลูโลสต่อปริมาณสารละลาย เท่ากับ ร้อยละ5 10 และ 15 ให้ของแข็งที่ได้ร้อยละ 82.67 86.55 และ 88.47 โดยน้ำหนักตามลำดับ นำลำต้นปาล์มที่ผ่านการเตรียมด้วย NaOH+H_2O_2 มาย่อยด้วยเอนไซม์ Cellulase และ β-Galatosidase ให้ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมดสูงที่สุดถึง 20.34 กรัมต่อลิตร เมื่อนำมาทำการหมักด้วยเชื้อ *Saccharomyces cercvisiae* ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ให้ผลผลิตเอทานอล 7.9 กรัมต่อลิตร

คำสำคัญ: เซลลูโลส ลำต้นปาล์มแก่ การปรับสภาพ เอทานอล

---

[1] นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

[2] นิสิตปริญญาตรี สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

[3] อ.ดร., สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

[4] อ.ดร., สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

* Corresponding author: E-mail:sompong.o@gmail.com, โทรศัพท์/โทรสาร: 0-7469-3992

Abstracts

This research was to study the production of ethanol from the oil palm trunks pretreated with H_2SO_4, NaOH and NaOH + H_2O_2 following by cellulose hydrolysis cellulase and β-Galatosidase and ethanol fermentation by Saccharomyces cerevisiae. The effect of pretreatment on the quality of the cellulose was evaluated by enzymatic digestion. Treated oil palm trunks with 2% of NaOH + H_2O_2 releasing highest amount of hemicellulose. The second is 2 percent of NaOH and 2 percent of H_2SO_4 in the trunk of the palm, with 2 percent of NaOH + H_2O_2 ratio of acetic acid per volume of solution equal to 5 percent, 10 and 15, the solids obtained were 82.67 86.55 and 88.47. by weight, respectively. The palm tree that has been prepared by NaOH + H_2O_2 was digested with enzymes Cellulase and β-Galatosidase. The highest concentration of total sugars and 20.34 grams per liter was used for fermentation. Saccharomyces cerevisiae at room temperature for 72 hours to yield 7.9 g of ethanol per liter

Keywords : Cellulose, Oil Palm Trunk, Pretreatment, Ethanol Production

บทนำ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ปลูกมากในจังหวัดภาคใต้ของไทย ซึ่งจังหวัดที่ถือว่าเป็นเขตเศรษฐกิจปาล์มน้ำมัน ได้แก่ จังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูล ตรัง ประจวบคีรีขันธ์ ระนอง นครศรีธรรมราช สงขลา และพังงา โดยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งสิ้น ประมาณ 3.5 ล้านไร่ในปี 2552 [1] และมีความสำคัญมากขึ้นเป็นลำดับ เนื่องจากรัฐบาลได้ให้ความสำคัญในเรื่องส่งเสริมพื้นที่การเพาะปลูกเพิ่มเป็น 10 ล้านไร่ภายในปี 2572 เพื่อเพิ่มปริมาณวัตถุดิบทะลายปาล์มที่จะป้อนเข้าสู่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เพื่อให้มีน้ำมันดิบสำหรับการแปรรูปเป็นไบโอดีเซล ปาล์มจะเริ่มให้ผลผลิตเมื่ออายุ 2.5 ปี และมีผลผลิตลดลงเมื่ออายุ 20-25 ปี ดังนั้นจึงมีการโค่นต้นปาล์มทิ้งเมื่ออายุได้ 25 ปี เพื่อปลูกใหม่ทดแทน และปล่อยทิ้งต้นปาล์มให้ย่อยสลายเป็นปุ๋ยหรือเผาทิ้งในส่วนปาล์ม ต้นปาล์มที่โค่นทิ้งหลังจากต้นปาล์มมีอายุมาก (>25 ปี) และมีผลผลิตน้อย มีจำนวนประมาณ 70 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ของพื้นที่ปลูกปาล์ม [2] ใน ประเทศไทยมีพื้นที่ของต้นปาล์มน้ำมันที่รอโค่นประมาณ 20,000-45,000 ไร่ต่อปี ดังนั้นในแต่ละปีจะมีมวลชีวภาพจากลำต้นปาล์มประมาณ 1 ล้านตันต่อปี [3] ต้นปาล์มน้ำมันมีเซลล์เก็บน้ำตาล (sap cell) ประมาณร้อยละ 70 ของน้ำหนักต้นเมื่อนำไปคั้นสดได้น้ำตาลมีความเข้มข้น 83 กรัมต่อลิตร [4] การนำลำต้นปาล์มน้ำโคนทิ้งไปบ่มเป็นเวลา 30 วัน ส่งเสริมการย่อยสลายแป้งภายในลำต้นและส่งผลให้มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูงถึง 153 กรัมต่อลิตร น้ำคั้นลำต้นปาล์มประกอบด้วยน้ำตาล กลูโคส ซูโครส ฟรุกโตส และกาแลกโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลที่สามารถนำไปหมักด้วยยีสต์เพื่อผลิตเอทานอลได้ [5] นำน้ำคั้นลำต้นปาล์มน้ำมันสดมีความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 85.2 กรัมต่อลิตร ไปผลิตเอทานอลด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ได้เอทานอล 32 กรัมต่อลิตร [3] นำลำต้นปาล์มมาใช้ประโยชน์เพื่อผลิตพลังงานทดแทน โดยได้นำต้นปาล์มมาคั้นเอาน้ำไปผลิตเอทานอล ได้น้ำคั้นประมาณ 250 ลิตรต่อต้น และเหลือกากที่เป็นของแข็งประมาณ 1,400 กิโลกรัมต่อต้น คิดเป็นประมาณร้อยละ 90 ของมวลชีวภาพลำต้นคงเหลืออยู่ในรูปของแข็ง จากการศึกษาองค์ประกอบส่วนของแข็งจากลำต้นปาล์ม พบว่า มีปริมาณลิกนินร้อยละ 16.5 ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 41.0 และมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 34.0 [6] การย่อยวัสดุจำพวกลิกโนเซลลูโลส

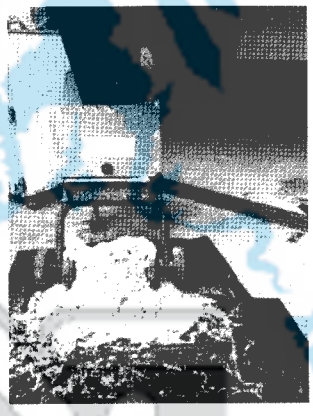
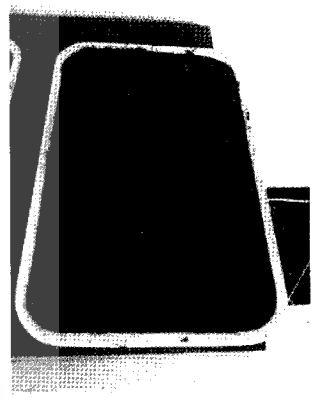
เป็นการสกัดเอาส่วนที่เป็นเฮมิเซลลูโลสในลำต้นปาล์มออกมาซึ่งจะได้ทั้งของเหลวไฮโดรไลเสต และของแข็งที่มีโครงสร้างเป็นลิกนินยึดติดกับเซลลูโลสซึ่งมีปริมาณมากถึงร้อยละ 60 งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพของแข็งเพื่อให้ได้ปริมาณเซลลูโลสจากลำต้นปาล์มน้ำมันที่มากที่สุดเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลต่อไป

วิธีการวิจัย

1. วิธีการดำเนินการวิจัย

1.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างลำต้นปาล์มน้ำมัน

ใช้ตัวอย่างลำต้นปาล์มน้ำมันที่มีอายุประมาณ 25 ปี เตรียมตัวอย่างลำต้นปาล์มโดยการตัดลำต้นปาล์มเป็นชิ้นเล็กๆหนาขนาด 10 เซนติเมตร จากนั้นนำไปตัดบดให้มีขนาด 2 มิลลิเมตรด้วยเครื่องบดขยะ นำไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วคั้นแยกน้ำคั้นออก(เก็บไว้ใช้ในขั้นตอนการหมักเอทานอล) และนำส่วนที่เป็นกากของแข็งไปอบที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำไปบดให้มีความละเอียดขนาด 0.5 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องบดลำต้นปาล์ม (Hammer mill) แล้วจึงเก็บใส่ถุงพลาสติกไม่ให้โดนความชื้นเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

1.2 วิธีการเตรียมตัวอย่างเซลลูโลสจากลำต้นปาล์มด้วยวิธีการทางเคมี

ใช้ตัวอย่างลำต้นปาล์มน้ำมันจากข้อ 1.1 มาศึกษาการย่อยเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลเพื่อให้ได้น้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด โดยศึกษาเปรียบเทียบกันระหว่าง การย่อยด้วยสารละลาย H_2SO_4 การย่อยด้วยสารละลาย NaOH และการย่อยด้วยสารละลาย NaOH+H_2O_2 การเตรียมด้วยสารละลาย H_2SO_4, NaOH และNaOH+H_2O_2 นำตัวอย่างลำต้นปาล์มที่ผ่านการบดมาปรับสภาพโดยการแช่ในสารละลายกรด 2% (v/v) H_2SO_4 , 2% (w/v) NaOH และ 2% (w/v) NaOH+H_2O_2 ในอัตราส่วนของลำต้นปาล์มต่อสารละลาย (w/v) 5% (5g:100mL), 10% (10g:100mL) และ 15% (15g:100mL) ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างเมื่อเวลาผ่านไป 0, 4, 8, 12, 16, 20 และ 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างไปกรองแยกส่วนที่เป็นกากของแข็งออกจากส่วนที่เป็นของเหลวแล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลส และวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

1.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยเซลลูโลสจากลำต้นปาล์มด้วยเอนไซม์

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยเซลลูโลสจากลำต้นปาล์มด้วยเอนไซม์ โดยมีการคัดเลือกเอาตัวอย่างปาล์มที่ผ่านการย่อยด้วยวิธีทางเคมี โดยเลือกตัวอย่างที่มีการย่อยดีที่สุดของแต่ละวิธีมาทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยเซลลูโลสโดยการใส่ตัวอย่าง 6 กรัม ในขวดรูปชมพู่ จากนั้นเติม 1 M Citrate buffer pH 4.8 5 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 88 มิลลิลิตร เติมเอนไซม์ 0.5 มิลลิลิตร β-glucosidase และ 0.5 มิลลิลิตร Cellulase ลงในตัวอย่าง แล้วนำไปเข้าเครื่องเขย่าโดยทำการบ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เขย่า 120 รอบ/นาที เพื่อให้ตัวอย่างผสมเข้าด้วยกัน และทำการเก็บตัวอย่าง ครั้งล่ะ 2 มิลลิลิตรทุกๆ 12 ชั่วโมงจนครบ 72 ชั่วโมง เริ่มเก็บที่เวลา 0, 12, 24, 36, 48, 60 และ 72 ชั่วโมงตามลำดับ จากนั้นนำตัวอย่างที่เก็บไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยวิธีของ Somogyi – Nelson

1.4 ศึกษาปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอล

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอล ซึ่งจะทำการศึกษาต่อจาก (ข้อ1.3) ดำเนินการโดยการเลี้ยงเชื้อ *Saccharomyces cercvisiae* ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ YM medium แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องหรือ 37 องศาเซลเซียส ทำการเขย่าในช่วงระหว่าง 120 รอบ/นาที เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง แล้วสังเกตความขุ่น จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร จากนั้นนำตัวอย่างจาก (ข้อ1.3) มาทำการเติมเชื้อยีสต์เริ่มต้นที่เตรียมไว้ 10 มิลลิลิตร ตามด้วย 1% Ycast extract 1 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเขย่า 150 รอบ/นาที เพื่อให้ตัวอย่างผสมเข้าด้วยกัน เก็บตัวอย่าง 2 มิลลิลิตรทุกๆ 24 ชั่วโมงจนครบ 72 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่เก็บไว้ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยวิธีของ Somogyi – Nelson ที่ค่าการดูดกลืนแสง 540 นาโนเมตรและวัดปริมาณเอทานอลด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตร ขั้นตอนนี้ทำการทดลองโดยแปรผันค่าความเข้มข้นของน้ำตาลกับปริมาณ เอทานอลที่เกิดขึ้น โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐาน เพื่อหาความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลายตัวอย่าง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการเตรียมด้วยวิธีทางเคมีต่อคุณภาพของเซลลูโลสจากลำต้นปาล์ม

จากการศึกษาการเตรียมเซลลูโลสจากลำต้นปาล์มด้วยวิธีทางเคมี พบว่าร้อยละของลำต้นปาล์มอบแห้ง 5 กรัม 10 กรัม และ15 กรัม ที่แช่ในสารละลาย 2% (v/v) H_2SO_4 มีการย่อยได้ดีสุดที่ชั่วโมงที่ 24 ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของน้ำตาลสูงเท่ากับ ลำต้นปาล์มอบแห้งที่แช่ในสารละลาย 2% (w/v) NaOH มีการย่อยได้ดีสุดที่ชั่วโมงที่ 24 ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของน้ำตาลสูงเท่ากับ และ ลำต้นปาล์มอบแห้งที่แช่ในสารละลาย 2% (w/v) NaOH+H_2O_2 มีการย่อยได้ดีสุดที่ชั่วโมงที่ 24 ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของน้ำตาลสูงเท่ากับ และ ในส่วนของผลได้ของลำต้นปาล์มในไฮโดรลิซิส และปริมาณร้อยละของลำต้นปาล์มที่ผ่านการพรีทรีตเมนท์ แสดงดังตารางที่1.1 และ 1.2

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการแช่ NaOH+H_2O_2 ให้ปริมาณน้ำตาลสูงกว่าการแช่ H_2SO_4 และ NaOH เนื่องจาก NaOH+H_2O_2 เกิดปฏิกิริยาที่รุนแรง สามารถย่อยเซลลูโลสได้ดี จึงส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำตาลที่สูง

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22 ปี 2555

ตารางที่ 1.1 ผลได้ของลำต้นปาล์มในไฮโดรไลเสต

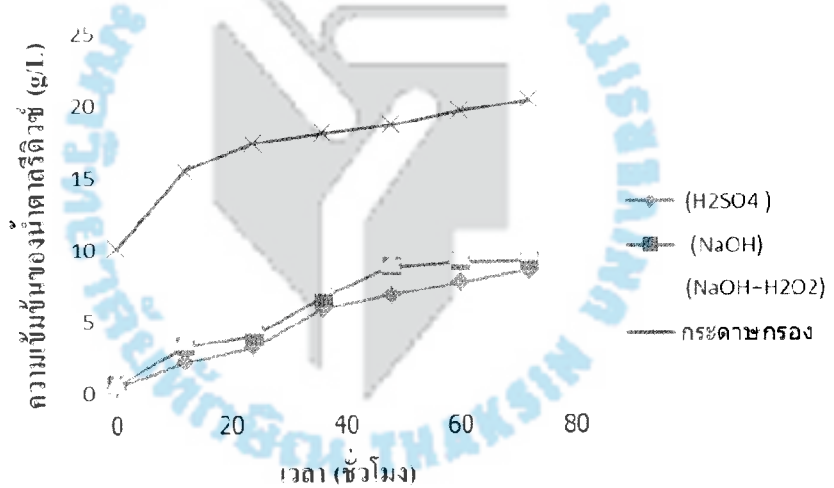
วิธีการ	ผลได้ของลำต้นปาล์ม (mg/g)		
	5 กรัม	10 กรัม	15 กรัม
2% (v/v) H_2SO_4	13.88	8.06	6.1
2% (w/v) **NaOH**	14.9	9.59	7.32
2% (w/v) NaOH+H_2O_2	17.67	12.57	9.89

ตารางที่ 1.2 ลำต้นปาล์มหลังจากการพรีทรีตเมนท์

วิธีการ	ลำต้นปาล์ม (ร้อยละ)		
	5 กรัม	10 กรัม	15 กรัม
2% (v/v) H_2SO_4	67.69	78.41	88.47
2% (w/v) **NaOH**	59.15	79.55	86.55
2% (w/v) NaOH+H_2O_2	59.7	75.96	82.68

ผลการย่อยเซลลูโลสด้วยเอนไซม์

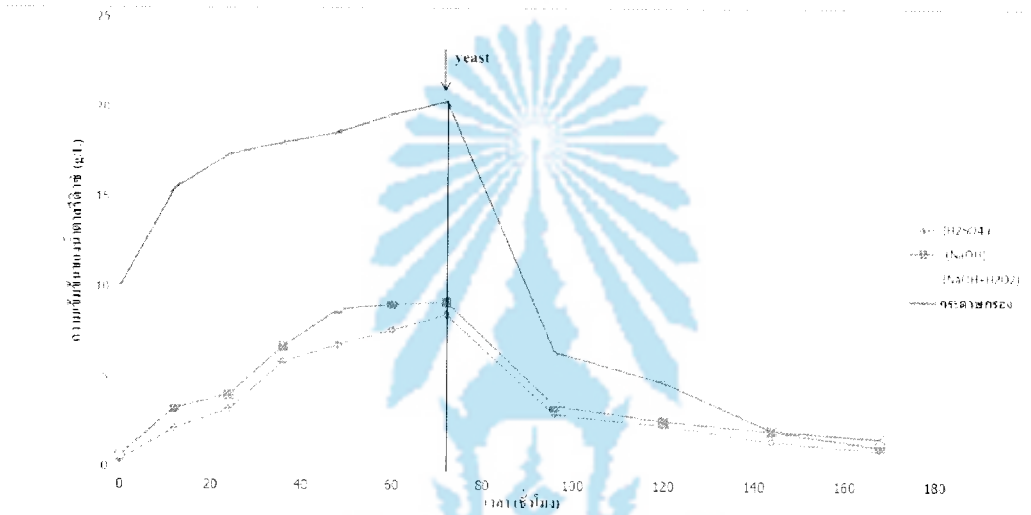
จากการศึกษาการย่อยเซลลูโลสด้วยเอนไซม์ซึ่งทดลองโดยเลือกตัวอย่างที่มีการย่อยดีที่สุดมาย่อยเป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าการย่อยเซลลูโลสด้วยเอนไซม์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วย2%(w/v)NaOH+H_2O_2 จะมีค่าความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุด รองลงมาคือ 2% (w/v) NaOH และ 2% (v/v) H_2SO_4 ตามลำดับ



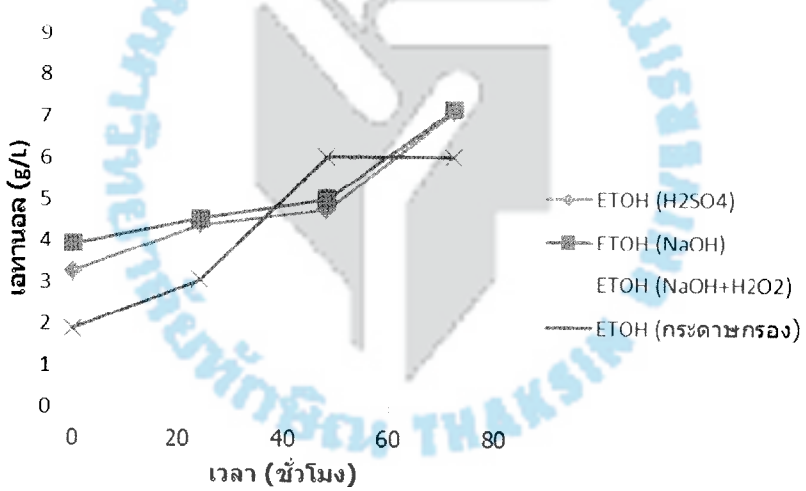
ภาพที่ 1.1 ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมดที่ย่อยด้วยเอนไซม์

ผลการผลิตเอทานอลด้วยวิธีการหมักแบบ Simultaneous saccharification and fermentation (SSF)

จากการศึกษาการผลิตเอทานอลโดยการใช้ยีสต์ด้วยวิธีการหมักแบบวิธีการหมักแบบ Simultaneous saccharification and fermentation (SSF) ทำการทดลองโดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 72 ชั่วโมง พบว่า ที่ชั่วโมงที่ 72 ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลจะลดลงจากชั่วโมงเริ่มต้น แต่สำหรับเอทานอลความเข้มข้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามระยะเวลาของการหมักจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการเติมยีสต์ลงไป ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลลดลง เนื่องจากถูกใช้ในการเจริญของยีสต์และผลิตเอทานอลจึงทำให้ปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 1.2 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของน้ำตาลก่อนและหลังการเติมเชื้อยีสต์



ภาพที่ 1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอทานอลและระยะเวลา

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22 ปี 2555

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากการศึกษาการผลิตเอทานอลจากลำต้นปาล์มที่การเตรียมทางเคมี ซึ่งใช้ลำต้นปาล์มอบแห้ง 5 กรัม 10 กรัม 15 กรัม แช่ในสารละลาย H_2SO สารละลาย NaOH และสารละลาย NaOH+H_2O_2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ร้อยละของลำต้นปาล์มอบแห้ง 5 กรัม 10 กรัม 15 กรัม ที่แช่ด้วย ร้อยละ 2 ของ H_2SO เท่ากับ 67.69 78.41 และ 88.47 ที่แช่ด้วย ร้อยละ 2 NaOH เท่ากับ 59.15,79.55และ 86.55 ที่แช่ด้วย ร้อยละ 2NaOH+H_2O_2 เท่ากับ 59.7 75.96 และ 82.68 ตามลำดับ ค่าผลได้ของของลำต้นปาล์มในการไฮโดรลิซิส ที่แช่ด้วย ร้อยละ 2 ของ H_2SO เท่ากับ 13.88, 8, 6.1 ที่แช่ด้วย ร้อยละ 2 ของ NaOH เท่ากับ 14.9 9.6 7.32 ที่แช่ด้วย ร้อยละ 2 ของ NaOH+H_2O_2 เท่ากับ 17.67, 12.57, 9.9 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

จากการศึกษาการย่อยเซลลูโลสด้วยเอนไซม์ ซึ่งใช้เอนไซม์ 2 ชนิด คือ Cellulase และ β-galatosidase ช่วยในการย่อยสลายเซลลูโลส โดยเลือกตัวอย่างที่การย่อยดีที่สุด มาย่อยด้วยเอนไซม์เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่า การย่อยเซลลูโลสด้วยเอนไซม์ที่ผ่านการแช่ด้วย ร้อยละ 2 ของ NaOH+H_2O_2 มีค่าความเข้มข้นของน้ำตาลมากที่สุด เท่ากับ 9.8 กรัมต่อลิตร รองลงมาคือ เซลลูโลสที่ผ่านการแช่ด้วย ร้อยละ 2 ของ NaOH เท่ากับ 9.2 กรัมต่อลิตร และ เซลลูโลสที่ผ่านการแช่ด้วย ร้อยละ 2 ของ H_2SO เท่ากับ 8.5 กรัมต่อลิตรตามลำดับ

จากการศึกษาการผลิตเอทานอลด้วยวิธี (SSF) โดยใช้ยีสต์ช่วยในกระบวนการหมัก ซึ่งทำการทดลองต่อจากการย่อยด้วยเอนไซม์ ระยะเวลาในการหมัก 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ความเข้มข้นของน้ำตาลลดลง โดยน้ำหมัก ด้วย ร้อยละ 2 ของ NaOH+H_2O_2 เท่ากับ 1.7 กรัมต่อลิตร น้ำหมัก ด้วย ร้อยละ 2 ของ NaOH เท่ากับ 1.2 กรัมต่อลิตร และน้ำหมักด้วย ร้อยละ 2 ของH_2SO เท่ากับ 1 กรัมต่อลิตร สำหรับเอทานอลมีค่าเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นเอทานอลสูงสุดได้จากน้ำหมักด้วย ร้อยละ 2 ของ NaOH+H_2O_2 เท่ากับ7.9 กรัมต่อลิตรรองลงมาคือ น้ำหมักด้วย ร้อยละ 2 ของ NaOH เท่ากับ 7.1 กรัมต่อลิตร และ น้ำหมักด้วย ร้อยละ 2 ของ H_2SO เท่ากับ 7 กรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นของน้ำตาลจะแปรผกผันกับปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักด้วยวิธี (SSF) เพราะยีสต์ใช้น้ำตาลในการเจริญและผลิตเอทานอล

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมี และภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2553). **ทิศทางปาล์มน้ำมันไทย** สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2554, จาก http://www.kchakaset.com/index.php?option=com_content&view=article&id=127:2011-03-02-12-48-15&catid=38:information

[2] Kee K.K. 2004. **Nutrient reserves and recycling from oil plam trunk at replanting**. In: Proceedings of the Fourth International Crop Science Congress on New Direction For a Diverse Plant, Brisbane, www.cropscience.org.au.

[3] สมพงศ์ โอทอง และอลิศรา เรืองแสง(2552). **การพัฒนากระบวนการผลิตพลังงานชีวภาพจากลำต้นปาล์มอย่างมีประสิทธิภาพ**.รายงานการวิจัยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.

[4] Yamada. H., *et al*, (2010).**"Old oil palm trunk: A promising source of sugars for bioethanol production".** biomass and bioenergy.34 :1608-1613.

[5] Kosugi, A., R. Tanaka, K. Magara, Y. Murata and T. Arai et al., 2010. Ethanol and lactic acid production using sap squeezed from old oil palm trunks felled for replanting. **J. Biosci. Bioeng.,** 110: 322-325

[6] Punsuvon V., Anpanurak W., Vaithanomsat P. and Tungkananuruk N.(2005). **Fraction of chemical Components of Oil palm Trunk by Steam Explosion.** 31st Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of Technology.18-20 October 2005