

การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังเพื่อพลังงานทดแทน Production of Ethanol from Cassava for Renewable Energy

สิทธิศักดิ์ อูปรวิงศ์¹, ปิยะเมธ ทองละมุน¹ และ สำรวย นางทะราช¹
¹ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002
โทร & โทรสาร 0-4336-2121 E-mail: sittisak@kku.ac.th

Sittisak Uparivong^{1,*}, Piyamet Thonglamoon¹ and Samrouy Nangtharaj¹

¹Department of Biotechnology, Faculty of Technology, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

Tel & Fax: 0-4336-2121 E-mail: sittisak@kku.ac.th

บทคัดย่อ

การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง เป็นโครงการที่มีเป้าหมายเพื่อศึกษากระบวนการแปรรูปชีวมวลของผลผลิตทางการเกษตรอย่างเช่น มันสำปะหลัง ให้เปลี่ยนเป็นพลังงานเชื้อเพลิงในรูปเอทานอล และเป็นพลังงานทดแทนในสภาวะวิกฤตด้านพลังงาน โดยทำการทดลองวิจัย ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างปี พ.ศ. 2545-2547 ใช้แป้งมันสำปะหลังจากโรงงานแป้งมันในจังหวัดขอนแก่นเป็นวัตถุดิบ กระบวนการผลิตเอทานอล มี 3 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบก่อนหมัก โดยใช้เอนไซม์ 2 ชนิด คือ α -amylase และ glucoamylase เพื่อย่อยแป้งมันสำปะหลังให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาล 2) ขั้นตอนการหมัก โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* เพื่อหมักน้ำตาลให้เปลี่ยนเป็นเอทานอล และ 3) ขั้นตอนการกลั่นเอทานอล โดยใช้หอกลั่นแบบกะของคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ผลการทดลองปรากฏว่า การหมักในถังหมักปริมาตร 20 ลิตร ได้เอทานอลสูงสุด 12.46% ที่ระยะเวลาหมัก 189 ชม. จำนวนจุลินทรีย์สูงสุด 2.09×10^8 ที่ระยะเวลาหมัก 9 วัน การหมักต่อเนื่องในถังหมักโดยวิธีการต่อเชื้อได้ผลเป็นที่น่าพอใจ การกลั่นโดยใช้หอกลั่นแบบกะได้เอทานอลบริสุทธิ์ 85.90-88.88% เพื่อนำไปเตรียมให้บริสุทธิ์ขึ้นสำหรับใช้เป็นส่วนผสมน้ำมันเบนซินผลิตเป็นก๊าซโซฮอลต่อไป

คำสำคัญ; มันสำปะหลัง/เอทานอล/ก๊าซโซฮอล/พลังงานทดแทน

Abstract

The aimed of the production of ethanol from cassava project was to investigate the biological process of agricultural product such as cassava in producing the fuel energy, ethanol, to be an alternative energy resource in the energy crisis situation. This research was located in Khon Kaen University, Thailand, during the fiscal year 2002-2004. Tapioca starch was provided from

* Corresponding author

starch factory in Khon Kaen province. There are three stages in the process: 1) Liquefaction and saccharification by using two enzymes, α -amylase and glucoamylase, 2) Ethanol fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*, and 3) Ethanol distillation by a batch distillation tower in Faculty of Technology, Khon Kaen University. Results showed that by fermenting in the 20-L fermentors for 189 hours retention time, the highest yield of ethanol was 12.46% and the highest biomass microorganism of 2.09×10^8 during 9 day. Continuous fermentation by the several steps in semi-batch fermentors gave satisfactory results. Ethanol product distillate of 85.90-88.88% was obtained by a batch distillation tower. Further, purification of ethanol is required for being used in blending with gasoline to produce gasohol.

Keywords; Cassava/ Ethanol/ Gasohol/ Renewable energy

1. บทนำ

โครงการผลิตเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์จากแป้งมันสำปะหลังนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตเอธิลแอลกอฮอล์จากแป้งมันสำปะหลังให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงและลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม สามารถแก้ไขปัญหาบรรเทาความเดือดร้อนของกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังได้เป็นอย่างดี โดยมีผลผลิตที่ได้จากโครงการ 2 แนวทาง คือ แนวทางแรก เป็นการผลิตเอทานอล โดยผ่านกระบวนการหมักแป้งมันสำปะหลังและการกลั่นเอธิลแอลกอฮอล์ หรือเอทานอล ซึ่งสามารถนำมาผสมน้ำมันเบนซินเป็นก๊าซโซฮอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์และเครื่องยนต์เบนซิน [2], [3], [4] แนวทางที่สอง เป็นการผลิตเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งโดยนำเอธิลแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้มาผสมกับกรดไขมันและต่าง เพื่อแปรรูปเป็นแอลกอฮอล์แข็ง เป็นวัสดุสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มหรืออุ่นอาหาร [1] การวิจัยนี้ เสนอเฉพาะการวิจัยและพัฒนาใช้เอทานอลที่กลั่นได้จากแนวทางแรกเท่านั้น เพื่อมุ่งเป้าหมายนำเอทานอลที่กลั่นได้ไปผสมน้ำมันเบนซินผลิตเป็นก๊าซโซฮอล เพื่อพลังงานทดแทน

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบและวัสดุอุปกรณ์

วัตถุดิบแป้งมันสำปะหลัง ใช้แป้งมันสำปะหลังจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น และใช้วิธีการเตรียมวัตถุดิบก่อนการหมัก ดังนี้ [5]

ขั้นตอนแรกกระบวนการ Liquefaction เป็นการเตรียมแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้วิธีการต้มเคี้ยวหน้าแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ตัวที่ 1 คือ α -amylase ปริมาณ 7-8% ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง เคี้ยวรักษาอุณหภูมิที่ 120-150°C. (โดยใช้หม้อเคี้ยวบนเตาไฟฟ้าแก๊ซ) แล้วลดอุณหภูมิให้คงที่ 95°C. เพื่อลดปริมาณแบคทีเรียในน้ำแป้งสูง ก่อนนำมาผ่านขั้นตอนที่สองกระบวนการ Saccharification โดยทำให้น้ำแป้งสุกเย็น ก่อนผสมเอนไซม์ตัวที่ 2 คือ gluco-enzyme เพื่อย่อยแป้งสุกให้เป็นน้ำตาลก่อนเข้าสู่กระบวนการหมัก

วิธีการเก็บข้อมูล สุ่มตัวอย่างผลผลิตน้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ทั้งสอง มาเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) ที่ผลิตได้และปริมาณแป้งที่เหลือ

2.2 ขั้นตอนกระบวนการหมักเอทานอล

ขั้นตอนกระบวนการหมักเอทานอล ใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* (สายพันธุ์ Sweden) ทำการหมักน้ำตาลให้เปลี่ยนเป็นเอทานอล ใช้ระยะเวลาการหมัก ประมาณ 48 ชม. ที่ pH 4-5 โดยทำการทดลองในถังหมัก ปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เครื่องควบคุมการหมัก (Biostat B) และทดลองหมักอย่างต่อเนื่องในถังหมัก (ถึงน้ำดื่มทั่วไป) ปริมาตร 20 ลิตร

วิธีการเก็บข้อมูล สุ่มตัวอย่างจากถังหมัก เพื่อตรวจหาปริมาณเซลล์ยีสต์ ปริมาณน้ำตาล และปริมาณเอทานอล ที่ระยะเวลาหมักต่าง ๆ กัน

2.3 ขั้นตอนการกลั่นเอทานอล

ขั้นตอนกระบวนการกลั่นเอทานอล เป็นการกลั่นน้ำหมักที่ได้จากขั้นตอนกระบวนการหมัก ซึ่งมีความเข้มข้นแอลกอฮอล์ประมาณ 10% ต้องทำการกลั่นเพื่อให้ได้เอทานอลหรือ เอทานอลสูงสุด (เป้าหมาย 95%) โดยใช้หอกลั่นแบบกะ (Batch distillation column) ในระดับห้องปฏิบัติการของคณะเทคโนโลยี มข.

วิธีการเก็บข้อมูล สุ่มตัวอย่างผลผลิตที่กลั่นได้จากเครื่องกลั่น เพื่อตรวจวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ พยายามทำการกลั่นหลายครั้งเพื่อให้ได้ปริมาณเอทานอลสูงสุด

2.4 ขั้นตอนและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

วิธีวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากแป้งมันสำปะหลัง

ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อนการหมัก ทำการวิเคราะห์ปริมาณแป้งและน้ำตาล ที่ได้จากการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ทั้งสอง วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer และ/หรือ โดยวิธี Phenol sulfuric acid ปริมาณความเข้มข้นแป้ง คำนวณจากผลต่างระหว่างปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) กับปริมาณกลูโคส

(glucose) วิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นกลูโคส โดยใช้เครื่อง HPLC (High pressure liquid chromatography)

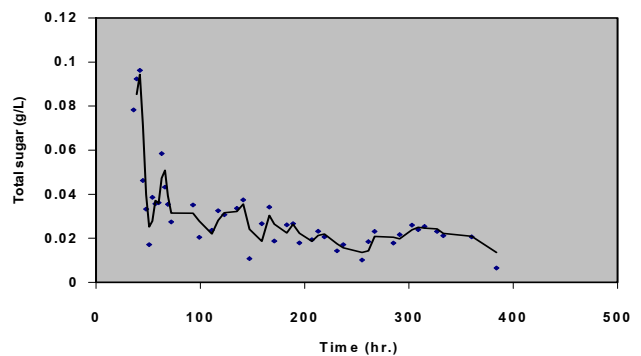
ขั้นตอนการหมัก ทำการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยวิธี Total Plate Count วิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นเซลล์ โดยวิธีการวัดน้ำหนักแห้ง โดยอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C. เวลา 24 ชั่วโมง และวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นเอทานอล โดยใช้เครื่อง GC (Gas Chromatography)

ขั้นตอนการกลั่น ทำการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลหรือเอทิลแอลกอฮอล์ ที่กลั่นได้ โดยใช้เครื่อง GC

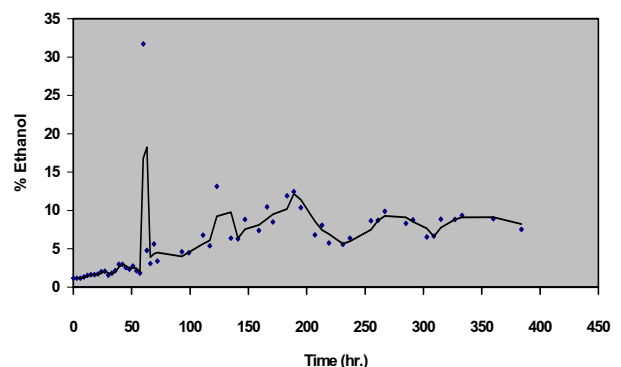
3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการทดลองขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบแป้งมันสำปะหลัง และกระบวนการหมักเอทานอล

การเตรียมวัตถุดิบแป้งมันสำปะหลัง เพื่อใช้ในขั้นตอนกระบวนการหมักเอทานอล โดยใช้เอนไซม์ย่อยแป้งมันสำปะหลังก่อนทำการหมักในเครื่องหมัก ปริมาตร 4-5 ลิตร และถังหมัก ปริมาตร 20 ลิตร โดยทำการหมักตามกรรมวิธีดังกล่าวข้างต้น และทำการวิเคราะห์ข้อมูลในระหว่างกระบวนการหมักในเครื่องหมัก ได้แก่ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณความเข้มข้นเอทานอล และน้ำหนักแห้ง ผลวิเคราะห์แสดงดังในรูปที่ 1, รูปที่ 2 และรูปที่ 3 ตามลำดับ

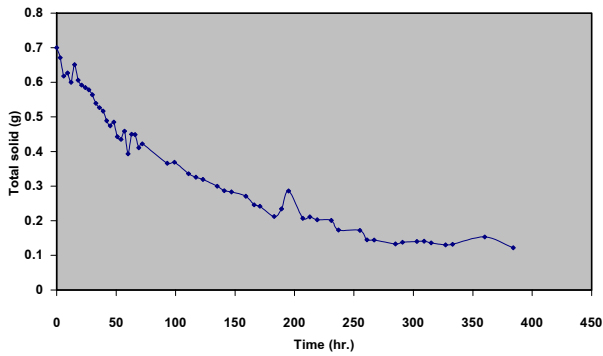


รูปที่ 1 แสดงผลวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar)



รูปที่ 2 แสดงผลวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล (Ethanol)

รูปที่ 3 แสดงผลวิเคราะห์น้ำหนักแห้ง (Total solid)



3.2 ผลการทดลองขั้นตอนการกลั่นเอทานอล

การกลั่นเอทานอลจากน้ำหมักที่ได้จากถึงหมัก ปริมาตร 20 ลิตร บรรจุปริมาตรน้ำหมัก 10 ลิตร ที่ระยะเวลาหมัก 45 วัน โดยใช้หมักแบบกะ ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์เอทานอลที่กลั่นได้ และผลวิเคราะห์ความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้ แสดงดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้

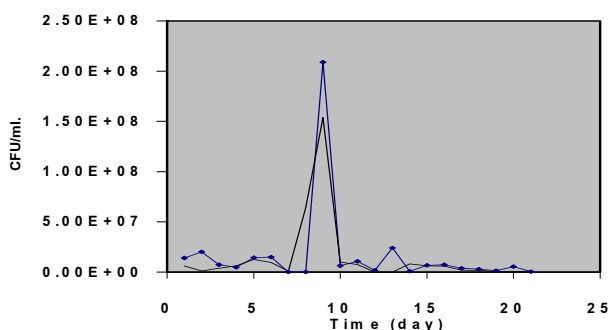
ตัวอย่างน้ำหมักจากถึงหมัก (ปริมาตรน้ำหมัก 10 ลิตร)	ปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้สูงสุด	
	ปริมาตรรวมที่กลั่นได้ (มล.)	% ความเข้มข้นเอทานอล
น้ำหมักถึงหมักที่ 1	837	85.90
น้ำหมักถึงหมักที่ 2	730	88.88

หมายเหตุ: %ความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้ วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง GC ค่าความเทียบเท่ากับเอทานอลบริสุทธิ์ 99.8% (Absolute GR for analysis)

3.3 ผลการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

ทำการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ในตัวอย่างน้ำหมักในถึงหมัก ปริมาตร 20 ลิตร บรรจุปริมาตรน้ำหมัก 15 ลิตร ระยะเวลาเก็บตัวอย่างรวม 21 วัน ผลตรวจวัดอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในถึงหมัก แสดงผลดังในรูปที่ 4

รูปที่ 4 แสดงอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในถึงหมัก

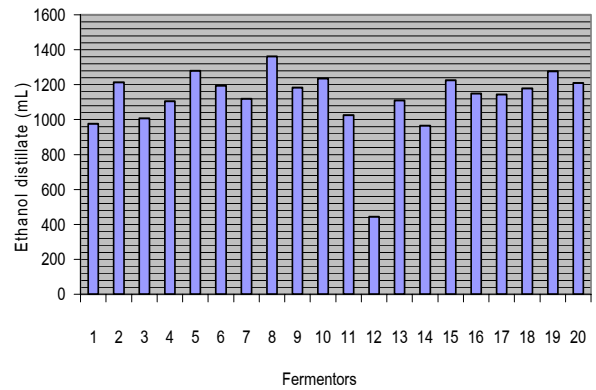


3.4 ผลการทดลองกระบวนการหมักเอทานอลแบบกึ่งต่อเนื่องโดยวิธีการต่อเชื้อ

หลังจากทำการเตรียมน้ำหมักโดยวิธีการย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ และทำการหมักต่อเนื่องแบบต่อเชื้อยีสต์ ในถึงหมัก

การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11-13 พฤษภาคม 2548 โรงแรมแอมบาสเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน จังหวัดชลบุรี

ปริมาตร 20 ลิตร ซึ่งบรรจุปริมาตรน้ำหมักและปริมาตรเชื้อยีสต์ที่เตรียมไว้รวม 18 ลิตร ใช้ถึงหมักต่อเนื่องรวม 12 ถึง ที่ระยะเวลาหมักต่าง ๆ กัน จากนั้น ทำการกลั่นเอทานอล จากน้ำหมักที่หมักได้จากถึงหมักแบบกะและถึงหมักแบบต่อเนื่อง จำนวนทั้งหมด 20 ถึง ที่ระยะเวลาหมักต่าง ๆ กันนั้น ผลการทดลองได้ปริมาณผลิตภัณฑ์เอทานอลที่กลั่นได้ โดยใช้เครื่องกลั่นแบบกะ แสดงดังในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้จากน้ำหมักในถึงหมัก

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพอสรุปผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

4.1 ขั้นตอนกระบวนการการเตรียมแป้งมันสำปะหลังก่อนการหมัก เป็นการเปลี่ยนแป้งมันสำปะหลังเป็นน้ำตาล ทำโดยวิธีการเคี้ยวแป้งสำปะหลังด้วยเอนไซม์ตัวที่ 1 คือ อัลฟาอะไมเลส ปริมาณ 7-8% ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง ที่อุณหภูมิ 120-150^oซ. แล้วลดอุณหภูมิให้คงที่ 95^oซ. จากนั้นทิ้งให้น้ำแป้งสุกเย็น ก่อนผสมเอนไซม์ตัวที่ 2 คือ กลูโคสอินไซม์ เพื่อย่อยแป้งสุกให้เป็นน้ำตาลก่อนเข้าสู่กระบวนการหมักเอทานอล (ข้อมูลปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) เริ่มต้นการหมัก ประมาณ 393.38 มก./ล.)

4.2 ขั้นตอนกระบวนการหมักเอทานอล เป็นกระบวนการหมักน้ำตาลที่ได้จากกระบวนการย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccaromyces cerevisiae* สำหรับการหมักน้ำตาลให้เป็นเอทานอล ใช้ระยะเวลาการหมัก ประมาณ 48 ชม. ที่ pH 4-5 ข้อมูลปริมาณเอทานอลสูงสุดที่ระยะเวลาหมัก 7-8 วัน ประมาณ 10.48-12.46%

4.3 ขั้นตอนการกลั่นเอทานอล เป็นกระบวนการกลั่นเอทานอลจากน้ำหมักที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักเอทานอล โดยใช้หมักแบบกะ (Batch distillation column) ซึ่งเป็นเครื่องกลั่นในระดับห้องปฏิบัติการของคณะเทคโนโลยี มข. ข้อมูลปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้สูงสุด ประมาณ 6.43-9.08% ของปริมาตรน้ำหมัก

4.4 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยวิธีใช้เครื่อง Spectrophotometer วัดปริมาณความเข้มข้นเอทานอล โดยวิธีใช้เครื่อง GC และตรวจวัดอัตราการเจริญเติบโตของจำนวนจุลินทรีย์ โดยวิธี Total plate count ข้อมูลปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เหลือหลังผ่านกระบวนการหมัก ที่ระยะเวลา 12 วัน ลดลงประมาณ 88.83% ของ

ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเริ่มต้น, ปริมาณน้ำหนักแห้ง (Total solid) ที่ระยะเวลาหมัก 384 ชั่วโมง ลดลงประมาณ 82.57% จากเริ่มต้น, อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สูงสุด ที่ระยะเวลาหมัก 9 วัน ประมาณ 1.54×10^8 ถึง 2.09×10^8 เซลล์ต่อซีซี และปริมาณความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้ ประมาณ 85.90-88.88% โดยใช้หอกลิ้นแบบกะซึ่งจะต้องทำให้เอทานอลบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นต่อไป เพื่อใช้เป็นส่วนผสมน้ำมันเบนซิน ผลิตเป็นพลังงานทดแทนก๊าซโซฮอล โดยใช้กระบวนการตัวอย่างเช่น Molecular sieve หรือ Membrane pervaporation เป็นต้น

5. เอกสารอ้างอิง

1. จตุพร นิลวรรณ, จุฬรัตน์ จำปรัตน์ และพิชัย นรชาญ. 2542. การผลิตเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง. โครงการพิเศษทางเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยขอนแก่น. 114 หน้า.
2. พูนศุข อุตตะสัมปณะ และคณะ. 2534. ความเป็นไปได้ของการผลิตและการใช้แอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 6(1) : 23-35.
3. วารสารนิทัศน์. 2532. สำปะหลังพลังงานแห่งอนาคต การผลิตแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นพลังงานในยานพาหนะ. วารสารนิทัศน์ 1(1) : 27-30.
4. วารสารวิจัยการอุตสาหกรรม. 2534. แอลกอฮอล์จากมันสำปะหลังแหล่งรองรับผลผลิตที่ควรสนใจ. วารสารวิจัยการอุตสาหกรรม. 2(54) : 55.
5. American Coalition for Ethanol. 2005. How is ethanol made. <http://www.ethanol.org/howethanol.html>.