การปรับสภาพฟางข้าวด้วยไอน้ำ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง เพื่อผลิตเอทานอล

Steam and Dilute Sodium Hydroxide Solution Pretreatment of Rice Straw for Ethanol Production

บุษกร คงสมอรรถ และ ศุภรินทร์ ไชยกลางเมือง*
ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Boodsakorn Kongsomart and Suparin Chaiklangmuang*
Department of Industrial Chemistry, Faculty of Science, Chiang Mai University
Muang, Chiang Mai 50200 Thailand Tel: 053-943 401 Fax: 053-892 262 E-mail: suparin@chiangmai.ac.th

บทคัดย่อ

สืบเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ในแต่ละปีจึงมีของเหลือจากการเกษตรเป็นจำนวนมาก ซึ่งฟางข้าวก็เป็นอีกชนิดหนึ่งที่เหลือเป็นปริมาณมาก ดังนั้นจึงมีการคิดค้นการเพิ่มมูลค่าให้กับฟางข้าว โดยการนำฟางข้าวมาผลิตเป็นเอทานอล กระบวนการเปลี่ยนฟางข้าวเป็นเอทานอล ประกอบด้วย 3 หน่วยหลักคือ กระบวนการปรับสภาพ กระบวนการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล และกระบวนการหมัก ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลและกระบวนการหมัก จะกระทำต่อเนื่องกัน เรียกว่า กระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง (Simultaneous Saccharification and Fermentation, SSF) โดยผู้วิจัยได้สนใจที่จะทำการศึกษาการปรับสภาพฟางข้าวด้วยไอน้ำ แล้วปรับสภาพต่อด้วยการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง ทั้งนี้การปรับสภาพฟางข้าวมีความสำคัญมากต่อการผลิตเอทานอลจากฟางข้าว เนื่องจากฟางข้าวมีองค์ประกอบของลิกนิน ซึ่งเป็นตัวขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ จึงต้องกำจัดลิกนินออกโดยใช้กระบวนการปรับสภาพ ก่อนนำฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพแล้วเข้าสู่กระบวนการหมักแบบต่อเนื่องต่อไป

คำสำคัญ : เอทานอล ฟางข้าว ลิกนิน กระบวนการปรับสภาพไอน้ำ

Abstract

Due to Thailand as an agricultural country, in every year, there are many agricultural wastes. Rice straw is one of those that are available in a large amount. Therefore, it should investigate to increase the rice straw valuation by converting to ethanol. Processing of rice straw to ethanol consists of three major unit operations: pretreatment, saccharification and fermentation processes. Saccharification and fermentation processes continue consecutively referred to as a Simultaneous Saccharification and Fermentation, SSF. This research will use steam for pretreatment and follow by dilute sodium hydroxide solution. The pretreatment of rice straw is important for ethanol production from rice straw since rice straw has lignin composition that inhibits the enzyme activity. Thus we should remove lignin composition from rice straw by pretreatment before further processing to the simultaneous saccharification and fermentation.

Key words : ethanol, rice straw, lignin, pretreatment process, steam

1. บทนำ

น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นปัญหาสำคัญของประเทศไทยมาช้านาน เนื่องจากแหล่งผลิตในประเทศมีไม่เพียงพอกับความต้องการที่สูงขึ้นตามความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ จึงต้องพึ่งพาการนำเข้าเป็นหลัก ประเทศไทยสูญเสียเงินตราต่างประเทศเพื่อนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงกว่าแสนล้านบาท นอกจากนี้ราคาน้ำมันมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ มีการประมาณการเมื่อรวมปริมาณน้ำมันจากแหล่งผลิตใหญ่ๆ ของโลกเราจะมีน้ำมันสำรองใช้ได้อีก 40 ปี หากใช้ในอัตราปัจจุบัน การคิดค้นแหล่งพลังงานทดแทนใหม่ๆ จึงเป็นสิ่งสำคัญ และที่มีความตื่นตัวกันมากในขณะนี้ คือ “เอทานอล” เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการหมักพืชและเศษซากพืช ได้แก่ อ้อยน้ำตาล กากน้ำตาล กากอ้อย

บีทรูท (หัวผักกาดหวาน) แป้งมันสำปะหลัง มันเทศ และธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าวโพด ข้าว ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และข้าวฟ่าง เพื่อเปลี่ยนแป้งจากพืชให้เป็นน้ำตาลแล้วเปลี่ยนจากน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์อีกครั้ง แอลกอฮอล์ที่ทำให้บริสุทธิ์ร้อยละ 95 จะเรียกว่า เอทานอล [1]

ชีวมวล (Biomass) คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ โดยที่ชีวมวลนั้นประกอบด้วยธาตุหลักๆ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน รวมทั้งมีปริมาณของไนโตรเจนและธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อย ชีวมวลนั้นมีอยู่มากมายทั้งที่ได้จากสิ่งมีชีวิต (ยกเว้นที่ได้กลายเป็นเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และแก๊สธรรมชาติไปแล้ว) และยังรวมไปถึงสิ่งต่างๆ ที่มีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก

เทคโนโลยีที่ใช้ในการแปรรูปชีวมวลที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน เพื่อปรับปรุงคุณภาพให้มีคุณค่ามากขึ้นกว่าเดิมนั้นสามารถจำแนกได้ 2 เทคโนโลยีหลักๆ คือ กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีชีวเคมี (Biochemical Conversion Process) และ กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้พลังงานความร้อน (Thermochemical Conversion Process) ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบโดยใช้วิธีชีวเคมี ประกอบด้วยการหมักแบะการย่อย (Digest) ซึ่งเป็นวิธีที่เกิดปฏิกิริยาที่ไม่รุนแรง และสามารถผลิตพลังงานทางเลือกได้ เช่น เอทานอล เมทานอล เป็นต้น [2]

ฟางข้าว เป็นวัสดุเหลือใช้จากการทำนา มีเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะการทำนาอย่างต่อเนื่อง มากกว่า 1 ครั้ง ต่อปี ชาวนาบางส่วนเผาฟางข้าวหลังจากนวดข้าวแล้ว แต่ก็มีชาวนาบางส่วนไม่ได้เผาฟางทิ้ง โดยนำฟางข้าวที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวไปใช้ประโยชน์หลาย ๆ ประการ [3]

กากชีวมวลที่เป็นเซลลูโลสเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเอทานอลที่น่าสนใจมาก เนื่องจากสารจำพวก lignocelluloses นี้มีมาก หาได้ง่าย มีราคาถูก นอกจากนั้น ยังเป็นกากหรือวัสดุเหลือใช้ในการเกษตร การใช้กากชีวมวลประเภทนี้ทำให้สามารถเก็บแป้งหรือน้ำตาลไว้เป็นอาหารและนำส่วนที่เหลือทิ้งมาใช้เป็นพลังงาน โครงสร้างของกากชีวมวลที่เป็น lignocelluloses ที่นำมาใช้ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสารหลัก 3 ชนิด คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในวัสดุชีวมวลแต่ละประเภทจะมีสัดส่วนของสารเหล่านี้ที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และสภาวะที่พืชเติบโต เช่น ภูมิอากาศ ความอุดมสมบูรณ์ เป็นต้น โดยทั่วไปกระบวนการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสมีลักษณะคล้ายกับการใช้วัตถุดิบประเภทแป้ง แต่มีขั้นตอนการปรับสภาพวัตถุดิบเพิ่มเติมขึ้นมา เพื่อให้สามารถย่อยเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลให้ง่ายยิ่งขึ้น

กระบวนการปรับสภาพเชิงกล เป็นการใช้แรงกลหรือกระบวนการทางกายภาพเพื่อทำความสะอาดปรับขนาดและทำลายโครงสร้างเซลล์ของวัตถุดิบเพื่อให้ปฏิกิริยาทางเคมีหรือชีวเคมีในขั้นต่อไปเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง การปรับสภาพทางเคมีโดยมากใช้กรดอ่อนพวกกรดเกลือหรือกรดไนตริกเจือจางกระบวนการที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือการใช้กรดกำมะถันเจือจาง ข้อเสียของกระบวนการนี้คือการใช้อุณหภูมิที่สูงจะทำให้เกิดสารข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์และเป็นพิษต่อกระบวนการหมักในขั้นตอนต่อไป การปรับสภาพสามารถทำได้ด้วยด่างเช่นกัน เชื่อกันว่าด่างจะทำให้เกิดปฏิกิริยาสบู่ (Saponification) ของพันธะเอสเตอร์ระหว่างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสกับสารอื่น เช่น ลิกนิน มีรายงานว่ารูพรุนของวัสดุลิกโนเซลลูโลสเพิ่มขึ้น การปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางทำให้วัสดุเกิดการพองตัวส่งผลให้พื้นที่ผิวภายในเพิ่มขึ้น [4]

งานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาการปรับสภาพด้วยวิธีเชิงกลและวิธีทางเคมีร่วมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการปรับสภาพฟางข้าว โดยการใช้ไอน้ำร่วมกับสารเคมี

2. การทดลอง

2.1 วัตถุดิบ

งานวิจัยนี้ใช้ฟางข้าวของข้าวหอม พันธุ์ปทุมธานี 1 จากจังหวัดเชียงใหม่ โดยนำฟางข้าวมาบดและคัดขนาด ขนาดที่ใช้อยู่ในช่วง 250 ไมโครเมตร ถึง 420 ไมโครเมตร นำฟางข้าวที่คัดขนาดแล้วมาอบที่ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นเก็บฟางข้าวไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการทดลอง ซึ่งฟางข้าวมีองค์ประกอบทางเคมี ดังตาราง 1

2.2 การปรับสภาพฟางข้าว

นำฟางข้าวที่คัดขนาดแล้วแช่ในน้ำโดยใช้อัตราส่วนโดยมวล ฟางข้าวต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1 ต่อ 10 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองและล้างฟางข้าวด้วยน้ำกลั่น

จากนั้นนำฟางข้าวมาปรับสภาพด้วยไอน้ำที่ ความดัน 1.16 บาร์ อุณหภูมิ 123 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2, 4, 8 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำกลั่นเท่าเดิม

ปรับสภาพฟางข้าวต่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2.3 เครื่องมือ และวิธีการวิเคราะห์

Technical Association of the Pulp and Paper Industry ใช้ในการวิเคราะห์เซลลูโลส [5] เฮมิเซลลูโลส [6] และลิกนิน [7]

Scanning Electron Microscope (JEM-2010, Jeol) ใช้ในการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของฟางข้าว

3. ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของฟางข้าว

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของฟางข้าว

การวิเคราะห์	องค์ประกอบ	ผลการวิเคราะห์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
แบบประมาณ	ความชื้น	9.26
	สารระเหยได้	74.59
	เถ้า	8.91
	คาร์บอนคงตัว	7.24
แบบแยกธาตุ	คาร์บอน	40.18
	ไฮโดรเจน	6.37
	ไนโตรเจน	1.16

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของฟางข้าว (ต่อ)

การวิเคราะห์	องค์ประกอบ	ผลการวิเคราะห์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
แบบแยกธาตุ	ออกซิเจน (ผลต่าง)	52.29
	ซัลเฟอร์	0.32
ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)		3,929.56

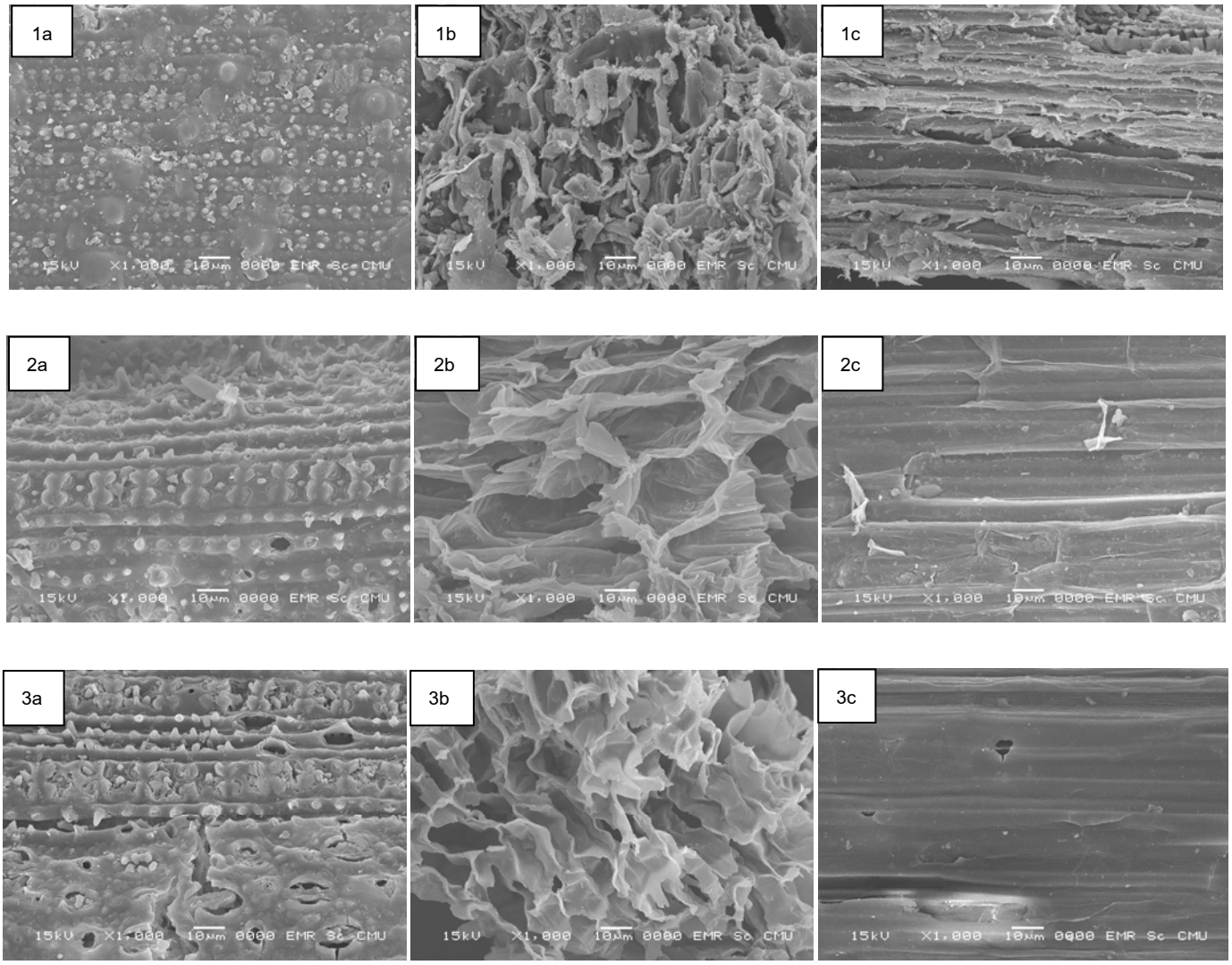
3.2 การปรับสภาพด้วยไอน้ำ

ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวก่อนและหลังปรับสภาพด้วยไอน้ำ ดังตาราง 2 พบว่า ปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้นหลังทำการปรับสภาพด้วยไอน้ำทั้ง 2 สภาวะ ทำให้ทราบว่าปริมาณลิกนินที่วิเคราะห์ได้ ประกอบด้วยส่วนที่มีโครงสร้างคล้ายลิกนิน (lignin-like structures) หรือ ลิกนินเทียม (pseudo-lignin) ซึ่งเกิดจากการควบแน่นซ้ำระหว่างการปรับสภาพด้วยไอน้ำ ของน้ำตาลหรือน้ำตาลที่เสื่อมสภาพ และสารแทรกตัวอื่นๆ (extractives) [8,9]

ตารางที่ 2 ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ของฟางข้าวก่อนและหลังปรับสภาพด้วยไอน้ำ

สภาวะ	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)
ก่อนปรับสภาพ	54.47	24.65	20.88
หลังปรับสภาพด้วยไอน้ำ 2 ชั่วโมง	51.66	24.88	23.46
หลังปรับสภาพด้วยไอน้ำ 4 ชั่วโมง	54.22	23.69	22.08

หลังจากพบว่าปริมาณของลิกนินเพิ่มขึ้นหลังทำการปรับสภาพด้วยไอน้ำเป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของฟางข้าว โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ภาพสัณฐานวิทยาของฟางข้าวทั้งก่อนและหลังปรับสภาพด้วยไอน้ำ แสดงดังรูป 1, 2 และ 3



รูปที่ 1. สัณฐานวิทยาของฟางข้าวโดยเทคนิค SEM; 1a, 2a, 3a ภาพพื้นผิว 1b, 2b, 3b ภาพตามแนวขวาง 1c, 2c, 3c ภาพตามแนวยาว

จากรูป 1a, 2a และ 3a คือ ลักษณะผิวของฟางข้าวก่อนทำการปรับสภาพ หลังปรับสภาพด้วยไอน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ จะเห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่น่าสนใจเกิดขึ้น ซึ่งก่อนการปรับสภาพ (รูป 1a) พื้นผิวมีความละเอียดและเรียงตัวกันแน่น เมื่อปรับสภาพแล้ว เส้นใยเกิดการผิดรูป นอกจากนั้น เส้นใยยังเกิดการแบ่งแยกและเปิดตัวออกจากโครงสร้าง จึงเป็นการเพิ่มพื้นผิวภายนอกและความเป็นรูพรุนให้กับฟางข้าว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้มากขึ้นในการปรับสภาพ

จากรูป 1b, 2b และ 3b คือ ภาพตามแนวขวาง 1b คือรูปของฟางข้าวก่อนทำการปรับสภาพ จะเห็นว่าเนื้อเยื้อบริเวณผิวมีการจัดเรียงตัวกันแน่น เมื่อทำการปรับสภาพด้วยไอน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง (รูป 2b) เนื้อเยื่อเริ่มมีการพองตัวมากขึ้น และเมื่อทำการปรับสภาพด้วยไอน้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมง (รูป 3b) จะเห็นว่าเนื้อเยื่อบางส่วนเกิดการพองตัวและแตกออกจากกัน

จากรูป 1c, 2c และ 3c คือรูปตามแนวยาวของฟางข้าว รูป 1c คือฟางข้าวก่อนปรับสภาพ จะเห็นว่าพื้นผิวตามแนวยาวมีความขรุขระมาก เมื่อทำการปรับสภาพด้วยไอน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ดังรูป 2c จะเห็นว่า พื้นผิวมีความเรียบมากขึ้น แต่ยังคงเหลือพื้นผิวที่ขรุขระอยู่ และจากการปรับสภาพด้วยไอน้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ดังรูป 3c พื้นผิวมีความเรียบมากที่สุด [10]

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในส่วนนี้พบว่า การปรับสภาพด้วยไอน้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีความเหมาะสมที่สุดในการนำฟางข้าวไปผลิตเอทานอล

แต่ในวิจัยนี้ยังต้องทำการทดลองเพิ่มเติม โดยนำฟางข้าวมาปรับสภาพด้วยไอน้ำเป็นเวลา 8 ชั่วโมง และนำฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยไอน้ำ มาปรับสภาพต่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง แล้วจึงคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. “บทบาทด้านพลังงาน.” 2551. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://210.246.186.28/power_oil/WebSugarcaneNew/Energy/Produce_Ethanol/Main.htm (20 พฤศจิกายน 2551)
2. “การใช้พลังงานจากชีวมวล.” 2551. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา www.eng.mut.ac.th/upload_file/article/148.doc (20 พฤศจิกายน 2551)
3. “สารส่งเสริมการเกษตร.” 2551. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.ayutthaya.doae.go.th/phachi/sheet%20presentation/not%20fang_sep.doc (23 พฤศจิกายน 2551)
4. “โครงการประเมินเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากผลผลิตทางการเกษตร.” 2551. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.eng.su.ac.th/me/eLeanning/renewableenergy/Ethanol-Tech-Final-Revised-1.pdf (23 พฤศจิกายน 2551)
5. TAPPI T203 om – 88. 1992. Alpha, beta, and grama cellulose in pulp.
6. TAPPI T264 om – 88. 1988. Preparation of wood for chemical analysis.13] TAPPI T223 cm – 84. 1988. Pentosans in wood and pulp.
7. TAPPI T222 om – 88. 1988. Acid – insoluble lignin in wood and pulp.
8. Quang, A. N., Melvin, P. T., Fred, A. K., Delicia, A. B., Kelvin M. C. and Fannie, P. E., “Dilute Acid Hydrolysis of Softwood”, Applied Biochemistry and Biotechnology, Vol. 77-79, pp. 133-142, 1999
9. Cara, C., Moya, M., Ballesteros, I., Negro, J. M., Gonzalez, A. and Ruiz, E., “Influence of solid loading on enzymatic hydrolysis of steam exploded or liquid hot water pretreated olive tree biomass”, Process Biochemistry, pp. 1003-1009,2007