

**การเพิ่มผลผลิตน้ำตาลจากชานอ้อยโดยการย่อยสลายด้วย
การระเบิดด้วยไอน้ำร่วมกับกรดอะซิติก**

**ENHANCING SUGAR PRODUCTION FROM BAGASSE BY STEAM EXPLOSION
WITH ACETIC ACID DIGESTION**

พรวิภา ทองมิตร¹ วรวุฒิ จุฬาลักษณ์านุกุล² และ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์¹

Pornvipa Thongmitr¹, Warawut Chulalaksananukul² and Orathai Chavalparit¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มผลผลิตน้ำตาลจากชานอ้อยด้วยการย่อยสลายโดยการระเบิดด้วยไอน้ำร่วมกับกรดอะซิติก ก่อนนำมาทำการหมักเพื่อผลิตเอทานอล โดยนำชานอ้อยมาทำการระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 120 และ 180 องศาเซลเซียส ร่วมกับกรดอะซิติกที่ความเข้มข้น 6 ค่าตั้งแต่ร้อยละ 0 – 5 (กรัม/ปริมาตร) เป็นเวลาตั้งแต่ 5 – 40 นาที จากผลการทดลองพบว่าการย่อยสลายที่เหมาะสมคือ การระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ร่วมกับกรดอะซิติกที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 (กรัม/ปริมาตร) เป็นเวลา 5 นาที สามารถผลิตน้ำตาลรวมได้สูงเท่ากับ 16.91 กรัม/ลิตร โดยผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาล 4 ประเภท คือ ไชโลส ฟรุกโทส กลูโคส และซูโครสด้วยเครื่อง HPLC พบว่าการระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 120 และ 180 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณน้ำตาลที่แตกต่างกันโดยที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสสูงสุดและที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณน้ำตาลไชโลสได้สูงสุด

ABSTRACT

This study aimed to enhance sugar production from bagasse by steam explosion with acetic acid digestion before fermentation to ethanol. This study varied the temperature of steam explosion condition at 120 and 180 °C and varied concentration of acetic acid at 6 levels from 0 to 5% (g/V). The reaction time of digestion was also varied from 5 to 40 minutes. After digestion, bagasse was filtered through GF/C filter paper to remove solids fraction from the solution. Then the filtrate was analyzed for 4 types of sugar such as : xylose fructose glucose and sucrose with HPLC. The results showed that the optimum condition for digestion was steam explosion at 180 °C with acetic acid at concentration of 4% g/V, respectively with reaction time of 5 minutes. The maximum total sugar yield could be achieved at concentration of 16.91 g/l, respectively. It was observed that maximum sugar obtained from pretreatment with the steam explosion at 120 and 180 °C was different. The steam explosion of bagasse at 120 °C obtained a maximum concentration of glucose while steam explosion at 180 °C obtained a maximum concentration of xylose.

Key Words : bagasse, steam explosion, acetic acid digestion

¹ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

¹ Department of Environmental, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, 10330

² ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

² Department of Botany, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, 10330

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการทำการเกษตรเป็นหลัก จึงมีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือกากของเสียจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเกษตร ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้เพราะในขั้นตอนของการเจริญเติบโตพืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ออกมาเป็นแป้งและน้ำตาล แล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลักที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนเช่นชานอ้อย จะมีองค์ประกอบของเซลลูโลสสูงสามารถใช้เป็นแหล่งน้ำตาลที่มีศักยภาพ เนื่องจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสามารถถูกย่อยสลายไปเป็นน้ำตาลกลูโคสและไซโทส เพื่อใช้ในการผลิตเอทานอลได้ (ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้าแห่งประเทศไทย, 2550)

ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบ(Pretreatment) การย่อยสลาย(hydrolysis) และการหมัก(Fermentation)ซึ่งการเตรียมวัตถุดิบเป็นขั้นตอนการทำลายโครงสร้างที่แข็งแรงของเซลลูโลส เพื่อให้เอนไซม์เซลลูเลสสามารถเข้าถึงและย่อยเซลลูโลสได้ง่ายขึ้น การเตรียมวัตถุดิบทำได้ทั้งวิธีทางเคมี เช่นการย่อยด้วยกรดหรือด้วยด่าง รวมถึงวิธีทางกายภาพ ได้แก่ การระเบิดด้วยไอน้ำ เป็นต้นการย่อยสลาย มี 2 วิธี คือ การใช้กรดหรือการใช้เอนไซม์ วัตถุประสงค์เพื่อช่วยเพิ่มความพรุนของเนื้อวัสดุ ลดปริมาณเฮมิเซลลูโลสและลิกนินในเนื้อวัสดุการย่อยด้วยกรดมี 2 ช่วง ช่วงแรกเป็นการย่อยเฮมิเซลลูโลสเพื่อให้ได้น้ำตาลเพนโทส จากนั้นช่วงที่สองเป็นการย่อยเซลลูโลสให้น้ำตาลกลูโคสส่วนการย่อยด้วยเอนไซม์จะใช้เอนไซม์เซลลูเลสเพื่อเปลี่ยนเซลลูโลสไปเป็นน้ำตาลกลูโคสที่เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เล็กที่สุด ซึ่งการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสไปเป็นเอทานอลนั้นสามารถทำได้โดยใช้วิธีการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์จำพวกยีสต์หรือแบคทีเรีย(นคร, 2553) ดังนั้นขั้นตอนการเปลี่ยนเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นน้ำตาลจึงมีความสำคัญ เนื่องจากปริมาณน้ำตาลที่สูงจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เอทานอลสูงด้วย

การย่อยสลายโดยทั่วไปมี 4 วิธีหลัก คือวิธีการทางกายภาพ เคมีกายภาพ เคมี และชีวภาพ(Cheng *et al.*, 2008) ศึกษาการย่อยสลายชานอ้อยด้วยกรดซัลฟิวริก 1.25 นน./นน. ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมงได้น้ำตาล 59.1 กรัม/ลิตร แล้วทำการล้างพิษที่เกิดขึ้นด้วย Electrodialysis ก่อนนำสารละลายที่ได้มาผลิตเอทานอล (Carrasco *et al.*, 2010) ศึกษาการย่อยสลายชานอ้อยด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ร้อยละ 2 และความร้อน 190 องศาเซลเซียส ร่วมกับเอนไซม์ Celluclast 1.5L 65FPU/กรัม และ Novozym 188 376IU/กรัมกลูโคซิเดส ที่พีเอช 5 ก่อนการหมักด้วย *S.Cerevisiae*และ *P. stipites* เพื่อผลิตเอทานอล

ปัญหาของการย่อยสลายด้วยวิธีทางเคมีและการใช้เอนไซม์คือ ภายหลังจากการย่อยสลายแล้วอาจต้องมีการกำจัดสารพิษที่จะมีผลต่อเชื้อจุลินทรีย์ในการหมัก และเอนไซม์มีราคาแพงมากทำให้ต้นทุนในการผลิตเอทานอลสูงมากด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างชานอ้อย จากอุตสาหกรรมแปรรูปอ้อยเป็นน้ำตาล โดยนำมาปรับสภาพเบื้องต้นด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำร่วมกับกรดอะซิติกเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำตาลจากเซลลูโลสให้ได้ปริมาณสูงสุด

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมขาน้อย

ตัวอย่างขาน้อยนำมาจากโรงงานผลิตน้ำตาลทรายในจังหวัดราชบุรี ขาน้อยซึ่งเป็นของเสียจากการหีบข้อยของโรงงานถูกนำมาล้าง ตากให้แห้ง แล้วอบที่ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด จากนั้นทำการคัดขนาดโดยการนำมาร่อนผ่านตะแกรงคัดขนาดที่ขนาด 0.25 มิลลิเมตร แล้วจึงนำขาน้อยที่ได้ไปใช้ในการทดลองต่อไป

องค์ประกอบของขาน้อย

ตัวอย่างขาน้อยจากโรงงานจะถูกนำมาทำให้แห้ง บดละเอียด และคัดขนาดเล็กกว่า 0.25 มิลลิเมตร และวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบมวลชีวภาพต่างๆ ได้แก่ ปริมาณ neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) หรือเฮมิเซลลูโลส, permanganate lignin (PML) หรือลิกนิน และเฆาเถ้าหรือเซลลูโลส ตามวิธีของ Goering and Van Soest(1970) และพบว่าขาน้อยมีปริมาณของเซลลูโลสร้อยละ 46.23 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 23.65 และลิกนินร้อยละ 12.46 (Table 1)

Table 1 Element of biomass

biomass	Element of biomass (% by weight)		
	Cellulose	Hemicellulose	lignin
bagasse	46.23	23.65	12.46

การทดสอบผลของอุณหภูมิ ความเข้มข้นของกรดอะซิติก และระยะเวลาที่ใช้ในการระเบิดด้วยไอน้ำ

ศึกษาผลของอุณหภูมิ ความเข้มข้นของกรดอะซิติก และระยะเวลาที่ใช้ในการระเบิดด้วยไอน้ำ ที่มีต่อชนิดและปริมาณน้ำตาล และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยนำขาน้อยที่ผ่านการเตรียมเบื้องต้นแล้วมาทำการย่อยสลายด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 120 และ 180 องศาเซลเซียส ร่วมกับกรดอะซิติกที่มีความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 (กรัม/ปริมาตร) เป็นเวลา 5, 10, 20, 30 และ 40 นาที ขาน้อยหลังจากย่อยสลายแล้ว จะถูกนำมาทำการกรองแยกส่วนของสารละลายและขาน้อยที่ได้ แล้วนำสารละลายที่ได้มาตรวจสอบชนิดและปริมาณน้ำตาล 4 ชนิด คือ ไซโลส ฟรุคโทส กลูโคส และซูโครส ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) จาก Shimadzu, Japan รุ่น ELSD-LTII

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์และวิธีการวิเคราะห์

เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยใช้วิธีของ Goering and Van Soest(1970)

ชนิดและปริมาณน้ำตาลด้วย HPLC จาก Shimadzu, Japan รุ่น ELSD-LTII

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยใช้วิธีของ Mandel and Sernbery (1976)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลของอุณหภูมิและความเข้มข้นของกรดอะซิติกต่อปริมาณน้ำตาลที่ได้ด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำ

จากการศึกษาผลการย่อยสลายชานอ้อยด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ร่วมกับกรดอะซิติกที่ความเข้มข้นของกรดอะซิติก 6 ค่า ตั้งแต่ร้อยละ 0 – 5 (กรัม/ปริมาตร) ที่เวลา 5 นาที พบว่าสารละลายชานอ้อยหลังการย่อยสลายมีปริมาณน้ำตาลรวมเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดอะซิติก โดยที่ความเข้มข้นของกรดอะซิติกร้อยละ 5 จะได้ปริมาณน้ำตาลรวมสูงสุดเท่ากับ 4.21 กรัม/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับผลการระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเพียงอย่างเดียวพบว่าการใช้กรดอะซิติกร้อยละ 5 จะช่วยเพิ่มปริมาณน้ำตาลรวมสูงขึ้น 0.86 กรัม/ลิตร (ร้อยละ 25.86) (Figure 1) จากผลการจำแนกชนิดและปริมาณน้ำตาลในสารละลายที่ได้จากการย่อยสลายพบว่าสามารถตรวจพบน้ำตาลได้ 3 ชนิด คือ ฟรุกโทส กลูโคส และซูโครส โดยเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของกรดอะซิติกจากร้อยละ 0 กรัม/ปริมาตร เป็นร้อยละ 5 (กรัม/ปริมาตร) จะได้ปริมาณน้ำตาลฟรุกโทสและกลูโคสเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาผลการย่อยสลายชานอ้อยด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำพบว่าสารละลายชานอ้อยหลังการย่อยสลายมีปริมาณน้ำตาลรวมเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยความเข้มข้นของกรดอะซิติกร้อยละ 4 จะได้ปริมาณน้ำตาลรวมสูงสุดเท่ากับ 16.91 กรัม/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับผลการระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสเพียงอย่างเดียวพบว่าการใช้กรดอะซิติกร้อยละ 4 จะช่วยเพิ่มปริมาณน้ำตาลรวมสูงขึ้น 12.89 กรัม/ลิตร (ร้อยละ 320.79) (Figure 2) นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำตาลที่ได้จากการย่อยสลายชานอ้อยด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ร่วมกับกรดอะซิติกมี 3 ชนิด คือ ไฮโลส ฟรุกโทสและกลูโคส โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดอะซิติกจากร้อยละ 0 กรัม/ปริมาตร เป็นร้อยละ 5 (กรัม/ปริมาตร) จะได้ปริมาณน้ำตาลไฮโลสเพิ่มขึ้น

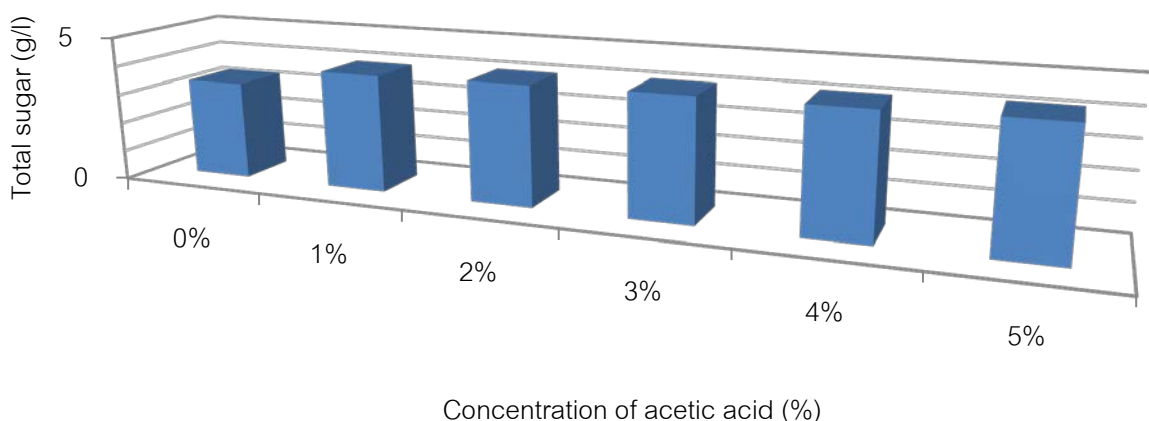


Figure 1 Total sugar from bagasse digestion by steam explosion at 120 Celsius, 5 minutes

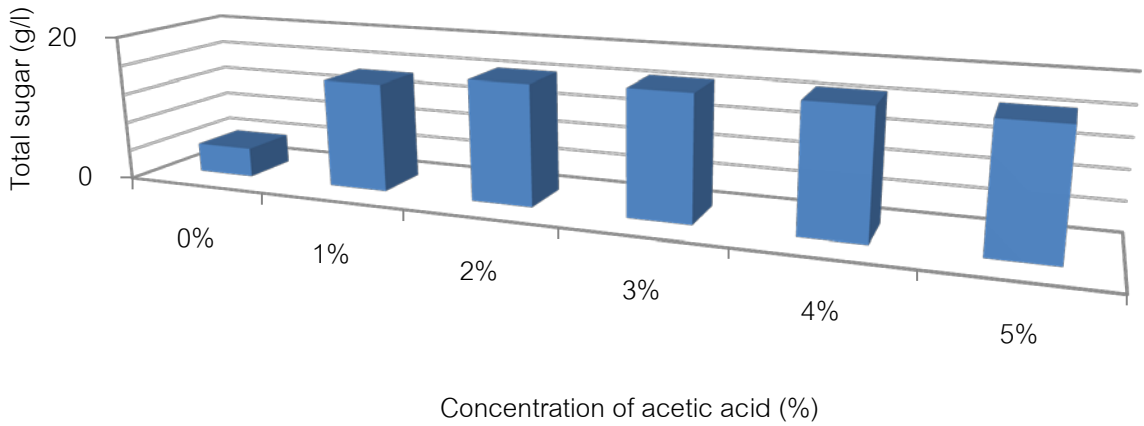


Figure 2 Total sugar from bagasse digestion by steam explosion at 180 Celsius, 5 minutes

จากผลการทดลองพบว่าการย่อยสลายชานอ้อยโดยการระเบิดด้วยไอน้ำที่ 180 องศาเซลเซียสร่วมกับกรดอะซิติก จะให้ปริมาณน้ำตาลรวมสูงกว่าการย่อยสลายชานอ้อยโดยการระเบิดด้วยไอน้ำที่ 120 องศาเซลเซียสที่เวลาเท่ากัน โดยสภาวะที่ให้ผลผลิตน้ำตาลสูงสุดคือที่ 180 องศาเซลเซียส ร่วมกับกรดอะซิติกร้อยละ 4 (กรัม/ปริมาตร) เป็นเวลา 5 นาที ได้น้ำตาล 16.91 กรัม/ลิตร และเมื่อทำการเพิ่มกรดอะซิติกจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 1 จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นถึง 267.15% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้กรดอะซิติกเพียงร้อยละ 1 ร่วมกับการระเบิดด้วยไอน้ำในการย่อยสลายชานอ้อยให้เป็นน้ำตาลจะสามารถเพิ่มผลผลิตน้ำตาลรวมและน้ำตาลไซโลสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะมีผลต่อการผลิตเอทานอลให้เพิ่มสูงขึ้นด้วย

ผลของระยะเวลาต่อปริมาณน้ำตาลที่ได้ด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำ

ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายชานอ้อยโดยการระเบิดด้วยไอน้ำร่วมกับกรดอะซิติกที่เวลาต่างๆ ตั้งแต่ 5 – 40 นาที พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการย่อยสลายชานอ้อยจะทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลรวมลดลง การย่อยสลายชานอ้อยโดยการระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยไม่เติมกรดอะซิติก (ชุดควบคุม) โดยที่เวลาที่ 5 – 40 นาที จะทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลรวมลดลงเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายนานขึ้น เมื่อทำการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ร่วมกับกรดอะซิติกความเข้มข้นต่างๆ พบว่าแนวโน้มน้ำตาลรวมที่ได้เหมือนกับชุดควบคุม (Figure 3)

ส่วนผลของระยะเวลาในการย่อยสลายชานอ้อยโดยการระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสที่เวลาต่างๆ ตั้งแต่ 5 – 40 นาที พบว่าการย่อยสลายชานอ้อยโดยไม่เติมกรด (ชุดควบคุม) ที่เวลา 5 – 40 นาที จะทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลรวมเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายนานขึ้น โดยผลจากการวิเคราะห์น้ำตาลพบว่าการใช้กรดอะซิติกมีผลต่อปริมาณน้ำตาล โดยในชุดควบคุมที่ให้ความร้อนเพียงอย่างเดียวจะพบน้ำตาลไซโลส ฟรุคโทส และกลูโคส แต่ไม่พบซูโครสที่เป็นองค์ประกอบหลักของสารละลายชานอ้อยหลังผ่านการย่อยสลาย (Figure 4)

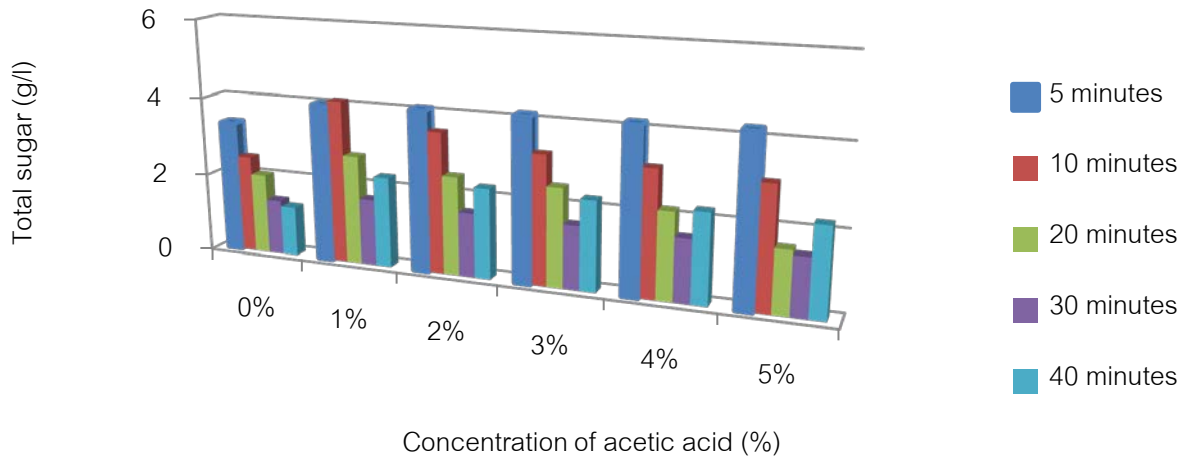


Figure 3 Total sugar from bagasse by steam explosion with acetic acid digestion at 120 Celsius

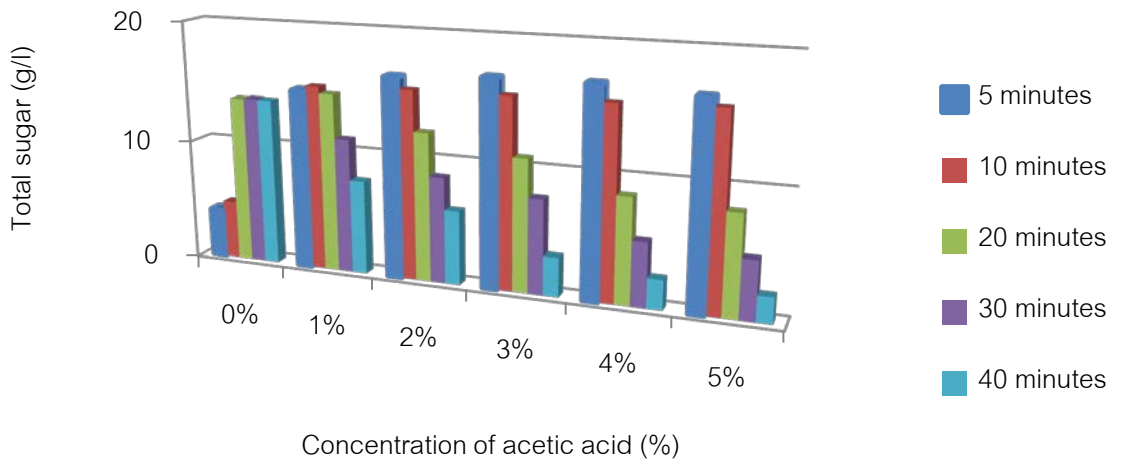


Figure 4 Total sugar from bagasse by steam explosion with acetic acid digestion at 180 Celsius

จากกราฟสรุปได้ว่า การย่อยสลายขานอ้อยที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสอย่างเดียวดังต้องใช้เวลาย่อยสลายนาน 5 นาที จึงจะได้ปริมาณน้ำตาลรวมสูงสุด ส่วนการใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสร่วมกับกรดอะซิติกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 (กรัม/ปริมาตร) ต้องใช้เวลา 10 นาที และที่ร้อยละ 2 - 5 (กรัม/ปริมาตร) ต้องใช้เวลา 5 นาที จึงจะได้ปริมาณน้ำตาลรวมสูงสุด ขณะที่การใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสอย่างเดียวดังต้องใช้เวลา 30 นาที จึงจะได้ปริมาณน้ำตาลรวมสูงสุด ส่วนการใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสร่วมกับกรดอะซิติกจะใช้เวลาดลดลง ที่ความเข้มข้นกรดอะซิติกร้อยละ 1 (กรัม/ปริมาตร) ใช้เวลาย่อยสลาย 10 นาที และที่ร้อยละ 2-5 (กรัม/ปริมาตร) ใช้เวลาย่อยสลายเพียง 5 นาที จึงจะได้น้ำตาลรวมสูงสุด

Table 2 Implemented pretreatments for sugarcane bagasse exploitation.

Pretreatments	Conditions			Yield		References
	Temperature (°C)	Time (hr)	Pressure	%wt./wt. of SCB ^{1/}	g/l	
NaOH2%with Celluclast 107 CFU/mlvolume20% by weight,pH5	121	4	1.1kg/cm ²	50	50.08	Salas et al. (2009)
	55	4	-			
SO ₂ 2%and heat Enzyme celluclast 1.5L 65FPU/g andNovozym 188 376IU/g Glucosidase, pH5	190	0.08	-	68	ND	Carrasco et al. (2010)
	40	72				
Steam explosion with acetic acid 4%	180	0.08	10kg/cm ²	8.45	16.91	This study

1/ SCB: Sugarcane bagasse

สรุป

สภาวะที่มีเหมาะสมในการย่อยสลายมวลชีวภาพขาน้อยคือ การย่อยสลายโดยการระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ร่วมกับกรดอะซิติคเข้มข้นร้อยละ 4(กรัม/ปริมาตร) เป็นเวลา 5 นาที ได้ผลผลิตน้ำตาลรวมสูงเท่ากับ 16.91 กรัม/ลิตร และสามารถย่อยสลายเปลี่ยนเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในขาน้อยเป็นน้ำตาลรวมได้สูงสุดร้อยละ24.91จากผลการทดลองใช้กรดอะซิติคซึ่งเป็นผลผลิตกรดทางชีวภาพร่วมกับการระเบิดด้วยไอน้ำเพื่อเปลี่ยนเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสในมวลชีวภาพขาน้อยเป็นน้ำตาลโดยตรง นอกจากนี้จะได้ผลผลิตน้ำตาลรวมสูงแล้วยังเป็นวิธีที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำกว่าเนื่องจากการใช้กรดอินทรีย์แทนการใช้สารเคมีหรือกรด – ต่างในการผลิตเอทานอล ซึ่งวิธีที่ใช้สารเคมีตามด้วยการใช้เอนไซม์มีราคาสูงในปัจจุบันวิธีการย่อยสลายนี้จึงช่วยลดต้นทุนในการผลิตเอทานอลได้เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานน้ำตาลราชบุรีที่กรุณาให้ตัวอย่างขาน้อยที่ใช้ในการทดลอง ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้าแห่งประเทศไทย. 2550. Cellulosic Ethanolทางเลือกใหม่ของการผลิตเอทานอลในอนาคต.

นคร ทิพย์วงศ์. 2553. เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล. พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ.

Carrasco, C., H.M. Baudel, J. Sendelius, T. Modig, C. Roslander, M. Galbe, B. Hahn, G. Zacchi and G. Lidn. 2010. SO₂-catalyzed steam pretreatment and fermentation of enzymatically hydrolyzed sugarcane bagasse. *Enzyme and Microbial Technology*. 46: 64–73.

Cheng, K.K., B.Y. Cai, J.A. Zhang, H.Z. Ling, Y.J. Zhou, J.P. Geb and J.M. Xua. 2008. Sugarcane bagasse hemicellulose hydrolysate for ethanol production by acid recovery process. *Biochemical Engineering*. 38: 105–109.

Hernandez-Salas, J.M., M.S. Villa-Ramirez, J.S. Veloz-Rendon, K.N. Rivera-Hernandez, R.A. Gonzalez-Cesar, M.A. Plascencia-Espinosa and S.R. Trejo-Estrada. 2009. Comparative hydrolysis and fermentation of sugarcane and agave bagasse. *Bioresour. Technol.* 100, 1238–1245.