การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยด้วยสารละลายน้ำส้มสายชู

Reducing Sugar Production from Banana Peels using Vinegar Solution

อับดุลลาตีฟ ดอรอแม สินินาฏ จงคง

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Email address: Abdullateef_d@hotmail.com, Sininart.c@psu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการย่อยเปลือกกล้วยให้ได้น้ำตาลรีดิวซ์สำหรับการหมักเอทานอล โดยศึกษาการใช้กรดอ่อนอินทรีย์ (น้ำส้มสายชู) แทนการใช้กรดแก่อนินทรีย์ (กรดซัลฟิวริก) เพื่อสามารถลดต้นทุนการผลิตและลดน้ำเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเอทานอลสำหรับเป็นพลังงานทดแทน เริ่มทำการศึกษาโดยการปรับสภาพเปลือกกล้วยด้วยสารละลายเกลือแกง (โซเดียมคลอไรด์) ในอัตราส่วน เกลือ 0.09 กิโลกรัม ต่อเปลือกกล้วย 1 กิโลกรัม ต่อน้ำ 3 ลิตร เพื่อขจัดยางกล้วย จากนั้นนำเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพแล้วมาทำการย่อยด้วยสารละลายน้ำส้มสายชู และหาสภาวะการย่อยที่เหมาะสมด้วยวิธี Response Surface Methodology (RSM) ปัจจัยสำคัญที่ถูกศึกษา ได้แก่ ปริมาณน้ำส้มสายชู (ร้อยละ 0.74-1.47 โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิ (70-95 องศาเซลเซียส) และ เวลา (20-40 นาที) พบสภาวะที่เหมาะสมคือ ปริมาณน้ำส้มสายชูร้อยละ 0.74 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาในการย่อย 40 นาที ซึ่งให้ผลผลิตมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดเท่ากับ 7.043 กรัมต่อลิตร

คำสำคัญ : เปลือกกล้วย น้ำตาลรีดิวซ์ การย่อยด้วยกรดอินทรีย์

Abstract

The hydrolysis of banana peel to produce reducing sugars for an ethanol fermentation was investigated in this work. Anorganic acid (Vinegar) was used instead of strong acid (Sulfuric acid) to save cost and reduce waste water of the production process of ethanol that was an alternative fuel. The peel was firstly pretreated with sodium chloride (NaCl) solution (at a ratio of 0.09 kg NaCl to 1 kg peel to 3 L water) for removal of the banana gum. After that, the condition of hydrolysis using vinegar solution of the pretreated peel was optimized by response surface methodology (RSM). The studied parameters were vinegar solution amount (0.74 – 1.47 %w), temperature (70 - 95°C) and time (20 – 40 min). The optimum condition that obtained the highest reducing sugar content of 7.043 g/L was using an amount of 0.74 %w vinegar solution at a temperature of 70°C for a hydrolysis time of 40 min.

Keywords : Banana peel, Reducing sugar, Organic Acid hydrolysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีผลผลิตและของเหลือใช้ทางการเกษตรเกิดขึ้นมากมาย การนำชีวมวลเหลือใช้มาพัฒนาเป็นวัตถุดิบเพื่อการผลิตพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่ม ช่วยแก้ปัญหาวิกฤตทางด้านพลังงานเชื้อเพลิงและปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ พลังงานสะอาดชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญสามารถใช้ผสมหรือใช้ทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมเบนซินได้ คือ เอทานอล ซึ่งสามารถผลิตได้จากชีวมวลด้วยกระบวนการทางชีวภาพ วัตถุดิบที่มีความคุ้มทุนในการผลิตเอทานอลเชิงพาณิชย์ คือ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรซึ่งเป็นวัตถุดิบประเภทเซลลูโลสและคาร์โบไฮเดรต

การผลิตเอทานอลประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ขั้นตอนแรกคือ การปรับสภาพวัตถุดิบ เพื่อขจัดองค์ประกอบที่ขัดขวางการย่อยเซลลูโลสหรือคาร์โบไฮเดรต เช่น ลิกนินและเฮมิเซลลูโลส และเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของวัตถุดิบให้พร้อมสำหรับการย่อย โดยทั่วไปจะใช้สารละลายด่างหรือเอนไซม์ร่วมกับการให้ความร้อน[1] ขั้นตอนที่สองคือ การย่อย เป็นการย่อยเซลลูโลสหรือคาร์โบไฮเดรตไปเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ ส่วนใหญ่ใช้สารละลายกรดหรือเอนไซม์ร่วมกับการให้ความร้อน เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟิวริก กรดฟอสฟอริก และเอนไซม์เซลลูเลส[2-4] เป็นต้น และขั้นตอนที่สามคือ การหมัก เพื่อเปลี่ยนน้ำตาลรีดิวซ์เป็นเอทานอล ส่วนใหญ่ใช้ยีสต์ตระกูล *Saccharomyces cerevisiae*[5] ซึ่งขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการผลิตเอทานอลได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ ขั้นตอนการปรับสภาพและการย่อยเพื่อให้ได้น้ำตาลรีดิวซ์

งานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาการปรับสภาพและย่อยเปลือกกล้วยน้ำว้าซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีปริมาณมาก เนื่องจากกล้วยเป็นพืชปลูกง่าย มีการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์เร็ว ปลูกได้ทุกภูมิภาคของประเทศไทยและอีกหลายประเทศในเขตร้อนชื้น ซึ่งเปลือกกล้วยที่เหลือจากการนำผลสดไปรับประทานหรือแปรรูปยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ งานวิจัยนี้จึงสนในนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อการผลิตเอทานอล เนื่องจากเปลือกกล้วยยังมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ เส้นใย (เซลลูโลส) ประมาณร้อยละ 31.7 และคาร์โบไฮเดรตประมาณร้อยละ 59 ของฐานแห้ง[6] ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญเหมาะที่จะนำมาผลิตเอทานอล

โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นพัฒนาการปรับสภาพและย่อยเปลือกกล้วย ซึ่งอุปสรรคสำคัญในการใช้เปลือกกล้วยเป็นวัตถุดิบ คือ ยางกล้วย (ในเปลือก) ที่จะขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาและทำให้การดำเนินการผลิตในขั้นตอนต่างๆ เป็นไปได้ยาก งานวิจัยอื่นส่วนใหญ่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งก็สามารถแยกยางกล้วยออกได้แต่ต้องผ่านขั้นตอนการแยกส่วนผลผลิตของแข็งออกจากของเหลวหลังทำการปรับสภาพและล้างส่วนของแข็งจนมีสภาพเป็นกลางก่อนนำไปสู่ขั้นตอนต่อไป ซึ่งมีข้อเสีย คือ แม้จะช่วยขจัดลิกนินหรือยางกล้วยออกแล้วยังทำให้องค์ประกอบของน้ำตาลในเปลือกกล้วยออกไปด้วย เนื่องจากน้ำตาลและองค์ประกอบอื่น เช่น แป้ง ในเปลือกกล้วยล้วนแล้วแต่มีความสำคัญต่อการผลิตเอทานอล งานวิจัยนี้จึงได้นำภูมิปัญญาท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้โดยทำการปรับสภาพเปลือกกล้วยด้วยการแช่ในสารละลายเกลือแกง (โซเดียมคลอไรด์) แทนการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยเกลือเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่าย ราคาถูก สามารถช่วยให้เปลือกกล้วยสด ยับยั้งการไหลของยางกล้วย และการใช้เกลือไม่ต้องผ่านกระบวนการล้างเปลือกกล้วยหลังการปรับสภาพ จึงไม่ทำให้เกิดน้ำเสีย และยังรักษาองค์ประกอบของน้ำตาลและคาร์โบไฮเดรตไว้ ไม่สูญเสียไปกับการล้างน้ำ และสำหรับในขั้นตอนการย่อย งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการต้มด้วยสารละลายน้ำส้มสายชู (กรดอะซิติก) แทนการใช้สารละลายกรดซัลฟิวริก ซึ่งความเป็นกรดของน้ำส้มสายชูสามารถช่วยชะล้างและขจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากเปลือกกล้วย ช่วยให้เกิดการย่อยทางกายภาพได้ดีขึ้น กรดอะซิติกยังเป็นกรด (อ่อน) อินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ จึงไม่ส่งผลเสียต่อการทำงานของยีสต์ในขั้นตอนการหมักเอทานอล

กระบวนการนี้เป็นการประยุกต์ใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นใช้วัตถุดิบราคาถูก หาได้ง่ายในประเทศไทย ลดการเกิดน้ำเสีย และช่วยลดต้นทุนรวมของการผลิตเอทานอล จึงเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์เหมาะสมกับชุมชนและอาจช่วยให้เกิดการพึ่งพาตนเองทางด้านพลังงานของประเทศได้

2. วัตถุดิบและวิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบ

เปลือกกล้วยน้ำว้าห่าม (หลังการเก็บเกี่ยวประมาณ 3 วัน) ได้จากร้านค้าแปรรูปกล้วยทอดในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา (องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยแสดงดังตารางที่ 1) เกลือแกง (โซเดียมคลอไรด์) และน้ำส้มสายชูซื้อจากร้านค้าในตลาดท้องถิ่นของจังหวัดสงขลา

2.2 การปรับสภาพ(Pretreatment)

นำเปลือกกล้วยมาคัดแยกสิ่งสกปรกออกก่อนนำไปแช่ในสารละลายเกลือแกง (NaCl) ด้วยอัตราส่วนเปลือกกล้วย 1 กิโลกรัม ต่อเกลือ 90 กรัม ต่อน้ำ 3 ลิตร เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

2.3 การย่อย (Hydrolysis)

นำเปลือกกล้วยหลังผ่านการปรับสภาพแล้ว มาหั่นและบดจนมีขนาดประมาณ 2 มิลลิเมตร ปริมาณ 30 กรัม ผสมกับสารละลายน้ำส้มสายชูเพื่อทำการย่อยในขวดทดลองแบบมีฝาปิดขนาด 250 มิลลิลิตร และให้ความร้อนในอ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิ (Oil bath) โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำส้มสายชูเป็น 0.74–1.47 ที่อุณหภูมิ 70–95 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20–40 นาที หลังกระบวนการย่อยนำผลผลิตที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS (Dinitrosalicylic acid) ตามวิธีของ Miller[7]

2.4 การออกแบบสภาวะการทดลองและหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธี RSM (Response Surface Methodology)

การทดลองถูกออกแบบด้วยวิธี CCD (Central Composite Design) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการย่อย โดยมีตัวแปรอิสระที่ใช้ในการออกแบบ คือ ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำส้มสายชู อุณหภูมิ และเวลา โดยมีค่าผลตอบสนอง คือ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งผลการออกแบบการทดลองแสดงดังตารางที่ 2 โดยจะนำสภาวะการทดลองทั้ง 17 สภาวะที่ได้จากการออกแบบไปทดลองเพื่อหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ นำค่าน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้ในผลผลิตหลังการย่อยป้อนกลับไปยังโปรแกรม RSM เพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองและหาสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากกระบวนการย่อยที่สภาวะต่างๆ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 วัตถุดิบ

จากตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบของวัตถุดิบเปลือกกล้วยน้ำว้า พบว่ามีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 9.15 และเส้นใยร้อยละ 2.28 (หรือคิดเป็นฐานแห้งคือร้อยละ 65 และ 16 ตามลำดับ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สามารถนำไปผลิตเอทานอลได้ เปลือกกล้วยน้ำว้าจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบเปลือกกล้วยน้ำว้า

องค์ประกอบ	วิธีทดสอบ	ผลการทดสอบ (%)
น้ำตาลทั้งหมด	Lane and Eynon	2.22
โปรตีน	AOAC (Kjeldahl Method)	1.27
ไขมันดิบ	AOAC (Soxhlet Extraction Method)	1.82
ความชื้น	AOAC (Loss on drying at 95 - 100°C)	86.01
เถ้า	AOAC	1.75
เส้นใยดิบ	AOAC (Fritted Glass Crucible Method)	2.28
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	Calculation	9.15
พลังงาน	Calculation	58.06 Kcal

ส่งวิเคราะห์ห้องค์ประกอบที่ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อการส่งออก ตามเลขที่ใบขอรับบริการ 0133/55

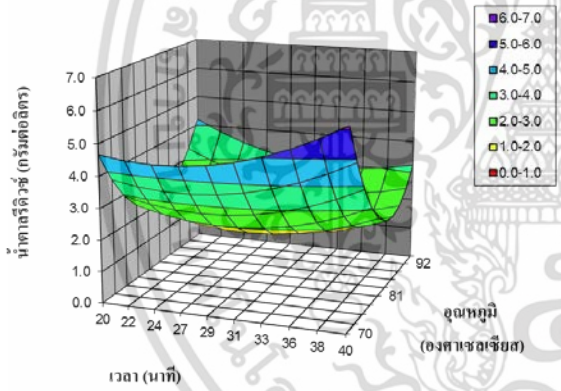
3.2 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยสำคัญต่อปริมาณผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์

การวิเคราะห์อิทธิพลและความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สามารถวิเคราะห์ได้จากพื้นผิวตอบสนอง แสดงดังรูปที่ 1 ถึง 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

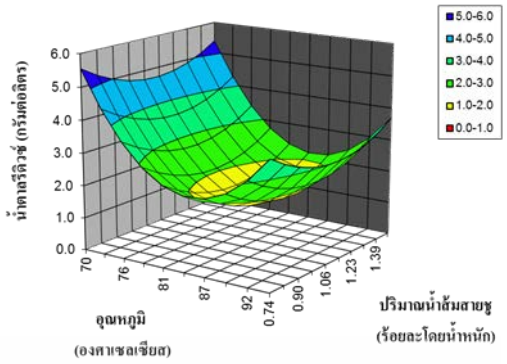
ตารางที่ 2 แสดงผลการออกแบบสภาวะการทดลองและผลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้ในผลผลิตหลังการย่อย

ลำดับ	สภาวะ			ผลการทดลอง
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำส้มสายชู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)
1	70	30	1.11	4.356
2	75	24	0.89	3.145
3	75	24	1.32	3.225
4	75	36	0.89	4.086
5	75	36	1.32	3.931
6	83	20	1.11	1.707
7	83	30	0.74	2.115
8	83	30	1.11	1.728
9	83	30	1.11	1.527
10	83	30	1.11	1.645
11	83	30	1.47	1.851
12	83	40	1.11	1.867
13	90	24	0.89	2.861
14	90	24	1.32	2.667
15	90	36	0.89	2.288
16	90	36	1.32	2.364
17	95	30	1.11	2.736



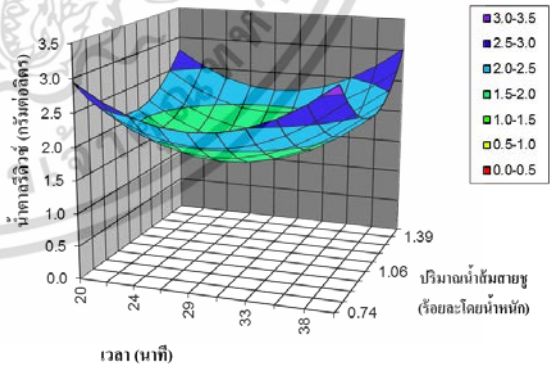
รูปที่ 1 อิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิต่อปริมาณผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์

จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าเวลาและอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาในการย่อยนานขึ้นจาก 20 ถึง 40 นาที



รูปที่ 2 อิทธิพลของอุณหภูมิและปริมาณน้ำส้มสายชูต่อปริมาณผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์

เมื่อพิจารณารูปที่ 1 และ 2 ประกอบกัน จะเห็นได้ว่าการย่อยจะให้ผลผลิตปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในปริมาณที่เหมาะสมเมื่อดำเนินการที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 70 องศาเซลเซียส แสดงว่าเป็นอุณหภูมิที่เหมาะต่อการย่อยคาร์โบไฮเดรตเป็นน้ำตาลรีดิวซ์หรือเหมาะต่อการชะละลายองค์ประกอบของน้ำตาลรีดิวซ์ออกจากเปลือกกล้วย แต่การใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจทำให้น้ำตาลรีดิวซ์หรือมอนอแซคคาไรด์เปลี่ยนเป็นไดแซคคาไรด์ (ที่ไม่ใช่น้ำตาลรีดิวซ์) ได้ส่งผลให้ได้น้ำตาลรีดิวซ์น้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 3 อิทธิพลของเวลาและปริมาณน้ำส้มสายชูต่อปริมาณผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าช่วงการดำเนินการที่สามารถให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหมาะสม คือ ระยะเวลา 38 ถึง 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาที ด้วยการใช้ปริมาณน้ำส้มสายชูเพียงร้อยละ 0.74 ถึง 0.80 โดยน้ำหนัก ก็เพียงพอต่อการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการย่อยเปลือกกล้วยด้วยน้ำ

3.3 ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการย่อย

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมโดยการออกแบบการทดลองด้วยวิธี CCD ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งจากผลการทดลองสามารถจำลองสมการแบบการทดลอง Quadratic Model เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กับปัจจัยต่างๆ หลังจากการวิเคราะห์นัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปรแล้ว แสดงได้ดังสมการที่ 1

$$\text{น้ำตาลรีดิวซ์(กรัมต่อลิตร)} = 109.71 - 2.382X_1 - 12.96X_3 + 0.01492X_1^2 + 0.00698X_2^2 + 5.769X_3^2 - 0.00493X_1X_2 \quad (1)$$

โดยที่ X_1คือ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

X_2คือ เวลา (นาที)

X_3คือ ปริมาณน้ำส้มสายชู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

แบบจำลองที่ได้จากวิธี CCD นำมาคำนวณปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่สภาวะต่างๆ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3 และเพื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของแบบจำลอง มีค่าเท่ากับร้อยละ 90 แสดงว่าแบบจำลองมีความเหมาะสมในการนำมาเป็นตัวแบบอธิบายผลการทดลอง

จากแบบจำลองที่ได้จากวิธี CCD พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยเพื่อให้ได้น้ำตาลรีดิวซ์ คือ ปริมาณน้ำส้มสายชูร้อยละ 0.74 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที ได้ผลการทำนายปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 6.981 กรัมต่อลิตร เมื่อนำสภาวะเหมาะสมที่ได้จากการทำนายนี้ไปทำการทดลอง พบว่าได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จริงมีค่าเท่ากับ 7.043 กรัมต่อลิตร ซึ่งผลการทดลองจริงได้มากกว่าผลการทำนาย

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการทดลองและที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการแบบจำลองที่ทำนายโดย RSM

	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)	
ลำดับ	การทำนาย	การทดลอง
1	4.701	4.356
2	3.123	3.145
3	3.03	3.225
4	3.701	4.086
5	3.608	3.931
6	2.094	1.707
7	2.362	2.115
8	1.515	1.728
9	1.515	1.527
10	1.515	1.645
11	2.206	1.851
12	2.333	1.867
13	2.544	2.861
14	2.451	2.667
15	2.25	2.288
16	2.157	2.364
17	2.993	2.736

ผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์หลังกระบวนการย่อยจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าวัตถุดิบเปลือกกล้วยเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมมีศักยภาพเพื่อใช้สำหรับการผลิตเอทานอล เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่นๆ เช่น ฟางข้าว หลังการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกได้น้ำตาลรีดิวซ์ 1.1 กรัมต่อลิตร ขณะที่ซังข้าวโพดให้น้ำตาลรีดิวซ์ 0.6 กรัมต่อลิตร[8] และชานอ้อยหลังถูกย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกให้น้ำตาลรีดิวซ์ 2.85 กรัมต่อลิตร[9] และแนวคิดการเลือกใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์และสารละลายน้ำส้มสายชู ในกระบวนการปรับสภาพและย่อยแทนการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายกรดซัลฟิวริก เป็นแนวทางที่เหมาะสม สังเกตได้จากการศึกษาการปรับสภาพและย่อยวัตถุดิบเปลือกกล้วยชนิดเดียวกัน ด้วยการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายกรดซัลฟิวริกให้ผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์น้อยกว่าคือ 4.29 กรัมต่อลิตร[10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์และสารละลายน้ำส้มสายชู แม้จะไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีเหมือนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายกรดซัลฟิวริก แต่หากสามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เหมาะสมกับวัตถุดิบที่ใช้ ก็สามารถได้ผลผลิตที่มีน้ำตาลรีดิวซ์ตามต้องการได้ โดยในงานวิจัยได้ค้นพบวิธีการใหม่ในการผลิตเอทานอล สามารถลดต้นทุนรวมของการผลิตได้ เนื่องจากใช้วัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตร ใช้โซเดียมคลอไรด์และน้ำส้มสายชู ซึ่งมีราคาถูก ลดกระบวนการล้าง ดำเนินการที่สภาวะอุณหภูมิต่ำภายใต้ความดันบรรยากาศจึงลดการใช้พลังงานและยังช่วยลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต จึงเป็นแนวทางการผลิตพลังงานสะอาดอย่างแท้จริงและสามารถนำไปสู่ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้

4. สรุปผลการทดลอง

เปลือกกล้วยน้ำว้าซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสามารถนำมาเพิ่มมูลค่าเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลได้อย่างเหมาะสมด้วยกระบวนการซึ่งสามารถลดต้นทุนการผลิต โดยสภาวะที่เหมาะสมของการย่อย คือ ใช้ปริมาณน้ำส้มสายชูร้อยละ 0.74 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 40 นาที ให้ปริมาณผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ 7.043 กรัมต่อลิตร ซึ่งผลการทดลองของงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า งานวิจัยทางด้านพลังงานทดแทนยังสามารถพัฒนากระบวนการและวิธีการผลิตที่มีความคุ้มทุน ลดของเสีย ลดการใช้พลังงาน นำไปสู่การผลิตพลังงานสะอาดได้อย่างแท้จริง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินรายได้ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์เลขที่สัญญา ENG550105S

6. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Zhu, Y. Wu, Z. Yu, X. Zhang, C. Wang, F. Yu and S. Jin, "Production of ethanol from microwave-assisted alkali pretreated wheat straw," Process Biochemistry, Vol.41, pp.869-873, 2005.

[2] M. B. Tasic, B. V. Konstantinovic, M. L. Lazic and V. B. Veljikovic, "The acid hydrolysis of potato tuber mash in bioethanol production," Biochemical Engineering Journal, Vol.43, pp.208-211, 2008.

[3] P. Lenihan, A.Orozco, E. O'Neill, M.N.M. Ahmad, D.W. Rooney and G.M. Walker, "Dilute acid hydrolysis of lignocellulosic biomass," Chemical Engineering Journal, Vol.156, pp.395–403, 2010.

[4] C.N. Hamelinck, G.V. Hooijdonkand A.Faaij, "Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short, middle and long term," Biomass and Bioenergy, Vol.28, pp.384-410, 2005.

[5] L. Laopaiboon, S. Nuanpeng, P. Srinophakun, P. Klanrit and P.Laopaiboon,"Ethanol production from sweet sorghum juice using very high gravity technology: Effects of carbon and nitrogen supplementations," Bioresource Technology, Vol.100, pp.4176–4182, 2009.

[6] B.A. Anhwange, T.J. Ugye and Nyiaatagher, "Chemical composition of musasapientum (Banana peels)," EJEAF Che, Vol.8, pp.437-442, 2009.

[7] G.L. Miller, "Use of dinitrosalicyclic acid reagent for determination of reducing sugar," Anal. Chem, Vol.31, pp.426-428, 1959.

[8] W. K. El-Zawawy, M. M. Ibrahim, Y. R. Abdel-Fattah, N. A. Soliman and M. M. Mahmoud, "Acid and enzyme hydrolysis to convert pretreated lignocellulosic materials intoglucose for ethanol production," Carbohydrate Polymers, Vol.84, pp.865–871, 2010.

[9] K. E. Sipos, B. Zacchi, G. Svensson, S. and L.Björnsson, "Bioconversion of industrial hemp to ethanol and methane: The benefits of steam pretreatment and co–production," Bioresource Technology, Vol.102, pp.3457 – 3465, 2011.

[10] S. Chongkhong and A. Doromae, "Alkali-pretreatment and acid-hydrolysis of banana peels," The 10th International PSU Engineering Conference (IPEC-2012), May 14-15, 2012.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้