การจำลองกระบวนการสำหรับการเตรียมไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อย

สรัล มั่นคง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

SIMULATION FOR PREPARING WHITE CARBON BLACK FROM BAGASSE

SARAN MUNKONG

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF CHEMICAL ENGINEERING

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การจำลองกระบวนการสำหรับการเตรียมไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อย

โดย นายสรัล มั่นคง

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.พรสวรรค์ อัศวแสงรัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจปริญญานิพนธ์

_____ ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.พรสวรรค์ อัศวแสงรัตน์)

_____ กรรมการ
(รศ.ดร.เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์)

_____ กรรมการ
(รศ.ดร.ญาณีพร พัชรวรโชติ)

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การจำลองกระบวนการสำหรับการเตรียมไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อย
โดย นายสรัล มั่นคง
ปริญญา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2563
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.พรสวรรค์ อัศวแสงรัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม

บทคัดย่อ

การสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คมีที่มาจากแนวคิดที่จะลดปริมาณชานอ้อยที่ถูกทิ้งให้กลายเป็นของเสียชีวมวลจำนวนมากจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลที่มากขึ้น โดยเริ่มจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย จากการทบทวนวรรณกรรมของงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าในชานอ้อยประกอบไปด้วยคาร์บอนร้อยละ 60.59 ออกซิเจนร้อยละ 33.53 โซเดียมร้อยละ 2.49 แมกนีเซียมร้อยละ 1.55 และซิลิกอนร้อยละ 1.50 จากนั้นทำการศึกษาการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คโดยอาศัยการจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม Aspen Plus เวอร์ชัน 9 ในการจำลองการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็ค โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 โมลต่อลิตรในปฏิกิริยารีฟลักซ์เพื่อกำจัดโลหะออกไซด์ชนิดอื่นรวมกับปฏิกิริยาการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเพื่อกำจัดเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินในชานอ้อย จากการจำลองการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็ค พบว่าสามารถสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คที่ร้อยละ 90.99 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Thesis title Simulation for Preparing White Carbon Black from Bagasse
By Mr. Saran Munkong
Degree Bachelor of Chemical
Program Chemical Engineering
Year 2020
Advisor Asst.Prof.Dr. Pornsawan Assawasaengrat
Co. Advisor Asst.Prof.Dr. Pongsert Sriprom

Abstract

The extraction of white carbon black originated from the idea of reducing the amount of bagasse waste discarded as a large amount of biomass waste from the greater sugar industry, starting with the study of the chemical composition of the bagasse. From a review of past researches, It was found that bagasse consist of 60.59 percent of carbon, 33.53 percent of oxygen, 2.49 percent of sodium, 1.55 percent of magnesium, and 1.50 percent of silicon. Next studying the white carbon black extraction by Aspen Plus version 9 simulation program, 3 mol per liter of hydrochloric acid was used in reflux reaction to remove other metal oxides combined with calcination reaction at 600 Celsius degree to remove cellulose, hemicellulose and lignin from bagasse. From the simulation of white carbon black extraction. It was found that white carbon black can be extracted at 90.99 percent, which is consistent with other previous studies.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พรสวรรค์ อัศวแสงรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์และ ผศ.ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ร่วม ที่ได้มอบความรู้ที่จำเป็น คำแนะนำและแนะแนวทางในการแก้ปัญหาต่อการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ตลอดจนการใส่ใจดูแลและให้การสนับสนุนจนการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงอย่างราบรื่น

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์ และ รศ.ดร.ญาณีพร พัชรวรโชติ กรรมการตรวจปริญญานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและแนะแนวทางในการทำปริญญานิพนธ์ ทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี และวิทยากรทุกท่านที่มอบความรู้ เกี่ยวกับวิศวกรรมเคมีในรายวิชาต่างๆ และประสบการณ์การทำงานในโรงงาน ทำให้สามารถนำความรู้ทั้งหมดมาใช้เพื่อจัดทำปริญญานิพนธ์

ท้ายสุดนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้าที่ให้โอกาสในการศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมเคมี ให้กำลังใจและเชื่อมั่นในตัวข้าพเจ้าในทุกๆเรื่องที่ผ่านมาตลอดระยะเวลาการศึกษา ขอบคุณเพื่อนทุกคนที่ข้าพเจ้าได้ทำความรู้จักภายในสถาบันแห่งนี้ที่ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือและกำลังใจที่ดี หากปริญญานิพนธ์เล่มนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าน้อมรับข้อผิดพลาดและขออภัย ณ ที่นี้

สรัล มั่นคง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

บทคัดย่อ I

Abstract II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญรูปภาพ ..... ค

สารบัญตาราง ..... ง

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตการศึกษา 1

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 อ้อย 3

2.2 ไวท์คาร์บอนแบล็ค (White Carbon Black, WCB) 4

2.3 กระบวนการผลิตไวท์คาร์บอนแบล็คด้วยชานอ้อย 4

2.4 โปรแกรม Aspen plus 5

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง 14

3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี 14

3.2 หน่วยที่ใช้ในการทดลอง 15

3.3 กระบวนการจำลอง 15

3.4 แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ 16

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน 18

4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการสกัด 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 สภาวะที่ใช้ในการทดลอง 19
4.3 ร้อยละของผลผลิต 21
4.4 คุณลักษณะที่ได้จากการสกัด 23
4.5 การวิเคราะห์ร้อยละของผลผลิต 25
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ 26
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 26
5.2 ข้อเสนอแนะ 26
บรรณานุกรม i
ภาคผนวก iii

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 กราฟ FTIR ของ WCB 6
รูปที่ 3.1 แผนภาพกระบวนการจำลองการเตรียมไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อย.....16
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการเลือกแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์.....17
รูปที่ 4.1 กราฟระหว่างอุณหภูมิกับร้อยละของไวท์คาร์บอนแบล็ค 19
รูปที่ 4.2 กราฟระหว่างความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมิกับร้อยละของไวท์คาร์บอนแบล็ค 20
รูปที่ 4.4 กราฟแท่งระหว่างสารเคมีที่ใช้กับร้อยละของไวท์คาร์บอนแบล็ค.....22
รูปที่ 4.5 แสดงการศึกษาด้วยวิธี FT-IR.....25
รูปที่ 4.6 แสดงการศึกษาด้วยวิธี XRD.....26
รูปที่ ก1 แสดงสัดส่วนมวลของสายสารตั้งต้นและสายตัวทำปฏิกิริยา.....iv
รูปที่ ก2 แสดงสัดส่วนมวลของสายผลิตภัณฑ์และสายผลพลอยได้.....iv
รูปที่ ก3 แผนภาพกระบวนการจำลองการเตรียมไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อย(ขนาดใหญ่).....v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตาราง 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย 3
ตาราง 2.2เปรียบเทียบตัวอย่างการทดลอง....6
ตาราง 2.3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างการทดลอง 7
ตาราง 2.4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างการทดลอง 8
ตาราง 2.5 แสดงการเปรียบเทียบชานอ้อย 9
ตาราง 2.6 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยที่ผ่านการสกัด 9
ตาราง 2.7 แสดงค่า BET ของซิลิกาที่สังเคราะห์จากเปลือกข้าว 10
ตาราง 2.8 แสดงองค์ประกอบทางเคมีวัดผลด้วยวิธี XRF 10
ตาราง 2.9 แสดงธาตุที่พบในเปลือกข้าวที่อุณหภูมิ 600°C ระยะเวลา 4.5 hr. 11
ตาราง 2.10 แสดงปริมาณของออกไซด์ที่อุณหภูมิต่างๆ....11
ตาราง 2.11 แสดงปริมาณออกไซด์ที่พบ 12
ตาราง 2.12 เปรียบเทียบปริมาณซิลิกาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13
ตาราง 3.1 องค์ประกอบของสายขาเข้า 14
ตาราง 3.2 สภาวะการดำเนินการของหน่วยจำลอง 15
ตาราง 4.1 เปรียบเทียบร้อยละของผลผลิตกับวัตถุดิบที่ใช้ 18
ตาราง 4.2 ปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการจำลอง 21
ตาราง 4.3 ร้อยละของผลผลิตจากการจำลองการสกัด 21
ตาราง 4.3 แสดงค่า BET surface area....23
ตาราง 4.4 แสดงค่าหมู่ฟังก์ชันด้วยวิธี FTIR....23
ตารางที่ ก1 อัตราการไหลเชิงมวล ในกระบวนการเตรียมไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อย....vi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายของประเทศไทยมีแนวโน้มการขยายตัวสูงขึ้น ตั้งแต่ปีพุทธศักราช 2553 ถึง 2563 เนื่องจากการขอตั้งและขยายโรงงานน้ำตาลทรายเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็นจำนวนมาก และสืบเนื่องมาจากรัฐบาลผลักดันนโยบายการบริหารพื้นที่เกษตรกรรม โดยให้เปลี่ยนพื้นที่ที่แต่เดิมที่ใช้ปลูกข้าวแต่พื้นที่นั้นไม่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวเป็นการปลูกพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น เช่น อ้อยโรงงาน มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน และข้าวโพดที่ใช้สำหรับเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น ส่งผลให้พื้นที่ปลูกอ้อยในประเทศมีจำนวนที่เพิ่มมากขึ้น เป็นผลให้การผลิตน้ำตาลจากอ้อยมีแนวโน้มสูงขึ้นตามมา

จากรายงานสถานการณ์การปลูกอ้อยปีการผลิต 2562 ถึง 2563 [1] พบว่าปริมาณการส่งอ้อยให้กับโรงงานมีปริมาณสูงถึง 75,970,209 ตันจากปริมาณการผลิตทั้งหมด 85,369,690 ตัน คิดเป็นร้อยละ 88.99 ส่งผลให้กากหรือของเสียที่เหลือจากการผลิต คือ ชานอ้อย มีปริมาณที่สูงขึ้นตามมา งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

จากการศึกษาพบว่าในองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยมีซิลิกาเป็นหนึ่งในองค์ประกอบหลัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการสกัดซิลิกาออกจากชานอ้อยด้วยวิธีการรีฟลักซ์ และนำไปเผาเพื่อให้เกิดไวท์คาร์บอนแบล็ค โดยการจำลองกระบวนการเตรียมไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อย

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คที่เตรียมจากชานอ้อยโดยการจำลองกระบวนการผลิต

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ศึกษาการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อย

1.3.2 ศึกษากระบวนการจำลองการผลิตในการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คด้วยโปรแกรม Aspen plus v.9

1.3.3 ศึกษาและเปรียบเทียบไวท์คาร์บอนแบล็ค

1.3.3.1 วัตถุดิบตั้งต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.3.3.2 สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

1.3.3.3 ร้อยละผลผลิต

1.3.3.4 คุณลักษณะของไวท์คาร์บอนแบล็ค ได้แก่ พื้นที่ผิว หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิว และความเป็นผลึก

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

เพื่อเป็นข้อมูลแนวโน้มในการเตรียมไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อยได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อ้อย [2]

อ้อยเป็นไม้ล้มลุก สูง 2 ถึง 5 เมตร แตกกอแน่น ลำต้นสีม่วงแดงตั้งหรือมีโคนทอดเอน มีไขสีขาวปกคลุม ไม่แตกกิ่งก้าน ใบเดี่ยว เรียงสลับเป็น 2 แถว กว้าง 2.5 ถึง 5 เซนติเมตร ยาว 0.5 ถึง 1 เมตร ใบตั้งหรือทอดโค้ง ใบรูปใบหอกแกมรูปแถบขอบใบมีหนามเล็ก ๆ หยาบ ดอกช่อ ออกที่ปลายยอด ช่อแยกแขนง รูปพีระมิด เปราะ ช่อดอกย่อยรูปใบหอกถึงรูปใบหอกแกมรูปขอบขนาน มีขนสีขาวปกคลุม ผลเป็นผลแบบผลธัญพืช แห้งและมีขนาดเล็ก อ้อยทั่วไปจะมีส่วนประกอบ คือ เซลลูโลสร้อยละ 39 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 37 ลิกนินร้อยละ 21 ออกไซด์ของโลหะร้อยละ 2 และไวท์คาร์บอนแบล็คร้อยละ 1

ชานอ้อย คือ ส่วนลำต้นของต้นอ้อยที่ผ่านการคั้นน้ำอ้อยหรือน้ำตาลออกจากตัวลำต้น ในการกำจัดชานอ้อยส่วนใหญ่จะเป็นการนำไปใช้ประโยชน์ต่อในหลาอุตสาหกรรม เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้าจากชีว-มวล อุตสาหกรรมกระดาษ และอุตสาหกรรมการผลิตนาโนเซลลูโลส เป็นต้น

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย พบว่ามีปริมาณของธาตุชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย [3]

ชนิดของธาตุ	ชานอ้อยที่ไม่ผ่านการบำบัด		ชานอ้อยที่ผ่านการบำบัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลต่อลิตร	
	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ร้อยละของอะตอม	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ร้อยละของอะตอม
คาร์บอน	60.59	68.41	52.46	61.94
ออกซิเจน	33.53	28.42	33.46	29.66
โซเดียม	2.49	1.47	10.10	6.23
แมกนีเซียม	1.55	0.87	2.10	1.23
ซิลิกอน	1.50	0.73	1.88	0.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 ไวท์คาร์บอนแบล็ค (White Carbon Black, WCB) [4]

ไวท์คาร์บอนแบล็คหรือตะกอนของซิลิกา (Precipitated Silica) เป็นหนึ่งในอสัณฐานซิลิกาอีกสองสิ่งคือไพโรเจนซิลิกาและซิลิกาเจล แต่ไวท์คาร์บอนแบล็คเป็นอสัณฐานซิลิกาที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรม ในปีพุทธศักราช 2542 มีการผลิตไวท์คาร์บอนแบล็คมากกว่าหนึ่งล้านตัน ไวท์คาร์บอนแบล็คมีสูตรทางเคมีคือ SiO_2 โดยไวท์คาร์บอนแบล็คจะเตรียมจากการตกตะกอนที่มีสารตั้งต้นเป็นเกลือซิลิเกต ดังสมการ

$$Na_2(SiO_2)_7 + H_2SO_4 + O_2 \rightarrow 7SiO_2 + Na_2SO_4 + H_2O \quad (2.1)$$

$$Na_2SiO_3 + H_2SO_4 \rightarrow SiO_2 + Na_2SO_4 + H_2O \quad (2.2)$$

สมบัติทางกายภาพของไวท์คาร์บอนแบล็ค คือ มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 5 ถึง 100 นาโนเมตร พื้นที่ผิวเฉพาะ (Specific surface area) ที่ 5 ถึง 100 ตารางเมตรต่อกรัม ขนาดรวมตัว (Agglomerate size) ที่ 1 ถึง 40 ไมครอน, ขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยที่ 30 นาโนเมตรและความหนาแน่นประมาณ 1.9 ถึง 2.1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

การประยุกต์การใช้งานของไวท์คาร์บอนแบล็คมีหลากหลายประการ เช่น สารกรอง น้ำยาปรับผ้านุ่ม การปรับปรุงคุณภาพยางและพลาสติก การบำรุงสุขภาพฟัน กระบวนการทำอาหารและยา เป็นต้น

2.3 กระบวนการผลิตไวท์คาร์บอนแบล็คด้วยชานอ้อย

ในชานอ้อยที่เป็นชีวมวลทางการเกษตรสามารถพบไวท์คาร์บอนแบล็คที่มีปริมาณมากและสามารถนำมาใช้ต่อได้ ในงานวิจัยที่ผ่านมาพบไวท์คาร์บอนแบล็คจากเศษเถ้าของชานอ้อยที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 400 ถึง 1,000 องศาเซลเซียส โดยพบปริมาณของไวท์คาร์บอนแบล็คประมาณร้อยละ 60 ต่อมางานวิจัยฉบับอื่น ยังรายงานว่า ชานอ้อยที่นำไปแช่ด้วยกรดต่างๆ เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ก่อนนำไปเผาที่อุณหภูมิที่กล่าวมาข้างต้น จะทำให้ได้ร้อยละของไวท์คาร์บอนแบล็คที่มีปริมาณมากขึ้น เนื่องจากกรดที่นำไปแช่จะกำจัดสิ่งเจือปนของโลหะต่างๆ ทำให้ร้อยละของไวท์คาร์บอนแบล็คมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 95.55

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงศึกษาและเปรียบเทียบกรดชนิดต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็ค เพื่อเลือกชนิดของกรดที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4 โปรแกรม Aspen plus [5]

โปรแกรม Aspen plus เป็นโปรแกรมที่ใช้อย่างแพร่หลายในการจำลองกระบวนการผลิต โดยบริษัท Aspentech, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ผลิต ในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ใช้โปรแกรม Aspen Plus เวอร์ชัน 9 ในการจำลองกระบวนการผลิตไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อย โปรแกรมจะทำงานในรูปแบบลักษณะของแผนภูมิกล่องที่สอดคล้องกับการทำงานที่แทนแต่ละกล่อง คือ ยูนิตในกระบวนการผลิต โปรแกรมประกอบด้วยฐานข้อมูลต่างๆ อาธิเช่น ข้อมูลทางกายภาพ ข้อมูลทางเคมี ข้อมูลทางอุณหพลศาสตร์ที่หลากหลาย โดยการจำลองการผลิตที่มีความแม่นยำสูงจะต้องระบุข้อมูลที่จำเป็นต่อการจำลองกระบวนการผลิต คือ

1) อัตราการไหล องค์ประกอบและสภาวะการทำงานของสายขาเข้า
2) สภาวะการทำงานของยูนิตแต่ละตัวที่ใช้ในการจำลองกระบวนการผลิต
3) งานและความร้อนของกระบวนการผลิต

โปรแกรมจะจำลองกระบวนการผลิตโดยการคำนวณอัตราการไหล องค์ประกอบ และสภาวะของผลิตภัณฑ์จากข้อมูลที่ผู้ใช้ป้อนให้กับโปรแกรม

2.4.1 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์รีฟลักซ์

เครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 จำลองการเกิดรีฟลักซ์ของการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อย โดยในขั้นตอนนี้เป็นการกำจัดโลหะออกไซด์ออกจากชานอ้อย ปฏิกิริยาทั้งหมดที่เกิดขึ้นมีดังนี้

$$CaO + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O \quad (2.3)$$

$$MgO + 2HCl \rightarrow MgCl_2 + H_2O \quad (2.4)$$

$$Na_2O + 2HCl \rightarrow 2NaCl + H_2O \quad (2.5)$$

2.4.2 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์เผา

เครื่องปฏิกรณ์ที่ 2 จำลองการเผาของการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อย โดยในขั้นตอนนี้เป็นการกำจัดเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกจากชานอ้อยที่ผ่านการรีฟลักซ์ ปฏิกิริยาทั้งหมดที่เกิดขึ้นมีดังนี้

$$C_6H_{10}O_5 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 5H_2O \quad (2.6)$$

$$C_5H_8O_4 + 5O_2 \rightarrow 5CO_2 + 4H_2O \quad (2.7)$$

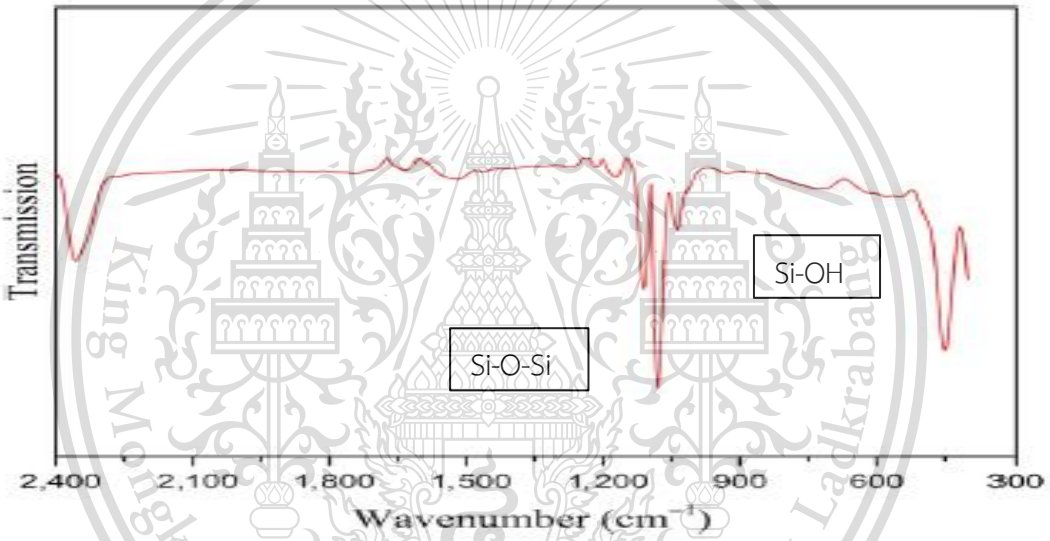
$$C_{10}H_{12}O_4 + 11O_2 \rightarrow 10CO_2 + 6H_2O \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 Qunpeng Cheng และคณะ [6]

ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมไวท์คาร์บอนแบล็คที่มีความบริสุทธิ์สูงจากเปลือกข้าว (แกลบ) ด้วยวิธีการทดลองที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อสกัดซิลิกาออกจากแกลบ โดยงานวิจัยฉบับนี้ศึกษาตัวแปรต่างๆ คืออุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการสกัด ค่า pH และสารเติมแต่ง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดไวท์-คาร์บอนแบล็คมีดังนี้ อุณหภูมิ เท่ากับ 610 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสกัด 2 ชั่วโมง 18 นาที ค่า pH สุดท้าย เท่ากับ 10 และสารเติมแต่งที่ใช้คือ CTMAB พบว่าได้ร้อยละของความบริสุทธิ์สูงถึง 99.9 จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี FT-IR พบหมู่ฟังก์ชั่น คือ Si-O-Si และ Si-O-(H,H2O) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบของแกลบ



รูปที่ 2.1 กราฟ FTIR ของ WCB

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบตัวอย่างการทดลอง

ตัวอย่าง	แกลบทั่วไป	แกลบที่ผ่านการปรับปรุง
ปริมาณ SiO_2 (%)	≥ 90.00	99.39
น้ำหนักที่หายจากการเผา (กรัม)	≤7.00	1.70
ค่า pH	5.00 – 8.00	6.40
Cu (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	≤ 10.00	-
Mn (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	≤ 40.00	13.20
Fe (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	≤ 500.0	86.00

2.5.2 Mohammad Khan และคณะ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ไวท์คาร์บอนแบล็คจากเปลือกข้าว (แกลบ) ด้วยวิธีการทดลองที่ใช้กรดไฮโดรคลอริก เพื่อกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน โดยงานวิจัยฉบับนี้ศึกษาตัวแปร คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก พบว่ากรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 5 โมลต่อลิตร ได้ร้อยละของไวท์คาร์บอนแบล็คที่สูงที่สุด ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างการทดลอง

สารประกอบ	แกลบทั่วไป (% wt)	แกลบที่ผ่านการแช่กรด (% wt)	แกลบที่เผาหลังแช่กรด (% wt)
SiO_2	84.35	93.73	99.9
Al_2O_3	2.33	0.22	0.04
Cr_2O_3	0.82	0.14	0.01
CaO	2.83	1.20	0.02
SO_3	0.26	0.17	-
Fe_2O_3	2.63	0.70	0.02
K_2O	2.36	0.20	0.01
ZnO	0.04	0.08	-
MgO	1.71	-	-
Rb_2O	0.03	-	-
MnO	0.27	-	-
NiO	0.07	-	-
CuO	0.01	-	-
TiO_2	0.14	-	-
Na_2O	0.21	-	-
P_2O_5	1.94	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5.3 Hongyu Gao และคณะ [8]

ศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ไวท์คาร์บอนแบล็คจากตะกรันเตาถลุงเหล็กที่ลดอุณหภูมิด้วยน้ำด้วยวิธีการทดลองที่ใช้กรดไฮโดรคลอริก เพื่อกำจัดโลหะอัลคาไลน์และโลหะอัลคาไลน์เอิร์ธ โดยงานวิจัยฉบับนี้ศึกษาตัวแปร คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก พบว่ากรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 5 โมลต่อลิตร ได้ร้อยละของไวท์คาร์บอนแบล็คที่สูงที่สุด แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างการทดลอง

ออกไซด์	ตะกรัน (% wt)	WCB 1 โมล/ลิตร (% wt)	WCB 3 โมล/ลิตร (% wt)	WCB 5 โมล/ลิตร (% wt)
SiO_2	32.010	84.430	86.790	91.320
Al_2O_3	14.940	0.690	0.190	0.090
Fe_2O_3	0.310	0.020	0.016	0.010
MgO	9.550	0.330	0.130	0.030
CaO	36.110	1.720	0.930	0.320
Na_2O	0.230	0.040	0.010	0.003
K_2O	0.220	0.040	0.010	0.002
MnO	0.460	0.050	0.020	0.010
TiO_2	1.150	0.460	0.100	0.060
P_2O_5	0.010	0.010	0.008	0.005
H_2O	5.020	12.220	11.806	8.155

2.5.4 พิมพ์นภา สวนสมบุญ มะลิวรรณ บุญรักษ์ และ วราภรณ์ จังธนสมบัติ [9]

ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตและสมบัติของไวท์คาร์บอนแบล็คเจลจากชานอ้อยที่ผ่านการแช่กรดไฮโดร-คลอริกโดยการเตรียมการทดลองทั้งหมด 2 สภาวะคือชานอ้อยที่ไม่ผ่านการแช่กรดไฮโดรคลอริกและชานอ้อยที่แช่กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตรเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าชานอ้อยที่แช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริกจะให้ปริมาณซิลิกา ขนาดรูพรุน พื้นที่ผิวจำเพาะ และปริมาตรรูพรุนที่สูงกว่าชานอ้อยที่ไม่ผ่านการแช่กรดไฮโดร-คลอริก แสดงในตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบชานอ้อย

องค์ประกอบทางเคมี	ชานอ้อยที่ไม่ผ่านการแช่กรด	ชานอ้อยที่ผ่านการแช่กรด
SiO_2 (% wt)	57.80	76.17
ขนาดรูพรุน (nm)	7.51	9.70
พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/g)	104.17	117.59
ปริมาตรรูพรุน (cm^3/g)	0.196	0.285

2.5.5 ภัทรนันท์ ทวดอาจ [10]

ศึกษาการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อยโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 2.0 2.5 และ 3.0 โมลต่อลิตร พบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 2.5 โมลต่อลิตรเป็นความเข้มข้นที่สามารถสกัดซิลิกาได้ร้อยละของผลผลิตเท่ากับ 55 ซึ่งมากกว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2.0 และ 3.0 ที่ได้ร้อยละของผลผลิตเท่ากับ 27 และ 31 ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2.5 โมลต่อลิตรแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยที่ผ่านการสกัด

ออกไซด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก
SiO_2	82.70
Al_2O_3	1.12
K_2O	4.06
CaO	3.55
Fe_2O_3	2.48
P_2O_5	2.47
SO_3	1.37
MgO	1.24
Mn_2O_3	0.60
TiO_2	0.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6.6 Donanta Dhaneswara และคณะ [11]

ศึกษาการสังเคราะห์ซิลิกาจากเปลือกข้าวโดยเลือกใช้กรด 2 ชนิด คือกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดคาร์บอนิก (CH_3COOH) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสกัดของกรดแต่ละชนิด เริ่มจากการนำเปลือกข้าวไปเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเปลือกข้าวมาสกัดกับสารละลายที่เตรียมไว้ พบว่าการใช้กรดไฮโดรคลอริก 1 โมลต่อลิตรผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 จะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ในการสังเคราะห์ซิลิกาจากชานอ้อยซึ่งวัดจากค่าพื้นที่ผิว BET ปริมาตรของรูพรุนและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุนแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 แสดงค่า BET ของซิลิกาที่สังเคราะห์จากเปลือกข้าว

สารเคมีที่ใช้	พื้นที่ผิว BET (m^2/g)	ปริมาตรรูพรุน (cm^3/g)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยรูพรุน (nm)
5% NaOH + 1M CH_3COOH	76.75	0.28	15.0
10% NaOH + 1M CH_3COOH	204.80	0.43	8.4
5% NaOH + 1M HCl	203.60	0.64	12.6
10% NaOH + 1M HCl	236.20	0.54	9.0

2.5.7 ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพและคณะ [12]

ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะและการทำให้บริสุทธิ์ของซิลิกาจากเถ้าชานอ้อยในการเสริมประสิทธิ์ภาพของยางธรรมชาติโดยการใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (NH_4F) ในการสกัดพบว่าการใช้กรดไฮโดรคลอริก 1 โมลต่อลิตรผสมกับแอมโมเนียมฟลูออไรด์ 4 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและคนตลอดเวลาจำนวน 2 ชั่วโมงสามารถพบปริมาณของซิลิกาสูงถึงร้อยละ 97 แสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 แสดงองค์ประกอบทางเคมีวัดผลด้วยวิธี XRF

องค์ประกอบทางเคมี	เปลือกข้าว (% wt)	เปลือกข้าวสกัดด้วย HCl (% wt)	เปลือกข้าวสกัดด้วย HCl+NH_4F (% wt)
ไวท์คาร์บอนแบล็ค	77.2	90.6	97.0
โลหะออกไซด์อื่นๆ	22.8	9.4	3.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5.8 Bogeshwaran Karunanithi และคณะ [13]

ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตซิลิกาจากเปลือกข้าวโดยการนำเปลือกข้าวไปเผาที่อุณหภูมิ 500 ถึง 700 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 – 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมงครึ่ง จะให้ปริมาณซิลิกาที่ร้อยละ 67.22 แสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 แสดงธาตุที่พบในเปลือกข้าวที่อุณหภูมิ 600°C ระยะเวลา 4.5 hr.

ธาตุที่พบ	หน่วยความเข้มข้น (Cps)	ร้อยละที่พบ
Si	7802.924	67.220
K	1739.700	14.987
Cl	1010.824	8.700
Ca	996.547	8.580
Al	34.880	0.300
Na	15.921	0.137
Mg	68.920	0.059

2.5.9 Shanjida Sultana และคณะ [14]

ศึกษาอิทธิพลของการเผาส่งผลต่อคุณสมบัติของชานอ้อยและเถ้าของเสีย โดยทำการทดลองเผาชานอ้อยและเถ้าของเสียที่อุณหภูมิ 400 ถึง 1,000 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสจะให้ปริมาณซิลิกามากที่สุด ที่ร้อยละ 62.57 แสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 แสดงปริมาณของออกไซด์ที่อุณหภูมิต่างๆ

ออกไซด์	ชานอ้อยดิบ	400°C	600°C	800°C	1000°C
SiO_2	60.75	62.55	61.93	62.57	62.40
Al_2O_3	4.14	4.31	4.44	4.70	5.02
Na_2O	0.77	0.66	0.74	0.86	0.83
MgO	2.39	2.20	2.43	2.34	2.27
P_2O_5	3.39	3.37	3.42	3.40	3.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.10 (ต่อ) แสดงปริมาณของออกไซด์ที่อุณหภูมิต่างๆ

ออกไซด์	ชานอ้อยดิบ	400°C	600°C	800°C	1000°C
SO_3	1.81	1.70	1.73	1.71	1.79
K_2O	14.63	14.37	14.25	13.86	13.40
CaO	4.48	3.56	3.71	3.49	3.69
Fe_2O_3	5.27	4.88	5.01	4.87	5.71

2.5.10 ศ.ดร.ปริญญา จินดาประเสริฐ และ รศ.ดร.อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ [15]

ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตซิลิกาจากชานอ้อยเพื่อใช้เป็นฟิลเตอร์สีโฟโตโครมิก โดยสกัดซิลิกาจากชานอ้อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลต่อลิตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณซิลิกาที่ร้อยละ 66.3 แสดงในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 แสดงปริมาณออกไซด์ที่พบ

ออกไซด์	ร้อยละที่พบของชานอ้อยดิบ	ร้อยละที่พบของชานอ้อยที่ผ่านการแช่กรด
SiO_2	54.9	66.3
Al_2O_3	7.8	4.6
CaO	4.9	0.8
Fe_2O_3	10.0	10.4
SO_3	1.2	0.2
MgO	2.5	1.7
K2O	3.0	1.2
Na_2O	0.2	0.2
Other	3.2	2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.12 เปรียบเทียบปริมาณซิลิกาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	สารเคมีที่ใช้	ปริมาณซิลิกาที่ได้ (% wt)
Qunpeng Cheng และคณะ	10%NaOH + CTMAB	99.39
Mohammad Khan และคณะ	10%HCl	99.90
Hongyu Gao และคณะ	HCl 5 Molar	91.32
พิมพ์นภา สวนสมบุญ และคณะ	HCl 1 Molar	76.17
ภัทรนันท์ ทวดอาจ	NaOH 2.5 Molar	82.70
Donanta Dhaneswara และคณะ	HCl 1 Molar + 10% NaOH	98.50
ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพและคณะ	HCl 1 Molar + NH_4F 4 Molar	97.00
Bogeshwaran Karunanithi และคณะ	4% NaOH	67.22
Shanjida Sultana และคณะ	-	62.57
ศ.ดร.ปริญญา จินดาประเสริฐ และ รศ.ดร.อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์	HCl 1 Molar	66.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3
ขั้นตอนการทดลอง

งานวิจัยนี้จะศึกษาการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็ค (White Carbon Black, WCB) จากชานอ้อยโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus เวอร์ชัน 9 ในการจำลองกระบวนการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คโดยกระบวนการจำลองมีเครื่องปฏิกรณ์หลัก 2 เครื่อง เครื่องที่ 1 เป็นเครื่องที่จำลองการรีฟลักซ์ของกระบวนการสกัดด้วยกรด เพื่อกำจัดสารประกอบชนิดอื่น เช่น โลหะอัลคาไลน์ โลหะอัลคาไลน์เอิร์ธและสารตกค้างชนิดอื่นๆ เครื่องที่ 2 เป็นเครื่องที่จำลองการเผาที่อุณหภูมิสูง เพื่อกำจัดเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน

3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี

3.1.1 กรดไฮโดรโดรคลอริก 3 โมลต่อลิตร

3.1.2 น้ำ

3.1.3 ชานอ้อย ซึ่งมีองค์ประกอบของสารในสายขาเข้าดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของสารในสายขาเข้า

สายขาเข้า	องค์ประกอบ	สัดส่วนโดยมวล
RM	เซลลูโลส	0.39
	เฮมิเซลลูโลส	0.37
	ลิกนิน	0.21
	ไวท์คาร์บอนแบล็ค	0.01
	โลหะออกไซด์	0.02
HCL	กรดไฮโดรคลอริก	0.15
	น้ำ	0.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 หน่วยที่ใช้ในการจำลองกระบวนการ

3.2.1 หน่วยผสม

3.2.2 หน่วยปฏิกรณ์รีฟลักซ์

3.2.3 หน่วยปฏิกรณ์เผา

3.2.4 หน่วยให้ความร้อน

3.2.5 หน่วยแยกสาร

ซึ่งสภาวะในการดำเนินงานของอุปกรณ์แต่ละหน่วย แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สภาวะการดำเนินการของหน่วยการจำลอง

ชื่อหน่วยปฏิบัติการ	แบบจำลองที่ใช้	สภาวะ	
		อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (bar)
M-1	Mixer	25	1
R-1	Rstoi	110	1
R-2	Rstoi	600	1
S-1	Separator	25	1
H-1	Heater	110	1
H-2	Heater	600	1
C-1	Cooler	25	1

3.3 กระบวนการจำลอง

แผนภาพกระบวนการเตรียมไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อยในรูปที่ 3.1 ซึ่งมีขั้นตอนในการจำลองดังนี้

3.3.1 ใส่สารในสายเข้า 2 สาย คือ สายกรดที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและสายชานอ้อยเข้าหน่วยผสม (M1)

3.3.2 สารจากหน่วยผสม (M1) เข้าสู่หน่วยให้ความร้อนที่ 1 (H1)

3.3.3 สารจากหน่วยให้ความร้อนที่ 1 (H1) เข้าสู่หน่วยปฏิกรณ์การรีฟลักซ์ (R1) โดยหน่วยปฏิกรณ์รีฟลักซ์ ทำงานที่สภาวะอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสและความดัน 1 บรรยากาศ

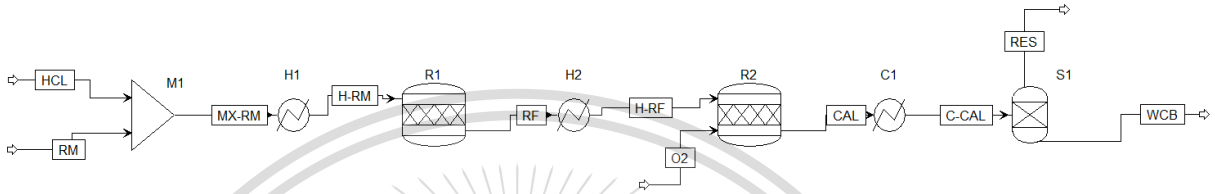
3.3.4 สารจากหน่วยปฏิกรณ์รีฟลักซ์ (R1) เข้าสู่หน่วยให้ความร้อนที่ 2 (H2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.5 สารจากหน่วยให้ความร้อนที่ 2 (H2) เข้าสู่หน่วยปฏิกรณ์เผา (R2) โดยหน่วยปฏิกรณ์เผาทำงานที่สภาวะอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสและความดัน 1 บรรยากาศ

3.3.6 สารจากหน่วยปฏิกรณ์เผา (R1) เข้าสู่หน่วยให้ความเย็นที่ 1 (C1)

3.3.7 สารจากหน่วยให้ความเย็นที่ 1 (C1) เข้าสู่หน่วยแยกสาร (S1) โดยได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคือไวท์คาร์บอนแบล็ค



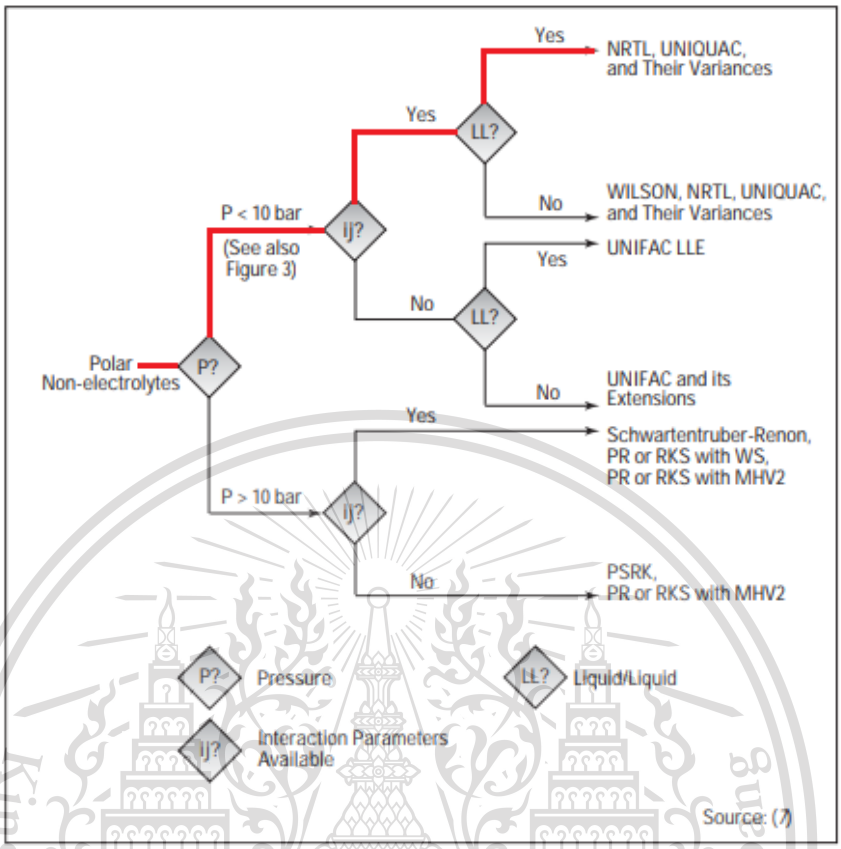
รูปที่ 3.1 แผนภาพกระบวนการเตรียมไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อย

3.4 แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์

กระบวนการจำลองการเตรียมไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อยประกอบด้วย สารไฮโดรคาร์บอนจากสารชีวมวล น้ำ กรดไฮโดรคลอริก และแก๊สออกซิเจน โดยสารส่วนใหญ่เป็นสารที่มีขั้วและแตกตัวได้น้อย เมื่อเทียบกับปริมาณที่ผลิตได้ รวมถึงสภาวะในกระบวนการผลิตนี้ใช้ความดันต่ำกว่า 10 bar เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.2 ดังนั้นแบบจำลองอุณหพลศาสตร์ที่เลือกใช้ คือ Universal Quasi-Chemical (UNIQUAC) [16] ซึ่งแบบจำลองนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อทำให้ทฤษฎี Quasi-Chemical ของ Guggenheim เข้าใจได้ง่าย แสดงให้เห็นดังสมการที่ 3.1

$$\frac{g^E}{RT} = \sum_{i=1}^{n} x_i \ln\left(\frac{\Phi_i}{x_i}\right) + \frac{Z}{2}\sum_{i=1}^{n} q_i x_i \ln\frac{\theta_i}{\Phi_i} - \sum_{i=1}^{n} x_i q_i \ln\left[\sum_{j=1}^{n}\theta_j \exp\left(-\frac{\lambda_{ij}-\lambda_{ii}}{q_i RT}\right)\right] \qquad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการเลือกแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

การดำเนินงานจะพิจารณาจากการจำลองกระบวนการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็ค (White Carbon Black ,WCB) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยข้อมูลที่ใช้ประกอบการพิจารณามีดังนี้

4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการสกัด

งานวิจัยทั้งที่เกี่ยวข้องทั้งหมดมีวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดที่แตกต่างกันโดยวัตถุดิบทั้งหมดที่ได้ศึกษา คือ เปลือกข้าว ชานอ้อย และตะกรันเตาถลุงเหล็ก เปรียบเทียบร้อยละของไวท์คาร์บอนแบล็คจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ โดยมีความเข้มข้นเท่ากันที่ 1 โมลต่อลิตร แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบร้อยละของผลผลิตกับวัตถุดิบที่ใช้

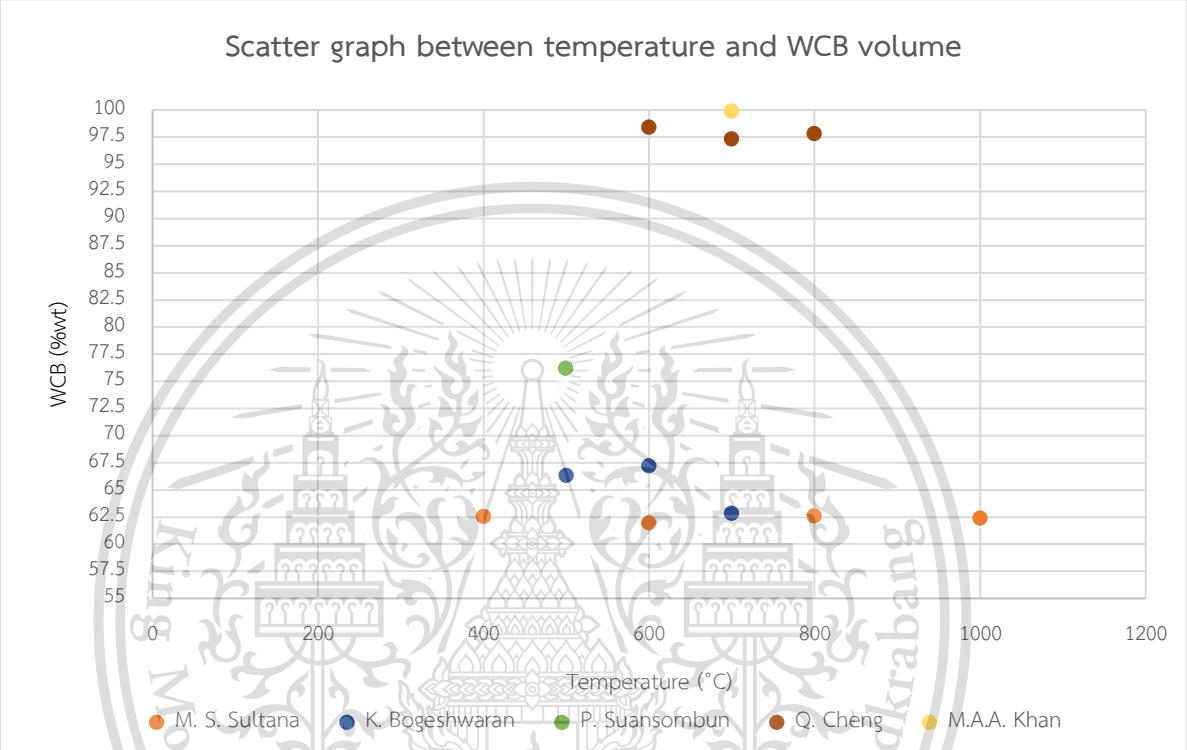
งานวิจัย	วัตถุดิบที่ใช้	ร้อยละ WCB ที่ได้
Qunpeng Cheng และคณะ [6]	เปลือกข้าว	99.39
Hongyu Gao และคณะ [7]	ตะกรันเตาถลุงเหล็ก	84.43
พิมพ์นภา สวนสมบุญ และคณะ [9]	ชานอ้อย	76.17

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 พบว่า เปลือกข้าวและชานอ้อยมีร้อยละของไวท์คาร์บอนแบล็คที่ร้อยละ 99.39 และ 76.17 ตามลำดับ งานวิจัยนี้ต้องการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คจากวัสดุเหลือทิ้งในธรรมชาติ และต้องการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อยให้มีปริมาณร้อยละที่สูงขึ้น จึงเลือกชานอ้อยมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

จากการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเผาของชานอ้อย พบว่ามีการใช้อุณหภูมิในการเผาที่แตกต่างกันตั้งแต่ 400 ถึง 1000 องศาเซลเซียส ดังเสดงในรูปที่ 4.1

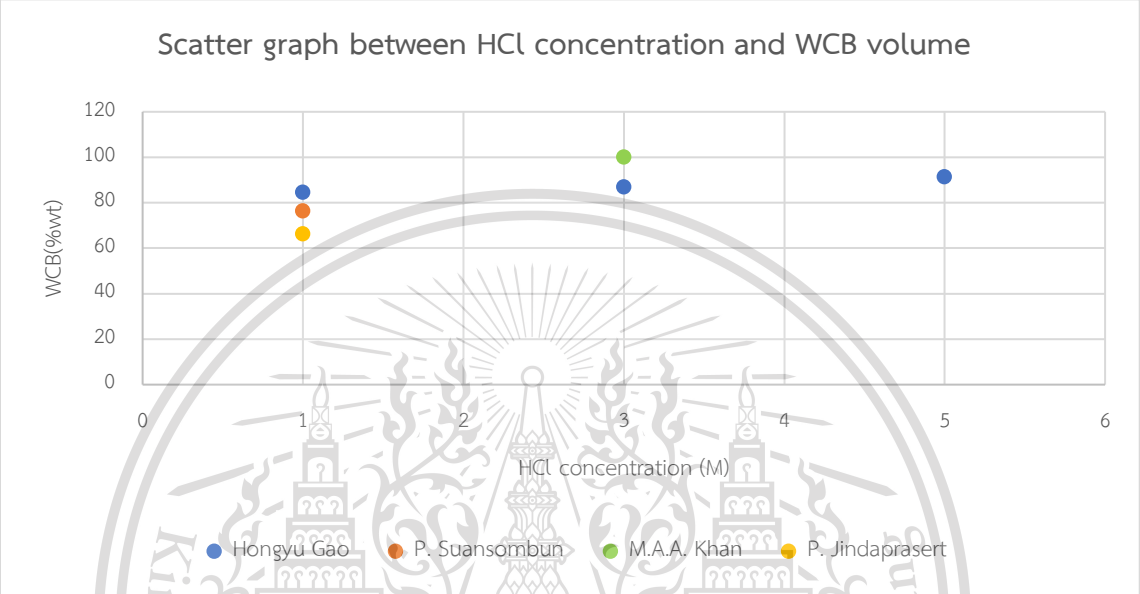


รูปที่ 4.1 กราฟระหว่างอุณหภูมิกับร้อยละของไวท์คาร์บอนแบล็ค

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 500 ถึง 700 องศาเซลเซียส และจากงานวิจัยของ Qunpeng Cheng และคณะ [6] ซึ่งใช้เปลือกข้าวเป็นวัตถุดิบ และทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Response surface analysis พบว่าที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสให้ปริมาณไวท์คาร์บอนแบล็คมากที่สุดที่ร้อยละ 98.41 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bogeshwaran Karunanithi และคณะ [13] ซึ่งใช้ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบ พบว่าที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณไวท์คาร์บอนแบล็คมากที่สุดที่ร้อยละ 67.22 จากข้อมูลข้างต้น จึงนำมาพิจารณาเลือกอุณหภูมิที่ใช้ในการจำลอง คือ 600 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมไวท์คาร์บอนแบล็คที่เลือกกรดไฮโดรคลอริกเป็นสารเคมีที่ใช้การสกัดพียงชนิดเดียว พบว่ามีการใช้ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 1 ถึง 5 โมลต่อลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟระหว่างความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกกับร้อยละของไวท์คาร์บอนแบล็ค

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองคือความเข้มข้น 3 โมลต่อลิตร โดยพิจารณาจากงานวิจัยของ M.A.A. Khan [8] ที่เลือกเปลือกข้าวเป็นวัตถุดิบซึ่งเป็นวัตถุดิบชีวมวลเหมือนกับชานอ้อยและได้ร้อยละของผลผลิต คือร้อยละ 99.9 จึงเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดที่เลือกใช้ในการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการจำลอง

จากการจำลองกระบวนการเตรียมไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อย พบว่าปริมาณสารสายขาเข้าและสายขาออก แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการจำลอง

องค์ประกอบ	สายเข้า (kg/hr)	สายออก (kg/hr)
Cellulose	19.50	1.95
Hemi-cellulose	18.50	1.85
Lignin	10.50	1.05
White Carbon Black	0.50	0.50
Ash	1.00	0.1
Salt	-	1.78
Hydrochloric acid	15.43	14.26
Water	84.57	108.89
Oxygen	100	42.10
Carbon dioxide	-	77.51
Total mass balance	250.0	250.0

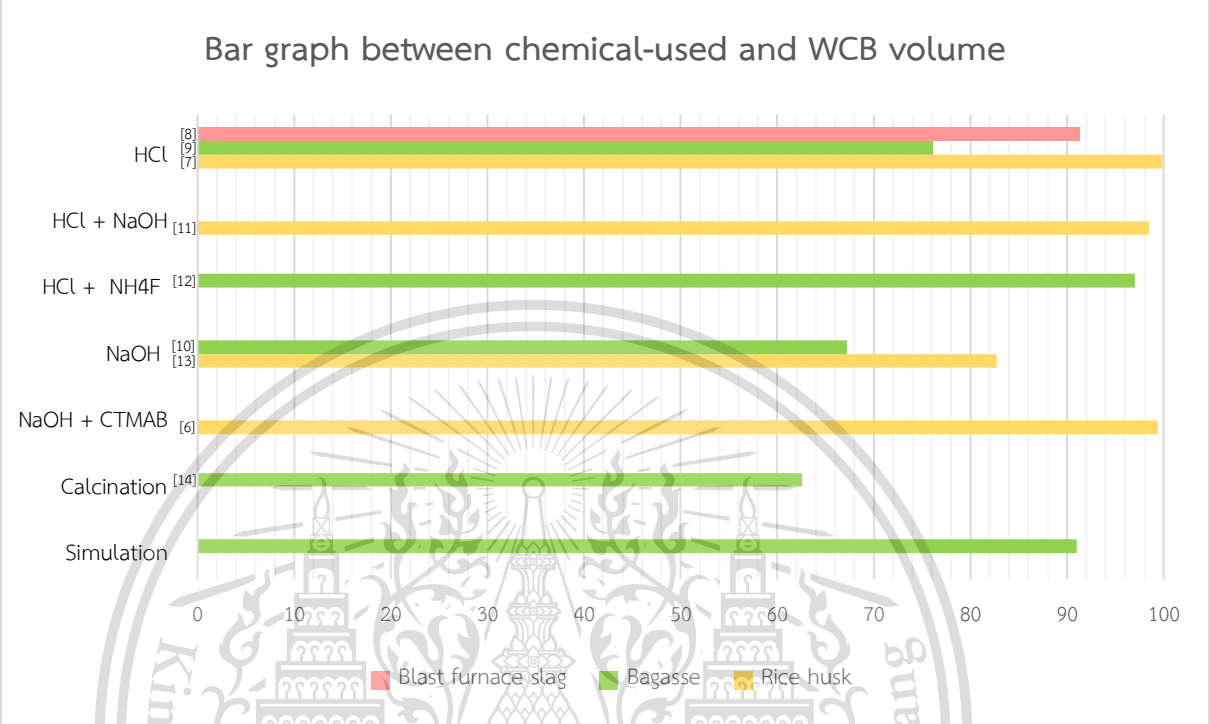
จากกระบวนการจำลองการเตรียมไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อย ได้ร้อยละของผลผลิต ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ร้อยละของผลผลิตจากการจำลองการสกัด

องค์ประกอบทางเคมี	สัดส่วนมวลผลผลิต	ร้อยละผลผลิต
ไวท์คาร์บอนแบล็ค	0.0065	90.99
เซลลูโลส	0.0061	3.55
เฮมิเซลลูโลส	0.0035	3.37
ลิกนิน	0.1669	1.91
โลหะออกไซด์	0.0003	0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นอกจากนี้ได้รวบรวมงานวิจัยที่ทำการศึกษาการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คที่ใช้วัตถุดิบและสารเคมีชนิดต่างกัน ร่วมกับผลการจำลองกระบวนการที่ได้จากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแท่งระหว่างสารเคมีที่ใช้กับร้อยละของไวท์คาร์บอนแบล็ค

จากกราฟข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าการจำลองกระบวนการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คให้ร้อยละของผลผลิตที่ ร้อยละ 90.99 ซึ่งเป็นปริมาณค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อยของงานวิจัยท่านอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4 คุณลักษณะที่ได้จากการสกัด

4.4.1 BET Surface Area

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะด้วยวิธี BET ซึ่งเป็นเทคนิคการหาพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนและขนาดรูพรุนด้วยการแทนที่ด้วยแก๊สไนโตรเจน แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า BET surface area

วัตถุดิบที่ใช้	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/g)	ปริมาตรรูพรุน (cm^3/g)	ขนาดรูพรุน (nm)
ตะกรันเตาถลุงเหล็ก [7]	245.00	0.180	3.5
ชานอ้อย [9]	117.59	0.285	9.7
เปลือกข้าว [11]	236.20	0.540	9.0
ชานอ้อย [12]	84.52	0.55297	161.2

จากตารางที่ 4.4 แสดงถึงค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุน และขนาดของรูพรุน โดยค่าของงานวิจัยแต่ละท่านมีค่าที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากวัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้ค่ามีความแตกต่างกัน

4.4.2 Fourier-Transform Infrared (FTIR)

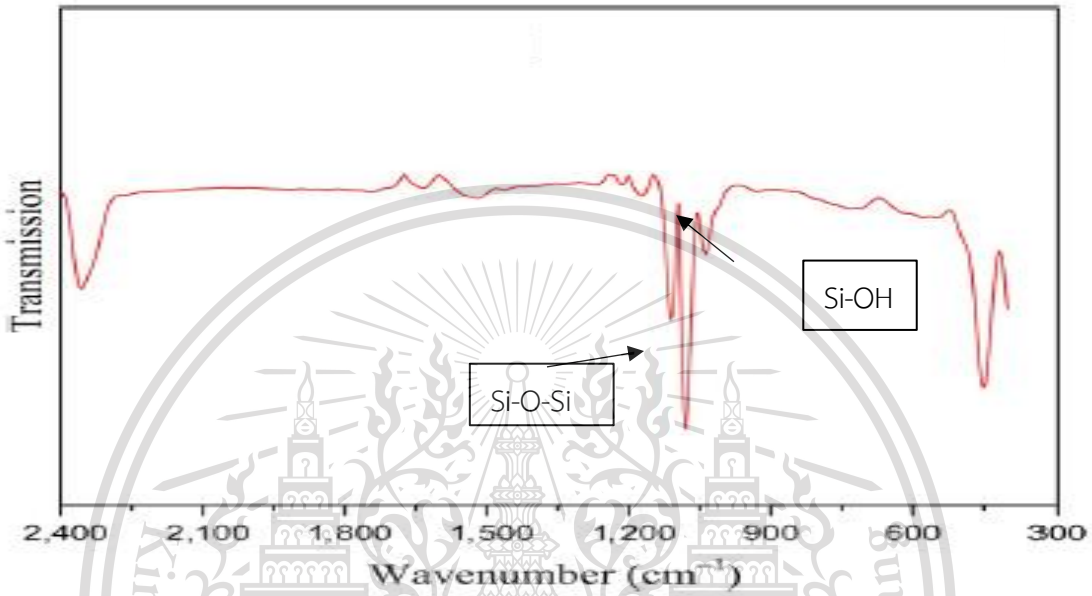
จากการวิเคราะห์คุณลักษณะของไวท์คาร์บอนแบล็คด้วยวิธี FTIR เป็นการวิเคราะห์ด้วยวิธีการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ทำให้เกิดช่วงคลื่นกลาง แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าหมู่ฟังก์ชันด้วยวิธี FTIR

วัตถุดิบที่ใช้	หมู่ฟังก์ชัน	
	Si-O-Si	Si-OH
เปลือกข้าว [6]	1109.77	967.66
เปลือกข้าว [8]	1116.00	845.00
ตะกรันเตาถลุงเหล็ก [7]	1067.50	952.00
ชานอ้อย [10]	1320.00	82.70
เปลือกข้าว [11]	1071.89	959.66
ชานอ้อย [12]	1074.96	-
ชานอ้อย [15]	1050.00	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงค่าหมู่ฟังก์ชัน Si-O-Si ซึ่งส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในช่วง 1050 ถึง 1116 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชัน Si-OH แสดงค่าในช่วง 845 ถึง 967.66 แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 4.4

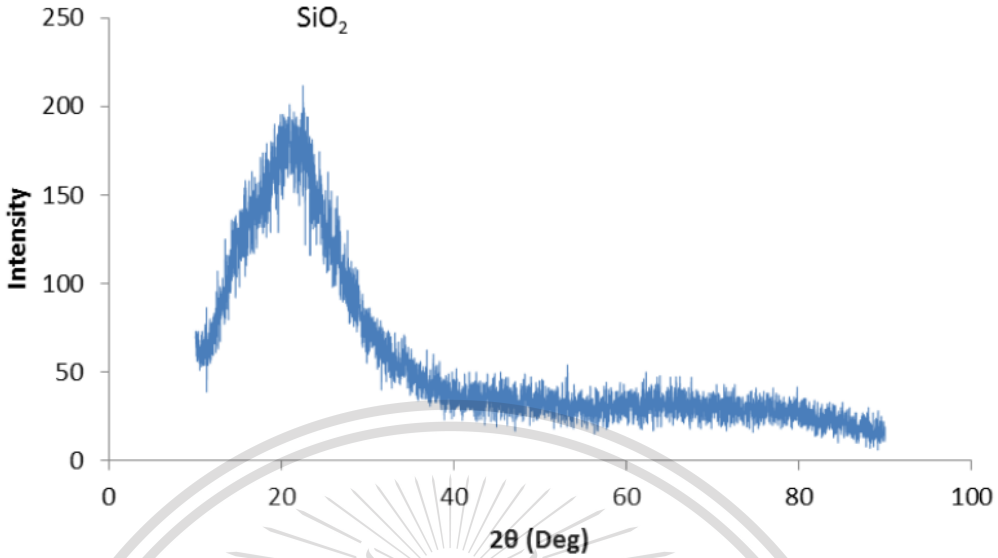


รูปที่ 4.4 แสดงการศึกษาด้วยวิธี FT-IR [6]

4.4.3 X-ray Diffraction (XRD)

ค่า XRD เกิดจากการเลี้ยวเบนและสะท้อนออกมาของรังสีเอ็กซ์ องค์ประกอบของสารแต่ละตัวจะมีค่ามุมในองศาที่แตกต่างกัน สำหรับไวท์คาร์บอนแบล็คจะมีองศาการเลี้ยวเบนอยู่ที่ $2\theta = 22^{\circ}$ งานวิจัยของแต่ละท่านมีกราฟลักษณะที่คล้ายคลึงกัน แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.5 แสดงการศึกษาด้วยวิธี XRD [8]

4.5 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการจำลอง

การสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อยโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 โมลต่อลิตรในการรีฟลักซ์ให้ปริมาณไวท์คาร์บอนแบล็คที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับงานวิจัยของท่านอื่นที่ใช้ชานอ้อยและเลือกใช้สารเคมีเพียงสารเดียวหรือเลือกที่จะเผาเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อเทียบกับงานวิจัยที่ใช้สารเคมีมากกว่า 1 ชนิดจะมีปริมาณไวท์คาร์บอนแบล็คที่น้อยกว่า เนื่องจากการใช้สารเคมีมากกว่า 1 ชนิดเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น

การสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อยให้ปริมาณไวท์คาร์บอนแบล็คที่น้อยกว่าการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คจากเปลือกข้าว (แกลบ) เนื่องจากปริมาณไวท์คาร์บอนแบล็คที่พบในเปลือกข้าวมีปริมาณที่สูงกว่าชานอ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในการศึกษาการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คมีเริ่มต้นจากการศึกษางานวิจัยต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกวัตถุดิบและสภาวะที่ใช้ วัตถุดิบที่ใช้ศึกษา คือ เปลือกข้าว ชานอ้อยและตะกรันเตาถลุงเหล็กโดยศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบแต่ละชนิด พบว่ามีร้อยละของไวท์คาร์บอนแบล็ค 99.39 76.17 และ 84.43 ตามลำดับ ต่อมาได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็ค โดยศึกษาสารเคมีความเข้มข้นที่ใช้และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเผา พบว่า กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 3 โมลต่อลิตร และอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสมีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำไปสกัดไวท์คาร์บอนแบล็ค จากนั้นนำข้อมูลที่ศึกษาทั้งหมดนี้ มาใช้ในการจำลองกระบวนการเตรียมไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อย ด้วยโปรแกรม Aspen plus v.9 ในการจำลองกระบวนการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น 2 ปฏิกิริยาหลัก คือ ปฏิกิริยารีฟลักซ์ด้วยกรดเพื่อกำจัดโลหะออกไซด์ที่เจือปนอยู่ในชานอ้อยและปฏิกิริยาการเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อกำจัดเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินในชานอ้อย ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือไวท์-คาร์บอนแบล็คที่ร้อยละ 90.99 และพบว่าร้อยละที่ได้จากการจำลองมีค่าสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในกระบวนการจำลองการสกัดไวท์คาร์บอนแบล็คใช้สารเคมีเพียงชนิดเดียวในการจำลอง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดและปริมาณของไวท์คาร์บอนแบล็คที่สูงขึ้น การใช้สารเคมีที่มากกว่า 1 ชนิด คาดว่าจะทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดและปริมาณของไวท์คาร์บอนแบล็คที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

[1] “รายงานสถานการณ์การปลูกอ้อย 2562 63.pdf.” .

[2] “อ้อย - วิกิพีเดีย.” https://th.wikipedia.org/wiki/อ้อย (accessed Dec. 14, 2020).

[3] N. Ameram *et al.*, “Chemical composition in sugarcane bagasse: Delignification with sodium hydroxide,” *Malaysian J. Fundam. Appl. Sci.*, vol. 15, no. 2, pp. 232–236, 2019, doi: 10.11113/mjfas.v15n2.1118.

[4] D. J. Conley and E. Struyf, “Silica,” *Encycl. Inl. Waters*, pp. 85–88, 2009, doi: 10.1016/B978-012370626-3.00100-9.

[5] K. Machner, “Die Mikrobestimmung von Hippursäure im Urin,” *Fresenius’ Zeitschrift für Anal. Chemie*, vol. 163, no. 1, p. 69, 1958, doi: 10.1007/BF00447266.

[6] Q. Cheng *et al.*, “Preparing high purity white carbon black from rice husk,” *Food Sci. Nutr.*, vol. 8, no. 1, pp. 575–583, 2020, doi: 10.1002/fsn3.1345.

[7] H. Gao, Z. Song, L. Yang, and H. Wu, “Synthesis method of white carbon black utilizing water-quenching blast furnace slag,” *Energy and Fuels*, vol. 30, no. 11, pp. 9645–9651, 2016, doi: 10.1021/acs.energyfuels.6b02154.

[8] M. Khan, M. Saha, S. Sultana, and A. Ahmed, “Preparation and Characterization of White Carbon Black From Rice Husk,” *J. Environ. Sci. Nat. Resour.*, vol. 9, no. 2, pp. 1–7, 2017, doi: 10.3329/jesnr.v9i2.32135.

[9] P. Suansomboon, M. Bunrak, and W. Jungtanasombut, “ที่ ผ ่ านการแช ่ กรดไฮโดรคลอร ิ ก Production and Characterization of Silica Gel from Hydrochloric Acid Treated Sugarcane Bagasse.” 2019.

[10] B. Ash, “Production and Characterization of Silica Powder from Sugarcane.”

[11] D. Dhaneswara, J. F. Fatriansyah, F. W. Situmorang, and A. N. Haqoh, “Synthesis of Amorphous Silica from Rice Husk Ash: Comparing HCl and CH3COOH Acidification Methods and Various Alkaline Concentrations,” *Int. J. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 200–208, 2020, doi: 10.14716/ijtech.v11i1.3335.

[12] P. Huabcharoen, E. Wimolmala, T. Markpin, and N. Sombatsompop, “Purification and Characterization of Silica from Sugarcane Bagasse Ash as a Reinforcing Filler in Natural Rubber Composites,” *BioResources*, vol. 12, no. 1, pp. 1228–1245, 2017,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

doi: 10.15376/biores.12.1.1228-1245.

[13] H. Harsono, “Production of Amorphous Silica from Rice Husk Waste,” *J. Ilmu Dasar*, vol. 3, no. 2, pp. 98–102, 2002.

[14] M. S. Sultana, M. A. Rahman, M. N. Zaman, and A. N. Ahmed, “Influence of Calcination on Different Properties of Sugarcane Bagasse and Waste Ash,” *J. Sci. Res.*, vol. 7, no. 3, pp. 151–157, 2015, doi: 10.3329/jsr.v7i3.23523.

[15] P. Chindaprasirt and U. Rattanasak, “Eco-production of silica from sugarcane bagasse ash for use as a photochromic pigment filler,” *Sci. Rep.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–8, 2020, doi: 10.1038/s41598-020-66885-y.

[16] J. E. Edwards, “Process Modelling Selection of Thermodynamic Methods,” *Ebook*, vol. 44, no. 1642, pp. 1–38, 2008.

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

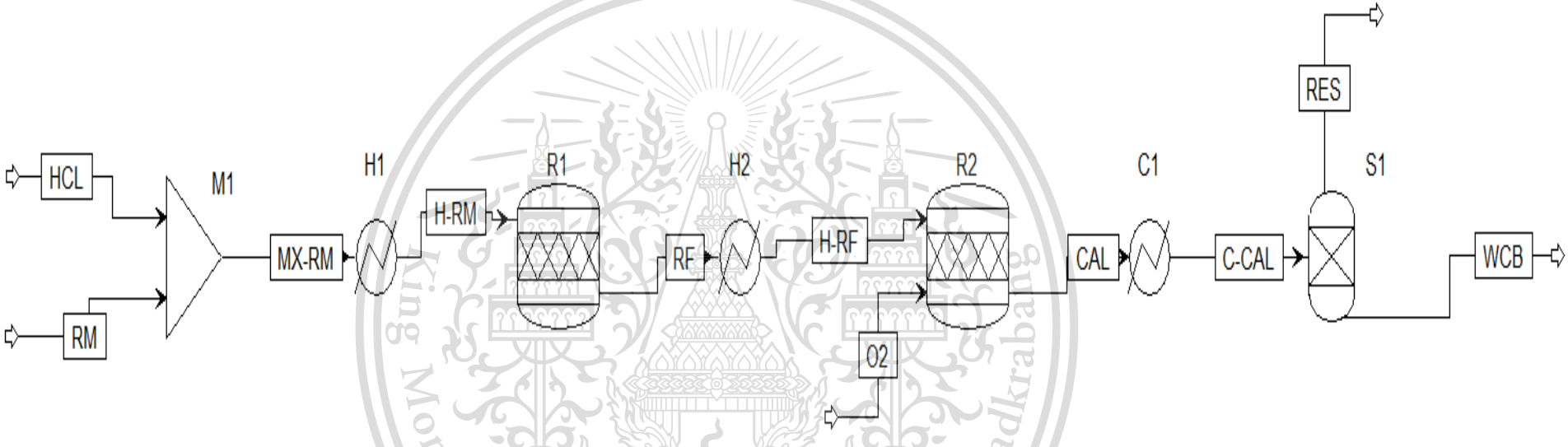
	Units	HCL	RM
− Mass Fractions			
C6H10O5		0	0.39
C5H8O4		0	0.37
C10H12O4		0	0.21
SIO2		0	0.01
ASH		0	0.02
SALT		0	0
HCL		0.154334	0
H2O		0.845666	0
O2		0	0
CO2		0	0

รูปที่ ก1 แสดงสัดส่วนมวลของสายสารตั้งต้นและสายตัวทำปฏิกิริยา

	Units	RES	WCB
− Mass Fractions			
C6H10O5		0.00781563	0.00651085
C5H8O4		0.00741483	0.00617696
C10H12O4		0.00420842	0.00350584
SIO2		0	0.166945
ASH		0.000400802	0.00033389
SALT		0.00713908	0.00594725
HCL		0.0571666	0.0476229
H2O		0.436445	0.363583
O2		0.168747	0.140576
CO2		0.310662	0.258798

รูปที่ ก2 แสดงสัดส่วนมวลของสายผลิตภัณฑ์และสายผลพลอยได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ ก3 แผนภาพกระบวนการจำลองการเตรียมไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อย(ขนาดใหญ่)

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางที่ ก1 อัตราการไหลเชิงมวล (kg/h) ในกระบวนการเตรียมไวท์คาร์บอนแบล็คจากชานอ้อย

	HCL	RM	MX-RM	H-RM	RF	H-RF	O2	CAL	C-CAL	WCB	RES
Phase	Mixed	Solid	Mixed	Mixed	Mixed	Mixed	Vapor	Mixed	Mixed	Mixed	Mixed
Temp (°C)	25	25	25	110	110	600	25	600	25	25	25
Pressure (bar)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Total mass flows (kg/h)	100	50	150	150	150	150	100	250	250	247.005	2.995
CELL	0	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	0	1.95	1.95	1.9305	0.0195
HEMICEL	0	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	0	1.85	1.85	1.8315	0.0185
LIGNIN	0	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	0	1.05	1.05	1.0395	0.0105
WCB	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0	0.5
ASH	0	1	1	1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.099	0.001
SALT	0	0	0	0	1.7812	1.7812	0	1.7812	1.7812	1.763388	0.017812
HCl	15.4334	0	15.4334	15.4334	14.26307	14.26307	0	14.26307	14.26307	14.12044	0.142631
H2O	84.5666	0	84.5666	84.5666	84.85573	84.85573	0	108.8931	108.8931	107.8042	1.088931
O2	0	0	0	0	0	0	100	42.10248	42.10248	41.68145	0.421025
CO2	0	0	0	0	0	0	0	77.5101	77.5101	76.735	0.775101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า