



ผลของการเติมสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะตะกอนของเชื้อเพลิงชีวมวล



โดย
นางสาวอารีศา มะเด็น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผลของการเติมสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะตะกอนของเชื้อเพลิงชีวมวล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

EFFECTS OF ADDITIVES ON SLAG CHARACTERISTICS OF BIOMASS FUEL



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Engineering (ENERGY ENGINEERING)
Department of MECHANICAL ENGINEERING
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2020
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ ผลของการเติมสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะตะกอนของเชื้อเพลิงชีว
มวล
โดย อาริศา มะเต็น
สาขาวิชา วิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระนุช อินทะกัณฑ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิติพงศ์ โสภณพงศ์พิพัฒน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระนุช อินทะกัณฑ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ กนกศิลป์ธรรม)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพาพร คำแดง)

60406204 : วิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : ชีวมวล, เถ้า, ตะกรัน, สารเติมแต่ง

นางสาว อาริศา มะเต็น: ผลของการเติมสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะตะกรันของเชื้อเพลิงชีวมวล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระนุช อินทะกัณฑ์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารเติมแต่งที่มีต่อการเกิดตะกรันของเชื้อเพลิงชีวมวล วัตถุประสงค์หลักในงานวิจัยนี้ได้แก่ห้ำ้ำมันสำปะหลัง, ช้างข้าวโพด และชานอ้อย สารเติมแต่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่เบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ โดยอัตราส่วนที่ใช้คือ 0%, 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% (โดยน้ำหนัก) งานวิจัยนี้หาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมเถ้าโดยการเผาชีวมวลที่อุณหภูมิ 580 ± 2 องศาเซลเซียสผ่านเครื่องเผาความร้อนอุณหภูมิสูง ตามมาตรฐาน ASTM D1102-84 จากการทดลองพบว่าระยะเวลาเหมาะสมสำหรับการเตรียมเถ้าของห้ำ้ำมันสำปะหลัง, ช้างข้าวโพด และชานอ้อย คือ 12, 6 และ 15 ชั่วโมง และทำการวิเคราะห์ผลของอัตราส่วนการเติมแต่งที่มีต่อปริมาณเถ้า, ลักษณะทางกายภาพของตะกรันชีวมวล น้ำหนักที่สูญเสีย และระดับของการเกิดตะกรัน โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 800, 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าปริมาณของสารเติมแต่งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณของเถ้าชีวมวลเพิ่มขึ้น การเติมสารเติมแต่งไม่ส่งผลต่อการหลอมของเถ้าชีวมวลชานอ้อย นอกจากนี้ผลของอัตราส่วนการเติมสารแต่งที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลพบว่า สารเติมแต่งประเภท Aluminium silicates based additive มีแนวโน้มปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียลดลง และสารเติมแต่งประเภท Calcium based additive ส่งผลให้น้ำหนักที่หายไปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับระดับของการเกิดตะกรันพบว่าเถ้าห้ำ้ำมันสำปะหลังและช้างข้าวโพดเกิดการหลอมเป็นตะกรัน ในขณะที่เถ้าชานอ้อยไม่เกิดการหลอม สามารถสรุปได้ว่าสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว และ Clay เป็นประเภท Aluminium silicates based additive และโดโลไมท์เป็นที่สารเติมแต่งประเภท Calcium based additive มีประสิทธิภาพในการลดแนวโน้มการละลายของเถ้าจากชีวมวลห้ำ้ำมันสำปะหลังและช้างข้าวโพด

60406204 : Major (ENERGY ENGINEERING)

Keyword : Biomass, Ash, Slag, Additive

MISS ARISA MADEN : EFFECTS OF ADDITIVES ON SLAG CHARACTERISTICS OF BIOMASS FUEL THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR WEERANUT INTAGUN, Ph.D.

The objective of the research is to study the effects of additives on slag characteristics of biomass fuel. The main raw materials in this research were cassava rhizomes, corn cobs and bagasse. The additives in this research were bentonite, kaolin, clay and dolomite at ratios 0%, 0.75%, 1%, 1.5% and 3% (by weight). In this paper, analyzes the appropriate condition for complete ash by burning the biomass at 580 ± 2 °C with muffle furnace according to the ASTM-D1102 standard. Experimental results showed that the optimal time for complete ash were 12, 6 and 15 hours. Analysis of the effects of additive ratios on ash content, physical characteristics of biomass slag, weight loss and the degree of slag formation. Study at temperature of 800, 900 and 1,000 °C. The results showed that high concentrations of additives affect content biomass ash increase. The addition of additives does not affect the melting of the bagasse biomass ash. In addition, the effect of the additive ratio on the weight loss of biomass. It was found that the aluminum silicates based additive tended to reduce the amount of weight loss. Calcium based additive affect in weight loss tended to increase. For the degree of slag formation, it was found that the cassava rhizomes and corncobs were fused into slag. While bagasse ash does not melt. It can be concluded that bentonite, kaolin clay and dolomite additives is efficient to decreased the sintering of ash from biomass cassava rhizome and corn cob.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถสำเร็จไปด้วยดีโดยได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทผศ.ดร.วีระนุช อินทะกันต์และ รศ.ดร.วิโรจน์ กนกศิลป์ธรรม อาจารย์ที่ปรึกษา ร่วม ที่แนะนำทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่อการทำงานวิจัยวิจัย อีกทั้งยังคอยติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินงานวิจัย ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. นิติพงศ์ โสภณพงศ์พิพัฒน์ ที่รับเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ทิพาพร คำแดง อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมและอุตสาหกรรม เกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ซึ่งเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะ และคำแนะนำในการแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับกำลังใจและความช่วยเหลือจาก บิดา มารดา และเพื่อน ๆ ตลอดจนบุคคลต่าง ๆ ที่ไม่สามารถเอ่ยนามได้ทั้งหมดผู้วิจัยรู้สึกขอบคุณในความกรุณา และความปรารถนาดีเป็นอย่างยิ่ง จึงขอคุณไว้ ณ โอกาสนี้

อารีศา มะเด็น



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนของการวิจัย.....	3
1.6 ความจำกัดของการวิจัย.....	3
1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 พลังงานหมุนเวียน.....	5
2.2 ชีวมวล.....	6
2.2.1 องค์ประกอบของชีวมวล.....	6
2.2.1.1 เซลลูโลส.....	6
2.2.1.2 เฮมิเซลลูโลส.....	6
2.2.1.3 ลิกนิน.....	7

2.2.2 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงชีวมวล	7
2.2.2.1 ค่าความร้อน.....	7
2.2.2.2 ปริมาณสารที่ระเหยได้	8
2.2.2.3 ปริมาณความชื้น.....	8
2.2.2.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว.....	8
2.2.2.5 กำมะถันรวม	8
2.3 เหน้้ำมันสำปะหลัง	9
2.4 ชานอ้อย	10
2.5 ชังข้าวโพด	11
2.5.1 การใช้ประโยชน์จากชังข้าวโพด	11
2.6 เถ้า.....	12
2.7 ตะกรัน.....	12
2.4.1 กลไกการเกิดตะกรัน.....	13
2.4.2 ปฏิกริยาที่มีผลต่อการเกิดตะกรัน	14
2.5 สารเติมแต่ง.....	14
2.5.1 เบนโทไนท์.....	14
2.5.2 ดินขาว.....	15
2.5.3. Clay	16
2.5.1.3 โดโลไมท์.....	17
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	23
3.1 แผนการดำเนินงาน	23
3.2 แผนการวิจัย	24
3.3 แผนการทดลอง	25

3.5	วิธีการทดลอง.....	26
3.5.1	การเตรียมวัตถุดิบ.....	27
3.5.2	การแยกอนุภาคชีวมวล.....	27
3.5.3	การอบไล่ความชื้น.....	28
3.5.4	การศึกษาหาเงื่อนไขในการเตรียมเก้าสมบูรณ์.....	28
3.5.5	การสารเติมแต่งในการวิจัย.....	29
3.5.6	การวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียและการเกิดระดับตะกอน.....	30
บทที่ 4	ผลการทดลอง.....	32
4.1	ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อปริมาณเก้าของชีวมวล.....	32
4.2	ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเก้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของ ชีวมวล.....	35
4.2.1	ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเก้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของ ชีวมวลแห้งมันสำปะหลัง.....	35
4.2.2	ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเก้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของ ชีวมวลซึ่งข้าวโพด.....	40
4.2.3	ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเก้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของ ชีวมวลชานอ้อย.....	45
4.3	ผลการวิเคราะห์ของสารเติมแต่งที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวล.....	49
4.3.1	ผลของอัตราส่วนที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวล.....	49
4.3.1.1	ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลแห้งมัน สำปะหลัง.....	49
4.3.1.2	การวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลซึ่งข้าวโพดที่เติมสารเติมแต่ง.....	54
4.3.1.3	ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลชานอ้อย.....	57
4.3.2	ผลของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวล.....	61
4.4	ผลการวิเคราะห์ของสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของการเกิดตะกอน.....	64

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การใช้พลังงานทดแทนของประเทศไทยปี 2562	5
ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินของชีวมวลต่างๆ.....	7
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของชีวมวล.....	9
ตารางที่ 2.4 วิเคราะห์ XRF Spectroscopic ของธาตุอนินทรีย์ในเถ้าแห้งมันสำปะหลัง	10
ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อย.....	10
ตารางที่ 2.6 สารประกอบอนินทรีย์ซังข้าวโพด.....	12
ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของเบนโทไนท์.....	15
ตารางที่ 2.8 องค์ประกอบทางเคมีของดินขาว.....	16
ตารางที่ 2.9 วิเคราะห์ XRF Spectroscopic ของธาตุอนินทรีย์ใน Clay	17
ตารางที่ 2.10 องค์ประกอบทางเคมีของโดโลไมท์.....	17
ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานในงานวิจัย.....	24
ตารางที่ 4.13 ระดับการเกิดตะกักรวมของชีวมวล	65



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 เหม่ง้ำมันสำปะหลัง	9
รูปที่ 2.2 ชานอ้อย.....	10
รูปที่ 2.3 ซังข้าวโพด.....	11
รูปที่ 2.4 แผนผังกลไกของตะกรัน [3]	13
รูปที่ 2.5 เบนโทไนท์	15
รูปที่ 2.6 เบนโทไนท์	16
รูปที่ 2.7 แร่เคลย์.....	17
รูปที่ 2.8 โดโลไมท์	18
รูปที่ 3.1 แผนการวิจัย.....	24
รูปที่ 3.2 แผนการทดลอง.....	25
รูปที่ 3.3 วิธีการทดลอง.....	26
รูปที่ 3.4 เครื่องสับหยาบ.....	27
รูปที่ 3.5 เครื่องสับละเอียด	27
รูปที่ 3.6 เครื่องคัดแยกขนาด	28
รูปที่ 3.7 ตู้อบลมร้อน.....	28
รูปที่ 3.8 แผนผังเก้าสมบรูณ์	29
รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาและอุณหภูมิในการหาเงื่อนไขเก้าสมบรูณ์	29
รูปที่ 3.10 แผนผังการวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียและการเกิดระดับตะกรัน.....	30
รูปที่ 3.11 ส่วนที่ผ่านตะแกรง (เก้าสมบรูณ์)	31
รูปที่ 3.12 ตะกรันที่ไม่ผ่านตะแกรงขนาด 212 ไมโครเมตร (Loose Slag).....	31
รูปที่ 3.13 ตะกรันแข็งหลอมละลายติดกันถ้วย (Hard Slag).....	31

รูปที่ 4.13 ลักษณะทางกายภาพของเถาที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลชานอ้อยผสมสารเติม
 แต่งดินขาว ก) ไม่เติมสารเติมแต่ง ก1-ก4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3%
 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ข) ไม่เติมสารเติมแต่ง ข1-ข4 เติมสารเติมแต่ง 0.75%
 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค) ไม่เติมสารเติมแต่ง ค1-ค
 4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส
 46

รูปที่ 4.14 ลักษณะทางกายภาพของเถาที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลชานอ้อยผสมสารเติม
 แต่ง Clay ก) ไม่เติมสารเติมแต่ง ก1-ก4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3%
 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ข) ไม่เติมสารเติมแต่ง ข1-ข4 เติมสารเติมแต่ง 0.75%
 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค) ไม่เติมสารเติมแต่ง ค1-ค
 4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส
 47

รูปที่ 4.15 ลักษณะทางกายภาพของเถาที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลชานอ้อยผสมสารเติม
 แต่งโดโลไมท์ ก) ไม่เติมสารเติมแต่ง ก1-ก4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3%
 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ข) ไม่เติมสารเติมแต่ง ข1-ข4 เติมสารเติมแต่ง 0.75%
 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค) ไม่เติมสารเติมแต่ง ค1-ค
 4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส
 48

รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งเบนโทไนท์ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีย ของ
 ชีวมวลแห้งน้ำมันสำปะหลัง 50

รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งดินขาวที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีย ของชี
 มวลแห้งน้ำมันสำปะหลัง..... 51

รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่ง Clay ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีย ของชี
 มวลแห้งน้ำมันสำปะหลัง..... 51

รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งโดโลไมท์ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของ
 ชีวมวลแห้งน้ำมันสำปะหลัง 53

รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งเบนโทไนท์ ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีย
 ของชีวมวลซังข้าวโพด 54

รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งดินขาวที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีย ของชีวมวลซังข้าวโพด.....	55
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่ง Clay ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีย ของชีวมวลซังข้าวโพด.....	55
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งโดโลไมท์ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีย ของชีวมวลซังข้าวโพด.....	56
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งเบนโทไนท์ (ไทย) ที่มีต่อน้ำหนัก ที่สูญเสียของชีวมวลชานอ้อย.....	57
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งดินขาวที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีย ของชีวมวลชานอ้อย.....	58
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่ง Clay ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีย ของชีวมวลชานอ้อย.....	59
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งโดโลไมท์ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลชานอ้อย.....	60
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสของชีวมวลเหง้ำมันสำปะหลัง.....	61
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสของชีวมวลซังข้าวโพด.....	62
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีย ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสของชีวมวลชานอ้อย.....	63
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกักรันรวม ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสของชีวมวลเหง้ำมันสำปะหลัง.....	66
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกักรัน ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสของชีวมวลเหง้ำมันสำปะหลัง.....	67
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกักรันรวม ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสของชีวมวลเหง้ำมันสำปะหลัง.....	68

รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรัน ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสของชีวมวลแห้งน้ำมันสำปะหลัง.....	69
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรันรวม ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสของชีวมวลแห้งน้ำมันสำปะหลัง	70
รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรัน ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสของชีวมวลแห้งน้ำมันสำปะหลัง	71
รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรันรวม ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสของชีวมวลซังข้าวโพด.....	73
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรัน ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสของชีวมวลซังข้าวโพด.....	74
รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรันรวม ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสของชีวมวลซังข้าวโพด.....	75
รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรัน ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสของชีวมวลซังข้าวโพด.....	76
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรันรวม ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสของชีวมวลซังข้าวโพด.....	77
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรัน ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสของชีวมวลซังข้าวโพด.....	78

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันแนวโน้มความต้องการพลังงานทั่วโลกจากแหล่งพลังงานฟอสซิลเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำให้อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้น 6 องศาเซลเซียสภายในปี 2030 ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านสภาพอากาศอย่างรุนแรงและส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศอื่น ๆ ในโลก รูปแบบหรือวิธีการที่สามารถทำให้ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงทำได้โดยการเพิ่มการใช้พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานจากชีวมวล เป็นต้น ก่อเกิดความมั่นคงและยั่งยืนทางพลังงานในอนาคต

พลังงานชีวมวล (Biomass Energy) ถือเป็นการลดปัญหาการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีผลต่อภาวะเรือนกระจกสูงที่สุดเนื่องจากเมื่อมีการเพาะปลูกพืชหรือชีวมวลทดแทน พืชเหล่านี้จะดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศเพื่อการเจริญเติบโต โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทย ซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีทั้งพืชและเศษเหลือทิ้งจากเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก เช่น ชานอ้อย เปลือกถั่วลิสง ฟางข้าว กระจินและเหง้ามันสำปะหลัง เป็นต้น ที่ผ่านมามีการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรไปใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ย อาหารสัตว์ หรือเป็นการผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวล

อย่างไรก็ตาม การใช้พลังงานจากชีวมวลยังก่อให้เกิดปัญหา เนื่องจากองค์ประกอบในชีวมวลมีสารประกอบอนินทรีย์เป็นองค์ประกอบสูงจะก่อให้เกิดปัญหาระหว่างการเผาไหม้ ปัญหาการหลอมตัวและรวมตัวของเถ้า (Sintering และ Slagging) และปัญหาจากการที่มีอนุภาคเกาะติดบริเวณพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนลดลง ปัญหาเหล่านี้เกิดจากราตุโพแทสเซียม (K) และคลอรีน (Cl) ทำปฏิกิริยาเกิดเป็นก๊าซโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ลอยออกมากับแก๊สเผาไหม้ เมื่อลอยมากระทบกับพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าแก๊สโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) เกิดการควบแน่นเกาะติดบริเวณพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ในขณะเดียวกันโพแทสเซียม (K) ปฏิกิริยากับซิลิกอน (Si) เกิดเป็นโพแทสเซียมซิลิเกต (K_2O_3Si) ซึ่งสามารถหลอมในระหว่างการเผาไหม้ในชีวมวล (700-1,000 องศาเซลเซียส) [1-3] นอกจากนี้ ฟอสฟอรัส (P) ในชีวมวลทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียม (K) ก่อให้เกิดโพแทสเซียมฟอสเฟต (KPO_3) (อุณหภูมิหลอมประมาณ 800 องศาเซลเซียส) ซึ่งหลอมเป็นชั้นเหนียว ยึดติดกับสารประกอบอื่น ๆ และเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น [4] เถ้าดังกล่าวจะเกิดการหลอมตัวไปเกาะที่ผนังห้องเผาไหม้

ก่อให้เกิดตะกรัน (Slag) ส่งผลต่อประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำ (Boiler) และมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ลดลง รวมไปถึงการเสียหายของอุปกรณ์ภายในห้องเผาไหม้ [5-10]

การแก้ปัญหาและการป้องกันการหลอมเถ้าชีวมวลที่กล่าวข้างต้น มี 3 เทคนิค (1) เทคนิคการเผาไหม้ของชีวมวลกับถ่านหิน และการเผาไหม้ของชีวมวลที่มีอัตราการเกิดตะกรันและเผาไหม้ร่วมกับชีวมวลที่ไม่มีอัตราการเกิดตะกรัน (2) เทคนิคการชะล้างชีวมวลก่อนการเผาไหม้ สามารถกำจัดธาตุที่เป็นปัญหาของการเกิดตะกรัน (3) เทคนิคการใช้สารเติมแต่ง ซึ่งสามารถช่วยเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของธาตุและสารประกอบภายในชีวมวล เพิ่มอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของสารประกอบในเถ้าชีวมวล การเติมสารเติมแต่งช่วยลดการเกิดตะกรันของชีวมวลในระหว่างการเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ [11-14] ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาอัตราส่วนการเติมสารเติมแต่ง (Additive) ในชีวมวลแห้งมันสำปะหลัง ชีวมวลซังข้าวโพด และชีวมวลชานอ้อย ที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของตะกรัน, น้ำหนักที่สูญเสียระหว่างการเผาไหม้ และระดับตะกรันของชีวมวล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพการเกิดตะกรันในชีวมวล
- 1.2.2 เพื่อศึกษาน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลในระหว่างการเผาไหม้
- 1.2.3 เพื่อศึกษาเปอร์เซ็นต์การเติมของสารเติมแต่งทางธรรมชาติที่มีผลต่อการเกิดตะกรัน

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

1.3.1 อุณหภูมิการเผาไหม้ส่งผลให้เกิดปัญหาการหลอมตัวและรวมตัวของเถ้า (Sintering และ Slagging) และปัญหาจากการที่มีอนุภาคเกาะติดบริเวณพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้มีประสิทธิผลในการถ่ายเทความร้อนลดลง

1.3.2 การเติมสารเติมแต่งทางธรรมชาติสามารถลดปัญหาการหลอมตัวและรวมตัวของเถ้า (Sintering และ Slagging) ของเชื้อเพลิงชีวมวล

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ชีวมวลหลักในการวิจัยนี้มีอย่างน้อย 3 ชนิด อาทิเช่น เหม้ามันสำปะหลัง ซังข้าวโพด และชานอ้อย

1.4.2 สารเติมแต่งในงานวิจัยอย่างน้อย 4 ชนิด อาทิเช่น เบนโทไนท์, ดินขาว Clay และ โดโลไมท์ เป็นต้น

1.4.3 อัตราส่วนในการเติมสารเติมแต่งในงานวิจัยอย่างน้อย 3 ค่า อาทิเช่น 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% เป็นต้น

1.4.4 เงื่อนไขการเตรียมแก้วสมบูร์ณ์ อ้างอิงวิธีการตามมาตรฐาน ASTM International D1102-84

1.4.5 อุณหภูมิในการวิจัยหาตะกอนอย่างน้อย 3 อุณหภูมิ อาทิเช่น 800, 900 และ 1000 องศาเซลเซียส เป็นต้น

1.5 ขั้นตอนของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมแก้วและการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ, น้ำหนักที่สูญเสีย และระดับตะกอนของชีวมวล โดยมีขั้นตอนการวิจัยประกอบไปด้วย

1.5.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมแก้วที่เหมาะสม และลักษณะการเกิดตะกอนของชีวมวล

1.5.2 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมแก้วที่สมบูร์ณ์ที่เติมสารเติมแต่งของชีวมวล

1.5.3 แก้วสมบูร์ณ์ที่ได้ถูกเผาไหม้ในอุณหภูมิที่ทำการศึกษาในกรณีชีวมวลไม่เติมสารเติมแต่ง และเติมสารเติมแต่ง

1.5.4 ตะกอนที่ได้ในแต่ละกรณีทำการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ, น้ำหนักที่สูญเสีย และระดับตะกอนของชีวมวล ในกรณีชีวมวลไม่เติมสารเติมแต่ง และเติมสารเติมแต่ง

1.5.5 วิเคราะห์และสรุปผลของการเติมแต่งที่มีผลต่อการเกิดตะกอนในชีวมวลแห้งมันสำปะหลัง, ชั่งข้าวโพด และชานอ้อย

1.6 ความจำกัดของการวิจัย

ศึกษาผลของการเติมสารเติมแต่งที่มีต่อการเกิดตะกอนในเชื้อเพลิงชีวมวลแห้งมันสำปะหลัง ชั่งข้าวโพด และชานอ้อย

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.7.1 ชีวมวล (Biomass) คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากพืชและสัตว์ต่างๆ เช่น เศษไม้ ขยะ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

1.7.2 เถ้า (Ash) คือสารอินทรีย์ที่เหลือจากการเผาไหม้หรือเป็นส่วนที่เผาไหม้ไม่หมดภายในเตาเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส

1.7.2 ตะกรัน (Slag) คือเถ้าของชีวมวลระหว่างเผาไหม้ที่มีธาตุ โซเดียม (Na), โพแทสเซียม (K), ฟอสฟอรัส (P) และคลอรีน (Cl) ที่มีองค์ประกอบสูงเกิดการหลอม และทำปฏิกิริยากับธาตุอื่นๆ ที่เป็นองค์ประกอบในเถ้าเกิดเป็นสารประกอบ ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำส่งผลให้เกิดปัญหาการเผาไหม้

1.7.3 สารเติมแต่ง (Additive) คือสารที่มีความสามารถเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของธาตุและสารประกอบภายในของชีวมวล เมื่อผสมกับเชื้อเพลิงชีวมวล

1.7.4 น้ำหนักที่สูญเสีย (Weight Loss) คือปริมาณของสารอินทรีย์ในเถ้าของชีวมวลที่ระเหยระหว่างการเผาไหม้



บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานหมุนเวียน

“พลังงานหมุนเวียน” คือพลังงานที่มีอยู่ตามธรรมชาติ และสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานแบบเดิมได้อย่างไม่จำกัด โดยพลังงานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานที่ได้จากฟอสซิลเป็นจำนวนมาก ได้แก่ ถ่านหิน ปิโตรเลียม และแก๊สธรรมชาติ ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูง ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกซึ่งเป็นปัญหาของภาวะโลกร้อน โดยในปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกพยายามศึกษาและค้นหาพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ อย่างต่อเนื่องเพื่อให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ และมีประสิทธิภาพดียิ่งกว่าพลังงานแบบเดิม เพื่อช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย ลดปัญหามลพิษและสิ่งแวดล้อมของโลก รวมทั้งช่วยประหยัดพลังงาน การเลือกใช้พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม และพลังงานชีวมวล และเนื่องด้วยพลังงานชีวมวล ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ไม่หมด มีแหล่งพลังงานอยู่ภายในประเทศและมีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมน้อย จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่รัฐต้องเร่งให้ความสำคัญในการพัฒนาศักยภาพและสร้างความเชื่อมั่นกับการใช้พลังงาน [15] แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การใช้พลังงานทดแทนของประเทศไทยปี 2562

การใช้พลังงานทดแทน	ปริมาณ (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)					อัตราการ เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)
	2558	2559	2560	2561	2562	
1. ไฟฟ้า (แสงอาทิตย์ ลม พลังน้ำขนาดเล็ก พลังน้ำขนาดใหญ่ ชีวมวล ชยะ ก๊าซชีวภาพ และพลังงานความร้อนใต้พิภพ)	1,556	2,122	2,473	2,960	3,239	9.4
2. ความร้อน (แสงอาทิตย์ ชีวมวล ชยะ และก๊าซชีวภาพ)	6,579	7,182	7,322	7,191	8,525	7.7
3. เชื้อเพลิงชีวภาพ	1,942	1,747	1,936	2,117	2,117	12.0
- เอทานอล	879	684	733	781	781	6.1
- ไบโอดีเซล	1,063	1,063	1,203	1,336	1,336	15.5
รวม	10,077	11,051	11,731	12,996	14,136	10.8

ที่มา: [16]

2.2 ชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากพืชและสัตว์ต่างๆ เช่น เศษไม้ ขยะ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การใช้งานชีวมวลเพื่อให้ได้พลังงานอาจจะทำโดย นำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทน ชีวมวลเหล่านี้มีแหล่งที่มาต่างๆ กัน อาทิ พืชผลทางการเกษตร (Agricultural Crops) เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural Residues) ไม้และเศษไม้ (Wood and Wood Residues) หรือของเหลือจากอุตสาหกรรมและชุมชน ตัวอย่างเช่น แกลบได้จากการสีข้าวเปลือก ชานอ้อยได้จากการผลิตน้ำตาลทราย กากมันสำปะหลังได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ชังข้าวโพดได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออก เป็นต้นนอกจากนี้การผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม จะไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและไม่สร้างสภาวะเรือนกระจกเนื่องจากการปลูกทดแทนทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการหมุนเวียนและไม่มีการปลดปล่อยเพิ่มเติมชีวมวลมีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย จึงเป็นแหล่งเชื้อเพลิงราคาถูก

2.2.1 องค์ประกอบของชีวมวล

สารชีวมวลนั้นมีหลากหลายชนิดซึ่งมีองค์ประกอบแตกต่างกัน องค์ประกอบขั้นต้นของสารชีวมวล ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน แป้ง และโปรตีน ต้นไม้รวมถึงพืชสมุนไพรมีองค์ประกอบของสารชีวมวลหลัก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน เพียงแต่ปริมาณขององค์ประกอบของสารชีวมวลที่มีจะแตกต่างกัน สารชีวมวลต่างชนิดกันย่อมมีองค์ประกอบแตกต่างกัน เช่น ธัญพืชมีแป้งมาก ในขณะที่ของเสียจากปศุสัตว์มีโปรตีนมาก เนื่องจากมีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ต้นไม้จึงมีศักยภาพมากเนื่องจากต้นไม้ประกอบไปด้วยเซลลูโลส และลิกนินจำนวนมาก

2.2.1.1 เซลลูโลส

เซลลูโลส (Cellulose) เป็นเส้นใย พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ที่เรียงตัวเป็นระเบียบ เป็นผลึก (Crystalline Cellulose) เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์ของพืช และมีอยู่มากเซลลูโลสเป็นตัวที่ไม่ละลายและไม่ค่อยทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะไฮโดรไลซิส

2.2.1.2 เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ที่พบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส แตกต่างกันไปเป็นโครงสร้างที่เรียงตัวกันไม่เป็นผลึก (Amorphous) และมีมวลโมเลกุลต่ำกว่าจึงละลายได้ดีกว่าเซลลูโลส

2.2.1.3 ลิกนิน

ลิกนิน (Lignin) สารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบรวมอยู่ในเซลลูโลส ลิกนินทนต่อการทำลายและต้องการสภาวะที่เหมาะสมในการทำลายลิกนิน ลิกนินจะเคลือบผนังเซลล์พืชให้มีความแข็งแรงทำให้เอนไซม์เข้าไปย่อยเซลลูโลสได้ยากขึ้นและแบคทีเรียในลำไส้ไม่สามารถย่อยลิกนินได้ประกอบกับลิกนินมีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในกรด และต่างลิกนินจึงเป็นสารที่ไม่สามารถถูกย่อยได้ในร่างกายมนุษย์และไม่มีสัตว์ชนิดใดใช้ประโยชน์ได้เลย ลิกนินทำให้การย่อยได้ของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสลดลง ดังตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินของชีวมวลต่างๆ

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินของชีวมวลต่างๆ

ชีวมวล	ส่วนประกอบภายในเซลล์พืช		
	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)
ฟางข้าว	32.10	24.00	12.50
ฟางข้าวสาลี	30.50	28.40	18
ชานอ้อย	33.40	30	18.90
ซังข้าวโพด	45	35	15
ต้นปาล์ม	37.14	30.59	22.32
ต้นมันสำปะหลัง	32.20	13.85	26.96

ที่มา: [17]

2.2.2 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงชีวมวล

2.2.2.1 ค่าความร้อน

ค่าความร้อน (Calorimetric Value or Heating Value) คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อของเสียถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์หรือเรียกว่า ความร้อนของการเผาไหม้ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำ มีหน่วยเป็นกิโลจูล หรือ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมของเสีย (kcal/kg)

- ค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV) เป็นปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเสีย ซึ่งรวมถึงปริมาณความร้อนแฝงที่ถูกลดปล่อยออกมาเมื่อไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำที่เป็นองค์ประกอบของของเสียเกิดการควบแน่น

- ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value, LHV) เป็นค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของเสียที่ไม่รวมค่าความร้อนแฝง

ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำที่ตรวจวัดได้ในของเสียชนิดหนึ่งจะแตกต่างกันเสมอ โดยค่าความแตกต่างขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในของเสีย ดังนั้นในกรณีของเสียมีความชื้นมากๆ อาจใช้วิธีการตากแดดหรือผึ่งลมเพื่อลดความชื้นในของเสีย แล้วตรวจวัดเฉพาะค่าความร้อนสูงก็ได้เนื่องจากในระหว่างการผลิตเชื้อเพลิงแท่งนั้น กระบวนการอัด และการตากแห้งแท่งเชื้อเพลิงก่อนนำไปใช้จะทำให้ในของเสียถูกกำจัดออกไปบางส่วน และคงเหลือในแท่งเชื้อเพลิงอีกบางส่วน

2.2.2.2 ปริมาณสารที่ระเหยได้

ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matters) คือองค์ประกอบในของเสียที่สามารถระเหยได้เมื่อได้รับความร้อน ของเสียที่มีปริมาณสารระเหยได้สูง จะมีแนวโน้มที่มีค่าความร้อนสูง อย่างไรก็ตาม สารที่ระเหยได้บางชนิดอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อวัสดุหรืออุปกรณ์ที่นำวัสดุเชื้อเพลิงไปใช้

2.2.2.3 ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้น (Moisture Content) คือปริมาณน้ำที่คงเหลืออยู่หลังจากที่ตากแห้งของเสีย ความชื้นของของเสียมีผลต่อค่าความร้อนโดยตรง โดยหากของเสียมีความชื้นมากจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ทำให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำ

2.2.2.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว

ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) คือปริมาณสารประกอบคาร์บอนซึ่งระเหยได้ยาก โดยจะคงเหลืออยู่ในของเสียหลังจากที่เผาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสของเสียที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงจึงมีช่วงเวลาในการลุกไหม้นาน

2.2.2.5 กำมะถันรวม

กำมะถันรวม (Total Sulfur) เมื่อกำมะถันทำปฏิกิริยาสันดาปกับออกซิเจน กลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หากของเสียที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมาก จึงไม่เหมาะจะเป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากจะเกิดสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้ในปริมาณมาก ดังตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของชีวมวล

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของชีวมวล

วัสดุเหลือใช้	สารระเหย (% น้ำหนัก)	คาร์บอนคงตัว (% น้ำหนัก)	เถ้า (% น้ำหนัก)	กำมะถัน (% น้ำหนัก)	ค่าความร้อน (% น้ำหนัก)
กากอ้อย	73.9	17.6	8.5	0.3	4,400
แกลบ	62.7	17.4	20	0.14	3,600
ฟางข้าว	74.4	18.3	7.3	-	4,000
กระถิน	82	15.11	1.86	-	-
เหง้ามันสำปะหลัง	75	17	8	0.28	4,500

ที่มา: [18]

2.3 เหง้ามันสำปะหลัง

เหง้ามันสำปะหลังเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งไม่สามารถใช้ประโยชน์ในการบริโภคของมนุษย์หรือสัตว์ได้ เกษตรกรจึงมักจะนำไปเผาทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ หากพิจารณาในด้านการให้พลังงานพบว่า เหง้ามันสำปะหลังสามารถเผาไหม้ให้ความร้อนสูงเทียบเท่าไม้พืน จึงจัดเป็นชีวมวลที่มีศักยภาพในการนำมาเผาไหม้ให้พลังงานความร้อนเพื่อใช้เป็นต้นกำลังสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า และการเกิดกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ก็จะลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นข้อได้เปรียบกว่าการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลประเภทอื่นๆ และมีลักษณะทางกายภาพดังรูปที่ 2.1 และพบธาตุอนินทรีย์ในเถ้าเหง้ามันสำปะหลัง ดังตารางที่ 2.4 ตารางวิเคราะห์ XRF Spectroscopic ของธาตุอนินทรีย์ในเถ้าเหง้ามันสำปะหลัง



รูปที่ 2.1 เหง้ามันสำปะหลัง

(ที่มา: <http://www.em-group.co.th>)

ตารางที่ 2.4 วิเคราะห์ XRF Spectroscopic ของธาตุอนินทรีย์ในเถ้าหัง้ำมันสำปะหลัง

ชีวมวล	องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชีวมวล (%)										
	SiO ₂	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	AlO ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	TiO ₂	Cl
เถ้าหัง้ำมัน สำปะหลัง	5.09	23.00	46.80	3.31	2.30	1.94	3.49	2.35	-	0.44	10.80
กระถิน	25.10	27.50	7.83	8.68	2.30	1.94	3.49	1.17	5.30	0.57	-

ที่มา: [7]

2.4 ชานอ้อย

ชานอ้อย (Bagasse) คือ ส่วนของลำต้นอ้อยที่ถูกหีบเอาน้ำอ้อยหรือน้ำตาลออก ปัจจุบันชานอ้อยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างเช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตน้ำตาลดิบประมาณ 80% ส่วนที่เหลืออีก 20% นำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตกระดาษ หรือสำหรับผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้า สำหรับใช้ภายในโรงงานน้ำตาล ชานอ้อยมีส่วนประกอบดังนี้เซลลูโลส (Cellulose) 45-55% เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) 20-25% ลิกนิน (Lignin) 18-24% ซึ่งในเถ้าของชานอ้อยมีปริมาณของ SiO₂ และ AlO₃ สูง เป็นธาตุหลักที่ลดปัญหาการหลอมละลายของเถ้าชีวมวล ดังตารางที่ 2.5



รูปที่ 2.2. ชานอ้อย

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อย

ชีวมวล	องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชีวมวล (%)										
	SiO ₂	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	AlO ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	TiO ₂	Cl
ชานอ้อย	46.79	4.91	6.95	3.87	14.60	4.56	11.12	3.57	1.61	2.02	0.03

ที่มา: [19]

2.5 ชังข้าวโพด

ชังข้าวโพด (Corn Cob) คือส่วนหนึ่งของข้าวโพดที่เหลือจากการสีเมล็ด ในปัจจุบันเป็นชังข้าวโพดเป็นสิ่งที่มียูทิลิตี้ ในชังข้าวโพดให้ค่าความร้อนอยู่ที่ประมาณ 3,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมของเสี้ยว (kcal/kg) มีความชื้นมากกว่า 30-20 เปอร์เซ็นต์ (%) และได้มีการนำมาผลิตพลังงานไฮโดรเจนตลอดถึงก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากทั้งน้ำตาลกลูโคส และไซโลสที่หลงเหลืออยู่ในเศษพืชเป็นต้นกำเนิด [20] และดังตารางที่ 2.6 พบว่าสารประกอบอินทรีย์ที่สูงในชังข้าวโพดส่งก่อให้เกิดการหลอมของสารประกอบในถ้ำซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์เผาไหม้



รูปที่ 2.3 ชังข้าวโพด

(ที่มา: <http://nippanintercrop.igetweb.com>)

2.5.1 การใช้ประโยชน์จากชังข้าวโพด

ชังข้าวโพด สามารถใช้ประโยชน์ทำเป็นก้อนเชื้อเพลิงสำหรับหุงต้มอาหารหรือใช้บำบัดเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์การนำชังข้าวโพดมาผลิตเป็นก๊าซชีววมวลโดยความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถนำมาลดความชื้นเมล็ดพืชโดยทั่วไปใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้และนำพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ไปอบ แต่เนื่องจากปัจจุบันราคาน้ำมันสูงขึ้นจึงต้องหาพลังงานทดแทน ชังข้าวโพดเป็นชีวมวลราคาถูกและมักเป็นปัญหาในการกำจัดทิ้งการนำชังข้าวโพดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงช่วยลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ กระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลได้จากชีวมวลถูกสันดาปอย่างสมบูรณ์และบางส่วนถูกสันดาปไม่สมบูรณ์ซึ่งจะทำให้ได้ก๊าซที่ติดไฟได้โดยมีการใช้ก๊าซออกซิเจนอย่างจำกัด ก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นคาร์บอนมอนนอกไซด์ไฮโดรเจน และมีเทนที่ใช้ในการเผาไหม้ได้และอาจมีไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ปนอยู่บ้างเล็กน้อย สามารถนำเอาความร้อนชีววมวลจากชังมาอบเมล็ดข้าวโพดให้แห้งได้ [17]

ตารางที่ 2.6 สารประกอบอนินทรีย์ซังข้าวโพด

ชีวมวล	องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชีวมวล (%)										
	SiO ₂	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	AlO ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	TiO ₂	Cl
ซังข้าวโพด	36.60	0.19	33.08	12.41	0.56	9.23	5.08	-	0.23	-	0.06

ที่มา: [19]

2.6 เถ้า

เถ้า (Ash) เป็นสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการเผาไหม้ของชีวมวลผ่านการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ชีวมวลประกอบด้วยโลหะและอโลหะ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ในการเผาไหม้ เนื่องจากทำให้ห้องเผาไหม้มีสภาพเป็นฉนวน ดังนั้นความสามารถในการส่งผ่านความร้อนจึงลดลง [21] โดยคุณสมบัติของชีวมวลที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ พบว่าองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดมีความหลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนองค์ประกอบสารอนินทรีย์ซึ่งจะนำไปสู่การวิเคราะห์การเกิดตะกรันและคราบตะกรันเนื่องจากโลหะอัลคาไลน์เอิร์ท (Alkaline earth metal) ไปรวมตัวกับธาตุอื่นๆ ในเชื้อเพลิง เช่น ซิลิกอน (Si) ซัลเฟอร์ (S) คลอไรด์ (Cl) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โพแทสเซียม (K) เหล็ก (Fe) อลูมิเนียม (Al) ซึ่งเป็นต้นเหตุสำหรับหลายๆ ปฏิกริยาที่ไม่ต้องการในการเผาไหม้ในเตาเผา ชีวมวลส่วนใหญ่มีปริมาณเถ้าอยู่ที่ประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ยกเว้นแกลบและฟางข้าวจะมี สัดส่วนเถ้าประมาณ 10 -20 เปอร์เซ็นต์ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้ [22] ปริมาณเถ้ามากจะเป็นปัญหาในการเผาไหม้และสร้างความยุ่งยากในการกำจัดเถ้า การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าหาปริมาณเถ้าทำได้โดยการนำตัวอย่างชีวมวลไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิ ประมาณ 500-600 องศาเซลเซียส ของแข็งที่เหลืออยู่ภายหลังการเผาจะเป็นออกไซด์ของโลหะ (Metal Oxides) ปริมาณเถ้าเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของส่วนประกอบที่เป็นอนินทรีย์

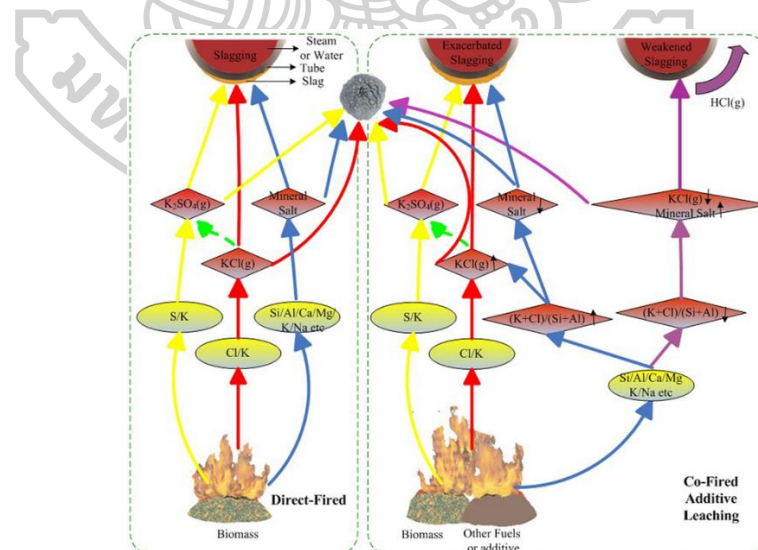
2.7 ตะกรัน

ตะกรัน (Slagging) เกิดจากเถ้าที่หลอมระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีธาตุกลุ่มโลหะอัลคาไลน์ (Na, K) โลหะอัลคาไลน์เอิร์ท (Ca, Mg) และคลอรีน (Cl) ที่มีองค์ประกอบสูงจะก่อให้เกิดปัญหาระหว่างการเผาไหม้ คือปัญหาการหลอมตัวและรวมตัวของเถ้า (Sintering และ Slagging) ปัญหาจากการที่มีอนุภาคเกาะติดบริเวณพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน (Deposit) ทำให้มี

ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนลดลง ซึ่งปัญหาเหล่านี้เกิดจากการเผาไหม้เผาไหม้ชีวมวลของธาตุ โพแทสเซียม (K) และคลอรีน (Cl) จะสลายตัวเกิดเป็นแก๊สซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากันจะเกิดเป็นแก๊สโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) แล้วลอยออกมาพร้อมกับแก๊สเผาไหม้ ลอยมากระทบกับพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าแก๊สโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) จะเกิดการควบแน่นเกาะติดบริเวณพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ในขณะที่เดียวกันธาตุโพแทสเซียม (K) บางตัวที่ไม่สามารถระเหยออกมาอยู่ในสถานะก๊าซได้จะทำปฏิกิริยากับธาตุอื่นๆ ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ ทำให้เกิดการหลอมเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง [2-4]

2.4.1 กลไกการเกิดตะกรัน

กลไกการเกิดตะกรันเป็นผลมาจากอนุภาคเถ้าลอย (Fly Ash) ที่มีปริมาณคลอรีน (Cl) และโพแทสเซียม (K) สูง ซึ่งคลอรีนสามารถช่วยในการปลดปล่อยโพแทสเซียมในชีวมวล ส่งผลให้เกิดโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ซึ่งจะควบแน่นบนพื้นผิวของอนุภาคขนาดเล็กในก๊าซเชื้อเพลิงหรือพื้นผิวที่ให้ความร้อนโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) มีลักษณะเป็นกาวเหนียวจะเป็นตัวจับกับสารประกอบอื่น ก่อให้เกิดการทับถมกลายเป็นตะกรัน ถ้าอัตราส่วน $(K + Cl) / (Si + Al)$ ในเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) จะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การเกิดตะกรันจะรุนแรงขึ้น ในขณะที่อัตราส่วน $(K + Cl) / (Si + Al)$ ลดลง ทำให้สารประกอบโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) จะถูกดักจับโดยซิลิกอน (Si) และอะลูมิเนียม (Al) และส่งผลให้การก่อตัวของตะกรันอ่อนตัวลง ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนผังกลไกของตะกรัน [3]

2.4.2 ปฏิกริยาที่มีผลต่อการเกิดตะกรัน

ชีวมวลที่มีโพแทสเซียมเป็นธาตุหลักจะนำไปสู่การก่อตัวของสารประกอบที่มีจุดหลอมเหลวต่ำและการรวมตัวของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ การทำปฏิกริยาของโพแทสเซียมกับสารประกอบมี 3 ปฏิกริยา [2] ดังนี้

- การก่อตัวของโพแทสเซียมเกลือ เช่น โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) และ โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) ไม่เสถียรทางความร้อนมีแนวโน้มหลอมหรือมีการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิสูง
- โพแทสเซียมทำปฏิกริยากับซิลิกอนในเชื้อเพลิงเกิดเป็นโพแทสเซียมซิลิเกต ที่อัตราส่วน โพแทสเซียมออกไซด์/ซิลิกอนออกไซด์ จะเกิดการหลอมที่อุณหภูมิการเผาไหม้ 700 – 1000 องศาเซลเซียส
- โพแทสเซียมทำปฏิกริยากับฟอสฟอรัสก่อให้เกิด โพแทสเซียมฟอสเฟต (จุดหลอมประมาณ 800 องศาเซลเซียส) เกิดการหลอมเป็นกลุ่มก้อนด้วยระยะเวลาการเผาไหม้ที่นานขึ้น

ดังนั้นการหลอมของเถ้าอย่างสมบูรณ์กลายเป็นตะกรันนั้นรบกวนกระบวนการเผาไหม้และเกิดความเสียหายในระบบการเผาไหม้ ซึ่งจะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายสำหรับการทำความสะอาดและซ่อมบำรุง

2.5 สารเติมแต่ง

สารเติมแต่ง (Additive) คือกลุ่มแร่ธาตุหรือสารประกอบทางเคมีที่มีความสามารถเปลี่ยนแปลงสัดส่วนขององค์ประกอบทางเคมีในเถ้า ลดความเข้มข้นของธาตุที่เป็นปัญหาและสามารถเพิ่มอุณหภูมิสารประกอบในเถ้าระหว่างกระบวนการเผาไหม้ โดยการใช้สารเติมแต่งถูกผสมกับเชื้อเพลิงก่อนการไหม้ เช่น ก้อนอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิง ป้อนในเตาเผาแบบเป็นผงหรือละลายน้ำ [23]

2.5.1 เบนโทไนท์

เบนโทไนท์หรือดินเบนโทไนท์ (Bentonite Clay) ดินชนิดนี้ประกอบด้วยแร่ดินเหนียวชนิดมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) เป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาได้แก่ ซิลิกอน เหล็ก แคลเซียม ดังตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของเบนโทไนท์ จากองค์ประกอบนี้เองทำให้ดินเบนโทไนท์มีสมบัติในการดูดซับที่ดี อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของดินแตกต่างกันตามแหล่งที่มา ดังรูปที่ 2.5

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของเบนโทไนท์

เบนโทไนท์	องค์ประกอบทางเคมี (%)
SiO ₂	52.55
AlO ₃	15.34
K ₂ O	0.29
Fe ₂ O ₃	11.92
TiO ₂	1.62
MgO	2.75
Na ₂ O	3.22
CaO	1.4
P ₂ O ₅	0.06
Cr ₂ O ₅	0.01
LOI	9.8

ที่มา: [24]



รูปที่ 2.5 เบนโทไนท์

(ที่มา: <https://th.sibelco.com/materials/bentonite/>)

2.5.2 ดินขาว

ดินขาว (Kaolin) เป็นแร่ชนิดหนึ่งในกลุ่มแร่ดิน (Clay) ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่ดินเช่น เคโอลิไนต์ (Kaolinite) แอลลอยไซต์ (Halloysite) เป็นต้น ในอัตราส่วนที่แตกต่างเนื่องจากองค์ประกอบทางแร่และองค์ประกอบทางเคมีของดินขาวแต่ละแหล่งไม่เหมือนกันจึงทำให้คุณสมบัติ

ทางเคมีของดินแต่ละแหล่งแตกต่างกันออกไป ดังตารางที่ 2.8 แสดงองค์ประกอบทางเคมี ดินขาวมีความเหนียวน้อย [25] ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดินเผา ดังรูปที่ 2.6

ตารางที่ 2.8 องค์ประกอบทางเคมีของดินขาว

ดินขาว	องค์ประกอบทางเคมี (%)
SiO ₂	67.50 – 71.50
Al ₂ O ₃	14.5 – 18.5
CaO	0.05 – 0.30
MgO	0.50 - 1.70
Fe ₂ O ₃	1.50 – 2.50
LoI	2.50 – 3.50

ที่มา: [26]



รูปที่ 2.6 เบนโทไนท์

(ที่มา: <http://www.herosignmarketing.com>)

2.5.3. Clay

แร่เคลย์ (Clay) เกิดจากการผุพังของหินมีออกไซด์ของเหล็กปะปนอยู่โดยคุณสมบัติของดินจะขึ้นอยู่กับชนิดของแหล่งที่พบ มีองค์ประกอบทางกายภาพและเคมี ดังตารางที่ 2.9 ไม่เหมาะสมสำหรับเกษตรกรรมเป็นดินตื้น มีกรวด ลูกแร่หรือเศษหินปะปนในระดับความลึกของบริเวณการเจริญของรากพืชโดยทั่วไป ทำให้จำกัดการซึมน้ำของรากพืชและเป็นปัญหาในการเกษตรกรรม ปริมาณน้ำดินมีน้อย ทำให้มีธาตุอาหารต่ำนอกจากนั้น การซาบซึมน้ำต่ำ และความหนาแน่นรวมสูง

ตารางที่ 2.9 วิเคราะห์ XRF Spectroscopic ของธาตุอนินทรีย์ใน Clay

Clay	องค์ประกอบทางเคมี (%)
SiO ₂	42.30
AlO ₃	24.50
K ₂ O	9.76
Fe ₂ O ₃	15.90
TiO ₂	1.91
MgO	1.52
Na ₂ O	0.28
CaO	2.94

ที่มา: [7]



รูปที่ 2.7 แร้เคลย์

2.5.1.3 โดโลไมท์

โดโลไมท์ (Doomite) เป็นแร่หรือหินตะกอนที่ประกอบด้วยแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ดังตารางที่ 2.10 แร่โดโลไมท์เป็นแร่โลหะหรือแร่อุตสาหกรรม มีลักษณะคล้ายหินปูน ดังรูปที่ 2.8 บางครั้งอาจพบเป็นผลึกเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน หรือพบเป็นเม็ด หรือมีลักษณะเป็นเนื้อแน่นไม่แสดงรูปผลึก

ตารางที่ 2.10 องค์ประกอบทางเคมีของโดโลไมท์

โดโลไมท์	องค์ประกอบทางเคมี (%)
SiO ₂	0.27
Al ₂ O ₃	0.09

โดโลไมท์	องค์ประกอบทางเคมี (%)
CaO	32.4
MgO	19.7
K ₂ O	<0.1
Na ₂ O	<0.1
Fe ₂ O ₃	0.35

ที่มา: [27]



รูปที่ 2.8 โดโลไมท์

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wang *et al.*, (2012) ทำการศึกษาและทดสอบลักษณะเฉพาะของเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ของฟางข้าวบาร์เลย์และแกลบข้าวบาร์เลย์เพื่อหาส่วนผสมของเชื้อเพลิงและสารเติมแต่ง (Additive) ที่เหมาะสม สามารถนำมาใช้ในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ และเพื่อให้เกิดปัญหาการเผาผนึก (Sintering) ของเถ้าให้น้อยที่สุดที่ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในการนำไปใช้งานกับเตาเผา ปัญหาเถ้าเผาผนึก (Ash Sintering) มักจะเกิดขึ้นในระหว่างการเผาไหม้ของเศษเหลือใช้ทางการเกษตร (Agricultural Residues) ซึ่งโพแทสเซียมในเศษเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นองค์ประกอบหลักของการนำไปสู่ปัญหานี้ โดยโพแทสเซียมจะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่แตกต่างกันประกอบไปด้วย 1. ทำให้เกิดการก่อตัวของเกลือโพแทสเซียม (Potassium Salts) เช่น โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) โพแทสเซียมซัลเฟต (K₂SO₄) เป็นต้น ซึ่งบางส่วนของเกลือเหล่านี้มันจะถูกหลอมละลายในอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง 2. การเกิดปฏิกิริยากับซิลิกอนและซิลิเกตในเชื้อเพลิงทำให้เกิดเป็นโพแทสเซียมซิลิเกต (K₂O/SiO₂) ซึ่งเถ้าจะหลอมละลายในอุณหภูมิต่ำ (700 ถึง 1,000 องศาเซลเซียส) 3. ในระหว่างการเผาไหม้ชีวมวลมีปริมาณฟอสฟอรัสมาก จึงทำให้โพแทสเซียมทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสเกิดเป็นโพแทสเซียมฟอสเฟต (KPO₃) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวต่ำ เพื่อป้องกันหรือบรรเทาปัญหาการเผาผนึก (Sintering) ของเถ้าให้น้อยที่สุดจึงได้เลือกใช้สารเติมแต่ง (Additive) คือ ดินขาว (Kaolin) และแคลไซต์ (Calcite) เติมเข้าไปในฟางข้าวบาร์เลย์และแกลบข้าวบาร์เลย์เพื่อดูพฤติกรรมในการเผา และจะ

ใช้เครื่องมือเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence ; XRF) เครื่องมือการวิเคราะห์การหลอมตัวซีเถ้า และเครื่องมือเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffraction ; XRD) ในการวิเคราะห์ผล พบว่าการเติมสารเติมแต่ง (Additive) ดินขาว (Kaolin) นั้นจะไปปรับปรุงอุณหภูมิการเผาไหม้ของเถ้าให้สูงขึ้น และการเติมสารเติมแต่ง (Additive) แคลไซต์ (Calcite) ลงไปเกิดการทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมที่มีอยู่ในวัตถุดิบชีวมวลดังกล่าวช่วยเพิ่มอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของเถ้า ส่งผลให้พฤติกรรมการเผาไหม้ของเถ้าของฟางข้าวบาร์เลย์และแกลบข้าวบาร์เลย์ลดลงอย่างเห็นได้ชัด [2]

Clery *et. al.*, (2018) ศึกษาผลของสารเติมแต่งต่อการปล่อยโพแทสเซียมในเชื้อเพลิงชีวมวลการศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่ผลของสารเติมแต่งอะลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminosilicate) เกี่ยวกับผลลัพธ์ของโพแทสเซียมในระหว่างการเผาไหม้ของชีวมวล สารเติมแต่งดังกล่าวได้แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จในการลดปัญหาตะกรัน (Slagging) ในหม้อน้ำและเตาเผาและการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของโพแทสเซียมในระบบการเผาไหม้เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่กำหนดพฤติกรรมเถ้า ในการตรวจสอบนี้เทคนิค Flame Emission Spectroscopy ใช้เพื่อประเมินความแตกต่างในรูปโครงสร้างการปล่อยโพแทสเซียมสถานะก๊าซในระหว่างการเผาไหม้ของ Pellet ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตรของชีวมวลต่างๆ ที่แขวนลอยอยู่ใน Methane-air Flame Biomass Pellet ได้รับการประเมินผลด้วยการผสมต่างๆ ของสารเติมแต่งอะลูมิเนียมซิลิเกต (5, 15 และ 25 โดยน้ำหนัก) การตรวจพบการปล่อยก๊าซโพแทสเซียมควบคู่กับวิดีโอความเร็วสูงของการเผาไหม้ชี้ให้เห็นว่าโพแทสเซียมวิวัฒนาการในสามช่วงของการเผาไหม้ที่ระเหย (ยอดคมชัดในรูปการปล่อยก๊าซ) การเผาไหม้ของแข็ง (ยอดที่กว้างขึ้น) และ "Ash Cooking" (ยอดกว้างมากกว่าในช่วงซึ่งกว้างออกไป, เถ้าที่สิ้นสุดการเผาไหม้นาน) โดยที่ไม่มีการเติมของสารเติมแต่ง ชีวมวลสามชนิดที่ทำการศึกษา (ไม้เนื้ออ่อน, ฟางข้าวสาลี, เศษเหลือทิ้งจากมะกอก) มีพฤติกรรมค่อนข้างจะแตกต่างกันในแง่ของรูปร่างการปล่อยโพแทสเซียม เมื่อผลเป็นปกติสำหรับจำนวนโพแทสเซียมในเชื้อเพลิง เป็นที่ชัดเจนว่าส่วนใหญ่ของโพแทสเซียมเข้าสู่สถานะก๊าซระหว่างการเผาไหม้สารระเหยและการเผาไหม้ถ่านของไม้เนื้ออ่อน ในทางตรงกันข้ามฟางข้าวสาลีจะมีการปล่อยของโพแทสเซียมระหว่างการเผาไหม้แล้วหลังจากช่วงเวลา "Ash Cooking" การปล่อยอย่างค่อยเป็นค่อยไปยังคงมีการสัมผัสอย่างต่อเนื่องกับการเผาไหม้ของก๊าซร้อน ความแตกต่างในรูปร่างการปล่อยก๊าซสามารถตีความได้ในแง่ของอัตราส่วน K:Cl และอัตราส่วน K:(Si + Al) คลอรีนสูงและ (Si + Al) ต่ำ ช่วยการปล่อยของ KCl หรือ KOH ไปยังสถานะก๊าซ แม้ว่า (Si + Al) สูงช่วยในการแก้ไข K ในสถานะของแข็ง การเติมของสารเติมแต่งอะลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminosilicate) แสดงให้เห็นถึงการลดปริมาณโพแทสเซียมที่ปล่อยจาก Biomass Pellets ทั้งหมดโดยเฉพาะระหว่างช่วงออกซิเดชันของแข็ง (Char-Oxidation) และ "Ash

Cooking" และระดับของสารเติมแต่งที่ต้องการจะสัมพันธ์กับปริมาณของ K ในชีวมวล การทดลอง การปล่อยก๊าซโพแทสเซียมได้รับการเสริมโดยการเตรียมเถ้าที่อุณหภูมิต่างกันในห้องปฏิบัติการและการตรวจหาของโพแทสเซียมที่เหลือในเถ้าโดยใช้ Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) ผลการวิจัยเหล่านี้ได้ตรวจสอบและหาค่าเศษส่วนที่สูงขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่เก็บสะสมอยู่ในเถ้าเมื่อใช้สารเติมแต่ง สำหรับเถ้าไม้ K 70-100% ของ K ถูกเก็บในเถ้าในที่ที่มีของสารเติมแต่ง สำหรับฟางข้าวสาลีตัวเลขนี้เป็น 60-80% และสำหรับ pellet มะกอกมันเป็น 70-100% [12]

Angela *et al.*, (2017) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการคาดการณ์แนวโน้มที่จะเกิดตะกรันจากชีวมวล โดยศึกษาจากค่าต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเกิดตะกรันโดยเปรียบเทียบจากหลายชีวมวลซึ่งค่าที่พิจารณาเป็นหลัก คือ ค่า Initial Deformation Temperature (IDT) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เถ้าเริ่มหลอมเป็นตะกรันของแต่ละชีวมวล ซึ่งได้มีการยกตัวอย่างช่วงอุณหภูมิกลุ่มชีวมวลที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200°C จะเกิดตะกรันที่ได้ไวและง่ายมากที่บริเวณพื้นผิวที่มีการเผาไหม้ อีกค่าที่เมื่อมีอุณหภูมิต่ำจะส่งผลเหมือนกับ IDT คือ ค่า Softening temperature (St) ซึ่งค่านี้สามารถลดได้ด้วย K-silicates หรือค่า % ของ SiO₂ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำตารางเปรียบเทียบค่าองค์ประกอบต่าง ๆ ใน ชีวมวลทั้ง Si, Ca, K, P, Al, Mg, Fe, S, Na, Ti และ Cl เป็น % และค่า St และ IDT เอาไว้สำหรับเปรียบเทียบและได้แยกเป็นหมวดหมู่ของชีวมวล เช่น ประเภทหญ้า หรือไม้ ไว้เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบ เป็นต้น [19]

Wang *et al.*, (2012) ได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติและผลกระทบของสารเติมแต่งต่าง ๆ เพื่อบรรเทาปัญหาที่เกี่ยวข้องกับเถ้าโดยกลไกที่เป็นไปได้ดังต่อไปนี้ 1. การดักจับเถ้าที่มีปัญหาโดยการดูดซับทางเคมีและปฏิกิริยา 2. การดูดซับทางกายภาพและการแยกเถ้าที่มีปัญหาจากสิ่งอำนวยความสะดวกการเผาไหม้ 3. การเพิ่มอุณหภูมิการหลอมของเถ้าชีวมวลโดยการเพิ่มธาตุเฉื่อย หรือสารประกอบที่ตกค้างในเถ้า และ 4. การยับยั้งการเผาไหม้เถ้าชีวมวลโดยการเจือจาง และผลกระทบจากสารเติมแต่งที่เป็นผง สารเติมแต่งถูกจัดกลุ่มตามสารประกอบ เช่น Al-Silicates Based Additives, Sulphur Based , Calcium Based และ Phosphorous Based สารเติมแต่งที่มีการดูดซับสารเคมีที่แข็งแรง และความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาสามารถลดการเผาไหม้เถ้าที่เกี่ยวข้องกับการสะสมของโพแทสเซียม (K), และตะกรัน ในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ของชีวมวล กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีประสิทธิภาพเกี่ยวข้องกับระบบ K-Al-Si, K-Ca-Si และ K-Ca-P ความสามารถของสารเติมแต่งเพื่อลดปัญหาที่เกี่ยวข้องกับเถ้ามีอิทธิพลอย่างมากจากอัตราส่วนมวล / โมเมกุลระหว่างส่วนประกอบปฏิกิริยาในสารเติมแต่ง และองค์ประกอบที่เป็นปัญหาในเถ้าชีวมวลเช่นเดียวกับ

บรรยากาศการเกิดปฏิกิริยา และเทคโนโลยีการเผาไหม้ การศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงระหว่างสารเติมแต่ง และเถ้าจากการเผาไหม้ของชีวมวลเป็นสิ่งจำเป็น [23]

Yiming *et al.*, (2018) ได้ศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับลักษณะการหลอมรวมของเถ้า และศักยภาพการเกิดตะกรันโดยใช้การจำลองเถ้าชีวมวล ซึ่งลักษณะการหลอมรวมเถ้า (AFC) ส่งผลต่อการเกิดตะกรันของชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากความซับซ้อนของส่วนประกอบเถ้าชีวมวล จึงมีการใช้เถ้าจำลองเพื่อตรวจสอบ AFC เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของเถ้าที่ใช้งานได้จริงในโรงไฟฟ้าF โดยใช้ส่วนผสมของ SiO_2 , CaO , K_2O และ Al_2O_3 เป็นเถ้าจำลอง ซึ่งอุณหภูมิการเสีรูรูป (DT) ถูกเปลี่ยนแปลงอย่างน่าทึ่งเมื่อส่วนประกอบเถ้าของชีวมวลเปลี่ยนไป ผลลัพธ์จะถูกนำเสนอโดยแผนภาพประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ SiO_2 - CaO - K_2O ที่มีอัตราส่วนที่แตกต่างกันของ Al_2O_3 โดยแผนภาพประกอบไปด้วย 3 แบบ แบ่งออกเป็นโซนอุณหภูมิสูง (HZ, >1400 องศาเซลเซียส), โซนอุณหภูมิมานกลาง (MZ, 900-1400 องศาเซลเซียส) และโซนอุณหภูมิต่ำ (LZ, < 900 องศาเซลเซียส) ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าหากไม่มี Al ผลิตภัณฑ์ที่หลอมเหลวต่ำ ($\text{K}_4\text{CaSi}_3\text{O}_9$) ของปฏิกิริยายูเทคติกในหมู่ K_2O , CaO และ SiO_2 นำไปสู่ DT ที่ 1290 องศาเซลเซียส ใน MZ ด้วยการเพิ่ม Al_2O_3 ทำให้ DT สามารถเพิ่มจาก LZ เป็น MZ ที่สภาพ K สูงเนื่องจากสารประกอบ Si-Al-K เช่น KAlSi_2O_6 และ KAlSi_3O_8 ก่อตัวขึ้น อย่างไรก็ตาม DT ลดลงและย้ายจาก HZ เป็น MZ โดยการเติม Al ในขณะที่ปริมาณ Ca หรือ Si นั้นสูงขึ้น เนื่องจากสารประกอบ Si-Al-Ca เช่น $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ และ $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ นอกจากนี้ยังใช้ความแตกต่าง (DSD) ระหว่างอุณหภูมิ การเสีรูรูปและอุณหภูมิการอ่อนตัวที่ใช้ในการคาดการณ์ศักยภาพการเกิดตะกรัน ซึ่งตะกรันแบบหนามีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในพื้นที่ของ K สูง ซึ่ง SiO_2 นำไปสู่ DSD ที่มีขนาดใหญ่กว่า CaO และ Al_2O_3 สามารถลด DSD และสร้างตะกรันแบบบางซึ่งเหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อลดการเกิดตะกรัน [28]

Öhman *et al.*, (2011) ได้ทำการสรุปและรวบรวมผลการทดลองเกี่ยวกับการก่อตัวของตะกรัน (Slag) ระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีฟอสฟอรัสต่ำ โดยพบว่าหลังจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลเสร็จมักจะเกิดปัญหาการเกาะตัวของก้อนอนุภาคเถ้า การก่อตัวของตะกรัน (Slag) ซึ่งเกิดจากกระบวนการที่โพแทสเซียม (K) ในชีวมวลรวมตัวกับซิลิกอนแล้วจับตัวกับซิลิเกต ซึ่งก่อให้เกิดจุดหลอมเหลวของเถ้าต่ำ เถ้าที่มี Silicate-alkali จะแสดงถึงแนวโน้มในการก่อตัวของตะกรัน (Slag) สูง การเติมสารเติมแต่ง (Additive) ในชีวมวลประเภทไม้และฟางข้าว สามารถลดแนวโน้มการเกิดตะกรัน (Slag) ได้โดยเมื่อเติมสารเติมแต่งหินปูน (Limestone) ที่ 0.5 wt %_{ds}, 1 wt %_{ds} และ 3 wt %_{ds} มีผลทำให้องค์ประกอบอุณหภูมิการก่อตัวของตะกรัน (Slag) ที่มีอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของเถ้าที่ต่ำ (Silicates) ให้มีอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของเถ้าที่สูงขึ้น (Silicates Oxides) และเมื่อเติมสารเติมแต่ง

ดินขาว (Kaolin) มีผลต่อการจับตัวของ Ca-Mg-silicates จับตัวกับ K-Al-silicates ซึ่งทำให้จุดหลอมเหลวของเถ้าต่ำ สารเติมแต่งดินขาว (Kaolin) จะทำให้อุณหภูมิจุดหลอมเหลวของเถ้าสูงขึ้น Ca-Mg Oxides [29]

Nafees *et al.*, (2013) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบระหว่างองค์ประกอบหลักของ Laterite และ Bentonite โดยได้ใช้การ X-ray ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectroscopy ผลที่ได้มีดังนี้ Laterite มีปริมาณของ SiO₂ เท่ากับ 28.03% Al₂O₃ เท่ากับ 23.06% CaO เท่ากับ 9.35% K₂O เท่ากับ 0.14% Fe₂O₃ เท่ากับ 36.22% MgO เท่ากับ 3.20% และ Na₂O เท่ากับ 0.1% ส่วน Bentonite มีปริมาณของ SiO₂ เท่ากับ 53.80% Al₂O₃ เท่ากับ 14.98% CaO เท่ากับ 11.39% K₂O เท่ากับ 4.01% Fe₂O₃ เท่ากับ 5.84% MgO เท่ากับ 7.45% และ Na₂O เท่ากับ 2.40% และยังพบว่า Laterite นั้นส่วนใหญ่ประกอบด้วยธาตุโลหะอัลคาไลเอิร์ธ และยังมีปริมาณของอลูมิเนียมและเหล็กที่สูง ในขณะที่เบนโทไนท์ นั้นมีทั้งโลหะอัลคาไล และโลหะอัลคาไลเอิร์ธ [30]



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ที่มุ่งหาความรู้จริงจากการทดลองโดยศึกษาผลของการเติมสารเติมแต่งที่มีผลต่อลักษณะการเกิดตะกรันของชีวมวล ซึ่งมีรายละเอียดการวิจัยดังนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานสำหรับงานวิจัยนี้ มีระยะเวลาในการศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง รวมถึงทำการทดลองตลอดจนวิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง พร้อมเขียนรายงานการวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วย

3.1.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า การวิเคราะห์ปริมาณตะกรันและสารประกอบหรือธาตุหลักในชีวมวลที่ใช้ในการวิจัย

3.1.2 ศึกษาเงื่อนไขการเตรียมการหาปริมาณเถ้าและปริมาณตะกรัน

3.1.3 ทดลองและวิเคราะห์การหาปริมาณเถ้าและปริมาณตะกรันเบื้องต้นที่ได้จากการเผาชีวมวลเพื่อหาตัวแปรในการทดลอง อาทิ ระยะเวลาในการเผาเถ้าที่สมบูรณ์ อุณหภูมิในการเผาตะกรัน ลักษณะทางกายภาพตะกรันและการวิเคราะห์ทางด้านเคมี เป็นต้น

3.1.4 วางแผนการทดลอง การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า การวิเคราะห์ปริมาณตะกรันและการวิเคราะห์ทางด้านเคมี รวมถึงการกำหนดขอบเขตการวิจัยในการเติมสารเติมแต่งที่มีผลต่อลักษณะการเกิดตะกรันของชีวมวล

3.1.5 ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการตามเงื่อนไขและขอบเขตของงานวิจัยที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น เริ่มจากการลดขนาดอนุภาคของชีวมวล การแยกขนาดอนุภาค การหาเงื่อนไขระยะเวลาเถ้าสมบูรณ์ การวิเคราะห์การเกิดตะกรัน

3.1.6 วิเคราะห์ปริมาณเถ้า วิเคราะห์ปริมาณตะกรันและวิเคราะห์ทางด้านเคมีที่ได้หลังจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

3.1.7 สรุปผลทั้งหมดที่ได้จากการทดลองทั้งการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า วิเคราะห์ปริมาณตะกรันและการวิเคราะห์ทางด้านเคมีในการเติมสารเติมแต่งที่มีผลต่อลักษณะการเกิดตะกรันของชีวมวล

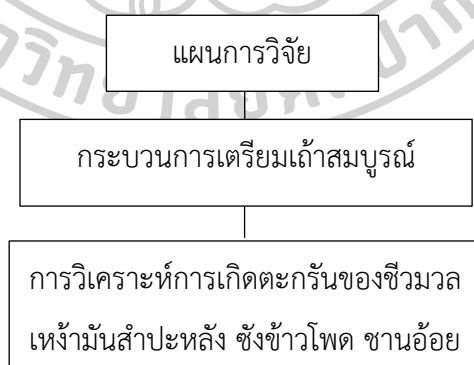
โดยแผนการดำเนินงานของงานวิจัยนี้ได้แสดงไว้ในตาราง 3.1 โดยเริ่มตั้งแต่เดือนกันยายนปี 2560 จนถึงเดือนมิถุนายน ปี 2562

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานในงานวิจัย

รายงานการดำเนินงานวิจัย	ระยะเวลาของการดำเนินงานวิจัย
1. ทำการศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเค้า ตะกรันและสารประกอบในชีวมวล	กันยายน – มีนาคม 2561
2. ทำการทดลองเบื้องต้นในการเผาชีวมวลและหาเงื่อนไขที่เหมาะสม	เมษายน – กรกฎาคม 2561
3. ทำการทดลองตามแผนการทดลองและเก็บข้อมูลการทดลอง	สิงหาคม – ธันวาคม 2561
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง	มกราคม – มีนาคม 2562
5. สรุป อภิปรายผลการทดลอง และเขียนรายงานวิจัย	เมษายน – มิถุนายน 2562

3.2 แผนการวิจัย

แผนการวิจัยในหัวข้อการศึกษาเกี่ยวกับการใส่สารเติมแต่งที่มีผลต่อลักษณะการเกิดตะกรันของชีวมวล โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมเถ้าสมบูรณ์ตามมาตรฐาน ASTM International D 1102-84 การวิเคราะห์การเกิดตะกรันของชีวมวล ดังแสดงในรูปที่ 3.1



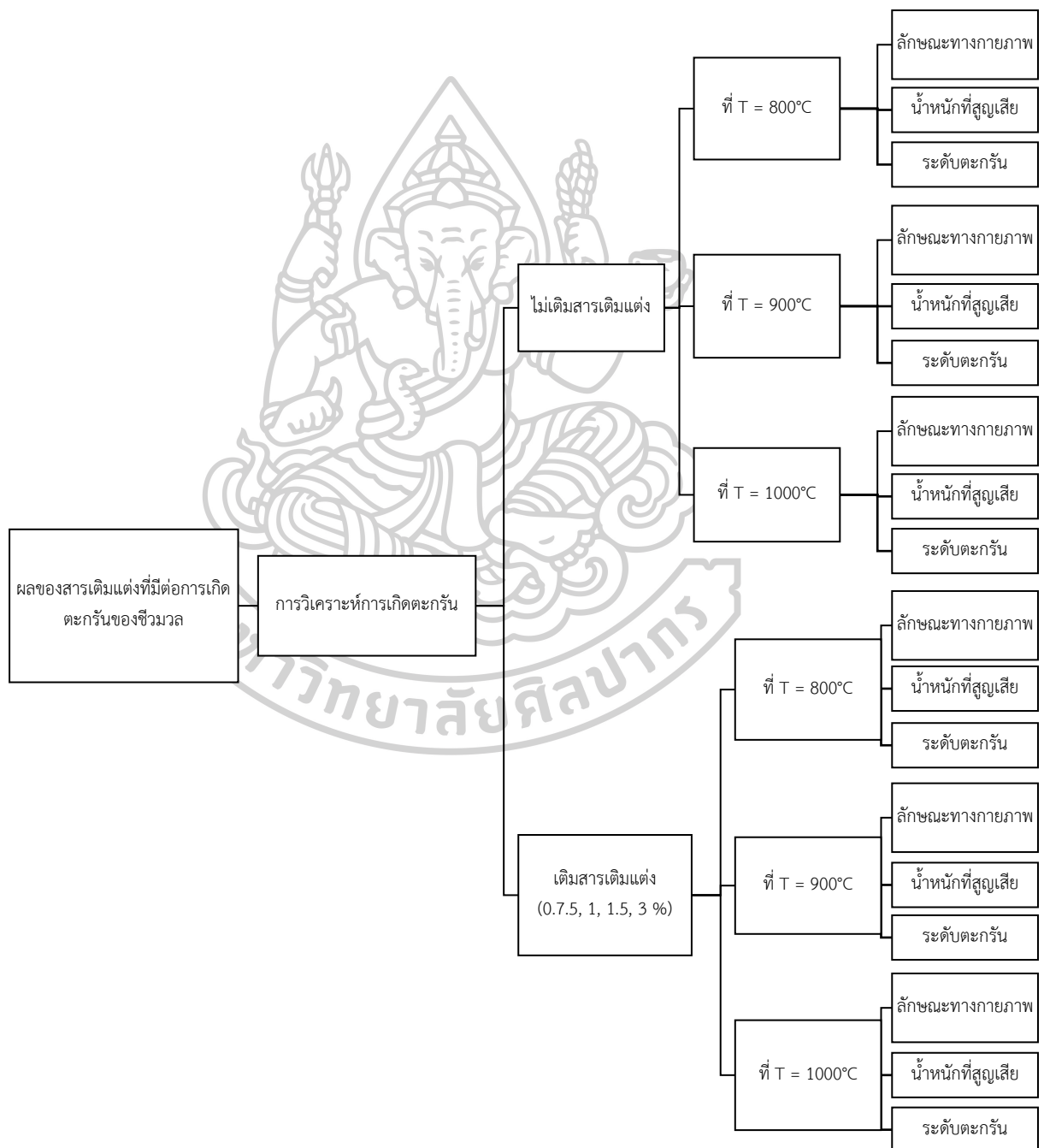
รูปที่ 3.1 แผนการวิจัย

จากรูปที่ 3.1 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมเถ้าสมบูรณ์ที่อุณหภูมิที่ 580 องศาเซลเซียส ซึ่งทำการศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับเถ้าที่สมบูรณ์ของชีวมวลที่ และการ

วิเคราะห์ตะกรันแบ่งเป็นการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ, น้ำหนักที่สูญเสีย และระดับตะกรันของ ชีวมวล

3.3 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการเติมสารเติมแต่งที่มีผลต่อลักษณะการเกิดตะกรันของชีวมวล ดัง แสดงในรูปที่ 3.2

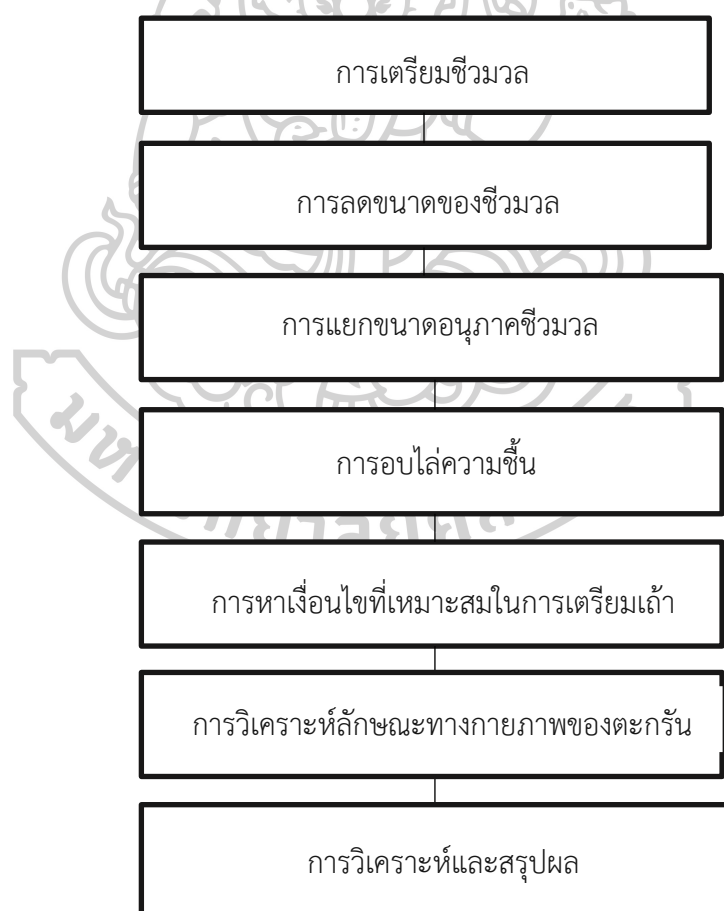


รูปที่ 3.2 แผนการทดลอง

แผนการทดลองในงานวิจัยนี้คือการศึกษาเกี่ยวกับการเติมสารเติมแต่งที่มีผลต่อลักษณะการเกิดตะกรันของชีวมวลแห้งมันสำปะหลัง, ชังข้าวโพด และชานอ้อย โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการกลายเป็นเถ้าที่สมบูรณ์ของชีวมวลตามมาตรฐาน ASTM International D 1102-84 ขั้นที่สองศึกษาการเกิดตะกรันของชีวมวล โดยนำเถ้าที่สมบูรณ์ทำการเผาในอุณหภูมิที่ 800, 900 และ 1000 องศาเซลเซียสแตกต่างกันก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของตะกรัน และวิเคราะห์ตะกรันแบ่งเป็นการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ, น้ำหนักที่สูญเสีย และระดับตะกรันของชีวมวล

3.5 วิธีกรทดลอง

การดำเนินวิธีการทดลองของการศึกษาผลของการเติมสารเติมแต่งที่มีผลต่อการเกิดตะกรันของชีวมวล ซึ่งมีรายละเอียดการวิจัยดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วิธีกรทดลอง

3.5.1 การเตรียมวัสดุดิบ

ชีวมวลหลักในงานวิจัยนี้ ได้แก่ เหน้่ามันสำปะหลัง จากอำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี ชั่งข้าวโพด จากโรงงานอาหารสัตว์ จังหวัดราชบุรี และชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลบ้านโป่ง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือทิ้งจากการนำไปใช้ประโยชน์ คัดแยกเศษผง เช่น ดินทรายออกจากชีวมวล จากนั้นลดขนาดชีวมวลโดยเครื่องสับหยาบดังรูปที่ 3.4 และนำไปสับละเอียดโดยเครื่องสับละเอียดโดยผ่านรูตะแกรงที่มีขนาด 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 เครื่องสับหยาบ



รูปที่ 3.5 เครื่องสับละเอียด

3.5.2 การแยกอนุภาคชีวมวล

การแยกอนุภาคชีวมวล (Particle Distribution) นำชีวมวลที่ลดขนาดผ่านรูตะแกรง 5 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องคัดแยกอนุภาค (Sieve Shaker) ดังรูปที่ 3.6 ใช้เวลา 10 นาที เลือกอนุภาคที่ขนาด 425 ไมโครเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D1102-84



รูปที่ 3.6 เครื่องตัดแยกขนาด

3.5.3 การอบไล่ความชื้น

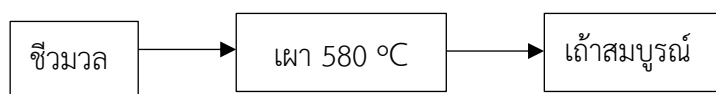
การอบไล่ความชื้น นำชีวมวลที่มีขนาดอนุภาค 425 ไมโครเมตร ชั่งน้ำหนักก่อนเข้าตู้อบ ความชื้นลมร้อน แบบมีพัดลม (Hot Air Oven) ดังรูปที่ 3.7 ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมง คำนวณหาค่าความชื้นในชีวมวล



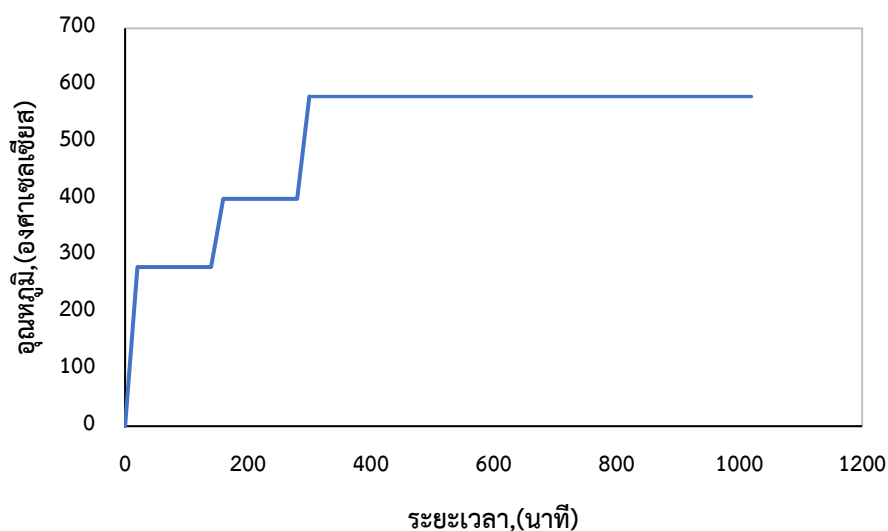
รูปที่ 3.7 ตู้อบลมร้อน

3.5.4 การศึกษาหาเงื่อนไขในการเตรียมถ้ำสมบรูณ์

การศึกษาหาเงื่อนไขในการเตรียมถ้ำสมบรูณ์การเผาชีวมวล คือนำชีวมวลขนาด 425 ไมโครเมตร อบไล่ความชื้นแล้วมาเข้าเตาอบอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส เพื่อเปลี่ยนชีวมวลให้กลายเป็นถ้ำที่สมบรูณ์ดังรูปที่ 3.8 แสดงแผนผังถ้ำสมบรูณ์ อ้างอิงวิธีการตามมาตรฐาน ASTM International D1102-84 และตามระยะเวลาที่ทำการศึกษาดังรูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาและอุณหภูมิในการหาเงื่อนไขถ้ำที่สมบรูณ์



รูปที่ 3.8 แผนผังถ้ำสมบรูณ์



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาและอุณหภูมิในการหาเงื่อนไซ้ถ้ำสมบรูณ์

เมื่อเผาชีวมวลตัวอย่างครบตามระยะเวลาที่ศึกษาได้ปริมาณถ้ำเป็นผลิตภัณฑ์การคำนวณใช้ฐานแห้งเป็นปริมาณน้ำหนักหลังจากการเผาชีวมวลและน้ำหนักชีวมวลหลังจากอบไล่ความชื้น ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณถ้ำได้จากสมการที่ 3.1

$$\text{Ash (\%)} = \left(\frac{W_1}{W_2} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างแห้งก่อนเผา (กรัม)

3.5.5 การสารเติมแต่งในการวิจัย

การเติมสารเติมแต่งในการศึกษานี้แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 กรณีไม่เติมสารเติมแต่ง ส่วนที่ 2 กรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% โดยน้ำหนัก โดยในแต่ละอัตราส่วนทำการผสมสารเติมแต่งลงในชีวมวลแห้งน้ำมันสำปะหลัง ชีวมวลซังข้าวโพด และ

ชีวมวลชานอ้อยที่ผ่านอบไล่ความชื้นอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยสารเติมแต่งที่ใช้ ได้แก่ เบนโทไนท์ (Bentonite) จากสถาบันวิทยสิริเมธี, ดินขาว (Kaolin) จากบริษัท ฮีโร่ไฮน์ มาร์เก็ตติ้ง จำกัด, เคลย์ (Clay) จากอำเภอบางแฉม จังหวัดนครปฐม, โดโลไมท์ (Dolomite) จากร้านจันทรเกษตร

3.5.6 การวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียและการเกิดระดับตะกอน

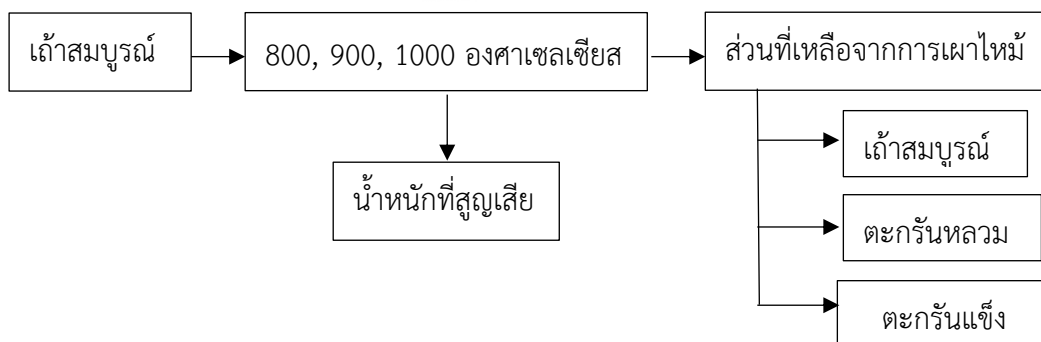
การวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียและการเกิดระดับตะกอน สำหรับในหัวข้อนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1.การวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียจะทำการวิเคราะห์ในระหว่างการสันดาปของถ้ำสมบурณ์ที่เงื่อนไขอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส, 900 องศาเซลเซียส และ 1000 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียได้จากสมการที่ 3.2

$$\text{Weight loss (\%)} = \left(\frac{M_1 - M_2}{M_1} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ M_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

M_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

โดยในส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้ที่ผ่านการเผาอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส, 900 องศาเซลเซียส และ 1000 องศาเซลเซียส ผ่านการกรองด้วยตะแกรงที่มีขนาด 212 ไมโครเมตร โดยส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังรูปที่ 3.10 จากการแบ่งระดับของตะกอน (Grading) ด้วยตะแกรงที่มีขนาด 212 ไมโครเมตร คือ (1) ส่วนที่ผ่านตะแกรง (ถ้ำสมบурณ์) มีขนาดน้อยกว่า 50-150 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.11 (2) ตะกอนที่ไม่ผ่านตะแกรงขนาด 212 ไมโครเมตร (ตะกอนหวม) ดังแสดงในรูปที่ 3.12 และตะกอนแข็งที่หลอมละลายติดกัน ถ้วย (Hard Slag) ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.10 แผนผังการวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียและการเกิดระดับตะกอน

ซึ่งสามารถคำนวณหาระดับของตะกรันได้จากสมการที่ 3.3

$$\text{Degree of slag (\%)} = \left(\frac{S_1}{S_2}\right) \times 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ S_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

S_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)



รูปที่ 3.11 ส่วนที่ผ่านตะแกรง (เถ้าสมบูรณ์)



รูปที่ 3.12 ตะกรันที่ไม่ผ่านตะแกรงขนาด 212 ไมโครเมตร (Loose Slag)



รูปที่ 3.13 ตะกรันแข็งหลอมละลายติดกันง่าย (Hard Slag)

บทที่ 4

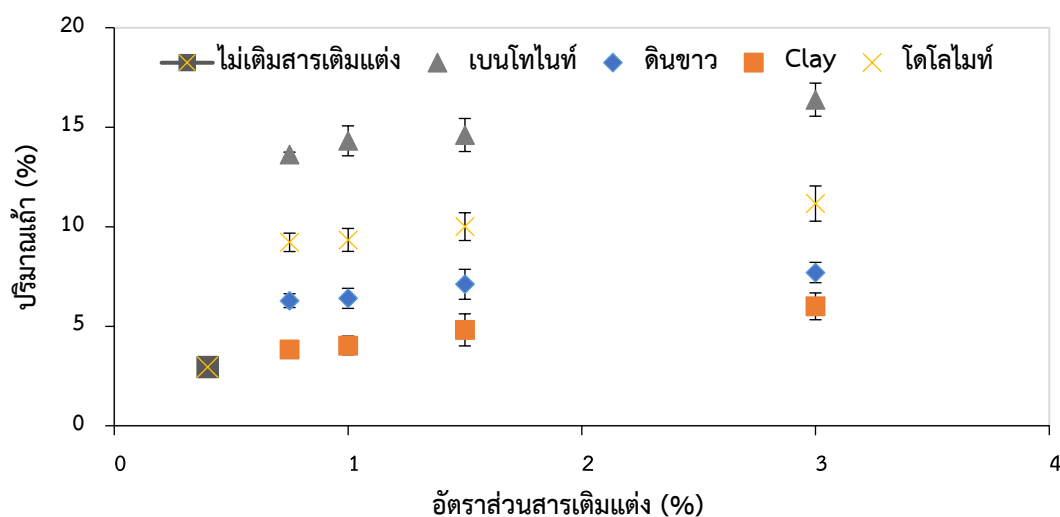
ผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อการศึกษาผลของสารเติมแต่งที่มีผลต่อการเกิดตะกรันของชีวมวลแห้งน้ำมันสำหรับ ช้างข้าวโพดและชานอ้อย ได้ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนการเติมแต่งที่มีต่อปริมาณเถ้า, ลักษณะทางกายภาพของตะกรันชีวมวล น้ำหนักที่สูญเสีย และระดับของการเกิดตะกรัน โดยมีกรณีที่ไม่เติมสารเติมแต่ง และในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% โดยน้ำหนัก และนอกจากนี้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ได้แก่ 800 องศาเซลเซียส, 900 องศาเซลเซียส และ 1000 องศาเซลเซียส

4.1 ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อปริมาณเถ้าของชีวมวล

ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อปริมาณเถ้าของชีวมวล ในกรณีชีวมวลเป็นถั่วสมบูรณ์ โดยวิเคราะห์สารเติมแต่งในการวิจัย ที่อัตราส่วนการเติม 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ที่อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส

เถ้าแห้งน้ำมันสำหรับผสมสารเติมแต่ง



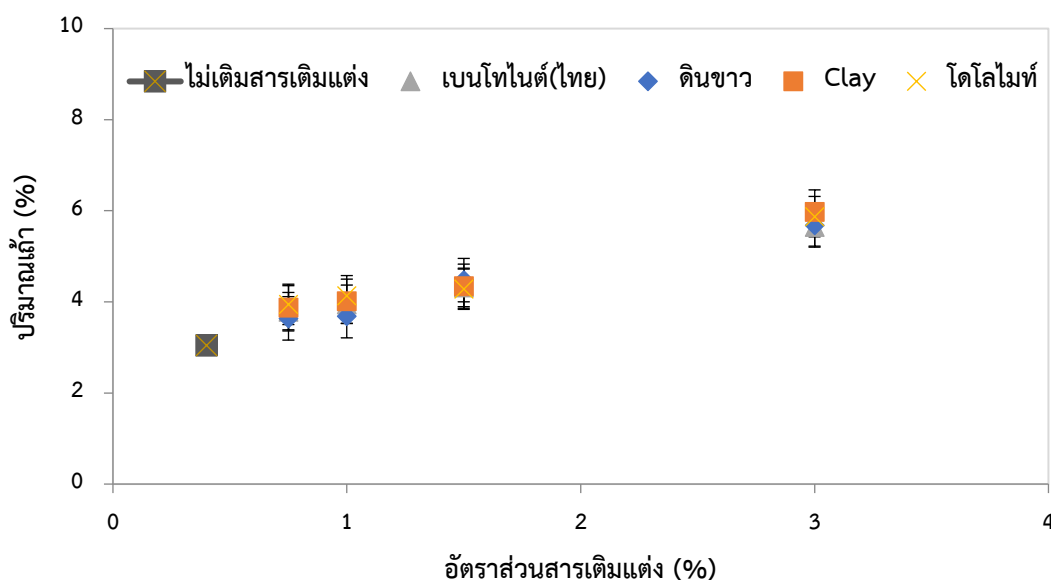
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสารเติมแต่งที่มีต่อชีวมวลแห้งน้ำมันสำหรับ

จาก รูปที่ 4.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของสารเติมแต่งที่มีต่อชีวมวลแห้งน้ำมันสำหรับ โดยระยะเวลาการเป็นถั่วสมบูรณ์ 12 ชั่วโมง พบว่าปริมาณเถ้าแห้งน้ำมันสำหรับในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง มีค่า 2.94% ในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ของสารเติมแต่ง

เบนโทไนท์มีค่า 13.63%, 14.31%, 14.61% และ 16.31% ตามลำดับ ของสารเติมแต่ง ดินขาว มีค่า 6.29%, 6.40%, 7.11% และ 7.70% ตามลำดับ ของสารเติมแต่ง Clay มีค่า 3.83%, 4.04%, 4.82% และ 6.00% ตามลำดับ และของสารเติมแต่งโดโลไมท์ มีค่า 9.22%, 9.34%, 10.00% และ 11.16% ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าค่าปริมาณเถ้าชีวมวลแห้งสำหรับปะหลังในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%) มีค่า 2.94% และในกรณีเติมสารเติมแต่งเบนโทไนท์ มีค่าสูงสุดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 82.07% ของสารเติมแต่งดินขาวมีค่าสูงสุดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 61.83% ของสารเติมแต่ง Clay ค่าสูงสุดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 51.03% และสารเติมแต่งโดโลไมท์มีค่าสูงสุดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 73.68% ซึ่งมีปริมาณเถ้าของชีวมวลเพิ่มขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบหลักของเถ้าคือ โปแทสเซียม, โซเดียม, แมกนีเซียม, แคลเซียม, อลูมิเนียม และฟอสฟอรัส เป็นต้น [31] เป็นสารประกอบของสารอนินทรีย์ และเมื่อเติมสารเติมแต่งที่เป็นสารอนินทรีย์ที่ไม่มีการสันดาประหว่างเผาไหม้ในอุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาชีวมวลแห้งสำหรับปะหลังผสมสารเติมแต่ง Clay กล่าวว่าสารเติมแต่งมีประกอบเป็นสารอนินทรีย์ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงสถานะระหว่างการเผาไหม้ [7] จึงส่งผลให้ความเข้มข้นของสารเติมแต่งเพิ่มขึ้นก่อให้เกิดปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้น

เถ้าขังข้าวโพดผสมสารเติมแต่ง

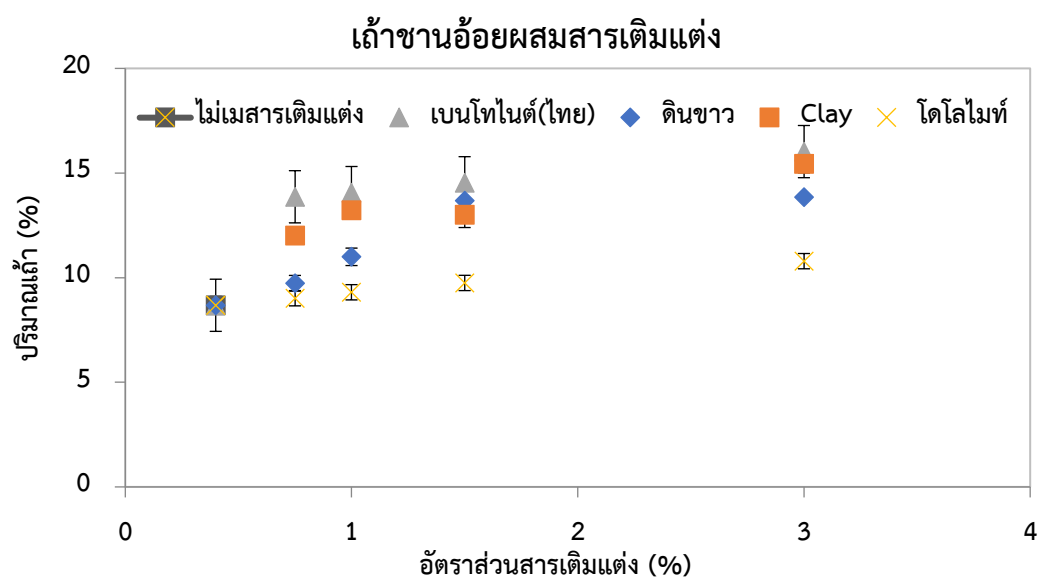


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสารเติมแต่งที่มีต่อชีวมวลขังข้าวโพด

จากรูปที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของสารเติมแต่งที่มีต่อชีวมวลขังข้าวโพด โดยระยะเวลาการเป็นเถ้าสมบูรณ์ 6 ชั่วโมง พบว่าปริมาณเถ้าขังข้าวโพดในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง มีค่า

3.05% ในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ของสารเติมแต่งเบนโทไนท์ มีค่า 3.78%, 3.95%, 4.31% และ 5.65% ตามลำดับ ของสารเติมแต่งดินขาว มีค่า 3.63%, 3.67%, 4.48% และ 5.67% ตามลำดับ ของสารเติมแต่ง Clay มีค่า 3.87%, 4.02%, 4.35% และ 5.97% ตามลำดับ และของสารเติมแต่งโดโลไมท์ มีค่า 3.94%, 4.13%, 4.28% และ 5.87% ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณเถ้าชีวมวลซึ่งข้าวโพดในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง มีค่า 3.05% และในกรณีเติมสารเติมแต่งเบนโทไนท์ มีค่าสูงสุดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 58.36% ของสารเติมแต่งดินขาวมีค่าสูงสุดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 86.41% ของสารเติมแต่ง Clay ค่าสูงสุดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 96.09% และสารเติมแต่งโดโลไมท์มีค่าสูงสุดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 92.73% พบว่าปริมาณเถ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาฟางข้าวผสมสารเติมแต่งประเภท แดง Aluminium Silicates Based และ Calcium Based กล่าวว่าปริมาณเถ้าชีวมวลถูกเพิ่มขึ้นด้วยปริมาณของสารเติมแต่งที่สูงขึ้น [4] เนื่องจากสารเติมแต่งประเภท Aluminium Silicates Based และ Calcium Based เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่ไม่มีการสันดาประหว่างเผาไหม้ในอุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส ส่งผลไปเพิ่มปริมาณของเถ้าชีวมวลให้สูงขึ้น



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสารเติมแต่งที่มีต่อชีวมวลขานอ้อย

จากรูปที่ 4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของสารเติมแต่งที่มีต่อชีวมวลขานอ้อย โดยระยะเวลาการเป็นเถ้าสมบูรณ์ 15 ชั่วโมง พบว่าปริมาณเถ้าขานอ้อยในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง มีค่า 8.68% ในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ของสารเติมแต่งเบนโทไนท์ มีค่า

13.86%, 14.07%, 14.53% และ 16.02% ตามลำดับ ของสารเติมแต่งดินขาว มีค่า 9.73%, 10.00%, 13.68% และ 13.85% ตามลำดับ ของสารเติมแต่ง Clay มีค่า 12.01%, 13.22%, 13.00% และ 15.44% ตามลำดับ และของสารเติมแต่งโดโลไมท์ มีค่า 9.01%, 9.30%, 9.74% และ 10.78% ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าค่าปริมาณเถ้าชีวมวลชานอ้อยในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%) มีค่า 8.86% และในกรณีเติมสารเติมแต่งเบนโทไนท์ มีค่าสูงสุดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 45.83% ของสารเติมแต่งดินขาวมีค่าสูงสุดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 37.33% ของสารเติมแต่ง Clay ค่าสูงสุดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 43.80% และสารเติมแต่งโดโลไมท์มีค่าสูงสุดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 19.55% พบว่าปริมาณของสารเติมแต่งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณเถ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบหลักของสารเติมแต่งคือสารอนินทรีย์ ซึ่งไม่ทำการสันดาปในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณของเถ้ามีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาผลของสารเติมแต่ง Clay ที่มีต่อชีวมวลแห้งน้ำมันและกระถินพบว่า Clay ไม่เกิดการสันดาปในอุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส [7] ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำการศึกษาค่าเถ้าสมบูรณ์ กล่าวได้ว่าสารเติมแต่งสารประกอบเป็นสารอนินทรีย์ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนแปลงสถานะระหว่างการเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส

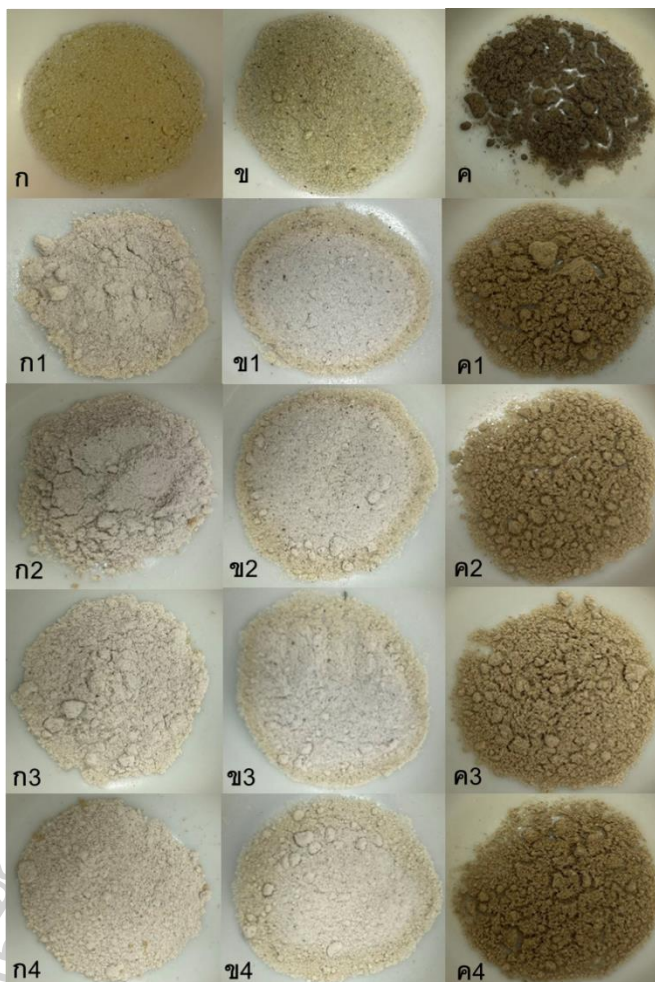
ดังนั้นปริมาณเถ้าของชีวมวลแห้งน้ำมันสำหรับหลัง ซึ่งข้าวโพดและชานอ้อยในกรณีเติมสารเติมแต่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารเติมแต่งมีองค์ประกอบหลักเป็นสารอนินทรีย์ไม่เกิดการสันดาประหว่างเผาไหม้ของชีวมวลให้กลายเป็นเถ้าสมบูรณ์ สรุปได้ว่าปริมาณของสารเติมแต่งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณของเถ้าชีวมวลเพิ่มขึ้น

4.2 ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวล

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวล โดยมีส่วนที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ที่ไม่เติมสารเติมแต่ง และที่เติมสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และโดโลไมท์ ที่อัตราส่วนการเติม 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส, 900 องศาเซลเซียส และ 1000 องศาเซลเซียส ด้วยเตาอบความร้อนสูง (Muffle Furnace) ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

4.2.1 ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลแห้งน้ำมันสำหรับหลัง

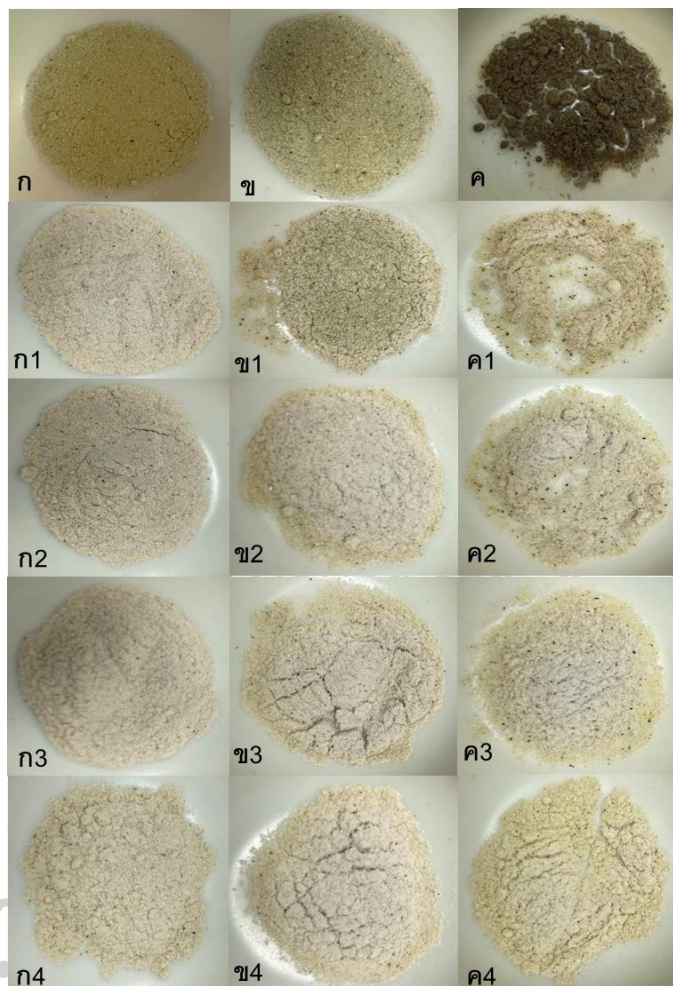
ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลแห้งน้ำมันสำหรับหลัง ผสมสารเติมแต่งเบนโทไนท์ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพของแฉ่ำที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลแห้งน้ำมันสำปะหลังผสมสารเติมแต่งเบนโทไนท์ ก) ไม่เติมสารเติมแต่ง ก1-ก4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ข) ไม่เติมสารเติมแต่ง ข1-ข4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค) ไม่เติมสารเติมแต่ง ค1-ค4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

การพิจารณาลักษณะทางกายภาพของแฉ่ำที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลแห้งน้ำมันสำปะหลัง ทำการศึกษาเงื่อนไขในการเติมสารเติมแต่งเบนโทไนท์ ออกเป็น 5 อัตราส่วน คือ ไม่เติมสารเติมแต่ง, 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ พบว่าที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสมีลักษณะของอนุภาคไม่เปลี่ยนแปลงไปจากอนุภาคของแฉ่ำก่อนการอบ ไม่เกิดการหลอมละลาย พบว่าที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสมีลักษณะของอนุภาคคล้ายกับอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 1000 พบว่าที่ 0% เกิดการหลอมและมีสีที่เข้มกว่าอุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส ที่ 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% เกิดการหลอมรอบแฉ่ำ

ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของไส้ที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของ
ชีวมวลแห้งน้ำมันสำปะหลัง ผสมสารเติมแต่งดินขาว ดังรูปที่ 4.5

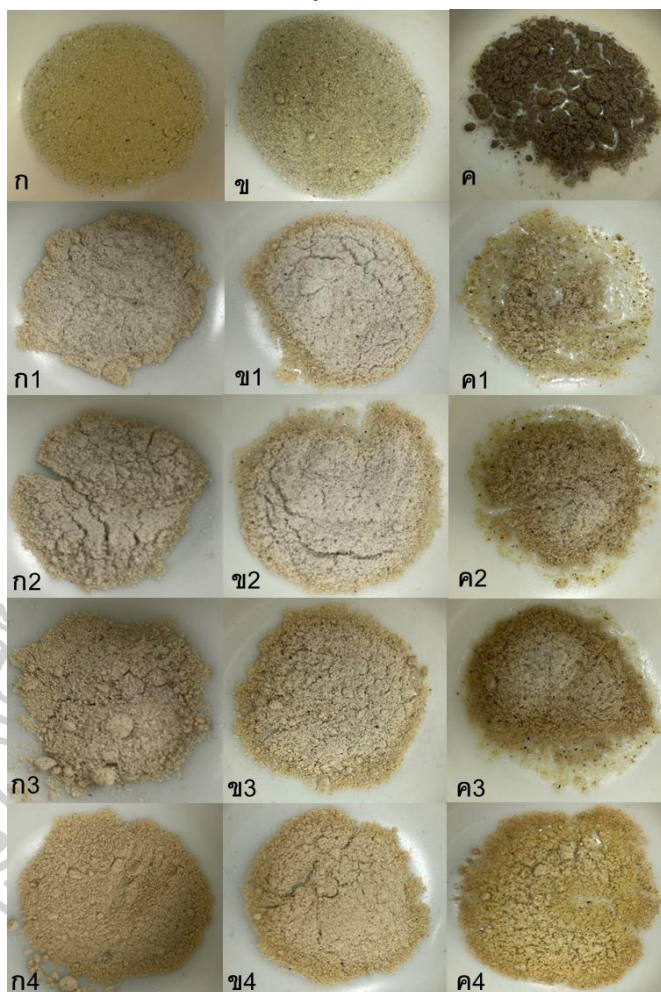


รูปที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของไส้ที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลแห้งน้ำมันสำปะหลัง ผสมสารเติมแต่งดินขาว ก) ไม่เติมสารเติมแต่ง ก1-ก4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ข) ไม่เติมสารเติมแต่ง ข1-ข4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค) ไม่เติมสารเติมแต่ง ค1-ค4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

การพิจารณาลักษณะทางกายภาพของไส้ที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลแห้งน้ำมันสำปะหลัง ทำการศึกษาเงื่อนไขในการเติมสารเติมแต่งดินขาว ออกเป็น 5 อัตราส่วน คือ ไม่เติมสารเติมแต่ง 0%, 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ พบว่าที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสมีลักษณะไม่เกิดการหลอมของไส้ในทุกอัตราส่วน ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ที่ 0%, 0.75%, 1%, 1.5% เกิดการหลอมบริเวณรอบนอก และที่ 3% ไม่เกิดการหลอม ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ที่

0% เกิดการหลอมสมบูรณ์ ที่อัตราส่วน 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% เกิดการหลอมเป็นบางส่วนในบริเวณที่เอ้ามีปริมาณน้อย

ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลแห้งน้ำมันสำปะหลัง ผสมสารเติมแต่ง Clay ดังรูปที่ 4.6

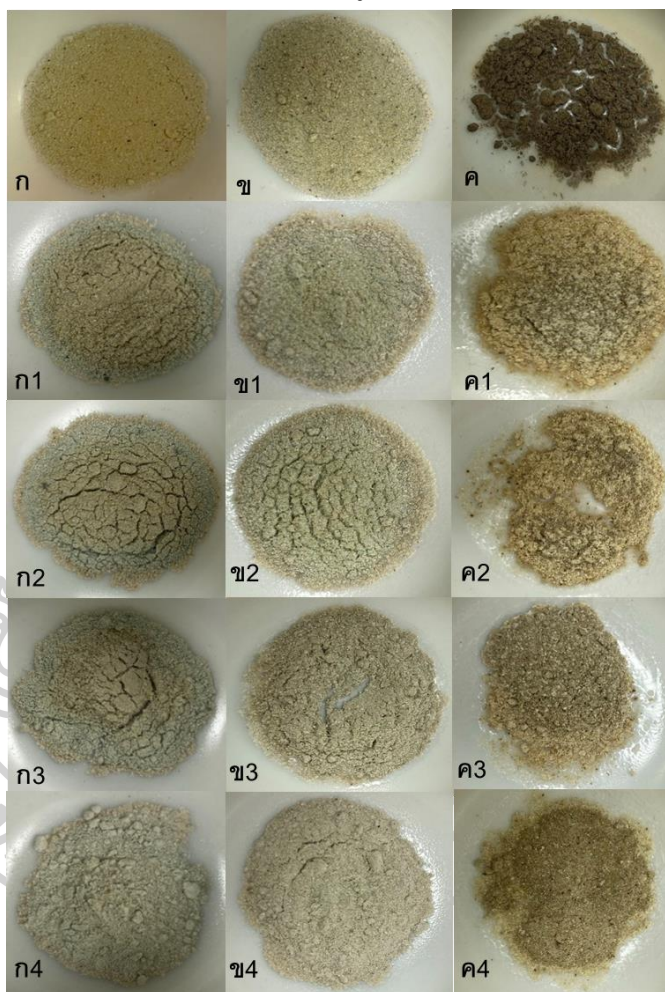


รูปที่ 4.6 ลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลแห้งน้ำมันสำปะหลัง ผสมสารเติมแต่ง Clay ก) ไม่เติมสารเติมแต่ง ก1-ก4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ข) ไม่เติมสารเติมแต่ง ข1-ข4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค) ไม่เติมสารเติมแต่ง ค1-ค4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

การพิจารณาลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลแห้งน้ำมันสำปะหลัง ทำการศึกษาเงื่อนไขในการเติมสารเติมแต่ง Clay ออกเป็น 5 อัตราส่วน คือ ไม่เติมสารเติมแต่ง 0%, 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ พบว่าที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสมีลักษณะไม่เกิดการหลอมของเถ้าในทุกอัตราส่วน ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ที่ 0%, 0.75%, 1%, 1.5%

และที่ 3% เกิดการหลอมบริเวณรอบขอบของแก้ว ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ที่ 0% เกิดการหลอมสมบูรณ์ ที่อัตราส่วน 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% เกิดการหลอมในบางส่วนและพบผลึกใสคล้ายแก้ว

ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของแก้วที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลแห้งน้ำมันสำปะหลัง ผสมสารเติมแต่ง โดโลไมท์ ดังรูปที่ 4.7



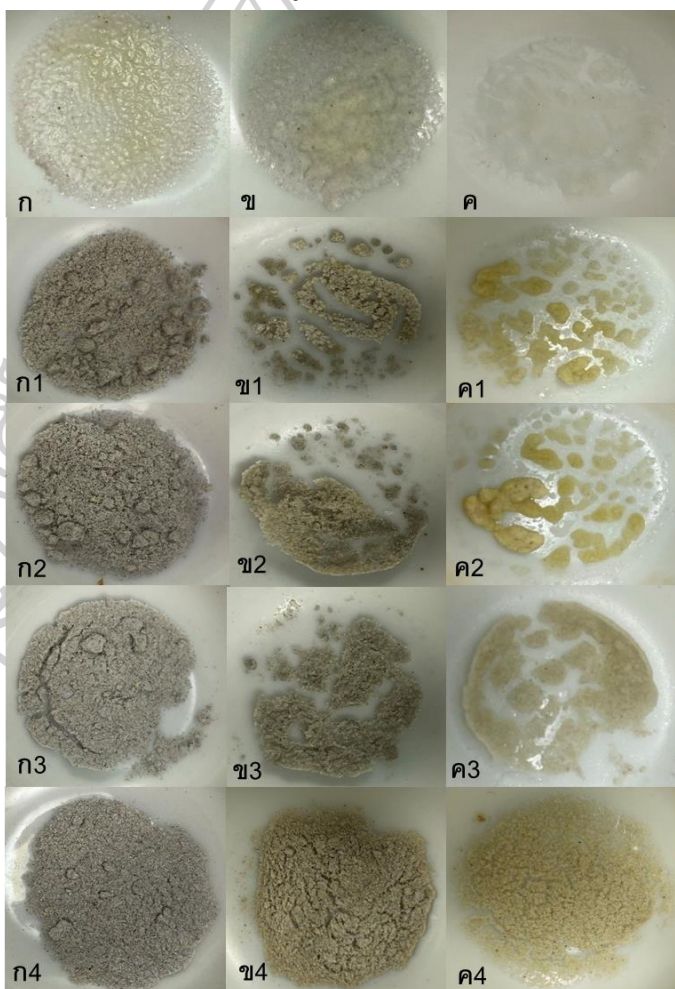
รูปที่ 4.7 ลักษณะทางกายภาพของแก้วที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลแห้งน้ำมันสำปะหลัง ผสมสารเติมแต่งโดโลไมท์ ก) ไม่เติมสารเติมแต่ง ก1-ก4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ข) ไม่เติมสารเติมแต่ง ข1-ข4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค) ไม่เติมสารเติมแต่ง ค1-ค4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

การพิจารณาลักษณะทางกายภาพของแก้วที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลแห้งน้ำมันสำปะหลัง ทำการศึกษาเงื่อนไขในการเติมสารเติมแต่งโดโลไมท์ ออกเป็น 5 อัตราส่วน คือ ไม่เติมสารเติมแต่ง 0%, 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ พบว่าที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสมี

ลักษณะไม่เกิดการลอมของเถ้าในทุกอัตราส่วน ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ที่ 0%, 0.75%, 1%, 1.5% และที่ 3% เกิดการลอมเป็นบางส่วนบริเวณรอบขอบของเถ้า ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ที่ 0% เกิดการลอมสมบูรณ์ ที่อัตราส่วน 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% เกิดการลอมและจับตัวเป็นก้อนแข็งและพบผลึกใสคล้ายแก้ว

4.1.2 ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลซังข้าวโพด

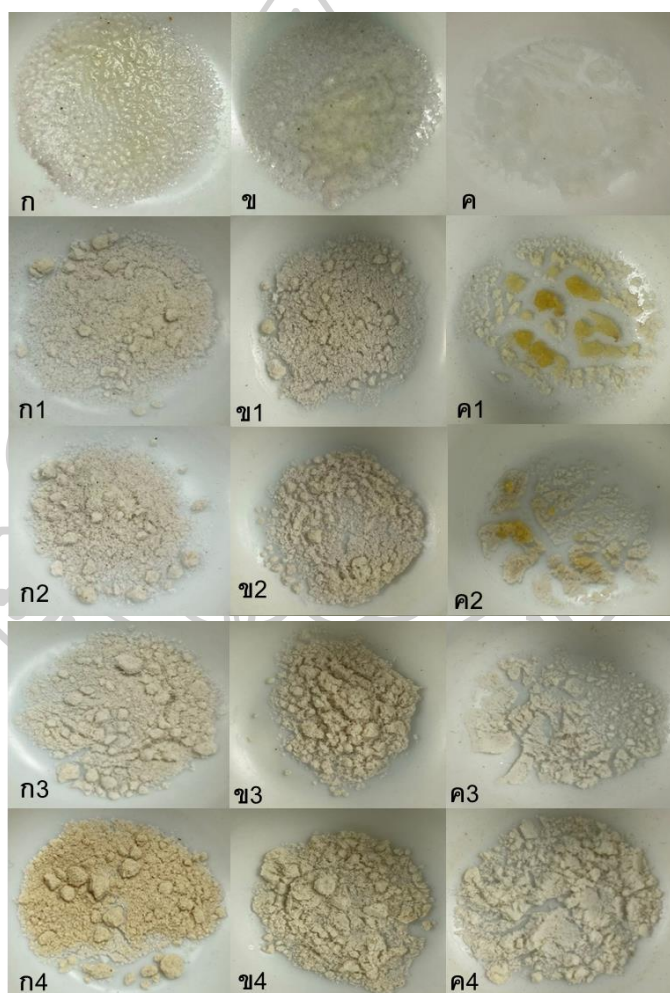
ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลซังข้าวโพด ผสมสารเติมแต่งเบนโทไนท์ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลซังข้าวโพดผสมสารเติมแต่งเบนโทไนท์ ก) ไม่เติมสารเติมแต่ง ก1-ก4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ข) ไม่เติมสารเติมแต่ง ข1-ข4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค) ไม่เติมสารเติมแต่ง ค1-ค4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

การพิจารณาลักษณะทางกายภาพของไส้ที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของซังข้าวโพด ทำการศึกษาเงื่อนไขในการเติมสารเติมแต่งเบนโทไนด์ ออกเป็น 5 อัตราส่วน คือ ไม่เติมสารเติมแต่ง 0%, 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ พบว่าที่อุณหภูมิ 800, 900 และ 1000 องศาเซลเซียส ที่ 0% พบว่ามีลักษณะหลอมของชีวมวลเป็นผลึกแข็ง ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส อัตราส่วน 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% เกิดการหลอมบริเวณผิวถ้วย ที่อุณหภูมิ 900 และ 1000 องศาเซลเซียส เกิดการจับตัวเป็นก้อนหลอมแข็งติดถ้วย

ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของไส้ที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลซังข้าวโพด ผสมสารเติมแต่งดินขาว ดังรูปที่ 4.9

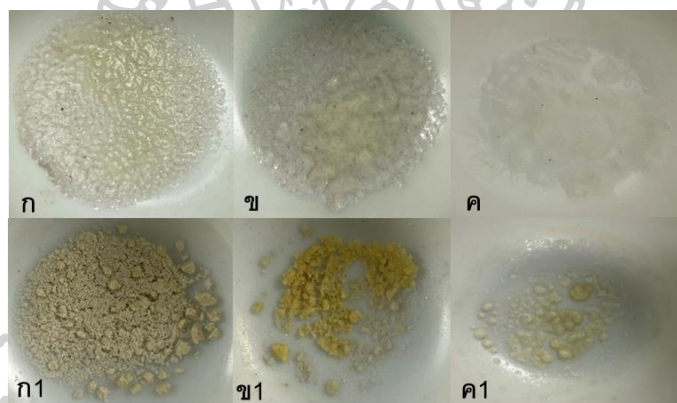


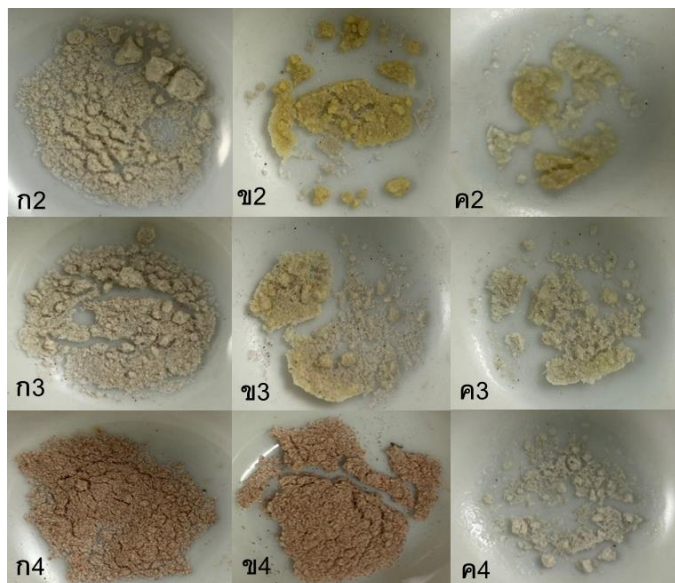
รูปที่ 4.9 ลักษณะทางกายภาพของไส้ที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลซังข้าวโพดผสมสารเติมแต่งดินขาว ก) ไม่เติมสารเติมแต่ง ก1-ก4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ข) ไม่เติมสารเติมแต่ง ข1-ข4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3%

ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค) ไม่เติมสารเติมแต่ง ค1-ค4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

การพิจารณาลักษณะทางกายภาพของแก้วที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของซีวมวลซังข้าวโพด ทำการศึกษาเงื่อนไขในการเติมสารเติมแต่งดินขาว ออกเป็น 5 อัตราส่วน คือ ไม่เติมสารเติมแต่ง 0%, 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ พบว่าที่อุณหภูมิ 800, 900 และ 1000 องศาเซลเซียส ที่ 0% พบว่ามีลักษณะหลอมของซีวมวลเป็นผลึกแข็งเกิดการหลอมโดยสมบูรณ์ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส อัตราส่วน 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% แก้วหลอมเล็กน้อยมีการแตกหักง่ายโครงสร้างเปราะ ที่อุณหภูมิ 900 และ 1000 องศาเซลเซียส 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% แก้วหลอมแข็งจับตัวเป็นก้อนแข็งติดถ้วย

ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของแก้วที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของซีวมวลซังข้าวโพด ผสมสารเติมแต่ง Clay ดังรูปที่ 4.10

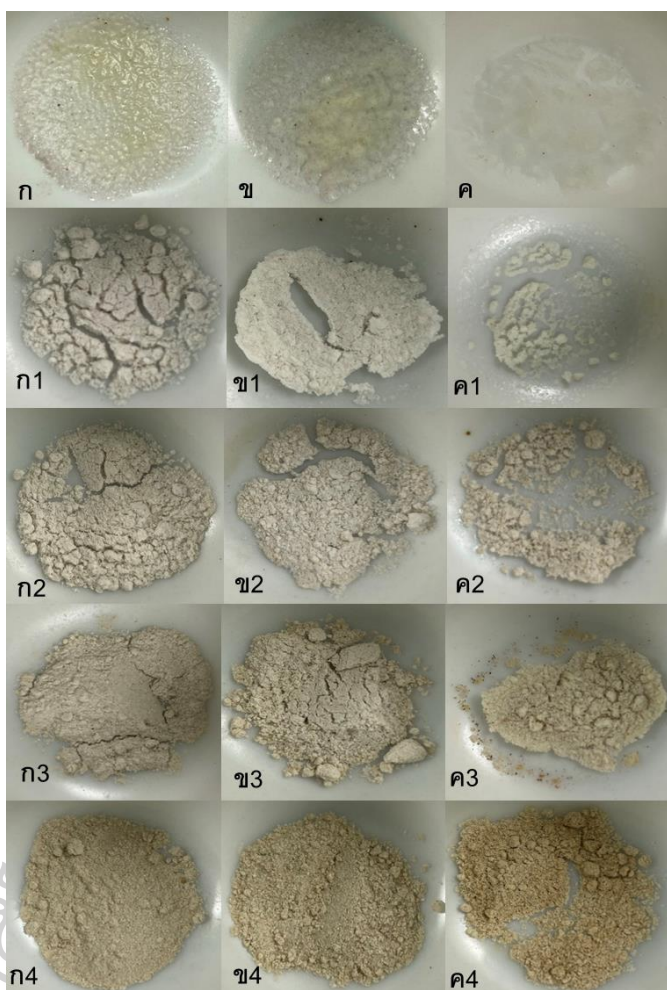




รูปที่ 4.10 ลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลซึ่งข้าวโพดผสมสารเติมแต่ง Clay ก) ไม่เติมสารเติมแต่ง ก1-ก4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ข) ไม่เติมสารเติมแต่ง ข1-ข4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค) ไม่เติมสารเติมแต่ง ค1-ค4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

การพิจารณาลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลซึ่งข้าวโพดทำการศึกษาเงื่อนไขในการเติมสารเติมแต่งดินขาว ออกเป็น 5 อัตราส่วน คือ ไม่เติมสารเติมแต่ง 0%, 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ พบว่าที่อุณหภูมิ 800, 900 และ 1000 องศาเซลเซียส ที่ 0% พบว่ามีลักษณะหลอมของชีวมวลเป็นผลึกแข็งเกิดการหลอมโดยสมบูรณ์ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส อัตราส่วน 0.75%, 1% และ 1.5% ลักษณะเถ้าหลอมเล็กน้อยมีการแตกหักง่ายโครงสร้างเปราะ ที่ 3% พบว่าเถ้าหลอมไม่มีการหลอม ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส อัตราส่วน 0.75%, 1% และ 1.5% เถ้าหลอมแข็งมีการหลอมเป็นบางส่วน ที่ 3% มีการหลอมเล็กน้อยแตกหักง่าย ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ทุกอัตราส่วนเถ้าหลอมแข็งติดถ้วย

ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลซึ่งข้าวโพด ผสมสารเติมแต่ง Clay ดังรูปที่ 4.11



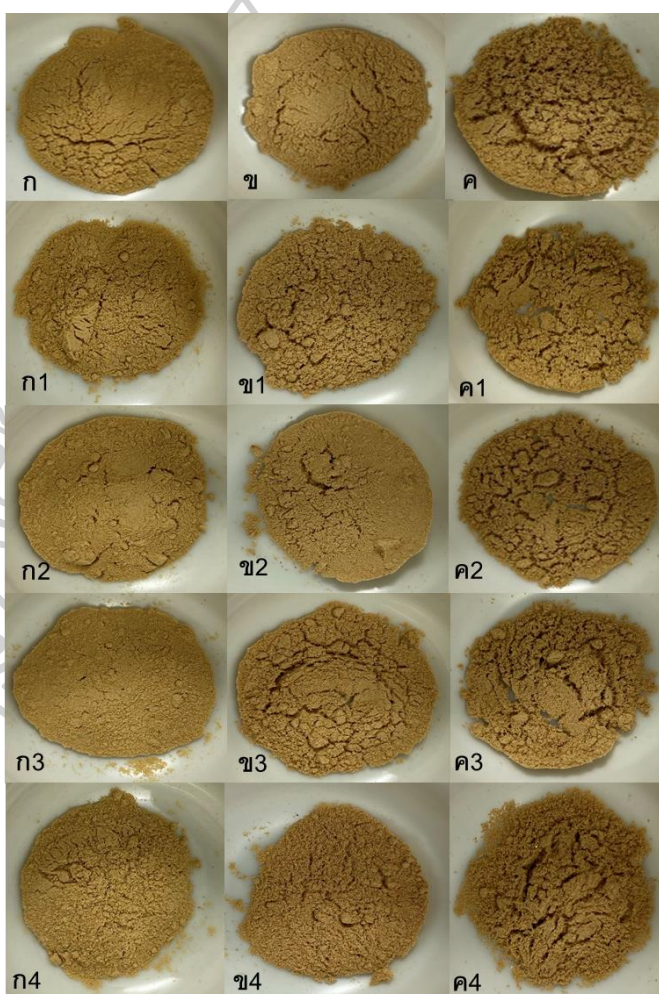
รูปที่ 4.11 ลักษณะทางกายภาพของแฉ่ำที่เหลือหลังจากการเผาไ้ม้ของชีวมวลซึ่งข้าวโพดผสมสารเติมแต่งโดโลไมท์ ก) ไม่เติมสารเติมแต่ง ก1-ก4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ข) ไม่เติมสารเติมแต่ง ข1-ข4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค) ไม่เติมสารเติมแต่ง ค1-ค4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

การพิจารณาลักษณะทางกายภาพของแฉ่ำที่เหลือหลังจากการเผาไ้ม้ของชีวมวลซึ่งข้าวโพดทำการศึกษาเงื่อนไขในการเติมสารเติมแต่งโดโลไมท์ ออกเป็น 5 อัตราส่วน คือ ไม่เติมสารเติมแต่ง 0%, 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ พบว่าที่อุณหภูมิ 800, 900 และ 1000 องศาเซลเซียส ที่ 0% พบว่ามีลักษณะหลอมของชีวมวลเป็นผลึกแข็งเกิดการหลอมโดยสมบูรณ์ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส อัตราส่วน 0.75%, ลักษณะแฉ่ำหลอมเล็กน้อยมีการแตกหักง่ายโครงสร้างเปราะ ที่ 1%, 1.5% และ 3% พบว่าแฉ่ำหลอมไม่มีการหลอม ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส อัตราส่วน 0.75%, 1% และ 1.5% แฉ่ำหลอมแข็งมีการหลอมเป็นบางส่วน ที่ 3% มีการหลอมเล็กน้อยแตกหัก

ง่าย ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วน 0.75%, 1% และ 1.5% เถ้าหลอมแข็งที่มีการหลอมเป็นบางส่วน ที่ 3% เถ้าหลอมเล็กน้อยมีการแตกหักง่ายโครงสร้างเปราะ แสดงตารางที่ 4.8

4.1.3 ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลชานอ้อย

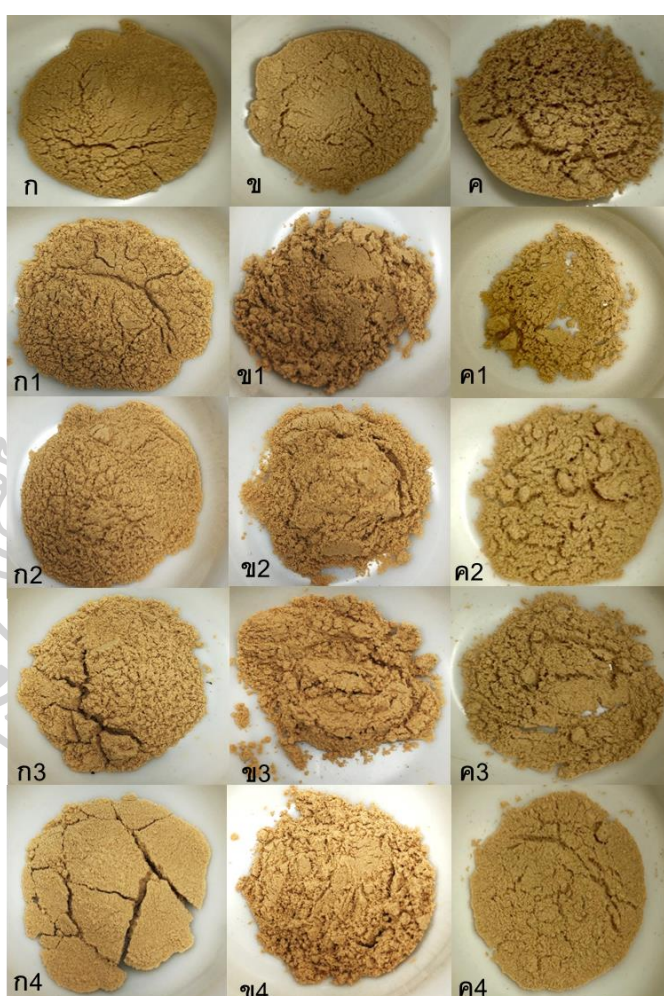
ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลชานอ้อย ผสมสารเติมแต่งเบนโทไนท์ ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลชานอ้อยผสมสารเติมแต่งโดโลไมท์ ก) ไม่เติมสารเติมแต่ง ก1-ก4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ข) ไม่เติมสารเติมแต่ง ข1-ข4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค) ไม่เติมสารเติมแต่ง ค1-ค4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

การพิจารณาลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลชานอ้อย ทำการศึกษาเงื่อนไขในการเติมสารเติมแต่งเบนโทไนท์ (ไทย) ออกเป็น 5 อัตราส่วน คือ ไม่เติม สารเติมแต่ง 0%, 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ พบว่าไม่เกิดการหลอมและก่อตัวเป็น ตะกรันของเถ้าชานอ้อย

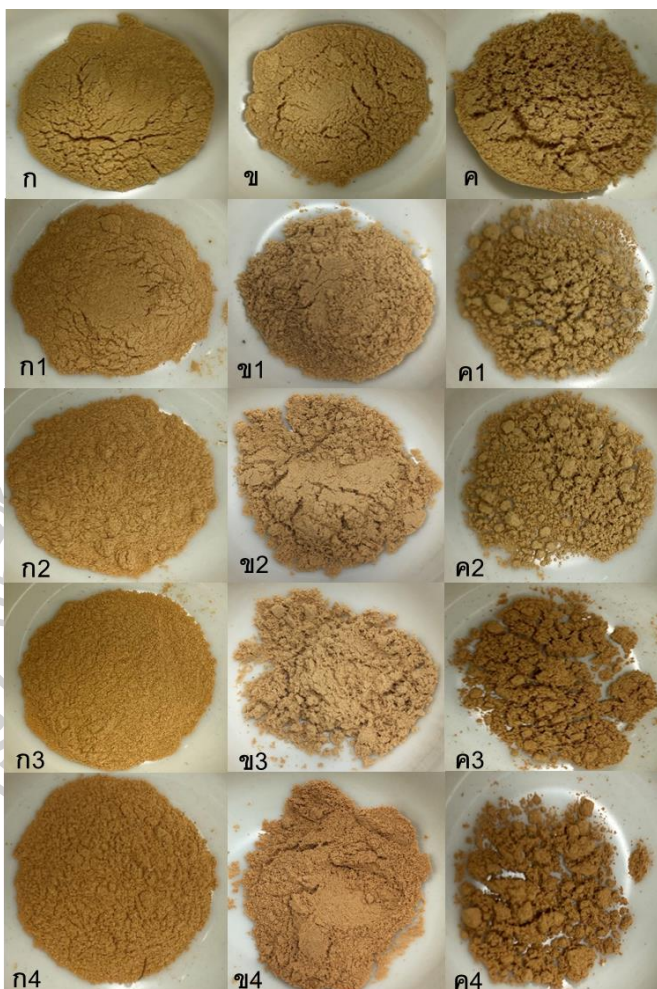
ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของ ชีวมวลชานอ้อย ผสมสารเติมแต่งดินขาว ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลชานอ้อยผสมสารเติม แต่งดินขาว ก) ไม่เติมสารเติมแต่ง ก1-ก4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ข) ไม่เติมสารเติมแต่ง ข1-ข4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค) ไม่เติมสารเติมแต่ง ค1-ค4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

การพิจารณาลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลชานอ้อย ทำการศึกษาเงื่อนไขในการเติมสารเติมแต่งดินขาว ออกเป็น 5 อัตราส่วน คือ ไม่เติมสารเติมแต่ง 0%, 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ พบว่าถ้ามีการรวมกลุ่มการหลอมและก่อตัวเป็นตะกรันของเถ้าชานอ้อย

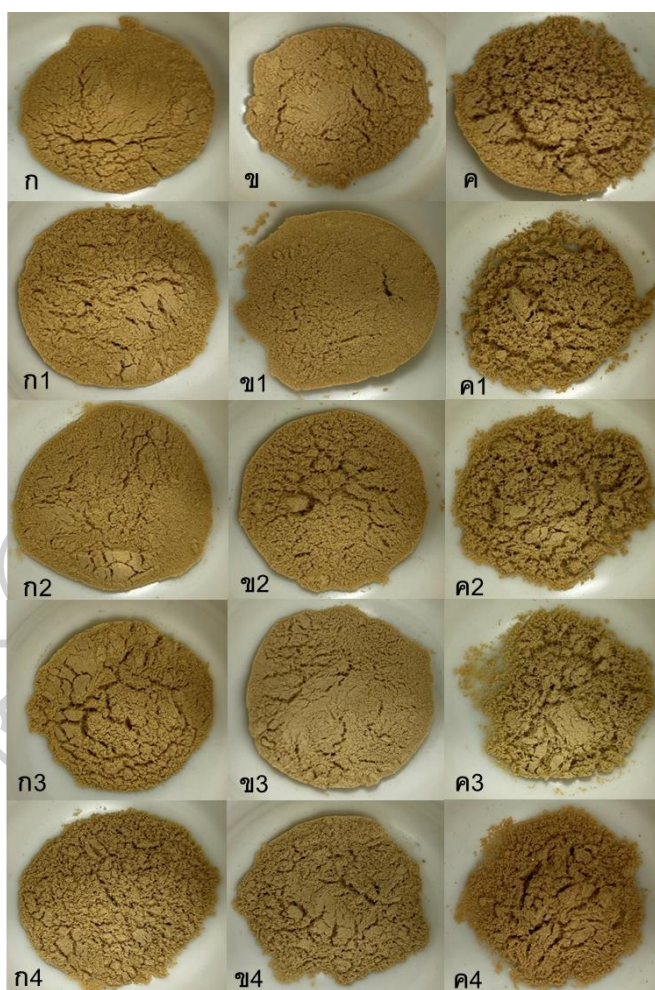
ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลชานอ้อย ผสมสารเติมแต่ง Clay ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลชานอ้อยผสมสารเติมแต่ง Clay ก) ไม่เติมสารเติมแต่ง ก1-ก4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ข) ไม่เติมสารเติมแต่ง ข1-ข4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค) ไม่เติมสารเติมแต่ง ค1-ค4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

การพิจารณาลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลชานอ้อย ทำการศึกษาเงื่อนไขในการเติมสารเติมแต่ง Clay ออกเป็น 5 อัตราส่วน คือ ไม่เติมสารเติมแต่ง 0%, 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ พบว่าเถ้าไม่มีการรวมกลุ่มการหลอมและก่อตัวเป็นตะกรันของเถ้าชานอ้อย

ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลชานอ้อย ผสมสารเติมแต่งโดโลไมท์ ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลชานอ้อยผสมสารเติมแต่งโดโลไมท์ ก) ไม่เติมสารเติมแต่ง ก1-ก4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ข) ไม่เติมสารเติมแต่ง ข1-ข4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค) ไม่เติมสารเติมแต่ง ค1-ค4 เติมสารเติมแต่ง 0.75% 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

การพิจารณาลักษณะทางกายภาพของเถาที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของชีวมวลชานอ้อย ทำการศึกษาเงื่อนไขในการเติมสารเติมแต่งโดโลไมท์ ออกเป็น 5 อัตราส่วน คือ ไม่เติมสารเติมแต่ง 0%, 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ตามลำดับ พบว่าเถาเกาะตัวกันหลวมๆ ไม่มีการหลอมของเถา และก่อตัวเป็นตะกรัน แสดงตารางที่ 4.12

4.3 ผลการวิเคราะห์ของสารเติมแต่งที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวล

ผลการวิเคราะห์ของสารเติมแต่งที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลแห้งมันสำปะหลัง, ชั่งข้าวโพด และชานอ้อย จากเงื่อนไขของการไม่มีการเติมสารเติมแต่ง และกรณีที่มีการเติมสารเติมแต่ง ในอัตราส่วน 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส, 900 องศาเซลเซียส และ 1000 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งสามารถแบ่งผล การวิเคราะห์ ออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.3.1 ผลของอัตราส่วนที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวล

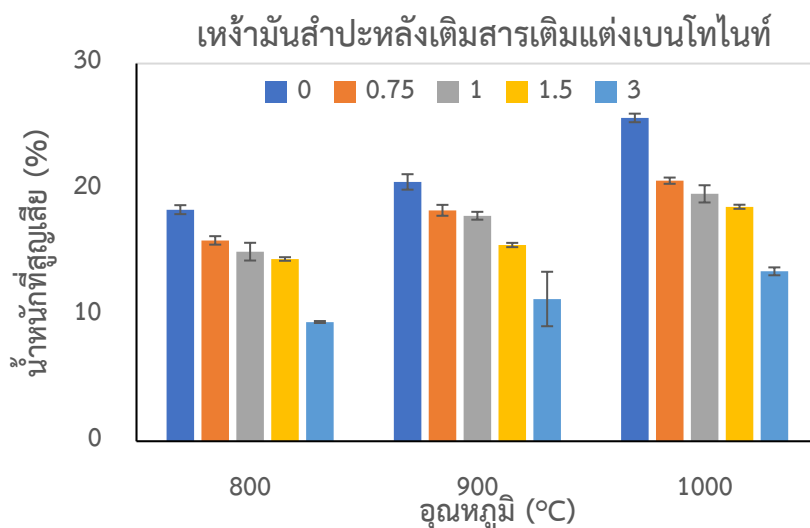
4.3.2 ผลของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวล

4.3.1 ผลของอัตราส่วนที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวล

การวิเคราะห์อัตราส่วนที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวล จากเงื่อนไขของการไม่มีการเติมสารเติมแต่ง และกรณีที่มีการเติมสารเติมแต่ง ในอัตราส่วน 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส, 900 องศาเซลเซียส และ 1000 องศาเซลเซียส

4.3.1.1 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลแห้งมันสำปะหลัง

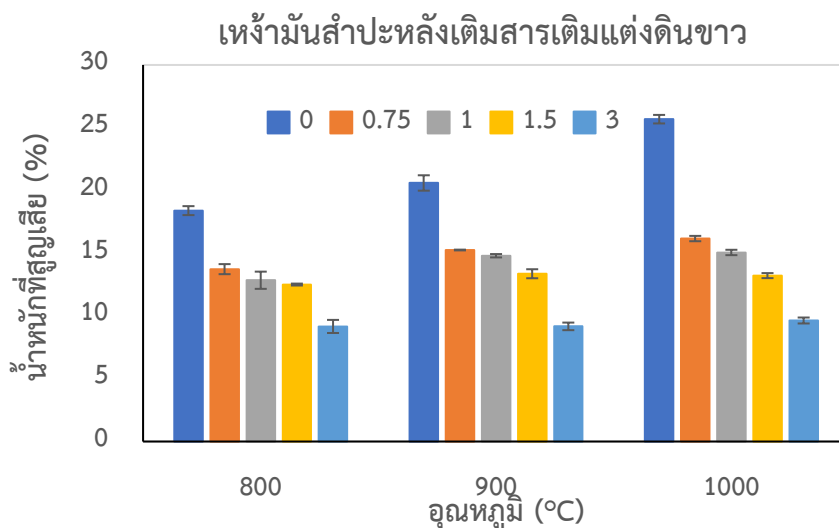
การวิเคราะห์น้ำหนักที่หายของชีวมวลแห้งมันสำปะหลังเติมสารเติมแต่งได้แก่ เบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ตามลำดับ โดยจะทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส, 900 องศาเซลเซียส และ 1000 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งเบนโทไนด์ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียน้ำของชีวมวลเหง้ามันสำปะหลัง

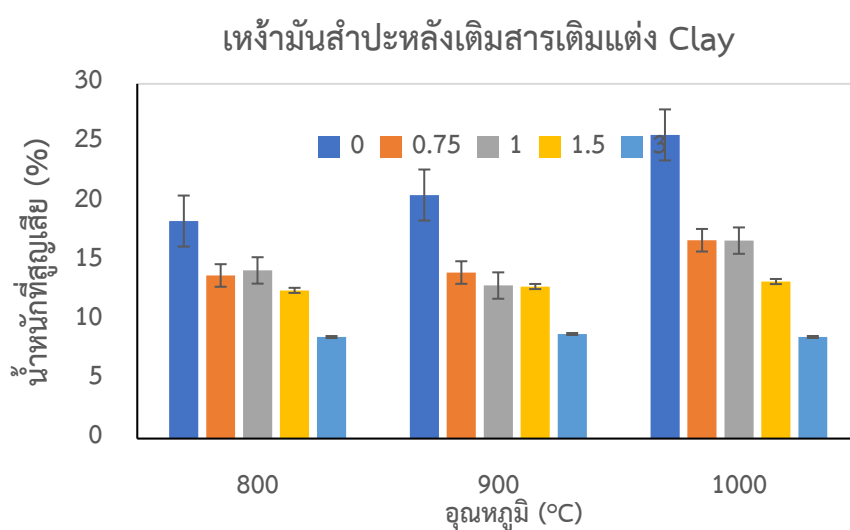
จากรูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งที่เบนโทไนด์ ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียน้ำ พบว่าน้ำหนักที่สูญเสียน้ำของชีวมวลเหง้ามันสำปะหลังที่มีการเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีค่า 18.40%, 15.95%, 15.06%, 14.48% และ 9.47% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 20.60%, 18.34%, 17.91%, 15.59% และ 11.30% ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 25.68%, 20.69%, 19.65%, 18.62% และ 13.50% ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียน้ำของเหง้ามันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%) มีค่า 7.29% และในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 3% มีแนวโน้มปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียน้ำลดลง สารเติมแต่งเบนโทไนด์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 15.23% ของสารเติมแต่งดินขาวคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 58.98% ของสารเติมแต่ง Clay คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 60.36% และซังข้าวโพดผสมสารเติมแต่งโดโลไมต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 46.90%



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งดินขาวที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีของชีวมวลเหง้ามันสำปะหลัง

จากรูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งดินขาวที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสี พบว่าน้ำหนักที่หายไปของชีวมวลเหง้ามันสำปะหลังที่มีการเติมสารเติมแต่งดินขาว ที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% มีอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส 18.40%, 13.73%, 12.85%, 12.51%, และ 9.17% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 20.60%, 15.26%, 14.80%, 13.37% และ 9.17% ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 25.68%, 16.17%, 15.06%, 13.22% และ 9.64% ตามลำดับ

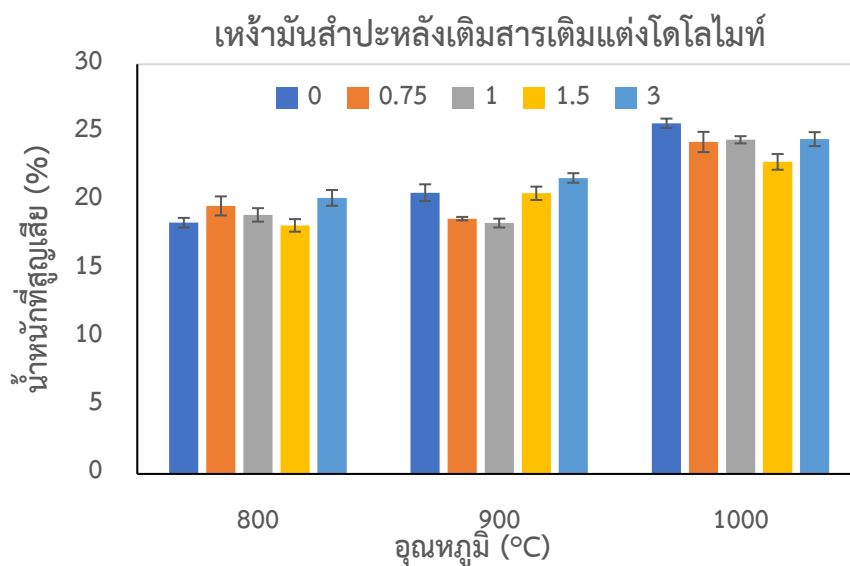


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่ง Clay ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีของชีวมวลเหง้ามันสำปะหลัง

จากรูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่ง Clay ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีย พบว่าน้ำหนักที่หายไปของชีวมวลแห้งมันสำปะหลังที่มีการเติมสารเติมแต่ง ที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% มีอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส 18.40%, 13.80%, 14.22%, 12.53%, และ 8.59% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 20.60%, 14.04%, 12.94%, 12.86% และ 8.84% ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 25.68%, 21.49%, 20.49%, 18.48% และ 12.52% ตามลำดับ

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น กล่าวได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเผาไหม้สูงขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลแห้งมันสำปะหลังมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเถ้าสมบูรณ์เกิดการสันดาปโดยการหลอมหรือระเหยกลายเป็นไอของโพแทสเซียมเกลือ (KCl , K_2SO) มีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ 770 องศาเซลเซียส [2] ซึ่งทำให้เถ้าที่ได้รับความร้อนมากกว่า 800 องศาเซลเซียส นั้นมีปริมาณน้ำหนักที่หายไปเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้พบว่าชีวมวลแห้งมันสำปะหลังที่เติมสารเติมแต่ง เบนโทไนด์, ดินขาว และ Clay มีแนวโน้มปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียลดลงในทุกอุณหภูมิเผาไหม้ เนื่องจากสารเติมแต่ง ทั้ง 3 ชนิด จัดอยู่ในประเภท Aluminium silicates based สามารถเพิ่มอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวของสารประกอบเพิ่มสูงขึ้น [23] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลทางปาล์มและทะเลปาล์มที่เติมสารเติมแต่งดินขาว [17] กล่าวว่าอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้นส่งผลให้น้ำหนักที่หายไปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของสารเติมแต่งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากดินขาวมีองค์ประกอบหลักเป็น Aluminium silicates สามารถทำปฏิกิริยากับคลอรีน (Cl), และโพแทสเซียม (K) ส่งผลให้เกิดสารประกอบใหม่ โพแทสเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกต ($KAlSi_3O_8$) ที่สามารถเพิ่มอุณหภูมิจุดหลอมของธาตุชีวมวล [2, 4, 11]

ดังนั้นสรุปได้ว่าอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณเกิดการสันดาปของชีวมวลกลายเป็นนำไปสู่น้ำหนักที่สูญเสียของเถ้าชีวมวลเพิ่มขึ้น และกล่าวได้ว่าสารเติมแต่งประเภท Aluminium silicates based มีความเข้มข้นสูงซึ่งสามารถลดการสันดาปกลายเป็นไอของเถ้าชีวมวลและช่วยเพิ่มอุณหภูมิจุดหลอมของเถ้า



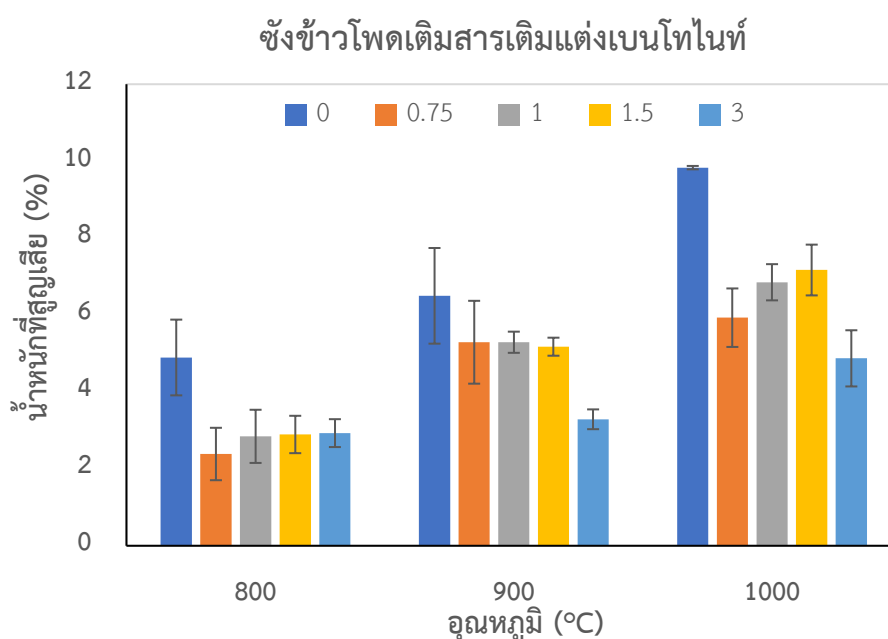
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งโดโลไมท์ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของ
ชีวมวลเหง้ามันสำปะหลัง

จากรูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งโดโลไมท์ ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีย พบว่าน้ำหนักที่หายไปของชีวมวลเหง้ามันสำปะหลังที่มีการเติมสารเติมแต่ง ที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% มีอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส 18.40%, 19.63%, 18.97%, 18.20%, และ 20.23% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 20.60%, 18.70%, 18.37%, 20.55% และ 21.68% ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 25.68%, 24.31%, 24.47%, 22.85% และ 24.52% ตามลำดับ

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าเมื่ออุณหภูมิเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลเหง้ามันสำปะหลังมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารอนินทรีย์ที่มีปริมาณสูงในชีวมวลเกิดการสลายตัวกลายเป็นไอเมื่อให้ความร้อนที่สูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียเพิ่มสูงขึ้น และนอกจากนี้พบว่าชีวมวลเหง้ามันสำปะหลังที่เติมสารเติมแต่งโดโลไมท์ที่มีปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลทางปาล์มและทะเลลายปาล์มโดยใช้สารเติมแต่งแคลไซต์ เนื่องจากสารเติมแต่งแคลไซต์ และโดโลไมท์ เป็นสารเติมแต่งประเภท Calcium based [23] มีธาตุหลักเป็น Ca ซึ่งสามารถปลดปล่อย โพแทสเซียม (K) ในชีวมวล และทำปฏิกิริยากับซิลิกอน กลายเป็นแคลเซียมซิลิเกต (CaSiO_3) ส่วนใหญ่อาจเกิดการระเหยของธาตุระหว่างการเผาไหม้ [4, 11]

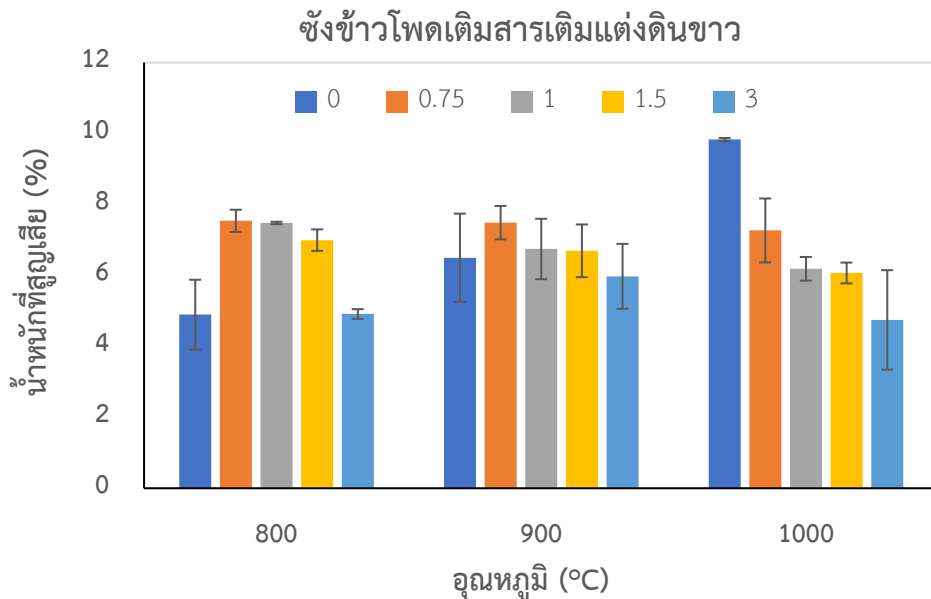
ดังนั้นกล่าวได้ว่าสารเติมแต่งประเภท Calcium based สามารถทำปฏิกิริยากับชีวมวลและนำไปสู่ปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นของน้ำหนักที่สูญเสียในถ่านชีวมวล และสูงกว่าชีวมวลที่ไม่เติมสารเติมแต่ง

4.4.3.2 การวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลซึ่งข้าวโพดที่เติมสารเติมแต่ง
การวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลซึ่งข้าวโพดเติมสารเติมแต่งได้แก่
เบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ตามลำดับ โดยจะทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ
800 องศาเซลเซียส, 900 องศาเซลเซียส และ 1000 องศาเซลเซียส



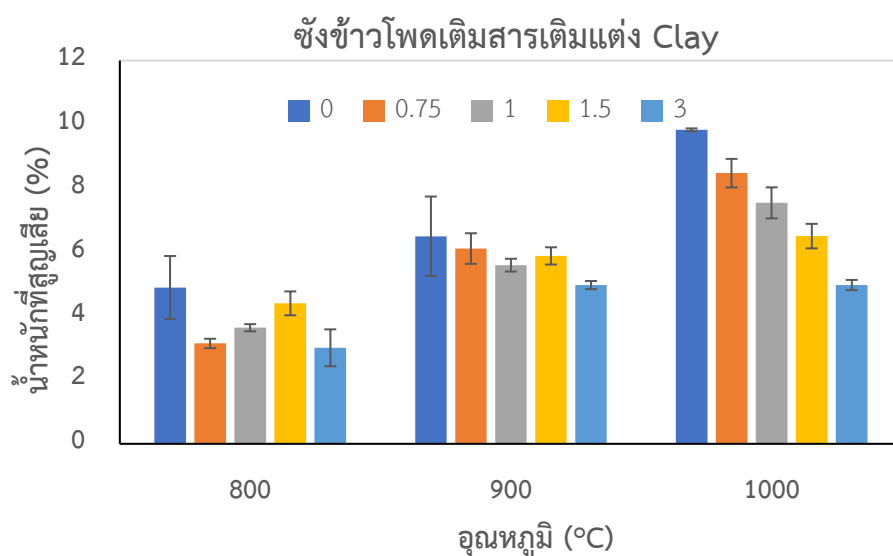
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งเบนโทไนท์ ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีย
ของชีวมวลซึ่งข้าวโพด

จากรูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งเบนโทไนท์ ที่มีต่อน้ำหนัก
ที่สูญเสีย พบว่าน้ำหนักที่หายไปของชีวมวลซึ่งข้าวโพดที่มีการเติมสารเติมแต่ง ที่อัตราส่วน 0%
(ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% มีอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส 4.90%, 2.39%,
2.84%, 2.89% และ 2.93% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 6.50%, 5.29%,
5.29%, 5.16% และ 5.41% ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 9.83%,
5.93%, 6.85%, 7.17% และ 7.56% ตามลำดับ



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งดินขาวที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียน้ำของซังมวลซังข้าวโพด

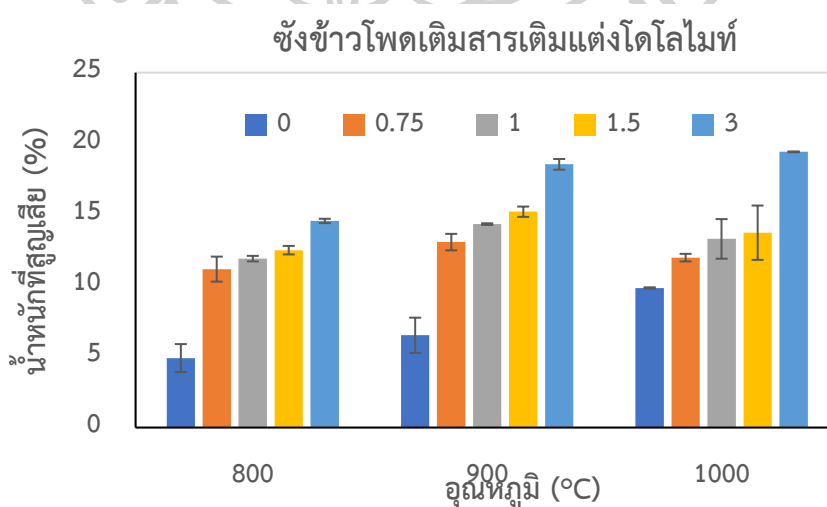
จากรูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งดินขาว ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียน้ำ พบว่าน้ำหนักที่หายไปของซังมวลซังข้าวโพดที่มีการเติมสารเติมแต่งดินขาว ที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% มีอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส 4.90%, 7.54%, 7.48%, 6.99% และ 4.91% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 6.50%, 7.49%, 6.75%, 6.69% และ 5.9743% ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 9.83%, 9.70%, 7.84%, 6.40% และ 4.75% ตามลำดับ



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่ง Clay ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียน้ำของซังมวลซังข้าวโพด

จากรูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งดิน Clay ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีย พบว่าน้ำหนักที่หายไปของชีวมวลซึ่งข้าวโพดที่มีการเติมสารเติมแต่ง Clay ที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% มีอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส 4.90%, 3.14 %, 3.63%, 4.40% และ 3% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 6.50%, 6.11%, 5.59%, 5.88% และ 4.97% ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 9.83%, 8.47%, 7.54%, 6.5% และ 4.97% ตามลำดับ

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น กล่าวได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเผาไหม้สูงขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลซึ่งข้าวโพดมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากในเนื้อหาของชีวมวลซึ่งข้าวโพดมีปริมาณของสารอินทรีย์สูง [19] เมื่อได้รับความร้อนที่ 800, 900 และ 1000 องศาเซลเซียส ก่อให้เกิดการสันดาปของสารประกอบอินทรีย์ให้กลายเป็นไอ ส่งผลให้ปริมาณของน้ำหนักที่สูญเสียเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้น นอกจากนี้พบว่าชีวมวลซึ่งข้าวโพดที่เติมสารเติมแต่ง เบนโทไนท์, ดินขาว และ Clay มีแนวโน้มปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียลดลงในทุกอุณหภูมิเผาไหม้ เนื่องจากสารเติมแต่ง เบนโทไนท์, ดินขาว และ Clay เป็นสารเติมแต่ง Aluminium silicates based สามารถเพิ่มอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวของสารประกอบเพิ่มสูงขึ้น [23] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาการลักษณะการหลอมเหลวของข้าวโพดที่เติมสารเติมแต่งดินขาว กล่าวว่างค์ประกอบทางเคมีของดินขาวบางส่วนเกิดการระเหยและบางส่วนทำปฏิกิริยากับ โพแทสเซียม, โซเดียม, แมกนีเซียม และแคลเซียม เกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่มีอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวสูง [22, 32] ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าสารเติมแต่ง Aluminium silicates based สามารถลดการสันดาปของเชื้อชีวมวลให้ลดลง



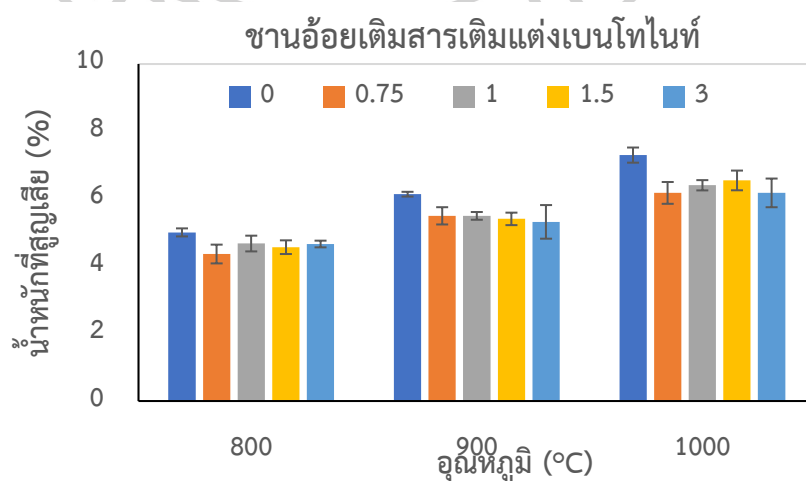
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งโดโลไมท์ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลซึ่งข้าวโพด

จากรูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งดิน Clay ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีย พบว่าน้ำหนักที่หายไปของชีวมวลซึ่งข้าวโพดที่มีการเติมสารเติมแต่ง Clay ที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% มีอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส 4.90%, 11.16%, 11.90%, 12.49% และ 14.55% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 6.50%, 13.06%, 14.33%, 15.20% และ 18.54% ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 9.83%, 11.97%, 13.29%, 13.72% และ 19.42% ตามลำดับ

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าเมื่ออุณหภูมิเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลซึ่งข้าวโพดมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับในกรณีเติมสารเติมแต่งโดโลไมท์ เนื่องจากธาตุในสารเติมแต่งโดโลไมท์มีการทำปฏิกิริยากับธาตุในชีวมวล ส่งผลให้เกิดการสันดาปของสารอนินทรีย์สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาการเติมแคลไซต์ในชีวมวลเนื่องจากสารเติมแต่งแคลไซต์ และโดโลไมท์ เป็นสารเติมแต่งประเภท Calcium Based มีธาตุหลักเป็น Ca ซึ่งสามารถปลดปล่อยโพแทสเซียม (K) ในชีวมวล และทำปฏิกิริยากับซิลิกอน กลายเป็นแคลเซียมซิลิเกต (CaSiO_3) ส่วนใหญ่อาจเกิดการระเหยของธาตุระหว่างกาเผาไหม้ [33, 34] ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าสารเติมแต่งประเภท Calcium Based Additive สามารถทำปฏิกิริยากับชีวมวลและนำไปสู่ปริมาณที่เพิ่มของน้ำหนักที่สูญเสียของถ่านชีวมวล ให้สูงกว่าชีวมวลที่ไม่เติมสารเติมแต่ง

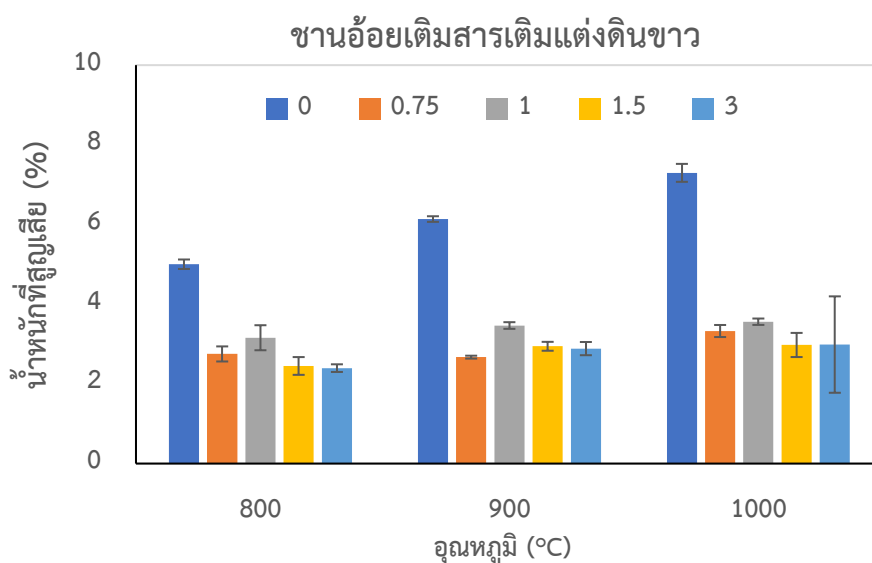
4.3.1.3 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลชานอ้อย

การวิเคราะห์น้ำหนักที่หายไปของชีวมวลชานอ้อยเติมสารเติมแต่งได้แก่ เบนโทไนท์ (ไทย), ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ตามลำดับ โดยจะทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส, 900 องศาเซลเซียส และ 1000 องศาเซลเซียส



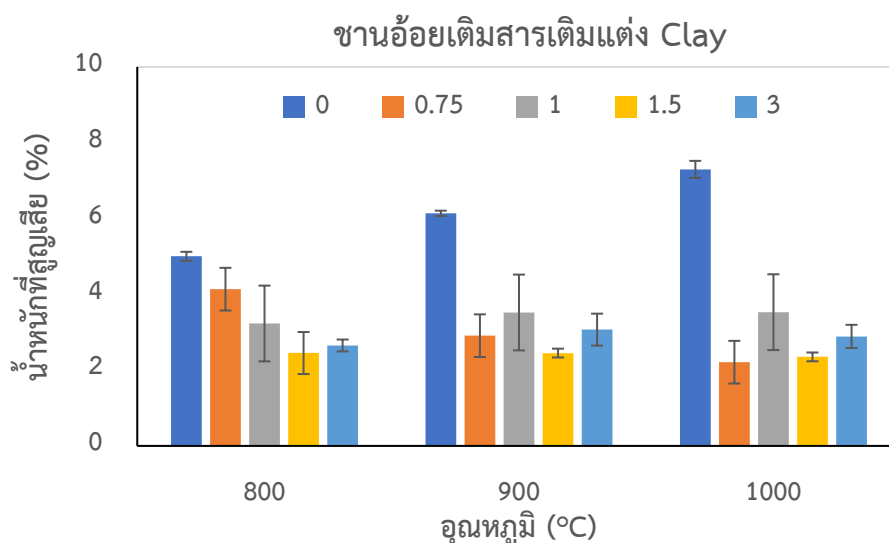
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งเบนโทไนท์ (ไทย) ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลชานอ้อย

จากรูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งเบนโทไนด์ ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีย พบว่าน้ำหนักที่หายไปของชีวมวลขานอ้อยที่มีการเติมสารเติมแต่ง ที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% มีอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส 5%, 4.36%, 4.67%, 4.56% และ 4.57% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 6.14%, 5.50%, 5.49%, 5.40% และ 5.31% ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 7.29%, 6.18%, 6.40%, 6.54% และ 6.18% ตามลำดับ



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งดินขาวที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลขานอ้อย

จากรูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งดินขาวที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีย พบว่าน้ำหนักที่หายไปของชีวมวลขานอ้อยที่มีการเติมสารเติมแต่ง ที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% มีอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส 5%, 2.75%, 3.16%, 2.45% และ 2.39% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 6.14%, 2.67%, 3.46%, 2.94% และ 2.89% ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 7.29%, 3.32%, 3.56%, 2.98% และ 2.99% ตามลำดับ

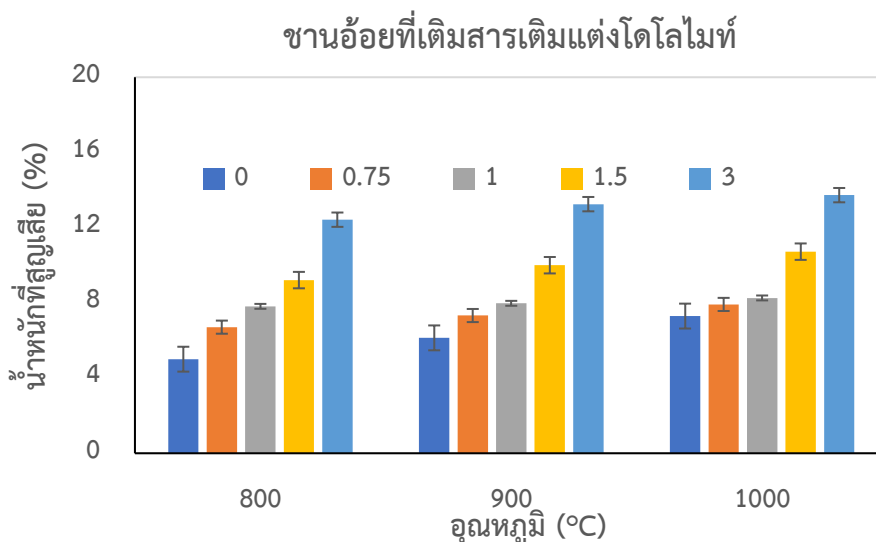


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่ง Clay ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียน้ำของชีวมวลชานอ้อย

จากรูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่ง Clay ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียน้ำ พบว่าน้ำหนักที่หายไปของชีวมวลชานอ้อยที่มีการเติมสารเติมแต่ง ที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% มีอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส 5%, 4.13%, 3.23%, 2.45% และ 2.65% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 6.14%, 2.90%, 3.52%, 2.45% และ 3.06% ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 7.29%, 2.20%, 3.53%, 2.35% และ 2.89% ตามลำดับ

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น กล่าวได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเผาไหม้สูงขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักที่สูญเสียน้ำของชีวมวลอ้อยมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับชีวมวลเหง้ามันและชีวมวลชังข้าวโพด เนื่องจากในชีวมวลทุกชนิดมีปริมาณของสารอนินทรีย์เป็นหลัก ได้แก่ โพแทสเซียม, ซิลิกา, คลอรีน, ฟอสฟอรัส และกำมะถัน เป็นต้น ซึ่งธาตุเหล่านี้จะเกิดการสันดาปกลายเป็นไอในระหว่างการเผาไหม้ในช่วงอุณหภูมิ 800-1000 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ไอที่ระเหยออกไประหว่างเผาไหม้ไปเกาะตัวกับอุปกรณ์เผาไหม้ เมื่ออุณหภูมิเย็นลง เกิดควบแน่นทำให้ลดประสิทธิภาพการเผาไหม้ลง นอกจากนี้พบว่าชีวมวลชานอ้อยที่เติมสารเติมแต่ง เบนโทไนท์, ดินขาว และ Clay มีแนวโน้มปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียน้ำลดลงในทุกอุณหภูมิเผาไหม้ เนื่องจากสารเติมแต่ง เบนโทไนท์ (ไทย), ดินขาว และ Clay เป็นสารเติมแต่ง Aluminium silicates based สามารถเพิ่มอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวของสารประกอบเพิ่มสูงขึ้น [23] ชานอ้อยมีปริมาณของสารประกอบ SiO_2 และ Al_2O_3 .สูง ซึ่งสารประกอบเหล่านี้มีอุณหภูมิหลอมสูงส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มที่ต่ำ [19]

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าสารเติมแต่ง Aluminium silicates based สามารถลดการระเหยกลายเป็นไอของเถ้าชีวมวลและช่วยเพิ่มอุณหภูมิจุดหลอมของ ชานอ้อยมีสารประกอบ SiO_2 และ Al_2O_3 .สูง มีอุณหภูมิหลอมสูง ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มที่ต่ำ

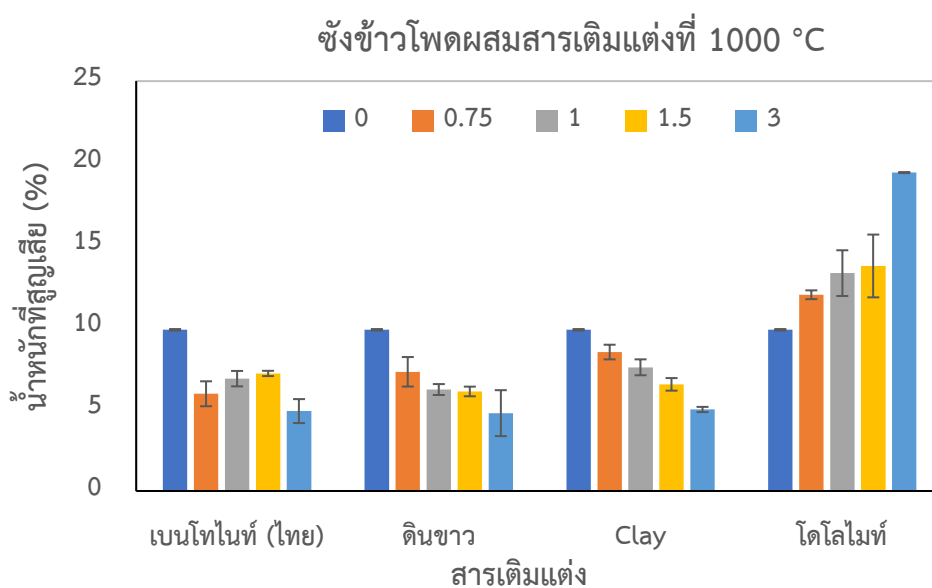


รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่งโดโลไมท์ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลชานอ้อย

จากรูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสารเติมแต่ง Clay ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสีย พบว่าน้ำหนักที่หายไปของชีวมวลชานอ้อยที่มีการเติมสารเติมแต่ง ที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% มีอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส 5%, 6.71%, 7.81%, 9.21% และ 12.42% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 6.14%, 7.32%, 7.97%, 10% และ 13.24% ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 7.29%, 7.91%, 8.26%, 10.72% และ 13.73% ตามลำดับ

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าเมื่ออุณหภูมิเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวลชานอ้อยมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น และพบว่าชีวมวลชานอ้อยที่เติมสารเติมแต่งโดโลไมท์มีปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาการเติมแคลไซต์ในชีวมวลเนื่องจากสารเติมแต่งแคลไซต์ และโดโลไมท์ เป็นสารเติมแต่งประเภท Calcium based มีธาตุหลักเป็น Ca ซึ่งสามารถปลดปล่อย โพแทสเซียม (K) ในชีวมวล และทำปฏิกิริยากับซิลิกอน กลายเป็นแคลเซียมซิลิเกต (CaSiO_3) ส่วนใหญ่อาจเกิดการระเหยของธาตุระหว่างการเผาไหม้ [33, 34]

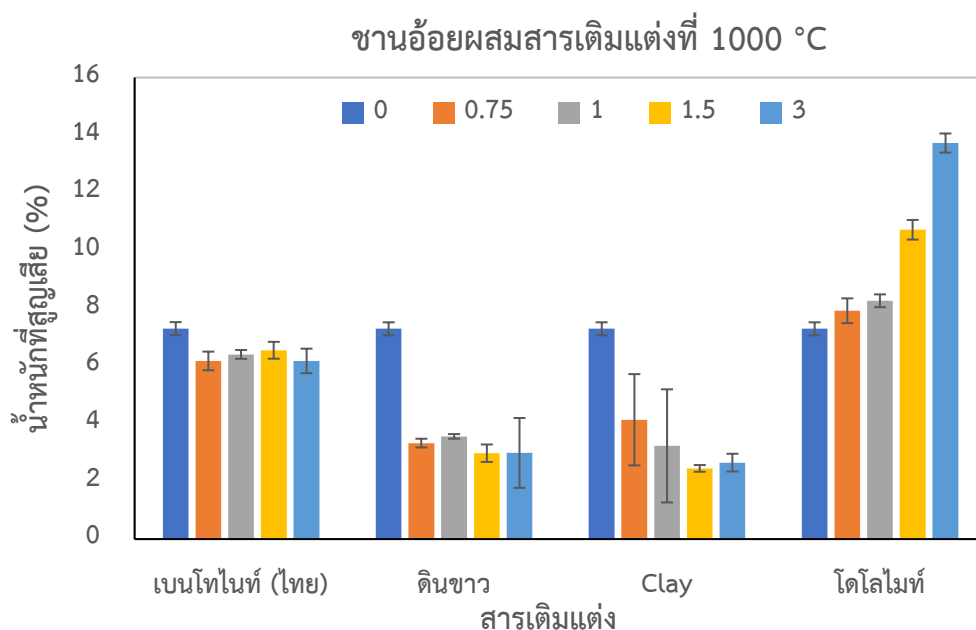
ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าสารเติมแต่งประเภท Calcium based additive สามารถทำปฏิกิริยากับชีวมวลและเพิ่มน้ำหนักที่สูญเสียของเถ้าชีวมวลให้สูงกว่าชีวมวลที่ไม่เติมสารเติมแต่ง



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสของชีวมวลซังข้าวโพด

จากรูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสของชีวมวลซังข้าวโพด ที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ที่เบนโทไนท์ มีค่าเท่ากับ 9.83%, 5.93%, 6.85%, 7.17% และ 7.56% ตามลำดับ ดินขาวมีค่า 9.83%, 9.70%, 7.84%, 6.40% และ 4.75% ตามลำดับ ที่ Clay มีค่าเท่ากับ 9.83%, 8.47%, 7.54%, 6.5% และ 4.97% ตามลำดับ และ โดโลไมท์ มีค่าเท่ากับ 9.83%, 11.97%, 13.29%, 13.72% และ 19.42% ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียของซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%) มีค่า 9.83% และในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 3% มีแนวโน้มปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียลดลง สารเติมแต่งเบนโทไนท์ (ไทย) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 23.09% ของสารเติมแต่งดินขาวคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 51.68% ของสารเติมแต่ง Clay คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 49.44% และซังข้าวโพดผสมสารเติมแต่งโดโลไมท์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 49.38%



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียน้ำที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสของชีวมวลชานอ้อย

จากรูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียน้ำที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสของชีวมวลชานอ้อย ที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ที่เบนโทไนท์ มีค่าเท่ากับ 7.29%, 6.18%, 6.40%, 6.54% และ 6.18% ตามลำดับ ดินขาวมีค่า 7.29%, 3.32%, 3.56%, 2.98% และ 2.99% ตามลำดับ ที่ Clay มีค่าเท่ากับ 7.29%, 2.20%, 3.53% และ 2.89% ตามลำดับ และโดโลไมท์ มีค่าเท่ากับ 7.29%, 7.91%, 8.26%, 10.72% และ 13.73% ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียน้ำของชานอ้อยที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%) มีค่า 7.29% และในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 3% มีแนวโน้มปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียน้ำลดลง สารเติมแต่งเบนโทไนท์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 15.23% ของสารเติมแต่งดินขาวคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 58.98% ของสารเติมแต่ง Clay คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 60.36% และซังข้าวโพดผสมสารเติมแต่งโดโลไมท์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 46.90%

ดังนั้นกล่าวได้ว่าสารเติมแต่ง เบนโทไนท์ (ไทย), ดินขาว และ Clay แนวโน้มปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียน้ำลดลง และสารเติมแต่งโดโลไมท์มีปริมาณแนวโน้มน้ำหนักที่สูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารเติมแต่ง เบนโทไนท์ (ไทย), ดินขาว และ Clay เป็นสารเติมแต่ง Aluminium silicates based สามารถเพิ่มอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวของสารประกอบเพิ่มสูงขึ้น [23] และโดโลไมท์เป็นสารเติมแต่งประเภท Calcium based มีธาตุหลักเป็น Ca สามารถปลดปล่อย โพแทสเซียม (K) ในชีวมวล และ

ทำปฏิกิริยากับซิลิกอน กลายเป็นแคลเซียมซิลิเกต (CaSiO_3) ส่วนใหญ่อาจเกิดการระเหยของธาตุ ระหว่างการเผาไหม้ [33, 34]

4.4 ผลการวิเคราะห์ของสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของการเกิดตะกรัน

ผลการวิเคราะห์ของสารเติมแต่งที่มีต่อระดับการเกิดตะกรันของชีวมวลแห้งมันสำปะหลัง, ชังข้าวโพด และชานอ้อย จากเงื่อนไขของกรณีที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่ง และกรณีที่มีการเติมสารเติมแต่ง ในอัตราส่วน 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 800, 900 และ 1000 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งสามารถแบ่งผล การวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ระดับการเกิดตะกรันของชีวมวล

4.4.2 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนของสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของการเกิดตะกรันของชีวมวล

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ระดับการเกิดตะกรันของชีวมวล

ผลการวิเคราะห์ระดับการเกิดตะกรันของชีวมวลแห้งมันสำปะหลัง, ชังข้าวโพด และชานอ้อย จากเงื่อนไขของกรณีที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่ง ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส, 900 องศาเซลเซียส และ 1000 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ดังแสดงตารางที่ 4.13 พบว่าชีวมวลแห้งมันสำปะหลัง มีปริมาณตะกรันรวมที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส, 900 องศาเซลเซียส และ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 13.95%, 59.05% และ 91.73% ตามลำดับ ชีวมวลชังข้าวโพดมีปริมาณตะกรันรวมพบว่ามีปริมาณตะกรันรวม 100% ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส, 900 องศาเซลเซียส และ 1000 องศาเซลเซียส และชีวมวลชานอ้อยไม่พบปริมาณตะกรันรวม ดังแสดงตารางที่ 4.13

ชีวมวลแห้งมันสำปะหลังที่อุณหภูมิมีปริมาณตะกรันรวมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเปรียบเทียบกับ 1000 องศาเซลเซียส คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 84.79% และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสเปรียบเทียบกับ 1000 องศาเซลเซียส คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 35.63% พบว่าในแห้งมันสำปะหลัง มีธาตุของสารอนินทรีย์ที่มีปริมาณโพแทสเซียม (K) 46.80%, คลอรีน (Cl) 10.80%, ซิลิกอน (Si) 5.09% และฟอสฟอรัส (P) 3.31% [7] และในชีวมวลชังข้าวโพดพบการหลอมเกิดเป็นตะกรันอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากสารประกอบอนินทรีย์ในชังข้าวโพดมีปริมาณของโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) 33.08%, คลอรีน (Cl) 0.06%, ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) 36.06% และฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ (P_2O_5) 12.41% [19] การเปลี่ยนแปลงและทำปฏิกิริยาในถ้ำชีวมวลหลอม เกิดจากโพแทสเซียม (K) เป็นธาตุหลักที่ทำปฏิกิริยากับคลอรีน (Cl) เกิดเป็นโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) มี

แนวโน้มน้ำที่ละลายหรือมีการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง และโพแทสเซียม (K) ทำปฏิกิริยากับซิลิกอน (Si) เกิดเป็นโพแทสเซียมซิลิเกตจะละลายที่อุณหภูมิการเผาไหม้ชีวมวล (700 – 1,000°C) จะแสดงสถานะเป็นของเหลว ในระหว่างการเผาไหม้ของชีวมวลโพแทสเซียม (K) ทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัส (P) เกิดเป็นโพแทสเซียมฟอสเฟต (KPO_3) เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำประมาณ 800 องศาเซลเซียส ถ้าจะถูกหลอมเป็นก้อนเมื่ออุณหภูมิการเผาไหม้สูง ซึ่งนำไปสู่การก่อตัวของเถ้าหลอมอย่างสมบูรณ์ [2, 4, 10, 12]

ดังนั้นกล่าวได้ว่าการเกิดตะกรันหรือเถ้าหลอมในชีวมวลเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโพแทสเซียม (K) กับคลอรีน (Cl), ซิลิกอน (Si) และฟอสฟอรัส (P) และระยะเวลาการเผาไหม้ที่นานขึ้นส่งผลให้ระดับการหลอมของอนุภาคก่อตัวสูงขึ้น การหลอมเถ้าอย่างสมบูรณ์เกิดเป็นตะกรันนั้นจะรบกวนกระบวนการเผาไหม้ และเพิ่มค่าใช้จ่ายสำหรับการทำความสะอาดและบำรุงรักษา

ตารางที่ 4.1 ระดับการเกิดตะกรันรวมของชีวมวล

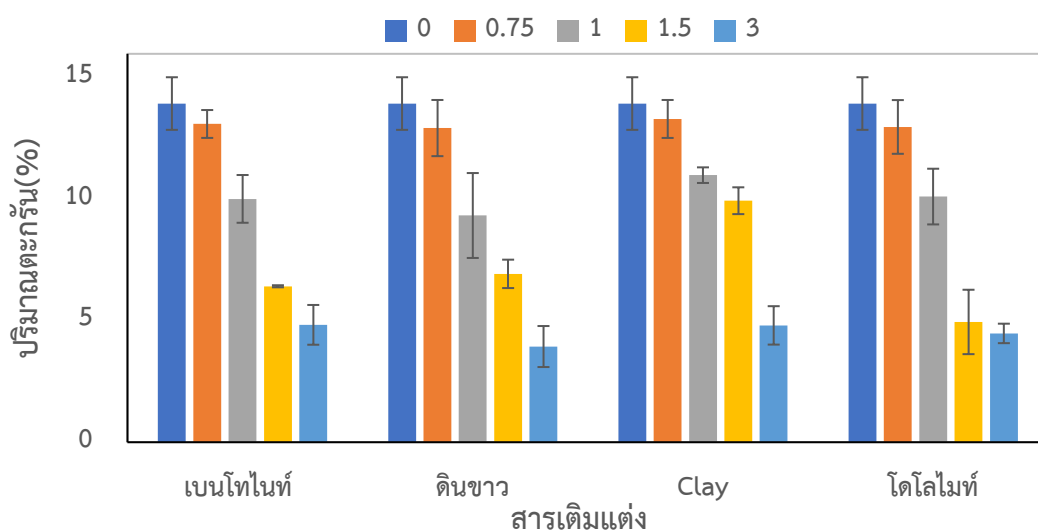
ชีวมวล	800°C	900°C	1000°C
เหง้ามันสำปะหลัง	13.95%	59.05%	91.73%
ซังข้าวโพด	100%	100%	100%
ชานอ้อย	n.d.	n.d.	n.d.

** n.d. = not detected

4.4.1 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนของสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของการเกิดตะกรันของชีวมวล เหง้ามันสำปะหลัง

ผลการวิเคราะห์ของสารเติมแต่งที่มีต่อระดับการเกิดตะกรันของชีวมวลเหง้ามันสำปะหลัง จากเงื่อนไขของกรณีที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่ง และกรณีที่มีการเติมสารเติมแต่ง ในอัตราส่วน 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส, 900 องศาเซลเซียส และ 1000 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง

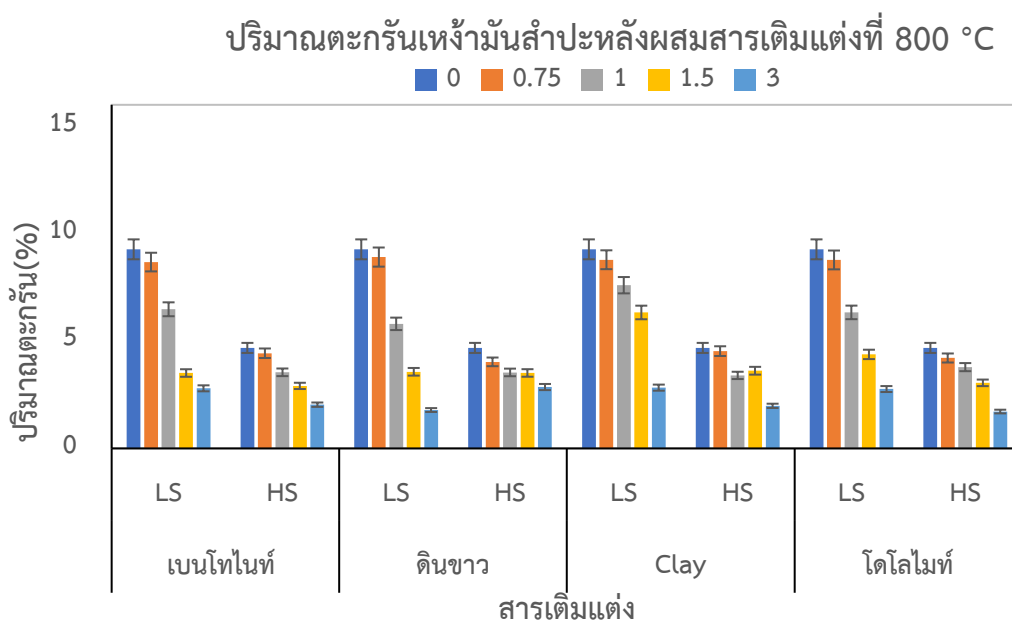
ปริมาณตะกรันรวมแห้งน้ำหนักสำหรับผลผสมสารเติมแต่งที่ 800 °C



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรันรวม ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสของชีวมวลแห้งน้ำหนักสำหรับ

จากรูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อปริมาณตะกรันรวม (Total Slag) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสของชีวมวลแห้งน้ำหนักที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ที่เบนโทไนท์ มีค่าเท่ากับ 13.95%, 13.11%, 10.02%, 6.42% และ 4.83% ตามลำดับ ดินขาวมีค่า 13.95%, 12.94%, 9.34%, 6.94% และ 3.94% ตามลำดับ ที่ Clay มีค่าเท่ากับ 13.95%, 13.32%, 11.00%, 9.45% และ 4.81% ตามลำดับ และโดโลไมท์ มีค่าเท่ากับ 13.95%, 12.98%, 10.12%, 4.95% และ 4.48% ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระดับปริมาณตะกรันรวม ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%) มีค่า 13.95% และในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 3% มีแนวโน้มปริมาณตะกรันรวมลดลงเมื่อเติมสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และโดโลไมท์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 65.34%, 71.75%, 65.50% และ 67.86% ตามลำดับ



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรันที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสของชีวมวลแห้งมันสำปะหลัง

จากรูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อปริมาณตะกรัน Loose Slag ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสของชีวมวลแห้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ที่เบนโทไนท์ มีค่าเท่ากับ 9.27%, 8.68%, 6.48%, 3.51% และ 2.80% ตามลำดับ ดินขาวมีค่า 9.27%, 8.91%, 5.80%, 3.57% และ 1.79% ตามลำดับ ที่ Clay มีค่าเท่ากับ 9.27%, 8.79%, 7.60%, 6.33% และ 2.83% ตามลำดับ และโดโลไมท์ มีค่าเท่ากับ 9.27%, 8.78%, 6.33%, 4.38% และ 2.77% ตามลำดับ

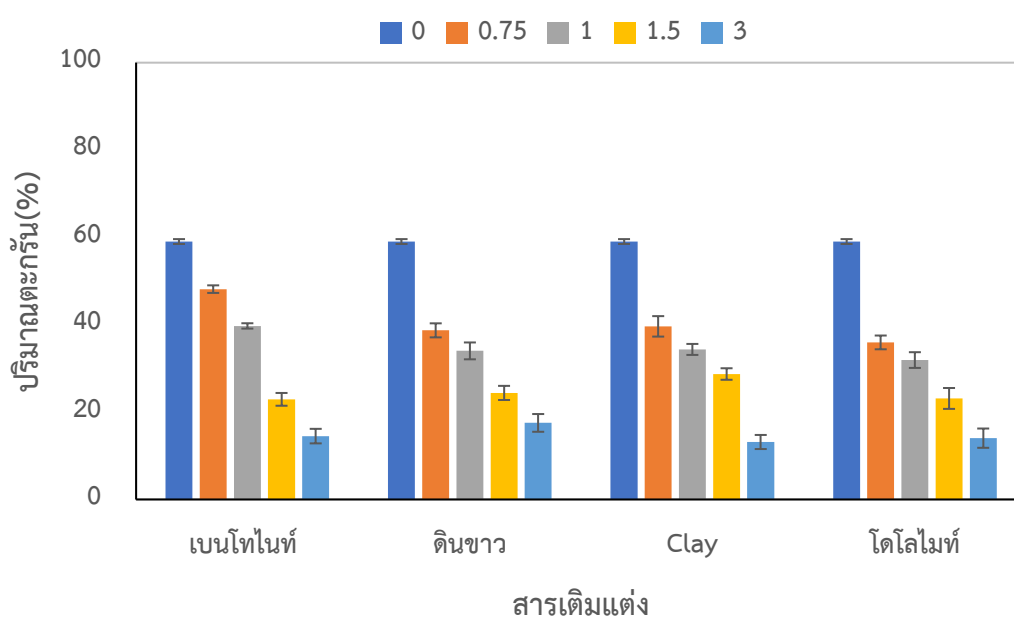
ประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อปริมาณตะกรัน Hard Slag ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสของชีวมวลแห้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ที่เบนโทไนท์ มีค่าเท่ากับ 4.68%, 4.43%, 3.54%, 2.91% และ 2.04% ตามลำดับ ดินขาวมีค่า 4.68%, 4.03%, 3.54%, 3.51% และ 2.886% ตามลำดับ ที่ Clay มีค่าเท่ากับ 4.68%, 4.53%, 3.40%, 3.61% และ 1.98% ตามลำดับ และโดโลไมท์ มีค่าเท่ากับ 4.68%, 4.21%, 3.79%, 3.05% และ 1.71% ตามลำดับ

จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าระดับปริมาณ Loose Slag ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%) มีค่า 9.27% และในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 3% มีแนวโน้มปริมาณ Loose Slag ลดลง สารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และโดโลไมท์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 69.81%, 80.72%, 69.48% และ 70.17% ตามลำดับ ระดับปริมาณ Hard Slag ที่อุณหภูมิ 800 องศา

เซลเซียส ในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%) มีค่า 4.68% และในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 3% มีแนวโน้มปริมาณ Hard Slag ลดลง สารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และโดโลไมท์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 56.50%, 38.93%, 57.64% และ 63.32% ตามลำดับ

ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว และ Clay เป็นประเภท Aluminium silicates based additive และโดโลไมท์เป็นที่สารเติมแต่งประเภท Calcium based additive มีประสิทธิภาพในการลดแนวโน้มการละลายของแก้วจากชีวมวล

ปริมาณตะกรันรวมแห้งสำหรับหลังผสมสารเติมแต่งที่ 900 °C

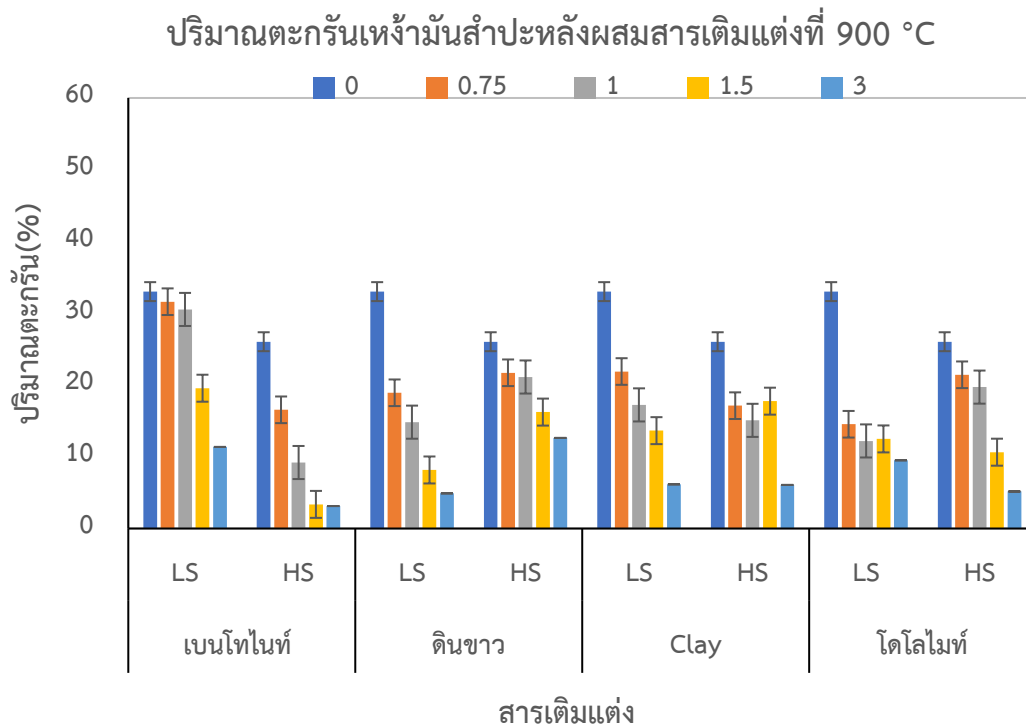


รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรันรวมที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสของชีวมวลแห้งสำหรับ

จากรูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อปริมาณตะกรันรวม (Total Slag) ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสของชีวมวลแห้งสำหรับที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ที่เบนโทไนท์ มีค่าเท่ากับ 59.05%, 48.15%, 39.73%, 22.92% และ 14.50% ตามลำดับ ดินขาวมีค่า 59.05%, 38.72%, 34.01%, 24.39% และ 17.53% ตามลำดับ ที่ Clay มีค่าเท่ากับ 59.05%, 39.63%, 34.35%, 28.71% และ 13.71% ตามลำดับ และโดโลไมท์ มีค่าเท่ากับ 59.05%, 35.95%, 31.91%, 23.12% และ 14.03% ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระดับปริมาณตะกรันรวม ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%) มีค่า 59.05% และในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 3% มีแนวโน้ม

ปริมาณตะกรันรวมลดลงเมื่อเติมสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และโดโลไมท์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 75.44%, 70.32%, 77.72% และ 76.24% ตามลำดับ



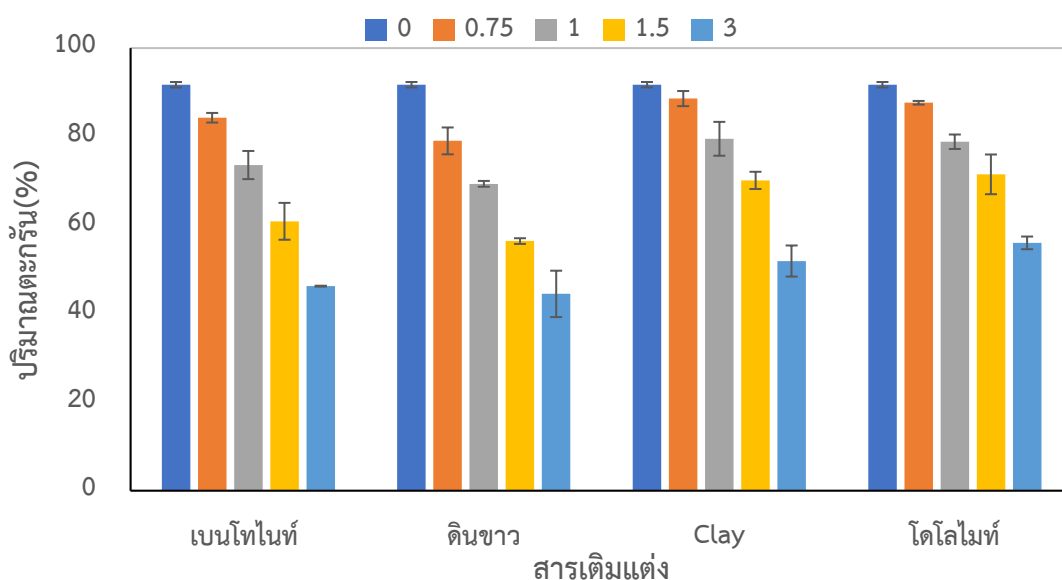
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรันที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสของชีวมวลแห้งน้ำหนักสำหรับ

จากรูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์ (ไทย), ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อปริมาณตะกรัน Loose Slag ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสของชีวมวลแห้งน้ำหนักที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ที่เบนโทไนท์ (ไทย) มีค่าเท่ากับ 33.01%, 31.61%, 30.53%, 19.55% และ 11.37% ตามลำดับ ดินขาวมีค่า 33.01%, 18.92%, 14.82%, 8.16% และ 4.90% ตามลำดับ ที่ Clay มีค่าเท่ากับ 33.01%, 21.88%, 17.22%, 13.64% และ 6.16% ตามลำดับ และโดโลไมท์ มีค่าเท่ากับ 33.01%, 14.53%, 12.21%, 12.49% และ 9.51% ตามลำดับ

ประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์ (ไทย), ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อปริมาณตะกรัน Hard Slag ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสของชีวมวลแห้งน้ำหนักที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ที่เบนโทไนท์ (ไทย) มีค่าเท่ากับ 26.03%, 16.54%, 9.20%, 3.36% และ 3.13% ตามลำดับ ดินขาวมีค่า 26.03%, 21.88%, 21.12%, 16.23% และ 12.63% ตามลำดับ ที่ Clay มีค่าเท่ากับ 26.03%, 17.12%, 15.08%, 17.75% และ 6.08% ตามลำดับ และโดโลไมท์ มีค่าเท่ากับ 26.03%, 21.43%, 19.71%, 10.64% และ 5.16% ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระดับปริมาณ Loose Slag ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%) มีค่า 33.01% และในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 3% มีแนวโน้มปริมาณ Loose Slag ลดลง สารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และโดโลไมท์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 65.56%, 85.15% 81.35% และ 71.20% ตามลำดับ ระดับปริมาณ Hard Slag ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%) มีค่า 26.03% และในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 3% มีแนวโน้มปริมาณ Hard Slag ลดลง สารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และโดโลไมท์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 87.97%, 51.50%, 76.66% และ 80.18% ตามลำดับ

ปริมาณตะกรันรวมแห้งสำหรับสัปะหลังผสมสารเติมแต่งที่ 1000 °C

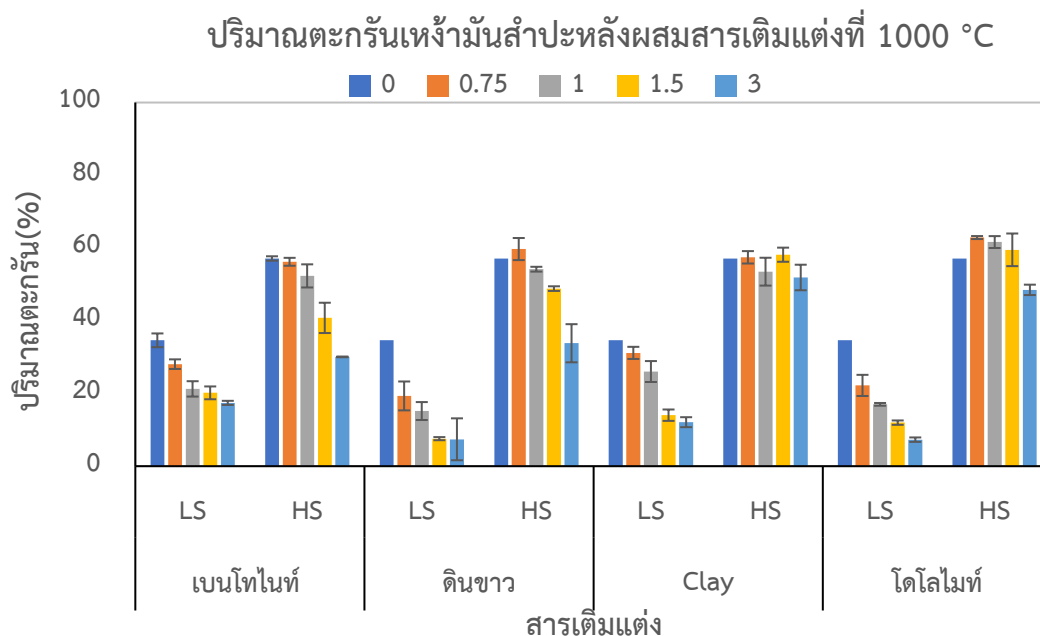


รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรันรวม ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสของชีวมวลแห้งสำหรับสัปะหลัง

จากรูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อปริมาณตะกรันรวม (Total Slag) ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสของชีวมวลแห้งสำหรับสัปะหลังที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ที่เบนโทไนท์ มีค่าเท่ากับ 91.73%, 84.26%, 73.58%, 60.86% และ 46.21% ตามลำดับ ดินขาวมีค่า 91.73%, 79.03%, 69.33%, 56.40% และ 44.46% ตามลำดับ ที่ Clay มีค่าเท่ากับ 91.73%, 88.59%, 79.50%, 70.11% และ 51.89% ตามลำดับ และโดโลไมท์ มีค่าเท่ากับ 91.73%, 87.65%, 78.84%, 71.47% และ 55.99% ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระดับปริมาณตะกรันรวม ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%) มีค่า 59.05% และในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 3% มี

แนวโน้มปริมาณตะกรันรวมลดลงเมื่อเติมสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และโดโลไมท์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 49.62%, 51.53%, 43.43% และ 38.96% ตามลำดับ



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรันที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสของชีวมวลแห้งสำหรับปะหลัง

จากรูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อปริมาณตะกรัน Loose Slag ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสของชีวมวลแห้งสำหรับปะหลังที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ที่เบนโทไนท์ มีค่าเท่ากับ 34.62%, 28.05%, 21.25%, 20.16% และ 17.41% ตามลำดับ ดินขาวมีค่า 34.62%, 19.32%, 15.16%, 7.57% และ 7.39% ตามลำดับ ที่ Clay มีค่าเท่ากับ 34.62%, 31.16%, 26.03%, 14.03% และ 12.10% ตามลำดับ และโดโลไมท์ มีค่าเท่ากับ 34.62%, 22.21%, 17.00%, 11.97% และ 7.29% ตามลำดับ

ประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อปริมาณตะกรัน Hard Slag ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสของชีวมวลแห้งสำหรับปะหลังที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ที่เบนโทไนท์ มีค่าเท่ากับ 57.11%, 56.21%, 52.33%, 40.78% และ 30.05% ตามลำดับ ดินขาวมีค่า 57.11%, 59.71%, 54.17%, 48.83% และ 33.81% ตามลำดับ ที่ Clay มีค่าเท่ากับ 57.11%, 57.44%, 53.49%, 58.16% และ 51.89% ตามลำดับ และโดโลไมท์ มีค่าเท่ากับ 57.11%, 62.61%, 61.63%, 59.50% และ 48.48% ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระดับปริมาณ Loose Slag ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%) มีค่า 34.62% และในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 3%

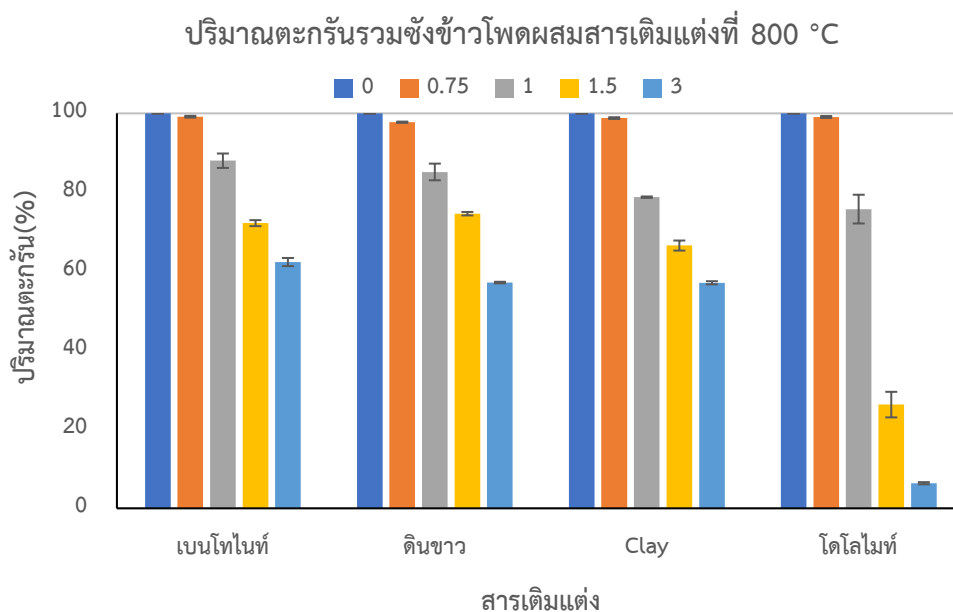
มีแนวโน้มปริมาณ Loose Slag ลดลง สารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และโดโลไมท์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 49.71%, 78.65% 65.05% และ 78.93% ตามลำดับ ระดับปริมาณ Hard Slag ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%) มีค่า 57.11% และในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 3% มีแนวโน้มปริมาณ Hard Slag ลดลง สารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และโดโลไมท์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 47.38%, 40.80%, 9.15% และ 15.11% ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจะเห็นได้ว่าสารเติมแต่งเบนโทไนท์ (ไทย), ดินขาว และ Clay เป็นประเภท Aluminium silicates based additive ช่วยลดโพแทสเซียม (K) ที่มีและทำปฏิกิริยากับซิลิกอน (Si) ทำให้เกิดโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกตใหม่ $KAlSi_2O_6$, $KAlSi_3O_8$ และ $KAl_3Si_3O_{11}$ ที่อุณหภูมิหลอมละลายสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส [3, 32, 34] และโดโลไมท์เป็นที่สารเติมแต่งประเภท Calcium based additive สามารถเจือจางเถ้าชีวมวลและให้แคลเซียมเพื่อเปลี่ยนเคมีของเถ้า [32-33, 35] เพื่อทำปฏิกิริยากับซิลิกาเพื่อสร้างแคลเซียมซิลิเกตและลดการสร้างโพแทสเซียมซิลิเกตโดยการลดปริมาณซิลิกอนที่มีอยู่เพื่อทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียม [33, 36] ดังนั้นการเพิ่มสารเติมแต่งประเภท Calcium based additive จึงช่วยลดระดับการเผาของเถ้าชีวมวลและเศษของเถ้าที่หลอมละลาย

สามารถสรุปได้ว่าสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว และ Clay เป็นประเภท Aluminium silicates based additive และโดโลไมท์เป็นที่สารเติมแต่งประเภท Calcium based additive มีประสิทธิภาพในการลดแนวโน้มการละลายของเถ้าจากชีวมวล [2, 4, 35]

4.4.2 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนของสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของการเกิดตะกั่วของชีวมวลซังข้าวโพด

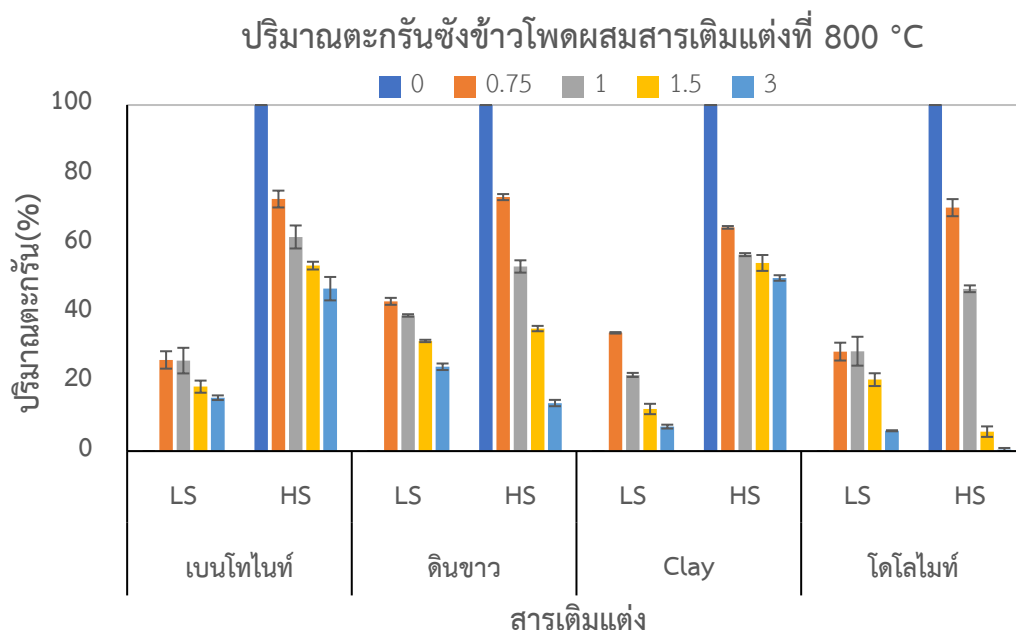
ผลการวิเคราะห์ของสารเติมแต่งที่มีต่อระดับการเกิดตะกั่วของชีวมวลซังข้าวโพด จากเงื่อนไขของกรณีที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่ง และกรณีที่มีการเติมสารเติมแต่ง ในอัตราส่วน 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส, 900 องศาเซลเซียส และ 1000 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรันรวม ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสของชีวมวลซึ่งข้าวโพด

จากรูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์ (ไทย), ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อปริมาณตะกรันรวม (Total Slag) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสของชีวมวลซึ่งข้าวโพดที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ที่เบนโทไนท์ (ไทย) มีค่าเท่ากับ 100%, 99.17%, 88.02%, 53.59% และ 46.93% ตามลำดับ ดินขาวมีค่า 100%, 97.76%, 85.17%, 74.60% และ 57.16% ตามลำดับ ที่ Clay มีค่าเท่ากับ 100%, 98.81%, 78.78%, 66.54% และ 57.10% ตามลำดับ และโดโลไมท์ มีค่าเท่ากับ 100%, 99.09%, 75.77%, 26.26% และ 6.35% ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระดับปริมาณตะกรันรวม ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%) มีค่า 100% และในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 3% มีแนวโน้มปริมาณตะกรันรวมลดลงเมื่อเติมสารเติมแต่งเบนโทไนท์ (ไทย), ดินขาว, Clay และโดโลไมท์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 37.64%, 42.84%, 42.89% และ 93.65% ตามลำดับ



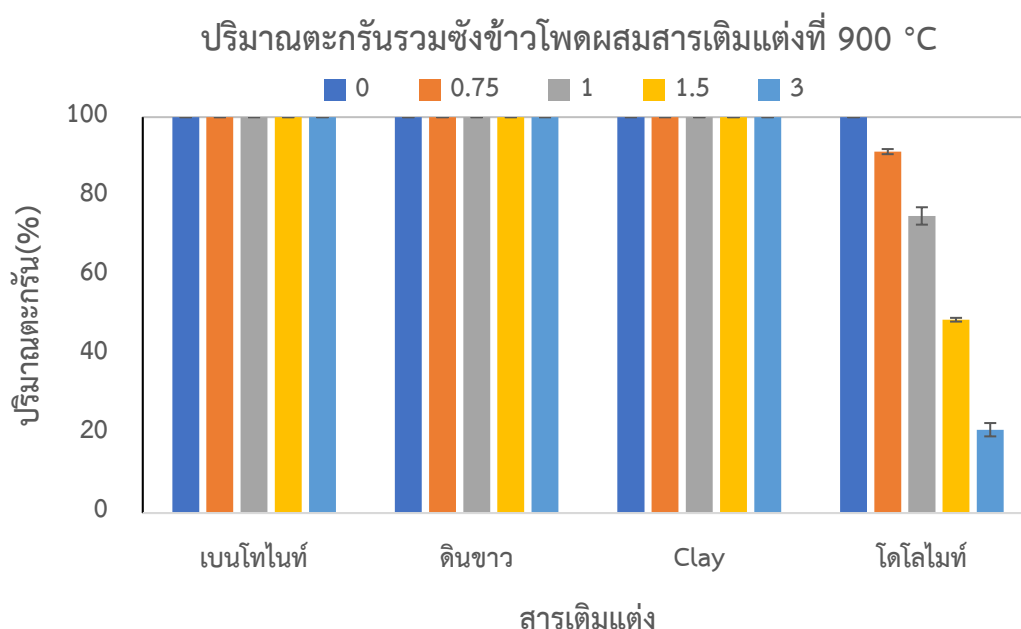
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรัน ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสของชีวมวลซังข้าวโพด

จากรูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อปริมาณตะกรัน Loose Slag ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสของชีวมวลซังข้าวโพดที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ที่เบนโทไนท์ มีค่าเท่ากับ 0%, 26.33%, 26.15%, 18.62% และ 15.43% ตามลำดับ ดินขาวมีค่า 0%, 43.27%, 39.20%, 31.83% และ 24.37% ตามลำดับ ที่ Clay มีค่าเท่ากับ 0%, 34.17%, 22.01%, 12.17% และ 7.08% ตามลำดับ และโดโลไมท์ มีค่าเท่ากับ 0%, 28.75%, 28.86%, 20.65% และ 5.89% ตามลำดับ

ประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์ (ไทย), ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อปริมาณตะกรัน Hard Slag ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสของชีวมวลซังข้าวโพดที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ที่เบนโทไนท์ มีค่าเท่ากับ 100%, 72.83%, 61.87%, 53.59% และ 46.93% ตามลำดับ ดินขาวมีค่า 100%, 73.40%, 53.35%, 35.41% และ 13.89% ตามลำดับ ที่ Clay มีค่าเท่ากับ 100%, 64.64%, 56.77%, 54.37% และ 50.02% ตามลำดับ และโดโลไมท์ มีค่าเท่ากับ 100%, 70.34%, 46.90%, 5.61% และ 0.47% ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระดับปริมาณ Loose Slag ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%) ไม่พบปริมาณ Loose Slag และในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 3% มีแนวโน้มปริมาณ Loose Slag เพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ระดับปริมาณ Hard Slag ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%)

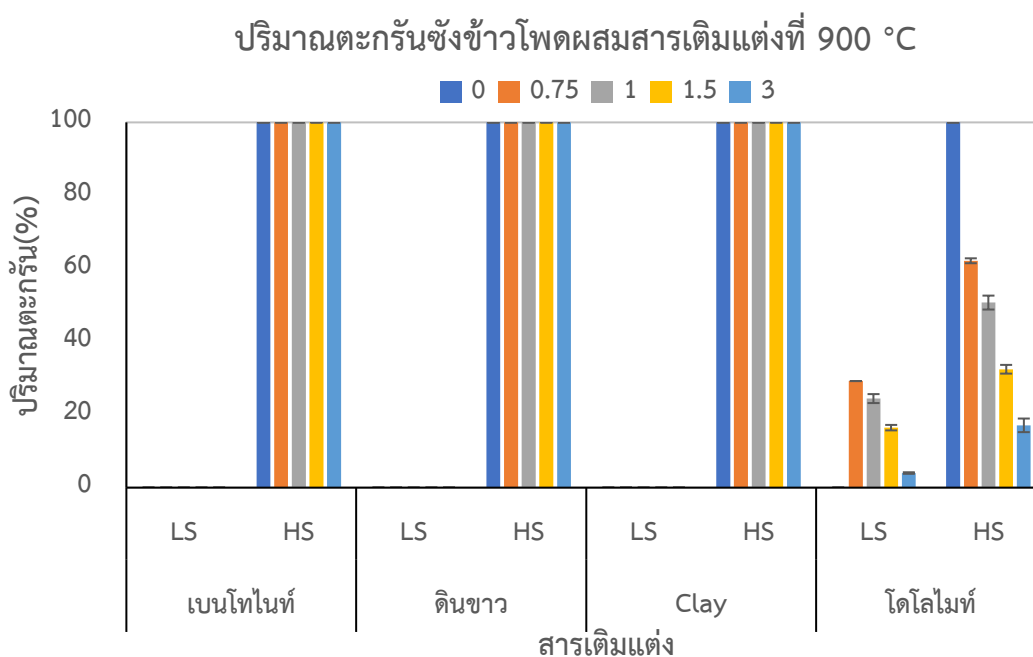
มีค่า 100% และในกรณีเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 3% มีแนวโน้มปริมาณ Hard Slag ลดลง สารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และโดโลไมท์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 53.07%, 86.11%, 49.98% และ 99.53% ตามลำดับ



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรันรวม ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสของชีวมวลซึ่งข้าวโพด

จากรูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อปริมาณตะกรันรวม (Total Slag) ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสของชีวมวลซึ่งข้าวโพดที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ที่เบนโทไนท์, ดินขาว และ Clay มีค่าเท่ากับ 100% เกิดการหลอมอย่างสมบูรณ์ในทุกอัตราส่วนการเติมสารเติมแต่ง และโดโลไมท์ มีค่าเท่ากับ 100%, 91.30%, 75.05%, 48.83% และ 21.05% ตามลำดับ

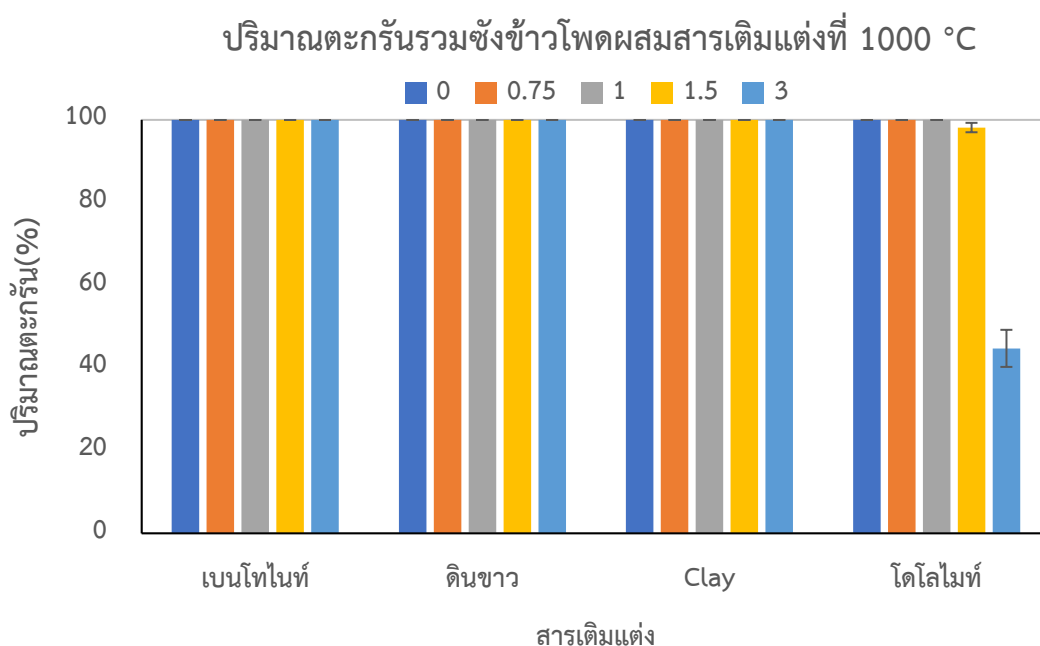
จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระดับปริมาณตะกรันรวม ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%) และในกรณีเติมสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว และ Clay มีค่า 100% พบว่ามีการหลอมอย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ยังพบว่าโดโลไมท์มีแนวโน้มของปริมาณตะกรันรวมลดลง เปรียบเทียบที่อัตราส่วน 3% คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 78.95%



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรัน
ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสของชีวมวลซึ่งข้าวโพด

จากรูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อปริมาณตะกรัน Loose Slag ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสของชีวมวลซึ่งข้าวโพดที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% พบว่าไม่เกิด Loose Slag ในชีวมวลซึ่งข้าวโพดที่เติมเบนโทไนท์, ดินขาว และ Clay และพบปริมาณ Loose Slag ที่เติมสารเติมแต่งโดโลไมท์ในอัตราส่วน 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% มีค่าเท่ากับ 29.18%, 24.38%, 16.42% และ 3.99% ตามลำดับ

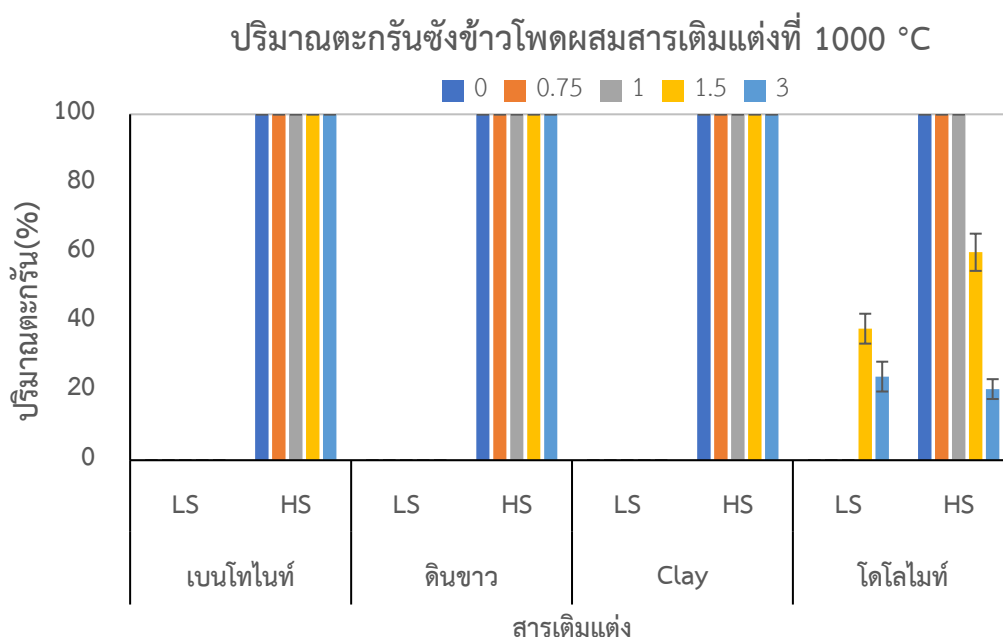
ประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อปริมาณตะกรัน Hard Slag ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสของชีวมวลซึ่งข้าวโพดที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% พบว่าในซึ่งข้าวโพดเติมสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ มีการเกิด Hard Slag 100% และสารเติมแต่งโดโลไมท์พบปริมาณ Hard Slag ลดลงที่อัตราส่วน 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% มีค่าเท่ากับ 78.92%, 56.15%, 21.95% และ 5.68% ตามลำดับ



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรันรวม ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสของชีวมวลซึ่งข้าวโพด

จากรูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อปริมาณตะกรันรวม (Total Slag) ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสของชีวมวลซึ่งข้าวโพดที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% ที่เบนโทไนท์, ดินขาว และ Clay มีค่าเท่ากับ 100% ในทุกอัตราส่วนการเติมสารเติมแต่ง และโดโลไมท์เกิดการหลอมอย่างสมบูรณ์ ที่อัตราส่วน 0.75% และ 1% ที่อัตราส่วน 1.5% และ 3% มีค่าเท่ากับ 60.11% และ 20.56% ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระดับปริมาณตะกรันรวม ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ในกรณีไม่เติมสารเติมแต่ง (0%) และในกรณีเติมสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และโดโลไมท์ พบว่ามีการหลอมของอนุภาคได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนเติมสารเติมแต่งโดโลไมท์เพิ่มขึ้นที่ 1.5% และ 3% มีแนวโน้มของปริมาณตะกรันรวมลดลง เปรียบเทียบกับอัตราส่วน 3% คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 55.27%



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของตะกรัน
ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสของชีวมวลซึ่งข้าวโพด

จากรูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อปริมาณตะกรัน Loose Slag ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสของชีวมวลซึ่งข้าวโพดที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% พบว่าไม่เกิด Loose Slag ในชีวมวลซึ่งข้าวโพดที่เติมเบนโทไนท์, ดินขาว และ Clay และพบปริมาณ Loose Slag ที่เติมสารเติมแต่งโดโลไมท์ในอัตราส่วน 1.5% และ 3% มีค่าเท่ากับ 38.03% และ 24.17% ตามลำดับ

ประเภทสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และ โดโลไมท์ ที่มีต่อปริมาณตะกรัน Hard Slag ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสของชีวมวลซึ่งข้าวโพดที่อัตราส่วน 0% (ไม่เติมสารเติมแต่ง), 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% พบว่าในซึ่งข้าวโพดเติมสารเติมแต่งเบนโทไนท์, ดินขาว, Clay และโดโลไมท์ มีการเกิด Hard Slag 100% และสารเติมแต่งโดโลไมท์พบปริมาณ Hard Slag ลดลงที่อัตราส่วน 1.5% และ 3% มีค่าเท่ากับ 60.11% และ 20.56% ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสารเติมแต่งโดโลไมท์เป็นที่สารเติมแต่งประเภท Calcium based additive มีแนวโน้มลดการหลอมละลายของเถ้าซึ่งข้าวโพดเนื่องจากแคลเซียมทำปฏิกิริยากับซิลิกอนเพื่อสร้างแคลเซียมซิลิเกต ลดการทำปฏิกิริยาของซิลิกอนกับโพแทสเซียมซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักที่ทำให้เกิดการหลอมละลายของเถ้าชีวมวล [2, 4, 32-37] และสารเติมเบนโทไนท์ (ไทย), ดินขาว และ Clay เป็นประเภท Aluminium Silicates Based Additive ไม่สามารถลดหลอมละลายของเถ้าซึ่งข้าวโพด

สามารถสรุปได้ว่าสารเติมแต่งโดโลไมท์เป็นที่สารเติมแต่งประเภท Calcium based additive มีประสิทธิภาพในการลดแนวโน้มการละลายของเถ้าจากชีวมวล และสารเติมแต่ง เบนโทไนท์ (ไทย), ดินขาว และ Clay เป็นประเภท Aluminium silicates based additive จำเป็นต้องมีความเข้มข้นที่สูงขึ้นเพื่อให้ได้ผลในการยับยั้งที่คล้ายคลึงกับการเติมโดโลไมท์ [11] ในชีวมวลซึ่งข้าวโพด



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เพื่อการศึกษาผลของสารเติมแต่งที่มีผลต่อการเกิดตะกรันของชีวมวลแห้งมันสำปะหลัง ชั่งข้าวโพดและชานอ้อย ได้ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนการเติมแต่งที่มีต่อปริมาณเถ้า, ลักษณะทางกายภาพของตะกรันชีวมวล น้ำหนักที่สูญเสีย และระดับของการเกิดตะกรัน โดยมีกรณีที่ไม่เติมสารเติมแต่ง และอัตราส่วนของการเติมสารเติมแต่งที่ 0.75%, 1%, 1.5% และ 3% โดยน้ำหนัก และนอกจากนี้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ ได้แก่ 800 องศาเซลเซียส, 900 องศาเซลเซียส และ 1000 องศาเซลเซียส

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลของอัตราส่วนการเติมแต่งที่มีต่อปริมาณเถ้าจากการทดลองพบว่าปริมาณเถ้าของชีวมวลแห้งมันสำปะหลัง ชั่งข้าวโพดและชานอ้อยในกรณีเติมสารเติมแต่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นเนื่องจากสารเติมแต่งมีองค์ประกอบหลักเป็นสารอนินทรีย์ที่ไม่ระเหยในอุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส ดังนั้นสรุปได้ว่าปริมาณของสารเติมแต่งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณของเถ้าชีวมวลเพิ่มขึ้น

การศึกษาผลของอัตราส่วนการเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของตะกรันชีวมวลพบว่าชีวมวลแห้งมันสำปะหลัง และชั่งข้าวโพดพบว่าการเติมสารเติมแต่งเบนโทไนท์ (ไทย), ดินขาว, Clay และโดโลไมท์สามารถลดการก่อตัวของปริมาณตะกรัน และชีวมวลชานอ้อยการเติมสารเติมแต่งเบนโทไนท์ (ไทย), ดินขาว, Clay และโดโลไมท์ไม่ส่งผลต่อการหลอมของเถ้าเนื่องจากชานอ้อยมีปริมาณของสารประกอบ SiO_2 และ Al_2O_3 สูง ซึ่งสารประกอบเหล่านี้มีอุณหภูมิหลอมสูงส่งผลเถ้าไม่เกิดการหลอม

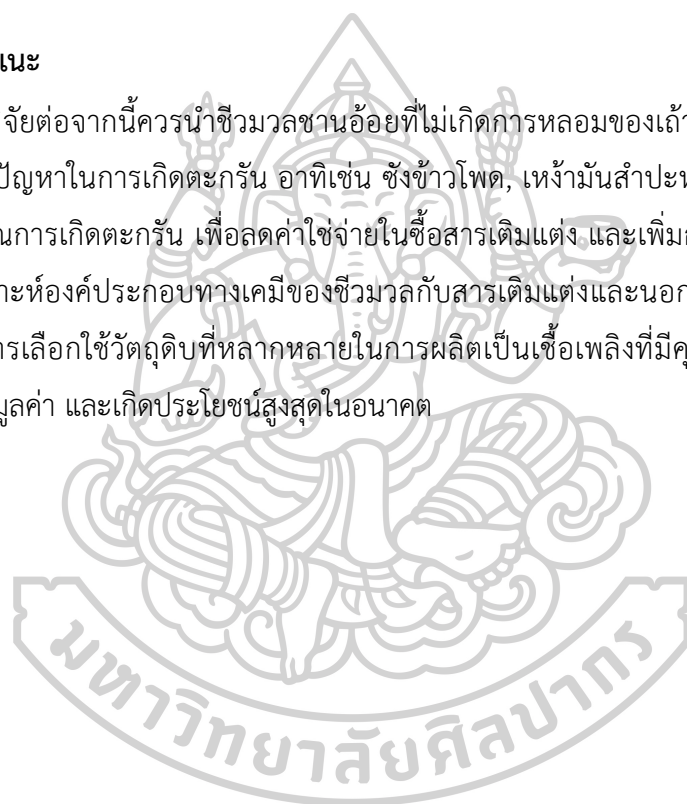
การศึกษาผลของอัตราส่วนการเติมแต่งที่มีต่อน้ำหนักที่สูญเสียของชีวมวล จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้นส่งผลให้น้ำหนักที่หายไปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อทำการเติมสารเติมแต่งประเภท Aluminium silicates based additive มีแนวโน้มปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียลดลงในทุกอุณหภูมิเผาไหม้ เนื่องจากในสารเติมแต่งมีสารประกอบที่สามารถเพิ่มอุณหภูมิจุดหลอมของธาตุที่เป็นปัญหาได้ และจากการทดลองพบว่าสารเติมแต่งประเภท Calcium Based Additive ส่งผลให้น้ำหนักที่หายไปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกอุณหภูมิการเผาไหม้

การศึกษาผลการวิเคราะห์ของสารเติมแต่งที่มีต่อระดับของการเกิดตะกรัน จากการทดลองพบว่าการทำปฏิกิริยาในเถ้าชีวมวลหลอม เกิดจากโพแทสเซียม (K) เป็นธาตุหลักที่ทำปฏิกิริยากับคลอรีน (Cl) เกิดเป็นโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) มีแนวโน้มที่จะละลายหรือมีการเปลี่ยนแปลงที่

อุณหภูมิค่อนข้างสูง และโพแทสเซียม (K) ทำปฏิกิริยากับซิลิกอน (Si) เกิดเป็นโพแทสเซียมซิลิเกตจะละลายที่อุณหภูมิการเผาไหม้ชีวมวล (700 – 1,000°C) จะแสดงสถานะเป็นของเหลว ในระหว่างการเผาไหม้ของชีวมวลโพแทสเซียม (K) ทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัส (P) เกิดเป็นโพแทสเซียมฟอสเฟต (KPO_3) เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำประมาณ 800 องศาเซลเซียส ถ้าจะถูกหลอมเป็นก้อนเมื่ออุณหภูมิการเผาไหม้สูง ซึ่งนำไปสู่การก่อตัวของเถ้าหลอมอย่างสมบูรณ์ และระยะเวลาการเผาไหม้ที่นานขึ้นส่งผลให้ระดับการหลอมของอนุภาคก่อตัวสูงขึ้น การหลอมเถ้าอย่างสมบูรณ์เกิดเป็นตะกรันนั้นจะรบกวนกระบวนการเผาไหม้ และเพิ่มค่าใช้จ่ายสำหรับการทำความสะอาดและบำรุงรักษา

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยต่อจากนี้ควรนำชีวมวลชานอ้อยที่ไม่เกิดการหลอมของเถ้าหรือตะกรันเผาพร้อมกับชีวมวลที่เป็นปัญหาในการเกิดตะกรัน อาทิเช่น ชังข้าวโพด, เหง้ามันสำปะหลัง ฟางข้าว เป็นต้น ในการลดปริมาณการเกิดตะกรัน เพื่อลดค่าใช้จ่ายในเชื้อสารเดิมแต่ง และเพิ่มการวิเคราะห์ทางเคมีให้สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลกับสารเดิมแต่งและนอกจากยังนำไปใช้เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัตถุดิบที่หลากหลายในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานสามารถสร้างมูลค่า และเกิดประโยชน์สูงสุดในอนาคต







คู่มือการเตรียมเก้า

วิธีทดสอบมาตรฐานสำหรับเก้าจากไม้ ตามมาตรฐาน ASTM International, D 1102 – 84 (Reapproved 2001)

1. ขอบเขต

1.1 วิธีการทดสอบครอบคลุมถึงการกำหนดเก้าซึ่งแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของส่วนที่เหลือหลังจากการเผาให้เป็นเก้า (เผาเป็นเก้าที่ 580 ถึง 600 องศาเซลเซียส) ของไม้หรือผลิตภัณฑ์จากไม้

1.2 มาตรฐานนี้ไม่ได้กล่าวถึงความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน เป็นความรับผิดชอบของผู้ใช้มาตรฐานนี้เพื่อสร้างความเหมาะสมด้านความปลอดภัยและการปฏิบัติด้านสุขภาพและกำหนดการบังคับใช้ ข้อจำกัดด้านกฎระเบียบก่อนใช้งาน

2. ความสำคัญและการใช้

2.1 ปริมาณเก้าเป็นการวัดประมาณปริมาณแร่ธาตุและอนินทรีย์อื่น ๆ ในไม้

3. อุปกรณ์/เครื่องมือ

3.1 ครูซิเบิล/ถ้วยกระเบื้อง (Crucibles) ที่มีฝาปิดแน่นและมีขนาดความจุเท่ากับ 30 มิลลิลิตร หรือมากกว่า ควรใช้แพลทินัมครูซิเบิล (Platinum Crucibles) จะดีกว่าแต่อาจจะใช้ซิลิกาครูซิเบิลหรือเซรามิกประเภทครูซิเบิล

3.2 เตาเผา (Muffle Furnace) ขอนแนะนำให้ใช้เตาไฟฟ้าสำหรับการเผาไหม้ตัวอย่างไม้ เพื่อให้รักษาอุณหภูมิที่ต้องการได้ดี

3.3 เครื่องชั่งสำหรับงานวิเคราะห์ (Analytical Balance) มีความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม

3.4 ตู้อบความร้อน (Drying Oven) โดยควบคุมอุณหภูมิที่ระหว่าง 100 และ 105 องศาเซลเซียส

4. การทดสอบตัวอย่าง

4.1 ตัวอย่างการทดสอบจะต้องมีประมาณ 2 กรัม ที่ได้รับการบดละเอียดเพื่อผ่านตะแกรงหมายเลข 40 (425 ไมโครเมตร)

5. ขั้นตอน

5.1 ทำการเผาครูซิเบิลและฝาครอบที่หิวตะเกียงก๊าซหรือในเตาเผา 600 องศาเซลเซียส ให้เย็นลงในเดซิเคเตอร์ (Desiccator) และน้ำหนักใกล้ 0.1 มิลลิกรัม ใส่ตัวอย่างการทดสอบ 2 กรัม ในครูซิเบิล ชั่งน้ำหนักครูซิเบิลบวกกับตัวอย่าง วางในตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 100 ถึง องศาเซลเซียส โดยนำฝาครอบออก หลังจาก 1 ชั่วโมง นำฝาครอบที่ครูซิเบิลอย่างเดิมทำให้เย็นลงในเดซิเคเตอร์และชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำในการอบความร้อนและการชั่งน้ำหนักจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ภายใน 0.1 มิลลิกรัม ในระหว่างช่วงการระบายความร้อนและชั่งน้ำหนักเก็บครูซิเบิลไว้เพื่อป้องกันการดูดซับของความชื้นจากอากาศ บันทึกน้ำหนัก(ครูซิเบิลบวกกับตัวอย่างลบน้ำหนักครูซิเบิล) จะได้น้ำหนักของตัวอย่างการทดสอบอบแห้ง

5.2 วางครุชีเบิลและสิ่งที่อยู่ภายในโดยนำฝาคอบบอกลงในเตาเผาและให้ความร้อนจนกระทั่งคาร์บอนถูกกำจัดออก ให้ความร้อนอย่างช้าๆ ในตอนต้นหลีกเลี่ยงการเผาไหม้และหลีกเลี่ยงการสูญเสียทางกลของตัวอย่างการทดสอบ อุณหภูมิที่แนะนำสำหรับการเผาครั้งสุดท้ายคือ 580 ถึง 600 องศาเซลเซียส หลีกเลี่ยงการให้ความร้อนสูงกว่าค่าที่แนะนำ

5.3 นำครุชีเบิลออกแล้วใส่ลงในเดซิเกตเตอร์ ใส่ฝาคอบบลวมรอให้เย็นและชั่งน้ำหนักอย่างถูกต้อง ทำซ้ำให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาทีจนกว่าน้ำหนักหลังจากเย็นจะคงที่ภายใน 0.2 มิลลิกรัม

6. การคำนวณและรายงานผล

6.1 คำนวณเปอร์เซ็นต์ของเถ้าตามน้ำหนักของไม้ที่ไร้ความชื้นดังต่อไปนี้:

$$\text{Ash (\%)} = (W_1 / W_2) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักเถ้า

W_2 คือ น้ำหนักของตัวอย่างอบแห้ง

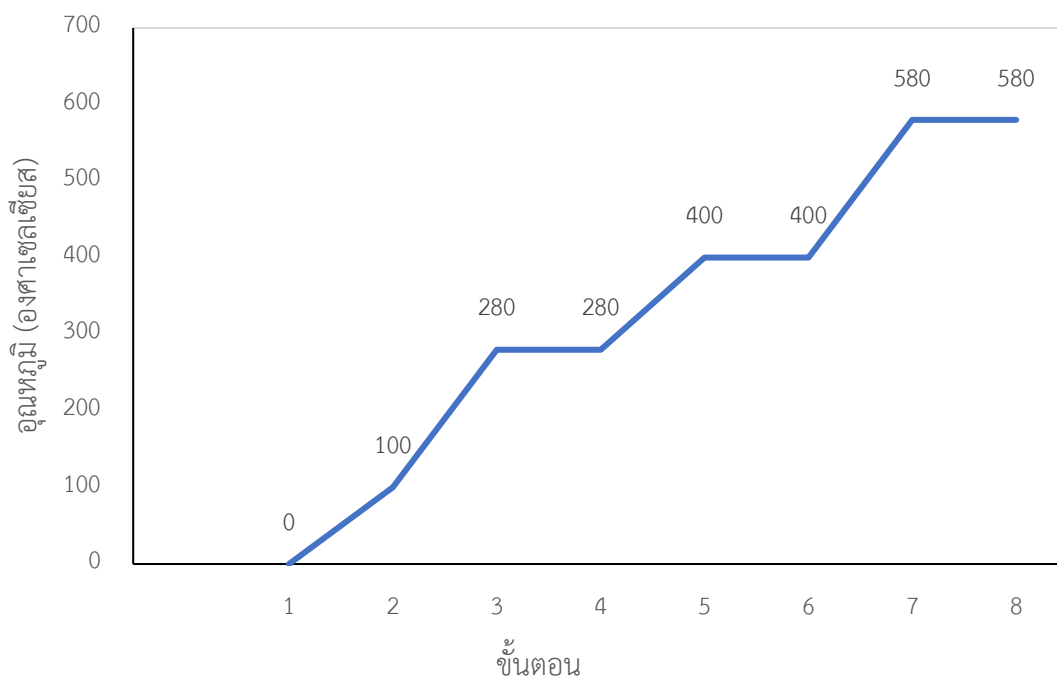
6.2 รายงานผลเป็นทศนิยมสองตำแหน่ง

7. ความแม่นยำและความคาดเคลื่อน

7.1 ข้อมูลที่ได้รับจากการทดสอบของไม้ 60 ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการหนึ่ง ทำให้มีการทำซ้ำได้เนื่องจากปริมาณเถ้า 0.03% และเป็นเปอร์เซ็นต์ของเถ้า 6.6% ช่วงของเถ้ามีค่าตั้งแต่ 0.16% ถึง 0.84% ช่วงของปริมาณเถ้าจาก 0.16% ถึง 0.84%



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการตั้งค่าเตาอบอุณหภูมิสูงสำหรับหา
เงื่อนไขเถ้าที่สมบูรณ์



ขั้นตอนที่ 1 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผา 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที

ขั้นตอนที่ 2 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผาจาก 100 องศาเซลเซียส ไปถึง 280 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที

ขั้นตอนที่ 3 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผา 280 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง

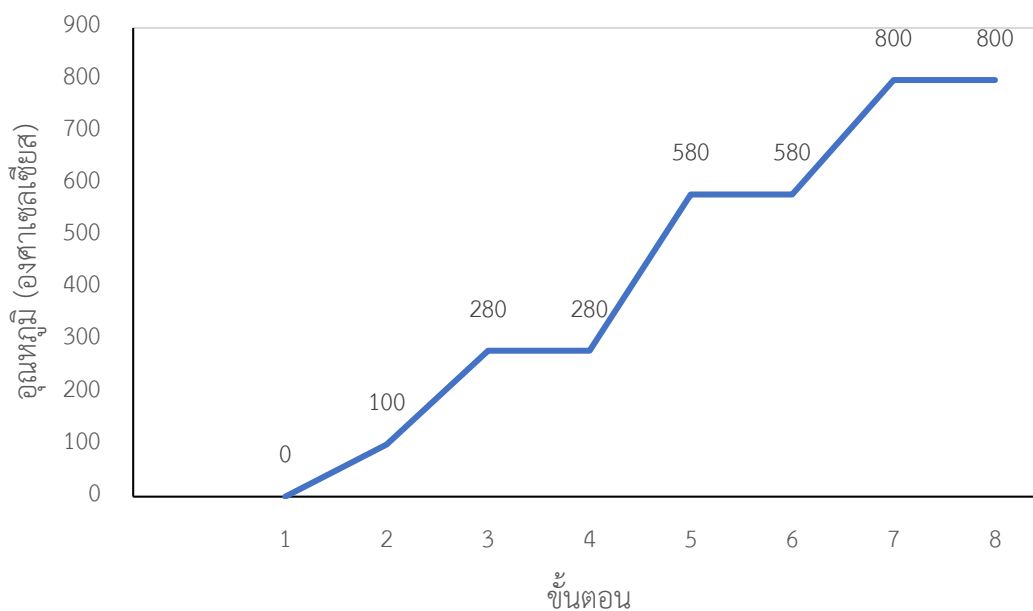
ขั้นตอนที่ 4 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผาจาก 280 องศาเซลเซียส ไปถึง 400 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที

ขั้นตอนที่ 5 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผา 400 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 6 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผาจาก 400 องศาเซลเซียส ไปถึง 580 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที

ขั้นตอนที่ 7 คงอุณหภูมิอยู่ที่ 580 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12 และ 16 ชั่วโมง เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเผากระถินให้กลายเป็นเถ้าที่สมบูรณ์

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการตั้งค่าเตาอบอุณหภูมิสูงสำหรับการเตรียมตะกรันที่ 800 องศาเซลเซียส



ขั้นตอนที่ 1 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผา 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที

ขั้นตอนที่ 2 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผาจาก 100 องศาเซลเซียส ไปถึง 280 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที

ขั้นตอนที่ 3 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผา 280 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

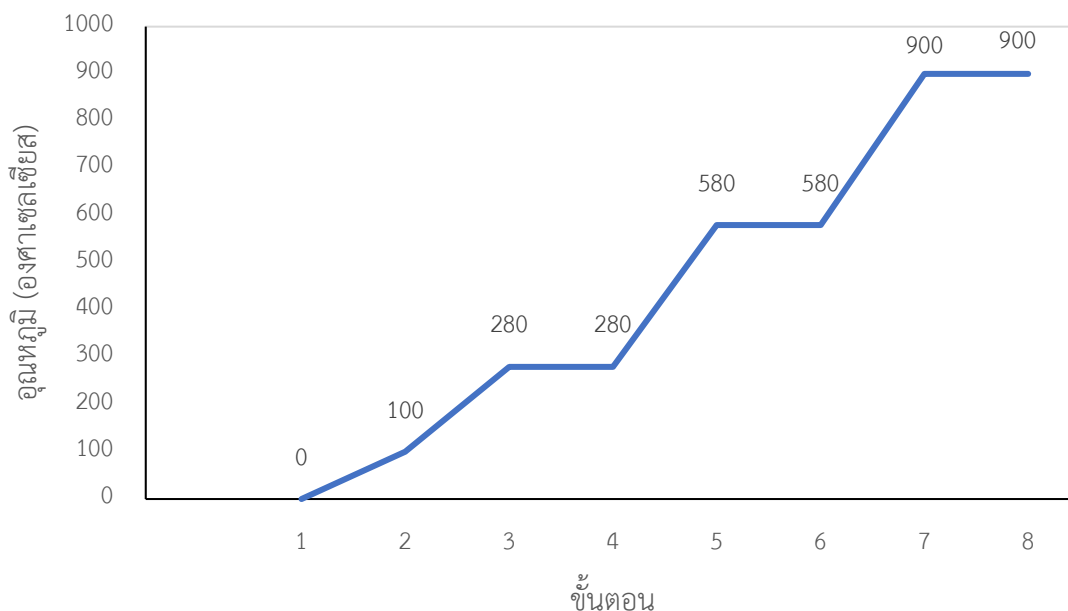
ขั้นตอนที่ 4 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผาจาก 280 องศาเซลเซียส ไปถึง 580 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

ขั้นตอนที่ 5 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผา 580 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

ขั้นตอนที่ 6 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผาจาก 580 องศาเซลเซียส ไปถึง 800 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที

ขั้นตอนที่ 7 คงอุณหภูมิอยู่ที่ 800 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการตั้งค่าเตาอบอุณหภูมิสูงสำหรับการเตรียมตะกรันที่ 900 องศาเซลเซียส



ขั้นตอนที่ 1 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผา 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที

ขั้นตอนที่ 2 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผาจาก 100 องศาเซลเซียส ไปถึง 280 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที

ขั้นตอนที่ 3 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผา 280 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

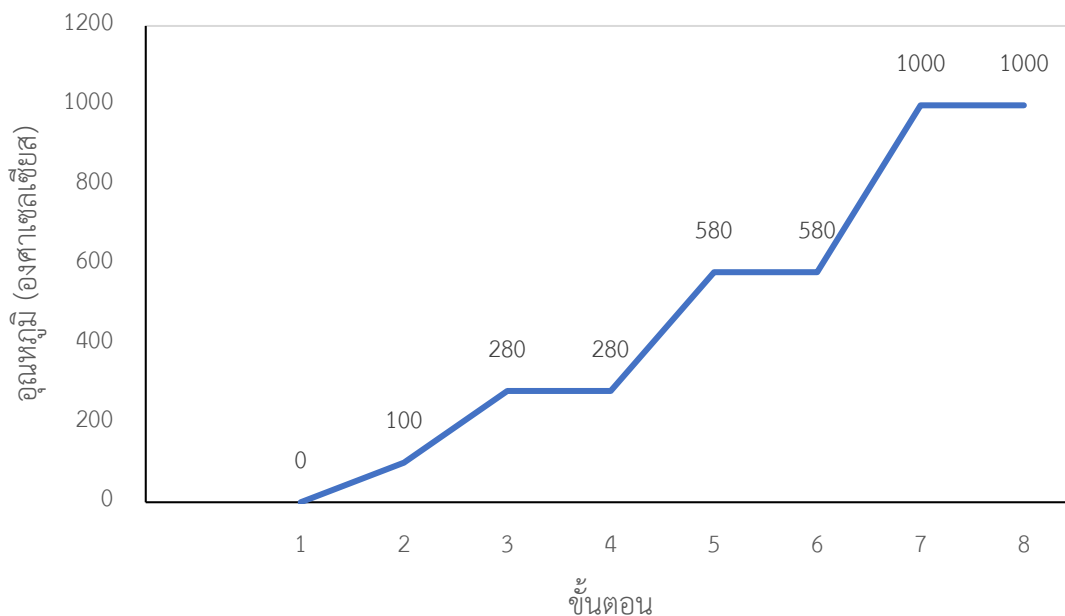
ขั้นตอนที่ 4 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผาจาก 280 องศาเซลเซียส ไปถึง 580 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

ขั้นตอนที่ 5 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผา 580 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

ขั้นตอนที่ 6 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผาจาก 580 องศาเซลเซียส ไปถึง 900 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 45 นาที

ขั้นตอนที่ 7 คงอุณหภูมิอยู่ที่ 900 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการตั้งค่าเตาอบอุณหภูมิสูงสำหรับการเตรียมตะกรันที่ 1000 องศาเซลเซียส



ขั้นตอนที่ 1 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผา 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที

ขั้นตอนที่ 2 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผาจาก 100 องศาเซลเซียส ไปถึง 280 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที

ขั้นตอนที่ 3 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผา 280 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

ขั้นตอนที่ 4 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผาจาก 280 องศาเซลเซียส ไปถึง 580 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

ขั้นตอนที่ 5 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผา 580 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

ขั้นตอนที่ 6 ตั้งค่าอุณหภูมิในการเผาจาก 580 องศาเซลเซียส ไปถึง 1000 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 7 คงอุณหภูมิอยู่ที่ 1000 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง



ภาคผนวก ค

ขั้นตอนการเตรียมดินลูกรังและมาตรฐานการเตรียมกล้า

ขั้นตอนการเตรียมดินลูกรัง

- 1.เตรียมดินลูกรังจากหน้าองค์การบริหารส่วนตำบลบางแคม จังหวัดนครปฐม
- 2.นำดินลูกรังที่ได้ผสมกับน้ำกวนให้เข้ากันจนเป็นเนื้อครีม
- 3.หมักทิ้งไว้ 1-2 คืน จะทำให้สารจำพวกเกลือละลายออกมา เมื่อหมักทิ้งไว้ดินจะถูกแยกเป็นสองส่วน คือส่วนที่เป็นน้ำใสๆด้านบน และส่วนที่เป็นเนื้อดินจะตกตะกอนอยู่ด้านล่าง เหน้้ำใสๆทิ้ง
- 4.นำดินที่ตกตะกอนมากวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน เทลงไปในตะแกรงตาถี่ นำส่วนที่ไม่ผ่านตะแกรงทิ้งไป เพราะอาจมีพวกเศษหินหรือสิ่งแปลกปลอมปะปนอยู่ ตรวจสอบว่าดินที่กรองออกมายังมีน้ำอยู่หรือไม่ หากมีก็ให้เทออก
- 5.นำดินที่ผ่านการกรองด้วยตะแกรงมาเทลงบนภาตหรือภาชนะที่มีลักษณะแบนๆกว้างๆ เพื่อจะนำดินไปตาก
- 6.ตากดินให้แห้งสนิท อาจใช้เวลา 2-3 วัน
- 7.เมื่อดินแห้งแล้วให้แคะออกมาจากภาต แล้วนำไปเก็บในภาชนะที่มิดชิด ไม่ให้ความชื้นหรือสิ่งแปลกปลอมไปปะปน
- 8.จะได้ดินลูกรังสำหรับการนำไปใช้เป็นสารเติมแต่ง แต่ดินยังมีลักษณะเป็นแผ่นแข็งๆต้องนำไปทุบให้ละเอียดเป็นผงหากจะนำไปใช้

มาตรฐานในการเตรียมเถ้าสำหรับงานวิจัยนี้ ASTM D 1102-84

1. เถ้าไม้หรือผลิตภัณฑ์จากไม้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 580-600 องศาเซลเซียส
2. เถ้าต้องเป็นแร่ธาตุหรือสารอนินทรีย์ในไม้หรือผลิตภัณฑ์จากไม้
3. อบไล่ความชื้นชีวมวลใช้อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 100-105 องศาเซลเซียส
4. ใช้ชีวมวลที่มีอนุภาคขนาด 425 ไมโครเมตร ในการทดสอบ
5. กำหนดใช้เตาชนิด Muffle furnace
6. กำหนดใช้บ่้าหลอมที่มีส่วนประกอบจากซิลิกา เช่น ถ้วยเซรามิก

เกณฑ์คุณสมบัติที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง

- | | |
|--------------------------------|---|
| 1. ค่าความร้อน | ไม่ควรต่ำกว่า 3,000 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม |
| 2. คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) | ไม่ควรต่ำกว่า 15% |
| 3. เถ้า (Ash) | ไม่ควรเกิน 20% |
| 4. กำมะถันรวม (Total Sulfur) | ไม่ควรเกิน 2% |

(กรมโรงงานอุตสาหกรรม., 2555



รายการอ้างอิง

1. Radačovská, L., et al., *Influence of bark content on ash melting temperature*. Procedia engineering, 2017. 192: p. 759-764.
2. Wang, L., et al., *Effects of additives on barley straw and husk ashes sintering characteristics*. Energy Procedia, 2012. 20: p. 30-39.
3. Zhu, Y., et al., *Short review on the origin and countermeasure of biomass slagging in grate furnace*. Frontiers in Energy Research, 2014. 2: p. 7.
4. Schmitt, V.E. and M. Kaltschmitt, *Effect of straw proportion and Ca-and Al-containing additives on ash composition and sintering of wood–straw pellets*. Fuel, 2013. 109: p. 551-558.
5. Carroll, J. and J. Finnan, *The use of additives and fuel blending to reduce emissions from the combustion of agricultural fuels in small scale boilers*. Biosystems Engineering, 2015. 129: p. 127-133.
6. Chin, K., et al., *Reducing ash related operation problems of fast growing timber species and oil palm biomass for combustion applications using leaching techniques*. Energy, 2015. 90: p. 622-630.
7. Kanoksitapatham, W., M. Ogawa, and W. Intagun, *Effects of clay and temperature on the slag formation of two biomass fuels: Wood from Acacia mangium and rhizome residual from Manihot esculenta*. Renewable Energy, 2020. 156: p. 213-219.
8. Konsomboon, S., et al., *Effect of kaolin addition on ash characteristics of palm empty fruit bunch (EFB) upon combustion*. Applied Energy, 2011. 88(1): p. 298-305.
9. Öhman, M., et al., *Reasons for slagging during stemwood pellet combustion and some measures for prevention*. Biomass and bioenergy, 2004. 27(6): p. 597-605.
10. Tonn, B., et al., *Leaching of biomass from semi-natural grasslands–Effects on chemical composition and ash high-temperature behaviour*. Biomass and Bioenergy, 2012. 36: p. 390-403.
11. Chin, K., et al., *Additional additives to reduce ash related operation problems*

- of solid biofuel from oil palm biomass upon combustion*. Industrial Crops and Products, 2018. 123: p. 285-295.
12. Cley, D.S., et al., *The effects of an additive on the release of potassium in biomass combustion*. Fuel, 2018. 214: p. 647-655.
 13. Wang, L., et al., *Investigation of rye straw ash sintering characteristics and the effect of additives*. Applied energy, 2016. 162: p. 1195-1204.
 14. Wei, X., U. Schnell, and K.R. Hein, *Behaviour of gaseous chlorine and alkali metals during biomass thermal utilisation*. Fuel, 2005. 84(7-8): p. 841-848.
 15. กานต์นลิน ชีร์รัตนานนท์, แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579, in นิตยสาร กระทรวงพลังงาน 2015. 2015. p. 28-31.
 16. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน and กระทรวงพลังงาน. รายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทย. 2019; Available from: <http://www.dede.go.th>.
 17. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน and กระทรวงพลังงาน. โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสเชิงพาณิชย์. 2012; Available from: <http://www.dede.go.th>.
 18. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน. 2012; Available from: <http://webintra.diw.go.th>.
 19. Garcia-Maraver, A., et al., *Critical review of predictive coefficients for biomass ash deposition tendency*. Journal of the Energy Institute, 2017. 90(2): p. 214-228.
 20. เติลินวิธส์. เรื่องน่ารู้เกษตร, ชั่งข้าวโพด. 2018; Available from: <https://www.dailynews.co.th/agriculture>.
 21. Chaivatamaset, P., P. Sricharoon, and S. Tia, *Bed agglomeration characteristics of palm shell and corncob combustion in fluidized bed*. Applied thermal engineering, 2011. 31(14-15): p. 2916-2927.
 22. Wang, L., Ø. Skreiberg, and M. Bacidan, *Investigation of additives for preventing ash fouling and sintering during barley straw combustion*. Applied thermal engineering, 2014. 70(2): p. 1262-1269.
 23. Wang, L., et al., *A critical review on additives to reduce ash related operation problems in biomass combustion applications*. Energy Procedia, 2012. 20: p. 20-29.
 24. Kumar, A. and P. Lingfa, *Sodium bentonite and kaolin clays: Comparative study*

- on their FT-IR, XRF, and XRD. *Materials Today: Proceedings*, 2020. 22: p. 737-742.
25. ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ and มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, แร่ดิน Clay minerals, in รายงานทางวิชาการชุดแร่วิทยา. 2015.
 26. บริษัท ฮีโร่ไซน์ มาร์เก็ตติ้ง จำกัด. ดินขาว (Kaolin). 2020; Available from: <http://www.herosignmarketing.com>.
 27. Ma, X., et al., *Co-gasification of coal and biomass blends using dolomite and olivine as catalysts*. *Renewable Energy*, 2019. 132: p. 509-514.
 28. Zhu, Y., et al., *Experimental study on ash fusion characteristics and slagging potential using simulated biomass ashes*. *Journal of the Energy Institute*, 2019. 92(6): p. 1889-1896.
 29. Öhman, M., et al. *Slag formation during combustion of biomass fuels with low phosphorus content*. in *European Biomass Conference & Exhibition: 06/06/2011-10/06/2011*. 2011. ETA-Renewable Energies.
 30. Nafees, M., A. Waseem, and A.R. Khan, *Comparative study of laterite and bentonite based organoclays: implications of hydrophobic compounds remediation from aqueous solutions*. *The Scientific World Journal*, 2013. 2013.
 31. Zevenhoven-Onderwater, M., et al., *The ash chemistry in fluidised bed gasification of biomass fuels. Part I: predicting the chemistry of melting ashes and ash-bed material interaction*. *Fuel*, 2001. 80(10): p. 1489-1502.
 32. Steenari, B.-M., et al., *Investigation of ash sintering during combustion of agricultural residues and the effect of additives*. *Energy & Fuels*, 2009. 23(11): p. 5655-5662.
 33. Steenari, B.-M. and O. Lindqvist, *High-temperature reactions of straw ash and the anti-sintering additives kaolin and dolomite*. *Biomass and bioenergy*, 1998. 14(1): p. 67-76.
 34. Thy, P., et al., *High temperature elemental losses and mineralogical changes in common biomass ashes*. *Fuel*, 2006. 85(5-6): p. 783-795.
 35. Llorente, M.F., et al., *The effect of the addition of chemical materials on the sintering of biomass ash*. *Fuel*, 2008. 87(12): p. 2651-2658.
 36. Gilbe, C., et al., *Slagging characteristics during residential combustion of biomass pellets*. *Energy & Fuels*, 2008. 22(5): p. 3536-3543.

37. Thy, P., C. Lesher, and B. Jenkins, *Experimental determination of high-temperature elemental losses from biomass slag*. *Fuel*, 2000. 79(6): p. 693-700.





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวอาริตา มะเด็น
วัน เดือน ปี เกิด 21 มิถุนายน 2537
สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา เทคโนโลยีบัณฑิต
ที่อยู่ปัจจุบัน 28/3 หมู่2 ถนนเลียบบวารี แขวงโคกแฝด เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร
10530

