



การผลิตอิฐที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากหญ้าแฝก

FABRICATION OF ECO-GREEN BRICK FROM VETIVER GRASS



นายเสถียรวุฒิ

อุลปาทร

รหัส 55365630

นายอำนาจ

ศรีเดช

รหัส 55365692

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2558



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การผลิตอิฐที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
ผู้ดำเนินโครงการ นายเสฎฐวุฒิ อุลปาทร รหัส 55365630
นายอำนาจ ศรีเดช รหัส 55365692
ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ทศพล ตีร์จุริราภาพงศ์
สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์ทศพล ตีร์จุริราภาพงศ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุปถัมภ์ นาครักษ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์นฤมล สีพลไกร)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การผลิตอิฐที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากหญ้าแฝก		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายเสกฐวุฒิ	อุลปาทร	รหัส 55365630
	นายอำนาจ	ศรีเดช	รหัส 55365692
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์ทศพล	ตรีรุจิราภาพงศ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2558		

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ใบหญ้าแฝกมาทดแทนแร่เฟลด์สปาร์ ชนิดโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิคแบบอัด ชิ้นงานทดสอบมีอัตราส่วนผสมหญ้าแฝกในชิ้นงานเป็นร้อยละ 0 5 10 15 20 25 และร้อยละ 30 ตามลำดับ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล ได้แก่ความหนาแน่น ร้อยละการหดตัว ความต้านทานแรงแรงดัดโค้ง ความต้านทานแรงกดอัด ผลการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณหญ้าแฝกเพิ่มขึ้นในชิ้นงาน ทำให้ความหนาแน่นหลังเผาลดลง ร้อยละการหดตัวเพิ่มขึ้น ปริมาณรูพรุนเพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงดัดโค้งลดลง และความต้านทานแรงกดอัดลดลง

Project title FABRICATION OF ECO-GREEN BRICK FROM VETIVER GRASS
Name Mr. Settawut Aulpatorn ID 55365630
 Mr. Amnat Sridach ID 55365692
Project advisor Mr. Thotsaphon Threrujirapapong
Major Materials Engineering
Department Industrial Engineering
Academic year 2015

Abstract

The objective of this project is to study the possibility of using vetiver grass to replace the potassium feldspar in the compression molding of ceramic. The specimen was mixed with vetiver grass at the ratio of 0, 5, 10, 15, 20, 25, and 30%, respectively. The sintering temperature was varied from 400, 600 to 800 °C. The physical and mechanical properties of the samples (density, shrinkage percentage, bending stress and compressive stress) were analyzed. The increase of vetiver grass amount in the specimen causes the decrease of density and increase of shrinkage percentage and porosity, while the bending stress and compressive stress were decreased.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ข้าพเจ้าจึงขอแสดงความขอบพระคุณบุคคลผู้มีพระคุณ โดยเฉพาะอาจารย์ทศพล ตริรุจิราภางค์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ในการให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อเสนอ รวมถึงข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนดูแลติดตามโครงการมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณอาจารย์อุปลัมภ์ นาครักษ์ ที่ได้ให้ใช้เครื่องมือในการทำโครงการนี้ และกรุณาเสียสละเวลามาเป็นอาจารย์สอบโครงการนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์นฤมล สีพลไกร และอาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ ที่กรุณาเสียสละเวลามาเป็นอาจารย์สอบโครงการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงการนี้

ขอขอบพระคุณคุณครูช่างประเทือง โมรราราย ครูช่างรมภุต แสงผ่อง และนักวิทยาศาสตร์ อิศรีย์ วัตฤภาพ ที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และคำแนะนำในการใช้งานเครื่องมือต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจ และคอยสนับสนุนค่าใช้จ่ายจนสามารถทำโครงการเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ และเพื่อนทุกคนที่คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ให้การดูแลตลอดการทำโครงการจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นายเสฏฐวุฒิ อุลปาทร

นายอำนาจ ศรีเดช

พฤษภาคม 2558

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
สารบัญสัญลักษณ์	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นเป็นและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ	2
1.5 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	2
1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ	2
1.7 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัย	4
2.1 กล้วยแฝก	4
2.2 กล้วยแฝกหอม	6
2.3 กล้วยแฝกตอน	7
2.4 ดินเหนียว	8
2.5 เฟลด์สปาร์.....	10
2.6 การขึ้นรูปเซรามิค	14
2.7 กระบวนการทดสอบสมบัติ	15
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน.....	23
3.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	24
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	24
บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์.....	28
4.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ.....	28
4.2 การทดสอบสมบัติทางกล.....	35
บทที่ 5 ข้อเสนอแนะ.....	39
5.1 บทสรุปของโครงงาน.....	39
5.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนา.....	41
5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไข.....	41
เอกสารอ้างอิง.....	42
ภาคผนวก ก.....	44
ภาคผนวก ข.....	51

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
2.1 แสดงข้อเปรียบเทียบหญ้าแฝกหอมและหญ้าแฝกดอน	5
2.2 สูตรการคำนวณในการทดสอบแรงดัดงอแบบ 3 จุด	16
3.1 อัตราส่วนผสมก่อนอัดขึ้นรูป.....	25
4.1 ความหนาแน่นและการหดตัวของชิ้นงานหลังเผา	28
4.2 ความหนาแน่นโดยวิธีชั่งในน้ำ.....	32
4.3 ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดัดโค้ง	35
4.4 ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงกดอัดเฉลี่ย.....	37
ก.1 ผลการคำนวณหาค่าความหนาแน่นชิ้นงานหลังเผา ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส.....	45
ก.2 ผลการคำนวณหาค่าความหนาแน่นชิ้นงานหลังเผา ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส.....	47
ก.3 ผลการคำนวณหาค่าความหนาแน่นชิ้นงานหลังเผา ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส.....	49
ข.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส.....	52
ข.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส.....	54
ข.3 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส.....	56
ข.4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดของชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส.....	58
ข.5 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดของชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส.....	60
ข.6 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดของชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส.....	62
ข.7 ผลการทดสอบความหนาแน่นโดยวิธีชั่งในน้ำ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส.....	64
ข.8 ผลการทดสอบความหนาแน่นโดยวิธีชั่งในน้ำ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส.....	66
ข.9 ผลการทดสอบความหนาแน่นโดยวิธีชั่งในน้ำ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส.....	68

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แร่เฟลด์สปาร์.....	10
2.2 โปแทสเซียม เฟลด์สปาร์.....	11
2.3 โซเดียม เฟลด์สปาร์.....	11
2.4 แคลเซียม เฟลด์สปาร์.....	12
2.5 หลักการทดสอบแรงดัดงอ.....	15
2.6 การทดสอบการดัดงอแบบ 3 จุด.....	16
2.7 ลักษณะรูปร่างของชิ้นทดสอบแรงดัดงอ.....	17
2.8 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของใบหุ้มฝาแฝก.....	22
3.1 ลำดับขั้นตอนในการดำเนินงาน.....	23
4.1 ความหนาแน่นรวมของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส.....	30
4.2 ร้อยละการหดตัวรวมของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส.....	31
4.3 ความหนาแน่นโดยวิธีการแทนที่ด้วยน้ำรวมของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส.....	33
4.4 ความพรุนตัวปรากฏของชิ้นงานอุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส.....	33
4.5 ชิ้นงานหลังการทดสอบความหนาแน่นน้ำ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส.....	34
4.6 ชิ้นงานหลังการทดสอบความหนาแน่นน้ำ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส.....	34
4.7 ชิ้นงานหลังการทดสอบความหนาแน่นน้ำ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส.....	35
4.8 ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดัดโค้งกับร้อยละหุ้มฝาแฝก.....	36
4.9 กราฟความต้านทานแรงกดอัดเฉลี่ย.....	38

สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ

ASTM	=	American Society for the Testing of Materials
TGA	=	Thermo Gravimetric Analysis
DSC	=	Differential Scanning Calorimetry
°C	=	องศาเซลเซียส
kN	=	กิโลนิวตัน
g	=	กรัม
cm ³	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
cm	=	เซนติเมตร



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

เป็นที่ทราบกันดีว่าประเทศไทยมีการทำอุตสาหกรรมอย่างมากมาย เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ อุตสาหกรรมปิโตรเคมี และ อุตสาหกรรมเซรามิก ในอุตสาหกรรมเซรามิกมีผลิตภัณฑ์ทั้งเป็นเซรามิกแบบดั้งเดิมเช่น เครื่องปั้น ถ้วยชาม และเซรามิกสมัยใหม่หรือที่เรียกว่า Advanced ceramics เช่น วัสดุกึ่งตัวนำ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น วัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของอุตสาหกรรมเซรามิกแบบดั้งเดิม คือ แร่เฟลด์สปาร์ หินโซเดียมเฟลด์สปาร์และโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ในการใช้แร่เฟลด์สปาร์แต่ละครั้งจำเป็นต้องมีการทำอุตสาหกรรมเหมืองแร่ ซึ่งการทำเหมืองแร่ในแต่ละครั้งนั้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและปัญหาทางด้านสุนทรียภาพบริเวณนั้น ๆ ตามมา โดยเหมืองแร่ทุกประเภททุกขนาดจะต้องจัดทำรายงานประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมออกมา (Environmental Impact Assessment ; EIA) [1] ก่อนได้รับอนุญาตให้ดำเนินการ

ขณะเดียวกันในปัจจุบันมีโครงการรณรงค์การปลูกหญ้าแฝกเพื่อรักษาสภาพหน้าดินและน้ำตามโครงการพระราชดำริของในหลวง [2] โดยมีการปลูกหญ้าแฝกตามพื้นที่ต่าง ๆ ตามความเหมาะสม โดยที่ใช้ระบบรากของหญ้าแฝกเพื่อป้องกันการพังทลายของหน้าดินให้น้อยลง เช่น บริเวณภูเขา ตันเขา คันคลอง เป็นต้น ในขณะเดียวกันก็ยังมีประสิทธิภาพในการดักตะกอนดิน ดูดซับโลหะหนักจากดิน เป็นผลให้โรงงานอุตสาหกรรมจึงนำหญ้าแฝกมาปลูก เพื่อใช้บำบัดน้ำทิ้งจากโรงงาน [3]

จากการวิจัยเกี่ยวกับหญ้าแฝก [4] พบว่าบริเวณใบของหญ้าแฝกมีส่วนผสมของสารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และสารประกอบโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) อยู่ในปริมาณสูง ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับสารประกอบในแร่เฟลด์สปาร์ ชนิดโพแทสเซียมออกไซด์ (KAlSi_3O_8) มีสมบัติก่อให้เกิดความเป็นเนื้อแก้วในผลิตภัณฑ์ เป็นตัวส่งเสริมให้มีความแกร่งและโปร่งใสของชิ้นงาน และยังมีหน้าที่ให้ผลิตภัณฑ์หลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำหลังจากการหลอมแล้วได้ความหนืดสูงกว่าแร่เฟลด์สปาร์ชนิดโซเดียมเฟลด์สปาร์ เป็นผลให้รูปทรงของชิ้นงานอยู่ตัวไม่บิดเบี้ยวในช่วงตอนเผา

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้ จึงเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ว่าในการใช้ใบหญ้าแฝกมาทดแทนแร่เฟลด์สปาร์ ชนิดโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ในอุตสาหกรรมเซรามิกแบบดั้งเดิม เพื่อเป็นการผลิตอิฐรูปแบบใหม่ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [5-9] โดยนำใบหญ้าแฝกที่เป็นเศษเหลือทิ้ง มาสร้างมูลค่าเพิ่ม และสามารถลดต้นทุนในกระบวนการเผาเซรามิกได้ ทั้งยังเป็นการรณรงค์ให้ลดการทำเหมืองแร่เฟลด์สปาร์ได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำใบหญ้าแฝกมาแทนแร่เฟลด์สปาร์ในกระบวนการเผาเซรามิก
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานคือ ความหนาแน่น การหดตัว และรูพรุน
- 1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของชิ้นงานโดยศึกษา 2 ชนิดคือกาด้านทานแรงดัดโค้ง และการต้านทานแรงกดอัด

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย

- 1.3.1 ทราบถึงความเป็นไปได้ของการนำใบหญ้าแฝกมาแทนแร่เฟลด์สปาร์ในกระบวนการเผาเซรามิก
- 1.3.2 สามารถนำความรู้ที่ได้สร้างผลิตภัณฑ์เซรามิกที่เป็นอีรูรูปแบบใหม่
- 1.3.3 เป็นการนำวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์
- 1.3.4 เป็นการรณรงค์ให้ลดการทำเหมืองแร่เฟลด์สปาร์

1.4 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

- 1.4.1 ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำหญ้าแฝกค้อนมาใช้แทนแร่เฟลด์สปาร์ในอัตราส่วนร้อยละ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30
- 1.4.2 ศึกษาสมบัติความหนาแน่น การหดตัว และรูพรุน
- 1.4.3 ศึกษาสมบัติทางกลของชิ้นงานโดยศึกษา 2 ชนิดคือ Bending และ Compression Test

1.5 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ.2558 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2559

1.7 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	ช่วงเวลา										
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	
1.7.1	ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←————→										
1.7.2	จัดเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีที่เกี่ยวข้อง	←————→										
1.7.3	ทำหญ้าแฝกและดินให้เป็นผงละเอียด	←————→										
1.7.4	อัดขึ้นรูปเพื่อนำไปทดสอบ			←————→								
1.7.5	ทำการทดสอบ					←————→						
1.7.6	บันทึกผลการทดสอบ					←————→						
1.7.7	วิเคราะห์ เปรียบเทียบเทียบ สรุปผล				←————→							
1.7.8	เขียนรูปเล่ม	←————→										

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัย

2.1 หญ้าแฝก

หญ้าแฝก (Vetiver) [10] เป็นพืชตระกูลหญ้าขึ้นเป็นกอหนาแน่น เจริญเติบโตได้โดยการแตกกออย่างรวดเร็ว เส้นผ่านศูนย์กลางกอประมาณ 30 เซนติเมตร ความสูงจากยอดประมาณ 0.5 ถึง 1.5 เมตร กระจายกันอยู่ไม่ไกลมากนัก กอแฝกมีขนาดค่อนข้างใหญ่ โคนกอเบียดกันแน่น เป็นลักษณะต้นหนึ่งที่แตกต่างจากหญ้าอื่น ๆ ค่อนข้างชัดเจน ส่วนของลำต้นจะแบบเกิดจาก ส่วนของโคนใบที่จัดเรียงพับซ้อนกัน ลำต้นแท้จะมีลักษณะเล็กซ่อนอยู่ในกาบบริเวณโคน การเจริญเติบโตและการแตกกอของหญ้าแฝกจะมีกาบแตกหน่อใหม่ทดแทนต้นเก่าอยู่เสมอ โดยแตกหน่อออกทางด้านข้างของรอบกอทำให้กอมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ โดยปกติแล้วหญ้าแฝกมีลำต้นสั้น ข้อและปล้องชัดเจน การแตกตะเกียงและการยกลำต้นขึ้นเตี้ย ๆ เหนือพื้นดิน ไม่พบในสภาพธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์ แต่เป็นลักษณะที่พบได้ทั่วไปในหญ้าแฝกที่ได้จัดปลูกในถุง ในแปลงที่ต้นแก่มากหรือปลูกในพื้นที่วิกฤต

2.1.1 ลักษณะต่างของแต่ละส่วนหญ้าแฝก [4]

2.1.1.1 ใบหญ้าแฝกจะแตกออกจากโคนกอ มีลักษณะแคบยาว ขอบใบขนานปลายสอบแหลม แผ่นใบกว้างคายน โคนเฉพาะใบแก่ ของใบและเส้นกลางใบมีหนามละเอียด หนามบนใบที่ส่วนโคนและกลางแผ่นจะมีน้อย แต่จะมีมากที่บริเวณปลายใบ มีลักษณะตั้งทแยง ปลายหนามชี้ขึ้นไปทางปลายใบ

2.1.1.2 รากเป็นส่วนสำคัญและเป็นลักษณะพิเศษของหญ้าแฝก ที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์เป็นหลักหญ้าส่วนใหญ่โดยทั่วไปจะเป็นรากที่มีลักษณะระบบรากฝอย (Fibrous roots) แตกตากรากส่วนลำต้นใต้ดินกระจายออก แผ่กว้างเพื่อยึดพื้นดินแนวนอน (Horizontal) มีระบบรากในแนวตั้ง (Vertical) ไม่ลึกมากแต่ระบบรากหญ้าแฝก จะแตกต่างจากหญ้าส่วนใหญ่โดยทั่วไป คือมีรากที่สานกันแน่นยังลึกแนวตั้งลงในดิน ไม่แผ่ขนาน มีรากแกน รากแขนง โดยเฉพาะมีรากฝอยแนวตั้งจำนวนมาก

2.1.1.3 ช่อดอก (Inflorescence) ดอก (Spike lets) หญ้าแฝกมีช่อดอกตั้ง ลักษณะเป็นวง ก้านช่อดอกยาวกลม ก้านช่อดอกและรวงสูงประมาณ 100-150 ซม. เฉพาะส่วนช่อดอกหรือรวงสูงประมาณ 20-40 ซม. แผ่กว้างเต็มที่ 10-15 ซม. ช่อดอกของหญ้าแฝกหอมส่วนใหญ่มีสีม่วงซึ่งมีลักษณะปกติประจำแต่ละชนิดพันธุ์ หญ้าแฝกจะเรียงตัวอยู่ด้วยกันเป็นคู่ๆ มีลักษณะคล้ายคลึงและขนาดใกล้เคียง แต่ละคู่ประกอบด้วยดอกชนิดที่ไม่มีก้าน และดอกชนิดมีก้าน ยกเว้นที่ส่วนปลายของก้าน ช่อย่อยมักจะจัดเรียงเป็น 3 ดอกอยู่ด้วยกัน ดอกก้านจะอยู่ด้านล่าง ส่วนดอกที่มีก้านจะชูอยู่ด้านบน ดอกหญ้าแฝกมีลักษณะคล้ายกระสวย ขอบขนานรูปไข่ ปลายสอบขนาดดอกกว้าง 1.5-2.5

มม. ยาว 2.5-3.5 มม. ผิวบนด้านหลังขรุขระ มีหนามแหลมขนาดเล็ก โดยเฉพาะที่บริเวณขอบเห็นได้ชัดเจนเมื่อส่องดูด้วยแว่นขยาย ด้านล่างผิวเรียบ

2.1.1.4 เมล็ดและต้นกล้า (Seed and Seedling) ดอกหญ้าแฝกเมื่อได้รับการผสมแล้ว ดอกที่ไม่มีก้านดอก ซึ่งเป็นสมบูรณ์ก็จะติดเมล็ด เมล็ดมีสีน้ำตาลอ่อน เป็นรูปกระสวยผิวเรียบ หัวท้ายมน มีเนื้อในลักษณะคล้ายแปงเหนียวจึงสูญเสียสภาพความงอกได้ง่าย เมื่อลมแรง แดดจัด หรือสภาพอากาศวิกฤตเนื้อแปงเปลี่ยนเป็นแข็ง รัดตัวทำให้ไม่สามารถขยายตัวได้ เนื่องจากเมล็ดหญ้าแฝกมีความสามารถในการงอกอยู่ในช่วงระยะเวลาจำกัดเพียงช่วงสั้น ๆ และบางสายพันธุ์ ซึ่งนำเข้ามาจากต่างประเทศไม่มีเมล็ด จึงทำให้หญ้าแฝกไม่สามารถแพร่กระจายกลายเป็นวัชพืชร้ายแรง

พันธุ์หญ้าแฝกที่พบในประเทศไทย จำแนกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่หญ้าแฝกหอม (*Vertiveria zizanioides*) หญ้าแฝกตอน (*Vertiveria nemoralis*) ในธรรมชาติพบว่าหญ้าแฝกทั้งสองชนิดมีการกระจายพันธุ์อยู่ทั่วไป สามารถขึ้นได้ดีในสภาพพื้นที่ทั้งที่ลุ่มและที่ดอนในดินสภาพต่าง ๆ พันธุ์หญ้าแฝกที่พบในจังหวัดพิษณุโลกมีทั้ง 2 ชนิดแต่ส่วนมากที่พบจะเป็นหญ้าแฝกหอมที่ส่วนใหญ่เป็นแหล่งพันธุ์ศรีลังกา ในจังหวัดพิษณุโลกการนำหญ้าแฝกมาใช้ประโยชน์เพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ เพราะหญ้าแฝกหอมมีรากลึกกว่าหญ้าแฝกตอน หญ้าแฝกหอมจึงมีการใช้ประโยชน์มากกว่าหญ้าแฝกตอน ข้อแตกต่างของหญ้าแฝกทั้ง 2 ชนิดมีดังนี้

ตารางที่ 2.1 ข้อเปรียบเทียบหญ้าแฝกหอมและหญ้าแฝกตอน [5]

หญ้าแฝกหอม	หญ้าแฝกตอน
<p>ลักษณะกอ</p> <p>เป็นพุ่ม ใบยาวตั้งตรงขึ้นสูง</p> <p>สูงประมาณ 150 – 200 เซนติเมตร</p> <p>มีการแตกตะเกียงและแตกแขนงลำต้นได้</p>	<p>ลักษณะกอ</p> <p>เป็นพุ่ม ใบยาว ปลายแผ่นโค้งลงคล้ายกอดตะไคร้</p> <p>ไม่ตั้งมากเหมือนหญ้าแฝกหอม</p> <p>สูงประมาณ 100 – 150 เซนติเมตร</p> <p>ปกติไม่มีการแตกตะเกียง และแขนงลำต้น</p>
<p>ใบ</p> <p>ยาว 45 - 100 เซนติเมตร</p> <p>กว้าง 0.6 - 1.2 เซนติเมตร</p> <p>ใบมีสีเขียว หลังใบโค้ง ท้องใบออกสีขาว มีรอยกั้นขวางในเนื้อใบ ส่องกับแดดเห็นชัดเจน</p> <p>เนื้อใบค่อนข้างเหนียว มีไขเคลือบมาก ทำให้ดูมัน</p>	<p>ใบ</p> <p>ยาว 35 - 80 เซนติเมตร</p> <p>กว้าง 0.4 – 0.8 เซนติเมตร</p> <p>ใบสีเขียวซีดหลัง ใบพับเป็นสันสามเหลี่ยม ท้องใบสีเดียวกับด้านหลังใบซีดกว่า แผ่นใบเมื่อส่องกับแสงแดดไม่เห็นรอยกั้นในเนื้อใบ เนื้อหยาบ</p> <p>สาบคาย ทำให้ดูกร้านไม่เคลือบมัน</p>

ตารางที่ 2.1 ข้อเปรียบเทียบหญ้าแฝกหอมและหญ้าแฝกตอน [5]

หญ้าแฝกหอม	หญ้าแฝกตอน
ช่อดอกและดอก สูง 150 – 250 เซนติเมตร ส่วนใหญ่มีสีม่วง	ช่อดอกและดอก สูง 100 – 150 เซนติเมตร มีได้หลายสี ตั้งแต่สีขาว ครีမ် ถึงม่วง.
ราก มีความหอม เนื่องจากมีน้ำมันหอมระเหย ซึ่งเป็น สารจำพวก Alkaloids สามารถหยั่งลึกได้ ประมาณ 100 – 300 เซนติเมตร	ราก ไม่มีความหอม มีรากสั้นกว่า โดยทั่วไปจะหยั่งลึกประมาณ 80 – 100 เซนติเมตร

2.2 หญ้าแฝกหอม (*Vetiveria Zizanioides* Nash) [10]

หรือหญ้าแฝกกลุ่ม มีถิ่นกำเนิดบริเวณตอนกลางของทวีปเอเชีย สันนิษฐานว่าอยู่ในประเทศอินเดีย หญ้าแฝกหอมเป็นพืชที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี และค่อนข้างรวดเร็ว หญ้าแฝกหอมที่นำเข้ามา จากต่างประเทศส่วนใหญ่ ได้แก่ พันธุ์ที่นำมาจากอินเดีย ศรีลังกา และอินโดนีเซียเป็นหญ้าที่ได้รับคัดเลือกพันธุ์และจัดปลูกภายใต้การดูแลที่มีปัจจัยต่างจากสภาพในธรรมชาติ อาทิ มีการตัดแต่งอย่างสม่ำเสมอเพื่อเร่งราก การแตกกอ และเพื่อไม่ให้เกิดการผสม และไม่ให้กลายพันธุ์ โดยยังคงลักษณะเดิมต่าง ๆ ไว้เสมอ หญ้าแฝกหอมที่พบขึ้นอยู่ทั่วไปตามสภาพธรรมชาติ นั้น ๆ มีการกระจายขึ้นอยู่ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ มีการปรับตัวเองให้เหมาะสมที่จะขึ้นอยู่ในพื้นที่นั้น ๆ จะให้ช่อดอกหลายช่อ และเกิดการผสมข้ามต้นทุกปี การผสมข้ามต้นก็ทำให้พืชมีวิกฤตของภูมิอากาศในท้องถิ่นนั้น ๆ แต่ขณะเดียวกันก็ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ โดยเฉพาะพันธุ์ปลูกเพื่อใช้ รากสกัดน้ำมันหอมระเหย จะทำให้สารหอมระเหยในรากมีปริมาณลดลงหรือมีปริมาณไม่คงที่ หญ้าแฝกหอมมีใบยาว 45 ถึง 90 เซนติเมตร กว้าง 0.6 ถึง 0.9 เซนติเมตร มีใบโค้ง ปลายใบแบน มีสีเขียว เข้มเนื้อใบค่อนข้างเนียน มีไขเคลือบ (wax) มากทำให้ดูมัน ท้องใบออกสีขาวชัดกว่าด้านหลังใบ และเมื่อนำใบส่องดูกับแดดจะเป็นรอยกันขวางในใบ (septum) ค่อนข้างชัดเจน โดยเฉพาะพื้นใบบริเวณ ส่วนโคนและกลางใบ เส้นกลางใบ (midrib) ฝังอยู่ในตัวแผ่นใบโตหรือเด่นชัดเจน เนื้อใบค่อนข้างเนียนมีไขเคลือบมากทำให้ดูมัน ช่อดอกสูงประมาณ 150 ถึง 250 เซนติเมตร ส่วนใหญ่มีสีม่วง เมล็ดของหญ้าแฝกหอมมีขนาดโตกว่าหญ้าแฝกตอน เล็กน้อย สีไม่แตกต่างกันรากจะมีความหอมเย็น มีน้ำมันระเหยอยู่เฉลี่ยร้อยละ 1.4 ถึง 1.6 ของน้ำหนักแห้ง โดยทั่วไปรากจะหยั่งลึกได้ประมาณ 100 ถึง 130 เซนติเมตร หญ้าแฝกหอมยังสามารถยังนำรากมาใช้ทำน้ำหอม สบู่ และเครื่องประดับ เช่น กระเป๋า พัด ไม้แขวนเสื้อ สมุนไพร และเป็นยากันแมลงในเสื้อผ้า กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกหอมมีดังนี้

2.2.1 กลุ่มพันธุ์ศรีลังกา เจริญเติบโตดีในสภาพพื้นที่เป็นดินลูกรัง อากาศร่มเย็นมีร่มเงา แดกกอ 10 ต้นต่อกอ เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร สูง 101 เซนติเมตร แดกกอค่อนข้างหลวม หน่อกลม ยึดปล้องเร็ว โคนกอเล็ก ใบแก่ค่อนข้างเล็ก ใบสีเขียวอ่อนใกล้เคียงไปทางด้านใบหญ้าแฝก ดอน ดอกสีม่วง เริ่มออกดอกเมื่อประมาณอายุ 1 เดือน หลังจากการปลูกขยายพันธุ์ได้ดีในสภาพที่มีความชื้นสูง แสงน้อย

2.2.2 กลุ่มพันธุ์กำแพงเพชร 2 เจริญเติบโตดีในสภาพพื้นที่เป็นดินทรายถึงดินลูกรัง แดกกอ 18 ต้นต่อเส้นผ่านศูนย์กลางกอ 8 เซนติเมตร สูง 94 เซนติเมตร แดกกอค่อนข้างหลวม หน่อกลม ค่อนข้างเล็ก ยึดปล้องเร็ว ทรงพุ่มกลางใบสีเขียวเข้ม ท้องใบสีขาวดอกสีม่วงแดงออกดอกเมื่ออายุ ประมาณครึ่งเดือนหลังจากการปลูก ต้นโตปล้องไม่ตรง

2.2.3 กลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี เจริญเติบโตในสภาพพื้นที่เป็นดินร่วนเหนียวและดินลูกรัง แดกกอ 22 ต้นต่อกอ เส้นผ่านศูนย์กลางกอ 13 เซนติเมตร สูง 108 เซนติเมตร แดกกอหลวมหน่อกลม อวบ ยึดปล้องเร็วทรงพุ่มกางมาก ใบสีเขียวอ่อนท้องใบขาว ดอกสีม่วงออกดอกเมื่อประมาณ 1 เดือน ครึ่งหลังจากปลูก

2.3 หญ้าแฝกดอน (*Vetiveria nemoralis a.camus*) [10]

หญ้าแฝกดอนหรือที่เรียกกันว่าแฝกพื้นบ้าน นั้นมีการกระจายพันธุ์อยู่ในวงแคบ ๆ ตามธรรมชาติโดยเฉพาะเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือประเทศไทย ลาว เขมร เวียดนาม และมาเลเซีย เท่านั้น ไม่พบบันทึกหลักฐานว่านำไปใช้ประโยชน์ในทางใด หญ้าแฝกดอนจะพบได้โดยทั่วไปในที่ค่อนข้างแล้ง หรือดินที่ระบายน้ำได้ดีในทุกภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะในป่าเต็งรัง แต่จะมีน้อยในภาคใต้ สามารถขึ้นได้ดีในที่แดดจัด และแดดปานกลาง ยอดกอส่วนปลายจะแผ่โค้งลงคล้ายกอดตะไคร้ ไม่ตั้งมากเหมือนหญ้าแฝกหอมในบางพื้นที่พบว่าขึ้นอยู่หนาแน่นในลักษณะเป็นพืชรากคลุมดินเป็นบริเวณกว้าง หญ้าแฝกดอนที่ขึ้นอยู่ตามป่าเต็งรังจะโดนไฟป่ารบกวนอยู่เสมอ ใบของหญ้าแฝกที่แห้งเป็นเชื้อเพลิงที่ดี แต่เนื่องจากโคนกอมักมีลักษณะแฉกจึงไม่ถูกทำลายง่ายด้วยไฟป่า และสามารถงอกใบใหม่ขึ้นทดแทนได้อย่างรวดเร็วหลังจากไฟไหม้เพียงไม่นาน หญ้าแฝกดอนมีความยาว 35 เซนติเมตร ถึง 60 เซนติเมตร กว้าง 0.4 เซนติเมตร ถึง 0.6 เซนติเมตร ใบสีเขียวซีด หลังใบเป็นสามเหลี่ยม เนื้อใบหยาบสากคาย มีขนเล็กน้อยทำให้ตุกร้านไม่เหนียวมัน ท้องใบมีด้านสีเดียวกับใบ แต่มีสีซีดกว่า แผ่นใบเมื่อส่องกับแดดแล้วไม่มีรอยกั้นในเนื้อใบ ช่อดอกสูง 100 ถึง 150 เซนติเมตร มีได้หลายสี ตั้งแต่สีขาว ครีมี สีม่วง ดอกมีรยางค์แข็ง เมล็ดของหญ้าแฝกดอนจะมีขนาดเล็กกว่าหญ้าแฝกหอม รากของหญ้าแฝกดอนจะไม่มีกลิ่นหอม และรากจะมีขนาดสั้นกว่า โดยทั่วไปจะมีความลึกประมาณ 80 ถึง 100 เซนติเมตร ตัวอย่างของหญ้าแฝกดอนมีแสดงให้เห็นในภาพที่ 2 ส่วนกลุ่มพันธุ์ของหญ้าแฝกดอนมีดังนี้

2.3.1 กลุ่มพันธุ์เลย เจริญเติบโตเร็วในสภาพพื้นที่เป็นดินเหนียว แดกกอ 26 ต้น ต่อกอ เส้นผ่าศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร สูง 108 เซนติเมตร การแตกกอแน่นตั้งตรงใบสีเขียว กาบใบสีชมพู ดอกสีม่วง เริ่มออกดอกอายุประมาณ 1 เดือนหลังจากการปลูก

2.3.2 กลุ่มพันธุ์นครสวรรค์ เจริญเติบโตในสภาพดินที่เป็นดินทรายถึงดินร่วนเหนียว แดกกอ 35 ต้นต่อกอ เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร สูง 89 เซนติเมตร กอแน่นแต่แตกออกเป็นพุ่มเตี้ย ใบสีเขียวเข้มดอกสีม่วง ออกดอกเมื่ออายุประมาณครึ่งเดือนหลังจากปลูก

2.3.3 กลุ่มพันธุ์กำแพงเพชร เจริญเติบโตดีในสภาพพื้นที่เป็นดินทรายถึงดินร่วนแแดกกอ 34 ต้นต่อกอ เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร สูง 106 เซนติเมตร กอแน่นตั้งตรง ใบสีเขียวทึบ กาบใบสีฟ้าขาว ดอกสีม่วง เริ่มออกดอกเมื่ออายุประมาณครึ่งเดือนหลังจากการปลูก

2.3.4 กลุ่มพันธุ์ร้อยเอ็ด เจริญเติบโตได้ดีจากสภาพดินทราย แดกกอ 26 ต้นต่อกอ เส้นผ่าศูนย์กลางกอ 7 เซนติเมตร สูง 70 เซนติเมตร กอแน่นตั้งตรงใบสีเขียวดอกสีน้ำตาล เริ่มออกดอกเมื่ออายุประมาณครึ่งเดือนหลังจากการปลูก

2.3.5 กลุ่มพันธุ์ราชบุรี เจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่ดินทรายถึงดินร่วน แดกกอ 34 ต้นต่อกอ เส้นผ่าศูนย์กลางกอ 12 เซนติเมตร สูง 106 เซนติเมตร กอแน่นตั้งตรง ใบเขียวทึบ กาบใบสีฟ้าขาว ดอกสีม่วง เริ่มออกดอกเมื่อประมาณเริ่มออกดอกเมื่ออายุประมาณครึ่งเดือนหลังจากการปลูก ในสภาพธรรมชาติออกดอกช่วงปลายธันวาคม ถึงมกราคม ต้นกอหน่อและก้านใหญ่กว่าพันธุ์อื่น

2.3.6 กลุ่มพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ เจริญเติบโตดีในสภาพที่เป็นดินร่วนเหนียวและลูกรังแแดกกอ 26 ต้นต่อกอ เส้นผ่านศูนย์กลางกอ 14 เซนติเมตร สูง 112 เซนติเมตร กอแน่นหน่อใหญ่ตั้งตรงใบหนาสีเขียวเข้ม ร่องใบขาวกาบใบออกสีขาวนวล ออกดอกช้าในบางพื้นที่ใช้เวลาถึง 2 ปี แรกยังไม่ออก หรือมีอัตราการออกดอกน้อย ดอกสีม่วง ช่อดอกเล็ก

จะเห็นได้ว่าหญ้าแฝกในประเทศไทยนั้นสามารถปลูกได้หลากหลายสายพันธุ์และสามารถปลูกได้ทั่วไปในทุกสภาพพื้นที่ แต่อย่างไรก็ตามในการปลูกหญ้าแฝกนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาสายพันธุ์ที่จะปลูกให้มีความเหมาะสมกับสภาพของพื้นดินและวัตถุประสงค์ของการปลูกสำหรับหญ้าแฝกดอนและหญ้าแฝกุ่มนั้นมีความแตกต่างกันบ้างในบางลักษณะ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความสะดวกต่อการพิจารณาจึงได้เปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างหญ้าแฝกุ่มกับหญ้าแฝกดอน

2.4 ดินเหนียว [11 และ16]

ดินเหนียว (ball clay) เป็นดินที่เกิดจากตะกอนที่พัดพามาทับถมกันธรรมชาติของดินเหนียวจะประกอบด้วยแร่เคโอลิน (kaolinite) เป็นส่วนใหญ่ โดยเป็นแร่เอโอไลต์ที่พบในดินเหนียวมักมีผลึกที่ไม่สมบูรณ์และมีขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังพบเนื้อดินชนิดอื่นๆอีก อาทิ มอนมอริลโลไนต์ (monmorillonite) อิลไลต์ (illite) ควอตซ์ (quartz) แร่ไมกา (mica) แร่เหล็กออกไซด์ (iron oxide) รวมทั้งมักมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่เสมอ ดินเหนียวสีต่าง ๆ เกิดจากการมีแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ ใน

ปริมาณที่แตกต่างกัน อาทิ สีดำ เทา ครีมน้ำตาล ดินเหนียวที่มีสีเทาหรือสีดำนั้น จะมีวัตถุปนมากส่วนดินเหนียวจะมีสีครีมหรือสีน้ำตาล มาจากแร่เหล็กที่ปะปนอยู่ ดินเหนียวมีสมบัติเด่นในการนำมาขึ้นรูป คือ มีความเหนียวและมีความแข็งมีความแข็งแรงสูงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการแตกร้าว ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้ดินเหนียวล้วน ๆ ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ แต่ต้องมีการผสมวัตถุที่ไม่มีความเหนียว อาทิ ดินเชื้อ หรือทราย เพื่อลดการดัดตัวและการหดตัวจึงจะช่วยลดปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของดินได้ ดินเหนียวหลายชนิดมีช่วงอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปเป็นเนื้อแก้วว่าง ซึ่งจะเป็นประโยชน์คือช่วยปรับปรุงเนื้อผลิตภัณฑ์หลังการเผาให้ดีขึ้น ในการใช้ประโยชน์จากดินเหนียวนั้นนอกจากใช้เป็นเนื้อดินปั้นสำหรับหัตถกรรมพื้นบ้านแล้ว ยังนิยมนำมาใช้ผสมกับดินขาว เพื่อเพิ่มความเหนียว หรือช่วยให้หน้าดินมีการไหลตัวดีขึ้น ในปัจจุบันประเทศไทยมีแหล่งดินเหนียวอยู่หลายแหล่งที่ได้นำมาใช้ประโยชน์ ทางด้านอุตสาหกรรมเซรามิก อาทิ ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปราจีนบุรี ลำปาง เชียงใหม่นอกเหนือจากนี้ ดินเหนียวที่มีอยู่ในแหล่งพื้นบ้านทั่วไป อย่างไรก็ตาม แม้ว่าดินเหนียวจะมีอยู่หลายพื้นที่ก็ตาม การนำดินเหนียวจากแหล่งต่าง ๆ มาใช้ก็ควรใช้อย่างมีคุณค่า และใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพราะเมื่อดินเหนียวหมดไปแล้วจะต้องใช้เวลานานเป็นร้อยล้านปี กว่าที่จะมีการทับถมเพื่อให้เกิดทดแทนใหม่ได้

2.4.1 ส่วนประกอบของดินเหนียว ส่วนประกอบของดินเหนียวทางเคมีแตกต่างกันไปตามแหล่งที่สะสมส่วนประกอบโดยประมาณ อาจจำแนกได้ดังนี้

- 2.4.1.1 ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) อยู่ระหว่าง 60%
- 2.4.1.2 อะลูมิเนียมซัลไฟด์ (Al_2SO_2) ประมาณ 30%
- 2.4.1.3 น้ำ (H_2O) ในผลึกอินทรีย์สาร 10%
- 2.4.1.4 $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaC}/\text{MgO}/\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ เล็กน้อย

2.4.2 สมบัติทางกายภาพของดินเหนียว

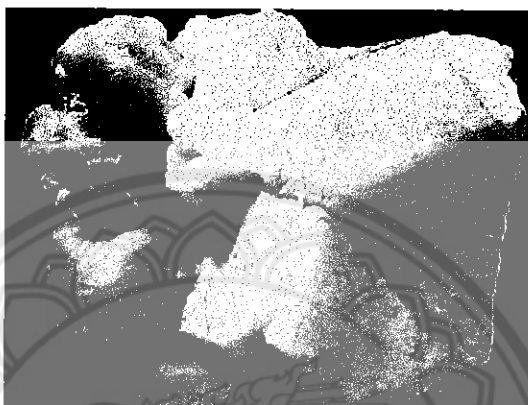
2.4.2.1 ขนาดดินเหนียวมีขนาดละเอียดกว่าดินขาว ขนาดของดินเหนียวจะมีความละเอียดแคบและมากน้อยเพียงใดจะเปลี่ยนแปลงได้ตามแหล่งที่พบ คือ แหล่งดินที่ถูกพัดพาไปไกลจากแหล่งเดิมมาก จะมีการเสียดสีและการบดกันตามธรรมชาติมาก ขนาดของเม็ดดินจะละเอียดมากขึ้นตามลำดับ

2.4.2.2 ความเหนียวกล่าวโดยทั่วไปแล้ว ดินเหนียวมีความเหนียวมากกว่าดินขาว การผสมดินเหนียวลงไปในเนื้อดินปั้นจะช่วยให้การขึ้นรูปได้ดีขึ้น

2.4.2.3 การเหนียวตัวเมื่อแห้งดินเหนียวจะมีการหดตัวมากน้อยแตกต่างกันไปตามแหล่งหรือชนิดของดินเหนียวนั้น เช่น ดินเหนียวที่มี SiO_2 สูง แทบไม่มีการหดตัวเลย แต่ดินเหนียวที่มีอินทรีย์สารสูงจะมีการหดตัวมากประมาณ 15% แต่อย่างไรก็ตามเราไม่ได้ใช้ดินเหนียวอย่างเดียวในการผสมเนื้อดินปั้น

2.4.2.4 ความแข็งแรงก่อนเผาถ้าเป็นดินเหนียวล้วน ๆ สมบัติหลังจากการเผา เป็นต้นว่ามีสีเป็นอย่างไร เนื้อดีหรือไม่ดีอย่างไร ไม่ค่อยสำคัญนัก แต่สมบัติเหล่านี้จะมีผลกระทบเมื่อผสมดินเหนียวลงไปเนื้อดินปั้น ดินเหนียวบางอย่างมี Mica ประกอบอยู่เมื่อผสมในเนื้อดินปั้นเมื่อเผา mica จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาในเนื้อดินปั้นทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์แน่นและเนียนมากขึ้น

2.5 เฟลด์สปาร์

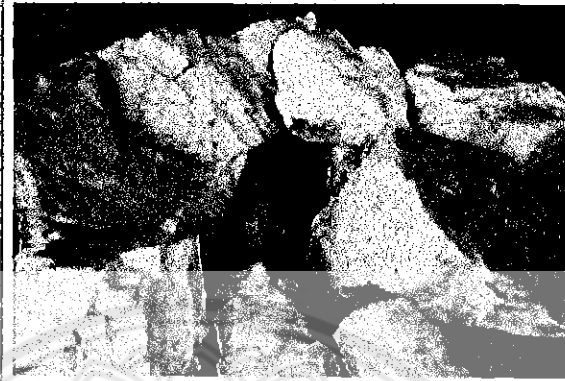


รูปที่ 2.1 แร่เฟลด์สปาร์ [13]

แร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar) [12] หรือ แร่ฟันม้า เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในเนื้อเซรามิก (15.35 %) และในน้ำยาเคลือบผิว (Glaze 30-50%) เฟลด์สปาร์เป็นแร่ที่มีปริมาณธาตุอัลคาไลด์สูง ทำให้หลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำจึงทำหน้าที่เป็น Flux ทำให้เกิดเนื้อแก้วยึดเหนี่ยวเนื้อ ทำให้เกิดความแกร่งและความโปร่งใสของชิ้นงาน นอกจากนี้ ยังหาได้ง่ายในธรรมชาติ มีธาตุเหล็กต่ำ จึงเป็นที่นิยมใช้

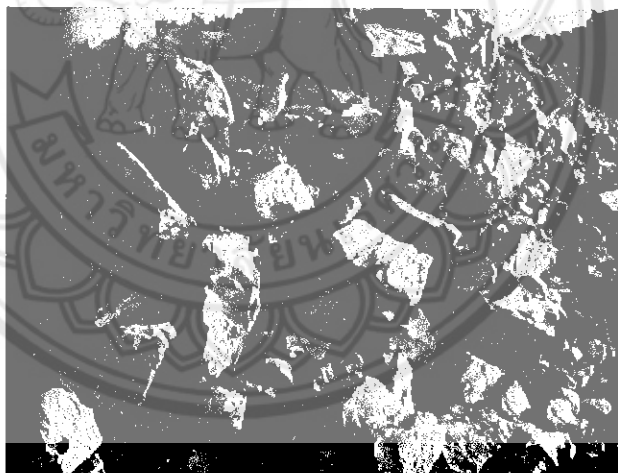
2.5.1 แร่เฟลด์สปาร์ที่เกิดในธรรมชาติมีอยู่ 3 ชนิด คือ

2.5.1.1 โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ $KAlSi_3O_8$ (Potash Feldspar-Orthoclase-Microcline) [12 และ13]



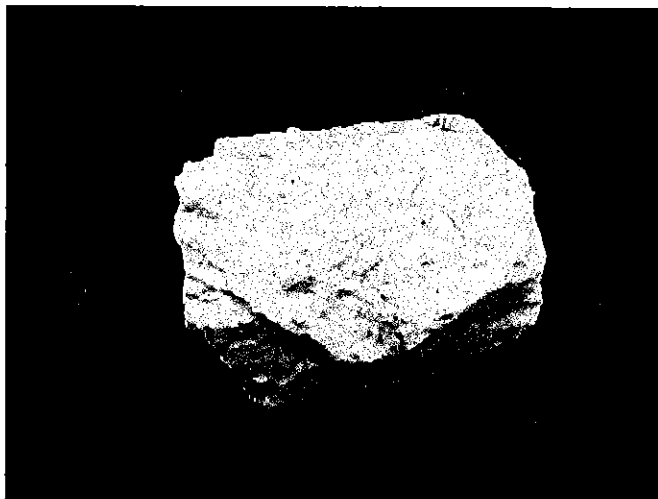
รูปที่ 2.2 โพแทสเซียม เฟลด์สปาร์ [13]

2.5.1.2 โซเดียมเฟลด์สปาร์ $NaAlSi_3O_8$ (Sodium Feldspar - Albite) [12 และ13]



รูปที่ 2.3 โซเดียม เฟลด์สปาร์ [13]

2.5.1.3 แคลเซียมเฟลด์สปาร์ $CaAl_2Si_2O_8$ (Calcium Feldspar - Anorthite) [12 และ13]



รูปที่ 2.4 แคลเซียม เฟลด์สปาร์ [13]

ประโยชน์ ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก โดยนำไปผสมกับดินขาวและทรายหรือหินควอทซ์ ทำหน้าที่เป็นน้ำประสาน (Cement) หรือตัวช่วยหลอม (flux) และช่วยลดอุณหภูมิการหลอมเหลวของเซรามิก นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมแก้ว อะลูมินาในเฟลด์สปาร์เมื่อหลอมตัวกับแก้ว จะทำให้ผลิตภัณฑ์แก้วมีความเหนียวคงทนต่อการ กระทบกระแทก ความกดดัน ความร้อนเฉียบพลันและความเป็นกรดต่างได้สูง ทำให้อยู่ตัวไม่กลายเป็น ผลิตภัณฑ์เย็นตัวทำให้สามารถจัดเป็นรูปร่างได้ ในอุตสาหกรรมเซรามิก เฟลด์สปาร์ใช้ผสมในเนื้อดินปั้น เพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์หลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำ และมีความโปร่งแสงและใช้ผสมในน้ำยาเคลือบ เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแวววาวเฟลด์สปาร์ละเอียดใช้ทำผงขัดทำความสะอาดเครื่องแก้ว และเครื่องเคลือบสีขาวใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมทำสีและอุตสาหกรรมผลิตยาฆ่าแมลง ใช้เป็นตัวเติมในอุตสาหกรรมพลาสติกและยาง นอกจากนี้ยังใช้เป็นน้ำประสานหรือตัวช่วยหลอม (flux) ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ และใช้ทำฟันปลอม

2.5.2 แหล่งแร่เฟลด์สปาร์

แร่เฟลด์สปาร์ พบอยู่ในหินอัคนีเกือบทุกชนิด และพบในหินชั้นและหินแปรด้วย แต่แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ที่เป็นอุตสาหกรรมนั้น ได้มาจากสายแร่เพกมาไทต์ (Pegmatite) หรือสายคา ซึ่งจะมีแร่เฟลด์สปาร์เกิดร่วมกับควอตซ์ ไมกา การ์เน็ต ทัวร์มาลีน เป็นต้น สายแร่เพกมาไทต์ ที่ตัดเข้าไปในหินแกรนิตมักให้แร่เฟลด์สปาร์พวกโซเดียมและโพแทสเซียม [13] ซึ่งปริมาณของทั้งสองตัวนี้ก็แตกต่างกันไม่แน่นอน บางแหล่งจะมีโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์มาก บางแหล่งก็มีโซเดียมเฟลด์สปาร์มาก เฟลด์สปาร์ที่ซื้อขายกันในประเทศสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.5.2.1 โพแทสเซียม เฟลด์สปาร์ มีปริมาณ K_2O อยู่ไม่น้อยกว่า 8 %

2.5.2.2 โซเดียม เฟลด์สปาร์ มีปริมาณ Na_2O ไม่น้อยกว่า 7 %

2.5.2.3 เฟลด์สปาร์ผสม มีปริมาณ $K_2O < 8$ %, $Na_2O < 7$ %

โดยทั่วไปโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ จะมีความต้องการในอุตสาหกรรมเซรามิกมากกว่า โซเดียมเฟลด์สปาร์ ทั้งนี้เพราะ โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์เมื่อหลอมแล้วได้ความหนืดสูงกว่าและเปลี่ยนแปลงสตรองเล็กน้อย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จึงเป็นผลให้รูปทรงของชิ้นงานอยู่ตัวไม่บิดเบี้ยวในช่วงการเผา โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ลูกถ้วยไฟฟ้า จำเป็นต้องใช้โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์เกรดสูง เพราะต้องการสมบัติความเป็นฉนวนไฟฟ้า (โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ มีความนำไฟฟ้าต่ำ)

2.5.3 การทำเหมือง

การทำเหมืองแร่เฟลด์สปาร์ [12] จากสายแร่เพกมาไทต์ที่จังหวัดตาก ราชบุรี กาญจนบุรี และนครศรีธรรมราช การทำเหมืองมักจะเป็นเหมืองเปิด โดยการระเบิดย่อยให้ได้ขนาดเล็กลงด้วยค้อน แล้วใช้วิธีคัดด้วยมือ เพื่อแยกเฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ ไมกา และสารเหล็กลอกออกไซด์ วิธีการทำเหมืองแบบนี้ ต้นทุนจะต่ำ แต่การสูญเสียแร่ค่อนข้างสูงสำหรับการทำเหมืองแร่โซเดียมเฟลด์สปาร์

วิธีการทำเหมืองดังกล่าวนี้พบว่าใช้ได้ เพราะโซเดียมเฟลด์สปาร์โดยทั่วไปมักเกิดเป็นก้อนใหญ่ที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ ไม่มีแร่อื่นปนมากนักสำหรับการทำเหมืองแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ น่าจะใช้วิธีการลอยแร่ ควบคู่กันไปด้วย เพื่อเก็บแร่ให้หมด โดยแยกเฟลด์สปาร์ออกจากแร่อื่น ทำให้คุณภาพสูงขึ้น และคุ้มทุน เพราะราคาสูง ปัจจุบันมีการลอยแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ที่เหมืองตะโกปิดทองอำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี และที่จังหวัดตาก

Bone Ash เป็น Flux ที่สำคัญสำหรับ Bone China ได้จากการนำกระดูกวัวควายมาทำ Calcining แล้วบด ถ้ากระบวนการ Calcining ถูกต้องจะได้พวกอินทรีย์วัตถุที่แขวนลอยอยู่เพียงเล็กน้อย ซึ่งจะเพิ่มสมบัติของการใช้งาน องค์ประกอบหลักคือ แคลเซียมฟอสเฟต ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) Fluorite - (CaF_2) เป็น Flux ที่ใช้กับ Enamels แก้วและน้ำยาเคลือบผิวแร่ฟลูออไรด์มีมากในประเทศไทย วัสดุอื่นๆ ที่ใช้แทนเฟลด์สปาร์ หิน Nepheline Syenite เป็นหินอัคนีที่ประกอบด้วยแร่ Albite 50 %, Microcline 25 %, Nepheline ($\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) 25 % มีอะลูมินาและโซดามากกว่าเฟลด์สปาร์ พบที่รัฐ Ontario ประเทศแคนาดาโดยหินนี้จะถูกบดและแยกเอาแร่ที่มีเหล็กออกด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก ประเทศเรายังไม่พบหินชนิดนี้

หิน Graphic Granite [13] เป็นหินอัคนีบาดาลที่มีแร่เฟลด์สปาร์ 75 % และควอตซ์ 25 % Intergrowth อาจใช้แทนเฟลด์สปาร์ ได้ถ้ามีปริมาณมาก ประเทศเรายัง พบไม่มาก Cornish Stone เป็นหินที่ใช้เป็น Flux ในประเทศอังกฤษ คือหินเปกมาไทต์ที่ผุเล็กน้อย ประกอบด้วยแร่ Albite, Orthoclase, แร่เกาลิน และ Fluorides เล็กน้อย ได้มีการทำเหมือง และบางกรณีมีการแยก Fluorides ออกมาด้วย

หิน Leucocratic Granite [13] คือ หินแกรนิตสีขาว เนื่องจากมีแร่สีดำน้อย ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ 20 % โซเดียมเฟลด์สปาร์ 50 % โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ 30 % ใช้แทน

เฟลด์สปาร์ ได้ พบที่ ต.นบพิตำ อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช ผลิต Leucocratic Granite ปีละ ประมาณ 150,000 ตันส่งไปขายประเทศไต้หวัน และ มาเลเซีย

2.6 การขึ้นรูปเซรามิก

เซรามิกเป็นผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่งที่เราพบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่น ถ้วยชาม กระเบื้อง สุขภัณฑ์ หรือแม้กระทั่งชิ้นส่วนของอุปกรณ์เครื่องใช้ชนิดต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์เซรามิกเหล่านี้มีรูปร่าง ลักษณะแตกต่างกัน ท่านเคยสงสัยหรือไม่ว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างแตกต่าง [10] กันเช่นนี้ จะมีวิธีการขึ้นรูปที่แตกต่างกันหรือไม่อย่างไร วันนี้เราจะมานำเสนอให้ทราบกัน

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกมีอยู่หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อแตกต่างกัน ทั้งในการเตรียมเนื้อดิน บั่น และอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ รวมถึงรูปลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สามารถขึ้นรูปได้ โดยทั่วไปแล้ว สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ การขึ้นรูปโดยอาศัยความเหนียว (Plastic Forming) การเทแบบ (Casting) และการอัด (Pressing)

2.6.1 การขึ้นรูปโดยอาศัยความเหนียว (Plastic Forming) [11]

เป็นวิธีการขึ้นรูปที่เก่าแก่ที่สุด การเตรียมเนื้อดินบั่นจะกระทำโดยการผสมดินกับวัตถุดิบอื่นๆ และ นวดให้เข้ากันดี หรืออาจผสมในรูปของน้ำดินแล้วนำไปกรองให้เป็นแผ่น จากนั้นจึงนำไปขึ้นรูป ซึ่ง อาจแบ่งได้เป็นอีกหลายวิธีย่อยๆ เช่น

2.6.1.1 การปั้นด้วยมือ (Hand Forming) เป็นวิธีขึ้นรูปที่อิสระที่สุด ผู้ปั้นจะใช้มือและ อุปกรณ์ต่างๆ เข้าช่วยในการปั้นดินให้เป็นรูปร่างตามต้องการ วิธีนี้สามารถปั้นผลิตภัณฑ์ได้ทุกรูปร่าง แต่มีขนาดไม่แน่นอน และต้องอาศัยใช้เวลาและความชำนาญของผู้ปั้นมาก จึงมักใช้กับงานศิลปะ หรืองานหัตถกรรมพื้นบ้าน ที่ไม่ต้องการกำลังผลิตสูงนัก

2.6.1.2 จิกเกอร์ริง (Jiggering) เป็นวิธีที่ใช้ในอุตสาหกรรม โดยนำแผ่นเนื้อดินมาวาง บนแบบปูนพลาสติก แล้วใช้ใบมีดกรีดให้เนื้อดินได้รูปร่างตามต้องการ ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปกลม และแบน เช่น จานชนิดต่าง ๆ เป็นต้น

2.6.1.3 การรีด (Extrude) วิธีนี้จะนำดินมาผ่านเข้าเครื่องรีดให้ออกมาเป็นแท่งยาว ๆ ซึ่งมีรูปหน้าตัดตามที่ออกแบบไว้ มักใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปเป็นแท่งยาวๆ เช่น ท่อ (Tube) เป็นต้น

2.6.2 การเทแบบ (Casting) [11]

วิธีนี้จะเตรียมเนื้อดินบั่นให้อยู่ในรูปน้ำดินชั้น ๆ (Slip) ที่ไหลตัวได้ดี จากนั้นจึงเทลงใน แบบปูนพลาสติก ปูนจะดูดน้ำและทำให้เนื้อดินเกาะติดกับผนังแบบ ได้เป็นผลิตภัณฑ์ตามต้องการ วิธีนี้สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายรูปทรง แต่ต้องใช้น้ำในการขึ้นรูปมาก ทำให้การหดตัวหลัง อบแห้งสูง ซึ่งอาจเกิดการแตกหรือบิดเบี้ยวได้ง่าย ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ ได้แก่ สุขภัณฑ์ ถ้วยชาม ของที่ระลึกประเภทต่าง ๆ เป็นต้น การหล่อแบบ มี 2 แบบ

2.6.2.1 การเทแบบโดยให้น้ำดินแข็งตัวอยู่ในแบบ เรียก Solid Casting ซึ่งเหมาะกับการเทแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาและรูปร่างแปลก ๆ

2.6.2.2 การเทแบบโดยมีการเทน้ำดินที่หล่อทิ้ง เรียก Drain Casting ซึ่งเหมาะกับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผนังบางและต้องการความหนาสม่ำเสมอ

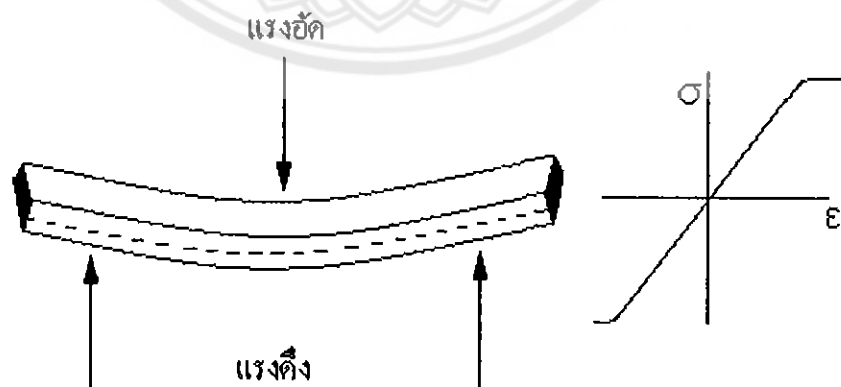
2.6.3 การอัด (Pressing) [11]

การขึ้นรูปโดยวิธีนี้ใช้แพร่หลายในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดพิเศษ แรงอัดจะอัดลงบนแบบ ซึ่งมีผงเนื้อดินปั้นแห้งๆ หรือความชื้นเล็กน้อยอยู่ภายในแบบ แบบที่ใช้เป็นโลหะแข็ง การขึ้นรูปโดยวิธีนี้มีหลายสิ่งหลายอย่างที่จะต้องคำนึงถึง ขนาดและรูปร่างและการกระจายตัวของอนุภาคของเนื้อดินปั้น

2.7 การทดสอบสมบัติ

2.7.1 การทดสอบแรงดัดงอ (Bending Test) [14]

เป็นอีกวิธีหนึ่งสำหรับการทดสอบแบบอัตราเร็วคงที่ ซึ่งนิยมใช้ในการทดสอบพลาสติก [18] และมักใช้เป็นวิธีประมาณค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุ เนื่องจากวิธีนี้จะไม่ค่อยมีปัญหาซึ่งเกิดจากการเยื้องศูนย์ระหว่างชิ้นงาน และเครื่องทดสอบเหมือนการทดสอบแรงดึง นอกจากนี้การกระจายตัวของแนวแรงยังถูกจำกัดอยู่แต่ในบริเวณที่จะเสียหายอีกด้วย อย่างไรก็ตามสภาพของแรงที่เกิดขึ้นทั้งสองประเภทนี้แตกต่างกัน ในการทดสอบแรงดัดงอนั้น ชิ้นทดสอบจะได้รับแรงที่เท่ากันตลอดพื้นที่หน้าตัด (Uniform Tension) แต่ในการทดสอบแรงดัดงอชิ้นทดสอบจะได้รับแรงที่ไม่สม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัด เนื่องจากในสภาวะที่ชิ้นงานถูกดัดงอนั้น ชิ้นงานทดสอบจะได้รับแรงสูงสุดบนผิวผิวหนึ่ง และได้รับแรงอัดบนผิวตรงกันข้าม

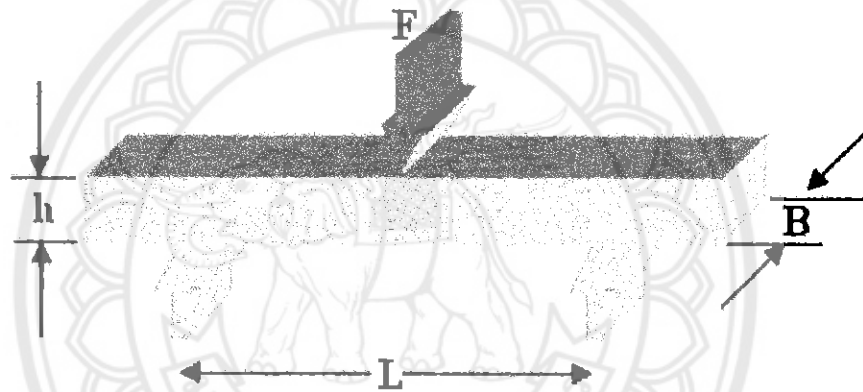


รูปที่ 2.5 หลักการทดสอบแรงดัดงอ [18]

โดยทั่วไปการทดสอบการดัดงอแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การดัดงอแบบ 3 จุด (Three-pointed Bending) และการทดสอบแบบ 4 จุด (Four-pointed Bending)

การทดสอบการดัดงอแบบ 3 จุด

การทดสอบแบบนี้เป็นการให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงานทดสอบและจุดรองรับในทิศทางตรงกันข้ามบริเวณปลายทั้งสองด้านที่มีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางเท่ากัน หัวกดที่ใช้ให้แรงกระทำและส่วนที่รองรับมีลักษณะเป็นไบมีดมน (Round Knife Edges) การที่ชุดกดและชุดรองรับต้องมีลักษณะเป็นผิวโค้งที่จุดสัมผัสดังกล่าวเพื่อเป็นการลดความเข้มข้นของความเค้น (Stress Concentration) ที่อาจเกิดขึ้นบริเวณจุดสัมผัสดังกล่าว และอาจทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักบริเวณจุดสัมผัสนั้น นอกจากนี้ระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองสามารถกำหนดได้จากอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองกับความหนาของชิ้นทดสอบโดยมีค่าได้ระหว่าง 16:1 ถึง 60:1



รูปที่ 2.6 การทดสอบการดัดงอแบบ 3 จุด [18]

ตารางที่ 2.2 สูตรการคำนวณในการทดสอบแรงดัดงอแบบ 3 จุด [18]

พื้นที่หน้าตัด	สี่เหลี่ยม	ทรงกระบอก
ความเค้น	$\sigma = \frac{3FL}{2Bh^2}$	$\sigma = \frac{8FL}{8\pi d^2}$
ความเครียด	$\varepsilon = \frac{6Yh}{L^2}$	$\varepsilon = \frac{6YD}{L^2}$
มอดุลัส	$E = \frac{L^3}{4Bh^2} \left(\frac{F}{Y}\right)$	$E = \frac{4L^3}{3\pi D^2} \left(\frac{F}{Y}\right)$

เมื่อ

F คือ แรงกระทำ มีหน่วยเป็นนิวตัน

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดรองรับที่ปลายทั้งสองด้าน มีหน่วยเป็นเมตร

h คือ ความหนา มีหน่วยเป็นเมตร

B คือ ความกว้าง มีหน่วยเป็นเมตร

Y คือ ระยะการดัดงอของชิ้นงาน มีหน่วยเป็นเมตร

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอกตัน มีหน่วยเป็นเมตร

ดังนั้นอัตราส่วนระหว่าง F และ Y ในวงเล็บจะเท่ากับความชันในช่วงแรกของกราฟที่ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการดัดงอของชิ้นงานในช่วงแรกที่กราฟยังเป็นเส้นตรง ลักษณะชิ้นงานสำหรับการทดสอบการดัดงอทั้งแบบ 3 จุด นั้นจะอยู่ในลักษณะของคาน โดยอาจจะมีการตัดหน้าตัดเป็นรูปวงกลม หรือสี่เหลี่ยมก็ได้ แต่ส่วนใหญ่แล้วจะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม ในการเตรียมชิ้นงานนั้น ชิ้นงานที่ได้จะต้องมีขนาดตรงตามที่กำหนดไว้ พื้นผิวจะต้องมีความขนาน และไม่มีจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเตรียมชิ้นงานทดสอบ โดยชิ้นงานจะไม่มีกการจับยึดแต่จะถูกวางอยู่ตรงกลางบนแท่นรองระหว่างจุดที่จะรับแรงสองจุด จากนั้นก็จะให้แรงแล้วชิ้นงานจะถูกกดด้วยแท่นด้านบนตามจำนวนจุดที่กำหนดไว้ ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะ การทดสอบ



รูปที่ 2.7 ลักษณะรูปร่างของชิ้นทดสอบแรงดัดงอ [18]

2.7.2 การหดตัวของเซรามิก [11]

ผลิตภัณฑ์เซรามิกส่วนมากมีดินในอัตราส่วนผสม เพื่อให้เกิดความเหนียว รวมทั้งใช้น้ำเพื่อช่วยเพิ่มความเหนียว ไม่ว่าจะเป็นน้ำดิน ดินเหนียว หรือแม้กระทั่งดินผง ก็จะต้องมีความชื้นมากน้อยแตกต่างกัน เมื่อน้ำที่ใช้เพื่อช่วยสำหรับการขึ้นรูปนี้ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ทำให้อนุภาคของวัตถุดิบเข้ามาใกล้ชิดกัน เป็นผลให้ขนาดของผลิตภัณฑ์เล็กลง หรือผลิตภัณฑ์หดตัว เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่แห้งสนิทไปเผา ผลิตภัณฑ์จะเสียน้ำและสารประกอบบางชนิด เช่นสารประกอบคาร์บอน ที่อยู่ในสูตรโครงสร้างทางเคมี รวมทั้งเมื่อถึงอุณหภูมิการหลอมของวัตถุดิบชนิดใด ก็จะมีการหลอมตัวเป็นของไหล ส่งผลให้ขนาดของผลิตภัณฑ์เล็กลงอีกครั้ง ซึ่งผลของการหดตัวเมื่อแห้งและหลังเผาอาจจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการชำรุด แตกกร้าว หรือบิดเบี้ยวได้ อีกทั้งขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจเล็กกว่าที่

ต้องการ ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานจึงจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการแห้งตัว และสามารถทดสอบเพื่อหาค่าการหดตัวได้

โดยทั่วไปการหดตัว หมายถึงการมีขนาดเล็กลง ซึ่งในทางกายภาพสามารถวัดได้ทั้งเชิงเส้น อันได้แก่ ความยาว ความกว้าง ความสูง ที่มีขนาดลดลงกว่าเดิม หรือสามารถวัดได้ในเชิงปริมาตร นั่นคือความจุ ซึ่งสาเหตุของการหดตัวนี้อาจเนื่องมาจากการสูญเสียองค์ประกอบ หรือโครงสร้าง ทำให้องค์ประกอบอื่นเข้ามาใกล้ชิดกันเป็นผลให้ขนาดในภาพรวมลดลง หรือเล็กลง หรืออาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน ทำให้เกิดความแน่นขึ้น ส่งผลให้ขนาดที่พิจารณาได้จากภายนอกลดลง ในทางเซรามิกนั้นการหดตัวเกิดขึ้นจากทั้งสองสาเหตุ คือการสูญเสียองค์ประกอบ และการรวมตัวกันของโครงสร้างภายใน

ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยทั่วไปต้องอาศัยความเหนียว ซึ่งความเหนียวนี้อาจจะได้จากดิน หรือน้ำในส่วนผสม หลังการขึ้นรูปชิ้นงานอาจมีความชื้นตั้งแต่ ร้อยละ 0-2 หากขึ้นรูปด้วยการอัด (Isostatic Press) แต่ถ้าขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบ อาจมีความชื้นถึงร้อยละ 40 การขึ้นรูปที่ใช้ น้ำปริมาณมาก จะเสียเวลาในการทำให้แห้งนาน เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ชิ้นใหญ่และหนามักจะแห้งช้า และหดตัวมาก เพราะในทางปฏิบัติดินหรือผลิตภัณฑ์จะมีการหดตัวหลังการอบแห้ง เป็นการหดตัวที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียน้ำในดิน ขณะที่น้ำระเหยไประหว่างการอบแห้ง อนุภาคของดินจะเคลื่อนเข้ามาใกล้ชิดกันทำให้ผลิตภัณฑ์มีขนาดลดลง การหดตัวระยะนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง ส่วนใหญ่จะเป็นปริมาณน้ำที่มีอยู่ ถ้ามีน้ำเป็นปริมาณมากจะทำให้เกิดการหดตัวมาก ถ้าน้ำน้อยการหดตัวก็จะน้อย นอกจากนี้การหดตัวยังขึ้นอยู่กับธรรมชาติหรือสมบัติของเนื้อดินปั้นชนิดนั้น ๆ ขนาดความละเอียดของอนุภาค และวิธีการขึ้นรูปก็เป็นองค์ประกอบที่สำคัญเช่นกัน ซึ่งอัตราการหดตัวของเนื้อดินปั้นเมื่อแห้งมีความสำคัญต่อวิธีการอบแห้งผลิตภัณฑ์ นั่นคือถ้าต้องการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ และเนื้อดินปั้นมีการหดตัวสูง จำเป็นต้องให้ผลิตภัณฑ์แห้งอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอทั่วเนื้อผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันการแตกร้าว โกงงอ

หลังจากเนื้อดินปั้นแห้งสนิทแล้ว เมื่อทำการเผา จะทำให้ดินเกิดการหดตัวอีกครั้งหนึ่ง การหดตัวหลังการเผามีองค์ประกอบสำคัญคือ ชนิดของดิน ขนาดความละเอียดของดินสารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน วิธีการขึ้นรูป และอุณหภูมิการเผา เพราะเมื่อนำไปผ่านการเผาสารอินทรีย์และน้ำในองค์ประกอบของโมเลกุล ตลอดจนสารที่ละลายตัวที่อุณหภูมิสูง เกิดสลายตัวไป และมีการจัดเรียงตัวใหม่ อันมีผลให้ขนาดของชิ้นงานลดลง โดยค่าการหดตัวหลังการเผามีความสำคัญในการกำหนดวิธีการและระยะเวลาของการเผาผลิตภัณฑ์มาก เพราะถ้าเนื้อดินมีการหดตัวสูง จำเป็นที่จะต้องเผาอย่างช้า ๆ และควบคุมอุณหภูมิให้มีความสม่ำเสมอ มิฉะนั้นแล้วผลิตภัณฑ์ จะเกิดการบิดเบี้ยวหรือแตกเสียหายได้

ดังนั้นการหดตัวของวัตถุดิบหรือดิน ที่นำมาทำงานเซรามิก จึงมี 2 ระยะ คือ การหดตัวหลังการ อบแห้ง และการหดตัวหลังการเผา ซึ่งการหดตัวนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าควรมีแห้ง หรือเผา

ผลิตภัณฑ์ในอัตราที่ช้าหรือเร็วเพียงใด โดยปกติแล้วดินที่มีความเหนียวมาก มักจะมีการหดตัวมาก ร้อยละของการหดตัวเชิงเส้นหลังการอบแห้ง (Percent Drying Linear Shrinkage) ของวัตถุดิบที่ใช้ในงานเซรามิกจะมีตั้งแต่ร้อยละ 0 สำหรับการเผาวัตถุดิบที่ไม่มีควมเหนียวเช่น หินเขียวหนุมาจนจนถึงร้อยละ 15 สำหรับดินเหนียวบางชนิด และร้อยละการหดตัวจะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของวัตถุดิบ ปริมาณวัตถุดิบในอัตราส่วนผสม และอุณหภูมิที่ใช้เผา

2.7.3 การทดสอบการแตกร้าวในเซรามิก [11]

วัสดุเซรามิกมีโดยปกติวัสดุประเภทเซรามิกมีสมบัติที่ค่อนข้างเปราะ และค่าความแข็งแรงตึงนั้นก็มีความแตกต่างกันมาก อาจมีค่าตั้งแต่ต่ำกว่า 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (0.69 เมกะปาสคาล) จนถึงค่าสูงประมาณ 10^6 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (7×10^3 เมกะปาสคาล) และที่สำคัญค่าความแข็งแรงกดแตกต่างกับค่าความแข็งแรงตึงอย่างมาก นั่นคือมีค่าความแข็งแรงกดสูงกว่าค่าความแข็งแรงตึงประมาณ 5-10 เท่า และวัสดุเซรามิกโดยส่วนใหญ่มักจะมีค่าความแข็ง และมีค่าความแข็งแกร่งที่ด้านทานการแตกหักที่ต่ำ

ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของวัสดุเซรามิกมีอยู่ด้วย 3 อย่าง

ก. ความบกพร่องในโครงสร้าง (Structural Defects) เช่น รอยแตกร้าว [11] ที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการแตงผิว รูพรุน (Voids หรือ Porosity) สิ่งแปลกปลอม เกรนที่มีขนาดใหญ่ เป็นต้น ความบกพร่องเหล่านี้จะมีผลทำให้ความแข็งแรงของวัสดุเซรามิกลดลง นั่นคือเมื่อวัสดุเซรามิกมีรูพรุน หรือรอยแตกร้าวเกิดขึ้น จะมีความเค้นเกิดขึ้นมากในบริเวณนั้น ทำให้วัสดุถูกทำลายได้ง่าย แต่ถ้าวัสดุเซรามิกนั้นไม่มีรูพรุน หรือรอยแตกร้าว ความแข็งแรงจะขึ้นกับขนาดของเกรนวัสดุที่มีเกรนขนาดเล็กจะมีความแข็งแรงมากกว่าวัสดุที่มีเกรนขนาดใหญ่

ข. องค์ประกอบทางเคมี โครงสร้าง และสภาพพื้นผิว

ค. อุณหภูมิและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งความเค้นที่มีให้กับวัสดุ

2.7.4 ความหนาแน่น [20]

ความหนาแน่นเป็นสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิดที่อาจแปรผันได้ตามปัจจัยต่าง ๆ เช่นของไหลจะมีความหนาแน่นเปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิ และความดันเปลี่ยนแปลงส่วนของแข็งชนิดเดียวกัน จะมีความหนาแน่นต่างกันได้ตามสภาพของโครงสร้าง มลทิน และรูพรุนในเนื้อของวัสดุนั้นๆ ในงานเซรามิกจำเป็นต้องศึกษาเรื่องความหนาแน่นของวัตถุดิบ เนื่องจากความหนาแน่นของวัตถุดิบไม่ว่าจะเป็นวัสดุเซรามิก เช่น ดิน หิน แร่ต่าง ๆ หรือวัตถุดิบเพื่อการขึ้นรูป ได้แก่ น้ำดิน รวมถึงความหนาแน่นของน้ำเคลือบ ที่ใช้ตกแต่งผลิตภัณฑ์ล้วนมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ในการคำนวณต่อไปนี้ขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่ว่า น้ำ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่าเท่ากับน้ำ 1 กรัม การคำนวณปริมาตรรวมของชิ้นงาน (V) ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนี้

$$V = M - S \quad (2.1)$$

น้ำหนักชิ้นทดสอบเปียก (M) กรัม

น้ำหนักชิ้นทดสอบในน้ำ (S) กรัม

การคำนวณปริมาตรของรูพรุนเปิด (V_{op}) และปริมาตรที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ (V_{ip}) ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนี้

$$V_{op} = M - D \quad (2.2)$$

$$V_{ip} = D - S \quad (2.3)$$

น้ำหนักชิ้นงานทดสอบเปียก (M) กรัม

น้ำหนักชิ้นงานทดสอบในน้ำ (S) กรัม

น้ำหนักชิ้นงานทดสอบแห้ง (D) กรัม

ความพรุนตัวปรากฏ (P) เปอร์เซ็นต์ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรรูพรุนเปิดกับปริมาตรรวม คำนวณความพรุนตัวปรากฏ ดังนี้

$$P = [(M - D) / V] \times 100 \quad (2.4)$$

การดูดซึมน้ำ (A) เปอร์เซ็นต์ แสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักน้ำที่ดูดซึมกับน้ำหนักชิ้นทดสอบแห้ง คำนวณการดูดซึมน้ำ ดังนี้

$$A = [(M - D) / D] \times 100 \quad (2.5)$$

คำนวณความถ่วงจำเพาะปรากฏ (T) แสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักชิ้นทดสอบแห้งกับปริมาตรที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ ดังนี้

$$T = D / (D - S) \quad (2.6)$$

ความหนาแน่นรวม (B) กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักชิ้นทดสอบแห้งกับปริมาตรรวม คำนวณความหนาแน่น ดังนี้

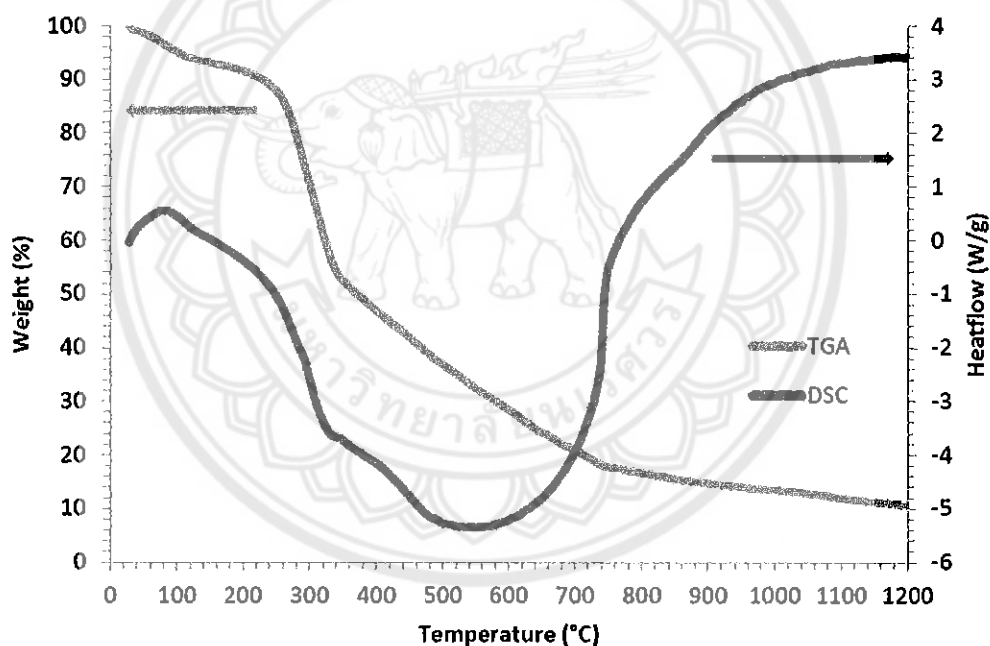
$$B = D / V \quad (2.7)$$

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิชัย นิमितยงสกุล และธรรมบุญ เสงษ์ภูกุล [21] ได้ทำการวิจัยเรื่องการใช้ประโยชน์จากหญ้าแฝกเพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างยู้งฉางเก็บข้าวเปลือก สรุปได้ว่า วัสดุหญ้าแฝกดินเหนียวมีสภาพเป็นฉนวนอย่างดี สามารถลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากภายนอกได้ ซึ่งทำให้สามารถเก็บข้าวเปลือกในยู้งฉางหญ้าแฝกดินเหนียวได้เป็นระยะเวลาอันยาวนานโดยข้าวเปลือกยังมีคุณภาพดี และรูปแบบของยู้งฉางหญ้าแฝกดินเหนียว มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก มีความ

เหมาะสมทั้งทางด้านการก่อสร้างและความมั่นคงแข็งแรงทางด้านโครงสร้างซึ่งเป็นระบบผนังรับน้ำหนัก

พิชัย นิमितยงสกุล และธรรมบุญ เฮงขุฎีกุล [22] ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาก้อนหญ้าแฝกดินเหนียวสำเร็จรูป เพื่อการก่อสร้างบ้านต้นทุนต่ำ สรุปได้ว่า ก้อนหญ้าแฝกดินเหนียวสำเร็จรูป เป็นการพัฒนาทางเลือกใหม่ในวงการวัสดุก่อสร้างในประเทศไทยกระบวนการผลิตก้อนหญ้าแฝกดินเหนียวสำเร็จรูป สามารถทำได้ง่ายเพียงใช้เครื่องมืออย่างง่าย แรงงานในท้องถิ่น และวัสดุที่หาได้ในท้องถิ่นด้วยสมบัติความเป็นฉนวนที่ดี ทำให้บ้านที่ก่อสร้างบ้านด้วยก้อนหญ้าแฝกดินเหนียวสำเร็จรูป เย็นสบาย และประหยัดพลังงานขนาดของก้อนหญ้าแฝกดินเหนียวสำเร็จรูปที่เหมาะสม มีขนาด 20x100x7.5 ซม. โดยมีครีบบน-ล่าง และเดือยด้านหัว และท้าย จากการเปรียบเทียบและประเมินประสิทธิภาพ พบว่า ก้อนหญ้าแฝกสำเร็จรูปมีเหมาะสมแก่การนำมาสร้างบ้านต้นทุนต่ำ แต่มีข้อด้วยเรื่องการชะล้างของน้ำฝน



รูปที่ 2.8 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของใบหญ้าแฝก [19]

ชนาพร หอมสุวรรณ ปริยานุช อินทา และอุมาภรณ์ เมืองแดง [19] วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของหญ้าแฝกพบว่า ที่อุณหภูมิในช่วง 100 ถึง 200 องศาเซลเซียส หญ้าแฝกมีน้ำหนักที่ลดลงเนื่องจากน้ำได้ระเหยออกจากโครงสร้างภายในของหญ้าแฝก เมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิที่ 300 ถึง 600 องศาเซลเซียส น้ำหนักของหญ้าแฝกเกิดการลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสารชีวมวลซึ่งเป็นสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ในโครงสร้างของหญ้าแฝก ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน จะเกิดการสลายตัวกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซ

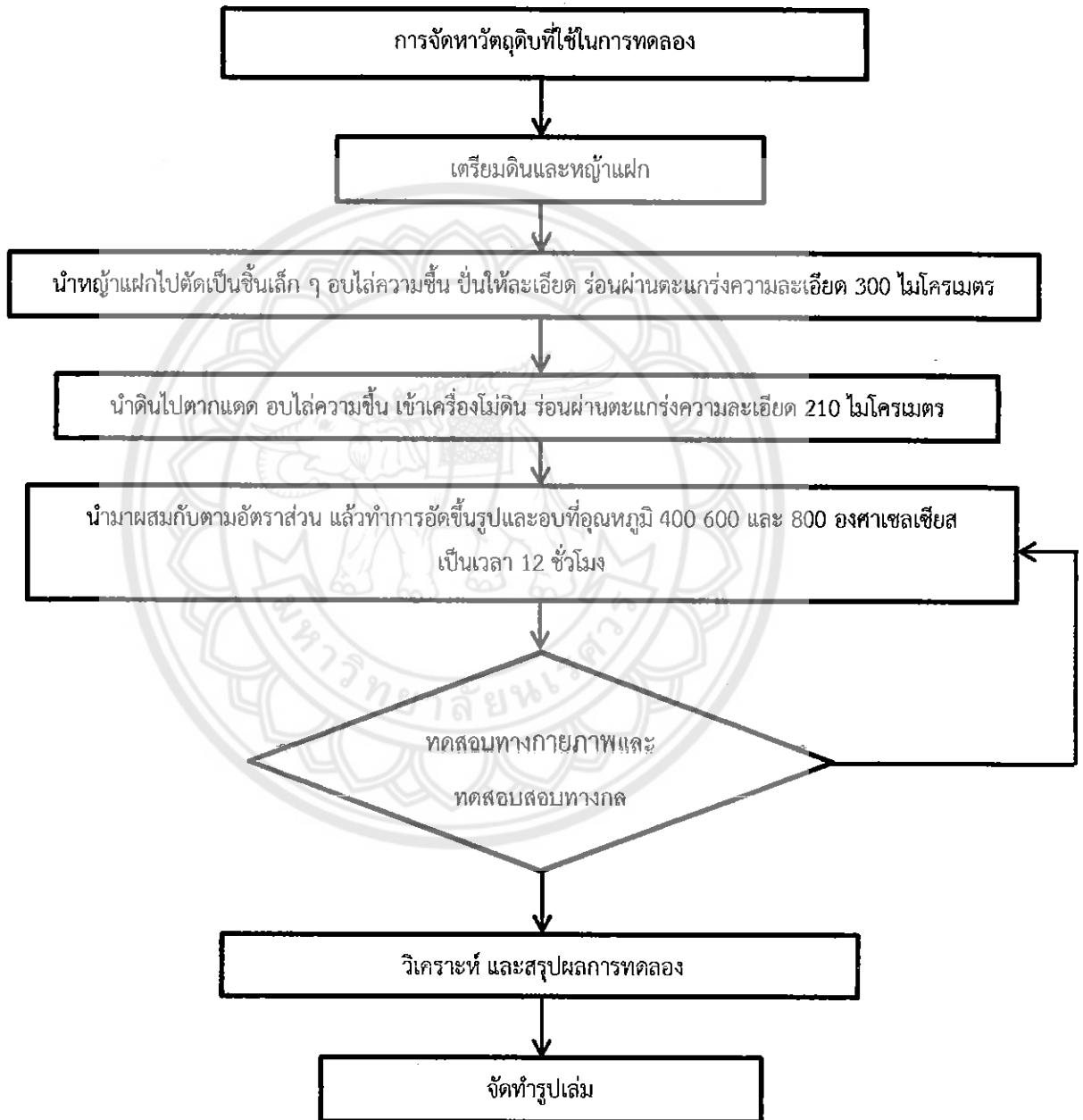
อื่น ๆ ขึ้นกับสัดส่วนของปริมาณสารชีวะมวลเหล่านั้น ซึ่งการสลายตัวจะสิ้นสุดลงเมื่อมีอุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส และในช่วงอุณหภูมิ 600 ถึง 1200 องศาเซลเซียสจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงทางของปฏิกิริยาเคมีในหญ้าแฝกโดยเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของผลึกภายในโครงสร้าง ซึ่งคาดว่าปฏิกิริยาคายความร้อนนี้อาจก่อให้เกิดเป็นสารประกอบชนิดอีกชนิดหนึ่ง



บทที่ 3

วิธีดำเนินงาน

วิธีดำเนินโครงการนี้จะกล่าวถึงลำดับขั้นตอนการดำเนินงาน วัสดุและอุปกรณ์ รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง โดยขั้นตอนการดำเนินงานในการศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างด้าและหญ้าแฝก แสดงดังรูป 3.1 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนในการดำเนินงาน

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1	กรรไกร	6 เล่ม
3.1.2	เครื่องปั่น	1 เครื่อง
3.1.3	เตาให้ความร้อน	1 ตัว
3.1.4	ตาเผาชนิดกล่อง	1 ตัว
3.1.5	บล็อกแบบอัดขึ้นรูป	1 บล็อก
3.1.6	ตะแกรงร่อนขนาด 212 ไมโครเมตร	1 อัน
3.1.7	ตะแกรงร่อนขนาด 300 ไมโครเมตร	1 อัน
3.1.8	ถังน้ำ	2 ใบ
3.1.9	เครื่อง Universal Testing Machine	1 เครื่อง
3.1.10	ดิน	20 กิโลกรัม
3.1.11	หญ้าแฝก	20 กิโลกรัม
3.1.12	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบมือถือ	1 เครื่อง
3.1.13	ถาด	4 ถาด
3.1.14	เครื่อง Hot Plate	1 เครื่อง
3.1.15	ปิ๊กเกอร์	3 อัน

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การจัดหาวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

โครงการวิจัยนี้ใช้หญ้าแฝกที่ปลูกในพื้นที่ตำบลชุมแสงสงคราม อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก โดยได้รับความสนับสนุนจากคุณเฉลลา บดีรัฐ และเครือข่ายหญ้าแฝกภาคเหนือตอนล่าง

3.2.3 ขั้นตอนการทำผงหญ้าแฝก

3.2.3.1 นำใบหญ้าแฝกที่ได้จากการตัดมาทำความสะอาดโดยล้างด้วยน้ำสะอาดตากให้แห้ง

3.2.3.2 นำใบหญ้าที่แห้งแล้วมาตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆขนาด 0.5 เซนติเมตร

3.2.3.3 ทำให้แห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมงและปล่อยให้เย็นตัวภายในเตาอบ

3.2.3.4 นำหญ้าแฝกที่เป็นชิ้นเล็ก ๆ หลังจากการอบมาย่อยให้ละเอียด โดยการนำมาปั่นด้วยเครื่องปั่น หลังจากนั้นกรองเอาผงหญ้าแฝกด้วยความละเอียด ด้วยความละเอียด 300 ไมโครเมตรด้วยตะแกรงร่อน

3.2.3.1 นำดินเหนียวมาบั่นให้เป็นแผ่นบางๆขนาดความหนา1-2 เซนติเมตร และนำไปตากแดดเป็นเวลา 6-8 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในเตา

3.2.3.2 นำดินที่ได้จากการอบให้ละเอียดโดยการตำแล้วไม่ดินด้วยเครื่องบดดินเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3.2.3.3หลังจากได้ดินจากหม้อบดแล้วนำมาบดด้วยตะแกรงร่อนขนาด 212 ไมโครเมตร

3.2.4 ขั้นตอนการอัดขึ้นรูป

3.2.4.1 นำส่วนผสมตามตารางที่3.1 มาผสมขึ้นแล้วนำไปขึ้นรูป โดยแต่ละอัตราส่วนจะผสมน้ำ ร้อยละ 19 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 3.1อัตราส่วนผสมก่อนอัดขึ้นรูป

รูปแบบ	ดิน ร้อยละโดยน้ำหนัก	หญ้าแฝก ร้อยละโดยน้ำหนัก
1	100	0
2	95	5
3	90	10
4	85	15
5	80	20
6	75	25
7	70	30

3.2.4.2 เมื่อผสมตามอัตราส่วนเสร็จแล้ว แบ่งออกเป็นอัตราส่วนละ 6 ก้อน นำไปอัดขึ้นรูป โดยใช้ในแรงการอัดขึ้นรูปประมาณ3 เมกะปาสกาลเสร็จแล้วทิ้งให้แห้งในอากาศ

3.2.4.3 นำชิ้นงานไปชั่งน้ำหนัก วัดขนาดความกว้าง ความยาว และความหนา บันทึกค่าเป็นก่อนเผา

3.2.5ขั้นตอนการอบ

3.2.5.1 นำชิ้นงานที่ได้ ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3.2.5.2 ปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวภายในเตาอบ

3.2.5.3 นำชิ้นงานไปชั่งน้ำหนัก วัดขนาดความกว้าง ความยาว และความหนา บันทึกค่าเป็นหลังเผา

3.2.6 ขั้นตอนการทดสอบทางกล

3.2.6.1 นำชิ้นงานไปทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้ง ด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing

3.2.6.2 บันทึกค่าจากเครื่อง Universal Testing เพื่อนำไปคำนวณ

3.2.6.3 นำชิ้นงานที่เหลือจากการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้งชิ้นแรก ไปทำการลบขอบ ลบมุมเพื่อนำไปทดสอบความต้านทานแรงกดอัด

3.2.6.4 นำชิ้นงานไปทดสอบความต้านทานแรงกดอัด ด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing

3.2.6.5 บันทึกค่าจากเครื่อง Universal Testing เพื่อนำไปคำนวณ

3.2.7 ขั้นตอนการทดสอบทางกายภาพ

3.2.7.1 นำชิ้นงานอีกส่วนไปชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกเป็นน้ำหนักก่อนต้ม

3.2.7.2 ต้มชิ้นงานที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของน้ำ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

3.2.7.3 แช่ทิ้งไว้ในน้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3.2.7.4 หยิบชิ้นงานขึ้นมาชั่งบนเครื่องชั่ง บันทึกค่าเป็น น้ำหนักหลังต้มชั่งบนอากาศ

3.2.7.5 นำชิ้นงานไปแช่ในน้ำโดยให้อยู่ระหว่างกลางของน้ำ โดยในเครื่องชั่งน้ำหนักแบบมือถือ บันทึกค่าเป็นน้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ

3.2.8 ขั้นตอนในการคำนวณค่า

ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส สัดส่วนผสมพญาแฝก 0 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักชิ้นงานแห้งก่อนทดสอบ 26.17 กรัม น้ำหนักชิ้นงานทดสอบเปียกหลังทดสอบ 29.67 กรัม น้ำหนักชิ้นงานทดสอบในน้ำ 14.67 กรัม สมมติฐานที่ว่าน้ำ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่าเท่ากับน้ำ 1 กรัม

3.2.8.1 ปริมาตรรวม (V) จากสมการ 2.1

$$V = M - S$$

$$V = 29.67 - 14.67$$

$$V = 15 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

3.2.8.2 ปริมาตรรูพรุนเปิด (V_{op}) จากสมการ 2.2

$$V_{op} = M - D$$

$$V_{op} = 29.67 - 26.17$$

$$V_{op} = 3.5 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

3.2.8.3 ความพรุนตัวปรากฏ (P) เปอร์เซ็นต์ จากสมการ 2.4

$$P = [(M - D) / V] \times 100$$

$$P = [(29.67 - 26.17) / 15] \times 100$$

$$P = 23.33 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

3.2.8.4 ความหนาแน่นรวม (B)จากสมการ 2.7

$$B = D / V$$

$$B = 26.17 / 15$$

$$B = 1.74 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

3.2.9การวิเคราะห์และสรุปผล

นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ แต่ละสัปดาห์ของทุกอุณหภูมิ

3.2.10 จัดทำรูปเล่ม

รวบรวมข้อมูลทฤษฎีต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง วิธีดำเนินการทดลอง ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง มาจัดทำเป็นรูปเล่ม



บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

การทดสอบสมบัติทางกายภาพคือ การทดสอบคุณลักษณะภายในของชิ้นงาน การเปลี่ยนแปลงขนาดของความยาว ความกว้าง และความหนา การหดตัว ความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผา เป็นต้น โดยผลการตรวจสอบแสดงดังต่อไปนี้

4.1.1 ความหนาแน่นและการหดตัว

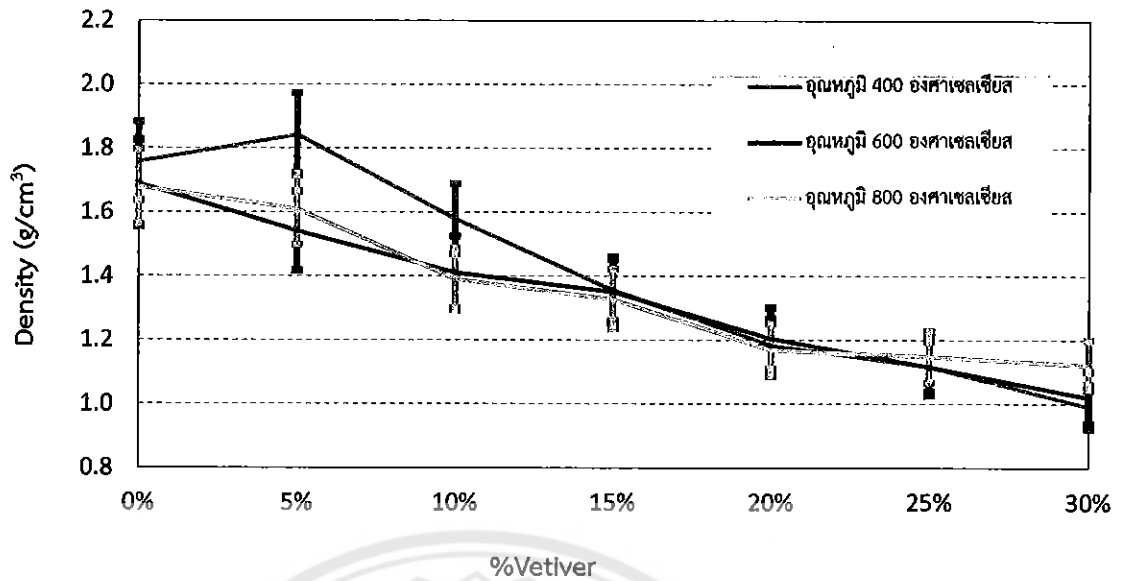
ในการทดสอบความหนาแน่นรวม (Bulk density) และการหดตัวของชิ้นงานหลังจากเผาที่อุณหภูมิ 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของชิ้นงานในขณะแห้งหารด้วยปริมาตรของชิ้นงาน โดยที่ปริมาตรของชิ้นงานสามารถหาได้จากการวัดขนาดชิ้นงาน เช่นเดียวกันการหาการหดตัวของชิ้นงานสามารถทำได้โดยการวัดขนาดก่อนและหลังเผา ผลการตรวจสอบความหนาแน่นรวมและการหดตัว แสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความหนาแน่นและการหดตัวของชิ้นงานหลังเผา

อุณหภูมิเผา (°C)	สัดส่วนแห้ง (%)	ขนาดเฉลี่ยหลังเผา (cm)			น้ำหนัก (g)		ปริมาตรหลังเผา (cm ³)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ร้อยละการหดตัว
		กว้าง	ยาว	หนา	ก่อน	หลัง			
400	0	2.43	10.85	1.16	64.25	52.70	30.58	1.76	0.89
	5	2.42	11.08	1.14	64.33	54.90	30.57	1.84	1.09
	10	2.45	11.11	1.28	65.58	53.42	34.84	1.58	1.16
	15	2.46	11.47	1.40	62.67	51.80	39.50	1.36	1.35
	20	2.28	11.59	1.68	62.08	49.50	44.39	1.18	1.70
	25	2.43	11.73	1.53	64.00	47.83	43.61	1.12	1.95
	30	2.48	11.84	1.59	62.83	44.17	46.69	0.99	2.05

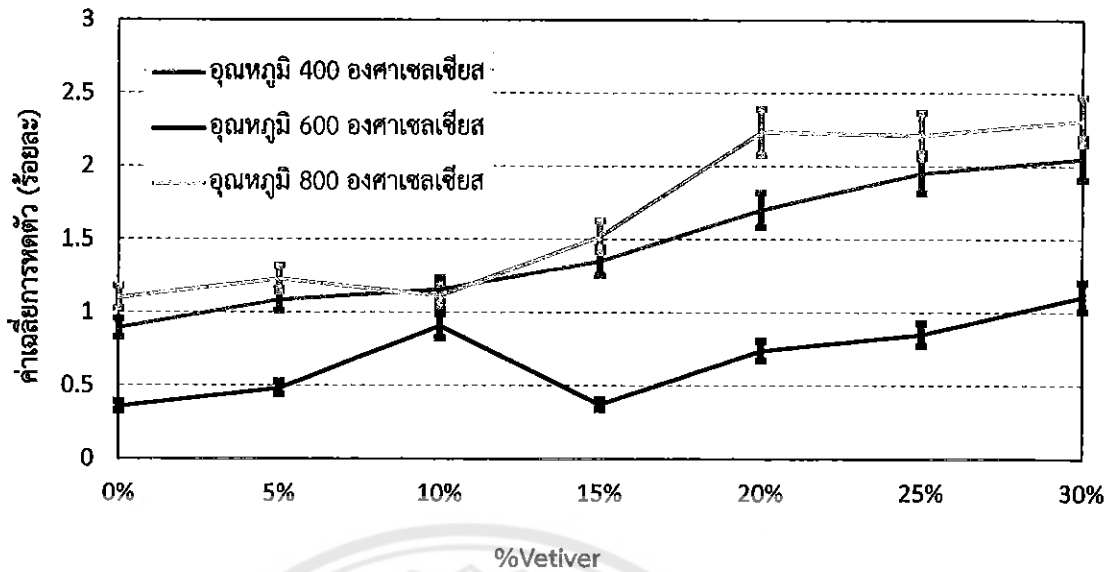
ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ความหนาแน่นและการหดตัวของชิ้นงานหลังเผา

อุณหภูมิ เผา (°C)	สัดส่วน หลุม แผลก (%)	ขนาดเฉลี่ยหลังเผา (cm)			น้ำหนัก (g)		ปริมาตร หลังเผา (cm ³)	ความ หนาแน่น (g/cm ³)	ร้อยละ การหด ตัว
		กว้าง	ยาว	หนา	ก่อน	หลัง			
600	0	2.44	10.27	1.19	56.58	50.42	29.82	1.69	0.36
	5	2.46	10.38	1.33	62.00	52.08	33.96	1.54	0.48
	10	2.45	10.31	1.43	63.08	50.75	36.12	1.41	0.91
	15	2.46	10.35	1.43	61.92	49.08	36.41	1.35	0.37
	20	2.47	10.39	1.51	63.08	46.58	38.75	1.20	0.74
	25	2.47	10.39	1.58	63.25	45.08	40.55	1.12	0.85
	30	2.52	10.40	1.60	64.33	42.83	41.93	1.02	1.11
600	0	2.41	10.80	1.19	66.17	49.08	30.97	1.68	1.10
	5	2.40	11.50	1.35	63.00	52.00	37.26	1.61	1.23
	10	2.39	10.51	1.43	63.58	49.42	35.92	1.39	1.11
	15	2.43	10.76	1.40	62.58	48.58	36.61	1.33	1.52
	20	2.42	10.60	1.51	64.58	45.42	38.73	1.17	2.23
	25	2.44	10.73	1.53	63.25	44.25	40.06	1.15	2.21
	30	2.46	10.24	1.57	63.67	44.33	39.55	1.12	2.31



รูปที่ 4.1 ความหนาแน่นรวมของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส

จากผลการตรวจสอบความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผาตามสัดส่วนต่าง ๆ พบว่าความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผา มีค่าความหนาแน่นลดลง เมื่อสัดส่วนผสมของหญ้าแฝกเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 4.1 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าอุณหภูมิ 600 และ 800 องศาเซลเซียส เนื่องจากภายในของชิ้นงานมีส่วนผสมของหญ้าแฝกที่ ยังเผาไหม้ไม่หมด [19] ทำให้ดินกับหญ้ายังเกิดการยึดเกาะกันอย่างหนาแน่น ที่อุณหภูมิ 600 และ 800 องศาเซลเซียสมีค่าความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกัน แต่แนวโน้มของความหนาแน่นมีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนผสมของหญ้าแฝกเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นลดลงเนื่องจาก หญ้าแฝกภายในชิ้นงานเกิดการเผาไหม้หมดแล้ว เมื่อเกิดการเผาไหม้ [19] ทำให้เกิดควันหรือไอภายในชิ้นงานซึ่งจะทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อชิ้นงานได้ ยิ่งชิ้นงานที่มีส่วนผสมหญ้าแฝกในปริมาณสูง ก็ยิ่งทำให้เกิดช่องว่างภายในมากขึ้น ชิ้นงานก็就会有ความหนาแน่นที่ลดลงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกลของชิ้นงานด้วย



รูปที่ 4.2 ร้อยละการหัตถ์รวมของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส

จากผลการตรวจสอบของการหัตถ์ของชิ้นงานหลังเผาตามสัดส่วนต่าง ๆ พบว่าการหัตถ์ของชิ้นงานมีค่าการหัตถ์ที่เพิ่มขึ้น เมื่อสัดส่วนผสมหญ้าแฝกเพิ่มขึ้น เนื่องจากภายในชิ้นงานมีความชื้นต่าง ๆ เช่น ความชื้นจากดิน ความชื้นจากหญ้าแฝก และน้ำที่ผสมลงไปในการผสม เมื่อทำการเผา ความชื้นและน้ำในกระบวนการขึ้นรูปนั้นระเหยออกจากชิ้นงาน ทำให้อุณหภูมิและหญ้าแฝกเข้ามาใกล้ชิดกัน ทำให้ขนาดชิ้นงานลดลง จากรูปที่ 4.2 อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีการหัตถ์ของชิ้นงานที่สูง เนื่องจากความร้อนที่สูงขึ้นทำให้ความชื้นระเหยออกจากชิ้นงานมาก ทำให้การหัตถ์เพิ่มขึ้น

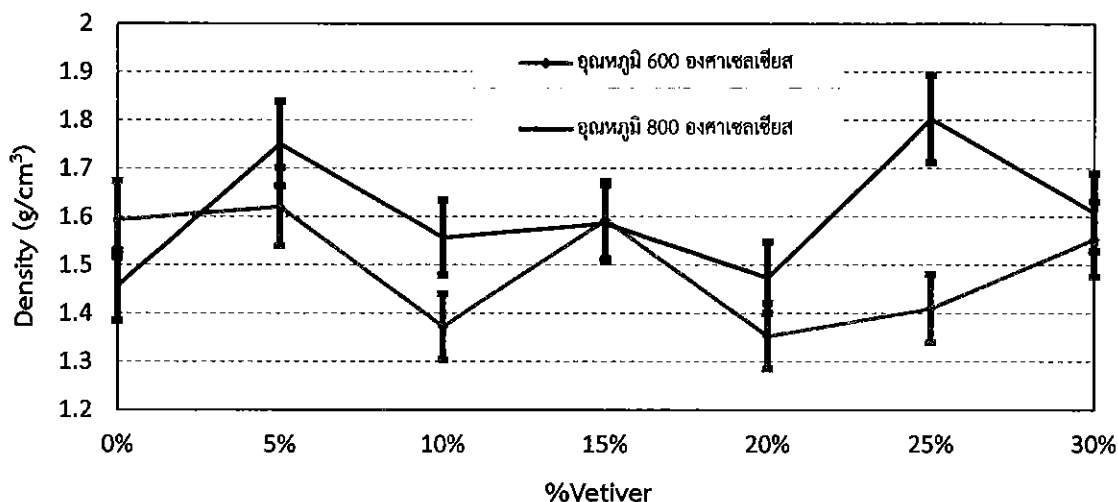
4.1.2 ความพรุน

รูพรุนคือ ช่องภายในชิ้นงานที่เกิดจากฟองอากาศจากการเผาไหม้ของหญ้าแฝกในกระบวนการเผาผลึก ซึ่งรูพรุนของชิ้นงานจะหาได้จาก การเข้าไปแทนที่ของน้ำในช่องว่างภายในชิ้นงาน โดยใช้สมมติฐานที่ว่าเป็นรูพรุนเปิด ทำโดยการนำน้ำหนักชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความหนาแน่นโดยวิธีแทนที่ด้วยน้ำลบกกับน้ำหนักชิ้นงานก่อนการทดสอบ เมื่อลบกันแล้วจะได้ค่าปริมาตรพรุนของชิ้นงาน รูพรุนมีความสำคัญกับความหนาแน่นของชิ้นงานมาก ซึ่งรูพรุนจะเป็นตัวบ่งบอกว่าชิ้นงานมีความหนาแน่นมากหรือน้อย ถ้ารูพรุนของชิ้นงานมีค่าที่มาก ๆ จะทำให้ชิ้นงานมีความความหนาแน่นที่น้อยลง แสดงดังตารางต่อไปนี้ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความหนาแน่นโดยวิธีชั่งในน้ำ

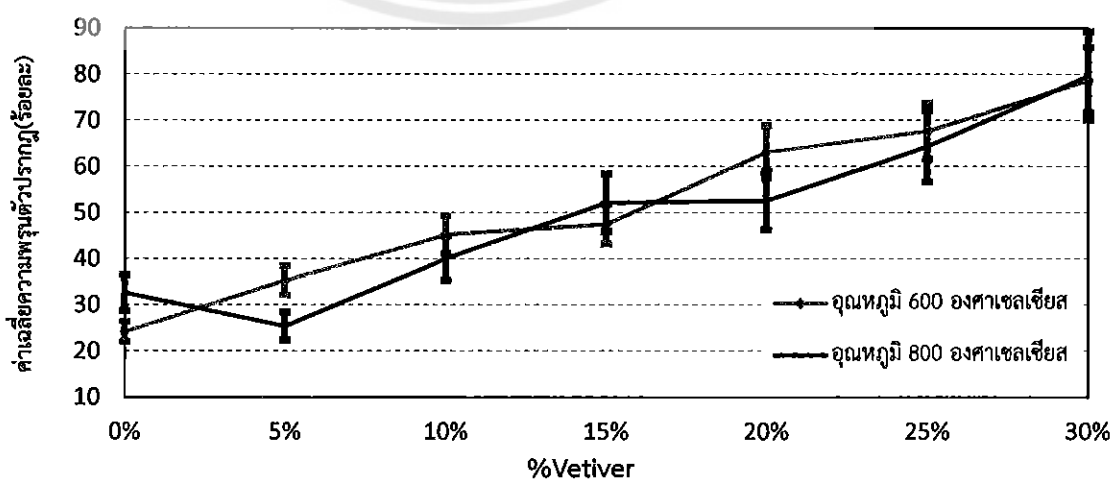
อุณหภูมิ เผา (°C)	สัดส่วน ผสมหญ้า แฝก (%)	น้ำหนัก ก่อนต้ม ชั่งใน อากาศ (g)	น้ำหนัก หลังต้ม ชั่งใน อากาศ (g)	น้ำหนัก หลังต้ม ชั่งในน้ำ (g)	ปริมาตร ชิ้นงาน (cm ³)	Density (g/cm ³)	ร้อยละ ของรูพรุน
400	0	25.33	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	5	27.33	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	10	29.66	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	15	26.00	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	20	22.66	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	25	18.17	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	30	21.83	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
600	0	22.4	28.2	12.7	15.5	1.45	24.19
	5	26.0	31.1	14.5	16.6	1.57	35.30
	10	25.2	33.4	15.0	18.4	1.37	45.24
	15	24.8	32.2	16.5	15.7	1.58	47.50
	20	23.5	34.5	17.2	17.3	1.36	63.17
	25	21.8	32.4	16.8	15.6	1.40	67.68
	30	20.3	30.8	17.5	13.3	1.53	78.75
800	0	21.0	25.4	10.8	14.6	1.44	32.58
	5	24.2	27.7	13.8	13.9	1.74	25.36
	10	25.8	32.8	16.0	16.8	1.54	40.07
	15	21.0	27.8	14.3	13.5	1.56	52.12
	20	25.0	33.9	16.5	17.4	1.44	52.61
	25	21.3	29.6	16.8	12.8	1.66	64.35
	30	21.0	31.0	19.0	12.0	1.75	79.65

***หมายเหตุ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ไม่สามารถคำนวณชิ้นงานหลังการทดสอบได้ มีลักษณะเหลว ไม่เป็นก้อนชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.5 ทำให้ไม่สามารถวัดค่าน้ำหนักชั่งในอากาศและค่าน้ำหนักชั่งในน้ำ จึงแทนด้วยสัญลักษณ์ n/a



รูปที่ 4.3 ความหนาแน่นโดยวิธีการแทนที่ด้วยน้ำรวมของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส

จากผลการทดสอบความหนาแน่นชิ้นงานที่อุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส โดยวิธีการแทนที่น้ำ พบว่าชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ชิ้นงานในแต่สัดส่วนของหญ้าแฝก ไม่สามารถชั่งรูปได้ จึงไม่สามารถคำนวณหาค่าความหนาแน่นได้ เนื่องจากหญ้าแฝกที่ผสมอยู่ในชิ้นงาน เผาไหม้ไม่สมบูรณ์เป็นผลให้การยึดเกาะระหว่างหญ้าแฝกและเนื้อดินไม่ประสานกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และ 800 องศาเซลเซียส พบว่าความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมของหญ้าแฝก เนื่องจากภายในชิ้นงานมีหญ้าแฝก เมื่อทำการเผาชิ้นงานเกิดการเผาไหม้ของหญ้าแฝก ก่อให้เกิดก๊าซหลังจากการเผาไหม้ภายใน เมื่ออุณหภูมิสูง ๆ ขึ้น ทำให้ก๊าซไม่สามารถออกจากชิ้นงานได้ เกิดเป็นฟองอากาศขึ้นภายในชิ้นงาน เมื่อมีฟองอากาศมาก ๆ ทำให้เกิดรูพรุนขึ้นกับชิ้นงาน จากเห็นว่าชิ้นงานที่อุณหภูมิทั้งสองนี้มีลักษณะคงรูปอยู่ได้ ดังรูปที่ 4.6 และ รูปที่ 4.7

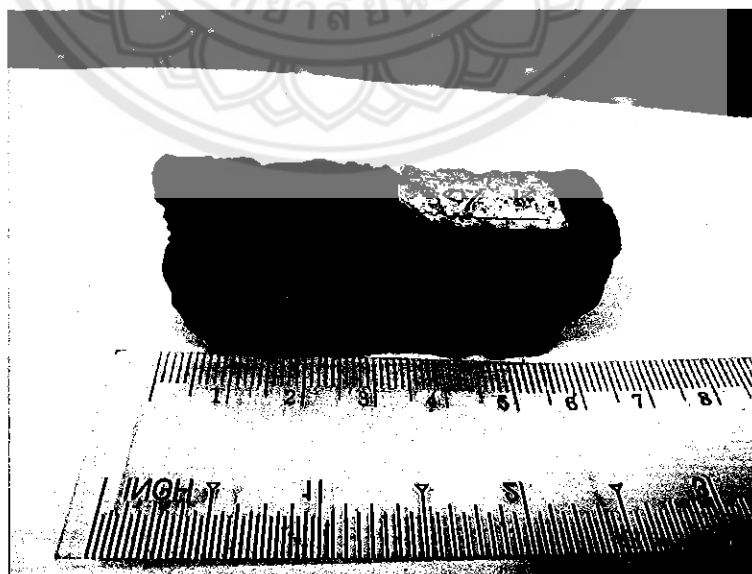


รูปที่ 4.4 ความพรุนปรากฏของชิ้นงาน อุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส

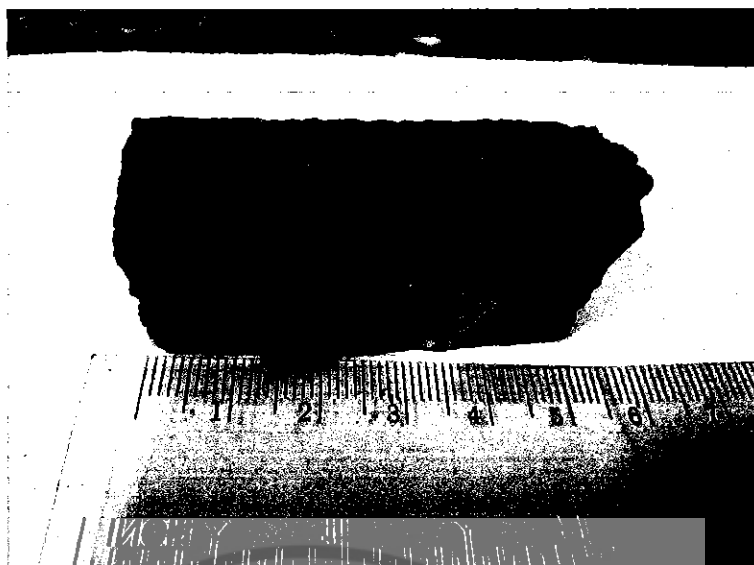
จากผลการตรวจสอบของความพรุนตัวปรากฏของชิ้นงาน พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมของหญ้าแฝก ทำให้ความพรุนตัวเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากชิ้นงานมีความหนาแน่นที่ลดน้อยลงเมื่อเราเพิ่มสัดส่วนหญ้าแฝก ดังรูป 4.1 จะทำให้สอดคล้องกันคือ เมื่อความหนาแน่นลดลง ทำให้รูพรุนของชิ้นงานหรือช่องว่างชิ้นงานเพิ่มขึ้น จากรูป 4.4 พบว่า อุนทภูมิ 600 และ 800 จะมีค่าความพรุนตัวปรากฏใกล้เคียงกัน เนื่องจากอุนทภูมิ 600 ถึง 800 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่หญ้าแฝกเกิดการผสมไหม้หมดแล้ว [19] ทำให้เกิดช่องว่างมากภายในชิ้นงาน เมื่อผ่านการทดสอบความหนาแน่นโดยวิธีแทนที่ในน้ำ ทำให้เราเห็นค่าความพรุนตัวปรากฏออกมา



รูปที่ 4.5 ชิ้นงานหลังการทดสอบความหนาแน่นน้ำ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.6 ชิ้นงานหลังการทดสอบความหนาแน่นน้ำ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.7 ชิ้นงานหลังการทดสอบความหนาแน่นน้ำ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

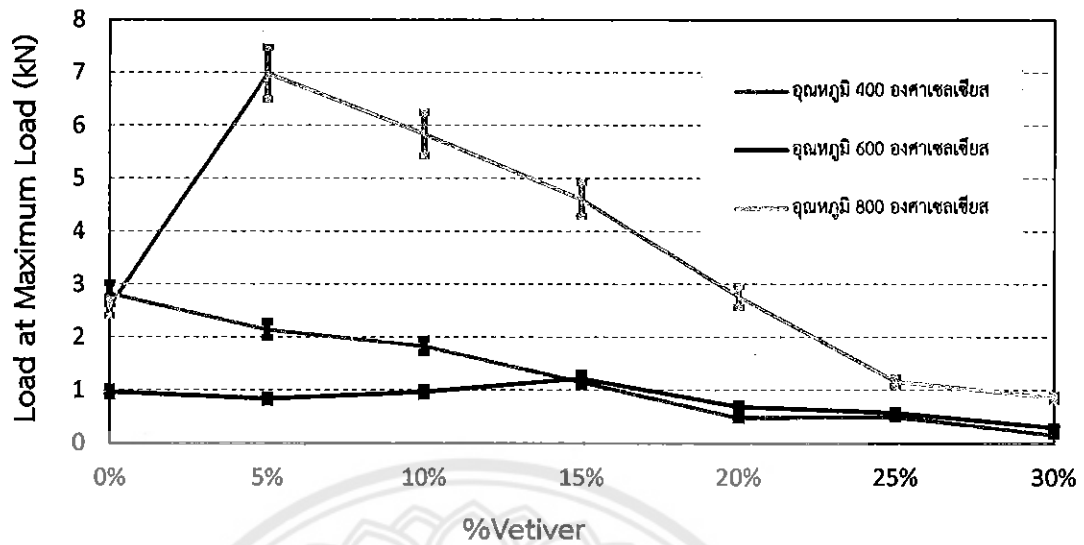
4.2 การทดสอบสมบัติทางกล

4.2.1 การทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้ง

ในการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้งนั้นจะทำการทดสอบด้วยวิธีการแบบ three point bending กับชิ้นงานในทุกสัดส่วนผสมหญ้าแฝก ที่ผ่านการเผาเรียบร้อยแล้วที่อุณหภูมิ 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็วในการกด 0.1 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้โหลดขนาด 5 กิโลนิวตัน ในสภาวะปกติอุณหภูมิห้อง ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้ง แสดงดังตารางที่ 4.3 และ รูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดัดโค้ง

% vetiver	Maximum Bending Stress at Maximum Load (MPa)		
	ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดัดโค้งของทุกอุณหภูมิ		
	400 องศาเซลเซียส	600 องศาเซลเซียส	800 องศาเซลเซียส
0%	2.82	0.97	2.58
5%	2.14	0.84	6.98
10%	1.83	0.97	5.84
15%	1.15	1.22	4.60
20%	0.48	0.69	2.76
25%	0.49	0.57	1.16
30%	0.16	0.30	0.86



รูปที่ 4.8 กราฟด้านทานแรงดัดโค้งเฉลี่ย

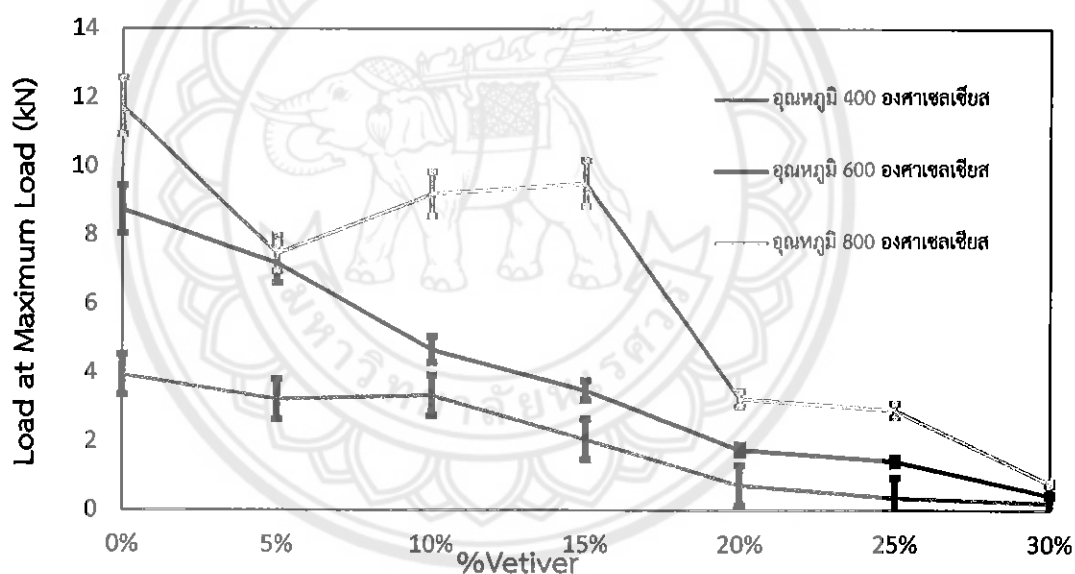
เมื่อเพิ่มสัดส่วนของหญ้าแฝก จากรูปที่ 4.8 ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 400 และ 800 องศาเซลเซียส มีค่าความต้านทานแรงดัดโค้งเฉลี่ยใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะมีค่าความต้านทานแรงดัดโค้งสูงกว่า เนื่องจากอุณหภูมิที่ 800 องศาเซลเซียส หญ้าแฝกมีการเผาไหม้ภายใน ชิ้นงานหมดแล้ว [19] ทำให้ได้สารเฟลด์สปาร์ที่ไปช่วยในการยึดเกาะเนื้อดินทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น มีค่าความต้านทานแรงดัดโค้งของทุกสัดส่วนผสมเท่ากับ 2.58, 6.98, 5.84, 4.60, 2.76, 1.16 และ 0.86 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีค่าด้านทานแรงดัดโค้งที่ต่ำที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีการเผาไหม้ของหญ้าแฝกไปบางส่วนแล้ว เมื่อเผาให้ไปบางส่วนทำให้ชิ้นงานเกิดรูพรุนขึ้น ความหนาแน่นลดลง ทำให้ค่าด้านทานแรงดัดโค้งลดน้อยลงไปด้วย มีค่าความต้านทานแรงดัดโค้งของทุกสัดส่วนผสมเท่ากับ 0.97, 0.84, 0.97, 1.22, 0.69, 0.57 และ 0.30 เมกะปาสกาล ตามลำดับ

4.3 ผลการตรวจสอบความต้านทานแรงกดอัด

ในการตรวจสอบความต้านทานแรงกดอัด ก่อนการทดสอบจำเป็นต้องทำให้ผิวหน้าของ ชิ้นงานให้มีความเรียบและสม่ำเสมอ จากนั้นทำการทดสอบด้วยการใช้โหลดที่ 5 กิโลนิวตัน ที่ อัตราเร็วการกด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ในสภาวะปกติที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงกดอัดเฉลี่ย

% vetiver	Stress at Maximum Load (MPa)		
	ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงกดอัดของทุกอุณหภูมิ		
	400 องศาเซลเซียส	600 องศาเซลเซียส	800 องศาเซลเซียส
0%	3.93	8.73	11.73
5%	3.22	7.17	7.46
10%	3.33	4.66	9.19
15%	2.06	3.48	9.50
20%	0.72	1.75	3.24
25%	0.35	1.42	2.90
30%	0.20	0.42	0.77



รูปที่ 4.9 กราฟความต้านทานแรงกดอัดเฉลี่ย

จากผลการตรวจสอบของความต้านทานแรงกดอัดของชิ้นงาน พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดมีค่าที่ลดลง เมื่อสัดส่วนผสมของหญ้าแฝกเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสมีสูงสุด เนื่องจากชิ้นงานที่เผาอุณหภูมินี้ ทำให้หญ้าแฝกเกิดการเผาไหม้ [19] แล้วได้สารชนิดหนึ่งที่ใช้ช่วยในเรื่องการยึดเกาะกันภายในดินในดีขึ้น สามารถทนต่อแรงกดอัดได้ดี มีค่าความต้านทานแรงกดอัดของทุกสัดส่วนเท่ากับ 11.73, 7.36, 9.19, 9.50, 3.24, 2.90 และ 0.77 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส รองลงมาเนื่องจากการเผาไหม้ของหญ้าแฝกภายในชิ้นงานยังไหม้ไม่หมด ทำให้ยังคงเหลือหญ้าแฝกบางส่วนที่ยังไม่เผาไหม้ ส่วนนี้จะไปช่วยลดใน

เรื่องความต้านทานแรงกดอัด ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 800 องศาเซลเซียส อุณหภูมินี้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดของทุกสัดส่วนเท่ากับ 8.73, 7.17, 4.66, 3.48, 1.75, 1.42 และ 0.42 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ชิ้นงานมีค่าความต้านทานแรงกดอัดที่น้อยที่สุด เนื่องจากอุณหภูมินี้ หล้าแฝกเพิ่งเริ่มการเผาไหม้ ยังไม่เกิดการเผาไหม้หมด ทำให้ในภายในชิ้นงานมีปริมาณหล้าแฝกอยู่จำนวนมาก เมื่อไปทำการทดสอบทำให้ได้ค่าน้อย โดยมีค่าของทุกสัดส่วนผสมเท่ากับ 3.93, 3.22, 3.33, 2.06, 0.72, 0.35 และ 0.20 เมกะปาสกาล ตามลำดับ



บทที่ 5

ข้อสรุปและเสนอแนะ

ในบทสรุปและข้อเสนอแนะนี้จะกล่าวถึงข้อสรุปของโครงการที่ได้ทดลองชิ้นงานตามอัตราส่วนต่างๆ รวมทั้งรวบรวมข้อมูลเสนอแนะ การพัฒนา ปัญหาที่พบ แนวทางการแก้ไข ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 บทสรุปของโครงการ

จากโครงการนี้ เราสามารถนำใบหญ้าแฝกมาแทนแร่เฟลด์สปาร์ได้ ในกระบวนการขึ้นรูปเซรามิก แต่สมบัติต่าง ๆ จะมีค่าลดลงหรือเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนผสมของหญ้าแฝก ดังต่อไปนี้

5.1.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

5.1.1.1 ความหนาแน่นหลังเผา

ก. ปริมาณหญ้าแฝกเพิ่มขึ้นทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผาลดลง
ข. ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผาผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.76, 1.84, 1.58, 1.36, 1.18, 1.12 และ 0.99 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ค. ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผาผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.69, 1.54, 1.41, 1.35, 1.20, 1.12 และ 1.02 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ง. ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผาผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.68, 1.61, 1.39, 1.33, 1.17, 1.15 และ 1.12 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

5.1.1.2 ร้อยละการหดตัวของชิ้นงานหลังเผา

ก. เมื่อปริมาณหญ้าแฝกเพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละการหดตัวเพิ่มขึ้น
ข. ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ร้อยละการหดตัวหลังเผาผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 0.89, 1.09, 1.16, 1.35, 1.70, 1.95, 2.05

ค. ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ร้อยละการหดตัวหลังเผาผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 0.36, 0.48, 0.91, 0.37, 0.74, 0.85, 1.11

ง. ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ร้อยละการหดตัวหลังเผาผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 1.10, 1.23, 1.11, 1.52, 2.23, 2.21, 2.31

5.1.1.3 ความหนาแน่นโดยวิธีชั่งในน้ำ

- ก. เมื่อปริมาณหญ้าแฝกเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนาแน่นลดลง
- ข. เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมของหญ้าแฝกลงในชั้นงาน จะทำให้ความหนาแน่นลดลง โดยอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ไม่มีค่า เนื่องจากการทดสอบ ชั้นงานไม่สามารถค่าหาได้
- ค. ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของชั้นงานผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.45, 1.57, 1.37, 1.58, 1.36, 1.40 และ 1.53 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- ง. ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของชั้นงานผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.44, 1.74, 1.54, 1.56, 1.44, 1.66 และ 1.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

5.1.2 การทดสอบสมบัติทางกล

5.1.2.1 ความต้านทานแรงดัดโค้ง

- ก. เมื่อปริมาณหญ้าแฝกเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าต้านทานแรงดัดโค้งลดลง
- ข. ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความต้านทานแรงดัดโค้งของชั้นงานผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 2.82, 2.14, 1.83, 1.15, 0.48, 0.49 และ 0.16 เมกะปาสกา
- ค. ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ความต้านทานแรงดัดโค้งของชั้นงานผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 0.97, 0.84, 0.97, 1.22, 0.69, 0.57 และ 0.30 เมกะปาสกาล
- ง. ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ความต้านทานแรงดัดโค้งของชั้นงานผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 2.58, 6.98, 5.84, 4.60, 2.76, 1.16 และ 0.86 เมกะปาสกาล

5.1.2.2 ความต้านทานแรงกดอัด

- ก. เมื่อปริมาณหญ้าแฝกเพิ่มขึ้น ทำให้ความต้านทานแรงกดอัดลดลง
- ข. ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความต้านทานแรงกดอัดของชั้นงานผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 3.93, 3.22, 3.33, 2.06, 0.72, 0.35 และ 0.20 เมกะปาสกาล
- ค. ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ความต้านทานแรงกดอัดของชั้นงานผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 8.73, 7.17, 4.66, 3.48, 1.75, 1.42 และ 0.42 เมกะปาสกาล

ง. ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ความต้านทานแรงกดอัดของชิ้นงานผสม
หญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 11.73, 7.36, 9.19, 9.50, 3.24,
2.90 และ 0.77 เมกะปาสกาล

5.2 ข้อเสนอและการพัฒนา

5.2.1 อาจทำการศึกษาประสิทธิภาพชิ้นงานที่มีส่วนผสมของหญ้าแฝก เปรียบเทียบกับ
ประสิทธิภาพของอิฐชนิดอื่น ๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุง

5.2.2 อาจทำการเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิต่างๆเพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ ต่อความแกร่ง
ของชิ้นงานเซรามิกที่มีส่วนผสมของหญ้าแฝก

5.3 ปัญหาที่พบ และ แนวทางการแก้ไข

5.3.1 กระบวนการในการเตรียมวัสดุ มีหลายขั้นตอน จำเป็นต้องมีเครื่องมือ เพิ่มมากขึ้นเพื่อ
สะดวกต่อการเตรียมวัสดุ จึงจำเป็นต้องมีเครื่องมืออุปกรณ์ เพิ่มขึ้น

5.3.2 เมื่อเราผสมหญ้าแฝกลงไปในชิ้นงานมากขึ้นทำให้สมบัติเชิงกลลดลง ซึ่งในการใช้งานควร
เลือกใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้ส่งผลต่อรูปทรงภายในชิ้นงานที่มากเกินไป

5.3.3 ผลการทดลอง อาจมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากการออกแบบ การผสมในกระบวนการ
ขึ้นรูปไม่ดี และชิ้นงานที่ไม่สม่ำเสมอ

เอกสารอ้างอิง

- [1] กนกพร สว่างแจ้ง. (2545). การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ:โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.
- [2] คณะทำงานติดตามและประเมินผลการพัฒนาและรณรงค์การใช้หญ้าแฝก. (2535). โครงการพัฒนาและรณรงค์การใช้หญ้าแฝกอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.
- [3] สมชาย ดารารัตน์. (2534). เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบ UASB. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย Metcalf & Eddy, (1991), Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse, McGraw-Hill Hickey, R.F., WU, W.M., Veiga, M.C., and Jones, R., (1991) Start-up, Operation, Monitoring, and Control of High-rate Anaerobic Treatment Systems, Wat. Sci. Tech., Vol. 24, No. 8, pp 207-255.
- [4] กรมพัฒนาที่ดิน. (2537). หญ้าแฝก. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [5] สำนักหอสมุดศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2553). ผลิตภัณฑ์สีเขียวเพื่อสิ่งแวดล้อม (Green products). กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- [6] สันทนา อมรไชย. ผลิตภัณฑ์สีเขียวเพื่อสิ่งแวดล้อม(Green products). วารสารกรมวิทยาศาสตร์และบริการ.
- [7] ญัฐชาติ จารุจินดา. พลังงานสีเขียวสู่ความมั่นคงด้านพลังงานอย่างยั่งยืน (Green Energy towards Sustainable Energy Security).
- [8] ลัคนกร ประทุมรัตน์. (2556). Green Products and Eco labels. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย.
- [9] รายงานตลาดสินค้า. Eco-Friendly. ในสหราชอาณาจักร
- [10] คณะอนุกรรมการด้านวิชาการวางแผนและติดตามผลการดำเนินงานการใช้หญ้าแฝกอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. (2547). สารานุกรมเรื่องหญ้าแฝก.
- [11] ปรีดา พิมพ์ขาวดำ. (2532). เซรามิกส์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [12] วิสุทธ์ พิสุทธอนนท์. (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์). เฟลด์สปาร์: ภาควิชาธรณีวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [13] สุจิตร์ พิตรากุล. (2530). แหล่งแร่ และแร่ในอุตสาหกรรม :
- [14] ชาญ ถนัดงาน. (2523). กลศาสตร์วัสดุ. กรุงเทพฯ: บั๊ค เซนเตอร์.
- [15] จุฬาลงกรณ์, มหาวิทยาลัย. เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องการวัดสมบัติวัสดุเซรามิกส์. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [16] ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2541). เนื้อดินเซรามิกส์. กรุงเทพฯ: โอ. เอส. พริ้นติ้งเฮ้าส์.
- [17] มณฑล ฉายอรุณ. (2531). การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ. กรุงเทพฯ: ยูไนเต็ดบั๊คส์.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [18] จินตมัย สุวรรณประทีป. (2547). การทดสอบสมบัติเชิงกลของพลาสติก.
- [19] ชนาพร หอมสุวรรณ ปริยานุช อินทา และอุมาภรณ์ เมืองแดง. (2557). การใช้ใบหญ้าแฝกในกระบวนการเผาประสานเซรามิค. ปรินญาณิพนธ์. มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก
- [20] ASTM C 373 -88 (Reapproved 2006), Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products1 , United; ASTM, 2009.
- [21] พิชัย นิमितยงสกุล และธรรมบุญ เฮงชฎีกุล. (2547)
- [22] พิชัย นิमितยงสกุล และธรรมบุญ เฮงชฎีกุล. (2550)



ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการคำนวณความหนาแน่น
และร้อยละการหดตัวของชิ้นงานหลังเผาขึ้นรูป



ตารางที่ ก.1 ผลการคำนวณหาค่าความหนาแน่นชิ้นงานหลังเผา ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

สัดส่วน ผสม หยาบแผลก	ชิ้นงานก่อนการเผาขึ้นรูป				ชิ้นงานงานหลังเผาขึ้นรูป				ปริมาตร (cm ³)	Density (g/cm ³)	ร้อยละการหดตัว
	กว้าง (g)	ยาว (cm)	หนา (cm)	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	หนา (cm)	น้ำหนัก (g)			
0% ชั้นที่ 1	2.42	10.34	1.21	65.5	2.40	10.16	1.17	51.5	28.53	1.77	1.81
0% ชั้นที่ 2	2.43	10.23	1.21	64.0	2.40	10.22	1.16	55.5	28.45	0.10	1.95
0% ชั้นที่ 3	2.40	10.24	1.30	67.0	2.37	10.15	1.18	49.0	28.39	0.89	1.73
0% ชั้นที่ 4	2.44	11.40	1.21	64.0	2.44	11.30	1.10	53.0	30.33	0.88	1.75
0% ชั้นที่ 5	2.44	11.90	1.10	63.0	2.50	11.80	1.22	55.0	35.99	0.85	1.53
0% ชั้นที่ 6	2.44	11.60	0.94	62.0	2.46	11.50	1.10	52.0	31.12	0.87	1.67
5% ชั้นที่ 1	2.40	10.24	1.31	63.0	2.41	10.28	1.28	55.5	31.71	0.39	1.75
5% ชั้นที่ 2	2.41	10.24	1.32	64.5	2.39	10.28	1.28	55.5	31.45	0.39	1.76
5% ชั้นที่ 3	2.41	10.24	1.31	65.5	2.40	10.29	1.29	56.5	31.86	0.49	1.77
5% ชั้นที่ 4	2.47	12.00	1.38	64.0	2.40	11.78	0.88	53.0	24.88	1.87	2.13
5% ชั้นที่ 5	2.42	12.30	1.35	66.0	2.50	12.20	1.05	54.0	32.03	0.82	1.69
5% ชั้นที่ 6	2.44	12.00	1.41	63.0	2.44	11.70	1.05	55.0	29.98	2.56	1.83
10% ชั้นที่ 1	2.50	10.32	1.54	66.0	2.40	10.29	1.27	54.0	31.36	0.29	1.72
10% ชั้นที่ 2	2.42	10.31	1.53	65.5	2.39	10.29	1.46	54.0	35.91	0.19	1.50
10% ชั้นที่ 3	2.42	10.24	1.53	64.0	2.43	10.29	1.51	54.5	37.76	0.49	1.44
10% ชั้นที่ 4	2.47	12.45	1.29	66.0	2.48	12.29	1.13	51.0	34.44	1.30	1.48
10% ชั้นที่ 5	2.48	12.00	1.35	65.0	2.5	11.70	1.24	55.0	36.27	2.56	1.52
10% ชั้นที่ 6	2.46	12.00	1.20	67.0	2.49	11.80	1.05	52.0	30.85	1.69	1.69
15% ชั้นที่ 1	2.45	10.45	1.45	64.0	2.41	10.29	1.43	50.5	35.46	1.55	1.42
15% ชั้นที่ 2	2.44	10.42	1.43	63.5	2.42	10.29	1.40	52.0	34.86	1.26	1.49
15% ชั้นที่ 3	2.43	10.42	1.46	62.5	2.44	10.29	1.51	52.0	37.91	1.26	1.37
15% ชั้นที่ 4	2.48	13.40	1.22	62.0	2.50	13.25	1.30	52.0	43.06	1.13	1.21
15% ชั้นที่ 5	2.44	12.00	1.31	62.0	2.50	11.80	1.27	52.0	37.47	1.69	1.39
15% ชั้นที่ 6	2.49	12.70	1.24	62.0	2.50	12.55	1.46	52.0	45.81	1.20	1.14

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ผลการคำนวณหาค่าความหนาแน่นชั้นงานหลังเผา
ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

สัดส่วน ผสม หน้าแปลก	ชั้นงานก่อนการเผาชั้นรูป				ชั้นงานงานหลังเผาชั้นรูป				ปริมาตร (cm ³)	Density (g/cm ³)	ร้อยละการหดตัว
	กว้าง (g)	ยาว (cm)	หนา (cm)	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	หนา (cm)	น้ำหนัก (g)			
20% ชั้นที่ 1	2.44	10.48	1.56	63.5	2.42	10.29	1.46	49.0	36.36	1.85	1.35
20% ชั้นที่ 2	2.44	10.50	1.55	62.0	2.43	10.29	1.54	50.0	38.51	2.04	1.30
20% ชั้นที่ 3	2.45	10.45	1.45	63.0	2.43	10.30	1.56	50.0	39.05	1.46	1.28
20% ชั้นที่ 4	2.49	12.60	1.50	61.0	1.45	12.48	2.47	49.0	44.70	0.96	1.10
20% ชั้นที่ 5	2.50	13.50	1.60	60.0	2.50	13.3	1.55	49.0	51.54	1.50	0.95
20% ชั้นที่ 6	2.50	13.20	1.49	63.0	2.50	12.89	1.49	50.0	48.02	2.40	1.04
25% ชั้นที่ 1	2.46	10.50	1.60	64.5	2.44	10.30	1.46	46.0	36.69	1.94	1.25
25% ชั้นที่ 2	2.46	10.46	1.64	65.0	2.41	10.30	1.65	47.5	40.96	1.55	1.16
25% ชั้นที่ 3	2.45	10.44	1.60	63.5	2.43	10.30	1.50	47.0	37.54	1.36	1.25
25% ชั้นที่ 4	2.44	13.55	1.60	63.0	2.49	13.40	1.50	48.0	50.05	1.12	0.96
25% ชั้นที่ 6	2.46	13.45	1.57	66.0	2.40	13.00	1.50	51.0	46.80	3.46	1.09
30% ชั้นที่ 1	2.66	10.48	1.70	64.0	2.48	10.30	1.64	44.5	41.89	1.75	1.06
30% ชั้นที่ 2	2.54	10.52	1.59	62.0	2.49	10.29	1.60	45.0	41.00	2.24	1.10
30% ชั้นที่ 3	2.54	10.58	1.63	61.0	2.48	10.30	1.46	45.5	37.29	2.72	1.22
30% ชั้นที่ 4	2.47	13.20	1.59	62.0	2.46	12.94	1.60	44.0	50.93	2.01	0.86
30% ชั้นที่ 5	2.46	13.90	1.62	65.0	2.47	13.60	1.60	43.0	53.75	2.21	0.80
30% ชั้นที่ 6	2.49	13.80	1.63	63.0	2.50	13.61	1.65	43.0	56.14	1.40	0.77

ตารางที่ ก.2 ผลการคำนวณหาค่าความหนาแน่นชั้นงานหลังเผา ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

สัดส่วน ผสม หญ้าแฝก	ชั้นงานก่อนการเผาชั้นรูป				ชั้นงานงานหลังเผาชั้นรูป				ปริมาตร (cm ³)	Density (g/cm ³)	ร้อยละการหดตัว
	กว้าง (g)	ยาว (cm)	หนา (cm)	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	หนา (cm)	น้ำหนัก (g)			
0% ชั้นที่ 1	2.46	10.40	1.34	57.5	2.44	10.32	1.21	54.0	30.47	0.78	1.77
0% ชั้นที่ 2	2.42	10.34	1.34	60.5	2.42	10.36	1.27	54.0	31.84	0.19	1.70
0% ชั้นที่ 3	2.44	10.33	1.26	59.5	2.40	10.30	1.22	54.0	30.16	0.29	1.79
0% ชั้นที่ 4	2.48	10.27	1.27	60.0	2.44	10.20	1.32	52.5	32.85	0.69	1.60
0% ชั้นที่ 5	2.49	10.20	0.84	42.0	2.50	10.19	0.89	36.5	22.67	0.10	1.61
0% ชั้นที่ 6	2.46	10.26	1.28	60.0	2.44	10.27	1.23	51.5	30.82	0.10	1.67
5% ชั้นที่ 1	2.44	10.37	1.36	62.0	2.42	10.33	1.34	52.5	33.50	0.39	1.57
5% ชั้นที่ 2	2.48	10.40	1.46	60.5	2.41	10.31	1.37	52.0	34.04	0.87	1.53
5% ชั้นที่ 3	2.47	10.44	1.37	62.0	2.43	10.40	1.34	52.5	33.86	0.38	1.55
5% ชั้นที่ 4	2.50	10.40	1.34	62.0	2.49	10.39	1.32	52.0	34.15	0.10	1.52
5% ชั้นที่ 5	2.51	10.49	1.28	62.0	2.50	10.43	1.23	50.5	32.07	0.58	1.57
5% ชั้นที่ 6	2.52	10.50	1.48	63.5	2.48	10.44	1.36	53.0	35.21	0.57	1.51
10% ชั้นที่ 1	2.43	10.40	1.37	62.5	2.43	10.28	1.43	51.0	35.72	1.17	1.43
10% ชั้นที่ 2	2.46	10.38	1.38	62.0	2.44	10.25	1.40	50.5	35.01	1.27	1.44
10% ชั้นที่ 3	2.45	10.40	1.30	62.5	2.43	10.25	1.46	50.5	36.36	1.46	1.39
10% ชั้นที่ 4	2.47	10.36	1.49	65.0	2.44	10.40	1.50	52.0	38.06	0.38	1.37
10% ชั้นที่ 5	2.50	10.40	1.34	63.0	2.44	10.35	1.40	49.5	35.36	0.48	1.40
10% ชั้นที่ 6	2.50	10.41	1.37	63.5	2.50	10.34	1.37	51.0	35.41	0.68	1.44
15% ชั้นที่ 1	2.44	10.30	1.48	62.0	2.43	10.39	1.42	48.5	35.85	0.87	1.35
15% ชั้นที่ 2	2.44	10.37	1.47	61.0	2.42	10.36	1.48	48.0	37.11	0.10	1.29
15% ชั้นที่ 3	2.44	10.35	1.46	62.5	2.43	10.38	1.47	48.5	37.08	0.29	1.31
15% ชั้นที่ 4	2.50	10.32	1.36	62.5	2.48	10.33	1.40	50.5	35.87	0.10	1.41
15% ชั้นที่ 5	2.50	10.40	1.38	62.5	2.50	10.36	1.40	50.5	36.26	0.39	1.39
15% ชั้นที่ 6	2.50	10.30	1.30	61.0	2.50	10.25	1.40	48.5	35.88	0.49	1.35

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ผลการคำนวณหาค่าความหนาแน่นชิ้นงานหลังเผา
ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

สัดส่วน ผสม หญ้าแฝก	ชิ้นงานก่อนการเผาขึ้นรูป				ชิ้นงานงานหลังเผาขึ้นรูป				ปริมาตร (cm ³)	Density (g/cm ³)	ร้อยละการหดตัว
	กว้าง (g)	ยาว (cm)	หนา (cm)	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	หนา (cm)	น้ำหนัก (g)			
20% ชั้นที่ 1	2.49	10.48	1.58	63.5	2.45	10.44	1.54	47.0	39.39	0.38	1.19
20% ชั้นที่ 2	2.48	10.45	1.63	62.0	2.44	10.40	1.54	47.0	39.08	0.48	1.20
20% ชั้นที่ 3	2.49	10.46	1.61	62.0	2.45	10.39	1.51	46.0	38.44	0.67	1.20
20% ชั้นที่ 4	2.52	10.49	1.03	61.0	2.50	10.35	1.40	45.0	36.23	1.35	1.24
20% ชั้นที่ 5	2.55	10.48	1.54	65.0	2.50	10.38	1.54	47.5	39.96	0.96	1.19
20% ชั้นที่ 6	2.56	10.46	1.57	65.0	2.50	10.40	1.50	47.0	39.00	0.58	1.21
25% ชั้นที่ 1	2.48	10.48	1.64	61.0	2.46	10.40	1.55	44.0	39.66	0.77	1.11
25% ชั้นที่ 2	2.48	10.48	1.68	63.0	2.44	10.40	1.64	44.5	41.62	0.77	1.07
25% ชั้นที่ 3	2.47	10.46	1.64	62.5	2.42	10.39	1.51	43.5	37.97	0.67	1.15
25% ชั้นที่ 4	2.52	10.49	1.69	65.0	2.50	10.40	1.50	46.5	39.00	0.87	1.19
25% ชั้นที่ 5	2.54	10.48	1.61	64.5	2.50	10.40	1.60	45.5	41.60	0.77	1.09
25% ชั้นที่ 6	2.55	10.50	1.55	63.5	2.50	10.37	1.65	46.5	42.78	1.25	1.09
30% ชั้นที่ 1	2.56	10.53	1.71	64.5	2.54	10.46	1.60	42.5	42.51	0.67	1.00
30% ชั้นที่ 2	2.58	10.50	1.70	63.0	2.54	10.39	1.60	40.5	42.22	1.06	0.96
30% ชั้นที่ 3	2.56	10.51	1.66	63.0	2.52	10.39	1.53	40.5	40.06	1.15	1.01
30% ชั้นที่ 4	2.54	10.49	1.65	64.0	2.50	10.40	1.60	43.5	41.60	0.87	1.05
30% ชั้นที่ 5	2.55	10.50	1.62	66.0	2.50	10.43	1.66	45.5	43.28	0.67	1.05
30% ชั้นที่ 6	2.54	10.56	1.64	65.5	2.50	10.33	1.63	44.5	42.09	2.23	1.06

ตารางที่ ก.3 ผลการคำนวณหาค่าความหนาแน่นชิ้นงานหลังเผา ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

สัดส่วน ผสม หญ้าแฝก	ชิ้นงานก่อนการเผาขึ้นรูป				ชิ้นงานงานหลังเผาขึ้นรูป				ปริมาตร (cm ³)	Density (g/cm ³)	ร้อยละการหดตัว
	กว้าง (g)	ยาว (cm)	หนา (cm)	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	หนา (cm)	น้ำหนัก (g)			
0% ชั้นที่ 1	2.43	10.24	1.22	66.0	2.37	10.18	1.29	52.5	31.12	0.59	1.69
0% ชั้นที่ 2	2.44	10.24	1.21	65.0	2.42	10.18	1.14	47.0	28.08	0.59	1.67
0% ชั้นที่ 3	2.41	10.34	1.21	64.5	2.37	10.24	1.15	48.0	27.91	0.98	1.72
0% ชั้นที่ 4	2.45	11.00	1.10	54.5	2.41	10.89	1.16	46.5	30.44	1.01	1.53
0% ชั้นที่ 5	2.49	11.70	1.22	59.5	2.46	11.50	1.24	51.5	35.08	1.74	1.47
0% ชั้นที่ 6	2.46	12.00	1.17	57.5	2.45	11.80	1.16	49.0	33.54	1.69	1.46
5% ชั้นที่ 1	2.42	10.34	1.24	63.0	2.40	10.28	1.22	51.0	30.10	0.58	1.69
5% ชั้นที่ 2	2.41	10.34	1.31	65.5	2.41	10.27	1.29	52.0	31.93	0.68	1.63
5% ชั้นที่ 3	2.42	10.32	1.31	62.5	2.38	10.22	1.22	51.5	29.67	0.98	1.74
5% ชั้นที่ 4	2.50	12.60	1.48	63.5	2.42	12.50	1.35	51.5	40.84	0.80	1.26
5% ชั้นที่ 5	2.51	11.80	1.39	63.0	2.40	11.60	1.30	51.5	36.19	1.72	1.42
5% ชั้นที่ 6	2.50	11.80	1.48	63.0	2.40	11.50	1.35	52.0	37.26	2.61	1.40
10% ชั้นที่ 1	2.42	10.34	1.31	66.0	2.39	10.30	1.49	49.5	36.68	0.39	1.35
10% ชั้นที่ 2	2.41	10.34	1.44	64.0	2.38	10.26	1.50	50.5	36.63	0.78	1.38
10% ชั้นที่ 3	2.41	10.23	1.52	64.0	2.38	10.26	1.46	49.0	35.65	0.29	1.37
10% ชั้นที่ 4	2.53	11.42	1.44	64.5	2.40	11.35	1.42	50.5	38.68	0.62	1.31
10% ชั้นที่ 5	2.51	11.00	1.45	63.0	2.40	10.89	1.40	50.0	36.59	1.01	1.37
10% ชั้นที่ 6	2.50	10.36	1.38	60.0	2.40	10.00	1.30	47.0	31.20	3.60	1.51
15% ชั้นที่ 1	2.45	10.42	1.50	63.5	2.49	10.28	1.49	47.5	38.14	1.36	1.25
15% ชั้นที่ 2	2.45	10.42	1.50	63.5	2.42	10.25	1.39	47.5	34.48	1.66	1.38
15% ชั้นที่ 3	2.45	10.46	1.52	65.0	2.42	10.20	1.53	48.0	37.77	2.55	1.27
15% ชั้นที่ 4	2.50	11.50	1.35	62.0	2.40	11.37	1.40	49.0	38.20	1.14	1.28
15% ชั้นที่ 5	2.52	11.40	1.35	62.5	2.46	11.25	1.44	49.0	39.85	1.33	1.23
15% ชั้นที่ 6	2.40	11.30	1.18	59.0	2.40	11.18	1.17	50.5	31.39	1.07	1.61

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ผลการคำนวณหาค่าความหนาแน่นชิ้นงานหลังเผา
ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

สัดส่วน ผสม หล้าแฝก	ชิ้นงานก่อนการเผาขึ้นรูป				ชิ้นงานงานหลังเผาขึ้นรูป				ปริมาตร (cm ³)	Density (g/cm ³)	ร้อยละการหดตัว
	กว้าง (g)	ยาว (cm)	หนา (cm)	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	หนา (cm)	น้ำหนัก (g)			
20% ชั้นที่ 1	2.47	10.46	1.57	66.0	2.43	10.22	1.59	46.0	39.49	2.35	1.16
20% ชั้นที่ 2	2.47	10.58	1.53	64.5	2.41	10.22	1.53	46.0	37.68	3.52	1.22
20% ชั้นที่ 3	2.45	10.52	1.56	63.5	2.39	10.25	1.55	43.5	37.97	2.63	1.15
20% ชั้นที่ 4	2.54	12.00	1.50	64.5	2.45	11.80	1.50	46.0	43.37	1.69	1.06
20% ชั้นที่ 5	2.54	11.00	1.51	64.5	2.43	10.79	1.40	45.5	36.71	1.95	1.24
20% ชั้นที่ 6	2.54	10.43	1.53	64.5	2.41	10.30	1.50	45.5	37.23	1.26	1.22
25% ชั้นที่ 1	2.45	10.52	1.55	62.5	2.42	10.25	1.55	43.5	38.45	2.63	1.13
25% ชั้นที่ 2	2.45	10.44	1.60	64.0	2.47	10.27	1.63	44.0	41.35	1.66	1.06
25% ชั้นที่ 3	2.56	10.48	1.63	62.0	2.43	10.28	1.51	45.5	37.72	1.95	1.21
25% ชั้นที่ 4	2.55	12.90	1.58	64.5	2.45	12.60	1.45	43.5	44.76	2.38	0.97
25% ชั้นที่ 5	2.55	11.00	1.69	63.0	2.41	10.70	1.53	44.5	39.45	2.80	1.13
25% ชั้นที่ 6	2.56	10.49	1.55	63.5	2.43	10.30	1.52	44.5	38.04	1.84	1.17
30% ชั้นที่ 1	2.53	10.46	1.62	63.5	2.47	10.29	1.52	45.0	38.63	1.65	1.16
30% ชั้นที่ 2	2.53	10.42	1.59	63.5	2.46	10.28	1.55	48.5	39.20	1.36	1.24
30% ชั้นที่ 3	2.50	10.51	1.61	62.5	2.48	10.28	1.67	41.5	42.58	2.24	0.97
30% ชั้นที่ 4	2.56	10.50	1.63	63.0	2.46	10.20	1.52	43.0	38.14	2.94	1.13
30% ชั้นที่ 5	2.54	10.48	1.60	65.5	2.44	10.20	1.57	44.0	39.07	2.75	1.13
30% ชั้นที่ 6	2.56	10.50	1.66	64.0	2.46	10.20	1.60	44.0	40.15	2.94	1.10



ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผสมของ หญ้าแฝก	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่าต้านทานแรงดัดโค้ง (MPa)
0% ชั้นที่ 1	2.40	1.17	4.07
0% ชั้นที่ 2	2.40	1.16	2.73
0% ชั้นที่ 3	2.37	1.18	3.01
0% ชั้นที่ 4	2.44	1.10	2.66
0% ชั้นที่ 5	2.50	1.22	2.40
0% ชั้นที่ 6	2.46	1.10	2.07
5% ชั้นที่ 1	2.41	1.28	2.95
5% ชั้นที่ 2	2.39	1.28	3.52
5% ชั้นที่ 3	2.40	1.29	4.21
5% ชั้นที่ 4	2.40	0.88	1.35
5% ชั้นที่ 5	2.50	1.05	0.33
5% ชั้นที่ 6	2.44	1.05	0.49
10% ชั้นที่ 1	2.40	1.27	3.35
10% ชั้นที่ 2	2.39	1.46	1.98
10% ชั้นที่ 3	2.43	1.51	1.79
10% ชั้นที่ 4	2.48	1.13	1.75
10% ชั้นที่ 5	2.50	1.24	1.98
10% ชั้นที่ 6	2.49	1.05	0.16
15% ชั้นที่ 1	2.41	1.43	1.39
15% ชั้นที่ 2	2.42	1.40	1.49
15% ชั้นที่ 3	2.44	1.51	1.16
15% ชั้นที่ 4	2.50	1.3	1.06
15% ชั้นที่ 5	2.50	1.27	1.01
15% ชั้นที่ 6	2.50	1.46	0.82
20% ชั้นที่ 1	2.42	1.46	0.41
20% ชั้นที่ 2	2.43	1.54	0.33

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นงาน
ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผสมของ หน้าแปลน	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่าต้านทานแรงดัดโค้ง (MPa)
20% ชั้นที่ 3	2.43	1.56	0.45
20% ชั้นที่ 4	1.45	2.47	0.80
20% ชั้นที่ 5	2.50	1.55	0.50
20% ชั้นที่ 6	2.50	1.49	0.39
25% ชั้นที่ 1	2.44	1.46	0.62
25% ชั้นที่ 2	2.41	1.65	0.63
25% ชั้นที่ 3	2.43	1.50	0.78
25% ชั้นที่ 4	2.49	1.5	0.24
25% ชั้นที่ 5	2.46	1.56	0.20
25% ชั้นที่ 6	2.40	1.50	-
30% ชั้นที่ 1	2.48	1.64	0.13
30% ชั้นที่ 2	2.49	1.60	0.15
30% ชั้นที่ 3	2.48	1.46	0.26
30% ชั้นที่ 4	2.46	1.60	0.18
30% ชั้นที่ 5	2.47	1.60	0.12
30% ชั้นที่ 6	2.50	1.65	0.09

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผสมของ หญ้าแฝก	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่าต้านทานแรงดัดโค้ง (MPa)
0% ชั้นที่ 1	2.44	1.21	1.23
0% ชั้นที่ 2	2.42	1.27	0.98
0% ชั้นที่ 3	2.40	1.22	1.30
0% ชั้นที่ 4	2.44	1.32	0.77
0% ชั้นที่ 5	2.50	0.89	0.62
0% ชั้นที่ 6	2.44	1.23	0.90
5% ชั้นที่ 1	2.42	1.34	1.16
5% ชั้นที่ 2	2.41	1.37	0.26
5% ชั้นที่ 3	2.43	1.34	1.10
5% ชั้นที่ 4	2.49	1.32	0.68
5% ชั้นที่ 5	2.50	1.23	1.07
5% ชั้นที่ 6	2.48	1.36	0.74
10% ชั้นที่ 1	2.43	1.43	1.04
10% ชั้นที่ 2	2.44	1.40	1.54
10% ชั้นที่ 3	2.43	1.46	1.43
10% ชั้นที่ 4	2.44	1.50	0.92
10% ชั้นที่ 5	2.44	1.40	0.61
10% ชั้นที่ 6	2.50	1.37	0.26
15% ชั้นที่ 1	2.43	1.42	1.50
15% ชั้นที่ 2	2.42	1.48	1.40
15% ชั้นที่ 3	2.43	1.47	1.29
15% ชั้นที่ 4	2.48	1.40	1.19
15% ชั้นที่ 5	2.50	1.40	0.97
15% ชั้นที่ 6	2.50	1.40	0.99
20% ชั้นที่ 1	2.45	1.54	0.72
20% ชั้นที่ 2	2.44	1.54	0.62

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นงาน
ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผสมของ หญ้าแฝก	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่าต้านทานแรงดัดโค้ง (MPa)
20% ชั้นที่ 3	2.45	1.51	0.53
20% ชั้นที่ 4	2.50	1.40	0.85
20% ชั้นที่ 5	2.50	1.54	1.09
20% ชั้นที่ 6	2.50	1.50	0.34
25% ชั้นที่ 1	2.46	1.55	0.46
25% ชั้นที่ 2	2.44	1.64	0.51
25% ชั้นที่ 3	2.42	1.51	0.54
25% ชั้นที่ 4	2.50	1.50	0.91
25% ชั้นที่ 5	2.50	1.60	0.59
25% ชั้นที่ 6	2.50	1.65	0.40
30% ชั้นที่ 1	2.54	1.60	0.23
30% ชั้นที่ 2	2.54	1.60	0.27
30% ชั้นที่ 3	2.52	1.53	0.23
30% ชั้นที่ 4	2.50	1.60	0.35
30% ชั้นที่ 5	2.50	1.66	0.40
30% ชั้นที่ 6	2.50	1.63	0.29

ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผสมของ หยาบแผลก	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่าต้านทานแรงดัดโค้ง (MPa)
0% ชั้นที่ 1	2.37	1.29	4.18
0% ชั้นที่ 2	2.42	1.14	3.92
0% ชั้นที่ 3	2.37	1.15	5.08
0% ชั้นที่ 4	2.41	1.16	0.26
0% ชั้นที่ 5	2.46	1.24	1.32
0% ชั้นที่ 6	2.45	1.16	0.68
5% ชั้นที่ 1	2.40	1.22	0.85
5% ชั้นที่ 2	2.41	1.29	4.37
5% ชั้นที่ 3	2.38	1.22	9.24
5% ชั้นที่ 4	2.42	1.35	4.97
5% ชั้นที่ 5	2.40	1.30	12.71
5% ชั้นที่ 6	2.40	1.35	9.74
10% ชั้นที่ 1	2.39	1.49	4.45
10% ชั้นที่ 2	2.38	1.50	0.41
10% ชั้นที่ 3	2.38	1.46	4.53
10% ชั้นที่ 4	2.40	1.42	7.79
10% ชั้นที่ 5	2.40	1.40	9.08
10% ชั้นที่ 6	2.40	1.30	8.74
15% ชั้นที่ 1	2.49	1.49	3.19
15% ชั้นที่ 2	2.42	1.39	6.61
15% ชั้นที่ 3	2.42	1.53	5.74
15% ชั้นที่ 4	2.40	1.40	9.75
15% ชั้นที่ 5	2.46	1.44	0.29
15% ชั้นที่ 6	2.40	1.17	2.03
20% ชั้นที่ 1	2.43	1.59	2.04
20% ชั้นที่ 2	2.41	1.53	2.91

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นงาน
ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผสมของ หญ้าแฝก	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่าต้านทานแรงดัดโค้ง (MPa)
20% ชั้นที่ 3	2.39	1.55	2.11
20% ชั้นที่ 4	2.45	1.50	3.70
20% ชั้นที่ 5	2.43	1.40	1.08
20% ชั้นที่ 6	2.41	1.50	4.74
25% ชั้นที่ 1	2.42	1.55	0.89
25% ชั้นที่ 2	2.47	1.63	0.23
25% ชั้นที่ 3	2.43	1.51	0.89
25% ชั้นที่ 4	2.45	1.45	1.93
25% ชั้นที่ 5	2.41	1.53	1.88
25% ชั้นที่ 6	2.43	1.52	1.75
30% ชั้นที่ 1	2.47	1.52	0.21
30% ชั้นที่ 2	2.46	1.55	0.36
30% ชั้นที่ 3	2.48	1.67	0.24
30% ชั้นที่ 4	2.46	1.52	1.48
30% ชั้นที่ 5	2.44	1.57	1.51
30% ชั้นที่ 6	2.46	1.60	1.37

ตารางที่ ข.4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดของชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผสมของ หญ้าแฝก	ความสูง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่าต้านทานแรง กดอัด (MPa)
0% ชั้นที่ 1	5.10	2.40	1.17	3.49
0% ชั้นที่ 2	5.22	2.40	1.16	3.69
0% ชั้นที่ 3	4.73	2.37	1.18	4.68
0% ชั้นที่ 4	5.50	2.44	1.10	4.19
0% ชั้นที่ 5	5.25	2.50	1.22	4.96
0% ชั้นที่ 6	5.22	2.46	1.10	2.57
5% ชั้นที่ 1	5.02	2.41	1.28	3.37
5% ชั้นที่ 2	4.74	2.39	1.28	1.91
5% ชั้นที่ 3	5.20	2.40	1.29	1.97
5% ชั้นที่ 4	4.97	2.40	0.88	6.06
5% ชั้นที่ 5	4.33	2.50	1.05	3.83
5% ชั้นที่ 6	5.49	2.44	1.05	2.19
10% ชั้นที่ 1	5.49	2.40	1.27	2.05
10% ชั้นที่ 2	4.30	2.39	1.46	3.35
10% ชั้นที่ 3	4.64	2.43	1.51	2.95
10% ชั้นที่ 4	5.38	2.48	1.13	4.74
10% ชั้นที่ 5	5.72	2.50	1.24	3.30
10% ชั้นที่ 6	4.77	2.49	1.05	3.56
15% ชั้นที่ 1	4.41	2.41	1.43	3.40
15% ชั้นที่ 2	4.98	2.42	1.40	2.06
15% ชั้นที่ 3	5.0	2.44	1.51	2.17
15% ชั้นที่ 4	5.48	2.50	1.30	2.58
15% ชั้นที่ 5	5.55	2.50	1.27	1.82
15% ชั้นที่ 6	4.44	2.50	1.46	0.38
20% ชั้นที่ 1	4.80	2.42	1.46	0.74
20% ชั้นที่ 2	5.98	2.43	1.54	0.91

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดของชิ้นงาน
ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผสมของ หน้าแปลน	ความสูง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่าต้านทานแรง กดอัด (MPa)
20% ชั้นที่ 3	3.93	2.43	1.56	0.63
20% ชั้นที่ 4	5.86	1.45	2.47	0.74
20% ชั้นที่ 5	4.90	2.50	1.55	0.54
20% ชั้นที่ 6	6.30	2.50	1.49	0.81
25% ชั้นที่ 1	4.60	2.44	1.46	0.63
25% ชั้นที่ 2	6.41	2.41	1.65	0.35
25% ชั้นที่ 3	5.36	2.43	1.50	0.54
25% ชั้นที่ 4	4.30	2.49	1.50	0.14
25% ชั้นที่ 5	6.20	2.46	1.56	0.36
25% ชั้นที่ 6	4.70	2.40	1.50	0.13
30% ชั้นที่ 1	4.66	2.48	1.64	0.23
30% ชั้นที่ 2	3.80	2.49	1.60	0.09
30% ชั้นที่ 3	4.83	2.48	1.46	0.33
30% ชั้นที่ 4	5.36	2.46	1.60	0.14
30% ชั้นที่ 5	5.74	2.47	1.60	0.09
30% ชั้นที่ 6	5.38	2.50	1.65	0.35

ตารางที่ ข.5 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดของชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผสมของ หน้าแปลน	ความสูง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่าต้านทานแรง กดอัด (MPa)
0% ชั้นที่ 1	4.88	2.44	1.21	13.70
0% ชั้นที่ 2	4.70	2.42	1.27	6.38
0% ชั้นที่ 3	5.42	2.40	1.22	5.27
0% ชั้นที่ 4	5.33	2.44	1.32	7.64
0% ชั้นที่ 5	4.95	2.50	0.89	6.61
0% ชั้นที่ 6	5.96	2.44	1.23	12.77
5% ชั้นที่ 1	5.12	2.42	1.34	9.56
5% ชั้นที่ 2	5.49	2.41	1.37	3.99
5% ชั้นที่ 3	4.70	2.43	1.34	3.76
5% ชั้นที่ 4	5.94	2.49	1.32	10.34
5% ชั้นที่ 5	4.74	2.50	1.23	10.34
5% ชั้นที่ 6	5.50	2.48	1.36	5.05
10% ชั้นที่ 1	5.26	2.43	1.43	2.75
10% ชั้นที่ 2	5.10	2.44	1.40	4.66
10% ชั้นที่ 3	5.10	2.43	1.46	6.70
10% ชั้นที่ 4	5.04	2.44	1.50	2.91
10% ชั้นที่ 5	5.44	2.44	1.40	7.26
10% ชั้นที่ 6	6.10	2.50	1.37	3.67
15% ชั้นที่ 1	4.90	2.43	1.42	3.04
15% ชั้นที่ 2	4.73	2.42	1.48	3.69
15% ชั้นที่ 3	4.05	2.43	1.47	2.71
15% ชั้นที่ 4	4.95	2.48	1.40	4.41
15% ชั้นที่ 5	5.30	2.50	1.40	3.18
15% ชั้นที่ 6	5.16	2.50	1.40	3.85
20% ชั้นที่ 1	5.36	2.45	1.54	1.47
20% ชั้นที่ 2	5.19	2.44	1.54	0.83

ตารางที่ ข.5 (ต่อ) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดของชิ้นงาน
ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผสมของ หญ้าแฝก	ความสูง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่าต้านทานแรง กดอัด (MPa)
20% ชั้นที่ 3	5.61	2.45	1.51	1.33
20% ชั้นที่ 4	5.51	2.50	1.40	2.86
20% ชั้นที่ 5	5.04	2.50	1.54	1.60
20% ชั้นที่ 6	5.67	2.50	1.50	2.42
25% ชั้นที่ 1	4.30	2.46	1.55	0.98
25% ชั้นที่ 2	4.66	2.44	1.64	0.68
25% ชั้นที่ 3	5.36	2.42	1.51	2.20
25% ชั้นที่ 4	5.40	2.50	1.50	1.31
25% ชั้นที่ 5	5.47	2.50	1.60	1.98
25% ชั้นที่ 6	4.88	2.50	1.65	1.34
30% ชั้นที่ 1	4.40	2.54	1.60	0.40
30% ชั้นที่ 2	4.92	2.54	1.60	0.61
30% ชั้นที่ 3	3.64	2.52	1.53	0.20
30% ชั้นที่ 4	4.47	2.50	1.60	0.39
30% ชั้นที่ 5	4.86	2.50	1.66	0.46
30% ชั้นที่ 6	4.77	2.50	1.63	0.47

ตารางที่ ข.6 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดของชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผสมของ หลู้าแฝก	ความสูง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่าต้านทานแรง กดอัด (MPa)
0% ชั้นที่ 1	4.93	2.37	1.29	11.77
0% ชั้นที่ 2	5.17	2.42	1.14	13.57
0% ชั้นที่ 3	5.63	2.37	1.15	5.52
0% ชั้นที่ 4	4.14	2.41	1.16	12.33
0% ชั้นที่ 5	5.60	2.46	1.24	13.15
0% ชั้นที่ 6	4.86	2.45	1.16	14.04
5% ชั้นที่ 1	4.96	2.40	1.22	4.90
5% ชั้นที่ 2	4.90	2.41	1.29	7.28
5% ชั้นที่ 3	4.87	2.38	1.22	12.40
5% ชั้นที่ 4	6.81	2.42	1.35	8.37
5% ชั้นที่ 5	5.70	2.40	1.30	9.74
5% ชั้นที่ 6	5.74	2.40	1.35	2.05
10% ชั้นที่ 1	4.88	2.39	1.49	6.51
10% ชั้นที่ 2	4.94	2.38	1.50	6.74
10% ชั้นที่ 3	5.50	2.38	1.46	7.63
10% ชั้นที่ 4	4.94	2.40	1.42	11.74
10% ชั้นที่ 5	5.17	2.40	1.40	11.92
10% ชั้นที่ 6	5.70	2.40	1.30	10.65
15% ชั้นที่ 1	5.25	2.49	1.49	5.04
15% ชั้นที่ 2	5.00	2.42	1.39	7.63
15% ชั้นที่ 3	4.70	2.42	1.53	7.76
15% ชั้นที่ 4	5.00	2.40	1.40	11.42
15% ชั้นที่ 5	6.66	2.46	1.44	11.01
15% ชั้นที่ 6	5.40	2.40	1.17	14.20
20% ชั้นที่ 1	4.40	2.43	1.59	2.63
20% ชั้นที่ 2	5.35	2.41	1.53	2.81

ตารางที่ ข.6 (ต่อ) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดของชิ้นงาน
ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผสมของ หญ้าแฝก	ความสูง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่าต้านทานแรง กดอัด (MPa)
20% ชั้นที่ 3	4.94	2.39	1.55	3.69
20% ชั้นที่ 4	4.54	2.45	1.50	2.28
20% ชั้นที่ 5	3.80	2.43	1.40	3.10
20% ชั้นที่ 6	4.90	2.41	1.50	4.90
25% ชั้นที่ 1	6.58	2.42	1.55	2.70
25% ชั้นที่ 2	5.44	2.47	1.63	2.12
25% ชั้นที่ 3	5.04	2.43	1.51	2.16
25% ชั้นที่ 4	4.75	2.45	1.45	4.15
25% ชั้นที่ 5	4.70	2.41	1.53	3.37
25% ชั้นที่ 6	5.20	2.43	1.52	2.92
30% ชั้นที่ 1	5.16	2.47	1.52	0.52
30% ชั้นที่ 2	4.39	2.46	1.55	0.20
30% ชั้นที่ 3	5.30	2.48	1.67	0.29
30% ชั้นที่ 4	4.40	2.46	1.52	0.19
30% ชั้นที่ 5	4.36	2.44	1.57	1.53
30% ชั้นที่ 6	4.84	2.46	1.60	1.90

ตารางที่ ข.7 ผลการทดสอบความหนาแน่นโดยวิธีชั่งในน้ำ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

ชั้นงาน	น้ำหนัก ก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลัง ต้มชั่งใน อากาศ (g)	น้ำหนักหลัง ต้มชั่งในน้ำ (g)	ปริมาตร ของชั้นงาน (cm ³)	Density (g/cm ³)	ร้อยละของ รูพรุน
0% ชั้นที่ 1	23.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
0% ชั้นที่ 2	22.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
0% ชั้นที่ 3	27.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
0% ชั้นที่ 4	24.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
0% ชั้นที่ 5	18.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
0% ชั้นที่ 6	20.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
5% ชั้นที่ 1	20.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
5% ชั้นที่ 2	22.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
5% ชั้นที่ 3	26.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
5% ชั้นที่ 4	23.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
5% ชั้นที่ 5	17.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
5% ชั้นที่ 6	20.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
10% ชั้นที่ 1	20.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
10% ชั้นที่ 2	19.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
10% ชั้นที่ 3	22.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
10% ชั้นที่ 4	25.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
10% ชั้นที่ 5	24.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
10% ชั้นที่ 6	21.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
15% ชั้นที่ 1	20.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
15% ชั้นที่ 2	19.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
15% ชั้นที่ 3	26.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
15% ชั้นที่ 4	24.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
15% ชั้นที่ 5	24.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
15% ชั้นที่ 6	25.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

ตารางที่ ข.7 (ต่อ) ผลการทดสอบความหนาแน่นโดยวิธีชั่งในน้ำ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

ชั้นงาน	น้ำหนัก ก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลัง ต้มชั่งใน อากาศ (g)	น้ำหนักหลัง ต้มชั่งในน้ำ (g)	ปริมาตร ของชั้นงาน (cm ³)	Density (g/cm ³)	ร้อยละของ รูพรุน
20% ชั้นที่ 1	23.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
20% ชั้นที่ 2	22.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
20% ชั้นที่ 3	20.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
20% ชั้นที่ 4	21.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
20% ชั้นที่ 5	28.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
20% ชั้นที่ 6	27.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
25% ชั้นที่ 1	25.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
25% ชั้นที่ 2	25.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
25% ชั้นที่ 3	23.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
25% ชั้นที่ 4	22.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
25% ชั้นที่ 5	21.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
25% ชั้นที่ 6	19.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
30% ชั้นที่ 1	19.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
30% ชั้นที่ 2	18.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
30% ชั้นที่ 3	24.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
30% ชั้นที่ 4	23.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
30% ชั้นที่ 5	21.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
30% ชั้นที่ 6	22.0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

ตารางที่ ข.8 ผลการทดสอบความหนาแน่นโดยวิธีชั่งในน้ำ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ชั้นงาน	น้ำหนัก ก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลัง ต้มชั่งใน อากาศ (g)	น้ำหนักหลัง ต้มชั่งในน้ำ (g)	ปริมาตร ของชั้นงาน (cm ³)	Density (g/cm ³)	ร้อยละของ รูพรุน
0% ชั้นที่ 1	28.5	33.0	16.0	17.0	1.68	26.47
0% ชั้นที่ 2	24.5	28.0	13.0	15.0	1.63	23.33
0% ชั้นที่ 3	25.5	28.0	15.0	13.0	1.96	19.23
0% ชั้นที่ 4	26.0	30.5	11.0	19.5	1.33	23.08
0% ชั้นที่ 5	19.0	22.5	10.0	12.5	1.52	28.00
0% ชั้นที่ 6	23.0	27.0	11.0	16.0	1.44	25.00
5% ชั้นที่ 1	23.5	31.0	12.0	19.0	1.24	39.47
5% ชั้นที่ 2	25.5	31.0	17.0	14.0	1.82	39.29
5% ชั้นที่ 3	30.5	28.0	15.0	13.0	2.35	19.23
5% ชั้นที่ 4	23.0	29.0	14.0	15.0	1.53	40.00
5% ชั้นที่ 5	28.5	35.0	14.0	21.0	1.36	30.95
5% ชั้นที่ 6	25.0	32.5	15.0	17.5	1.43	42.86
10% ชั้นที่ 1	27.0	36.0	16.0	20.0	1.35	45.00
10% ชั้นที่ 2	23.5	32.0	15.0	17.0	1.38	50.00
10% ชั้นที่ 3	29.0	38.0	19.0	19.0	1.53	47.37
10% ชั้นที่ 4	27.0	35.0	13.0	22.0	1.23	36.36
10% ชั้นที่ 5	24.0	32.0	14.0	18.0	1.33	44.44
10% ชั้นที่ 6	20.5	27.5	13.0	14.5	1.41	48.28
15% ชั้นที่ 1	25.5	34.0	17.0	17.0	1.50	50.00
15% ชั้นที่ 2	23.0	31.0	16.0	15.0	1.53	53.33
15% ชั้นที่ 3	25.0	31.0	18.0	13.0	1.92	46.15
15% ชั้นที่ 4	24.5	31.0	14.0	17.0	1.44	38.24
15% ชั้นที่ 5	24.5	31.5	15.0	16.5	1.48	42.42
15% ชั้นที่ 6	26.0	34.5	19.0	15.5	1.68	54.84

ตารางที่ ข.8 (ต่อ) ผลการทดสอบความหนาแน่นโดยวิธีชั่งในน้ำ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

ชั้นงาน	น้ำหนัก ก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลัง ต้มชั่งใน อากาศ (g)	น้ำหนักหลัง ต้มชั่งในน้ำ (g)	ปริมาตร ของชั้นงาน (cm ³)	Density (g/cm ³)	ร้อยละของ รูพรุน
20% ชั้นที่ 1	29.0	43.0	23.0	20.0	1.45	70.00
20% ชั้นที่ 2	22.0	33.0	18.0	15.0	1.47	73.33
20% ชั้นที่ 3	27.5	41.0	21.0	20.0	1.38	67.50
20% ชั้นที่ 4	21.0	30.0	14.0	16.0	1.31	56.25
20% ชั้นที่ 5	22.0	32.0	15.0	17.0	1.29	58.82
20% ชั้นที่ 6	19.5	28.0	12.0	16.0	1.22	53.13
25% ชั้นที่ 1	24.0	34.0	19.0	15.0	1.60	66.67
25% ชั้นที่ 2	21.0	34.0	17.0	17.0	1.24	76.47
25% ชั้นที่ 3	24.5	34.0	18.0	16.0	1.53	59.38
25% ชั้นที่ 4	21.0	31.0	17.0	14.0	1.50	71.43
25% ชั้นที่ 5	19.5	32.0	15.0	17.0	1.15	73.53
25% ชั้นที่ 6	21.0	29.5	15.0	14.5	1.45	58.62
30% ชั้นที่ 1	14.5	23.0	12.0	11.0	1.32	77.27
30% ชั้นที่ 2	21.0	33.0	19.0	14.0	1.50	85.71
30% ชั้นที่ 3	22.0	33.0	19.0	14.0	1.57	78.57
30% ชั้นที่ 4	24.5	37.0	20.0	17.0	1.44	73.53
30% ชั้นที่ 5	22.0	33.8	19.0	14.8	1.49	79.66
30% ชั้นที่ 6	18.0	25.0	16.0	9.0	2.00	77.78

ตารางที่ ข.9 ผลการทดสอบความหนาแน่นโดยวิธีชั่งในน้ำ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

ชั้นงาน	น้ำหนัก ก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลัง ต้มชั่งใน อากาศ (g)	น้ำหนักหลัง ต้มชั่งในน้ำ (g)	ปริมาตร ของชั้นงาน (cm ³)	Density (g/cm ³)	ร้อยละของ รูพรุน
0% ชั้นที่ 1	12.5	16.0	8.0	8.0	1.56	43.75
0% ชั้นที่ 2	18.5	24.0	12.0	12.0	1.54	45.83
0% ชั้นที่ 3	19.0	24.0	10.0	14.0	1.36	35.71
0% ชั้นที่ 4	26.5	30.5	11.0	19.5	1.36	20.51
0% ชั้นที่ 5	22.5	26.0	11.0	15.0	1.50	23.33
0% ชั้นที่ 6	27.0	32.0	13.0	19.0	1.42	26.32
5% ชั้นที่ 1	23.0	26.0	11.0	15.0	1.53	20.00
5% ชั้นที่ 2	32.5	33.0	20.0	13.0	2.50	3.85
5% ชั้นที่ 3	28.0	33.0	17.0	16.0	1.75	31.25
5% ชั้นที่ 4	15.5	19.0	9.0	10.0	1.55	35.00
5% ชั้นที่ 5	23.0	27.5	13.0	14.5	1.59	31.03
5% ชั้นที่ 6	23.0	27.5	13.0	14.5	1.59	31.03
10% ชั้นที่ 1	25.0	33.0	16.0	17.0	1.47	47.06
10% ชั้นที่ 2	28.5	37.0	18.0	19.0	1.50	44.74
10% ชั้นที่ 3	21.5	27.0	15.0	12.0	1.79	45.83
10% ชั้นที่ 4	26.0	33.0	15.0	18.0	1.44	38.89
10% ชั้นที่ 5	24.5	30.5	15.0	15.5	1.58	38.71
10% ชั้นที่ 6	29.5	36.0	17.0	19.0	1.55	34.21
15% ชั้นที่ 1	20.0	27.0	15.0	12.0	1.67	58.33
15% ชั้นที่ 2	20.0	27.0	17.0	10.0	2.00	70.00
15% ชั้นที่ 3	22.5	35.0	20.0	15.0	1.50	83.33
15% ชั้นที่ 4	24.5	31.0	14.0	17.0	1.44	38.24
15% ชั้นที่ 5	17.5	22.5	11.0	11.5	1.52	43.48
15% ชั้นที่ 6	21.5	24.5	9.0	15.5	1.39	19.35

ตารางที่ ข.9 (ต่อ) ผลการทดสอบความหนาแน่นโดยวิธีชั่งในน้ำ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

ชั้นงาน	น้ำหนัก ก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลัง ต้มชั่งใน อากาศ (g)	น้ำหนักหลัง ต้มชั่งในน้ำ (g)	ปริมาตร ของชั้นงาน (cm ³)	Density (g/cm ³)	ร้อยละของ รูพรุน
20% ชั้นที่ 1	23.0	33.0	15.0	18.0	1.28	55.56
20% ชั้นที่ 2	20.5	27.0	15.0	12.0	1.71	54.17
20% ชั้นที่ 3	30.5	40.0	20.0	20.0	1.53	47.50
20% ชั้นที่ 4	25.0	34.5	13.0	21.5	1.16	44.19
20% ชั้นที่ 5	28.0	37.0	17.0	20.0	1.40	45.00
20% ชั้นที่ 6	23.0	32.0	19.0	13.0	1.77	69.23
25% ชั้นที่ 1	15.5	24.0	13.0	11.0	1.41	77.27
25% ชั้นที่ 2	23.0	35.0	21.0	14.0	1.64	85.71
25% ชั้นที่ 3	23.0	26.0	19.0	7.0	3.29	42.86
25% ชั้นที่ 4	22.0	31.0	14.0	17.0	1.29	52.94
25% ชั้นที่ 5	23.5	33.1	19.0	14.1	1.67	68.09
25% ชั้นที่ 6	20.5	28.5	15.0	13.5	1.52	59.26
30% ชั้นที่ 1	18.0	28.0	15.0	13.0	1.38	76.92
30% ชั้นที่ 2	19.5	28.0	18.0	10.0	1.95	85.00
30% ชั้นที่ 3	21.5	34.0	21.0	13.0	1.65	96.15
30% ชั้นที่ 4	25.0	37.0	18.0	19.0	1.32	63.16
30% ชั้นที่ 5	24.0	35.0	20.0	15.0	1.60	73.33
30% ชั้นที่ 6	21.0	31.0	19.0	12.0	1.75	83.33