



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ทุนวิจัย
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานผลการวิจัย
เรื่อง

การพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาชนิดดินแดง

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โดย
สุรศักดิ์ ไวทยวงศ์สกุล
วีระ ชูกระชั้น

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กุมภาพันธ์ ๒๕๕๒

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนวิจัย
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาชนิดดินแดง

โดย

สุรศักดิ์ ไททองวงศ์สกุล

วีระ ชูกระชั้น

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ

กุมภาพันธ์ 2552

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาชนิดดินแดง ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากกองทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทางคณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณเจ้าหน้าที่จากสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความเอื้อเฟื้อในด้านสถานที่และอุปกรณ์ในการดำเนินงาน ตลอดจนข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ยิ่งแก่โครงการนี้จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

กุมภาพันธ์ 2552



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

| | หน้า |
|--|-----------|
| กิตติกรรมประกาศ | i |
| บทคัดย่อภาษาไทย | ii |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | iii |
| รายการตารางประกอบ | v |
| รายการรูปประกอบ | viii |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาของโครงการ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| บทที่ 2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| 2.1 การขึ้นรูปโดยการเทแบบ | 4 |
| 2.2 ดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่ | 6 |
| บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง | 13 |
| 3.1 อุปกรณ์การทดลอง | 13 |
| 3.2 วัสดุดิบและสารเคมี | 13 |
| 3.3 ขั้นตอนการทำงาน | 17 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง | 20 |
| 4.1 สมบัติของน้ำดิน | 20 |
| 4.2 สมบัติของแห้งดิน | 26 |
| บทที่ 5 สรุปผล | 30 |
| เอกสารอ้างอิง | 31 |
| ภาคผนวก | 32 |

รายการตารางประกอบ

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่ | 7 |
| 2.2 สมบัติทางกายภาพของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่ | 8 |
| 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่ | 9 |
| 2.4 สมบัติหลังเผาของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่ | 11 |
| 2.5 สีของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่ ทั้งก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ | 12 |
| 3.1 ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในการทดลองครั้งนี้ | 18 |
| 4.1 ความหนืดและความถ่วงจำเพาะของน้ำดินที่เตรียมจากเนื้อดินปั้นแต่ละสูตร | 20 |
| 4.2 อัตราการเทแบบของน้ำดินแต่ละสูตรที่เวลาต่างๆ กัน | 22 |
| 4.3 สมบัติก่อนและหลังเผาของแท่งดินจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% ที่เตรียมจาก น้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55% | 27 |
| 4.4 สมบัติก่อนและหลังเผาของแท่งดินจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 75% และทราย 25% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55% | 27 |
| ผ.1 ความหนืดของตัวอย่างเนื้อดินปั้นที่ใช้ดิน 100% | 32 |
| ผ.2 ความหนืดของตัวอย่างเนื้อดินปั้นที่ใช้ดิน 75% และทราย 25% | 32 |
| ผ.3 ความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างเนื้อดินปั้นที่ใช้ดิน 100% | 32 |
| ผ.4 ความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างเนื้อดินปั้นที่ใช้ดิน 75% และทราย 25% | 33 |
| ผ.5 ความหนาของชั้นงานและร้อยละความชื้นของชั้นงานสูตรที่ 1 ที่เวลาต่างกัน | 33 |
| ผ.6 ความหนาของชั้นงานและร้อยละความชื้นของชั้นงานสูตรที่ 2 ที่เวลาต่างกัน | 34 |
| ผ.7 ความหนาของชั้นงานและร้อยละความชื้นของชั้นงานสูตรที่ 3 ที่เวลาต่างกัน | 34 |
| ผ.8 ความหนาของชั้นงานและร้อยละความชื้นของชั้นงานสูตรที่ 4 ที่เวลาต่างกัน | 35 |
| ผ.9 ความหนาของชั้นงานและร้อยละความชื้นของชั้นงานสูตรที่ 5 ที่เวลาต่างกัน | 35 |
| ผ.10 ความหนาของชั้นงานและร้อยละความชื้นของชั้นงานสูตรที่ 6 ที่เวลาต่างกัน | 36 |
| ผ.11 การหดตัวและน้ำหนักที่หายไปของชั้นงานหลังการอบแห้งของเนื้อดินปั้นที่มี ดิน 100% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55% | 36 |
| ผ.12 การหดตัวและน้ำหนักที่หายไปของชั้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ของเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มี ปริมาณของแข็ง 55% | 37 |

รายการรูปประกอบ

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 วิธีการเทแบบ (1) การเทแบบชนิดกลวง (2) การเทแบบชนิดตัน | 4 |
| 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเทแบบและเวลา | 6 |
| 2.3 ผลวิเคราะห์แร่วิทยาของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่ ด้วยเครื่อง XRD | 7 |
| 2.4 กราฟการกระจายขนาดของอนุภาคดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่ | 9 |
| 2.5 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่ | 10 |
| 2.6 กราฟแสดงสมบัติหลังเผาของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่ | 11 |
| 3.1 เครื่องบด roll crusher | 14 |
| 3.2 ตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช | 14 |
| 3.3 เครื่องบดผสมชนิดราง | 15 |
| 3.4 เครื่องวัดความเหนียวแบบบรูคฟิลด์ | 15 |
| 3.5 เตาอบ | 16 |
| 3.6 เตาเผา 1500°C | 16 |
| 3.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก ความละเอียด 2 ตำแหน่ง | 17 |
| 3.8 เครื่องทดสอบความแข็งแรงแบบ Universal testing machine | 17 |
| 4.1 ความเหนียวและความถ่วงจำเพาะของน้ำดินที่ประกอบด้วยดิน 100% ที่ปริมาณ ของแข็งต่างๆ กัน | 21 |
| 4.2 ความเหนียวและความถ่วงจำเพาะของน้ำดินที่ประกอบด้วยดิน 75% ททราย 25% ที่ปริมาณของแข็งต่างๆ กัน | 21 |
| 4.3 อัตราการเทแบบของเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% ที่มีปริมาณของแข็งต่างๆ กัน | 23 |
| 4.4 อัตราการเทแบบของเนื้อดินปั้นที่ประกอบด้วยดิน 75% ททราย 25% ที่มีปริมาณ ของแข็งต่างๆ กัน | 23 |
| 4.5 อัตราการเทแบบของเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% และดิน 75% ททราย 25% ที่มีปริมาณ ของแข็ง 50% | 24 |
| 4.6 อัตราการเทแบบของเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% และดิน 75% ททราย 25% ที่มีปริมาณ ของแข็ง 50% | 24 |
| 4.7 ความหนาของถ้วยตัวอย่างจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% และดิน 75% ททราย 25% ที่ปริมาณของแข็ง 60% | 25 |

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.8 ลักษณะการโค้งงอตัวของชิ้นงาน | 26 |
| 4.9 การหดตัวของแท่งดินที่ขึ้นรูปจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% และดิน 75% ทราาย 25% ที่ปริมาณของแข็ง 55% และเผาที่อุณหภูมิ 900-1200 องศาเซลเซียส | 28 |
| 4.10 น้ำหนักที่หายไปของแท่งดินที่ขึ้นรูปจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% และดิน 75% ทราาย 25% ที่ปริมาณของแข็ง 55% และเผาที่อุณหภูมิ 900-1200 องศาเซลเซียส .. | 28 |
| 4.11 ความแข็งแรงของแท่งดินที่ขึ้นรูปจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% และดิน 75% ทราาย 25% ที่ปริมาณของแข็ง 55% และเผาที่อุณหภูมิ 900-1200 องศาเซลเซียส .. | 29 |
| 4.12 การดูดซึมน้ำของแท่งดินที่ขึ้นรูปจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% และดิน 75% ทราาย 25% ที่ปริมาณของแข็ง 55% และเผาที่อุณหภูมิ 900-1200 องศาเซลเซียส .. | 29 |



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ปัจจุบันรัฐบาลให้ความสำคัญในการสนับสนุนวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SME) เป็นอย่างมาก เนื่องจากวิสาหกิจระดับนี้ใช้เงินลงทุนต่ำและมักอาศัยเทคโนโลยีในการผลิตในระดับไม่สูงนัก จึงทำให้บุคคลธรรมดาที่มีความสนใจสามารถเป็นผู้ประกอบการได้ ขณะเดียวกันก็ช่วยให้เกิดการกระจายรายได้และการจ้างงานในชนบทเพิ่มขึ้น อันเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศในระดับรากหญ้า จึงได้มีโครงการต่างๆ เกี่ยวกับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมเกิดขึ้นอย่างมากมาย ไม่ว่าจะเป็นโครงการด้านการสนับสนุนเงินทุนและเทคโนโลยีให้กับผู้ประกอบการ รวมถึงการแสวงหาตลาดใหม่ๆ ให้กับผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาซึ่งเป็นภูมิปัญญาของคนไทยที่ได้มีการผลิตสืบทอดต่อเนื่องกันมาถึงปัจจุบัน การผลิตสินค้าเครื่องปั้นดินเผาได้แพร่กระจายไปยังพื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศมากมาย หลายกลุ่มหลายพื้นที่ โดยยังคงรักษาเอกลักษณ์ที่โดดเด่นของตนเอง ประสานกับการนำปัจจัยการผลิตในแต่ละท้องถิ่นมาแปรรูปเพิ่มมูลค่าให้สูงขึ้น เช่น การใช้ดินพื้นบ้านในท้องถิ่นเป็นหลัก กระบวนการผลิต การขึ้นรูปอย่างง่าย การเผาแบบพื้นบ้าน เป็นต้น ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมและพัฒนาภูมิปัญญาของกลุ่มชุมชนที่ทำการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาให้สามารถพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะของท้องถิ่นเข้าสู่มาตรฐานสากล เพื่อขยายขอบเขตของตลาดให้มากยิ่งขึ้น สนับสนุนการสร้างงาน เพิ่มรายได้ ขยายโอกาส สร้างความแข็งแกร่งให้กับชุมชน จึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะต้องมีการเสริมสร้างศักยภาพ และยกระดับกระบวนการผลิตมาตรฐานและคุณภาพสินค้าผลิตภัณฑ์ เครื่องปั้นดินเผากลุ่มเป้าหมาย โดยอาศัยหลักการของ OTOP ช้างต้น เสริมกับการใช้เทคนิคความรู้สมัยใหม่ แนวทางการออกแบบ และรวมถึงการบริหารจัดการที่เหมาะสม เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพได้ตามมาตรฐานที่ตลาดทั้งในและต่างประเทศต้องการ

เครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านส่วนใหญ่ใช้ดินแดงเป็นองค์ประกอบสำคัญ เนื่องจากมันมีราคาถูก หาได้ง่ายในแทบทุกพื้นที่ของประเทศไทย มีจุดสูกตัวค่อนข้างต่ำในระดับที่ชาวบ้านในหมู่บ้านหัตถกรรมสามารถเผาให้สุกตัวได้ ปัจจุบันในการขึ้นรูปเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านส่วนใหญ่ยังใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยการปั้น อย่างไรก็ตาม กระบวนการปั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของเวลา รวมถึงความชำนาญของผู้ปั้นซึ่งนับวันจะหาได้ยากขึ้นทุกที จึงเกิดแนวคิดที่จะนำดินแดงมาขึ้นรูปด้วยวิธีการเท

แบบ ซึ่งเป็นวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่ทำได้ง่ายและรวดเร็ว ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างและขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ และสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปทรงต่างๆ กันได้มากมาย แต่การนำดินแดงมาทำเป็นน้ำดินสำหรับเทแบบนี้ยังมีข้อที่ต้องปรับปรุงอีกหลายประการ เช่น ความเหนียว การหดตัวเมื่อแห้ง ฯลฯ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ก่อนที่จะนำความรู้ที่ได้ไปสู่การผลิตจริง

สำหรับในงานวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชนิดเนื้อดินแดงโดยวิธีการเทแบบ โดยเลือกดินเหนียวบ้านแพะสันใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นดินเหนียวที่ใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาของบ้านเหมืองกุง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นดินเหนียวที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาวิธีการปรับปรุงดินแดงบ้านแพะสันใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ให้สามารถนำมาใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาด้วยวิธีการเทแบบ (slip casting)

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้และเทคนิคในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาด้วยกระบวนการเทแบบ ซึ่งจะเป็นผลงานอ้างอิงและเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยในอนาคต
2. สามารถนำความรู้ไปปรับใช้กับการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ใช้ดินแดงเป็นองค์ประกอบหลักในทั้งในระดับหมู่บ้านหัตถกรรมและในระดับอุตสาหกรรม
3. สามารถเผยแพร่ผลงานในสิ่งตีพิมพ์ หรือเอกสารทางวิชาการระดับชาติได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับเนื้อดินปั้นที่จะศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้จะเน้นที่เนื้อดินปั้นชนิดดินแดง ซึ่งมีจุดเด่นหลายประการ คือ มีราคาถูก หาได้ง่ายในแทบทุกพื้นที่ มีจุดศูนย์กลางที่อุณหภูมิต่ำในระดับที่เตาของชาวบ้านในหมู่บ้านหัตถกรรมสามารถเผาให้สุกตัวได้ง่าย ซึ่งได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินแดงมาขึ้นรูปด้วยการเทแบบ เช่น งานของยุคล มัณฑะจิตร และ ชาญ จรรยาวิชย์ ได้ศึกษาการเทแบบของดินจากแหล่งดอนไฟ จ.ลำปาง พบว่า ดินดอนไฟสามารถเตรียมเป็นน้ำดินได้ง่าย มีการไหลตัวดีโดยไม่ต้องใช้สารช่วยการกระจายลอยตัวมากนัก (ไม่ถึง 0.1%) มีอัตราการเทแบบ (casting rate) ที่ 10 นาที ได้ความหนา 2.52 มิลลิเมตร และที่ 30 นาที เท่ากับ 4.23 มิลลิเมตร ซึ่งเหมาะกับการขึ้นรูปด้วยการเทแบบ

งานวิจัยของสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมน้ำดินจากดินแดงจากแหล่งต่างๆ ของประเทศไทย พบว่าดินส่วนใหญ่สามารถทำเป็นน้ำดินได้ง่าย มีการไหลตัวดี ยกเว้นดินจากบ้านเชียงเครือ จ.สกลนคร ซึ่งมีส่วนผสมของแร่ดินกลุ่มสเมกไทต์มาก จึงทำให้น้ำดินที่ได้ข้นและหนืด ต้องใช้สารช่วยการกระจายลอยตัวมากจึงจะสามารถเกิดการกระจายลอยตัวได้ดีพอที่จะเทแบบได้ และงานวิจัยเดียวกันนี้ยังได้ศึกษาถึงการปรับปรุงเนื้อดินปั้นที่ทำจากดินแดงโดยใช้ส่วนผสมที่หาได้ง่าย เช่น ทราย ดินเผา เป็นต้น รวมถึงการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยพัฒนาจากผลิตภัณฑ์รูปแบบเดิมให้มีความน่าสนใจและดึงดูดใจผู้บริโภคมากกว่าเดิมอีกด้วย

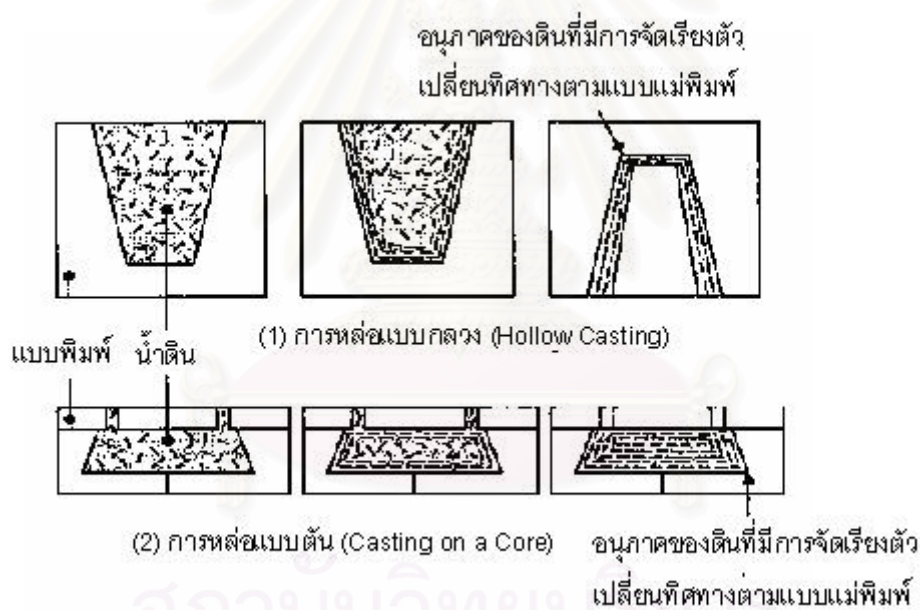
งานวิจัยของกรมวิทยาศาสตร์บริการ ร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และสมาคมเครื่องเคลือบดินเผาราชบุรี (2544) ได้ศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาของจังหวัดราชบุรีด้วยวิธีการเทแบบ โดยใช้ดินเหนียวราชบุรีผสมกับดินขาวนราธิวาสและแร่ฟันม้าในการเตรียมน้ำดินสำหรับการเทแบบ ซึ่งพบว่าสามารถเทแบบได้ดี เเผาที่อุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียส ได้เนื้อผลิตภัณฑ์สโตนแวร์สีน้ำตาล ซึ่งสามารถนำมาตกแต่งด้วยการเคลือบได้อย่างหลากหลาย อาทิ เคลือบใส เคลือบทึบ หรือเคลือบด้าน

2.1 การขึ้นรูปโดยการเทแบบ

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยวิธีการเทแบบ (slip casting) หมายถึงการขึ้นรูปโดยการผสมเนื้อดินปั้นกับน้ำ เป็นวิธีการขึ้นรูปที่สะดวกรวดเร็ว สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างหลากหลาย และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสม่ำเสมอ ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยการเทแบบ เช่น สุขภัณฑ์ของชำร่วย และเครื่องประดับ ตกแต่ง รวมถึงโรงงานผลิตเครื่องโต๊ะอาหารบางประเภท กระบวนการเทแบบอาจแบ่งได้เป็น 2 แบบ ดังรูปที่ 2.1 ได้แก่

1. การเทแบบชนิดตัน (solid casting) เป็นการเทแบบโดยนำดินแข็งตัวอยู่ในแบบ ซึ่งเหมาะสมกับการเทแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาและมีรูปร่างแปลก ๆ

2. การเทแบบชนิดกลวง (drain casting) เป็นการเทแบบโดยการเทน้ำดินที่เหลือทิ้งเมื่อได้ความหนาที่ต้องการซึ่งเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผนังบาง และต้องการความหนาแน่นอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 2.1 วิธีการเทแบบ (1) การเทแบบชนิดกลวง (2) การเทแบบชนิดตัน

ในการขึ้นรูปด้วยการเทแบบนี้ การที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี ใช้ระยะเวลาในการปฏิบัติงานเหมาะสม และสามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้น จำเป็นที่จะต้องควบคุมสมบัติของน้ำดินให้ได้ตามมาตรฐานที่ต้องการ น้ำดินที่ดีควรใช้น้ำผสมให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อความรวดเร็วในการเทแบบและการทำให้แห้ง รวมถึงผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่น ความแข็งแรงสูง การหดตัวต่ำและบิดเบี้ยวน้อย แต่ก็จะต้องมีการไหลตัวดีเช่นเดียวกัน เพื่อให้สามารถเข้าถึงทุก

ชอกมูมของแบบ เทน้ำดินออกจากแบบได้ง่าย ทำให้ผลผลิตภัณฑ์ด้านในเรียบสม่ำเสมอ การปรับปรุงสมบัติน้ำดินอาจทำได้โดยการเติมสารเคมีที่สามารถแตกตัวให้อนุมูลบวกที่มีประจุบวกหนึ่ง เช่น โซเดียมซิลิเกต แอมโมเนียมโพลิอะคริเลต เพื่อให้อนุภาคดินเกิดการกระจายลอยตัวที่ดี ในการควบคุมคุณภาพน้ำดินให้มีสมบัติที่ดีตามต้องการนั้น ควรจะต้องมีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ความถ่วงจำเพาะของน้ำดิน
2. ชนิดและปริมาณสารช่วยกระจายลอยตัวที่ใช้
3. ชนิดและปริมาณของวัตถุบิที่อยู่ในน้ำดิน
4. การกระจายความละเอียดของอนุภาค
5. ชนิดและจำนวนสารอินทรีย์ในน้ำดิน
6. สภาพและชนิดของแบบพิมพ์
7. อุณหภูมิของน้ำดิน
8. ประสิทธิภาพ และระยะเวลาในการผสมน้ำดิน

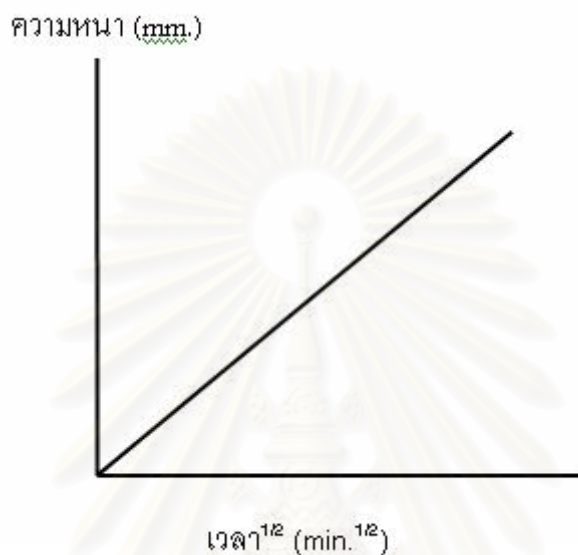
แบบ (mould) สำหรับการขึ้นรูป โดยส่วนใหญ่จะทำจากปูนพลาสติก เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ คือ

1. สามารถรักษารายละเอียดต่างๆ ของแม่แบบไว้ได้
2. แบบจะมีความคงทนทั้งคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ เป็นระยะเวลานาน
3. เราสามารถที่จะทำให้แบบมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ตามที่ต้องการ รูพรุนในเนื้อแบบไม่ดูดยึดเนื้อดินไว้แน่น ทำให้ผลผลิตภัณฑ์หลุดจากแบบได้ง่าย
4. แบบที่สร้างขึ้นจะมีผิวเรียบและคงทน
5. สามารถรักษาคุณสมบัติทางเคมีและทางภาพของแบบให้คงที่และสม่ำเสมอ
6. วัสดุที่มีคุณสมบัติเหมือนปูนไม่สามารถเข้าไปอุดรูพรุนในแบบได้ง่ายๆ
7. มีราคาถูก

สัดส่วนของน้ำและปูนพลาสติกที่ใช้การทำแบบมีส่วนสำคัญต่อสมบัติของแบบปูนที่ได้ การใช้น้ำมากเกินไปจะทำให้แบบมีรูพรุนมากและไม่แข็งแรง แต่หากใช้น้ำน้อยเกินไปอาจจะทำให้ น้ำปูนหนืดและเก็บรายละเอียดของแบบไม่ครบถ้วน การผสมปูนพลาสติกสำหรับทำแบบ โดยมากจะใช้อัตราส่วนระหว่างปูนพลาสติกต่อน้ำ (100:70) แบบหล่อที่ได้มีความพรุนตัวประมาณ 40%

ในระหว่างการเทแบบนี้ เมื่อเทน้ำดินลงในแบบ แบบซึ่งมีรูพรุนจะกลายเป็นตัวดูดน้ำออกจากส่วนผสมของน้ำดิน ทำให้ผนังแบบพิมพ์มีอนุภาคของแข็งที่เป็นวัตถุบิในส่วนผสมของน้ำ

ดินก่อตัวขึ้นเป็นชั้นบาง ๆ และมีความแน่นขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป การถ่ายเทน้ำจากน้ำดินไปยังแบบพิมพ์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ผนังของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น แบบปูนพลาสเตอร์จะเปื่อยขึ้นมากขึ้น การเพิ่มความหนาของผนังผลิตภัณฑ์ หรือเรียกว่าอัตราการหล่อนี้ จะเป็นปฏิภาคกับรากที่สองของเวลา ตามรูปที่ 2.2



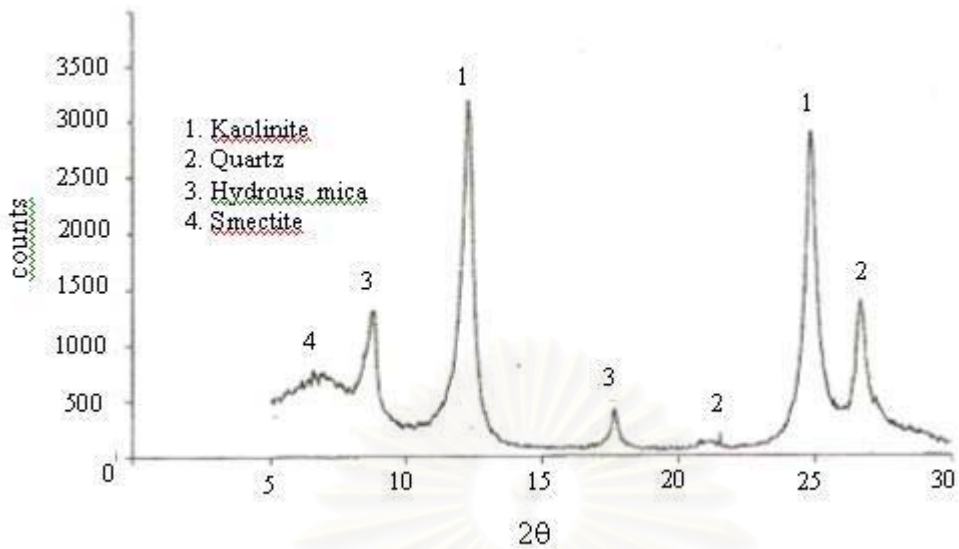
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเทแบบและเวลา

2.2 ดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่

ดินเหนียวบ้านแพะสันใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นดินเหนียวที่ใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาของบ้านเหมืองกุง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งจากการวิเคราะห์โดยสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2546) มีสมบัติต่างๆ ดังนี้

2.2.1 ผลศึกษาทางแร่วิทยา

รูปที่ 2.3 แสดงผลการศึกษาแร่วิทยาของดินบ้านแพะสันใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ จากภาพแสดงให้เห็นว่าดินเชียงใหม่ประกอบด้วยเคโอลิไนต์เป็นองค์ประกอบหลัก และมีควอร์ตซ์ ไฮดรอกไซด์ไมก้า และสเมคไทต์



รูปที่ 2.3 ผลการวิเคราะห์แร่วิทยาของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่ ด้วยเครื่อง XRD

2.2.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ตารางที่ 2.1 แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่ พบว่ามีซิลิกาสูงถึง 63.09% จัดเป็น Siliceous Clay มีปริมาณเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) 4.55% จึงทำให้ดินที่เผาแล้วมีสีแดง ปริมาณสารช่วยหลอมตัว คือ MgO มี 0.93 % และ K_2O มี 3.44% ซึ่งถือว่าค่อนข้างสูง แต่ Na_2O มีเพียง 0.12% และ CaO มีเพียง 0.27% ถือว่าไม่สูงมาก การมีสารช่วยหลอมตัวค่อนข้างสูงทำให้ดินมีจุดสุกตัวต่ำ สามารถเผาให้เนื้อแกร่งได้ในระดับอุณหภูมิการเผาด้วยเตาแบบพื้นบ้าน สำหรับค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังเผา เท่ากับ 5.10% ซึ่งนับว่าต่ำเมื่อเทียบกับดินเหนียวจากแหล่งอื่นๆ ที่ส่วนใหญ่จะมีค่ามากกว่า 10% การที่ดินบ้านแพะสันใหม่

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่

| | | | | | | | |
|------------|---------|-----------|-----------|---------|---------|-------|--------|
| ออกไซด์ | SiO_2 | Al_2O_3 | Fe_2O_3 | TiO_2 | Na_2O | MgO | K_2O |
| ปริมาณ (%) | 63.09 | 20.93 | 4.55 | 0.65 | 0.12 | 0.93 | 3.44 |
| ออกไซด์ | CaO | SO_3 | P_2O_5 | MnO | CuO | ZnO | LOI |
| ปริมาณ (%) | 0.27 | 0.00 | 0.10 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 5.10 |

2.2.3 สมบัติทางกายภาพ

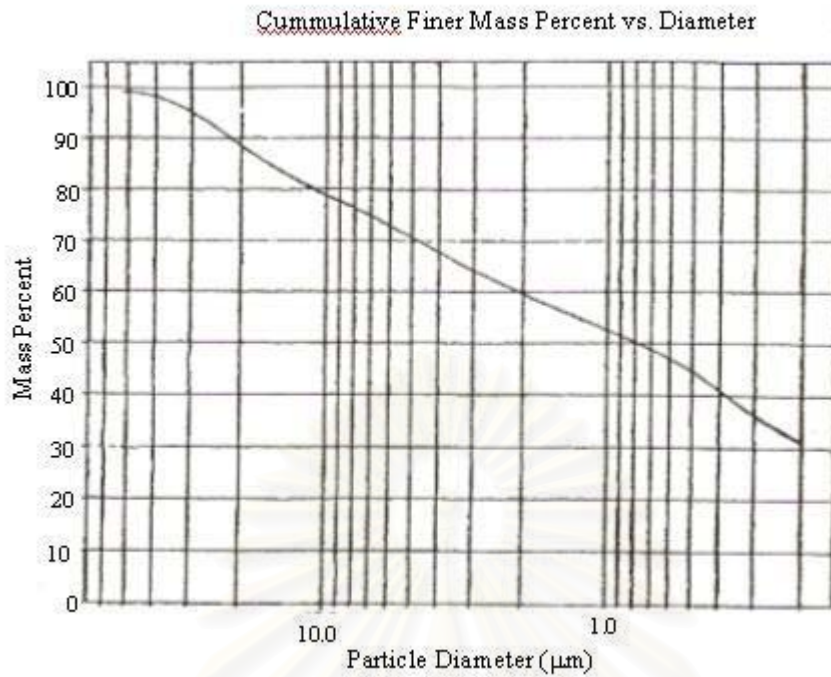
ตารางที่ 2.2 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่ พบว่ามีกากค้ำตะแกรง 100 เมชสูงถึง 19.73% แสดงว่าเป็นดินที่มีกากหยาบสูง ส่วนใหญ่จะเป็นพวกกรวด เม็ดทราย ขนาดต่างๆ ค่าเมทิลลีนบลูอินเดกซ์ 7.33 meq/100 g ซึ่งค่อนข้างต่ำ แสดงว่าเป็นดินที่มีความละเอียดไม่มากนัก

2.2.4 สัมประสิทธิ์การขยายตัว

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่ ที่อุณหภูมิต่างๆ กัน พบว่าดินจะมีการขยายตัวมากในช่วงอุณหภูมิ 100-600°C จากนั้นการขยายจะเริ่มลดลง และหดตัวตั้งแต่อุณหภูมิ 800°C เป็นต้นไป

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่

| สมบัติ | ขนาด | เปอร์เซ็นต์สะสม |
|---------------------------|----------------------------|-----------------|
| กากค้ำตะแกรง | ค้ำตะแกรง 100 เมช | 19.73 |
| | ค้ำตะแกรง 200 เมช | 30.88 |
| | ค้ำตะแกรง 325 เมช | 37.44 |
| การกระจายขนาดของอนุภาคดิน | เล็กกว่า 20 μm | 88.60 |
| | เล็กกว่า 10 μm | 78.90 |
| | เล็กกว่า 5 μm | 70.80 |
| | เล็กกว่า 2 μm | 59.70 |
| | เล็กกว่า 1 μm | 52.50 |
| | เล็กกว่า 0.5 μm | 44.70 |
| | เล็กกว่า 0.4 μm | 41.10 |
| | เล็กกว่า 0.3 μm | 36.30 |
| | เล็กกว่า 0.2 μm | 31.50 |
| เมทิลลีนบลู อินเดกซ์ | | 7.33 meq/100 g |



รูปที่ 2.4 กราฟการกระจายขนาดของอนุภาคดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่

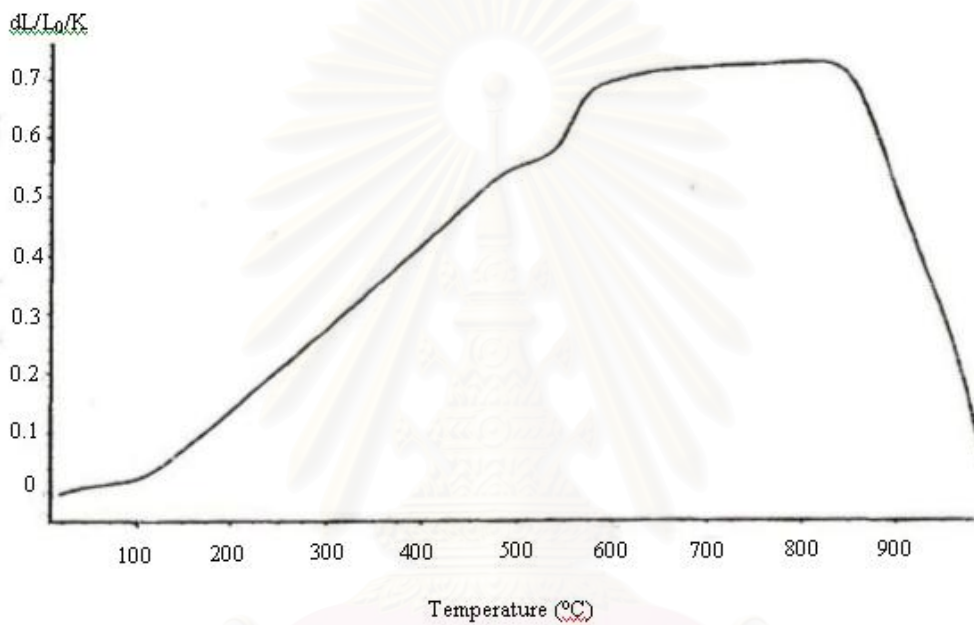
ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่

| 7อุณหภูมิ (°C) | สัมประสิทธิ์การขยายตัวของดินบ้านแพะสันใหม่ ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) |
|----------------|---|
| 20-100 | 3.21 |
| 100-200 | 11.43 |
| 200-300 | 13.78 |
| 300-400 | 14.26 |
| 400-500 | 13.16 |
| 500-600 | 14.39 |
| 600-700 | 2.37 |
| 700-800 | 0.80 |
| 800-900 | - 21.55 |
| 900-990 | - 50.09 |

2.2.5 สมบัติทางเซรามิก

(1) สมบัติหลังการเผา

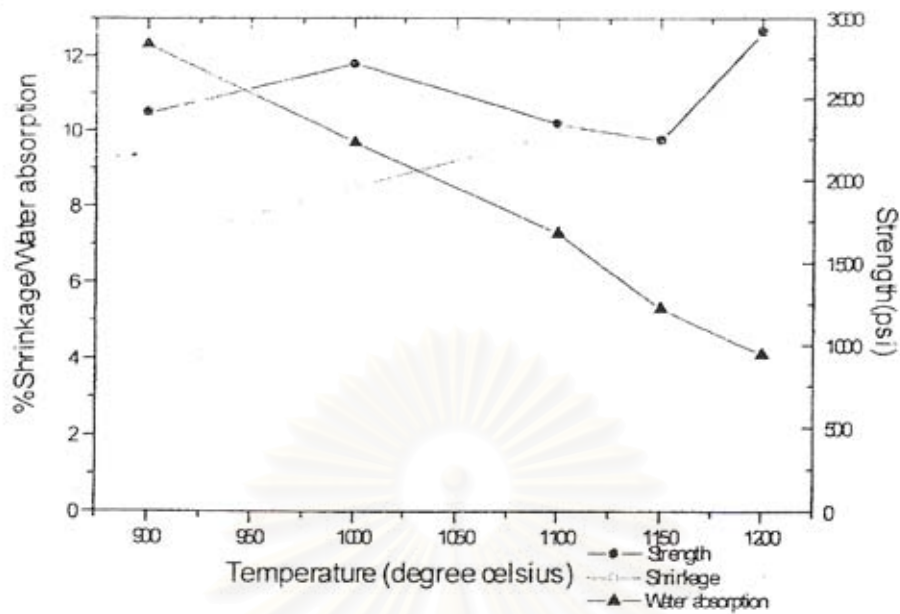
ตารางที่ 2.4 แสดงสมบัติหลังการเผาของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่ พบว่ามีการหดตัวสูงถึง 7.04% เมื่อเผาที่ 900°C และการหดตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่อเผา อุณหภูมิสูงขึ้น ขณะที่การดูดซึมน้ำจะมีแนวโน้มตรงกันข้าม ส่วนความแข็งแรงหลังเผาจะสูงที่สุดที่ อุณหภูมิ 1200°C คือ 2917 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์ภาพการขยายตัวที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่

ตารางที่ 2.4 สมบัติหลังเผาของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่

| สมบัติ | อุณหภูมิ (°C) | | | | |
|-----------------------------|---------------|-----------|-----------|------------|------------|
| | 900 | 1000 | 1100 | 1150 | 1200 |
| การหดตัวหลังเผา (%) | 7.04±0.15 | 8.48±0.21 | 9.93±0.28 | 10.38±0.22 | 10.78±0.34 |
| การดูดซึมน้ำ (%) | 12.31±0.11 | 9.67±0.13 | 7.29±0.18 | 5.31±0.26 | 4.10±0.39 |
| ความแข็งแรงหลังการเผา (psi) | 2416±155 | 2719±279 | 2351±282 | 2249±421 | 2917±397 |



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงสมบัติหลังเผาของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่

(2) สีดินก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 2.5 แสดงสีของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่ ทั้งก่อนเผาและหลังการเผาที่อุณหภูมิ 900-1200°C พบว่าค่า L จะลดลงตามอุณหภูมิในการเผา ในขณะที่ค่า a เมื่อเผาแล้วจะสูงขึ้นกว่าดินที่ยังไม่เผา ขณะที่ค่า b ของดินก่อนเผาและหลังเผามีค่าใกล้เคียงกัน แต่จะลดลงเมื่อเผาถึงอุณหภูมิ 1150°C ขึ้นไป สีของดินดิบมีสีเหลืองอมน้ำตาล แต่เมื่อเผาแล้วจะสีส้ม และเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้มเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.5 สีของดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่ ทั้งก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

| รายการ | ค่า | | | สีที่สังเกตด้วยตา |
|--------------|------------|------------|------------|-------------------|
| | L | a | b | |
| สีก่อนเผา | 66.95±0.25 | 1.94±0.092 | 29.05±0.43 | เหลืองอมน้ำตาล |
| สีดินหลังเผา | | | | |
| 900°C | 59.30±0.34 | 19.74±0.27 | 28.93±0.46 | ส้ม |
| 1000°C | 57.34±0.46 | 20.48±0.21 | 30.80±0.26 | ส้ม |
| 1100°C | 52.54±0.98 | 21.45±0.24 | 29.57±1.00 | ส้มอมแดง |
| 1150°C | 46.10±1.13 | 19.52±0.71 | 22.55±1.18 | แดง |
| 1200°C | 41.62±0.29 | 13.87±0.21 | 13.65±0.16 | แดงเข้ม |

L* เป็นค่าที่แสดงถึงความสว่างของตัวอย่าง โดยที่

L = 0 หมายถึงตัวอย่างมีสีดำอย่างสมบูรณ์ L = 100 หมายถึงตัวอย่างสีขาวอย่างสมบูรณ์

a* เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือเขียวของตัวอย่าง

ค่า a เป็นบวก แสดงว่าตัวอย่างนั้นมีสีออกไปทางสีแดง ค่า a เป็นลบ แสดงว่ามีสีออกไปทางสีเขียว

b* เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงินของตัวอย่าง

ค่า b เป็นบวก แสดงว่าตัวอย่างนั้นมีสีออกไปทางสีเหลือง ค่า b เป็นลบ แสดงว่ามีสีออกไปทางสีน้ำเงิน

โดยสรุปแล้ว ดินบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่ เป็นดินที่มีความเหนียวดี เมื่อขึ้นรูปแล้วสามารถคงรูปอยู่ได้ มีการกระจายตัวของอนุภาคที่เหมาะสม มีอนุภาคขนาดใหญ่ในสัดส่วนสูงพอสมควร ซึ่งจะช่วยให้การอัดตัวของเนื้อดินนั้นไม่แน่นจนเกินไป มีรูพรุนที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ ซึ่งเหมาะสำหรับการขึ้นรูปด้วยการเทแบบ

บทที่ 3

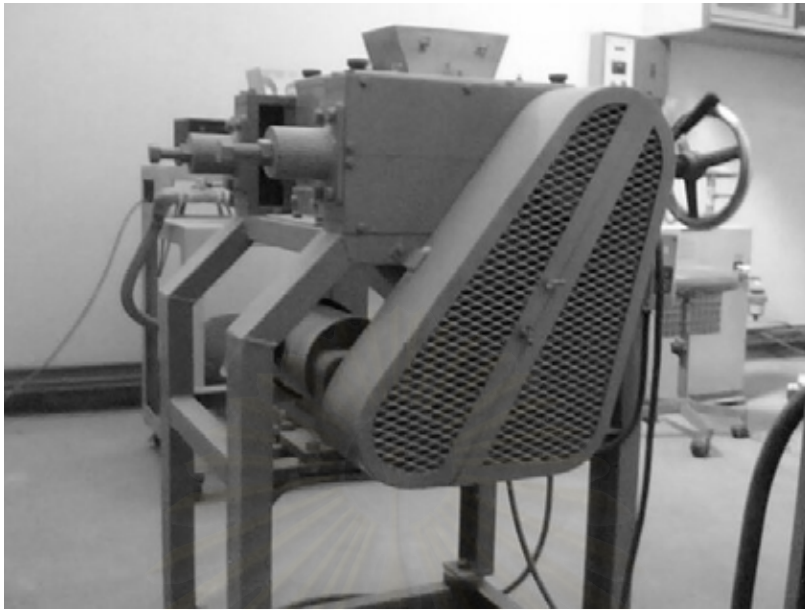
ขั้นตอนการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องบด roll crusher (รูปที่ 3.1) สำหรับบดย่อยดินวัตถุดิบให้มีความละเอียดในระดับมิลลิเมตร
2. ตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช (รูปที่ 3.2) สำหรับร่อนดินวัตถุดิบให้ได้ขนาดตามต้องการ
3. เครื่องบดผสมชนิดราง (รูปที่ 3.3) สำหรับเตรียมดินวัตถุดิบให้อยู่ในรูปของน้ำสลิป
4. เครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์ (รูปที่ 3.4) สำหรับวัดความหนืดของน้ำสลิป
5. เตาอบ (รูปที่ 3.5) สำหรับอบแห้งชิ้นงานทดสอบให้แห้งสนิท
6. เตาเผาที่สามารถเผาได้ถึงอุณหภูมิ 1500°C (รูปที่ 3.6) สำหรับเผาแห้งชิ้นงานทดสอบ
7. เวอร์เนียคาลิเปอร์ สำหรับวัดความหนาของถ้วยทดสอบเพื่อวัดอัตราการเทแบบ และวัดความยาวแห้งชิ้นงานทดสอบเพื่อวัดการหดตัว
8. เครื่องชั่งน้ำหนัก ความละเอียด 2 ตำแหน่ง (รูปที่ 3.7) สำหรับชั่งน้ำหนักน้ำดินเพื่อหาความหนาแน่น และชั่งน้ำหนักแห้งชิ้นงานทดสอบเพื่อหาปริมาณน้ำในแห้งชิ้นงานทดสอบ
9. เครื่องทดสอบความแข็งแรงแบบ Universal testing machine (รูปที่ 3.8) สำหรับความแข็งแรงดัดของแห้งชิ้นงานทดสอบ

3.2 วัตถุดิบและสารเคมี

1. ดินเหนียว จากบ้านแพะสันใหม่ จ.เชียงใหม่
2. ทรายบด
2. น้ำกลั่น
3. ปูนพลาสเตอร์สำหรับทำแบบที่ใช้ในการขึ้นรูป



รูปที่ 3.1 เครื่องบด roll crusher



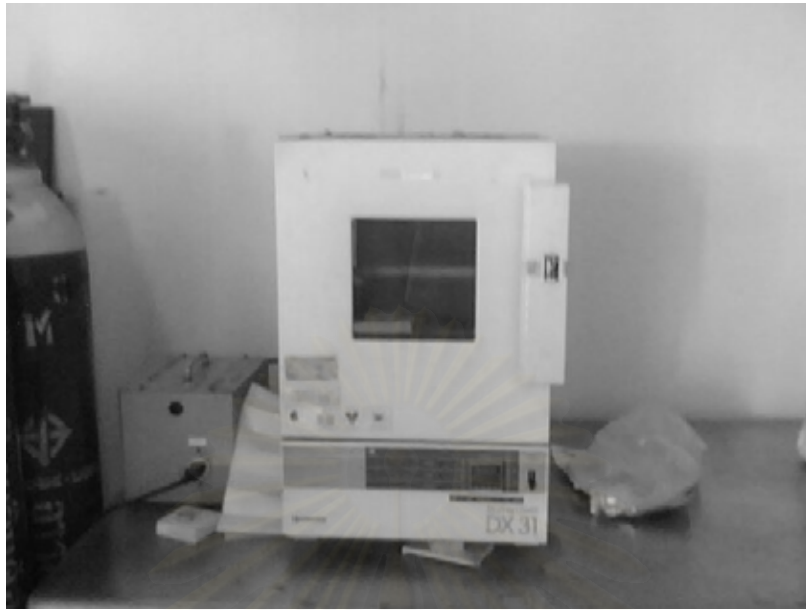
รูปที่ 3.2 ตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช



รูปที่ 3.3 เครื่องบดผสมชนิดราง



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดความชื้นแบบรูคฟิลด์



รูปที่ 3.5 เตาอบ



รูปที่ 3.6 เตาเผา 1500°C



รูปที่ 3.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก ความละเอียด 2 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบความแข็งแรงแบบ Universal testing machine

3.3 ขั้นตอนการทำงาน

1. รวบรวมข้อมูลและเอกสารการวิจัย
2. จัดหาวัสดุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย
3. บดดินบ้านแพะสันใหม่ จ. เชียงใหม่ จนละเอียด และผ่านตะแกรง 80 เมช
4. ผสมเนื้อดินปั้นสูตรต่างๆ และเตรียมเป็นน้ำดินสำหรับการเทแบบ โดยจะใช้ส่วนผสมที่เป็นดินล้วน และส่วนผสมที่มีดิน 75% และทราย 25% เพื่อทดสอบผลของการเติมทรายที่มีต่อการไหลตัวของน้ำดิน (การเพิ่มปริมาณทราย จะมีผลทำให้ดินเหนียวมีความแข็งแรงก่อนเผาลดลง จึงไม่ควรเพิ่มมากเกินไป) โดยจะเตรียมน้ำดินให้มีปริมาณของแข็งเป็น 50 55 และ 60%

สูตรผสมต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมเนื้อดินปั้นในการทดลองครั้งนี้

| สูตรน้ำดิน | ส่วนผสม | | |
|------------|-------------------|---------------|----------|
| | ดินบ้านแพะสันใหม่ | ทรายบดละเอียด | น้ำกลั่น |
| 1 | 50.00 | - | 50.00 |
| 2 | 55.00 | - | 45.00 |
| 3 | 60.00 | - | 40.00 |
| 4 | 37.50 | 12.50 | 50.00 |
| 5 | 41.25 | 13.75 | 45.00 |
| 6 | 45.00 | 15.00 | 40.00 |

ส่วนผสมทั้งหมดจะผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องบดผสมชนิดราง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเติมโซเดียมซิลิเกต 0.4% โดยน้ำหนักเพื่อให้น้ำดินกระจายลอยตัวได้ดี จากนั้นจึงศึกษาสมบัติของน้ำดินที่ได้ ได้แก่

- ความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์
- ความหนาแน่น โดยเติมน้ำดินลงในกระบอกตวง 100 มิลลิลิตร แล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 2 ตำแหน่ง แล้วคำนวณตามสูตร

$$\text{ความหนาแน่นของน้ำดิน (g/ml)} = \frac{(\text{น้ำหนักกระบอกตวง+น้ำดิน} - \text{น้ำหนักกระบอกตวง})}{100}$$

- ความเร็วในการเทแบบ โดยเทน้ำดินลงในแบบปูนพลาสติกรูปถ้วย ทิ้งไว้เป็นเวลา 1, 4 และ 9 นาที จากนั้นจึงวัดความหนาของถ้วยที่ได้

3. นำน้ำดินที่ได้มาขึ้นรูปโดยการเทแบบในแบบปูนพลาสติกให้แห้งขึ้นงาน และศึกษาสมบัติของชิ้นงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปได้หลังการอบแห้ง ได้แก่

- การหดตัว โดยทำเครื่องหมายไว้บนแท่งชิ้นงานห่างกัน 10 เซนติเมตร จากนั้นจึงทิ้งให้แห้ง วัดระยะห่างระหว่างจุดทั้งสองอีกครั้ง แล้วคำนวณตามสูตร

$$\text{ร้อยละของการหดตัว} = \frac{(L_w - L_d)}{L_w} \times 100$$

L_w = ความยาวก่อนอบแห้ง

L_d = ความยาวหลังอบแห้ง

- ปริมาณน้ำในแท่งชิ้นงาน โดยชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนอบ และน้ำหนักหลังอบแห้ง แล้วคำนวณตามสูตร

$$\text{ปริมาณน้ำในแท่งชิ้นงาน} = \frac{(W_w - W_d)}{W_w} \times 100$$

W_w = น้ำหนักก่อนอบแห้ง

W_d = น้ำหนักหลังอบแห้ง

- ความแข็งแรงดัด (bending strength) โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงแบบ Universal testing machine

4. นำชิ้นงานตัวอย่างไปทดสอบเผาที่อุณหภูมิ 900 - 1,200 องศาเซลเซียส และศึกษาสมบัติของชิ้นงานที่ได้หลังการเผา เช่น

- การหดตัว ตามวิธีในข้อ 3

- ความแข็งแรงดัดหลังเผา ตามวิธีในข้อ 3

- การดูดซึมน้ำ โดยนำตัวอย่างไปอบให้แห้งสนิท ชั่งน้ำหนัก จากนั้นจึงต้มในน้ำเดือดจากทิ้งไว้ให้เย็น เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วจึงชั่งน้ำหนักอีกครั้ง คำนวณตามสูตร

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานตัวอย่าง} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100$$

W_1 = น้ำหนักก่อนแช่น้ำ

W_2 = น้ำหนักหลังแช่น้ำ

5. วิเคราะห์และสรุปผล

บทที่ 4

ผลการทดลอง

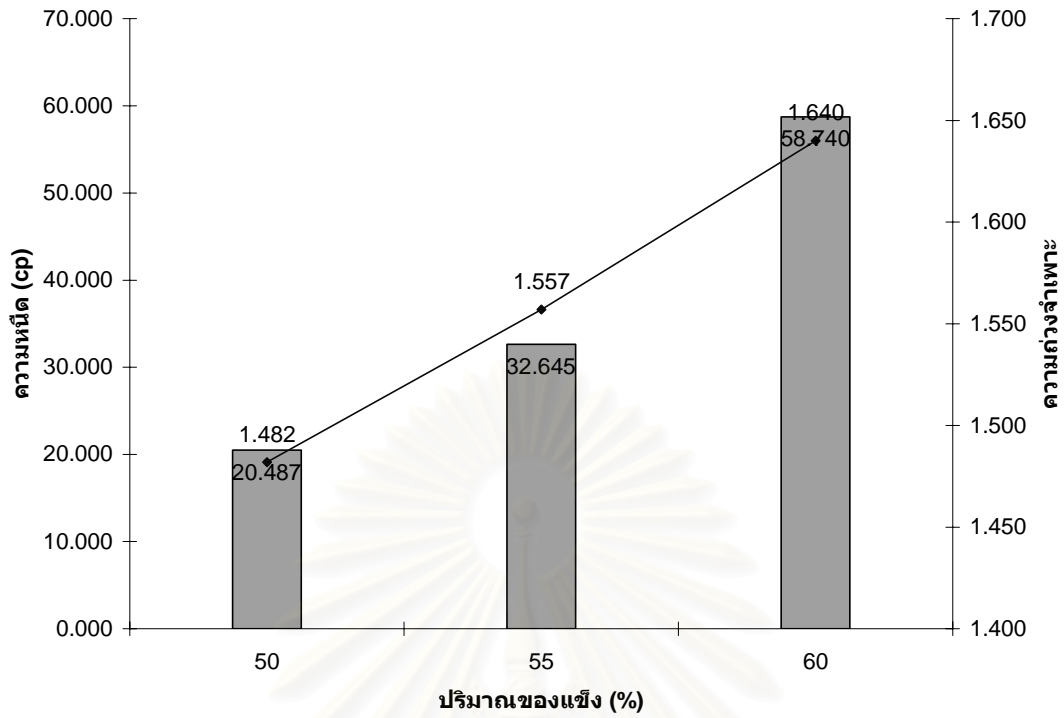
4.1 สมบัติของน้ำดิน

ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1-4.2 แสดงความหนืดและความถ่วงจำเพาะของน้ำดินที่เตรียมจากเนื้อดินปั้นสูตรต่างๆ จากการเปรียบเทียบพบว่า ความหนืดและความถ่วงจำเพาะของน้ำดินสูตรที่ผสมทรายจะต่ำกว่าน้ำดินจากสูตรที่ใช้ดินล้วนอยู่เล็กน้อย และเมื่อลดปริมาณน้ำที่ใช้ลง (เพิ่มปริมาณของแข็งมากขึ้น) จะทำให้ความถ่วงจำเพาะของน้ำดินและความหนืดของน้ำดินเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นเดียวกัน

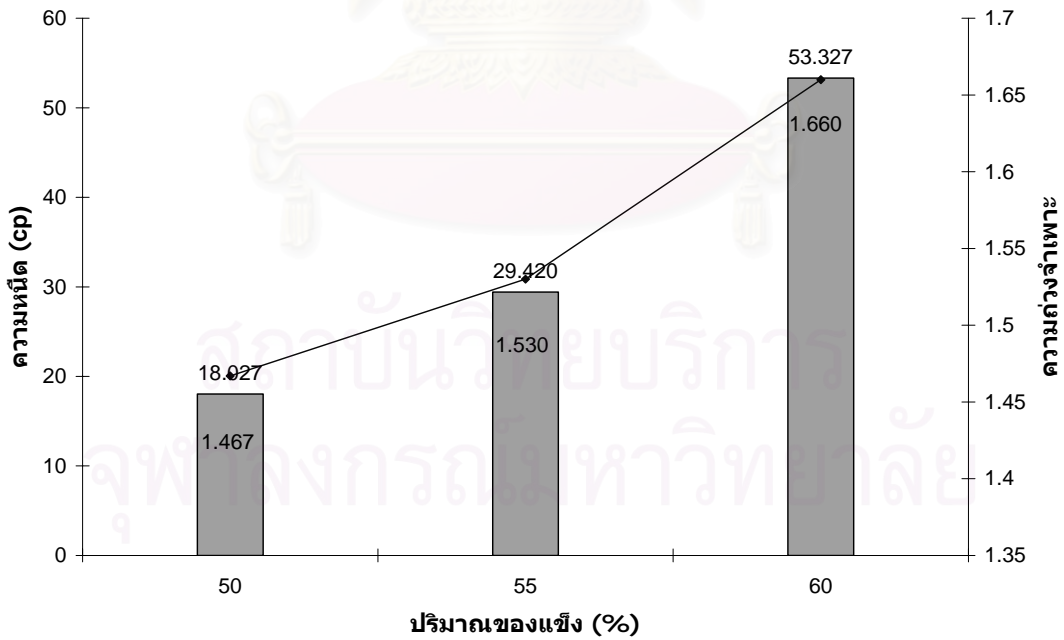
ตารางที่ 4.1 ความหนืดและความถ่วงจำเพาะของน้ำดินที่เตรียมจากเนื้อดินปั้นแต่ละสูตร

| สูตรน้ำดิน | ความหนืด (cp) | ความถ่วงจำเพาะของน้ำดิน |
|--------------------------------------|---------------|-------------------------|
| ดิน 100% (ปริมาณของแข็ง 50%) | 20.487 | 1.48 |
| ดิน 100% (ปริมาณของแข็ง 55%) | 32.645 | 1.56 |
| ดิน 100% (ปริมาณของแข็ง 60%) | 58.740 | 1.64 |
| ดิน 75% ทราย 25% (ปริมาณของแข็ง 50%) | 18.03 | 1.47 |
| ดิน 75% ทราย 25% (ปริมาณของแข็ง 55%) | 29.42 | 1.53 |
| ดิน 75% ทราย 25% (ปริมาณของแข็ง 60%) | 53.33 | 1.66 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 ความชื้นและความถ่วงจำเพาะของน้ำดินที่ประกอบด้วย ดิน 100% ที่ปริมาณของแข็งต่างๆ กัน



รูปที่ 4.2 ความชื้นและความถ่วงจำเพาะของน้ำดินที่ประกอบด้วย ดิน 75% ทกราย 25% ที่ปริมาณของแข็งต่างๆ กัน

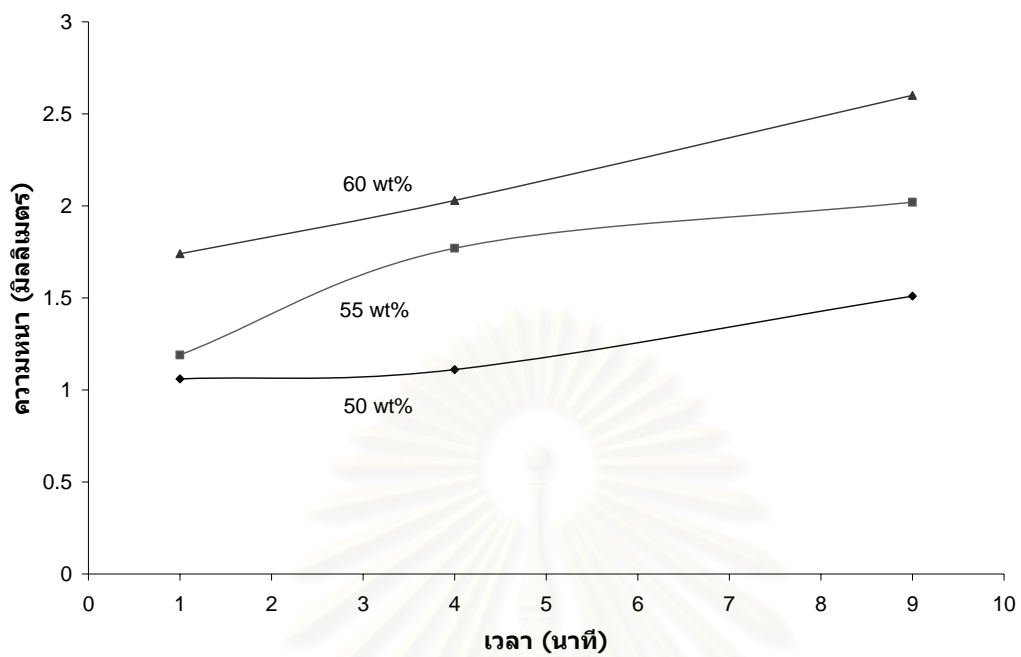
ตารางที่ 4.2 แสดงความหนาของถั่วตัวอย่างที่เทแบบจากน้ำดินแต่ละสูตรที่เวลาต่างๆ กัน พบว่า ความหนาของถั่วจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเวลาในการเทแบบนานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อดินที่เกาะผนังแบบปูนพลาสติกจะเป็นตัวต้านไม่ให้น้ำซึมผ่านแบบ นอกจากนั้นแล้วเมื่อเวลาผ่านไป แบบจะมีความชื้นมากขึ้น จึงทำให้น้ำซึมเข้าสู่แบบได้ยาก อัตราการเทแบบจึงลดลง

ตารางที่ 4.2 ความหนาของถั่วตัวอย่างที่เทแบบจากน้ำดินแต่ละสูตรที่เวลาต่างๆ กัน

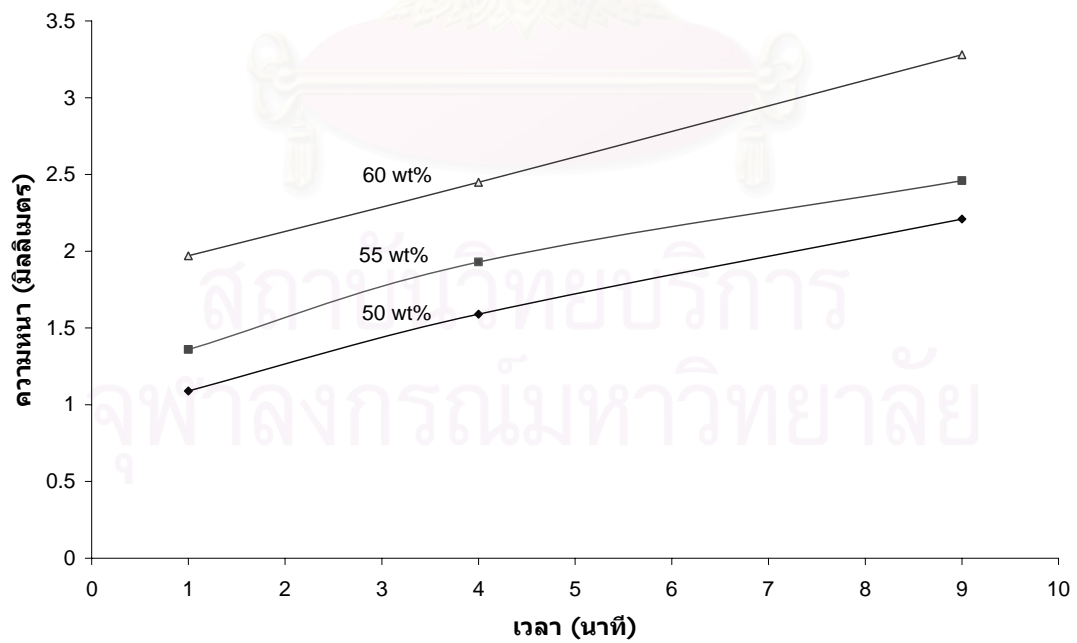
| สูตรน้ำดิน | ความหนา (มิลลิเมตร) | | |
|--|---------------------|--------|--------|
| | 1 นาที | 4 นาที | 9 นาที |
| ดิน 100% (ปริมาณของแข็ง 50%) | 1.06 | 1.11 | 1.51 |
| ดิน 100% (ปริมาณของแข็ง 55%) | 1.19 | 1.77 | 2.02 |
| ดิน 100% (ปริมาณของแข็ง 60%) | 1.74 | 2.03 | 2.60 |
| ดิน 75% ททราย 25% (ปริมาณของแข็ง 50%) | 1.09 | 1.59 | 2.21 |
| ดิน 75% ททราย 25% (ปริมาณของแข็ง 55%) | 1.36 | 1.93 | 2.46 |
| ดิน 75% ททราย 25% (ปริมาณของแข็ง 60%) | 1.97 | 2.45 | 3.28 |

รูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงผลของปริมาณของแข็งที่ใช้ต่อความหนาของถั่ว พบว่า สูตรที่ใช้ปริมาณน้ำ 60% จะทำให้ความหนาของถั่วที่ได้จากการเทแบบสูงสุดในทุกเวลาการเทแบบ และจะลดลงเมื่อใช้ปริมาณน้ำมากขึ้น ซึ่งเป็นเพราะการใช้ปริมาณน้ำน้อย ทำให้น้ำที่ซึมเข้าสู่แบบน้อยแบบมีความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ผิดกับการใช้น้ำปริมาณมากซึ่งจะทำให้แบบชื้นเร็วขึ้นและอัตราการดูดซึมน้ำออกลดลง ทำให้ความหนาของถั่วที่ได้จึงต่ำกว่า

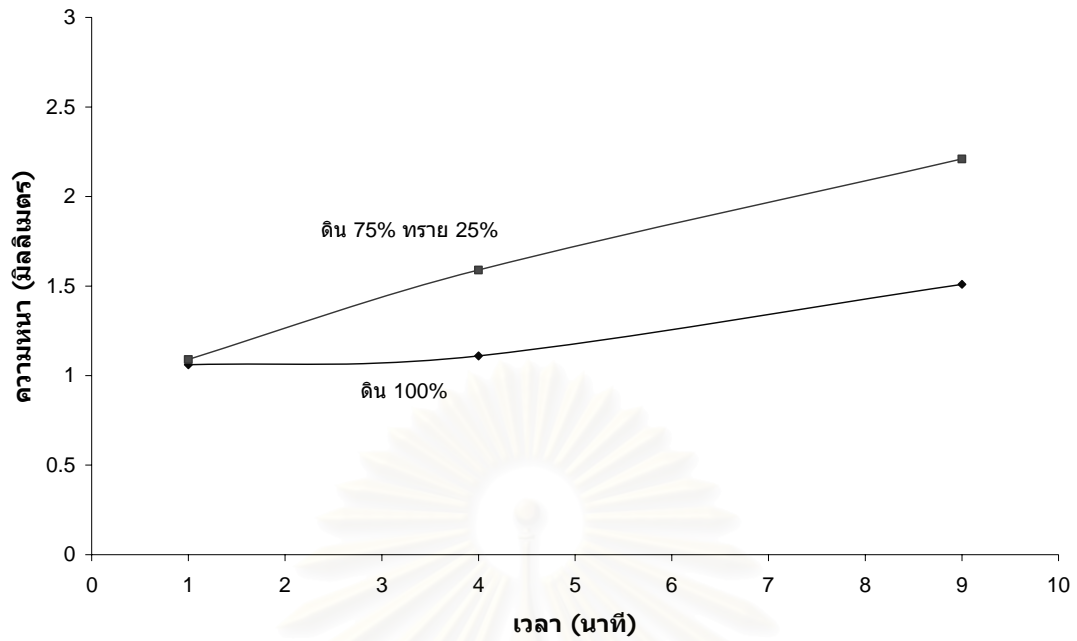
สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างสูตรที่ไม่ผสมทรายและผสมทรายที่ใช้ปริมาณน้ำเท่ากัน (สูตร 1 กับ 4, 2 กับ 5 และ 3 กับ 6) แสดงดังรูปที่ 4.5- 4.7 ตามลำดับ พบว่า ตัวอย่างที่ผสมทรายจะมีอัตราการเทแบบสูงกว่าตัวอย่างสูตรที่ใช้ดินเพียงอย่างเดียว แสดงให้เห็นว่าการผสมทรายในเนื้อดินนั้นจะทำให้การอัดตัวของเนื้อดินนั้นต่ำกว่าเนื้อดินที่มีแต่ดินล้วน เกิดรูพรุนในเนื้อซึ่งทำให้น้ำสามารถซึมผ่านได้ง่ายกว่า ความหนาของถั่วที่เทแบบจากเนื้อดินนั้นมีทรายจึงสูงกว่า



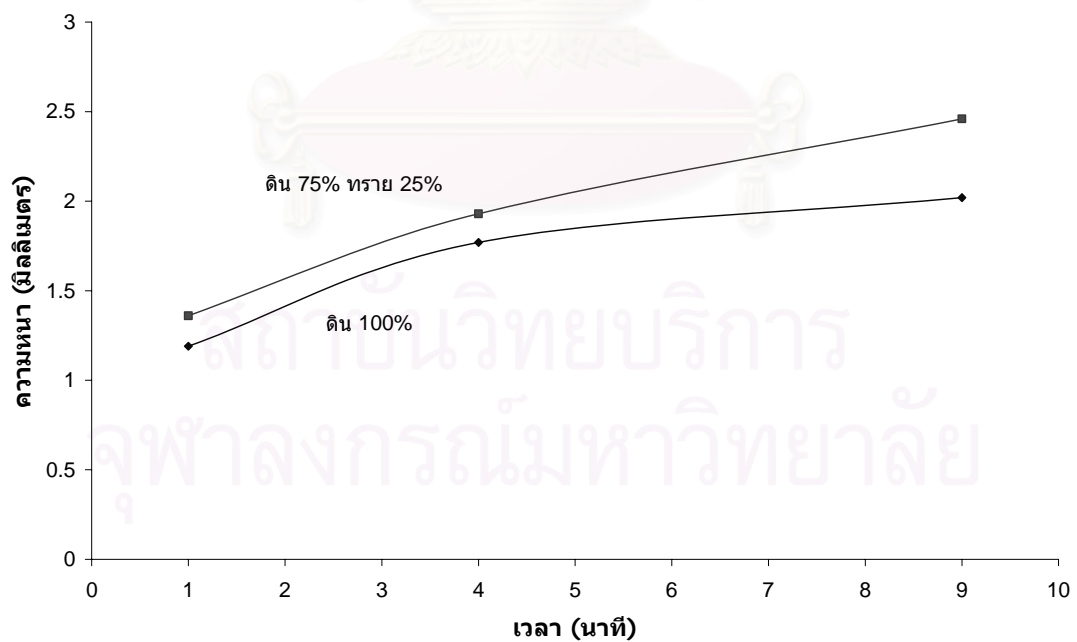
รูปที่ 4.3 ความหนาของถั่วตัวอย่างจากเนื้อดินบ้นที่ประกอบด้วยดิน 100%
ที่ปริมาณของแข็งต่างๆ กัน



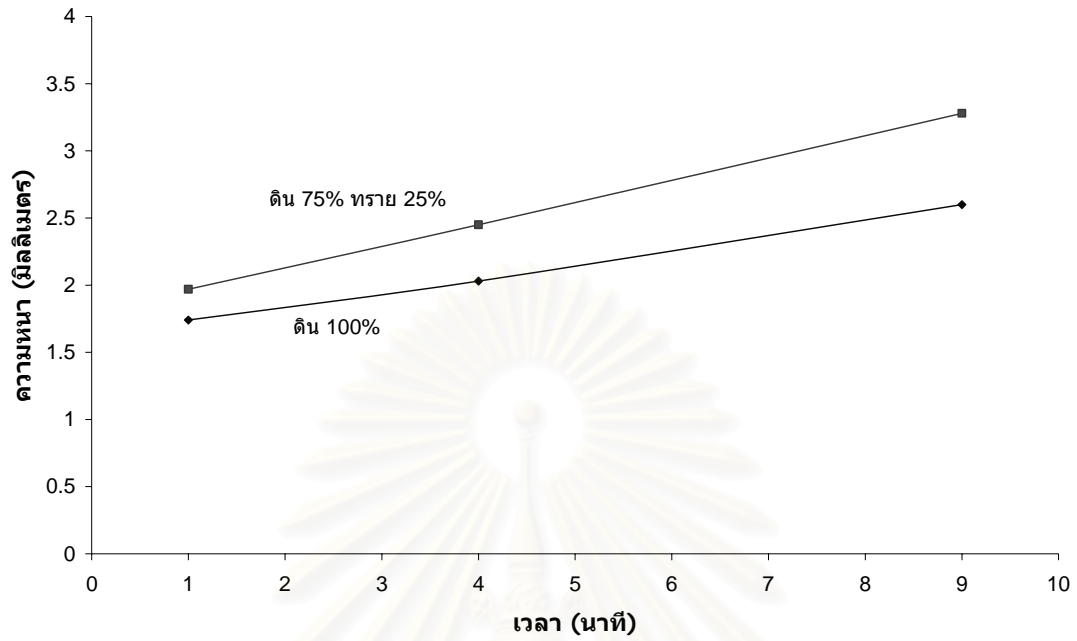
รูปที่ 4.4 ความหนาของถั่วตัวอย่างจากเนื้อดินบ้นที่ประกอบด้วยดิน 75% ททราย 25%
ที่ปริมาณของแข็งต่างๆ กัน



รูปที่ 4.5 ความหนาของถั่วตัวอย่างจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% และดิน 75% ทราย 25%
ที่ปริมาณของแข็ง 50%



รูปที่ 4.6 ความหนาของถั่วตัวอย่างจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% และดิน 75% ทราย 25%
ที่ปริมาณของแข็ง 55%



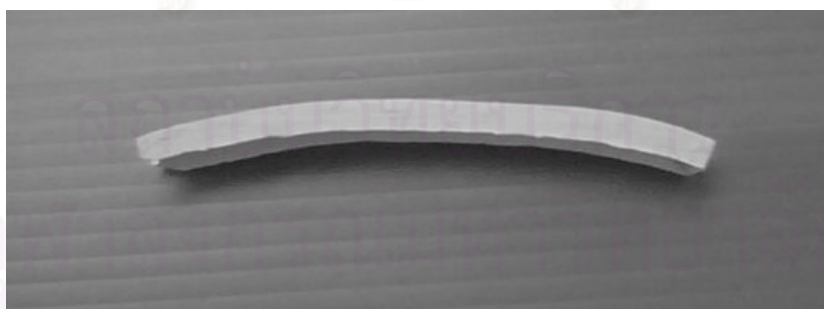
รูปที่ 4.7 ความหนาของถั่วตัวอย่างจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% และดิน 75% ทราย 25%
ที่ปริมาณของแข็ง 60%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 สมบัติของแท่งดิน

น้ำดินที่เตรียมโดยการใส่ปริมาณของแข็ง 55% สามารถเทแบบเป็นแท่งได้ดีทั้งสูตรที่ใช้ดินล้วนและสูตรที่ผสมทราย 25% น้ำดินไหลตัวได้เต็มแบบไม่มีโพรงอากาศภายในชิ้นงาน อย่างไรก็ตาม น้ำดินที่ได้แห้งและแข็งตัวค่อนข้างช้าและบางครั้งมีการโค้งงอ (warp) ของชิ้นงานหลังจากการตากแห้ง ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งอาจเกิดจากการที่น้ำดินมีความหนืดต่ำ เนื้อดินตกตะกอนเร็วทำให้เนื้อดินบริเวณด้านล่างมีความหนาแน่นมากกว่าด้านบนจึงทำให้ทั้งสองส่วนมีการหดตัวแตกต่างกัน จึงเกิดการโค้งงอตัวดังกล่าว

ตารางที่ 4.3 และ 4.4 แสดงสมบัติก่อนและหลังเผาของแท่งดินจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% และแท่งดินจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 75% และทราย 25% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55% ตามลำดับ พบว่าการหดตัว น้ำหนักที่หายไป และความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในการเผา ส่วนการดูดซึมน้ำจะลดลง แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาจะทำให้รูปทรงภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างทั้งสองสูตร ตามรูปที่ 4.9-4.12 พบว่าการใส่ทรายในเนื้อดินปั้นจะทำให้การหดตัวเมื่อก่อนเผาลดลงเล็กน้อย แต่จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผา เนื่องจากดินจะเกิดการสูญเสียในโครงสร้าง (chemical combined water) ในช่วงอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ดังนั้นการใส่ทรายแทนดินบางส่วนจะทำให้การหดตัวลดลง เนื้อดินที่ผสมทรายจะมีการดูดซึมน้ำสูงขึ้นเล็กน้อย และความแข็งแรงลดลงเล็กน้อยเช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าเนื้อดินที่ผสมทรายจะมีความพูนตัวมากขึ้น ดังนั้นในผลิตภัณฑ์จำพวกภาชนะใส่อาหารที่ต้องการค่าการดูดซึมน้ำต่ำ หรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการรับน้ำหนัก เช่น กระถาง จึงไม่ควรผสมทรายในเนื้อดินปั้นมากเกินไป



รูปที่ 4.8 ลักษณะการโค้งงอตัวของชิ้นงาน

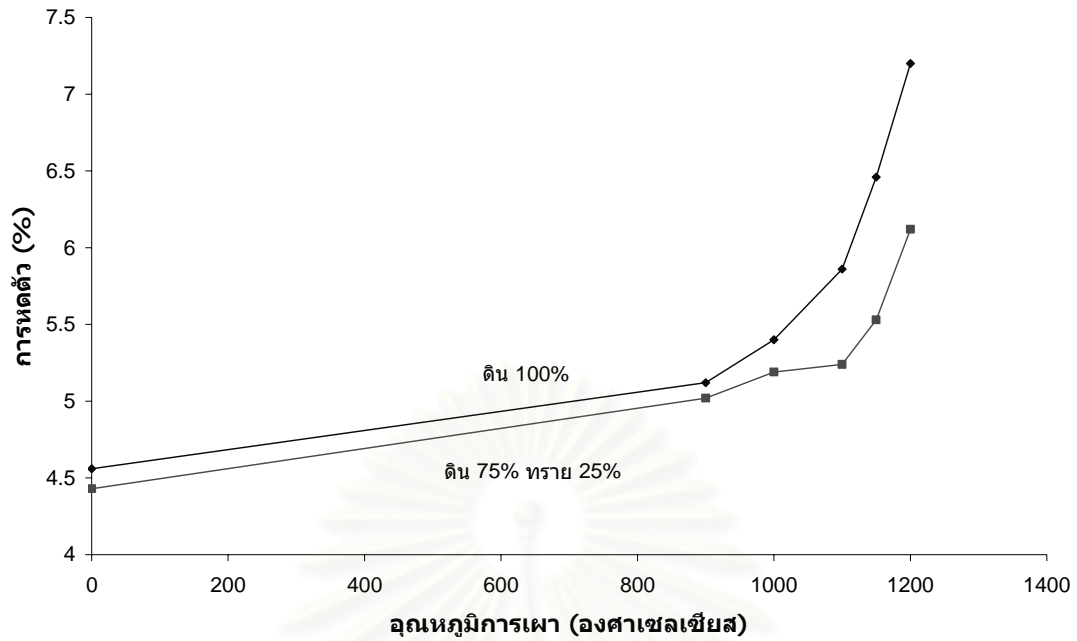
ตารางที่ 4.3 สมบัติก่อนและหลังเผาของแท่งดินจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55%

| สมบัติ | ก่อนเผา | อุณหภูมิการเผา (°C) | | | | |
|---------------------|---------|---------------------|--------|--------|--------|---------|
| | | 900 | 1000 | 1100 | 1150 | 1200 |
| การหดตัว (%) | 4.56 | 5.12 | 5.40 | 5.86 | 6.46 | 7.20 |
| น้ำหนักที่หายไป (%) | 15.40 | 19.00 | 19.14 | 19.25 | 19.45 | 19.22 |
| ความแข็งแรง (psi) | 225.61 | 663.61 | 724.05 | 737.99 | 834.41 | 1171.50 |
| การดูดซึมน้ำ (%) | - | 13.38 | 13.02 | 10.96 | 9.86 | 8.18 |

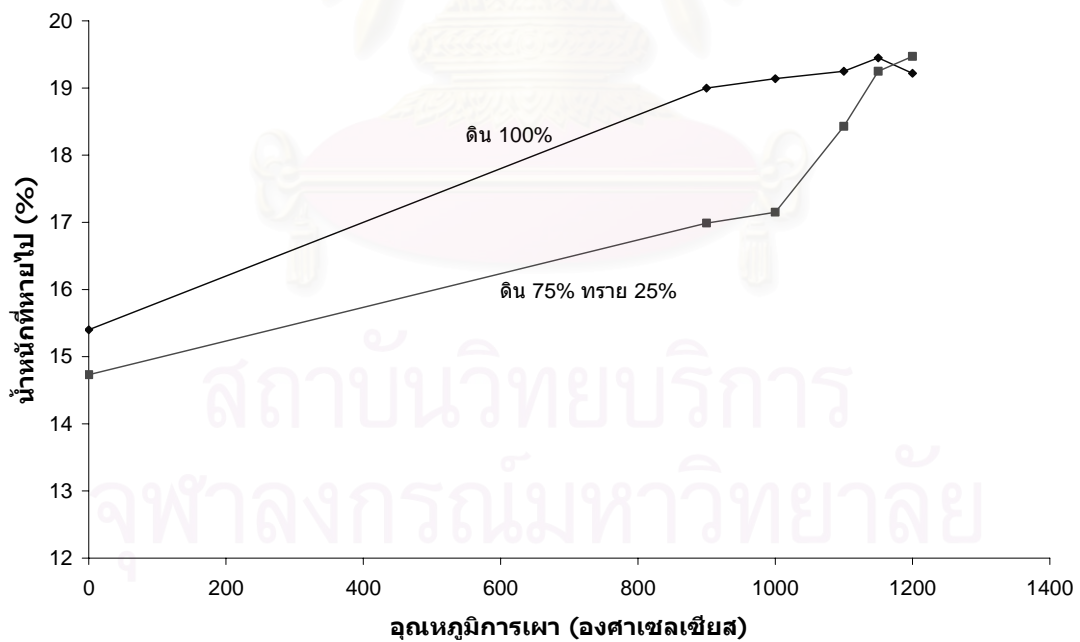
ตารางที่ 4.4 สมบัติก่อนและหลังเผาของแท่งดินจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 75% และทราย 25% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55%

| สมบัติ | ก่อนเผา | อุณหภูมิการเผา (°C) | | | | |
|---------------------|---------|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 900 | 1000 | 1100 | 1150 | 1200 |
| การหดตัว (%) | 4.43 | 5.02 | 5.19 | 5.24 | 5.53 | 6.12 |
| น้ำหนักที่หายไป (%) | 14.73 | 16.99 | 17.15 | 18.43 | 19.25 | 19.47 |
| ความแข็งแรง (psi) | 237.28 | 470.50 | 521.33 | 587.39 | 660.47 | 710.05 |
| การดูดซึมน้ำ (%) | - | 17.19 | 15.90 | 13.24 | 12.46 | 9.23 |

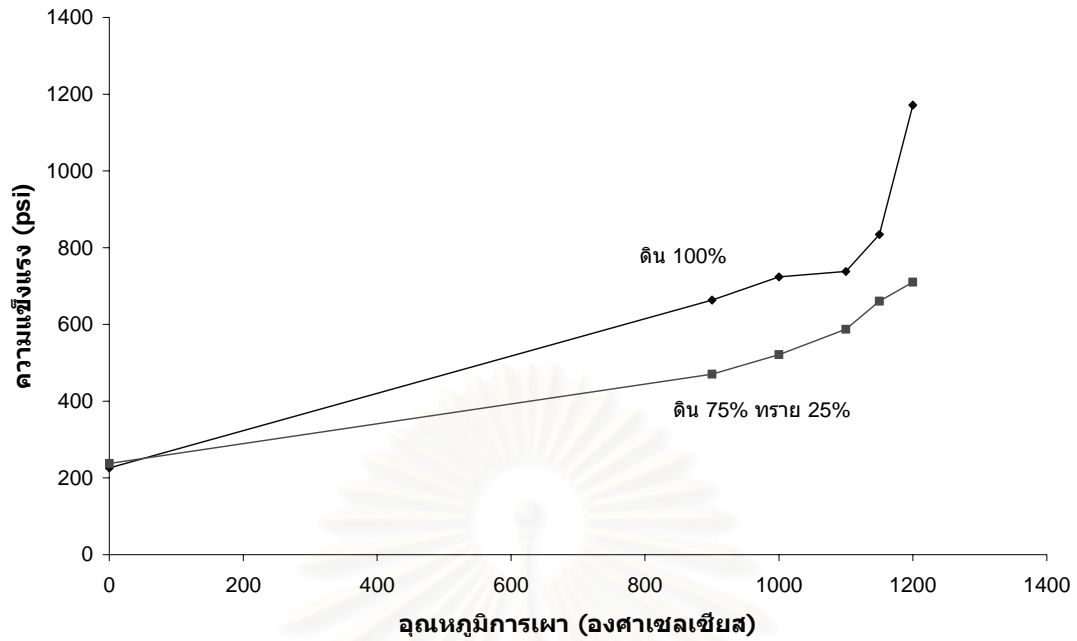
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



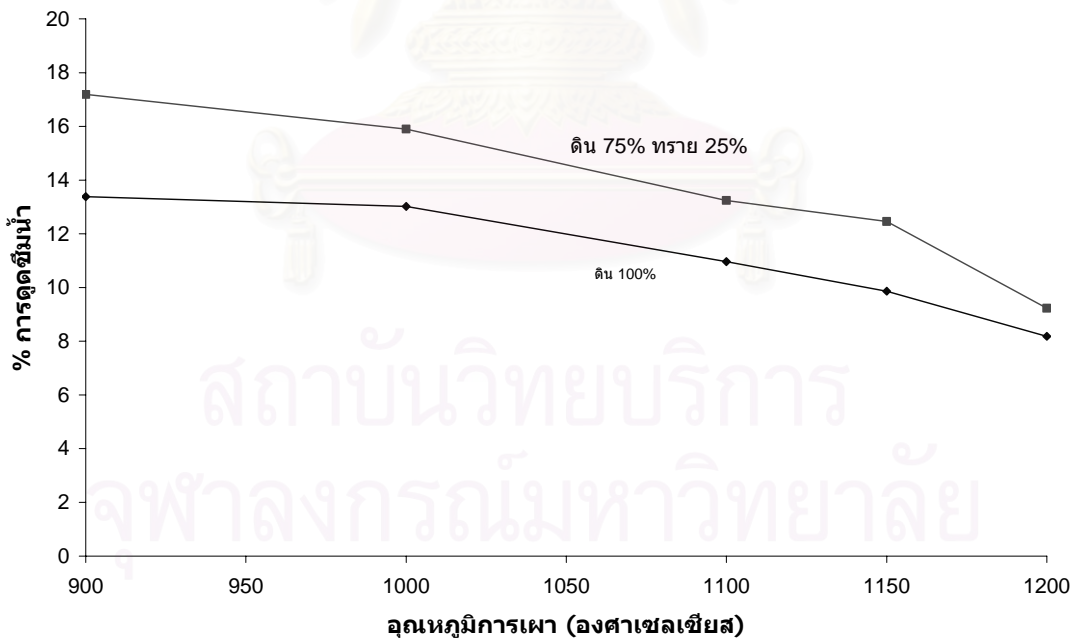
รูปที่ 4.9 การหดตัวของแ่งดินที่ขึ้นรูปจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% และดิน 75% ททราย 25% ที่ปริมาณของแข็ง 55% และเผาที่อุณหภูมิ 900-1200 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.10 น้ำหนักที่หายไปของแ่งดินที่ขึ้นรูปจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% และดิน 75% ททราย 25% ที่ปริมาณของแข็ง 55% และเผาที่อุณหภูมิ 900-1200 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.11 ความแข็งแรงของแท่งดินที่ขึ้นรูปจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% และดิน 75% ททราย 25% ที่ปริมาณของแข็ง 55% และเฉาที่อุณหภูมิ 900-1200 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.12 การดูดซึมน้ำของแท่งดินที่ขึ้นรูปจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% และดิน 75% ททราย 25% ที่ปริมาณของแข็ง 55% และเฉาที่อุณหภูมิ 900-1200 องศาเซลเซียส

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาแนวทางในการขึ้นรูปดินบ้านแพะสันใหม่ จ. เชียงใหม่ ด้วยวิธีการเทแบบ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ดินบ้านแพะสันใหม่ จ. เชียงใหม่ มีความเหมาะสมที่จะขึ้นรูปด้วยการเทแบบ น้ำดินมีการไหลตัวดีแม้จะใช้ปริมาณของแฉังสูงถึง 60% โดยการเพิ่มปริมาณของแฉังจะทำให้ความถ่วงจำเพาะสูงขึ้น แต่จะมีความหนืดมากขึ้นเช่นเดียวกัน การเติมทรายในน้ำดินพบว่าจะทำให้ความถ่วงจำเพาะและความหนืดของน้ำดินลดลง

2. การเพิ่มปริมาณของแฉังในน้ำดินจะทำให้มีอัตราการเทแบบสูงขึ้น ได้รับความหนาของชั้นงานมากกว่าน้ำดินที่มีปริมาณของแฉังต่ำ ขณะเดียวกัน การใส่ทรายในส่วนผสมจะช่วยทำให้ความหนาของถั่วที่ได้จากการเทแบบเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

3. สำหรับการเทแบบชั้นงานนั้นพบว่า การใช้น้ำดินที่มีปริมาณของแฉัง 55% ทำให้น้ำดินไหลตัวได้ดี เทได้เต็มแบบ ชั้นงานไม่มีโพรงอากาศ แต่แห้งช้าและอาจเกิดการโค้งงอตัวได้ การผสมทรายจะช่วยลดการหดตัวได้ดี แต่จะทำให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นและความแข็งแรงลดลง

กล่าวโดยสรุปแล้ว การเติมทรายในเนื้อดินบ้านแพะสันใหม่จะช่วยให้ความหนืดของน้ำดินลดลงและสามารถเทแบบได้เร็วขึ้น แต่ก็จะทำให้สมบัติของชั้นงานที่ได้ด้อยลงเช่นกัน การลดปริมาณของแฉังในน้ำดินจะช่วยลดความหนืดของน้ำดิน แต่ก็ทำให้ความหนาของถั่วที่ได้จากการเทแบบต่ำ ใช้เวลาการเทแบบมากขึ้น ดังนั้นตัวอย่างที่ดีควรจะมีปริมาณของแฉังสูงพอสมควร และเติมทรายในเนื้อดินขึ้นเพื่อลดความหนืดของน้ำดิน เช่นที่ปริมาณของแฉัง 55% และผสมทราย 25%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

1. กรมวิทยาศาสตร์บริการ, เอกสารสัมมนาเรื่อง “ทางเลือกของเครื่องปั้นดินเผาดินเผาราชบุรี”, จัดขึ้น ณ สถาบันพัฒนาฝีมือแรงงานภาคตะวันตก จังหวัดราชบุรี เมื่อวันที่ 29 ตุลาคม 2544.
2. ยุคล มั่นทะจิตร และ ชาญ จรรย์วานิชย์, ดินบอลเคลย์แหล่งดอนไฟ คุณสมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์, กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ, 2533
3. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, โครงการยกระดับคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมขนาดย่อมในภูมิภาค ปีที่ 1, กรุงเทพฯ, 2545
4. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, โครงการยกระดับคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมขนาดย่อมในภูมิภาค ปีที่ 2, กรุงเทพฯ, 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ข้อมูลดิบในการทดลอง

ตาราง ผ.1 ความหนืดของตัวอย่างเนื้อดินปั้นที่ใช้ดิน 100%

| ปริมาณของแข็ง (%) | ความหนืด (cp) | | | ค่าเฉลี่ย | SD |
|-------------------|---------------|------------|------------|-----------|-------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | | |
| 50 | 21.02 | 20.63 | 19.82 | 20.49 | 0.613 |
| 55 | 31.93 | 35.54 | 30.47 | 32.65 | 2.609 |
| 60 | 57.50 | 60.01 | 58.73 | 58.74 | 1.257 |

ตาราง ผ.2 ความหนืดของตัวอย่างเนื้อดินปั้นที่ใช้ดิน 75% และทราย 25%

| ปริมาณของแข็ง (%) | ความหนืด (cp) | | | ค่าเฉลี่ย | SD |
|-------------------|---------------|------------|------------|-----------|-------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | | |
| 50 | 17.35 | 18.25 | 18.48 | 18.03 | 0.597 |
| 55 | 29.55 | 29.03 | 29.68 | 29.42 | 0.344 |
| 60 | 52.98 | 52.45 | 54.20 | 53.21 | 0.897 |

ตาราง ผ.3 ความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างเนื้อดินปั้นที่ใช้ดิน 100%

| ปริมาณของแข็ง (%) | ความถ่วงจำเพาะ | | | ค่าเฉลี่ย | SD |
|-------------------|----------------|------------|------------|-----------|-------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | | |
| 50 | 1.44 | 1.36 | 1.64 | 1.48 | 0.144 |
| 55 | 1.64 | 1.5 | 1.54 | 1.56 | 0.072 |
| 60 | 1.73 | 1.6 | 1.59 | 1.64 | 0.078 |

ตาราง ผ.4 ความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างเนื้อดินปั้นที่ใช้ดิน 75% และทราย 25%

| ปริมาณของแข็ง (%) | ความถ่วงจำเพาะ | | | ค่าเฉลี่ย | SD |
|-------------------|----------------|------------|------------|-----------|-------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | | |
| 50 | 1.45 | 1.50 | 1.45 | 1.47 | 0.029 |
| 55 | 1.52 | 1.56 | 1.51 | 1.53 | 0.026 |
| 60 | 1.62 | 1.64 | 1.74 | 1.67 | 0.064 |

ตาราง ผ.5 ความหนาของชั้นงานและร้อยละความชื้นของชั้นงานสูตรที่ 1 ที่เวลาต่างกัน

| ชั้นที่ | ความหนาของชั้นงาน (mm.) | | |
|---------|-------------------------|--------|--------|
| | 1 นาที | 4 นาที | 9 นาที |
| 1 | - | 1.10 | 1.50 |
| 2 | - | 1.10 | 1.55 |
| 3 | 1.11 | 1.10 | 1.40 |
| 4 | 1.00 | 1.15 | 1.60 |
| 5 | - | 1.10 | 1.50 |
| เฉลี่ย | 1.06 | 1.11 | 1.51 |
| SD | 0.078 | 0.022 | 0.074 |

หมายเหตุ : การเตรียมน้ำดินในอัตราส่วนดินต่อน้ำ 50 : 50 เมื่อนำมาเทชั้นงานเป็นเวลา 1 นาที เมื่อชั้นงานแห้ง ไม่สามารถทำการลอกชั้นงานออกจากแบบได้ และชั้นงานมีการแตกหักเสียหาย

ตาราง ผ.6 ความหนาของชั้นงานและร้อยละความชื้นของชั้นงานสูตรที่ 2 ที่เวลาต่างกัน

| ชั้นที่ | ความหนาของชั้นงาน (mm.) | | |
|---------|-------------------------|--------|--------|
| | 1 นาที | 4 นาที | 9 นาที |
| 1 | 1.25 | 1.65 | 2.00 |
| 2 | 1.10 | 1.85 | 2.30 |
| 3 | 1.10 | 1.80 | 1.90 |
| 4 | 1.30 | 1.50 | 1.80 |
| 5 | 1.20 | 2.05 | 2.10 |
| เฉลี่ย | 1.19 | 1.77 | 2.02 |
| SD | 0.089 | 0.208 | 0.192 |

ตาราง ผ.7 ความหนาของชั้นงานและร้อยละความชื้นของชั้นงานสูตรที่ 3 ที่เวลาต่างกัน

| ชั้นที่ | ความหนาของชั้นงาน (mm.) | | |
|---------|-------------------------|--------|--------|
| | 1 นาที | 4 นาที | 9 นาที |
| 1 | 1.60 | 1.80 | 2.80 |
| 2 | 1.50 | 1.90 | 2.70 |
| 3 | 1.50 | 1.95 | 2.50 |
| 4 | 2.00 | 2.20 | 2.40 |
| 5 | 2.10 | 2.30 | 3.00 |
| เฉลี่ย | 1.74 | 2.03 | 2.68 |
| SD | 0.288 | 0.211 | 0.239 |

ตาราง ผ.8 ความหนาของชั้นงานและร้อยละความชื้นของชั้นงานสูตรที่ 4 ที่เวลาต่างกัน

| ชั้นที่ | ความหนาของชั้นงาน (mm.) | | |
|---------|-------------------------|--------|--------|
| | 1 นาที | 4 นาที | 9 นาที |
| 1 | 1.105 | 1.65 | 2.30 |
| 2 | - | 1.45 | 2.15 |
| 3 | 1.120 | 1.65 | 2.30 |
| 4 | 1.050 | 1.60 | 2.10 |
| 5 | - | | |
| เฉลี่ย | 1.09 | 1.59 | 2.21 |
| SD | 0.037 | 0.095 | 0.103 |

ตาราง ผ.9 ความหนาของชั้นงานและร้อยละความชื้นของชั้นงานสูตรที่ 5 ที่เวลาต่างกัน

| ชั้นที่ | ความหนาของชั้นงาน (mm.) | | |
|---------|-------------------------|--------|--------|
| | 1 นาที | 4 นาที | 9 นาที |
| 1 | 1.30 | 1.90 | 2.30 |
| 2 | 1.40 | 1.95 | 2.55 |
| 3 | 1.30 | 1.85 | 2.45 |
| 4 | 1.45 | 2.00 | 2.55 |
| 5 | - | - | - |
| เฉลี่ย | 1.36 | 1.93 | 2.46 |
| SD | 0.075 | 0.065 | 0.118 |

ตาราง ผ.10 ความหนาของชั้นงานและร้อยละความชื้นของชั้นงานสูตรที่ 6 ที่เวลาต่างกัน

| ชั้นที่ | ความหนาของชั้นงาน (mm.) | | |
|---------|-------------------------|--------|--------|
| | 1 นาที | 4 นาที | 9 นาที |
| 1 | 1.95 | 2.55 | 3.35 |
| 2 | 2.00 | 2.45 | 3.30 |
| 3 | 1.95 | 2.35 | 3.20 |
| 4 | - | - | - |
| 5 | - | - | - |
| เฉลี่ย | 1.97 | 2.45 | 3.28 |
| SD | 0.029 | 0.100 | 0.076 |

ตาราง ผ.11 การหดตัวและน้ำหนักที่หายไปของชั้นงานหลังการอบแห้งของเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55%

| ชั้นที่ | ความยาวแท่งชั้นงาน | | | % ความชื้น | | |
|---------|--------------------|----------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|
| | ก่อนอบ (cm) | หลังอบ (cm) | % การหดตัว | น้ำหนัก ก่อนอบ (กรัม) | น้ำหนัก หลังอบ (กรัม) | % ความชื้น |
| 1 | 10.00 | 9.55 | 4.50 | 18.99 | 16.06 | 15.43 |
| 2 | 10.00 | 9.55 | 4.50 | 18.92 | 16.04 | 15.22 |
| 3 | 10.00 | 9.52 | 4.80 | 19.12 | 16.16 | 15.48 |
| 4 | 10.00 | 9.52 | 4.80 | 18.73 | 15.87 | 15.27 |
| 5 | 10.00 | 9.58 | 4.20 | 18.78 | 15.85 | 15.60 |
| เฉลี่ย | - | - | 4.56 | - | - | 15.40 |
| SD | - | - | 0.251 | - | - | 0.001 |

ตาราง ผ.12 การหดตัวและน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ของเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55%

| ชิ้นที่ | ความยาวแห้งชิ้นงาน | | | % ความชื้น | | |
|---------|--------------------|----------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|
| | ก่อนอบ (cm) | หลังอบ (cm) | % การหดตัว | น้ำหนัก ก่อนอบ (กรัม) | น้ำหนัก หลังอบ (กรัม) | % ความชื้น |
| 1 | 10.00 | 9.47 | 5.30 | 19.00 | 15.41 | 18.89 |
| 2 | 10.00 | 9.47 | 5.30 | 19.14 | 15.46 | 19.23 |
| 3 | 10.00 | 9.51 | 4.90 | 19.31 | 15.64 | 19.01 |
| 4 | 10.00 | 9.52 | 4.80 | 19.15 | 15.52 | 18.96 |
| 5 | 10.00 | 9.47 | 5.30 | 18.82 | 15.26 | 18.92 |
| เฉลี่ย | - | - | 5.12 | - | - | 19.00 |
| SD | - | - | 0.249 | - | - | 0.134 |

ตาราง ผ.13 การหดตัวและน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ของเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55%

| ชิ้นที่ | ความยาวแห้งชิ้นงาน | | | % ความชื้น | | |
|---------|--------------------|----------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|
| | ก่อนอบ (cm) | หลังอบ (cm) | % การหดตัว | น้ำหนัก ก่อนอบ (กรัม) | น้ำหนัก หลังอบ (กรัม) | % ความชื้น |
| 1 | 10.00 | 9.47 | 5.30 | 19.15 | 15.49 | 19.11 |
| 2 | 10.00 | 9.46 | 5.40 | 19.19 | 15.55 | 18.97 |
| 3 | 10.00 | 9.46 | 5.40 | 18.9 | 15.28 | 19.15 |
| 4 | 10.00 | 9.46 | 5.40 | 19.32 | 15.6 | 19.25 |
| 5 | 10.00 | 9.45 | 5.50 | 18.89 | 15.26 | 19.22 |
| เฉลี่ย | - | - | 5.40 | - | - | 19.14 |
| SD | - | - | 0.071 | - | - | 0.111 |

ตาราง ผ.14 การหดตัวและน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส ของเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55%

| ชิ้นที่ | ความยาวแท่งชิ้นงาน | | | % ความชื้น | | |
|---------|--------------------|----------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|
| | ก่อนอบ (cm) | หลังอบ (cm) | % การหดตัว | น้ำหนัก ก่อนอบ (กรัม) | น้ำหนัก หลังอบ (กรัม) | % ความชื้น |
| 1 | 10.00 | 9.36 | 6.40 | 18.88 | 15.24 | 19.28 |
| 2 | 10.00 | 9.42 | 5.80 | 18.75 | 15.12 | 19.36 |
| 3 | 10.00 | 9.45 | 5.50 | 19.05 | 15.43 | 19.00 |
| 4 | 10.00 | 9.41 | 5.90 | 19.26 | 15.49 | 19.57 |
| 5 | 10.00 | 9.43 | 5.70 | 19.01 | 15.39 | 19.04 |
| เฉลี่ย | - | - | 5.86 | - | - | 19.25 |
| SD | - | - | 0.336 | - | - | 0.236 |

ตาราง ผ.15 การหดตัวและน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส ของเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55%

| ชิ้นที่ | ความยาวแท่งชิ้นงาน | | | % ความชื้น | | |
|---------|--------------------|----------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|
| | ก่อนอบ (cm) | หลังอบ (cm) | % การหดตัว | น้ำหนัก ก่อนอบ (กรัม) | น้ำหนัก หลังอบ (กรัม) | % ความชื้น |
| 1 | 10.00 | 9.37 | 6.30 | 18.98 | 15.35 | 19.13 |
| 2 | 10.00 | 9.35 | 6.50 | 18.91 | 15.25 | 19.35 |
| 3 | 10.00 | 9.38 | 6.20 | 19.18 | 15.43 | 19.55 |
| 4 | 10.00 | 9.28 | 7.20 | 19.21 | 15.44 | 19.63 |
| 5 | 10.00 | 9.39 | 6.10 | 19.2 | 15.44 | 19.58 |
| เฉลี่ย | - | - | 6.46 | - | - | 19.45 |
| SD | - | - | 0.439 | - | - | 0.208 |

ตาราง ผ.16 การหดตัวและน้ำหนักที่หายไปของชั้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ของเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55%

| ชั้นที่ | ความยาวแท่งชั้นงาน | | | % ความชื้น | | |
|---------|--------------------|----------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|
| | ก่อนอบ (cm) | หลังอบ (cm) | % การหดตัว | น้ำหนัก ก่อนอบ (กรัม) | น้ำหนัก หลังอบ (กรัม) | % ความชื้น |
| 1 | 10.00 | 9.3 | 7.00 | 19.06 | 15.39 | 19.25 |
| 2 | 10.00 | 9.3 | 7.00 | 18.78 | 15.15 | 19.33 |
| 3 | 10.00 | 9.25 | 7.50 | 19.18 | 15.46 | 19.40 |
| 4 | 10.00 | 9.25 | 7.50 | 19.12 | 15.4 | 19.46 |
| 5 | 10.00 | 9.3 | 7.00 | 19.06 | 15.5 | 18.68 |
| เฉลี่ย | - | - | 7.20 | - | - | 19.22 |
| SD | - | - | 0.274 | - | - | 0.314 |

ตาราง ผ.17 การหดตัวและน้ำหนักที่หายไปของชั้นงานหลังการอบแห้งของเนื้อดินปั้นที่มีดิน 75% ททราย 25% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55%

| ชั้นที่ | ความยาวแท่งชั้นงาน | | | % ความชื้น | | |
|---------|--------------------|----------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|
| | ก่อนอบ (cm) | หลังอบ (cm) | % การหดตัว | น้ำหนัก ก่อนอบ (กรัม) | น้ำหนัก หลังอบ (กรัม) | % ความชื้น |
| 1 | 10.00 | 9.55 | 4.47 | 18.01 | 15.41 | 14.41 |
| 2 | 10.00 | 9.53 | 4.69 | 18.93 | 16.17 | 14.58 |
| 3 | 10.00 | 9.57 | 4.29 | 19.90 | 17.04 | 14.37 |
| 4 | 10.00 | 9.59 | 4.05 | 19.89 | 16.81 | 15.47 |
| 5 | 10.00 | 9.54 | 4.63 | 18.50 | 15.76 | 14.83 |
| เฉลี่ย | - | - | 4.43 | - | - | 14.73 |
| SD | - | - | 0.262 | - | - | 0.450 |

ตาราง ผ.18 การหดตัวและน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ของเนื้อดินปั้นที่มีดิน 75% ททราย 25% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55%

| ชิ้นที่ | ความยาวแท่งชิ้นงาน | | | % ความชื้น | | |
|---------|--------------------|----------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|
| | ก่อนอบ (cm) | หลังอบ (cm) | % การหดตัว | น้ำหนัก ก่อนอบ (กรัม) | น้ำหนัก หลังอบ (กรัม) | % ความชื้น |
| 1 | 10.00 | 9.48 | 5.25 | 18.76 | 15.69 | 16.37 |
| 2 | 10.00 | 9.53 | 4.68 | 18.19 | 15.02 | 17.44 |
| 3 | 10.00 | 9.50 | 5.04 | 18.78 | 15.54 | 17.27 |
| 4 | 10.00 | 9.53 | 4.73 | 19.42 | 16.06 | 17.27 |
| 5 | 10.00 | 9.46 | 5.40 | 18.94 | 15.80 | 16.62 |
| เฉลี่ย | - | - | 5.02 | - | - | 16.99 |
| SD | - | - | 0.316 | - | - | 0.472 |

ตาราง ผ.19 การหดตัวและน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ของเนื้อดินปั้นที่มีดิน 75% ททราย 25% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55%

| ชิ้นที่ | ความยาวแท่งชิ้นงาน | | | % ความชื้น | | |
|---------|--------------------|----------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|
| | ก่อนอบ (cm) | หลังอบ (cm) | % การหดตัว | น้ำหนัก ก่อนอบ (กรัม) | น้ำหนัก หลังอบ (กรัม) | % ความชื้น |
| 1 | 10.00 | 9.50 | 5.04 | 19.59 | 16.45 | 16.05 |
| 2 | 10.00 | 9.46 | 5.40 | 18.10 | 14.82 | 18.16 |
| 3 | 10.00 | 9.51 | 4.95 | 19.41 | 16.14 | 16.86 |
| 4 | 10.00 | 9.50 | 5.04 | 18.91 | 15.77 | 16.59 |
| 5 | 10.00 | 9.45 | 5.52 | 18.51 | 15.16 | 18.08 |
| เฉลี่ย | - | - | 5.19 | - | - | 17.15 |
| SD | - | - | 0.254 | - | - | 0.932 |

ตาราง ผ.20 การหดตัวและน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส ของเนื้อดินปั้นที่มีดิน 75% ททราย 25% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55%

| ชิ้นที่ | ความยาวแท่งชิ้นงาน | | | % ความชื้น | | |
|---------|--------------------|----------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|
| | ก่อนอบ (cm) | หลังอบ (cm) | % การหดตัว | น้ำหนัก ก่อนอบ (กรัม) | น้ำหนัก หลังอบ (กรัม) | % ความชื้น |
| 1 | 10.00 | 9.45 | 5.50 | 18.76 | 15.37 | 18.04 |
| 2 | 10.00 | 9.47 | 5.28 | 18.97 | 15.38 | 18.94 |
| 3 | 10.00 | 9.50 | 4.99 | 19.04 | 15.68 | 17.67 |
| 4 | 10.00 | 9.49 | 5.11 | 16.70 | 13.59 | 18.66 |
| 5 | 10.00 | 9.47 | 5.33 | 18.67 | 15.16 | 18.83 |
| เฉลี่ย | - | - | 5.24 | - | - | 18.43 |
| SD | - | - | 0.198 | - | - | 0.549 |

ตาราง ผ.21 การหดตัวและน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส ของเนื้อดินปั้นที่มีดิน 75% ททราย 25% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55%

| ชิ้นที่ | ความยาวแท่งชิ้นงาน | | | % ความชื้น | | |
|---------|--------------------|----------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|
| | ก่อนอบ (cm) | หลังอบ (cm) | % การหดตัว | น้ำหนัก ก่อนอบ (กรัม) | น้ำหนัก หลังอบ (กรัม) | % ความชื้น |
| 1 | 10.00 | 9.42 | 5.77 | 19.13 | 15.61 | 18.37 |
| 2 | 10.00 | 9.47 | 5.29 | 18.64 | 14.93 | 19.91 |
| 3 | 10.00 | 9.45 | 5.46 | 19.61 | 15.90 | 18.92 |
| 4 | 10.00 | 9.45 | 5.52 | 18.96 | 15.26 | 19.52 |
| 5 | 10.00 | 9.44 | 5.63 | 18.92 | 15.22 | 19.52 |
| เฉลี่ย | - | - | 5.53 | - | - | 19.25 |
| SD | - | - | 0.180 | - | - | 0.605 |

ตาราง ผ.22 การหดตัวและน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ของเนื้อดินปั้นที่มีดิน 75% ททราย 25% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55%

| ชั้นที่ | ความยาวแท่งชิ้นงาน | | | % ความชื้น | | |
|---------|--------------------|----------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|
| | ก่อนอบ (cm) | หลังอบ (cm) | % การหดตัว | น้ำหนัก ก่อนอบ (กรัม) | น้ำหนัก หลังอบ (กรัม) | % ความชื้น |
| 1 | 10.00 | 9.41 | 5.85 | 18.62 | 14.78 | 20.63 |
| 2 | 10.00 | 9.40 | 6.03 | 18.87 | 15.29 | 18.97 |
| 3 | 10.00 | 9.37 | 6.26 | 18.96 | 15.44 | 18.56 |
| 4 | 10.00 | 9.37 | 6.34 | 19.93 | 15.96 | 19.92 |
| 5 | 10.00 | 9.39 | 6.13 | 18.26 | 14.74 | 19.27 |
| เฉลี่ย | - | - | 6.12 | - | - | 19.47 |
| SD | - | - | 0.190 | - | - | 0.818 |

ตาราง ผ. 23 ความแข็งแรงของแท่งดินจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55% (หน่วยเป็น psi)

| ชั้นที่ | ก่อนเผา | อุณหภูมิการเผา (°C) | | | | |
|-----------|---------|---------------------|---------|---------|---------|----------|
| | | 900 | 1000 | 1100 | 1150 | 1200 |
| 1 | 271.279 | 675.348 | 737.938 | 744.534 | 850.985 | 1419.180 |
| 2 | 147.220 | 647.106 | 762.958 | 750.985 | 845.462 | 910.097 |
| 3 | 236.699 | 615.507 | 730.059 | 747.108 | 849.361 | 1144.175 |
| 4 | 206.186 | 727.622 | 684.931 | 717.995 | 795.558 | 1098.885 |
| 5 | 266.643 | 502.441 | 704.379 | 729.367 | 830.693 | 1285.160 |
| ค่าเฉลี่ย | 225.605 | 633.605 | 724.053 | 737.998 | 834.412 | 1171.499 |
| SD | 51.026 | 84.106 | 30.249 | 13.865 | 23.150 | 192.753 |

ตาราง ผ.24 ความแข็งแรงของแท่งดินจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 75% และทราย 25% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55% (หน่วยเป็น psi)

| ชั้นที่ | ก่อนเผา | อุณหภูมิการเผา (°C) | | | | |
|-----------|---------|---------------------|---------|---------|---------|---------|
| | | 900 | 1000 | 1100 | 1150 | 1200 |
| 1 | 241.376 | 437.261 | 527.234 | 574.595 | 639.039 | 838.584 |
| 2 | 222.409 | 551.759 | 472.862 | 671.405 | 587.661 | 647.824 |
| 3 | 214.982 | 423.303 | 482.750 | 541.685 | 766.987 | 748.733 |
| 4 | 286.177 | 464.969 | 614.122 | 534.614 | 706.619 | 632.036 |
| 5 | 221.464 | 480.207 | 509.700 | 614.641 | 602.040 | 683.054 |
| ค่าเฉลี่ย | 237.281 | 471.500 | 521.334 | 587.388 | 660.469 | 710.046 |
| SD | 29.052 | 50.138 | 56.165 | 56.655 | 75.250 | 84.712 |

ตาราง ผ.25 การดูดซึมน้ำของแท่งดินจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55% ที่เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

| ชั้นที่ | น้ำหนักก่อนต้ม (กรัม) | น้ำหนักหลังต้ม (กรัม) | % การดูดซึมน้ำ |
|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| 1 | 7.487 | 8.501 | 13.543 |
| 2 | 7.390 | 8.373 | 13.297 |
| 3 | 7.395 | 8.378 | 13.300 |
| ค่าเฉลี่ย | - | - | 13.380 |
| SD | - | - | 0.141 |

ตาราง ผ.26 การดูดซึมน้ำของแท่งดินจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55% ที่เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

| ชั้นที่ | น้ำหนักก่อนต้ม (กรัม) | น้ำหนักหลังต้ม (กรัม) | % การดูดซึมน้ำ |
|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| 1 | 7.390 | 8.362 | 13.153 |
| 2 | 7.383 | 8.335 | 12.895 |
| 3 | 7.827 | 8.845 | 13.001 |
| ค่าเฉลี่ย | - | - | 13.016 |
| SD | - | - | 0.129 |

ตาราง ผ.27 การดูดซึมน้ำของแท่งดินจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55% ที่เผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

| ชั้นที่ | น้ำหนักก่อนต้ม (กรัม) | น้ำหนักหลังต้ม (กรัม) | % การดูดซึมน้ำ |
|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| 1 | 7.569 | 8.408 | 11.080 |
| 2 | 7.383 | 8.184 | 10.842 |
| 3 | 7.549 | 8.376 | 10.952 |
| ค่าเฉลี่ย | - | - | 10.958 |
| SD | - | - | 0.119 |

ตาราง ผ.28 การดูดซึมน้ำของแท่งดินจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55% ที่เผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส

| ชั้นที่ | น้ำหนักก่อนต้ม (กรัม) | น้ำหนักหลังต้ม (กรัม) | % การดูดซึมน้ำ |
|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| 1 | 7.430 | 8.157 | 9.785 |
| 2 | 7.281 | 8.002 | 9.904 |
| 3 | 7.265 | 7.985 | 9.903 |
| ค่าเฉลี่ย | - | - | 9.864 |
| SD | - | - | 0.069 |

ตาราง ผ.29 การดูดซึมน้ำของแท่งดินจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 100% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55% ที่เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

| ชั้นที่ | น้ำหนักก่อนต้ม (กรัม) | น้ำหนักหลังต้ม (กรัม) | % การดูดซึมน้ำ |
|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| 1 | 6.671 | 7.212 | 8.116 |
| 2 | 6.972 | 7.554 | 8.354 |
| 3 | 6.849 | 7.401 | 8.073 |
| ค่าเฉลี่ย | - | - | 8.181 |
| SD | - | - | 0.151 |

ตาราง ผ.30 การดูดซึมน้ำของแท่งดินจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 75% และทราย 25% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55% ที่เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

| ชั้นที่ | น้ำหนักก่อนต้ม (กรัม) | น้ำหนักหลังต้ม (กรัม) | % การดูดซึมน้ำ |
|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| 1 | 7.453 | 8.757 | 17.487 |
| 2 | 7.788 | 9.085 | 16.648 |
| 3 | 7.033 | 8.259 | 17.436 |
| ค่าเฉลี่ย | - | - | 17.190 |
| SD | - | - | 0.471 |

ตาราง ผ.31 การดูดซึมน้ำของแท่งดินจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 75% และทราย 25% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55% ที่เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

| ชั้นที่ | น้ำหนักก่อนต้ม (กรัม) | น้ำหนักหลังต้ม (กรัม) | % การดูดซึมน้ำ |
|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| 1 | 6.957 | 8.042 | 15.603 |
| 2 | 8.156 | 9.449 | 15.851 |
| 3 | 7.471 | 8.685 | 16.252 |
| ค่าเฉลี่ย | - | - | 15.902 |
| SD | - | - | 0.328 |

ตาราง ผ.32 การดูดซึมน้ำของแท่งดินจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 75% และทราย 25% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55% ที่เผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

| ชั้นที่ | น้ำหนักก่อนต้ม (กรัม) | น้ำหนักหลังต้ม (กรัม) | % การดูดซึมน้ำ |
|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| 1 | 7.713 | 8.812 | 14.245 |
| 2 | 6.922 | 7.968 | 15.113 |
| 3 | 7.284 | 8.297 | 13.906 |
| ค่าเฉลี่ย | - | - | 14.421 |
| SD | - | - | 0.623 |

ตาราง ผ.33 การดูดซึมน้ำของแท่งดินจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 75% และทราย 25% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55% ที่เผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส

| ชั้นที่ | น้ำหนักก่อนต้ม (กรัม) | น้ำหนักหลังต้ม (กรัม) | % การดูดซึมน้ำ |
|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| 1 | 7.477 | 8.475 | 13.351 |
| 2 | 7.196 | 8.036 | 11.681 |
| 3 | 6.783 | 7.664 | 12.978 |
| ค่าเฉลี่ย | - | - | 12.670 |
| SD | - | - | 0.877 |

ตาราง ผ.34 การดูดซึมน้ำของแท่งดินจากเนื้อดินปั้นที่มีดิน 75% และทราย 25% ที่เตรียมจากน้ำดินที่มีปริมาณของแข็ง 55% ที่เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

| ชั้นที่ | น้ำหนักก่อนต้ม (กรัม) | น้ำหนักหลังต้ม (กรัม) | % การดูดซึมน้ำ |
|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| 1 | 6.753 | 7.243 | 7.256 |
| 2 | 7.459 | 8.017 | 7.470 |
| 3 | 6.513 | 6.967 | 6.980 |
| ค่าเฉลี่ย | - | - | 7.236 |
| SD | - | - | 0.246 |