



การพัฒนาเครื่องรีดดินระบบนิวแมติกและการทดสอบประสิทธิภาพ  
**DEVELOPMENT OF A PNEUMATIC CLAY EXTRUDER  
AND ITS PERFORMANCE TESTING**

สุรสิทธิ์ ปุสุรินทร์คำ

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิก

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2549

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

การพัฒนาเครื่องรีดดินระบบนิวแมติกและการทดสอบประสิทธิภาพ  
**DEVELOPMENT OF A PNEUMATIC CLAY EXTRUDER  
AND ITS PERFORMANCE TESTING**

สุรสิทธิ์ ปุสุรินทร์คำ

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิก

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2549

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

การพัฒนาเครื่องรีดดินระบบนิวแมติกและการทดสอบประสิทธิภาพ  
**DEVELOPMENT OF A PNEUMATIC CLAY EXTRUDER  
AND ITS PERFORMANCE TESTING**

สุรสิทธิ์ ปุสุรินทร์คำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิก

2549

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..........ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดรณี วัฒนศิริเวช)

..........กรรมการ

(อาจารย์ ดร. อภินันท์ นันทียา)

..........กรรมการ

(อาจารย์ ดร. สุธี วัฒนศิริเวช)

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ด้วยความกรุณา และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร. สุธี วัฒนศิริเวช อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผศ.ดร. ดรุณี วัฒนศิริเวช ประธานกรรมการสอบที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำปรึกษาและตรวจทานเป็นอย่างดีในทุกขั้นตอนของการศึกษาจนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณอาจารย์ไพจิตร อิงศิริวัฒน์ ที่เป็นผู้เริ่มต้นประสิทธิ์ประสาทวิชาการเรียนรู้ด้านเครื่องปั้นดินเผา อีกทั้งยังถ่ายทอดความรู้เนื้อหาวิชาในเอกสารประกอบการอ้างอิงสำหรับงานวิทยานิพนธ์นี้ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณผู้อำนวยการวิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงรายที่กรุณาอนุญาตให้ศึกษาต่อในสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิก และเพื่อนๆคณาจารย์ในวิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงรายที่ให้ข้อเสนอแนะและข้อแก้ไขต่าง ๆ เพื่อให้งานวิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคุณฉันทนิษฐ์ ขวัญยืน เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวัสดุศาสตร์และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านการทดลองและวิเคราะห์ทดสอบจนกระทั่งวิทยานิพนธ์สำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณเชิษฐาญู แสงทอง คุณอนุวัฒน์ ศรีสุวรรณ และน้องๆสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิกและวัสดุศาสตร์ ตลอดจนเพื่อนๆที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในทุกๆด้าน

ขอขอบพระคุณสำหรับกำลังใจที่ยิ่งใหญ่ ความสนับสนุน ความช่วยเหลือใน ทุกๆด้านจากบิดา มารดา ญาติพี่น้อง สมาชิกครอบครัวผู้วิจัย ซึ่งมีส่วนสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อช่วยให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลการศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมเซรามิกขนาดเล็กและสถาบันการศึกษาต่างๆ ที่มีการเรียนการสอนทางด้านเซรามิก หากมีสิ่งผิดพลาดหรือข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับและขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สุรสิทธิ์ ปุสุรินทร์คำ

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์      การพัฒนาเครื่องรีดดินระบบนิวแมติกและการทดสอบประสิทธิภาพ

ชื่อผู้เขียน      นายสุรสิทธิ์ ปุสุรินทร์คำ

หลักสูตร      วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิก)

อาจารย์ที่ปรึกษา      อาจารย์ ดร. สุธี วัฒนศิริเวช      ประธานกรรมการ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องรีดดินที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมเซรามิก ขนาดย่อมและเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องโดยการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของ เนื้อดินหลังการรีด โดยใช้เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้กับเครื่องรีดดินชนิดคันโยก เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ มอเตอร์ไฟฟ้า ชุดควบคุมความเร็ว ชุดส่งกำลัง นิวแมติก ช่องป้อนวัตถุดิบ ห้องนวดดิน ห้องดูดอากาศ และหัวแบบลักษณะต่างๆ สภาวะที่เหมาะสมของเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น ทดสอบโดยใช้ดินผสมสำเร็จรูปที่มีความชื้นประมาณ 31 เปอร์เซ็นต์พบว่า การใช้ค่าแรงอัดนิวแมติก 100 บาร์ และความเร็วรอบมอเตอร์ทั้งที่ 25 รอบต่อนาที สามารถรีดดินออกมาได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ขาดออกจากกัน จากผลการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของดินที่ถูกรีดเป็นจำนวนครั้งต่างกันพบว่า เปอร์เซ็นต์ความชื้น สภาพพลาสติก และ เปอร์เซ็นต์การหดตัว มีแนวโน้มลดลง เมื่อผ่านการรีดเป็นจำนวนครั้งเพิ่มขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินลดลงจาก 31 เปอร์เซ็นต์ เป็น 28 เปอร์เซ็นต์ หลังผ่านการรีด 5 ครั้ง ส่งผลให้สภาพพลาสติกลดลงคือ มีการรاندตัวของแท่งดินเมื่อขดเป็นวง และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของดินหลังการรีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องรีดดินชนิดคันโยกพบว่า ดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นจะมีสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าคือ มีค่าความแข็งแรง หลังอบแห้งและหลังการเผาที่  $1250^{\circ}\text{C}$  สูงกว่า นอกจากนี้ค่าหนีแบบฟองอากาศที่เกิดจากการรีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยกยังลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อรีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น

คำสำคัญ : เครื่องรีดดิน/ ดินผสมสำเร็จรูป / ความชื้น / สภาพพลาสติก/ การหดตัว / การดูดซึมน้ำ / ความแข็งแรง

**Title** Development of a Pneumatic Clay Extruder and Its Performance Testing

**Author** Mr. Surasit Pusurinkham

**Degree** Master of Science (Ceramic Industrial Technology)

**Supervisor** Dr. Suthee Wattanasiriwech

Chairperson

## **ABSTRACT**

This research aimed to develop a pneumatic clay extruder for small-scale ceramic industry, and to test its performance against a manual clay extruder by comparing the physical properties of the fabricated compound clay products. The essential components of the developed extruder were motor and speed controlling unit, pneumatic system, clay loader, pug mill de-airing chamber and exchangeable die. Pneumatic pressure of 100 bars and motor speed of 25 rpm were the optimum operating conditions for extruding the standard compound clay having 31 % moisture content. Under such conditions, the compound clay was continuously extruded without tearing. After repeatedly extruded, it was found that moisture content, plasticity, and shrinkage of the clay product tended to decrease. The moisture content decreased from 31 % to 28 % after the 5<sup>th</sup> extrusion, resulting in the significant decrease in the plasticity of the clay. This new machine was able to reduce air bubble defects and improve both green and fired strength of the samples comparing with those fabricated by manual clay extruder.

**Keywords:** Extrusion / Compound clay / Moisture/ Plasticity / Shrinkage / Water absorption / Strength

# สารบัญ

|                                            | หน้า |
|--------------------------------------------|------|
| กิตติกรรมประกาศ                            | ก    |
| บทคัดย่อภาษาไทย                            | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                         | จ    |
| สารบัญตาราง                                | ช    |
| สารบัญภาพ                                  | ณ    |
| <b>บทที่</b>                               |      |
| <b>1 บทนำ</b>                              | 1    |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา              | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา                | 4    |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ              | 4    |
| 1.4 สมมติฐาน                               | 5    |
| <b>2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>    | 6    |
| 2.1 เครื่องรีดดิน                          | 6    |
| 2.2 ขั้นตอนการรีด                          | 11   |
| 2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการรีด                 | 12   |
| 2.4 สมบัติทางกายภาพของดิน                  | 12   |
| 2.5 ตำแหน่งที่เกิดในงานรีด                 | 15   |
| <b>3 การออกแบบและการสร้างเครื่องรีดดิน</b> | 19   |
| 3.1 การวิเคราะห์ปัญหาของวิธีการขึ้นรูป     | 19   |
| 3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องรีดดิน         | 20   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                                                                                                                  | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>4 สถานะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการทำงาน</b>                                                                                                                 | 27   |
| 4.1 สมบัติเบื้องต้นของเนื้อดินปั้นที่ใช้                                                                                                                         | 27   |
| 4.2 การทดสอบสถานะที่เหมาะสมในการรีดดินของเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น                                                                                               | 28   |
| 4.3 วิธีการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของดิน                                                                                                                 | 29   |
| 4.4 ผลการทดสอบและเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของดิน                                                                                                                | 33   |
| 4.5 อภิปรายผล                                                                                                                                                    | 44   |
| <b>5 สรุปและข้อเสนอแนะ</b>                                                                                                                                       | 47   |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง                                                                                                                                               | 47   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้                                                                                                                                       | 48   |
| <b>บรรณานุกรม</b>                                                                                                                                                | 49   |
| <b>ภาคผนวก</b>                                                                                                                                                   | 51   |
| ภาคผนวก ก ขั้นตอนการรีดดินด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น                                                                                                          | 51   |
| ภาคผนวก ข ลักษณะของเส้นดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นตามหัวแบบ<br>ขนาดต่างๆ                                                                              | 54   |
| ภาคผนวก ค ภาพถ่ายภาคตัดขวางของชิ้นงานตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่างดิน<br>ที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยกและเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น<br>หลังเผาที่อุณหภูมิ 1250°C | 57   |
| <b>ประวัติผู้เขียน</b>                                                                                                                                           | 62   |



## สารบัญตาราง

| ตาราง                                                                                                                                                                                          | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.1 การพัฒนาเครื่องรีดดินให้มีความสามารถในการรีดดินดีขึ้น                                                                                                                                      | 19   |
| 4.1 ผลของแรงอัดนิวแมติกต่อลักษณะของดินหลังการรีด                                                                                                                                               | 28   |
| 4.2 แสดงค่าความชื้นของดินที่สามารถขึ้นรูปได้จากเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น                                                                                                                       | 29   |
| 4.3 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินหลังการรีดในแต่ละครั้ง                                                                                                                              | 33   |
| 4.4 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นและเครื่องรีดดินชนิดคันโยกหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C                                                         | 36   |
| 4.5 การเปรียบเทียบค่าการหดตัวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1250°C ของเนื้อดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นและเครื่องรีดดินชนิดคันโยก                                                                | 37   |
| 4.6 การเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำของดินหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1250°C ของเนื้อดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นและเครื่องรีดดินชนิดคันโยก                                                   | 39   |
| 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของดินหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C ของดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น เครื่องรีดดินชนิดคันโยก และเครื่องรีดดินแบบเกลียวบริษัท Venco รุ่น Super-twin  | 40   |
| 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของดินหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 1250°C ของดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น เครื่องรีดดินชนิดคันโยก และเครื่องรีดดินแบบเกลียวบริษัท Venco รุ่น Super-twin | 42   |

## สารบัญภาพ

| รูป                                                | หน้า |
|----------------------------------------------------|------|
| 1.1 เครื่องรีดดินที่ได้ทำการประดิษฐ์และพัฒนา       | 2    |
| 2.1 ช่องป้อนวัตถุดิบของเครื่องรีดดิน               | 6    |
| 2.2 ห้องผสมหรือห้องนวดดินของเครื่องรีดดิน          | 7    |
| 2.3 เกลียวนวดของเครื่องรีดดิน                      | 7    |
| 2.4 ใบมีดในเครื่องรีดดินของเครื่องรีดดิน           | 8    |
| 2.5 ห้องดูดอากาศในเครื่องรีดดิน                    | 8    |
| 2.6 แบบของแม่แบบในเครื่องรีดดิน                    | 9    |
| 2.7 แบบของหัวกระบอกรีดในเครื่องรีดดิน              | 10   |
| 2.8 ห้องควบคุมความเร็วในเครื่องรีดดิน              | 10   |
| 2.9 มอเตอร์ในเครื่องรีดดิน                         | 11   |
| 2.10 ภาพตัดขวางแสดงตำแหน่งของช่องว่างในเนื้อดินแบบ | 16   |
| 2.11 การไหลของดินแบบเชิงเส้น                       | 17   |
| 2.12 ภาพตัดขวางแสดงการหนีของผิวดินบริเวณด้านข้าง   | 17   |
| 2.13 ภาพตัดขวางแสดงการแตกเป็นแท่งของผิวดิน         | 18   |
| 3.1 โครงร่างของเครื่องรีดดินที่ออกแบบ              | 20   |
| 3.2 ชุดควบคุมความเร็ว                              | 21   |
| 3.3 ชุดส่งกำลังนิวแมติก                            | 22   |
| 3.4 ช่องป้อนวัตถุดิบ                               | 22   |
| 3.5 ห้องนวดดิน                                     | 23   |
| 3.6 ห้องดูดอากาศ                                   | 23   |
| 3.7 หัวแบบ                                         | 24   |
| 3.8 หัวแบบขนาดต่างๆ                                | 24   |
| 3.9 มอเตอร์                                        | 25   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| รูป                                                                                                                                                                              | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.10 เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น                                                                                                                                                   | 26   |
| 4.1 การวางแท่งทดสอบบนลิ่มเพื่อใช้วัดความแข็งแรงแบบสามจุด                                                                                                                         | 32   |
| 4.2 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินหลังการรีดโดยใช้เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นและเครื่องรีดดินชนิดคันโยก                                                                | 34   |
| 4.3 แสดงผลการศึกษาสภาพพลาสติกโดยการรاندตัวของดินที่ขุดเป็นวงหลังการรีดในแต่ละครั้ง                                                                                               | 35   |
| 4.4 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C ของเนื้อดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นและเนื้อดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยก                   | 36   |
| 4.5 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1250°C ของเนื้อดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นและเครื่องรีดดินชนิดคันโยก                                       | 38   |
| 4.6 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1250°C ของเนื้อดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่สร้างขึ้นและเครื่องรีดดินชนิดคันโยก                             | 39   |
| 4.7 แสดงค่าความแข็งแรงของดินหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C ของดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น เครื่องรีดดินชนิดคันโยก และเครื่องรีดดินแบบเกลียว บริษัท Venco รุ่น Super-twin | 41   |
| 4.8 แสดงค่าความแข็งแรงของดินหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C ของดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น เครื่องรีดดินชนิดคันโยก และเครื่องรีดดินแบบเกลียว บริษัท Venco รุ่น Super-twin | 43   |
| 4.9 แสดงตำหนิหลังการเผาของเครื่องรีดดินชนิดคันโยกในการรีดรอบที่ 4                                                                                                                | 43   |
| 4.10 ตำหนิหลังการรีดของเครื่องรีดดินชนิดคันโยก                                                                                                                                   | 44   |
| 4.11 แสดงเครื่องรีดดินเครื่องรีดแบบเกลียว บริษัท Venco รุ่น Super-twin                                                                                                           | 46   |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

อุตสาหกรรมเซรามิก เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมเป้าหมายที่ได้รับเลือกให้เป็นอุตสาหกรรมที่มีความเหมาะสมในการส่งเสริมและพัฒนา เป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่สำคัญ มีโอกาสเติบโตสูงและเป็นแหล่งสร้างอาชีพของคนในท้องถิ่น ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายเร่งด่วนของรัฐบาลที่ส่งเสริมอาชีพ “โดยเฉพาะโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์” ถือว่าเป็นแหล่งจ้างงานสร้างรายได้ให้กับเศรษฐกิจไทยและยังนำเงินเข้าประเทศจากการส่งออก

จากการสำรวจการจัดการด้านการผลิตอุตสาหกรรมเซรามิกของ สุธี วัฒนศิริเวช และคณะ (2543) พบว่าโรงงานขนาดเล็กโดยทั่วไปมีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นรองและปริมาณการสูญเสียค่อนข้างสูงกว่าโรงงานขนาดกลางและขนาดใหญ่ อีกทั้งขบวนการผลิตยังขาดการพัฒนา ทั้งในด้านการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ให้ได้รับการยอมรับในเรื่องของคุณภาพ เนื้อดินปั้น เคลือบ รูปทรง สีสัณ และลวดลาย

การจัดการอาชีวศึกษาเป็นการจัดการศึกษา ให้สอดคล้องกับตลาดแรงงานโดยมุ่งให้ผู้เรียนมีความรู้ ความชำนาญในระดับ ช่างฝีมือ ช่างฝีมือและช่างเทคนิค รวมทั้งการประกอบอาชีพอิสระ ดังนั้น จึงเป็นสถาบันการศึกษาที่มุ่งเน้นวิจัยและพัฒนาสื่อและเทคโนโลยีการอาชีวศึกษาและฝึกอบรมวิชาชีพ ส่งเสริม ผลิต พัฒนา และเผยแพร่นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์ บริการเครื่องจักร และเทคโนโลยีเพื่อการเรียนการสอน โดยสอดคล้องตามแผนพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สถาบันการอาชีวศึกษา, 2545)

สถาบันการอาชีวศึกษา ได้จัดสอนหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) คณะศิลปกรรม สาขาวิชาหัตถกรรม และกำหนดให้มีการเรียนการสอนวิชา “การขึ้นรูปเครื่องปั้นดินเผา” ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับการนำเนื้อดินมาทำผลิตภัณฑ์โดยใช้กระบวนการปั้น การรีด การอัด การกด การขึ้นรูปอิสระ ซึ่งกระบวนการขึ้นรูปนั้นมีความสำคัญมากกว่ากระบวนการอื่น เพราะเป็นการเริ่มต้นทักษะการใช้เนื้อดิน การควบคุมสมบัติทางกายภาพของเนื้อดิน จึงควรเน้น

กระบวนการเรียนรู้การขึ้นรูปขั้นพื้นฐาน แต่ในปัจจุบันพบว่าเครื่องมือเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ประกอบกระบวนการเรียนรู้นั้นมีราคาแพง สถานศึกษาไม่สามารถจัดหาอุปกรณ์ดังกล่าวมาใช้ในการปฏิบัติงานได้ เกิดผลเสียต่อขบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และความสูญเสียเนื้อดินปั้นเป็นจำนวนมาก จึงทำให้นักศึกษาขาดทักษะกระบวนการขึ้นรูปเพื่อนำไปสู่การพัฒนากระบวนการอื่นๆ และขาดประสบการณ์ในการปฏิบัติงานเครื่องปั้นดินเผา ได้ครบทุกขั้นตอน

ผู้วิจัยในฐานะเป็นผู้จัดการศึกษา และผู้ส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมชุมชน โครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) จึงมีความสนใจผลิตเครื่องมือเครื่องจักรสิ่งประดิษฐ์ใหม่และพัฒนากระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก โดยได้ดำเนินการสร้างเครื่องรีดดิน และได้พัฒนาต่อเนื่องมาเป็นลำดับ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 จนถึงปัจจุบันมีเครื่องรีดทั้งหมด 4 รุ่น ดังแสดงในรูปที่ 1.1



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 1.1 เครื่องรีดดินที่ได้ทำการประดิษฐ์และพัฒนา โดยสุรสิทธิ์ ปุสุรินทร์คำ

(ก) เครื่องรีดเส้นดิน (ข) เครื่องรีดดินชนิดคันโยก (ค) เครื่องนวดดิน

(ง) เครื่องรีดดินชนิดนิวแมติก

รูปที่ 1.1(ก) เครื่องรีดเส้นดิน สร้างขึ้นในปี พ.ศ. 2538 เป็นเครื่องมือช่วยในเตรียมดิน เป็นให้เส้นลายดินออกมาในลักษณะต่างๆเพื่อการขึ้นรูปด้วยวิธีอิสระ อาศัยหลักการกดกันโยกเพื่อรีดดินในกระบอกรีด จะได้เส้นลายดินออกมาในลักษณะต่างๆตามหัวแบบ ซึ่งหัวแบบสามารถเปลี่ยนได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว แต่มีข้อบกพร่องในด้านการดึงกลับของคันโยก ต้องใช้แรงมาก ทำให้เสียเวลาในการปฏิบัติงาน

รูปที่ 1.1(ข) เครื่องรีดดินชนิดคันโยก เป็นเครื่องมือที่พัฒนาจากเครื่องรีดเส้นดิน ซึ่งแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2540 ช่วยในเตรียมดินเป็นให้เส้นลายดินออกมาในลักษณะต่างๆเพื่อการขึ้นรูปด้วยวิธีอิสระได้สะดวก รวดเร็ว และลดแรงในการใช้งานยิ่งขึ้น โดยเปลี่ยนจากระบบกดคันโยกเป็นระบบสปริงที่สามารถคลายตัวจากการกดได้เองแต่มีข้อบกพร่องในด้านปริมาณการรีดที่ได้จำนวนน้อย

รูปที่ 1.1(ค) เครื่องนวดดิน สร้างขึ้นในปี พ.ศ. 2542 เป็นเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นมาเป็นลำดับต่อมาโดยการศึกษาพบว่าดินควรมีการนวดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนรีดให้เป็นเส้นลายดินเพื่อการขึ้นรูป โดยให้มีห้องนวด (Pug mill) ทำหน้าที่ผสมเนื้อดินให้เป็นเนื้อเดียวกัน และใช้มอเตอร์ เป็นเครื่องดันกำลังขับเคลื่อนควบคุมความเร็วรอบแกนเพลลาให้หมุนภายในห้องนวด ก่อนรีดให้เป็นเส้นลายดินออกมาในลักษณะต่างๆตามหัวแบบ ซึ่งหัวแบบสามารถเปลี่ยนได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว และลดแรงในการใช้งานยิ่งขึ้นแต่มีข้อบกพร่องในส่วนช่องใส่ดินเข้าสู่ห้องนวดเนื่องจากไม่มีแรงดันของช่องใส่ดิน

รูปที่ 1.1(ง) เครื่องรีดดินชนิดนิวแมติก เป็นเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นในปี พ.ศ. 2545 โดยใช้ระบบนิวแมติก (Pneumatic) ในการควบคุมการทำงานจึงสามารถปรับความดันลมในการอัดรีดดินจากช่องใส่ดินเข้าสู่ห้องนวดให้มีค่าแรงอัดคงที่ และสามารถคลายตัวจากการกดได้เอง ช่วยควบคุมเส้นดินให้มีคุณภาพความหนาแน่นเท่ากันตลอด สะดวกในการใช้งาน และมีความรวดเร็วในการขึ้นรูปยิ่งขึ้น แต่มีข้อบกพร่องในด้านควบคุมความเร็วรอบของแกนเพลลาที่หมุนภายในห้องนวดที่ไม่คงที่ และเนื้อดินยังมีอากาศแทรกอยู่มาก

จากผลการประดิษฐ์เครื่องรีดดินทั้ง 4 รุ่น ที่ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตลอดมา พบว่ายังมีข้อบกพร่อง ซึ่งต้องได้รับการแก้ไขจากระบบเครื่องรีดดินแบบ Piston Extrusion มาเป็น Auger Extrusion เนื่องจากดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินแบบ Piston Extrusion ดินที่ใส่เข้าไปในช่องป้อนวัตถุดิบจะถูกอัดให้ดินออกมาจากปลายแม่แบบโดยตรง ดินไม่มีการนวดภายในห้องผสม จึงมักพบตำหนิจากฟองอากาศภายในดิน ส่วนเครื่องรีดดินแบบ Auger Extrusion จะมีเกลียววนวดในห้องผสม ทำให้ดินมีการผสมกัน และลดฟองอากาศที่อยู่ภายในเนื้อดิน ทำให้ดินที่รีดออกมามีความเรียบสม่ำเสมอ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาการพัฒนาเครื่องรีดดินเพื่อพัฒนาการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ โดยใช้ระบบนิวเมติก ในการควบคุมการทำงานที่สามารถปรับความดันลมอัดรีดดินให้มีค่าแรงอัดคงที่ได้ตามต้องการ และใช้มอเตอร์เป็นเครื่องต้นกำลังขับเคลื่อนควบคุมความเร็วรอบแกนเพลาลำโพงในห้องนวด ซึ่งทำหน้าที่ผสมเนื้อดินให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนเข้าสู่ระบบดูดอากาศ (De-airing chamber) เพื่อช่วยลดช่องว่างของอากาศที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเนื้อดินก่อนผ่านเข้าสู่หัวแบบ และสามารถรีดเป็นรูปแบบต่างๆ ที่ปรับเปลี่ยนง่าย เป็นต้นแบบในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามที่ต้องการ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องรีดดินที่จะพัฒนาขึ้นนี้กับเครื่องรีดดินชนิดคันโยกที่สร้างขึ้น โดยจะทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและความแข็งแรงของดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินทั้งสอง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อสร้างเครื่องรีดดินที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการพัฒนาการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ทางด้านเซรามิก
2. เพื่อศึกษาสมบัติและสภาวะที่เหมาะสมของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปแบบรีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น
3. เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปหลังการรีด โดยใช้เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นในงานวิทยานิพนธ์นี้ กับเครื่องรีดดินชนิดคันโยก

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องรีดดินที่มีสมบัติเหมาะสมในการพัฒนาการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ทางด้านเซรามิก ที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปแบบรีดด้วยเครื่องรีด ที่มีการขึ้นรูปได้รวดเร็ว ประหยัด และมีความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์
2. สามารถพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดเล็ก และนำไปใช้ในสถาบันการศึกษาต่างๆที่มีการเรียนการสอนทางด้านเซรามิกได้

#### 1.4 สมมติฐาน

เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นใหม่ สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากดินปั้นสำเร็จรูปในรูปแบบต่าง ๆ โดยมีระบบควบคุมการทำงานที่สะดวก รวดเร็ว และมีความสม่ำเสมอของเส้นดินที่ดีกว่าเครื่องรีดดินรุ่นเก่าชนิดคันโยก





## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เครื่องรีดดิน (Extruder)

เครื่องรีดดินโดยทั่วไปมี 2 แบบคือ แบบที่ใช้แรงดันของลมอัดในการรีดดิน (Piston Extrusion) เนื้อดินที่ใช้รีดต้องมีความละเอียดมาก ส่วนใหญ่นิยมใช้ผลิตท่อร้อยสาย อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เป็นต้น และแบบเกลียว (Augers) เป็นเครื่องมือที่ใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยสภาพพลาสติกด้วยการอัดผ่านหัวแบบ ซึ่งโดยทั่วไปเครื่องรีดดินแบบเกลียวจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ช่องป้อนวัตถุดิบ เกลียววนวด ใบมีด ระบบดูดอากาศ แม่แบบ หัวกระบอกรีด และห้องควบคุมความเร็ว

##### 2.1.1 ช่องป้อนวัตถุดิบ (Material input)

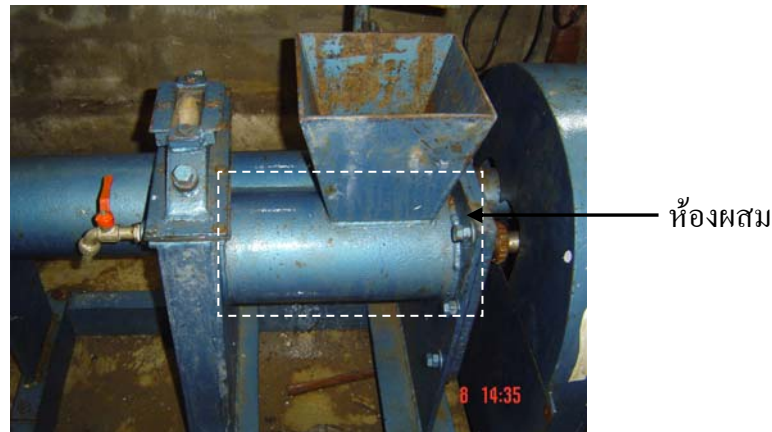
ช่องป้อนวัตถุดิบเป็นทางเข้าวัตถุดิบมีลักษณะเป็นช่องเปิดเพื่อนำวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องรีด ช่องเปิดหรือทางเข้าจะมีลักษณะและรูปร่างและขนาดแตกต่างกันแล้วแต่ความเหมาะสมในการใช้งาน ในบางครั้งช่องเปิดอาจมีลักษณะเป็นรูปกรวย (Hopper) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงช่องป้อนวัตถุดิบของเครื่องรีดดินวิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงราย

### 2.1.2 ห้องผสมหรือห้องนวดดิน (Mixer and Pug mill)

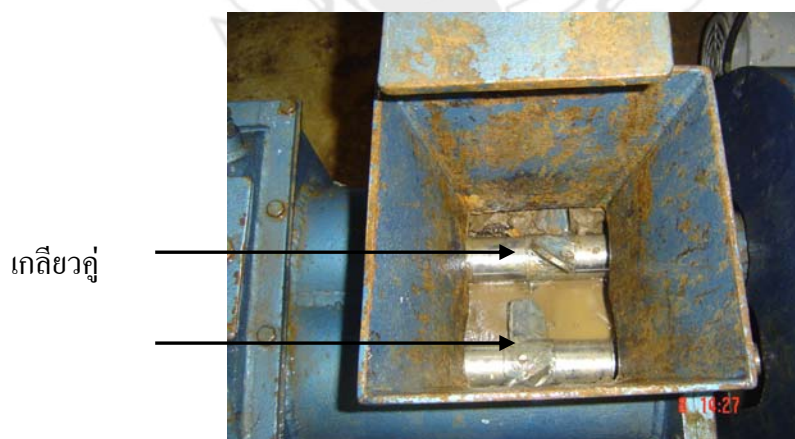
ห้องผสมจะประกอบด้วยเกลียวขนาดและใบมีดซึ่งจะอยู่บนเพลาคเดียวกัน เพื่อทำหน้าที่ผสมวัตถุดิบให้เป็นเนื้อเดียวกันตลอดการนวด ซึ่งเพลาคที่อยู่ในห้องนวดดินจะเชื่อมต่อจากเฟืองทดหรือมอเตอร์ประกอบภายในห้องนวดดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงห้องผสมหรือห้องนวดดินของเครื่องรีดดินของวิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงราย

### 2.1.3 เกลียวนวด (Feed auger)

เกลียวนวดจะมีหน้าที่พาวัตถุดิบที่มาจากเครื่องผสมเคลื่อนตัวไปข้างหน้าขณะที่ดินผ่านเกลียวนวดจะถูกนวดและผสมให้เข้ากันมากขึ้น บางครั้งเกลียวนวดอาจมีมากกว่า 1 แถว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องรีดและความเหมาะสมในการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงเกลียวนวดของเครื่องรีดดินวิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงราย

#### 2.1.4 ใบมีด (Blades)

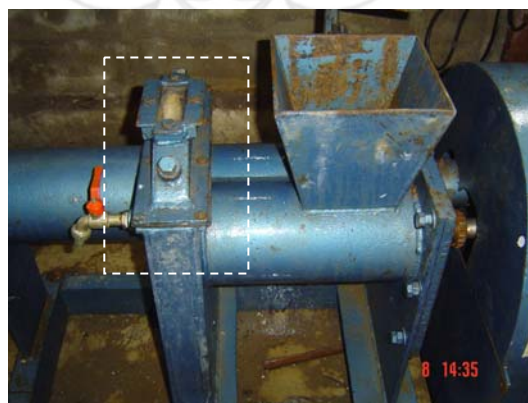
ใบมีดจะมีหน้าที่ตัดดินที่ผ่านออกมาจากเกลียววนวดให้มีขนาดเล็กลง และช่วยลดปริมาณช่องว่างอากาศภายในเนื้อดินให้น้อยลง ซึ่งจะช่วยลดปริมาณค่าหน้าที่อาจเกิดขึ้นจากช่องว่างอากาศนี้ แล้วจึงผ่านเข้าห้องดูดอากาศ โดยทั้งใบมีดและเกลียววนวดจะอยู่บนเพลาดียวกัน ใบมีดจะอยู่ปลายสุดของเพลาดียว ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงใบมีดในเครื่องรีดดินของเครื่องรีดดินวิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงราย

#### 2.1.5 ห้องดูดอากาศ (De-airing chamber)

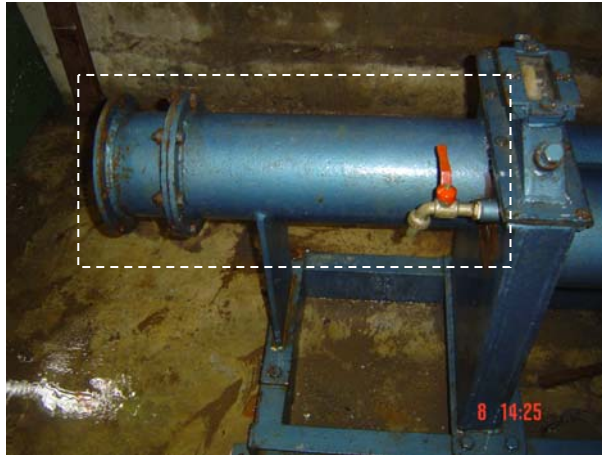
ห้องดูดอากาศดังแสดงในรูปที่ 2.5 ประกอบด้วยระบบปั๊มสุญญากาศ ทำหน้าที่ดูดอากาศออกจากช่องว่างของอากาศที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเนื้อดินขณะที่ทำการรีดดิน โดยช่องว่างที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้ความแข็งแรง (Strength) ของดินมีค่าลดลงและเป็นต้นเหตุการเกิดโพรงช่องว่างในเนื้อดิน การแตกตามขอบมุมของดิน (Dog airing) และการแตกบริเวณผิวหน้าของดิน



รูปที่ 2.5 แสดงห้องดูดอากาศในเครื่องรีดดินของเครื่องรีดดินวิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงราย

#### 2.1.6 แม่แบบ (Mold)

อุปกรณ์ส่วนนี้จะอยู่ถัดจากคอลัมน์ของเกลียวขนาดดินดังรูปที่ 2.6 ดินที่ออกจากเกลียวขนาดจะเข้าสู่แม่แบบซึ่งทำหน้าที่บีบหรืออัดดินเข้าหากันเพื่อต้องการให้ดินติดกันแน่น



รูปที่ 2.6 แสดงแบบของแม่แบบในเครื่องรีดดินของวิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงราย

#### 2.1.7 หัวกระบอกรีด (Die assembly)

อุปกรณ์ส่วนนี้ประกอบด้วยบริดจ์ (Bridge) แกน (Core rod) และหัวแบบ (Die) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ส่วนประกอบต่างๆในหัวกระบอกรีดจะทำหน้าที่เป็นตัวต้นแบบในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ ในส่วนของบริดจ์ แกน และหัวแบบ จะเป็นตัวดำเนินการไหลของดินที่ออกมาจากเกลียวขนาดและแม่แบบ ดังนั้นการออกแบบหัวกระบอกรีดให้เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยทั่วไปอุปกรณ์ในส่วนนี้สามารถถอดออกมาทำความสะอาดได้ง่าย เนื่องจากดินที่ถูกรีดออกมาบางครั้งอาจเกาะติดกับหัวกระบอกรีดทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดตำหนิ ดังนั้นการดูแลรักษาอุปกรณ์ในส่วนนี้จึงเป็นสิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่ง

การเลือกหัวกระบอกรีดควรเลือกแบบที่มีความเรียบมัน ดินสามารถลื่นไหลตัวได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอตลอดเวลา ถ้าหัวกระบอกรีดขรุขระจะเป็นสาเหตุของการเกิดตำหนิและยังด้านการไหลของวัตถุดิบทำให้ได้ผลผลิตออกมาต่ำและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่ดี





รูปที่ 2.7 แสดงแบบของหัวกระบอกรีตในเครื่องรีดดินของวิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงราย

#### 2.1.8 ห้องควบคุมความเร็ว (Reducer gear box)

ห้องควบคุมความเร็วใช้มอเตอร์เป็นเครื่องต้นกำลังจะอยู่ระหว่างเกลิยนวนวดที่เชื่อมกับมอเตอร์และเพลา อุปกรณ์ส่วนนี้จะทำหน้าที่ปรับความเร็วในการหมุนของแกนเกลิยนวนวดและแกนใบมีดให้มีค่าต่ำหรือสูงดังรูปที่ 2.8 และรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 แสดงห้องควบคุมความเร็วในเครื่องรีดดินของวิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงราย



รูปที่ 2.9 แสดงมอเตอร์ในเครื่องรีดดินของวิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงราย

## 2.2 ขั้นตอนการรีด (Method of extrusion)

ดินที่นำมาใช้ควรมีลักษณะเป็นก้อนมีสภาพพลาสติก และไม่แข็งมากนัก ส่วนใหญ่เป็นดินที่เตรียมโดยผ่านเครื่องอัดน้ำออกจากดิน (Filter Press) แล้วนำไปเข้าเครื่องรีดดินเพื่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตามรูปแบบที่ต้องการ เช่น เป็นแท่งโปรง เป็นแท่งกลม และเหลี่ยม ขนาดต่างๆ ตามหัวแบบ มักเป็นเครื่องรีดดินขนาดใหญ่ ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม สามารถผลิตได้ในปริมาณมาก มีความเร็วรอบประมาณ 20 – 25 รอบ ต่อนาที ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยวิธีนี้ได้แก่ อิฐทนไฟชนิดที่เนื้อดินมีสภาพพลาสติกมาก และการผลิตอิฐโปรงที่ใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างทั่วไป ซึ่งเครื่องรีดดินชนิดเกลียวขนาดสามารถแบ่งขั้นตอนของการรีด ดังนี้ (Reed, 1995)

1. นำดินที่เตรียมป้อนเข้าไปในช่องป้อนวัตถุดิบ
2. ดินจะถูกขับเข้าไปยังห้องผสมหรือห้องนวดดินโดยเกลียวขนาด
3. ดินถูกขับเข้าไปยังหัวกระบอกรีดซึ่งเชื่อมต่อกับห้องดูดอากาศ
4. ดินถูกขับผ่านหัวแบบตามแบบที่ต้องการ

## 2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการรีด

2.3.1 ขนาดมุมของเกลียวนวด มีผลต่ออัตราเร็วในการรีด คือ ถ้าขนาดมุมของเกลียว นวดมากจะเพิ่มความสามารถในการรีดดินได้ดีขึ้น แต่มีผลทำให้แรงดันที่กระทำต่อดินลดลง โดยทั่วไปขนาดมุมของเกลียวนวดจะมีมุมเอียงประมาณ 20-25 องศา (Reed, 1995)

2.3.2 มุมของหัวแบบ จะมีผลต่ออัตราการการไหลของดิน โดยขนาดของมุมหัวแบบที่ มากจะเพิ่มแรงต้านระหว่างดินกับหัวแบบ ทำให้อัตราเร็วที่บริเวณจุดศูนย์กลางดินมากกว่าบริเวณ ผนังหัวแบบ เกิดเป็นโพรงในช่องว่างของเนื้อดินขึ้น ดังนั้นการออกแบบมุมของหัวแบบให้มีขนาด น้อยจะช่วยลดปัญหาโพรงในช่องว่างเนื้อดินได้ ซึ่งมุมที่เหมาะสมควรมีขนาดของมุม 30 องศา (Reed, 1995)

2.3.3 ดินที่นำมาใช้ควรมีสภาพพลาสติกที่เหมาะสม ดินที่มีสภาพพลาสติกสูงเกินไป ทำให้ดินไหลตัวช้า เนื่องจากเกลียวนวดไม่สามารถผลักดินจากช่องป้อนวัตถุดิบเข้าสู่ห้องนวดได้ หากดินมีสภาพพลาสติกต่ำ จะทำให้ดินหลังการรีดขาดเป็นช่วงๆ ซึ่งเปอร์เซ็นต์น้ำที่ใช้ในการ ขึ้นรูปแต่ละแบบมีค่าแตกต่างกัน สำหรับการรีดอิฐผ่านหัวแบบจะมีค่าเปอร์เซ็นต์น้ำในช่วง 25-32 เปอร์เซ็นต์ (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541)

2.3.4 ความเร็วรอบในการรีดมีผลต่อลักษณะดินหลังรีด โดยความเร็วรอบใน การรีดดินมากเกินไป จะทำให้ดินหลังการรีดมีความหนาแน่นต่ำ และมักขาดออกจากกันได้ง่าย แต่หากรีดดินด้วยความเร็วรอบน้อย จะไม่มีแรงผลึกมากพอที่จะดันดินออกไปยังหัวแบบได้ ซึ่งใน เครื่องรีดดินทั่วไปจะใช้ความเร็วรอบประมาณ 20 – 25 รอบต่อนาที (ทวี พรหมพฤษย์, 2523)

## 2.4 สมบัติทางกายภาพของดิน

ไพจิตร อังศิริวัฒน์ (2541) ได้กล่าวไว้ว่า ดินเหนียวเกือบทุกชนิดสามารถนำมาขึ้นรูป ได้แต่ควรจะเป็นดินที่ไม่มีเศษวัสดุอื่นเจือปน เช่น หินหรือรากไม้ ส่วนใหญ่แล้วดินจะถูกเตรียม ขึ้นเป็นพิเศษเพื่อการขึ้นรูป โดยผ่านการหมักและการนวดดินให้มีความชื้นพอเหมาะตามต้องการ เพื่อเพิ่มสภาพพลาสติกและสามารถนำมาขึ้นรูปได้ง่าย เนื้อดินจะต้องมีความชื้นพอเหมาะ อ่อนนุ่ม ไม่แข็งมาก ซึ่งสิ่งสำคัญในการเตรียมดินควรคำนึงถึงวิธีการขึ้นรูปด้วย ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ด้วยมือ จีรศักดิ์ คลุมดวง (2546) ได้อธิบายลักษณะเนื้อดินปั้นสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ โดยสามารถเตรียมขึ้นมาจากแหล่งดินเหนียวพื้นบ้านแต่ละท้องถิ่นหรือเป็นดินสำเร็จรูป ธรรมชาติดิน เหนียวจะมีน้ำผสมอยู่ในดินประมาณ 18 – 25% หากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ต้องเพิ่มวัสดุเม็ด หยาบ เช่น เม็ดทรายหรือดินเชื้อ เพื่อช่วยลดการหดตัวของเนื้อดินปั้นและการทรงตัวในขณะที่เผา

ส่วนการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดสุญญากาศ ปรีดา พิมพ์ขาวขำ (2539) ได้กล่าวว่าเนื้อดินที่ใช้ขึ้นรูปควรเป็นดินเนื้อละเอียด เพื่อเพิ่มสภาพพลาสติก ดินที่ใช้ในการขึ้นรูปจะต้องเป็นดินที่ค่อนข้างแข็งสามารถวัดด้วยเครื่องวัดชนิดคดจัมแบบเป็นเข็มสปริง ซึ่งจะมีค่าความแข็งประมาณ 10 – 12 ดังนั้นดินที่จะนำมาใช้ควรมีการศึกษาลักษณะทางกายภาพให้เหมาะสมกับการขึ้นรูปในแบบต่างๆ ดังนี้

#### 2.4.1 ขนาดอนุภาคของดิน

ขนาดอนุภาคของดินมีความสำคัญและมีอิทธิพลต่อสมบัติของเนื้อดินหลายๆอย่าง เช่น สภาพพลาสติก การหดตัว ความแข็งแรงเมื่อแห้ง และความสามารถแลกเปลี่ยนประจุ ดินที่มีขนาดอนุภาคที่เล็กและละเอียดจะมีความเป็นพลาสติกและการหดตัวสูง ซึ่งการวัดขนาดอนุภาคของเนื้อดินก็มีหลายวิธีด้วยกันที่นำมาใช้ เช่น การวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์ การวัดโดยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ และการวัดโดยการตกตะกอนของเนื้อดิน (Norton, 1974) นอกจากนี้วิธีการวัดขนาดอนุภาคของดินโดยการกรองด้วยตะแกรง (Sieve) ขนาดต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและนิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมเซรามิก (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541)

#### 2.4.2 สภาพพลาสติกของดิน

สภาพพลาสติก (Plasticity) หมายถึง สมบัติในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือขนาดอย่างถาวรของวัสดุ เมื่อวัสดุได้รับความเค้นสูงกว่าความเค้น ณ จุดคราก (พจนานุกรมศัพท์วัสดุศาสตร์และเทคโนโลยี, 2547) แต่โดยทั่วไปในทางอุตสาหกรรมเซรามิกนิยมนิยามเรียกว่า “ความเหนียว” ซึ่งบางครั้งอาจทำให้เกิดความสับสนกับคำว่าความเหนียวที่ใช้ในทางโลหะวิทยาได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันจึงจะใช้คำว่าสภาพพลาสติกหรือมีความเป็นพลาสติกในงานวิจัยนี้

ไพจิตร อังศิริวัฒน์ (2541) ได้กล่าวไว้ว่า สภาพพลาสติก คือ คุณสมบัติที่วัตถุดิบสามารถเปลี่ยนสภาพทางรูปทรงได้โดยไม่เกิดการแตกหักเมื่อใช้แรงกดหรือบีบและวัตถุดิบนั้นสามารถคงรูปอยู่ได้เมื่อปล่อยแรงที่กดหรือบีบออกแล้ว นอกจากนี้ Worrall (1982) กล่าวว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อความเป็นพลาสติก ของดิน ได้แก่ พื้นที่ผิวของดิน ขนาดของอนุภาคดิน ความชื้นหรือปริมาณน้ำ ปริมาณของไอออนที่ผิวของดิน และปริมาณอินทรีย์สารที่อยู่ในดิน ดินที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะมีความเป็นพลาสติก มากกว่าดินที่มีขนาดอนุภาคขนาดใหญ่ ดินที่มีความชื้นมากจะมีความเป็นพลาสติก มากกว่าดินที่มีความชื้นน้อย และดินที่มี  $\text{Ca}^{+2}$  หรือ  $\text{H}^{+}$  อยู่บนผิวจะมีความเป็นพลาสติก ดีกว่าเนื้อดินที่มี  $\text{Na}^{+}$  และ  $\text{K}^{+}$  อยู่บนผิว



การทดสอบสภาพพลาสติกของดินสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้ (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541)

1. การทดสอบโดยช่างปั้น ให้ช่างปั้นขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนในจำนวนหลายๆใบ ในรูปแบบที่ต่างกัน เช่น ชามปากกว้าง แจกันทรงสูง ช่างปั้นก็สามารถบอกได้ว่าดินมีสภาพพลาสติก เหมาะสำหรับขึ้นรูปดินมากน้อยเพียงใด

2. ทดสอบโดยดูจากการย่ียร้าวของดินโดยใช้ดินเหนียวคลึงเป็นเส้นด้วยมือ แล้วม้วนเป็นรูปวงกลม หากดินที่ไม่มีสภาพพลาสติกจะพบรอยร้าวหรือรอยแตก แต่ถ้าไม่มีรอยร้าว แสดงว่าดินมีสภาพพลาสติกดีสามารถนำไปขึ้นรูปได้ (เชี่ยวชาญ แสงทอง, 2548)

3. การทดสอบความแข็งแรงของดินดิบ หรือดินที่ไม่ผ่านการเผาเตรียมตัวอย่าง เป็นแท่งกลมหรือเหลี่ยมด้วยวิธีการหล่อน้ำดิน หรืออัดจากดินเหนียวจากนั้นนำไปอบให้แห้ง ที่อุณหภูมิประมาณ  $110^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าความแข็งแรงด้วยเครื่องวัด โดยดูที่ค่าความทนต่อแรงกดสูงสุดก่อนที่แท่งทดสอบจะหัก ถ้าดินมีสภาพพลาสติกมากกว่าที่ได้จะมีค่ามากกว่าดินที่มีสภาพพลาสติกน้อย

4. การทดสอบโดยการวัดปริมาณน้ำในดินเหนียว โดยการใช้น้ำเดิมเข้าไปในดินผงแห้งที่รู้น้ำหนักก่อนเติมน้ำเข้าไปจนดินมีสภาพพลาสติกแล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักน้ำที่เดิมเข้าไปถ้าดินที่มีสภาพพลาสติกมากจะดูดน้ำไว้ในเนื้อดินได้มากกว่าดินที่มีสภาพพลาสติกน้อย

5. การทดสอบโดยการเติมวัตถุดิบที่ไม่มีสภาพพลาสติก เช่น ทรายหรือซิลิกา เข้าไปเนื้อดินในสัดส่วนที่ต่างกัน ดินที่มีสภาพพลาสติกมากร้อยละของทรายที่ใช้ก็จะมากด้วย

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการวัดสภาพพลาสติกของเนื้อดินจากปริมาณของน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสมและดูลักษณะรอยร้าวจากการขดเป็นวงของเส้นดินที่ผ่านการรีดควักกัน

#### 2.4.3 การหดตัว

การหดตัวของเนื้อดินมีความสำคัญต่อการผลิตเครื่องปั้นดินเผาเป็นอย่างมาก เนื่องจากดินที่มีการหดตัวมากจะทำให้ผลิตภัณฑ์บิดเบี้ยวหรือแตกร้าว และมีขนาดไม่ตรงตามความต้องการ การหดตัวของเนื้อดินจะเกิดขึ้น 2 ระยะคือ การหดตัวเมื่อแห้ง (Drying Shrinkage) และการหดตัวเมื่อเผา (Firing Shrinkage) ดินเมื่อแห้งจะหดตัวเนื่องจากน้ำในเนื้อดิน ระเหยออกไป เนื้อดินจึงหดตัวเข้าแทนที่ ส่วนการหดตัวเมื่อเผาจะต่างกันเนื่องจากความแตกต่างของเม็ดดินและสิ่งเจือปนที่อยู่ในเม็ดดินนั้น ดินที่มีขนาดอนุภาคที่ละเอียดมากจะมีการหดตัวมากกว่าดินที่มีขนาดอนุภาคที่หยาบ ซึ่งการหดตัวของเนื้อดินสามารถคำนวณได้จาก การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงาน (Linear Shrinkage) ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปในหัวข้อ 4.4.3

#### 2.4.4 ความพรุนตัว

ความพรุนตัวของเนื้อดินเกิดขึ้นตั้งแต่เนื้อดินเริ่มสูญเสียความชื้นหรือเมื่อเนื้อดินเริ่มแห้ง ซึ่งความพรุนตัวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อนำเนื้อดินไปเผาและที่อุณหภูมิประมาณ  $600^{\circ}\text{C}$  พบว่าเนื้อดินมีความพรุนตัวมากที่สุด เนื่องจากการหายไปของพวกสารอินทรีย์และน้ำในโครงสร้างทางเคมี ที่อุณหภูมินี้ เนื้อดินจะมีความแข็งแรงลดลง เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นความพรุนตัวจะลดลง เนื่องจากการหลอมละลายของตัวหลอมละลายที่มีในเนื้อดิน ที่อุณหภูมิประมาณ  $900^{\circ}\text{C}$  พบว่าเป็นช่วงที่เนื้อดินมีความแข็งแรงสูงสุดและมีความพรุนตัวที่เหมาะสม ดังนั้นการเผาจึงนิยมเผาที่อุณหภูมิประมาณ  $900^{\circ}\text{C}$  หากอุณหภูมิสูงกว่านี้ความแข็งแรงจะเพิ่มมากขึ้นแต่ความพรุนตัวจะต่ำทำให้เนื้อดินดูดซับน้ำเคลือบได้น้อยหรือไม่ดูดซับเลย (Hamer, 1975)

#### 2.4.5 ความแข็งแรง

ความแข็งแรงของเนื้อดินสามารถวัดได้ 2 ขั้นตอน คือ ความแข็งแรงเมื่อแห้งและความแข็งแรงหลังเผา การทดสอบความแข็งแรงเมื่อแห้งเป็นการหาค่าความเป็นพลาสติกและความละเอียดของอนุภาคดินในทางอ้อม ผลัดกันหลังจากขึ้นรูปที่มีความแข็งแรงดีเมื่อแห้งจะไม่เปราะหรือหักง่ายและสามารถเคลื่อนย้ายได้โดยสะดวก โดยทั่วไปดินที่มีสภาพพลาสติกมากจะมีความแข็งแรงมาก หลังการขึ้นรูปหรือฝังให้แห้ง เนื้อดินหลังการเผา เช่น ดินเหนียว หลังการเผามีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเนื้อดินบางส่วนหลอมกลายเป็นแก้วและมีผลึกมัลไลต์เกิดขึ้น (Rice, 1987)

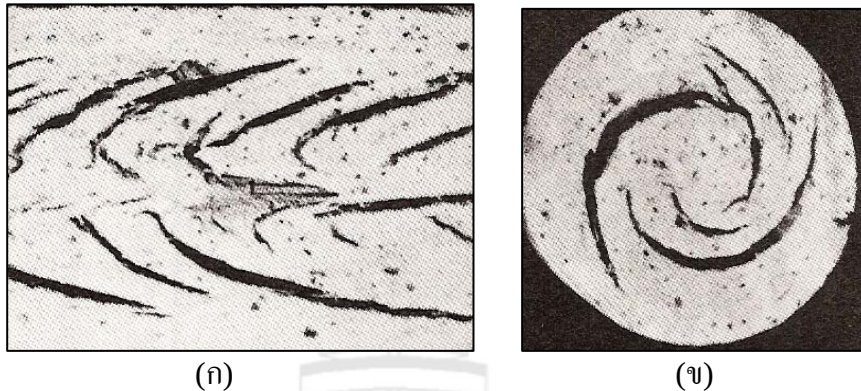
### 2.5 ตำหนิที่เกิดในงานรีด (Extrusion defects)

การรีดเป็นวิธีการหนึ่งในการขึ้นรูปที่อาศัยแรงดันผลักดันวัตถุดิบผ่านหัวแบบที่มีรูปร่างและขนาดตามต้องการ ในบางครั้งอาจเกิดตำหนิต่างๆในตัวเนื้อดินปั้น (Green body) ที่เกิดขึ้นระหว่างการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการรีด ตำหนิเหล่านี้ได้แก่ โพรงช่องว่างในเนื้อดิน (Lamination) การแตกบริเวณผิวหน้าและขอบ (Surface and edge tearing) การแตกเนื่องจากบริดจ์และแกน (Bridge and core cracking) การแตกของผลิตภัณฑ์ (Column splitting) การแยกตัว (Segregation) และการจัดเรียงตัวของอนุภาค (Orientation of particles) (Onoda and Hench, 1978)

#### 2.5.1 ตำหนิชนิดโพรงช่องว่างในเนื้อดิน (Lamination)

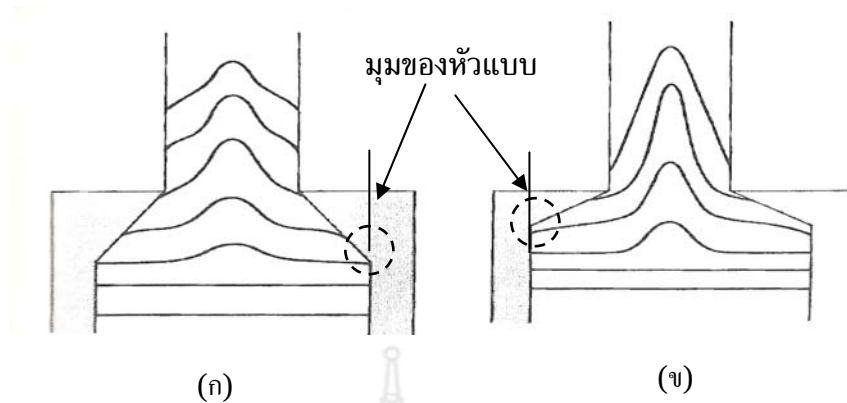
การเกิดโพรงช่องว่างในเนื้อดินเป็นปัญหาที่เกิดจากการไหลตัวของดินที่มีสภาพพลาสติกต่ำ แต่การออกแบบหัวกระบอกรีดและการใช้ปริมาณน้ำในเนื้อดินที่มากขึ้นจะ

ช่วยป้องกันการเกิดการไหลแบบเชิงเส้นอันเป็นสาเหตุให้เกิดการแตก และยังช่วยเพิ่มความอ่อนตัว (Weakness) ซึ่งลักษณะตำหนิที่เกิดขึ้นจะเกิดเป็นโพรงช่องว่างในเนื้อดินที่ปรากฏอยู่ภายใน ผลិតภัณฑ์โพรงช่องว่างนี้ สามารถเกิดได้ 2 แบบคือ ตามแนวยาวและตามแนวขวาง ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ภาคตัดขวางแสดงตำหนิชนิดโพรงช่องว่างในเนื้อดินแบบ (ก) ตามแนวยาว และ (ข) ตามแนวขวาง (Onoda and Hench, 1978)

เมื่อเนื้อดินอยู่ในกระบอกริด ส่วนที่เคลื่อนที่เร็วที่สุดคือเนื้อดินบริเวณศูนย์กลางของคอลัมน์ ซึ่งถ้าหากส่วนนี้มีการเคลื่อนที่เร็วกว่าส่วนอื่นมากเกินไปจะทำให้เนื้อดินบริเวณจุดศูนย์กลางเกิดการม้วนตัวดังแสดงในรูปที่ 2.11 การป้องกันการเกิดโพรงช่องว่างในเนื้อดินสามารถทำได้ โดยควบคุมปริมาณน้ำหรือความชื้นของดินไม่ให้มากเกินไป เพื่อลดอัตราการไหลตัวของเนื้อดิน นอกจากนี้การเลือกใช้ขนาดมุมของหัวแบบสามารถช่วยลดการเกิดโพรงในช่องว่างได้ โดยขนาดของมุมหัวแบบที่มากจะเพิ่มแรงต้านระหว่างดินกับหัวแบบได้ดีกว่าขนาดของมุมหัวแบบที่น้อย



รูปที่ 2.11 การไหลของดินแบบเชิงเส้น (ก) การไหลตัวของดินที่หัวแบบที่มีมุมมาก  
(ข) การไหลตัวของดินที่หัวแบบที่มีมุมน้อย (Onoda and Hench, 1978)

#### 2.5.2 คำนิษณการฉีกของผิวดินบริเวณด้านข้าง

ในบางครั้งการรีดดินออกมาอาจเกิดการฉีกบริเวณผิวด้านข้างของเนื้อดินซึ่งเรียกว่า Edge tearing ดังแสดงในรูปที่ 2.12

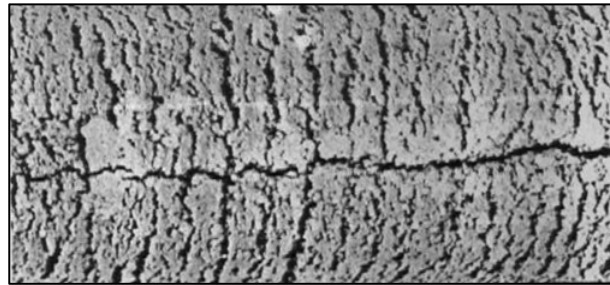


รูปที่ 2.12 ภาพตัดขวางแสดงการฉีกของผิวดินบริเวณด้านข้าง (Onoda and Hench, 1978)

สาเหตุการฉีกนี้เกิดจากการเสียดสีอย่างมากบริเวณมุมหัวกระบอกรีดกับผิวด้านข้างของเนื้อดินรีด เมื่อดินมีขนาดอนุภาคใหญ่และมีสภาพพลาสติกน้อย มีแนวโน้มที่จะเกิดการฉีกมากขึ้น สำหรับดินที่มีสภาพพลาสติกดีจะเกิดการเสียดสีต่ำและมักจะไม่เกิดการฉีกของดิน

### 2.5.3 คำนิษณการแตกเป็นแท่งของผิวดิน (Column splitting)

การเสียดสีของเนื้อดินที่บริเวณผิวหน้าหัวกระบอกรีด เป็นสาเหตุทำให้แท่งดินแตกหรือขาดออกจากกัน เนื้อดินที่มีปริมาณทรายผสมอยู่มาก มีสภาพพลาสติกที่ต่ำจะเกิดแรงเสียดทานมาก ทำให้เกิดการแตกและแยกออกจากกันอย่างต่อเนื่อง แสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ภาพตัดขวางแสดงการแตกเป็นแท่งของผิวดิน (Onoda and Hench, 1978)

### 2.5.4 คำนิษณการยึดเกาะภายในเนื้อดิน (Adhesion)

เนื้อดินที่มีสภาพแข็งและแห้งจะเกาะติดกับชิ้นส่วนอุปกรณ์ภายในเครื่องรีด ทำให้ความเร็วในการหมุนของเกลียววนลดลง จากนั้นเมื่อดินไถลไปบนเกลียววนและถูกลากไปตามช่องทางในเครื่องรีด สุดท้ายจะเกิดการดันการไหลของดินบริเวณหัวกระบอกรีด ซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิดรอยแตกบนผิวหน้าและเกิดโพรงช่องว่างในเนื้อดิน ซึ่งการควบคุมหรือลดปริมาณการเกาะติดกับอุปกรณ์ สามารถทำได้โดยการขัดผิวของกระบอกรีดให้ลื่นมันหรือใช้สารเคลือบบนผิวของปากกระบอกรีด

## บทที่ 3

### การออกแบบและการสร้างเครื่องรีดดิน

ในการออกแบบและสร้างเครื่องรีดดิน ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนของการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

#### 3.1 การวิเคราะห์ปัญหาของวิธีการขึ้นรูป

ตารางที่ 3.1 แสดงการพัฒนาเครื่องรีดดินให้มีความสามารถในการรีดดินดีขึ้น

| ชนิดของเครื่อง               | ระบบแรงขับ                    | ขนาดกระบอกลูก                             | ปัญหา/ลักษณะตำหนิ                                               |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1. เครื่องรีดเส้นดิน         | การกดด้วยมือ                  | เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.5 นิ้ว ยาว 8 นิ้ว | - รีดไม่ต่อเนื่อง<br>- รีดดินได้ในปริมาณน้อย<br>- พบฟองอากาศมาก |
| 2. เครื่องรีดดินชนิดคันโยก   | การกดด้วยมือและกลายตัวกลับได้ | เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.5 นิ้ว ยาว 6 นิ้ว | - รีดไม่ต่อเนื่อง<br>- รีดดินได้ในปริมาณน้อย<br>- พบฟองอากาศ    |
| 3. เครื่องนวดดิน             | มอเตอร์                       | เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4 นิ้ว ยาว 10 นิ้ว  | - ดินไหลตัวต่อเนื่อง<br>- ขาดระบบการส่งดินเข้าสู่ห้องนวด        |
| 4. เครื่องรีดดินชนิดนิวแมติก | นิวแมติก                      | เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 นิ้ว ยาว 6 นิ้ว   | - ดินไหลตัวต่อเนื่อง<br>- พบฟองอากาศ                            |

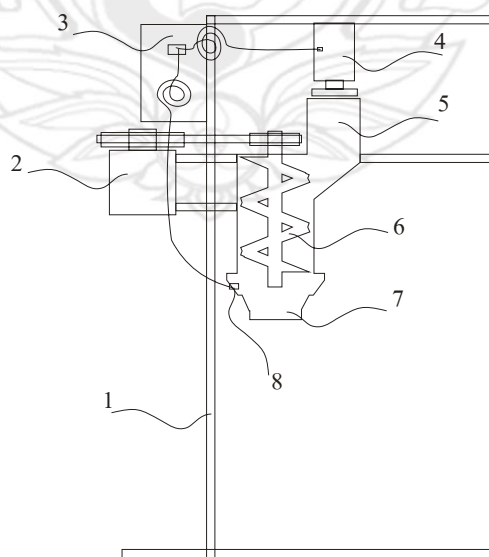
จากผลการประดิษฐ์เครื่องรีดดินทั้ง 4 รุ่น ที่ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตลอดมาพบว่ายังมีข้อบกพร่องซึ่งต้องได้รับการแก้ไข การวิเคราะห์ปัญหาของวิธีการขึ้นรูป แสดงในตารางที่ 3.1 ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาการพัฒนาเครื่องรีดดินเพื่อพัฒนาการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

โดยใช้ระบบนิวแมติก ในการควบคุมการทำงานที่สามารถปรับกำหนดความดันลมอัดรีดดินให้มีค่าแรงอัดคงที่ได้ตามต้องการ และใช้มอเตอร์เป็นเครื่องต้นกำลังขับเคลื่อนควบคุมความเร็วรอบแกนเพลาลให้หมุนภายในห้องนวด ซึ่งทำหน้าที่ผสมเนื้อดินให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนเข้าสู่ระบบคูดอากาศ เพื่อช่วยลดช่องว่างของอากาศที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเนื้อดินก่อนผ่านเข้าสู่หัวกระบอกรีด และสามารถรีดเป็นรูปแบบต่างๆ ที่ปรับเปลี่ยนง่าย เป็นต้นแบบในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามที่ต้องการ ซึ่งมีรายละเอียดการออกแบบและการสร้างในหัวข้อที่ 3.2

### 3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องรีดดิน

การออกแบบส่วนประกอบของเครื่องรีดดินดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. โครงสร้างเครื่องรีดดิน
2. มอเตอร์ไฟฟ้า
3. ชุดควบคุมความเร็ว
4. ชุดส่งกำลังนิวแมติก
5. ช่องป้อนวัตถุดิบ
6. ห้องนวดดิน
7. หัวแบบ
8. ห้องคูดอากาศ

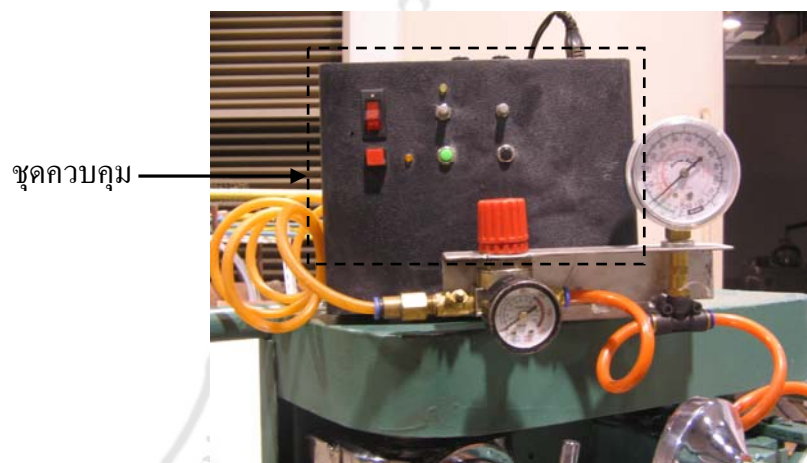


รูปที่ 3.1 แสดงโครงร่างของเครื่องรีดดินที่ออกแบบ

ในการสร้างเครื่องรีดดินในงานวิจัยนี้ มีส่วนประกอบต่างๆของเครื่องโดยแสดง  
ชิ้นส่วนอย่างละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.2.1 ชุดควบคุม

อุปกรณ์ส่วนนี้จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องทั้งหมด โดยมีส่วนที่ต้อง  
ควบคุมได้แก่ สวิตช์ควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องซึ่งรวมถึงมอเตอร์ ปั๊มควบคุมการทำงานของ  
นิวแมติก ระบบสุญญากาศ และปั๊มลูกเหินหากอุปกรณ์ส่วนหนึ่งส่วนใดขัดข้อง ซึ่งชุดควบคุม  
แสดงในรูปที่ 3.2

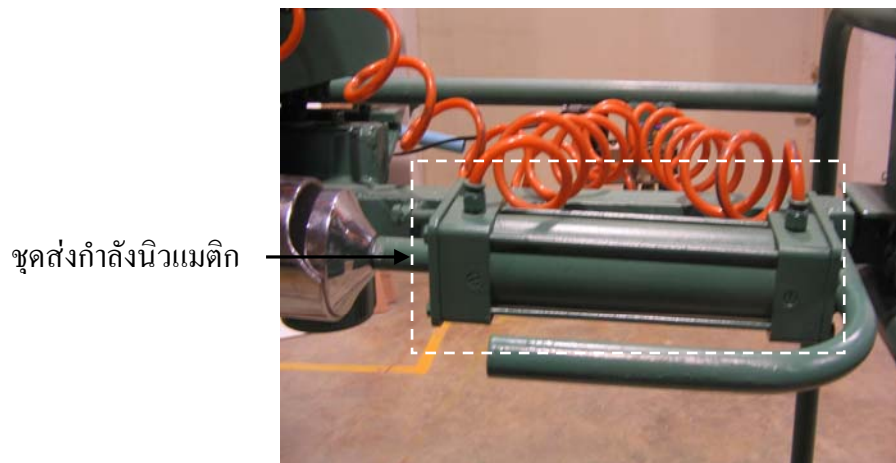


รูปที่ 3.2 แสดงชุดควบคุมความเร็ว

### 3.2.2 ชุดส่งกำลังนิวแมติก

ระบบนิวแมติก หมายถึง ระบบส่งกำลังจากต้นทางไปยังปลายทางโดยอาศัยลม  
เป็นตัวส่งกำลังและควบคุมการทำงานของระบบ ซึ่งขนาดของนิวแมติกขึ้นอยู่กับความเหมาะสม  
ของการใช้งาน นิวแมติกที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบนี้ทำหน้าที่ในการอัดดินในช่องป้อนวัตถุดิบ  
ให้เข้าไปยังห้องนวดดินโดยอาศัยลมจากปั๊มลมเป็นตัวควบคุมการทำงานของนิวแมติก  
(B-TAC Automation, 2528) ซึ่งขนาดของนิวแมติกที่ใช้ในงานวิจัยมีขนาดความยาว 10 นิ้ว  
เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ดังรูปที่ 3.3

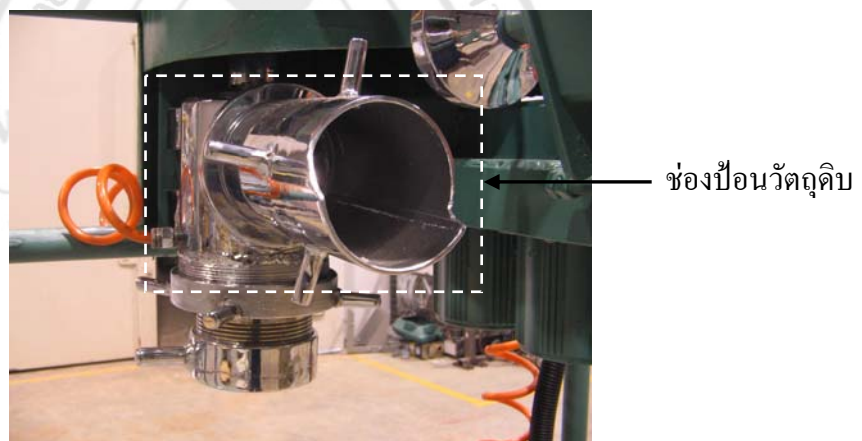




รูปที่ 3.3 แสดงชุดส่งกำลังนิวแมติก

### 3.2.3 ช่องป้อนวัตถุดิบ

ช่องป้อนวัตถุดิบมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกในงานวิจัยนี้ใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว และยาว 10 นิ้ว ใช้สำหรับใส่วัตถุดิบให้เข้าสู่ห้องนวดดินโดยใช้ระบบนิวแมติกเป็นตัวขับเคลื่อน ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งสามารถถอดทำความสะอาดได้ง่ายหลังเสร็จการใช้งาน

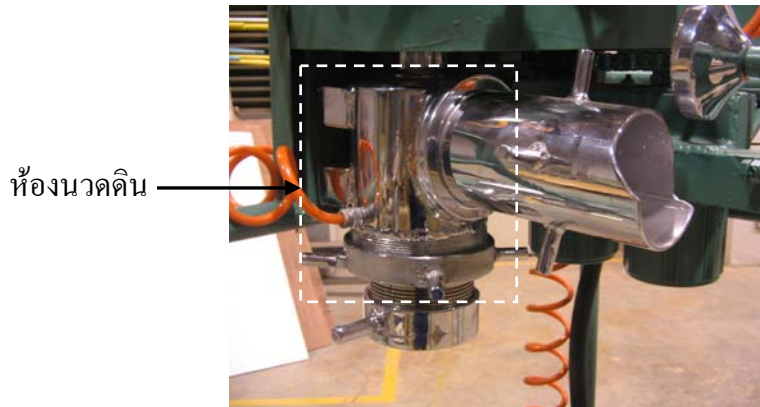


รูปที่ 3.4 แสดงช่องป้อนวัตถุดิบ

### 3.2.4 ห้องนวดดิน (Auger)

ในส่วนของห้องนวดดินจะประกอบด้วย เฟลาออร์เกอร์ (Feed auger) ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ยาว 6 นิ้ว โดยจะเชื่อมต่อจากเฟืองทด

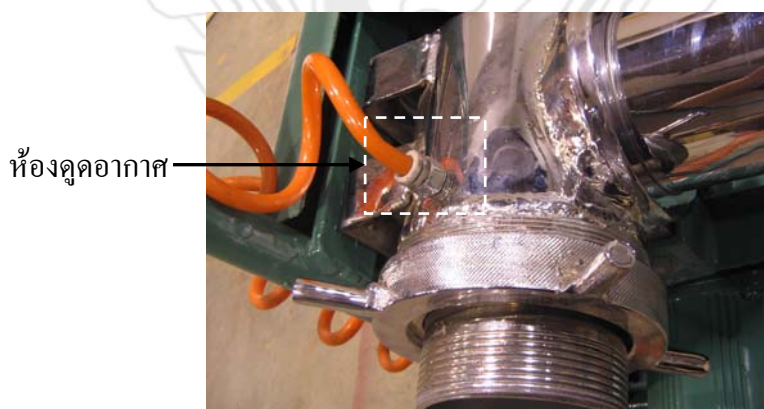
หรือมอเตอร์ โดยเพลาลูกเบี้ยวจะทำหน้าที่ดันและนวดดินที่มาจากช่องป้อนวัตถุดิบให้เคลื่อนตัวไปข้างหน้าขณะที่ดินผ่านเพลาลูกเบี้ยว จะถูกนวดและผสมให้เข้ากันมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงห้องนวดดิน

### 3.2.5 ห้องดูดอากาศ

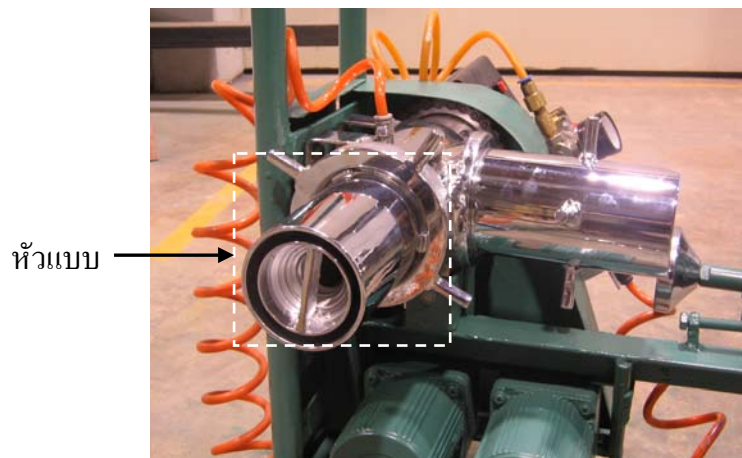
ห้องดูดอากาศจะเชื่อมต่อกับห้องนวดดินซึ่งประกอบด้วยปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ขนาด 1/4 แรงม้า ปั๊มสุญญากาศทำหน้าที่ดูดอากาศออกจากดินเมื่อมาถึงห้องดูดอากาศ เพื่อให้ดินหลังการรีดไม่มีฟองอากาศหรือเป็นตำหนิแบบฟองอากาศน้อยลง ซึ่งปั๊มดูดอากาศจะทำงานต่อเนื่องขณะทำการรีดดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงห้องดูดอากาศ

### 3.2.6 หัวแบบ

อุปกรณ์ส่วนนี้จะอยู่ถัดจากห้องดูดอากาศ โดยดินที่ออกจากห้องนวดผ่านห้องดูดอากาศจากนั้นจะเข้าสู่หัวแบบ (รูปที่ 3.7) ซึ่งสามารถมีได้หลายขนาดดังแสดงรูปที่ 3.8 แต่ต้องมีขนาดเล็กกว่าห้องนวดเล็กน้อย ในงานวิจัยนี้เลือกใช้หัวแบบที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 เซนติเมตร ซึ่งทำหน้าที่บีบหรืออัดดินเข้าหากันเพื่อต้องการให้ดินติดกันแน่น



รูปที่ 3.7 แสดงหัวแบบ



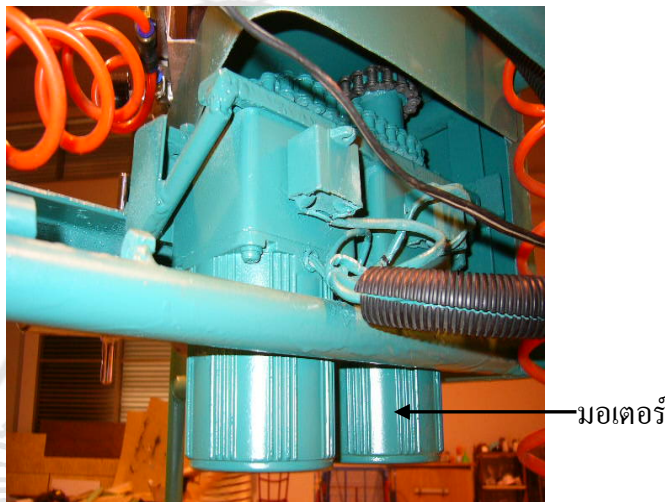
รูปที่ 3.8 แสดงหัวแบบขนาดต่างๆ

หัวแบบประกอบด้วย บริดจ์ และแกน ส่วนประกอบต่างๆในหัวแบบจะทำหน้าที่เป็นตัวดันแบบในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการไม่ว่าจะเป็นลักษณะ กลม แบน เหลี่ยม และ ท่อ ซึ่งมีขนาดเล็กใหญ่ต่างกันออกไป ในส่วนของบริดจ์ และแกน จะเป็นตัวดันการไหลของดินที่ออกมาจากห้องนวดดิน ดังนั้นการออกแบบให้เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญ หัวแบบที่ดีควรมีผิว

ที่เรียบมันและไม่เป็นสนิม สามารถให้ดินผ่านไปได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ ถ้าผิวหัวแบบขรุขระจะเป็นสาเหตุของการเกิดตำหนิและยังด้านการไหลของดินทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีคุณภาพ หัวแบบควรสามารถถอดออกมาทำความสะอาดได้ง่าย เนื่องจากดินที่ถูกรีดออกมาอาจเกาะติดกับหัวแบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ชิ้นส่วนของอุปกรณ์ในส่วนนี้จะทำการชุบผิวด้วยโครเมียม

### 3.2.7 มอเตอร์

มอเตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนของแกนเพลลาให้หมุนเพื่อดันและนวดดินในงานวิจัยนี้เลือกใช้ที่ความเร็วรอบคงที่ 25 รอบต่อนาที มีกำลัง 2 แรงม้า ซึ่งมอเตอร์จะทำงานต่อเนื่องขณะทำการรีด แสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงมอเตอร์

อุปกรณ์ส่วนต่างๆของเครื่องรีดดินจะมีหน้าที่แตกต่างกันไปดังได้กล่าวมาข้างต้นนั้น เมื่อนำมาประกอบเข้าเป็นเครื่องรีดดินที่สมบูรณ์แบบ และพร้อมใช้งานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น



## บทที่ 4

### การทดสอบสถานะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการใช้งาน

#### 4.1 สมบัติเบื้องต้นของเนื้อดินปั้นที่ใช้

ในงานวิจัยนี้ใช้ดินผสมสำเร็จรูปคอมพาวด์เคลย์ (Compound clay) ชนิด Porcelain body (PBA) ในการทดลอง เนื่องจากเป็นดินที่เตรียมขึ้นโดยผ่านการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ ให้มีคุณสมบัติที่สม่ำเสมอ และนิยมใช้ในทางอุตสาหกรรมเซรามิกทั่วไป ซึ่งผลการทดสอบของดินในงานวิจัยนี้แสดงไว้ ดังนี้ (บริษัท คอมพาวด์เคลย์ จำกัด)

##### องค์ประกอบทางเคมี

|                                |        |
|--------------------------------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 63.40% |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 22.30% |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.95%  |
| MgO                            | 0.22%  |
| CaO                            | 0.24%  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.76%  |
| K <sub>2</sub> O               | 3.52%  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.20%  |
| Loss on ignition               | 7.58%  |

##### คุณสมบัติทางกายภาพ

|                               |           |                    |
|-------------------------------|-----------|--------------------|
| ความชื้นดินแผ่น               | 20.0-23.0 | %                  |
| ความแข็งแรงก่อนเผา            | 40-75     | kg/cm <sup>2</sup> |
| ขนาดความละเอียดดิน >10 ไมครอน | 25-45     | %                  |



#### อุณหภูมิหลังเผา 1230°C (Oxidation firing: OF)

|                                 |           |                        |
|---------------------------------|-----------|------------------------|
| การหดตัวหลังอบ                  | 2.5-4.50  | %                      |
| การหดรวมตัว                     | 10-12.50  | %                      |
| ระยะทนไฟ                        | 0.3-0.60  | cm                     |
| การดูดซึมน้ำ                    | 3-4.5     | %                      |
| ความแข็งแรงหลังเผา              | 400-530   | kg/cm <sup>2</sup>     |
| สัมประสิทธิ์การขยายตัว 25-500°C | 175-210   | (x10 <sup>-7</sup> /K) |
| การขยายตัวที่อุณหภูมิ 500°C     | 0.28-0.23 | %                      |

#### 4.2 การทดสอบสถานะที่เหมาะสมในการรีดดินของเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น

ในการทดสอบสถานะที่เหมาะสมของเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นนั้น ผู้วิจัยได้ทดสอบการทำงานของเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นโดยการนำดินผสมสำเร็จรูปชนิดบรรจุถุงที่มีความชื้นประมาณ 31 เปอร์เซ็นต์ อัดเข้าไปให้เต็มภายในห้องนวดดิน ซึ่งสามารถบรรจุดินได้ประมาณ 3 กิโลกรัม จากนั้นนำดิน 1 กิโลกรัม อัดเข้าไปในกระบอกรีด และใช้มอเตอร์ที่มีความเร็วรอบคงที่ 25 รอบต่อนาที เป็นเครื่องต้นกำลังขับเคลื่อนควบคุมความเร็วรอบแกนเพลาลูกหมุนภายในห้องนวด แล้วปรับค่าแรงอัดนิวแมติกที่สามารถทำให้เนื้อดินหลังการรีดออกมาได้อย่างต่อเนื่อง ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า ที่แรงอัดนิวแมติกในช่วง 40-80 บาร์ ดินรีดออกมาไม่มีความต่อเนื่อง เมื่อเพิ่มแรงอัดนิวแมติกในช่วง 100-120 บาร์ ดินหลังการรีดมีความต่อเนื่องมากขึ้น ในการวิจัยนี้จึงเลือกใช้ค่ากำลังอัดนิวแมติกที่ 100 บาร์ ในการรีดดินเพื่อใช้ทดสอบสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของแรงอัดนิวแมติกต่อลักษณะของดินหลังการรีด

| แรงอัดนิวแมติก (บาร์) | ลักษณะของดินหลังการรีด                |
|-----------------------|---------------------------------------|
| 40                    | ยังไม่สามารถรีดดินออกมาได้            |
| 60                    | ดินที่รีดออกมาไม่มีความต่อเนื่อง      |
| 80                    | ดินที่รีดออกมาไม่มีความต่อเนื่อง      |
| 100                   | ดินถูกรีดออกมาได้ดีและมีความต่อเนื่อง |
| 120                   | ดินถูกรีดออกมาได้ดีและมีความต่อเนื่อง |

ความสามารถในการรีดดินของเครื่องรีดที่พัฒนาขึ้น กรณีที่ดินมีค่าความชื้นแตกต่างจากดินผสมสำเร็จรูปคอมพาวด์เคลย์ ชนิด Porcelain body (PBA) ที่ใช้ในการทดสอบ พบว่าเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นเหมาะสำหรับรีดดินที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นภายในช่วงร้อยละ 29-33 ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความชื้นของดินที่สามารถขึ้นรูปได้จากเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น

| ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดิน | ลักษณะของดินจากการรีด                                               |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 25-27                        | ดินมีความแข็งมากเกินไป รีดออกจากเครื่องได้เล็กน้อย                  |
| 27-29                        | ดินสามารถรีดออกมาได้ แต่เนื้อดินขาดเป็นช่วง                         |
| 29-33                        | ดินสามารถรีดออกมาได้ต่อเนื่อง                                       |
| > 33                         | ดินสามารถรีดออกมาได้ แต่เนื้อดินมีความเหนียว ไม่สามารถยืดเกาะกันได้ |

#### 4.3 วิธีการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของดิน

สมบัติทางกายภาพของดินที่ผ่านการรีดด้วยเครื่องรีดนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น และเปรียบเทียบกับสมบัติทางกายภาพของดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยกที่มีอยู่เดิม ซึ่งการทดสอบสมบัติทางกายภาพนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดขนาดแท่งดินที่ผ่านการรีดด้วยหัวแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.2 เซนติเมตร ยาว 6 เซนติเมตร จำนวน 5 แท่งของการรีดในแต่ละครั้ง ยกเว้นการวัดค่าความแข็งแรงใช้จำนวน 10 แท่ง โดยแสดงวิธีทดสอบดังต่อไปนี้ (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541)

##### 4.3.1 ความชื้น (Moisture)

การหาค่าความชื้น เป็นวิธีที่บอกถึงค่าความชื้นของดินก่อนและหลังการรีดในแต่ละครั้ง ซึ่งค่าความชื้นที่ได้จะสัมพันธ์กับสภาพพลาสติกของดินกล่าวคือ ดินที่มีความชื้นสูงจะมีสภาพพลาสติกมากกว่าดินที่มีความชื้นต่ำ โดยมีวิธีการหาค่าความชื้นดังนี้

1. การหาค่าความชื้นก่อนการรีด โดยสุ่มตัวอย่างดิน PBA ที่บรรจุภายในถุงจำนวน 5 ตัวอย่าง มาชั่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักเปียกของดิน จากนั้นนำดินไปอบแห้งที่อุณหภูมิ



110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวในตู้ดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งจะได้ค่าน้ำหนักแห้งของดิน แล้วคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นตามสมการที่ (1)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100 \quad \text{--- (1)}$$

2. การหาค่าความชื้นหลังการรีด โดยนำดินที่ผ่านการรีดด้วยหัวแบบ ไปชั่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักเปียกของดิน จากนั้นนำดินไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวในตู้ดูดความชื้น หลังจากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งจะได้ค่าน้ำหนักแห้งของดิน นำไปคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นตามสมการที่ (1)

#### 4.3.2 สภาพพลาสติก (Plasticity)

ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบความเป็นพลาสติก โดยดูจากการรاندตัวของแท่งดินที่ได้หลังจากการรีดผ่านหัวแบบ จากนั้นนำแต่ละแท่งม้วนเป็นรูปวงกลม แล้วสังเกตการณ์รاندตัวของดิน ถ้าดินที่มีสภาพพลาสติกน้อย จะเกิดการแตกรاندมากหรือขาดออกจากกัน ในทางตรงกันข้ามดินที่เกิดการรاندน้อยหรือไม่รاندตัว แสดงว่ามีสภาพพลาสติกมาก

#### 4.3.3 เปอร์เซ็นต์การหดตัว (Shrinkage)

การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวของเนื้อดิน ทำให้สามารถคำนวณขนาดของผลิตภัณฑ์ภายหลังการเผาได้ถูกต้อง การทดสอบการหดตัวของเนื้อดินนิยมทำเป็นแท่ง หรือที่เรียกว่าการหดตัวเชิงเส้น การทดสอบการหดตัวเชิงเส้นใช้ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นกับชุดรีดดินชนิดคันโยก โดยมีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

##### 1. เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังการอบแห้ง

นำแท่งทดสอบที่ผ่านการรีดมาขีดเส้นตรงตามแนวยาวของชิ้นทดสอบให้มีความยาว 4 เซนติเมตร ทิ้งแท่งทดสอบให้แห้งตัวในอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำแท่งทดสอบไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อแท่งทดสอบแห้งดีแล้ว นำแท่งทดสอบทั้งหมดมาวัดความยาวอีกครั้ง และกำหนดให้เป็นความยาวหลังการอบ จากนั้นนำมาคำนวณเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวดังสมการที่ (2)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบแห้ง (\%)} = \frac{\text{ความยาวก่อนอบ} - \text{ความยาวหลังอบ}}{\text{ความยาวก่อนอบ}} \times 100 \quad \text{---(2)}$$

## 2. เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังการเผา

การทดลองเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังเผาที่มีขั้นตอนเหมือนกับการหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังการอบแห้ง แต่ต่างกันที่ขั้นตอนนี้จะนำดินที่ผ่านการรีดไปเผาที่อุณหภูมิ 1250°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังการเผาดังสมการที่ (3)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังเผา (\%)} = \frac{\text{ความยาวก่อนเผา} - \text{ความยาวหลังเผา}}{\text{ความยาวก่อนเผา}} \times 100 \quad \text{---(3)}$$

### 4.3.4 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (Porosity)

ค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินเป็นค่าที่บอกถึงค่าความพรุนตัวของเนื้อดินที่ผ่านการเผาแล้ว ซึ่งในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้หาค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างดินที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1250°C เป็นเวลา 30 นาที เมื่อเผาเสร็จนำมาแช่ทดสอบไปต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิประมาณ 100°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นลงและแช่ทิ้งไว้ต่อไปอีก 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาแช่ทดสอบขึ้นมาจากน้ำ ใช้ผ้าหมาดๆ ซับน้ำที่ผิวแช่ทดสอบให้ทั่วแล้วชั่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักเปียก จากนั้นนำมาแช่ทดสอบไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงในตู้ดูดความชื้น นำไปชั่งหาค่าน้ำหนักแห้ง จดบันทึกค่าน้ำหนักแห้งไว้ แล้วนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำตามสมการที่ (4)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100 \quad \text{--- (4)}$$

### 4.3.5 ความแข็งแรง (Strength)

การทดสอบความแข็งแรงของเนื้อดินก่อนเผา คือการที่แท่งทดสอบของเนื้อดินสามารถทนต่อแรงกดในระดับสูงสุดก่อนจะหัก มีประโยชน์เพื่อใช้วัดค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์หลังการอบ สามารถตกแต่งและหิบบกผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผาได้อย่างปลอดภัย เป็นการควบคุมการสูญเสียเบื้องต้นหลังการขึ้นรูปก่อนที่จะนำผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผา ซึ่งในการทดลองนี้ ผู้วิจัยได้หาค่าความแข็งแรงหลังการอบและหลังการเผาโดยมีขั้นตอนดังนี้

#### 1. ความแข็งแรงหลังอบแห้ง

นำแท่งทดสอบที่รีดผ่านหัวแบบจำนวน 10 แท่ง ทิ้งไว้ให้แห้งในอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในตู้ดูดความชื้น

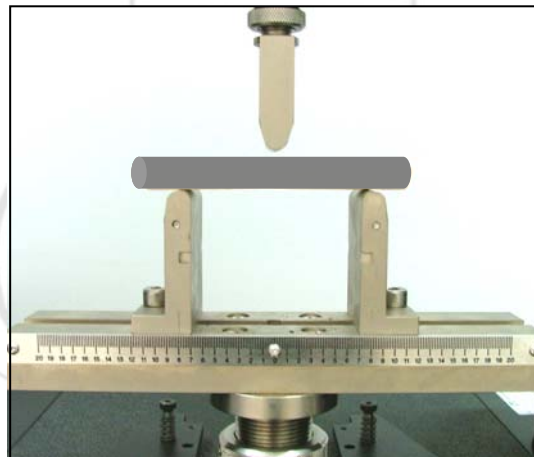
จากนั้นนำแท่งทดสอบไปทดสอบหาแรงกดด้วยเครื่อง Universal Testing Machine: UTM ยี่ห้อ Instron โดยใช้ความเร็วในการกดแท่งตัวอย่าง 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความแข็งแรงของแท่งทดสอบแบบ 3 จุด ตามสมการที่ (5)

$$\text{MOR} = \frac{8LD}{\pi d^3} \quad \text{--- (5)}$$

L = คำนวณน้ำหนักแรงกด

D = ระยะห่างของลิ้มที่รองรับแท่งทดสอบ

d = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของแท่งทดสอบ



รูปที่ 4.1 แสดงการวางแท่งทดสอบบนลิ้มเพื่อใช้วัดความแข็งแรงแบบสามจุด

## 2. ความแข็งแรงหลังเผา

การทดสอบความแข็งแรงหลังเผามีขั้นตอนเหมือนกันกับการความแข็งแรงหลังอบแห้ง แต่ต่างกันที่ใช้ชิ้นงานตัวอย่างที่ผ่านการเผาแล้วที่อุณหภูมิ 1,250°C เป็นเวลา 30 นาที

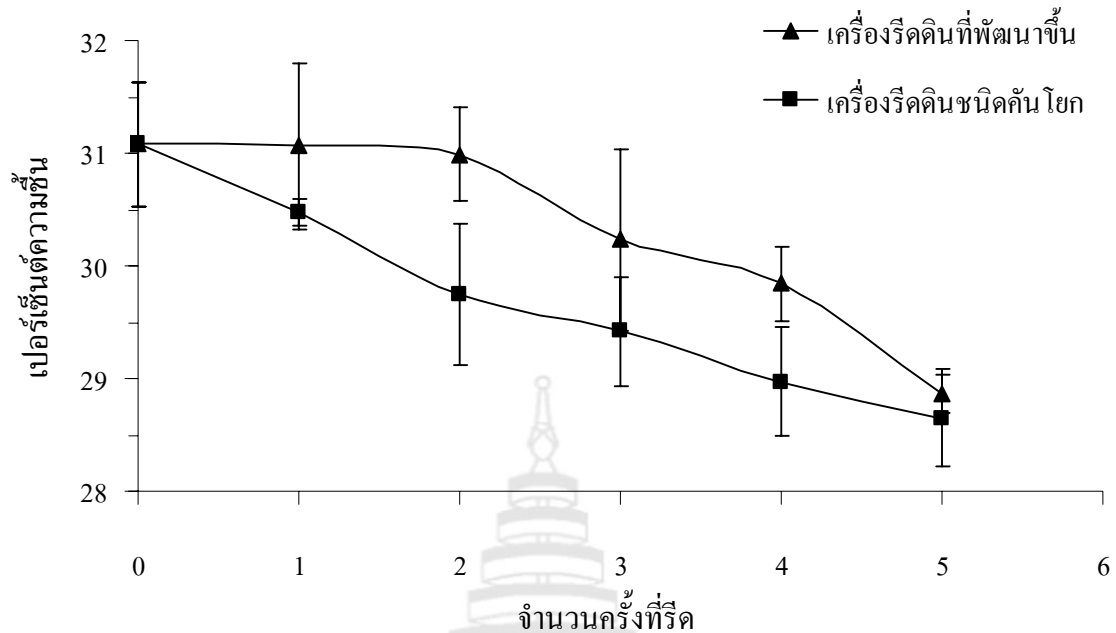
#### 4.4 ผลการทดสอบและเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของดิน

##### 4.4.1 เปอร์เซ็นต์ความชื้น

ผลการวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินหลังการรีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เทียบกับดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยกแสดงในตารางที่ 4.2 จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มจำนวนครั้งในการรีดดินมากขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทั้งสองลดลง โดยดินที่รีดโดยใช้เครื่องรีดดินชนิดคันโยกมีอัตราการลดลงของค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงกว่าดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินก่อนการรีดมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นประมาณ 31 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งในการรีดพบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินจะค่อยๆลดลงตามจำนวนครั้งที่เพิ่มขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเครื่องรีดดินทั้งสองจะมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ ในครั้งที่ 5 ของการรีด

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินหลังการรีดในแต่ละครั้ง

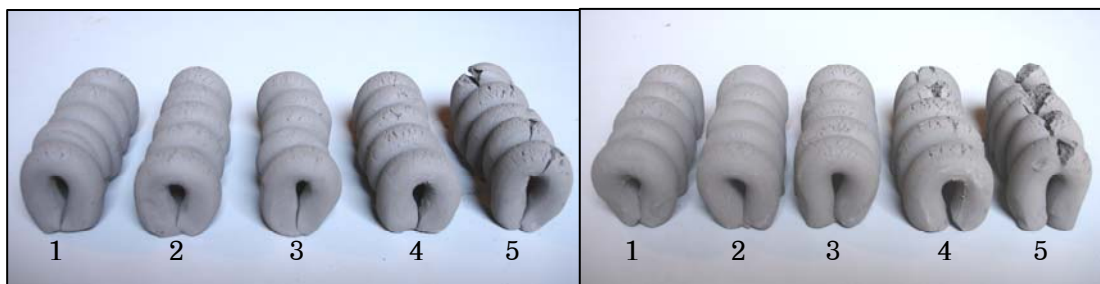
| จำนวนครั้งที่รีด | เปอร์เซ็นต์ความชื้น       |                         |
|------------------|---------------------------|-------------------------|
|                  | เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น | เครื่องรีดดินชนิดคันโยก |
| ดินก่อนรีด       | 31.08 ± 0.55              | 31.08 ± 0.55            |
| 1                | 31.06 ± 0.73              | 30.47 ± 0.12            |
| 2                | 30.99 ± 0.42              | 29.75 ± 0.63            |
| 3                | 30.23 ± 0.80              | 29.42 ± 0.48            |
| 4                | 29.84 ± 0.33              | 28.97 ± 0.48            |
| 5                | 28.86 ± 0.17              | 28.65 ± 0.43            |



รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินหลังการรื้อโดยใช้เครื่องรื้อดินที่พัฒนาขึ้นและเครื่องรื้อดินชนิดคันไถ

#### 4.4.2 สภาพพลาสติก

สภาพพลาสติกของดินมีความสัมพันธ์กับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.1 ซึ่งสภาพพลาสติกของดินสามารถดูได้จากการรานตัวของเส้นดินที่ขดเป็นวง ถ้าหากดินที่มีสภาพพลาสติกต่ำจะเกิดการแตกรานได้ง่าย ผลการทดสอบสภาพพลาสติกของดินที่รื้อด้วยเครื่องรื้อดินที่พัฒนาขึ้นเทียบกับดินที่รื้อด้วยเครื่องรื้อดินชนิดคันไถดังแสดงในรูปที่ 4.3 จากผลการทดลองพบว่า เมื่อครั้งของการรื้อเพิ่มขึ้น สภาพพลาสติกของดินกลับลดลงสังเกตได้จากดินที่ขดเป็นวงมีการรานตัวมากขึ้นและขาดออกจากกันเมื่อจำนวนครั้งที่รื้อเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความเป็นพลาสติกของดินที่รื้อ โดยใช้เครื่องรื้อดินที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องรื้อดินชนิดคันไถพบว่าดินที่รื้อด้วยเครื่องรื้อดินชนิดคันไถเริ่มฉีกออกจากกันในการรื้อครั้งที่ 4 ส่วนดินที่รื้อด้วยเครื่องรื้อดินที่พัฒนาขึ้นจะเกิดการฉีกออกจากกันในครั้งที่ 5 แสดงว่าดินที่รื้อด้วยเครื่องรื้อดินที่พัฒนาขึ้นสามารถรักษาสภาพความเป็นพลาสติกได้ดีกว่า



(ก)

(ข)

**รูปที่ 4.3** แสดงผลการศึกษาสภาพพลาสติกโดยการรานตัวของดินที่อัดเป็นวงหลังการรีดในแต่ละครั้ง (ก) เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น (ข) เครื่องรีดดินชนิดคันโยก

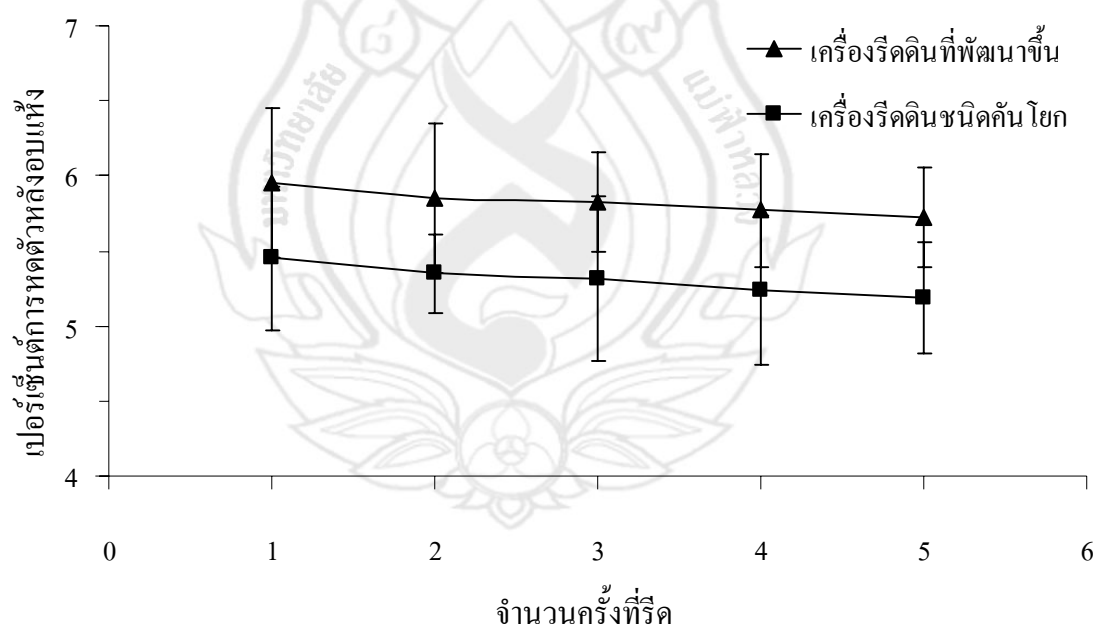
#### 4.4.3 เปอร์เซ็นต์การหดตัว

##### 1. การหดตัวหลังการอบแห้ง

ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของเนื้อดินที่รีดโดยใช้เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นและเครื่องรีดดินชนิดคันโยก เมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $110^{\circ}\text{C}$  แสดงในตารางที่ 4.3 ผลการทดลองพบว่าดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบแห้งมากกว่าดินที่รีดโดยใช้เครื่องรีดดินชนิดคันโยก เนื่องจากเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นสามารถรักษาปริมาณความชื้นในดินได้ดีกว่า เมื่อผ่านการอบแห้ง ความชื้นภายในเนื้อดินจะถูกขับออกไป เมื่ออนุภาคของดินเคลื่อนเข้าไปแทนที่ช่องว่างของน้ำที่ออกไปจึงเกิดการหดตัวมากกว่า ความสัมพันธ์ระหว่างดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นกับดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยกแสดงในดังรูปที่ 4.4 จากกราฟจะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบแห้งของดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินทั้งสองจะลดลงเล็กน้อยเมื่อจำนวนครั้งของการรีดเพิ่มขึ้น โดยดินที่รีดออกมาด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นจะมีการหดตัวสูงสุดในครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 5.95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยกมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงสุดเท่ากับ 5.45 เปอร์เซ็นต์ จากการรีดในครั้งที่ 1 เช่นกัน

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดิน  
ที่พัฒนาขึ้นและเครื่องรีดดินชนิดคันโยกหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C

| จำนวนครั้งที่รีด | เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบแห้ง |                         |
|------------------|-------------------------------|-------------------------|
|                  | เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น     | เครื่องรีดดินชนิดคันโยก |
| 1                | 5.95 ± 0.50                   | 5.45 ± 0.48             |
| 2                | 5.85 ± 0.50                   | 5.35 ± 0.26             |
| 3                | 5.83 ± 0.33                   | 5.32 ± 0.55             |
| 4                | 5.77 ± 0.38                   | 5.24 ± 0.50             |
| 5                | 5.72 ± 0.33                   | 5.19 ± 0.37             |



รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C  
ของเนื้อดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นและเนื้อดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดิน  
ชนิดคันโยก

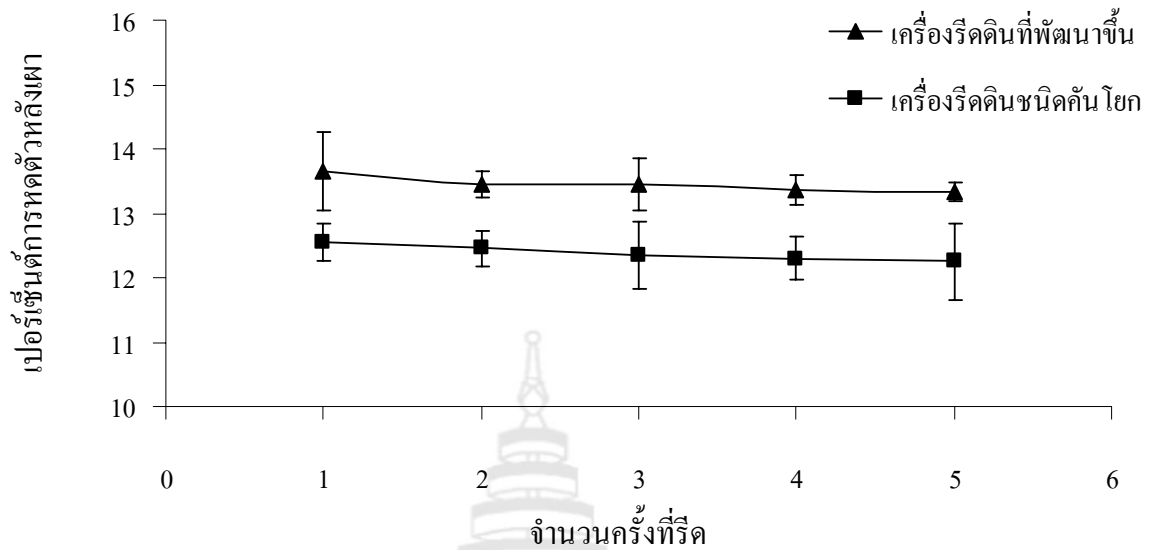
## 2. เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังเผา

ผลของเปอร์เซ็นต์การหดตัวของเนื้อดินหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1250°C แสดงในตารางที่ 4.4 จากผลการทดลองพบว่าดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นมีค่าการหดตัวสูงกว่าดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยกในทุกครั้งของการรีดเล็กน้อย ซึ่งน่าจะเกิดจากความแตกต่างของปริมาณความชื้นที่มีในเนื้อดินหลังจากการรีดด้วยเครื่องรีดดินที่ต่างกัน และการพ่นกตัวของเนื้อดินแน่นมากขึ้นที่อุณหภูมิ 1200°C ถึง 1250°C ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคลดลงจึงเกิดการหดตัวมากขึ้น (Norton, 1973) จากการทดสอบการรีดทั้ง 5 ครั้ง พบว่าดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงสุด 13.65 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยกให้ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงสุด 12.56 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าการหดตัวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1250°C ของเนื้อดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นและเครื่องรีดดินชนิดคันโยก

| จำนวนครั้งที่รีด | เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังเผา |                         |
|------------------|----------------------------|-------------------------|
|                  | เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น  | เครื่องรีดดินชนิดคันโยก |
| 1                | 13.65 ± 0.60               | 12.56 ± 0.29            |
| 2                | 13.45 ± 0.21               | 12.45 ± 0.27            |
| 3                | 13.45 ± 0.41               | 12.35 ± 0.52            |
| 4                | 13.35 ± 0.23               | 12.30 ± 0.33            |
| 5                | 13.34 ± 0.14               | 12.25 ± 0.59            |





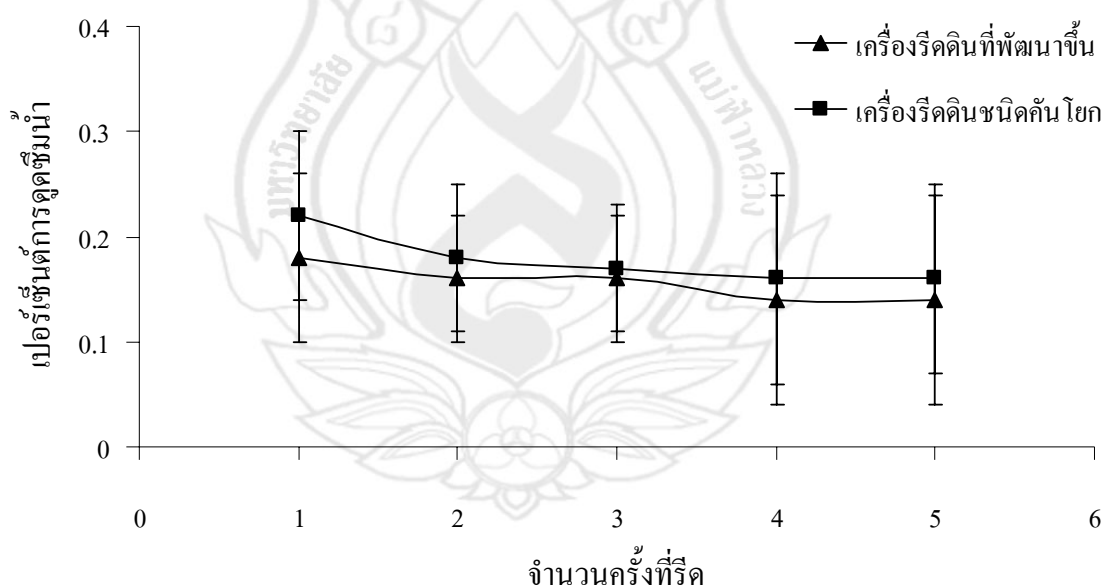
รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1250°C ของเนื้อดินที่รดด้วยเครื่องรดดินที่พัฒนาขึ้นและเครื่องรดดินชนิดคันโยก

#### 4.4.4 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

ผลการหาเปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำของเนื้อดินหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1250°C เพื่อศึกษาความแตกต่างของความพรุนตัวของเนื้อดินหลังการรดด้วยเครื่องรดดินทั้งสองชนิด ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.5 จากการศึกษาพบว่า ดินที่รดด้วยเครื่องรดดินที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องรดดินชนิดคันโยก มีค่าการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกันกันคือมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 0.14-0.22 เปอร์เซ็นต์ จากรูปที่ 4.6 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำของดินกับครั้งที่รด จะเห็นว่าจำนวนครั้งของการรดที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลกับค่าการดูดซึมน้ำมากนัก เนื่องจาก ณ อุณหภูมินี้เนื้อดินเกิดการหลอมตัวกลายเป็นแก้ว ทำให้ความพรุนตัวในเนื้อดินลดลง

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของดินหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1250°C ของเนื้อดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นและเครื่องรีดดินชนิดคันโยก

| จำนวนครั้งที่รีด | เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ   |                         |
|------------------|---------------------------|-------------------------|
|                  | เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น | เครื่องรีดดินชนิดคันโยก |
| 1                | 0.18 ± 0.08               | 0.22 ± 0.08             |
| 2                | 0.16 ± 0.06               | 0.18 ± 0.07             |
| 3                | 0.16 ± 0.06               | 0.17 ± 0.06             |
| 4                | 0.14 ± 0.10               | 0.16 ± 0.10             |
| 5                | 0.14 ± 0.10               | 0.16 ± 0.09             |



รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1250°C ของเนื้อดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นและเครื่องรีดดินชนิดคันโยก

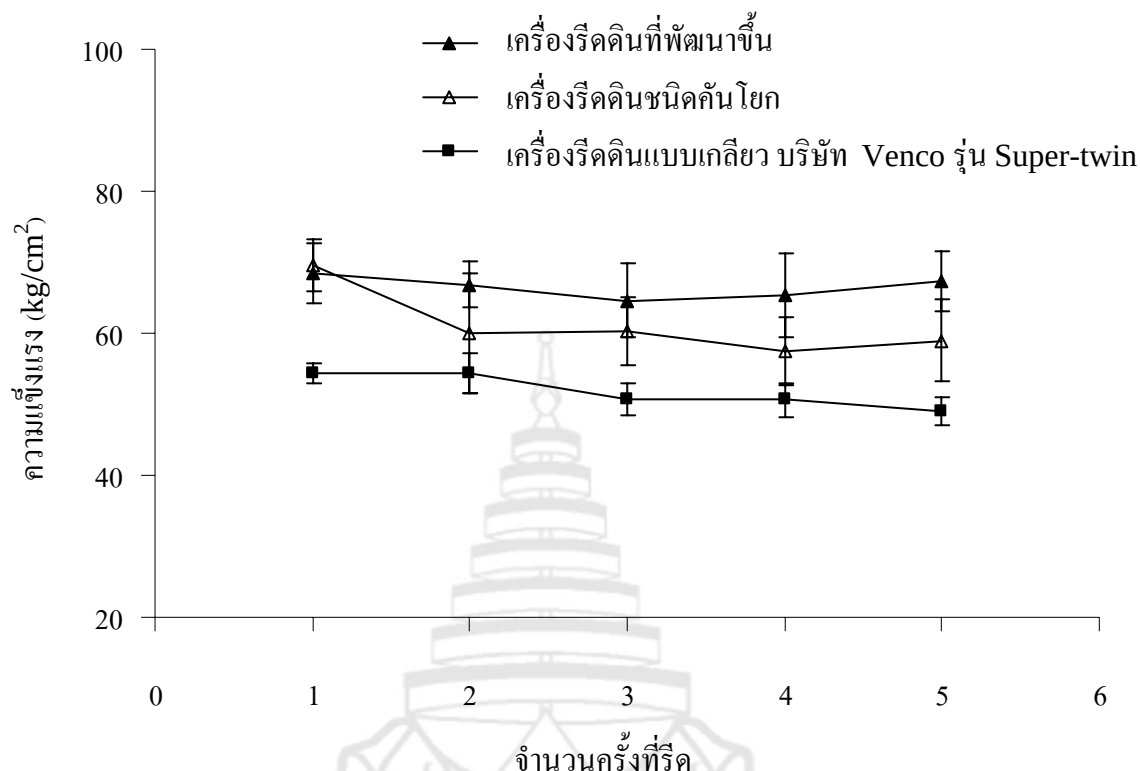
#### 4.4.5 ความแข็งแรง

##### 1. ความแข็งแรงหลังอบแห้ง

การวัดค่าความแข็งแรงของดินหลังอบแห้งทำโดยนำดินไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ  $110^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าความแข็งแรงดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.3.5 ซึ่งผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.6 จากการทดสอบพบว่า ดินหลังการรีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นและเครื่องรีดดินชนิดคันโยกมีค่าความแข็งแรงที่ไม่แตกต่างกันในการรีดในแต่ละครั้ง เนื่องจากดินหลังอบแห้งจะเกิดการจัดเรียงกันของอนุภาคดินขึ้นใหม่ใกล้เคียงกัน ดังจะเห็นได้จากค่าการหดตัวหลังอบแห้งที่ไม่แตกต่างกันมากนัก สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดินหลังการรีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องรีดดินชนิดคันโยก ดังรูปที่ 4.7 คือค่าความแข็งแรงของดินหลังอบแห้งในแต่ละครั้งอยู่ในช่วงความเบี่ยงเบนมาตรฐานเดียวกัน

ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของดินหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ  $110^{\circ}\text{C}$  ของดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น เครื่องรีดดินชนิดคันโยก และเครื่องรีดดินแบบเกลียวบริษัท Venco รุ่น Super-twin

| จำนวนครั้งที่รีด | ความแข็งแรงหลังเผา ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) |                         |                                                    |
|------------------|------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|
|                  | เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น                      | เครื่องรีดดินชนิดคันโยก | เครื่องรีดดินแบบเกลียวบริษัท Venco รุ่น Super-twin |
| 1                | $68.5 \pm 4.3$                                 | $69.6 \pm 3.7$          | $54.4 \pm 1.4$                                     |
| 2                | $66.9 \pm 3.2$                                 | $60.0 \pm 8.5$          | $54.4 \pm 2.8$                                     |
| 3                | $64.6 \pm 5.1$                                 | $60.2 \pm 4.8$          | $50.8 \pm 2.3$                                     |
| 4                | $65.3 \pm 5.9$                                 | $57.5 \pm 4.7$          | $50.6 \pm 2.4$                                     |
| 5                | $67.4 \pm 4.3$                                 | $59.0 \pm 5.8$          | $49.0 \pm 2.0$                                     |



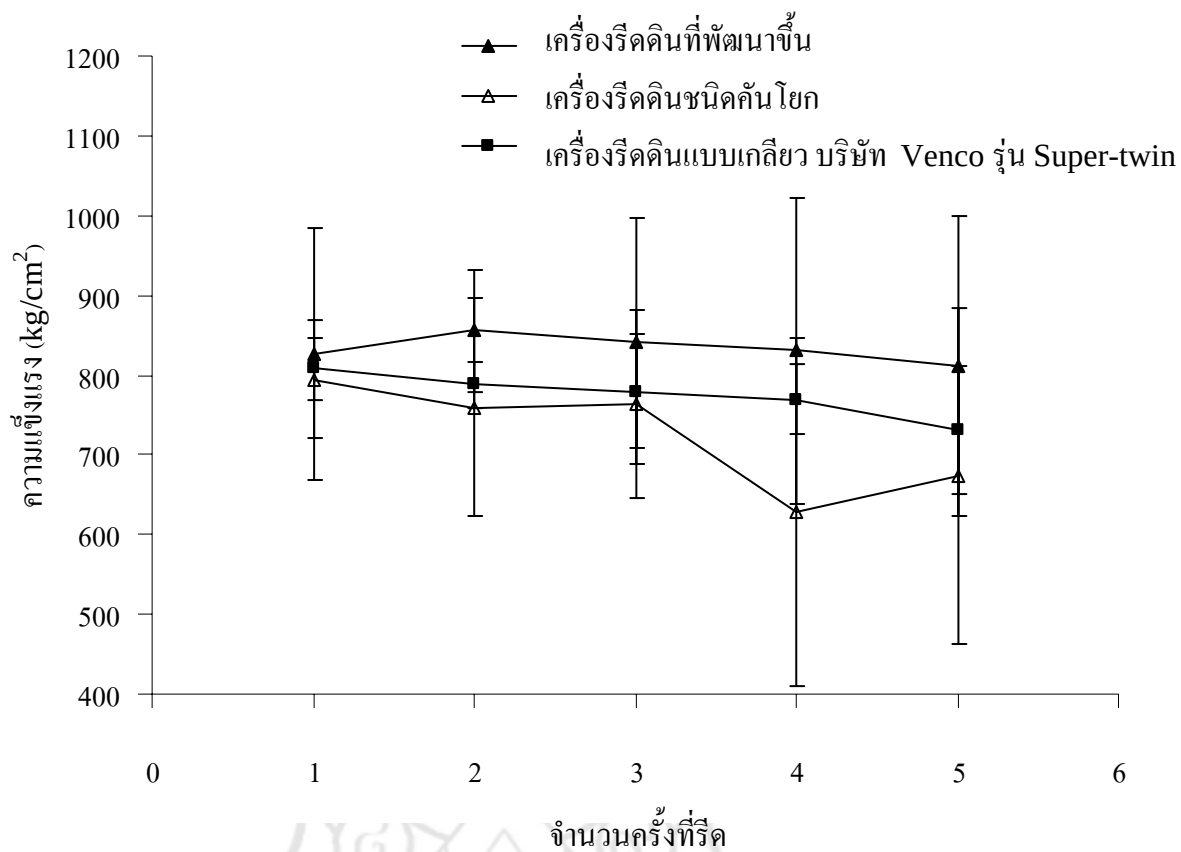
รูปที่ 4.7 แสดงค่าความแข็งแรงของดินหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C ของดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น เครื่องรีดดินชนิดคั่นโยก และเครื่องรีดดินแบบเกลียว บริษัท Venco รุ่น Super-twin

## 2. ความแข็งแรงหลังเผา

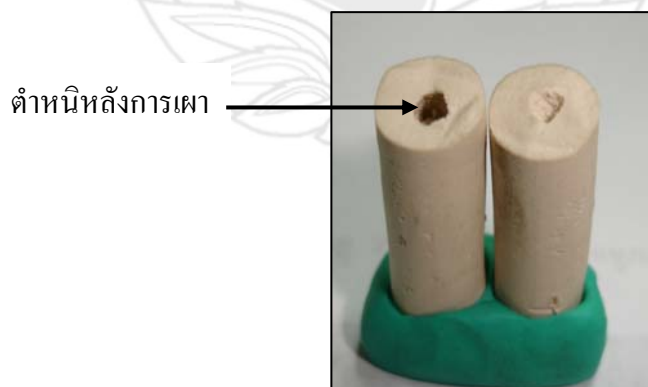
ความแข็งแรงของเนื้อดินหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1250°C เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่า หลังการรีดดินครั้งแรก ดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นมีค่าความแข็งแรง 826.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งสูงกว่าดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคั่นโยกที่มีค่า 794.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แต่เมื่อเปรียบเทียบผลของค่าความแข็งแรงกับการเพิ่มครั้งของการรีดในเครื่องรีดทั้งสองพบว่าค่าความแข็งแรงต่างกัน โดยดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นจะมีค่าความแข็งแรงในช่วง 800-860 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคั่นโยกให้ค่าความแข็งแรงในช่วง 600-800 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งจะเห็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ค่อนข้างมากในดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคั่นโยก โดยเฉพาะในการรีดรอบที่ 4 ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดดำหนิโพรงอากาศภายในเนื้อดิน ทำให้ค่าความแข็งแรงลดลง สามารถแสดงได้ในรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1250°C ของดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น เครื่องรีดดินชนิดคันโยก และเครื่องรีดดินแบบเกลียว บริษัท Venco รุ่น Super-twin

| จำนวนครั้งที่รีด | ความแข็งแรงหลังเผา (kg/cm <sup>2</sup> ) |                         |                                                        |
|------------------|------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------|
|                  | เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น                | เครื่องรีดดินชนิดคันโยก | เครื่องรีดดินแบบเกลียว<br>บริษัท Venco รุ่น Super-twin |
| 1                | 826.7 ± 158.2                            | 794.6 ± 73.2            | 808.6 ± 38.8                                           |
| 2                | 856.2 ± 146.6                            | 759.7 ± 136.8           | 787.8 ± 28.8                                           |
| 3                | 842.2 ± 153.9                            | 763.6 ± 118.7           | 779.0 ± 71.6                                           |
| 4                | 830.8 ± 192.2                            | 627.4 ± 218.2           | 769.4 ± 43.7                                           |
| 5                | 811.3 ± 187.8                            | 674.2 ± 210.9           | 730.0 ± 80.2                                           |



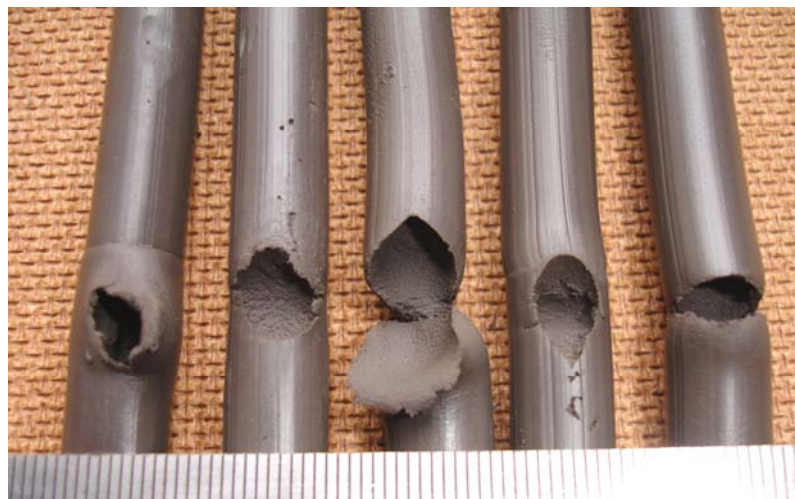
รูปที่ 4.8 แสดงค่าความแข็งแรงของดินหลังเผาที่อุณหภูมิที่ 1250°C ของดินที่รีดด้วย เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น เครื่องรีดดินชนิดคันโยก และเครื่องรีดดินแบบเกลียว บริษัท Venco รุ่น Super-twin



รูปที่ 4.9 แสดงตำหนิหลังการเผาของเครื่องรีดดินชนิดคันโยกในการรีดรอบที่ 4

#### 4.4.6 ดำหนิ

ในดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยกมักจะพบดำหนิที่เป็นฟองอากาศขนาดใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งสาเหตุของดำหนินี้อาจเนื่องมาจาก เครื่องรีดดินชนิดคันโยกไม่มีระบบ สูญญากาศ ห้องนวด และไม่สามารถควบคุมแรงอัดได้เหมือนเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น จึงทำให้พบ ลักษณะของดำหนิดังกล่าว หลังการรีด เป็นจำนวนมาก



รูปที่ 4.10 แสดงดำหนิหลังการรีดของเครื่องรีดดินชนิดคันโยก

#### 4.5 อภิปรายผล

สมบัติทางกายภาพของดินที่ทำการศึกษา ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ความชื้น สภาพพลาสติก เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบแห้งและหลังเผา เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ความแข็งแรงหลังอบแห้ง และหลังเผา

เนื้อดินก่อนการรีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องรีดดินชนิดคันโยก มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นประมาณ 31 เปอร์เซ็นต์ และหลังการรีดครบ 5 รอบพบว่า เปอร์เซ็นต์ความชื้น ลดลงเหลือประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สภาพพลาสติกของดินลดลง สังเกตได้จากลักษณะ การรานตัวและรอยฉีกของดินหลังการรีดด้วยเครื่องรีดดินทั้งสองจะมากขึ้นตามจำนวนครั้งของการรีดที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยกเนื้อดินจะเริ่มฉีกออกจากกันในการรีดครั้งที่ 4 ส่วนการใช้เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นเนื้อดินจะเริ่มฉีกออกจากกันเล็กน้อยในการรีดครั้งที่ 5 ถือได้ว่าเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นสามารถรักษาความชื้นภายในเนื้อดินได้ดีกว่าเครื่องรีดดิน

ชนิดคันโยก นอกจากนี้ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบแห้งมีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น กล่าวคือ ดินที่มีปริมาณความชื้นมาก หลังการอบแห้งน้ำที่แทรกภายในเนื้อดินจะถูกขับออกมามาก ทำให้ อนุภาคดินเข้าชิดกัน เนื้อดินจึงเกิดการหดตัว จากผลการทดลองหาค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของดิน หลังการรีดครั้งที่ 1 พบว่าดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวประมาณ 5.95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยกที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว ประมาณ 5.45 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าความชื้นของดินที่รีดด้วยเครื่องรีดที่พัฒนาขึ้นมีค่าความชื้น ที่มากกว่าดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยก และเมื่อจำนวนรอบของการรีดเพิ่มขึ้นจะได้ ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวลดลง ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังเผาพบว่าดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดิน ที่พัฒนาขึ้นมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่สูงกว่าดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยกเล็กน้อย โดยดิน ที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังเผาสูงสุด 13.65 เปอร์เซ็นต์ และดิน ที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยกมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงสุด 12.56 เปอร์เซ็นต์ ค่าเปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำของดินหลังการรีดด้วยเครื่องรีดดินทั้งสองเครื่อง และเผาที่อุณหภูมิ 1250°C พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำใกล้เคียงกันในช่วง 0.14-0.22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจำนวนครั้งของการรีด ที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมากนัก เนื่องจาก ณ อุณหภูมินี้ เนื้อดินเกิดการ หลอมกลายเป็นแก้ว ทำให้ความพรุนตัวในเนื้อดินลดลง

ความแข็งแรงของดินหลังอบแห้งที่ 110°C พบว่าค่าความแข็งแรงของดินที่รีดด้วย เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นมีค่าประมาณ 64-68 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมากกว่าเครื่องรีดดิน ชนิดคันโยกที่มีค่าความแข็งแรงประมาณ 57-69 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อเพิ่ม จำนวนครั้งในการรีด ค่าความแข็งแรงของดินที่รีดด้วยเครื่องที่พัฒนาขึ้นยังคงให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนดินที่รีดด้วยเครื่องรีดชนิดคันโยกให้ค่าแตกต่างกันเล็กน้อย อาจเนื่องจากความไม่คงที่ของแรง ที่ใช้ในการรีดในแต่ละครั้ง และอาจเกิดดำหนิภายในแท่งดินขณะทำการรีด ส่วนความแข็งแรง หลังการเผาพบว่า ดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นมีค่าความแข็งแรงอยู่ในช่วงประมาณ 811-856 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยก ที่มีค่าในช่วง 627-794 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งในการรีดของดิน ให้ค่าความแข็งแรงหลังการเผาที่ใกล้เคียงกันของเครื่องรีดดินทั้งสองแบบ

จะเห็นได้ว่าเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมต่อการขึ้นรูปแบบรีดโดยใช้ดิน ผสมสำเร็จรูป และเมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติทางกายภาพของดินหลังการรีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคัน โยกพบว่า เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นมีสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่า ไม่มีดำหนิแบบฟองอากาศ ที่มักเกิดขึ้นบ่อยครั้งหลังการรีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยก ที่เกิดผลเสียหยาต่อขบวนการขึ้นรูป ผลิตภัณฑ์และความสูญเสียเนื้อดินป็นเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อให้การทดลองสมบูรณ์ขึ้นจึง



ทดสอบเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลกับเครื่องรีดดินแบบเกลียวบริษัท Venco รุ่น Super-twin (รูปที่ 4.11) พบว่า ดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นมีความแข็งแรงหลังการอบและหลังการเผา มากกว่าดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินแบบเกลียวบริษัท Venco รุ่น Super-twin ดังกราฟใน รูปที่ 4.7-4.8 เนื่องจากดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินแบบเกลียวบริษัท Venco รุ่น Super-twin มีกำลังอัดของดินไม่เพียงพอ ทำให้ดินที่รีดออกมาไม่มีความต่อเนื่อง เกิดเป็นตำหนิบริเวณรอยต่อ ของเส้นดินจากการรีด



รูปที่ 4.11 แสดงเครื่องรีดดินแบบเกลียวบริษัท Venco รุ่น Super-twin

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 3 ประการคือการพัฒนาเครื่องรีดดินในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก ศึกษาสมบัติและสภาวะที่เหมาะสมของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปในการขึ้นรูปแบบรีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น และเพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินผสมสำเร็จรูประหว่างเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้กับเครื่องรีดดินชนิดคันโยก

##### 5.1.1 เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น

เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น โดยปรับปรุงจากข้อด้อยและปัญหาที่พบในเครื่องรีดดินรุ่นเดิมของวิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงราย มีส่วนประกอบทั้งหมด 8 ส่วนคือ

1. โครงสร้างเครื่องรีดดิน
2. มอเตอร์ไฟฟ้า
3. ชุดควบคุมความเร็ว
4. ชุดส่งกำลังนิวแมติก
5. ช่องป้อนวัตถุดิบ
6. ห้องนวดดิน
7. หัวแบบ
8. ห้องดูดอากาศ

##### 5.1.2 สภาวะที่เหมาะสมในการรีดดินโดยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น

สภาวะที่เหมาะสมของเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น ทดสอบโดยใช้ดินผสมสำเร็จรูปที่มีความชื้นประมาณ 31 เปอร์เซ็นต์ แรงอัดนิวแมติกที่ใช้ 100 บาร์ ความเร็วรอบมอเตอร์คงที่ 25 รอบต่อนาที ดินสามารถรีดออกมาได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่ขาดออกจากกัน

### 5.1.3 การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องรีดดินชนิดคันโยก

สมบัติทางกายภาพของดินผสมสำเร็จรูปหลังการรีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องรีดดินชนิดคันโยก สามารถอธิบายความแตกต่างของเครื่องรีดดินได้อย่างชัดเจน โดยเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของดินหลังอบแห้งและหลังการเผา จากผลการทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรงของดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นมีความแข็งแรงมากกว่าทั้งหลังอบแห้งและหลังการเผา เนื่องจากดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นใช้ความเร็วในการรีดที่สูงที่ทำให้แท่งดินอัดตัวกันแน่นสม่ำเสมอและรีดได้ต่อเนื่อง มีระบบดูดอากาศที่ไม่ก่อให้เกิดตำหนิแบบฟองอากาศหลังการรีด อีกทั้งยังสามารถรีดได้เร็วและได้ปริมาณที่มากกว่า

## 5.2 ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

เครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์กับเนื้อดินชนิดอื่นที่มีสภาพพลาสติกใกล้เคียงกันได้ แต่ค่ากำลังแรงอัดนิวแมติกที่ใช้ขณะทำการรีดและสมบัติทางกายภาพของดินที่ได้หลังการรีดจะมีค่าแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบของดินที่นำมาใช้ เช่น ดินพื้นบ้านจะมีสภาพพลาสติกที่สูงจึงต้องใช้แรงอัดนิวแมติกที่สูงหรืออาจปรับสมบัติของดินให้มีสภาพพลาสติกให้ลดลง โดยการเติมทรายละเอียดหรือการเติมดินเชื้อ

ความสามารถในการรีดดินของเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น กรณีที่ดินมีค่าความชื้นแตกต่างดินสำเร็จรูปคอมพาวด์เคลย์ ชนิด Porcelain body (PBT) ที่ใช้ในการทดสอบพบว่าเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นสามารถรีดดินที่มีความชื้นในช่วง 29-33 เปอร์เซ็นต์

ค่าความแข็งแรงของชิ้นงานหลังอบที่ 110°C และหลังเผาที่ 1250°C ของเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่องรีดดินแบบเกลียวบริษัท Venco รุ่น Super-twin พบว่าเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นมีความแข็งแรงหลังการอบแห้งและการเผาสูงกว่าเครื่องรีดดินบริษัท Venco รุ่น Super-twin ดังนั้นการรีดดินด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น จึงน่าสนใจอย่างยิ่งสำหรับการนำมาใช้จริงในโรงงานขนาดเล็กและขนาดกลาง

## บรรณานุกรม

- จิรัชศักดิ์ คลุมดวง. (2546). **การขึ้นรูปด้วยมือ**. ลำปาง: วิทยาลัยอาชีวศึกษาลำปาง.
- เชื้อวชาญ แสวงทอง. (2548). **การศึกษาลักษณะเฉพาะและสมบัติของเนื้อดินเวียงกาหลง**.  
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิก สำนักวิชา  
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.
- ทวี พรหมพุกษ์. (2523). **เครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2541). **เนื้อดินเซรามิก**. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- บริษัทคอมพาวด์เคลย์ จำกัด. ( 2550). **Porcelain Body: PBA**. แหล่งที่มา  
[http://www.compoundclay.net/images/e\\_pba.jpg](http://www.compoundclay.net/images/e_pba.jpg) (25 เมษายน 2550)
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2539). **เซรามิกส์**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุธี วัฒนศิริเวช; ครุณี วัฒนศิริเวช และ ศรัณย์ โปษยะจินดา. (2543). **การสำรวจด้านการจัดการ  
และดำเนินผลิตภัณฑ์ของโรงงานเซรามิกในจังหวัดลำปางและเชียงใหม่**. เชียงราย:  
มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2547). **พจนานุกรมศัพท์วัสดุศาสตร์และเทคโนโลยี**.  
กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา. (2545). **ระเบียบสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา  
ว่าด้วยการบริหารสถานศึกษา**. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา.
- B-TAC Automation. (2528). **Hydraulic & Pneumatic**. กรุงเทพฯ: กล้องพัฒนา.
- Hamer, F. and Hamer, J. (1975). **The Pottery's Dictionary of Material and  
Techniques**. London: Ritman Publishing.
- Onoda, G. Y. Jr. and Hench L.L. (1978). **Ceramic Processing before  
Firing**. New York: John wiley & Sons.
- Norsker, H. and Danisch J. (1991). **Forming Techniques-for the Self-Reliant  
Potter**. Bruanschweig: Vieweg&Sohn.
- Singer, F. and Singer, S. S. (1978). **Industrial Ceramics**. London: Chapman and  
Hall.
- Reed, J. S. (1995). **Principles of Ceramics Processing**. New York: John wiley &  
Sons.
- Norton, F. H. (1974). **Elements of Ceramics**. London: Addison-Wesley.
- Rice, P. M. (1987). **Pottery Analysis**. Chicago: The University of Chicago Press.

Latka, T. and Latka, J. (2001). **Ceramic Extruding Inspiration & Technique**. Iola:  
Krause publications.

Worrall, W.E. (1982). **Ceramic Raw Materials**. Oxford: Pergamon.



ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการรื้อดินด้วยเครื่องรื้อดินที่พัฒนาขึ้น

## ขั้นตอนการรีดดินด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้น

1. เลือกรูปแบบของหัวแบบที่ต้องการรีด  
ประกอบกับส่วนของหัวกระบอกรีด



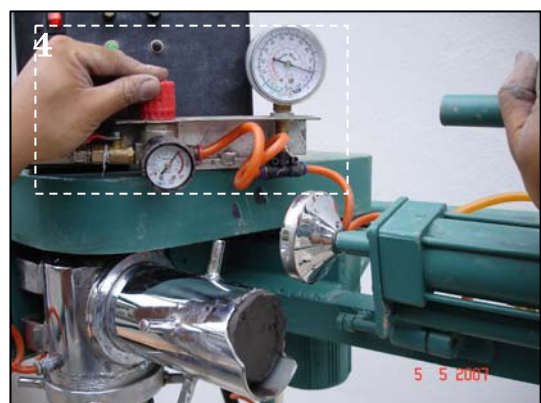
2. เตรียมดินที่ต้องการรีดน้ำหนักประมาณ 1  
กิโลกรัม



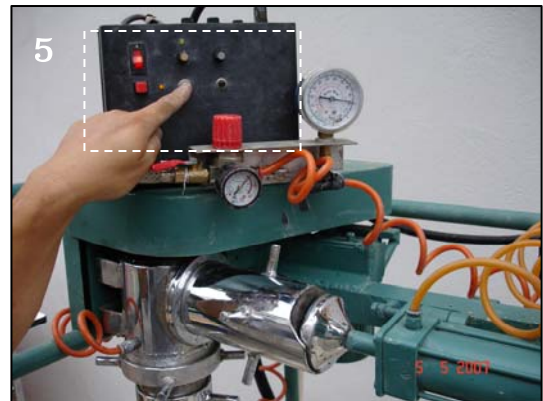
3. นำดินใส่ลงไปในช่องป้อนวัตถุดิบ



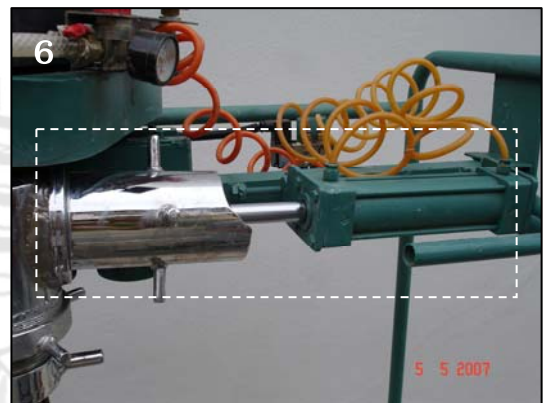
4. ปรับแรงอัดนิวเมติกไปที่ 100 บาร์



5. กดปุ่มควบคุมการทำงาน



6. นิวเมติกจะทำการอัดดินจากช่องป้อน  
วัตถุเข้าไปในห้องนวดดิน



7. ดินถูกรีดผ่านหัวแบบกลม



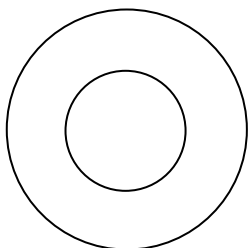
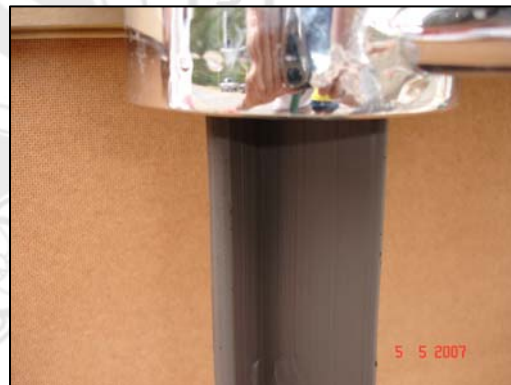
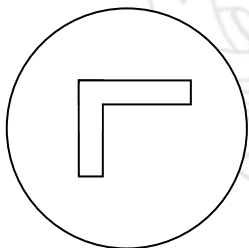
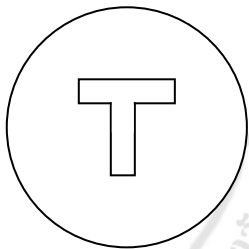
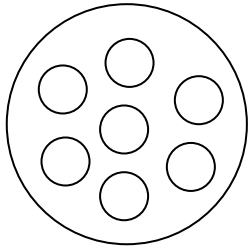


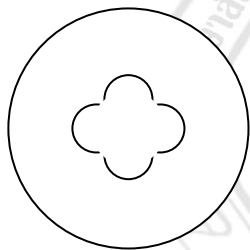
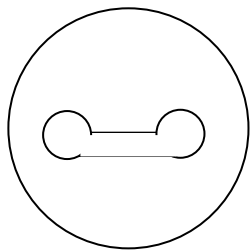
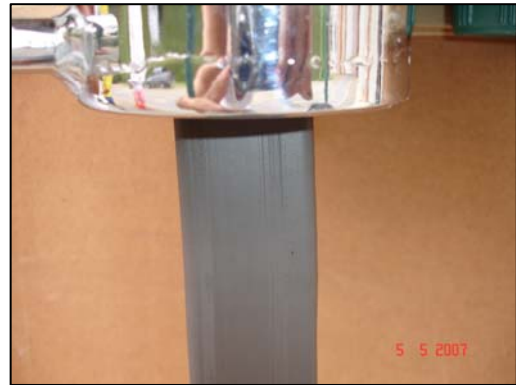
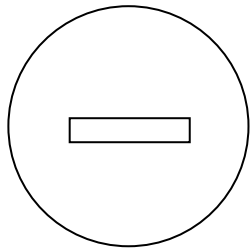


ภาคผนวก ข

ลักษณะของเส้นดินที่รื้อด้วยเครื่องรื้อดินที่พัฒนาขึ้นตามหัวแบบขนาดต่างๆ

# ลักษณะของดินที่รีดด้วยหัวแบบขนาดต่าง







ภาคผนวก ค

ภาพถ่ายภาคตัดขวางของชิ้นงานเปรียบเทียบระหว่างดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดิน  
ชนิดคั่นโยกและเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นหลังเผาที่อุณหภูมิ 1250°C



ภาพถ่ายภาคตัดขวางของชิ้นงานตัวอย่างของดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยกหลังเผา  
ที่อุณหภูมิ 1250°C





รูปที่ 4



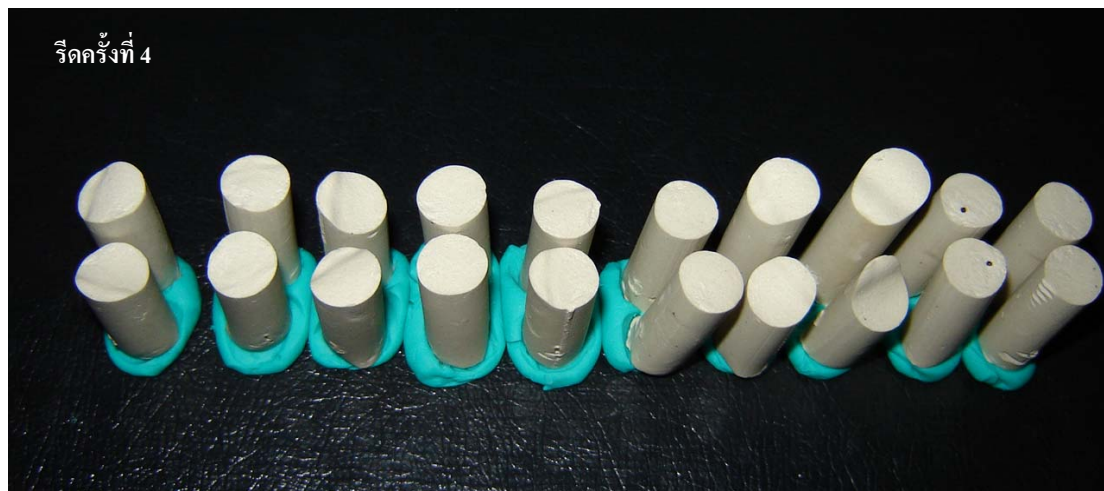
รูปที่ 5



ภาพถ่ายภาคตัดขวางของชิ้นงานตัวอย่างของดินที่รีดด้วยเครื่องรีดดินที่พัฒนาขึ้นหลังเผา  
ที่อุณหภูมิ 1250°C









## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

นายสุรสิทธิ์ ปุสุรินทร์คำ

วัน เดือน ปี เกิด

26 มีนาคม 2509

ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญาตรี

วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์  
วิทยาลัยครูพระนคร กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532

ประกาศนียบัตรบัณฑิต

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพครู สถาบันราชภัฏ  
เชียงราย จ. เชียงราย พ.ศ. 2545

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2540-ปัจจุบัน ครู คศ.2 คณะศิลปกรรม  
วิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงราย จ. เชียงราย