บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

3.1 การทดลองหาสูตรเนื้อดินปั้น

3.1.1 อุปกรณ์

- เครื่องย่อย ชนิด Jaw crusher
- เครื่องบดชนิด Jar mill หรือ Ball mill
- เครื่องชั่ง ความละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง
- โกร่งบดยา
- ตะแกรงร่อน ขนาด 70, 100 เมช พร้อมเครื่องร่อน
- เครื่องอัดแบบชนิด Hydraulic
- ตู้อบไฟฟ้า
- เตาเผาอุณหภูมิสูง 1,300 องศาเซลเซียส
- เครื่องออโตเครฟ
- เวอร์เนียร์คาลิเปอร์
- แว่นขยาย 10 เท่า
- atomic absorption
- triaxial testing equipment

3.1.2 วัตถุดิบ

1. ดินขาว	: ตำบลหาดส้มแป้น จังหวัดระนอง
2. หินฟันม้า (sodium feldspar)	: อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช
3. หินฟันม้า (potash feldsper)	: อินเดีย
4. ดินดำ	: ดินเหนียวดำ(1) อำเภอบ้านส้อง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ดินเหนียวดำ(2) อำเภอบ้านส้อง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ดินเหนียวดำอำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช

3.1.3 การดำเนินการทดลอง

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> การคัดเลือกวัตถุดิบที่ดี และเหมาะสมเพื่อจะนำไปใช้ในการทำโครงงาน และเป็นการลดจำนวนตัวอย่าง (sample) ที่จะทำการศึกษาโดยมีขั้นตอนในการคัดเลือกวัตถุดิบดังนี้

1. ย่อยขนาดวัตถุดิบจนเป็นผงละเอียด
2. อัดวัตถุที่ได้มาทั้งสามแหล่งเป็นรูป cone คล้ายปิรามิด
3. วาง cone ลงบนแผ่นอลูมินาซีเมนต์ หรือ อิฐทนไฟอื่น
4. วางแท่น cone ในเตาเผา และเผาที่อุณหภูมิประมาณ 500 - 600° C ในเวลา 30 นาที แล้วปล่อยให้เย็น
5. สังเกตสีของดินหลังเผา และทำการคัดเลือกเอาเฉพาะดินเหนียวที่เผาแล้วให้เนื้อดินสีขาวมาใช้ในการทดลอง ดังแสดงใน รูปที่ 3.1

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> การล้างดิน และการกรองด้วย filter press

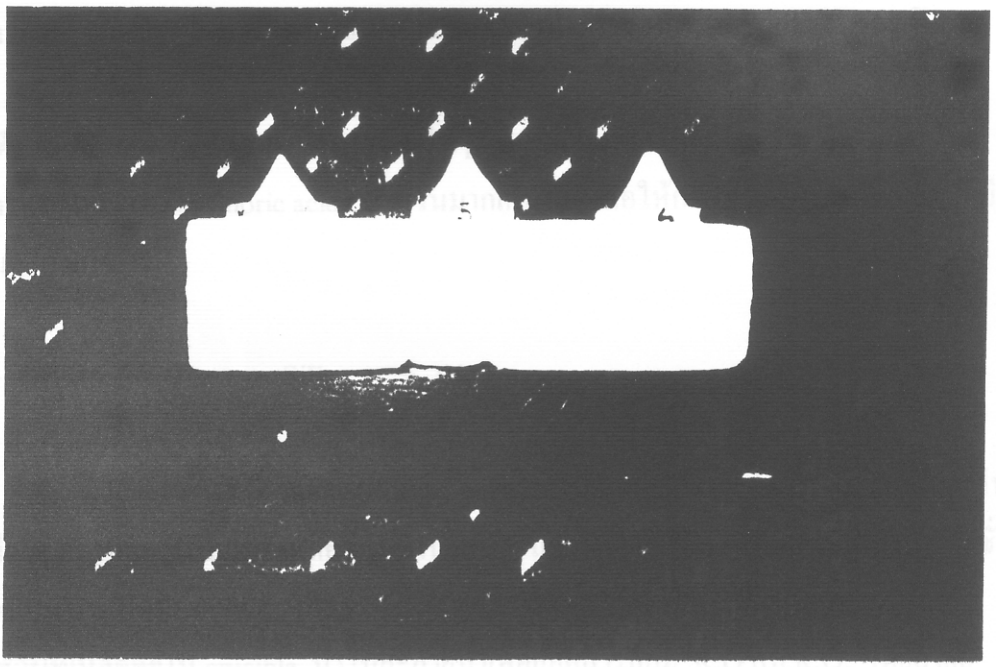
วัตถุประสงค์ : เพื่อให้ได้ดินที่มีความสะอาดไม่มีสิ่งเจือปน ได้แก่ เศษไม้ กรวดและทราย เป็นต้น

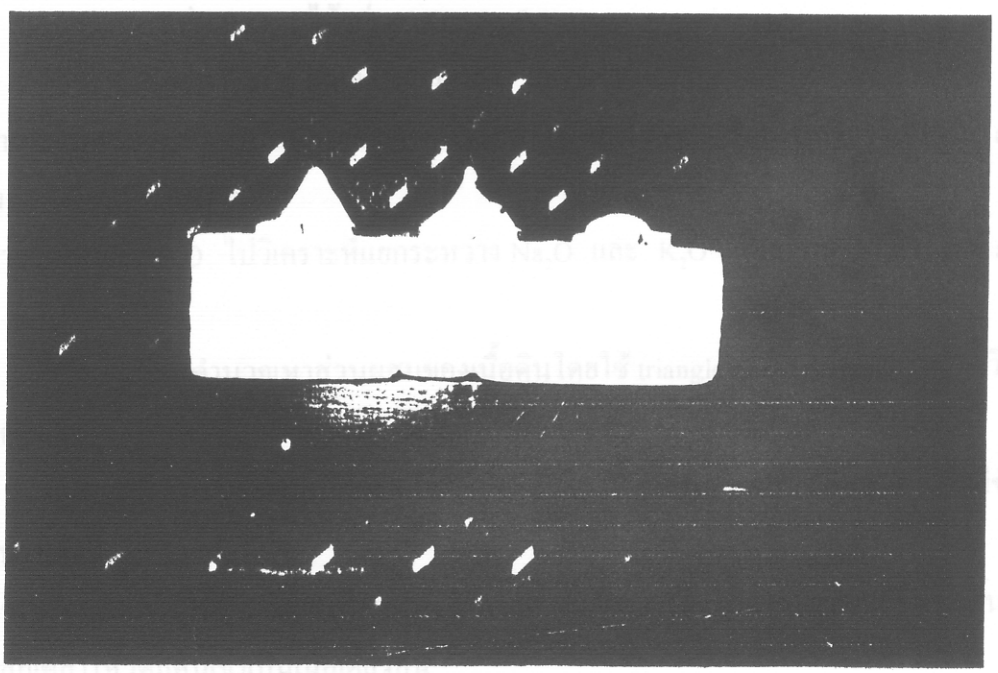
1. ชั่งดินที่จะทำการล้าง บันทึกน้ำหนักไว้
2. ละลายดินด้วยน้ำจนได้สารละลายข้น ที่ไม่หนืดมากจนเกินไป เพื่อความสะดวกในการกรองด้วย filter press
3. นำสารละลายข้นผ่านตะแกรง mesh number 46 เพื่อเอาสิ่งแปลกปลอมขนาดใหญ่ที่ปนกับดินออก
4. ปั๊มสารละลายข้นที่ได้จากการผ่านตะแกรง เข้าทางท่อเพื่อเข้าสู่เครื่องกรองซึ่งเป็นชุดของเพลทและเฟรมที่วางสลับกัน
5. สารละลายข้นจะถูกอัดให้ปะทะกับแผ่นกรอง โดยมีตัวกลางกรองเป็นผ้าซึ่งจะทำหน้าที่ดักส่วนที่เป็นเนื้อดินไว้
6. สารละลายใสหรือน้ำที่ได้จะไหลผ่านตัวกลางกรองออกทางท่อออก ส่วนเนื้อดินจะติดในเครื่องกรองมีลักษณะเป็นตะกอนข้น เรียกว่า cake
7. ทำการกรองไปจนกระทั่งสารละลายข้นที่ต้องการกรองหมด
8. ปั๊มน้ำเข้าล้างดินอีกครั้ง
9. นำผ้ากรองที่เนื้อดินเกาะติดออกจากเครื่อง และเก็บเนื้อดินไว้ใช้ต่อไป

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> การตรวจสอบคุณลักษณะและการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบ

1. <u>การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ</u>

- สังเกตลักษณะทั่วไปที่สามารถมองเห็นของวัตถุดิบแต่ละชนิดบันทึกที่สังเกตได้เป็นข้อมูล





รูปที่ 3.1 ลักษณะของ cone ในการคัดเลือกวัตถุดิบ

2. <u>การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี</u> : ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการย่อยขนาดของวัตถุดิบ จนมีขนาดละเอียดแล้วทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาดรูเปิด 46 micron

2. แบ่งตัวอย่างจากวัตถุดิบส่วนหนึ่งบรรจุลงใน platinum crucible ชั่งน้ำหนัก บันทึกผลไว้

3. เติมกรดกัดแก้ว (hydrofluoric acid) จำนวนมากเกินพอ เพื่อให้กรดทำปฏิกิริยากับ SiO_2 ที่มีอยู่ในตัวอย่างได้หมด ดังสมการ

$$SiO_2 + 4HF \text{ ----------> } SiF_{4\,(d)} + 2H_2O$$

SiF_4 ที่ได้เป็นสารที่มีจุดเดือด(Boiling point) ต่ำ ระเหยได้ง่าย ดังนั้น สิ่งที่เหลืออยู่ใน crucible จะไม่มีธาตุ Si เหลือ นำส่วนที่เหลือนี้ไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำค่าที่ได้นี้ไปหักลบจากน้ำหนักที่ชั่งได้ในตอนแรกจะได้เป็นน้ำหนักของ SiO_2 ที่มีอยู่

4. จากส่วนที่เหลืออยู่ใน crucible นำไปละลายน้ำเพื่อแยกสารกลุ่ม R_2O กับ R_2O_3 โดยอาศัยคุณสมบัติการละลายน้ำของออกไซด์ ซึ่งจะพบว่าสารกลุ่ม R_2O จะละลายน้ำได้ดี ส่วนสารกลุ่ม R_2O_3 จะตกตะกอน

5. กรองแยกสารกลุ่ม R_2O_3 ออกจาก R_2O จะได้สาร 2 กลุ่ม คือ

- กลุ่ม R_2O_3 ได้แก่ Al_2O_3 , Fe_2O_3
- กลุ่ม R_2O ได้แก่ Na_2O , K_2O

6. นำสารในกลุ่ม R_2O_3 ไปวิเคราะห์แยกระหว่าง Al_2O_3 และ Fe_2O_3 โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ atomic absorption(ดังแสดงในรูปที่ 3.2)

7. นำสารในกลุ่ม R_2O ไปวิเคราะห์แยกระหว่าง Na_2O และ K_2O โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ atomic absorption

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> คำนวณหาส่วนผสมของเนื้อดินโดยใช้ triangle phase diagram (แสดงวิธีการคำนวณในภาคผนวก)

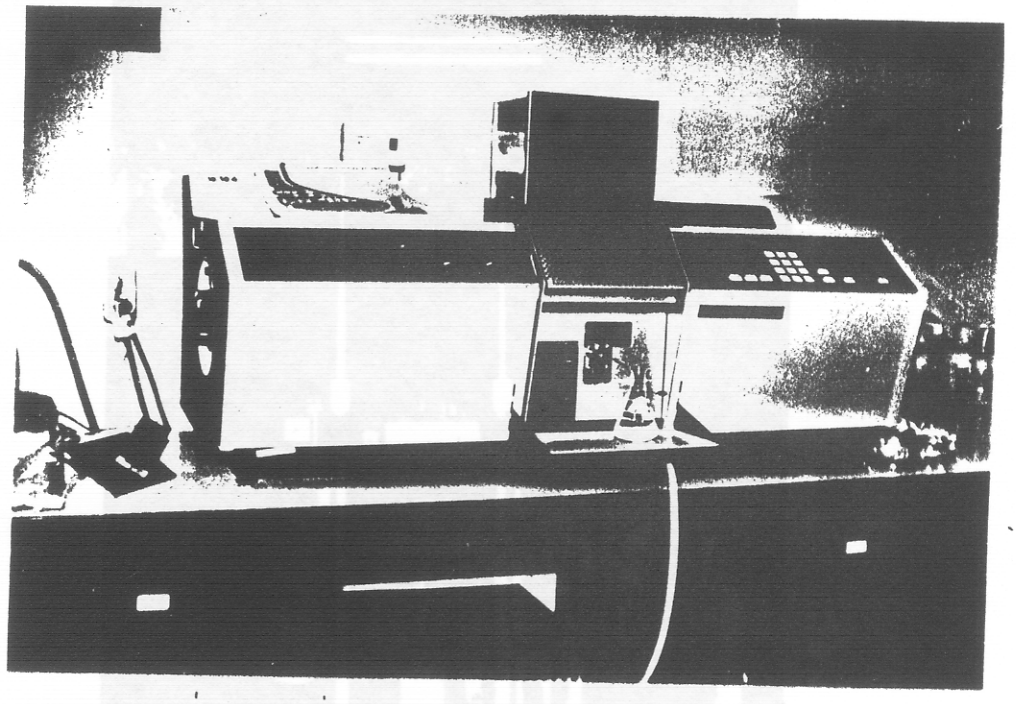
<u>ขั้นตอนที่ 5</u> การขึ้นรูปเนื้อผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติหลังเผา ซึ่งมีขั้นตอนในการขึ้นรูปดังนี้

1. บรรจุวัตถุดิบที่ใช้ในอัตราส่วนที่คำนวณได้ตามความต้องการลงในภาชนะสำหรับผสมดิน

2. คลุกเคล้าให้วัตถุดิบเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

3. ทำการเติมน้ำให้ปริมาณเล็กน้อย และทำการคลุกเคล้าเนื้อดินต่อไปจนเนื้อดินจับตัวกันดี

4. ทำการนวดเนื้อดินผสมที่ได้จากข้อ 3 จนแน่ใจได้ว่าเนื้อดินผสมมีลักษณะเป็น เนื้อเดียวกัน(homogeneous)



รูปที่ 3.2 เครื่องatomic absorption

5. ชั่งน้ำหนักเนื้อดินผสมประมาณ 50 $\pm$ 0.05 กรัม จำนวน 15 ก้อน

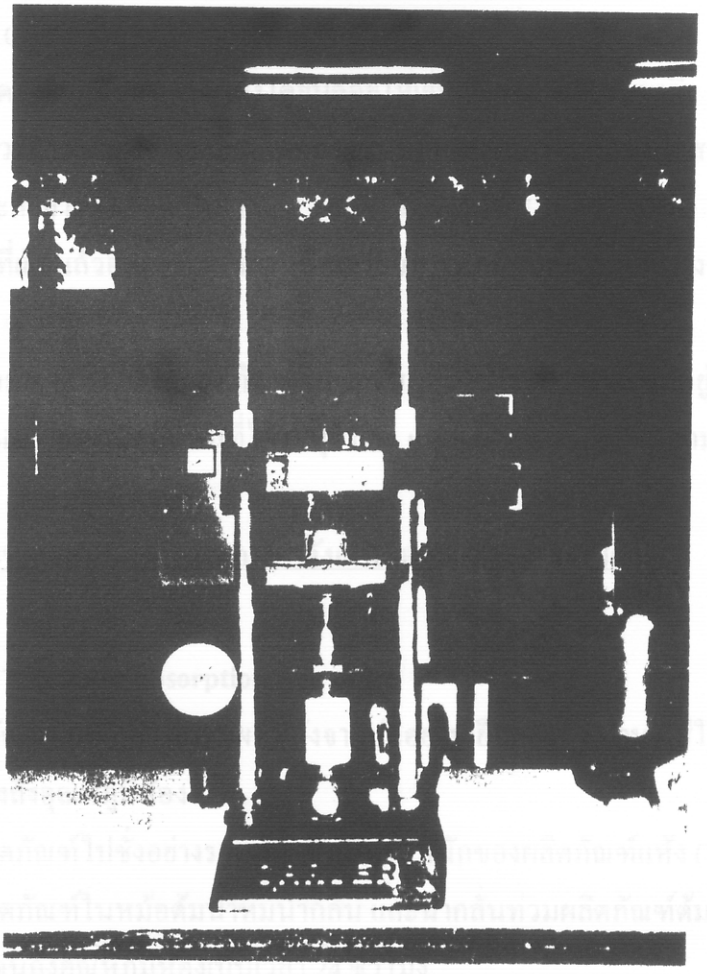
6. นำเนื้อดินแต่ละก้อนที่ได้ใส่ลงใน block ขึ้นรูป ที่ละก้อนแล้วทำการอัดด้วยเครื่องอัดแบบ hydraulic pressure โดยใช้แรงอัด 1000 กิโลกรัม

7. นำเนื้อดินผสมที่อัดแล้วออกจาก block และวางบนถาดปูนปลาสเตอร์

8. ทำการอัดเนื้อดินผสมซ้ำตามข้อ 6 และ 7

9. อบเนื้อดินผสมที่ขึ้นรูปแล้วในตู้อบ โดยคืนแรกใช้อุณหภูมิ 40°C และคืนที่สองใช้อุณหภูมิ 50° C

10. หลังอบเสร็จแล้ว นำเนื้อดินที่อัดขึ้นรูปแล้วไปทำการเผาต่อไป ดังแสดงใน รูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบ hydraulic pressure

<u>ขั้นตอนที่ 6</u> การเผาเนื้อผลิตภัณฑ์เซรามิคส์ที่ใช้เป็นชิ้นทดสอบ มีขั้นตอนดังนี้

1. การตากแห้งผลิตภัณฑ์ : ผลิตภัณฑ์ที่จะนำเข้าเผาจะต้องทำการตากผลิตภัณฑ์ให้แห้งเสียก่อน เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเครียด เมื่อได้รับอุณหภูมิที่สูงจากการเผา และขจัดน้ำในผลิตภัณฑ์ เพื่อลดการเกิดความดันในเนื้อผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการโค้งงอหรือแตกของผลิตภัณฑ์ได้

2. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนการขึ้นรูป และได้ตากจนแห้งดีแล้วมาทำการคัดเลือกหาผลิตภัณฑ์ที่ดี ไม่มีการโค้งงอหรือแตกหัก

3. การจัดวางผลิตภัณฑ์บนแผ่นอิฐทนไฟ และนำเข้าเตาเผาแล้ว ค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิอย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันการแตกหักของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว

4. ทำการเผาจนได้อุณหภูมิสูงสุดซึ่งเป็นจุดสุกตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้จะใช้อุณหภูมิสุกตัวในที่ 1,010 และที่ 1,210° C

5. ค่อย ๆ ลดอุณหภูมิของเตาเผาลงโดยปล่อยให้เย็นลงเองตามธรรมชาติ เพื่อป้องกันการเกิด cooling crack ซึ่ง ภาวะการเผาที่ใช้เผาเนื้อผลิตภัณฑ์ชิ้นทดสอบในการทดลองนี้แสดงในตารางที่ a.6ซึ่งแสดงในภาคผนวก และสามารถพล็อตเป็น firing curve ได้ดังรูปที่ 7.1 7.2

6. นำผลิตภัณฑ์ที่เย็นแล้วออกจากเตาเผา เพื่อเตรียมการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพหลังเผาของผลิตภัณฑ์ต่อไป

หมายเหตุ ในการเผาผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ดิบ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาจะขึ้นอยู่กับค่าของ จุดหลอมละลาย(melting point) ของเนื้อดินปั้นที่ได้ระบุไว้ใน triangle phase diagramตามเส้นอุณหภูมิคงที่(isothermal line)

3.1.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพหลังเผาเนื้อผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

1 การหา % water absorption

- ผลิตภัณฑ์ดิบที่ได้จากการเผา หลังจากปล่อยให้เย็นลงแล้ว นำมาใส่ในโถดูดความชื้น(desiccator) จนเย็นลงถึงอุณหภูมิห้อง
- นำผลิตภัณฑ์ไปชั่งอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นน้ำหนักของผลิตภัณฑ์แห้ง (W_1) บันทึกผลไว้
- แช่ผลิตภัณฑ์ในหม้อต้มน้ำที่มีน้ำกลั่น และน้ำกลั่นท่วมผลิตภัณฑ์ต้มให้เดือดอย่างน้อย 2 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- เอาผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบขึ้นมาเช็ดน้ำที่เกาะด้วยผ้าให้แห้งหมาด แล้วนำไปชั่งอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะได้น้ำหนักเปียก (W_2) และบันทึกผลไว้
- คำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำ ได้จากสูตร

Base on firing

$$\% \text{ water absorption} = \{ (W_2 - W_1) \times 100 \} / W_1$$

Base on absorption

$$\% \text{ water absorption} = \{ (W_2 - W_1) \times 100 \} / W_2$$

เมื่อ ..... W_1 : น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่แห้งหลังเผา เป็น กรัม

W_2 : น้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง เป็น กรัม

หมายเหตุ ในการหา % water absorption แบบ normal absorption ก็สามารถหาและคำนวณโดยใช้สูตรเดียวกันกับ force absorption แต่ใช้ชิ้นทดสอบหลังเผาแช่ลงในน้ำโดยไม่ต้องทำการต้มน้ำ

2 การหา % loss on drying และ % loss on ignition

- ผสมวัตถุดิบในอัตราส่วนที่ต้องการของแต่ละสูตร
- ทำการขึ้นรูปเนื้อดินเป็นชิ้นทดสอบแท่งสี่เหลี่ยม ที่มีขนาด 2X10X2 cm
- ชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบ (W_1) บันทึกผล
- ปล่อยให้เนื้อดินแห้งเองโดยธรรมชาติจนน้ำหนักคงที่ บันทึก น้ำหนักสุดท้ายไว้ (W_2)
- นำชิ้นทดสอบไปเผาที่ 1210°C
- ชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบที่เผาแล้ว (W_3) แล้วบันทึกผลไว้
- คำนวณหา % loss on drying ได้จากสมการ

wet basis

$$\% \text{ loss on drying} = \{ (W_1 - W_2) \times 100 \} / W_1$$

dry basis

$$\% \text{ loss on drying} = \{ (W_1 - W_2) \times 100 \} / W_2$$

- คำนวณหา % LOSS ON IGNITION ได้จากสมการ

base on drying

$$\% \text{ loss on ignition} = \{ (W_2 - W_3) \times 100 \} / W_2$$

base on firing

$$\% \text{ loss on ignition} = \{ (W_2 - W_3) \times 100 \} / W_3$$

เมื่อ W_1 : น้ำหนักชิ้นทดสอบตอนเริ่มต้น (กรัม)

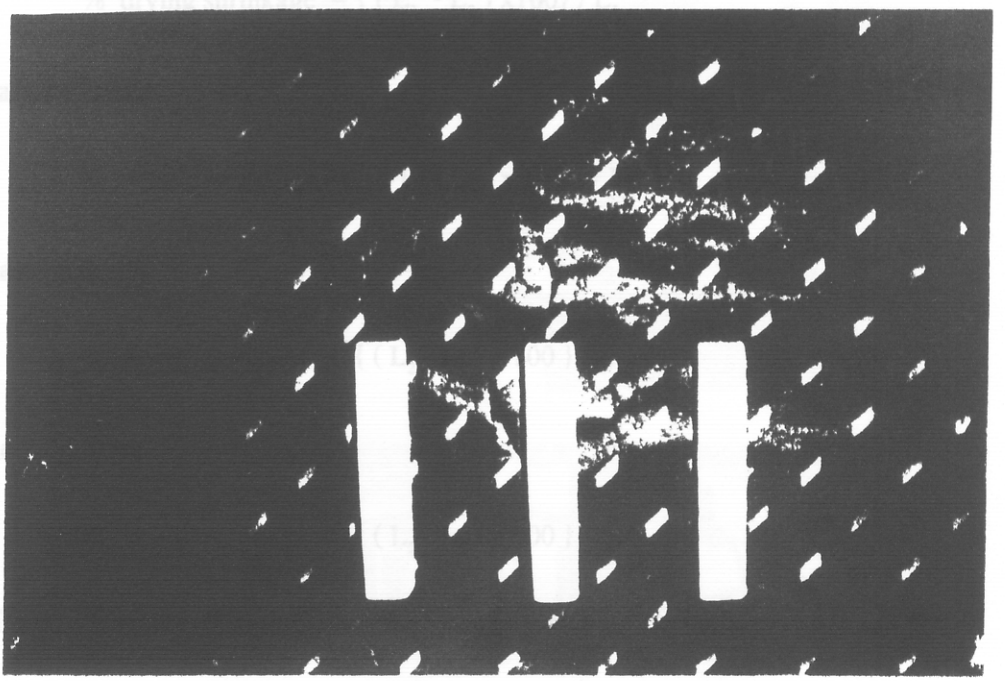
W_2 : น้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนเผา (กรัม)

W_3 : น้ำหนักชิ้นทดสอบหลังเผา (กรัม)

3 การหา % firing shrinkage

-ผสมวัตถุดิบในอัตราส่วนที่ต้องการของแต่ละ formula

- ทำการขึ้นรูปเนื้อดินเป็นชิ้นทดสอบแท่งสี่เหลี่ยม ที่มีขนาด 2x10x2 cm แล้วทำเครื่องหมายจุดบนเนื้อดินไว้ 2 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 3.4 วัดระยะระหว่างเครื่องหมายจุดทั้งสอง (L_2) และบันทึกผล



รูปที่ 3.4 การทดสอบการหดตัวของชิ้นทดสอบ

- ปล่อยให้ชิ้นทดสอบแห้งเองโดยธรรมชาติจนกระทั่งชิ้นทดสอบแห้งดีและมีน้ำหนักคงที่ บันทึกระยะระหว่างเครื่องหมายจุดอีกครั้ง (L_2)

-นำชิ้นทดสอบไปเผาที่ 1210° C

- ปล่อยให้ชิ้นทดสอบเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วทำการวัดระยะระหว่างเครื่องหมายจุดทั้งสอง (L_3) แล้วบันทึกผล

- คำนวณหา % shrinkage ได้จากสมการ

base on wet

$$\% \text{ drying shrinkage} = \{ (L_1 - L_2) \times 100 \} / L_1$$

base on drying

$$\% \text{ drying shrinkage} = \{ (L_1 - L_2) \times 100 \} / L_3$$

base on drying

$$\% \text{ firing shrinkage} = \{ (L_2 - L_3) \times 100 \} / L_2$$

base on firing

$$\% \text{ firing shrinkage} = \{ (L_2 - L_3) \times 100 \} / L_3$$

เมื่อ L_1 : ระยะระหว่างเครื่องหมายจุดของชิ้นทดสอบตอนเริ่มต้น (เซนติเมตร)

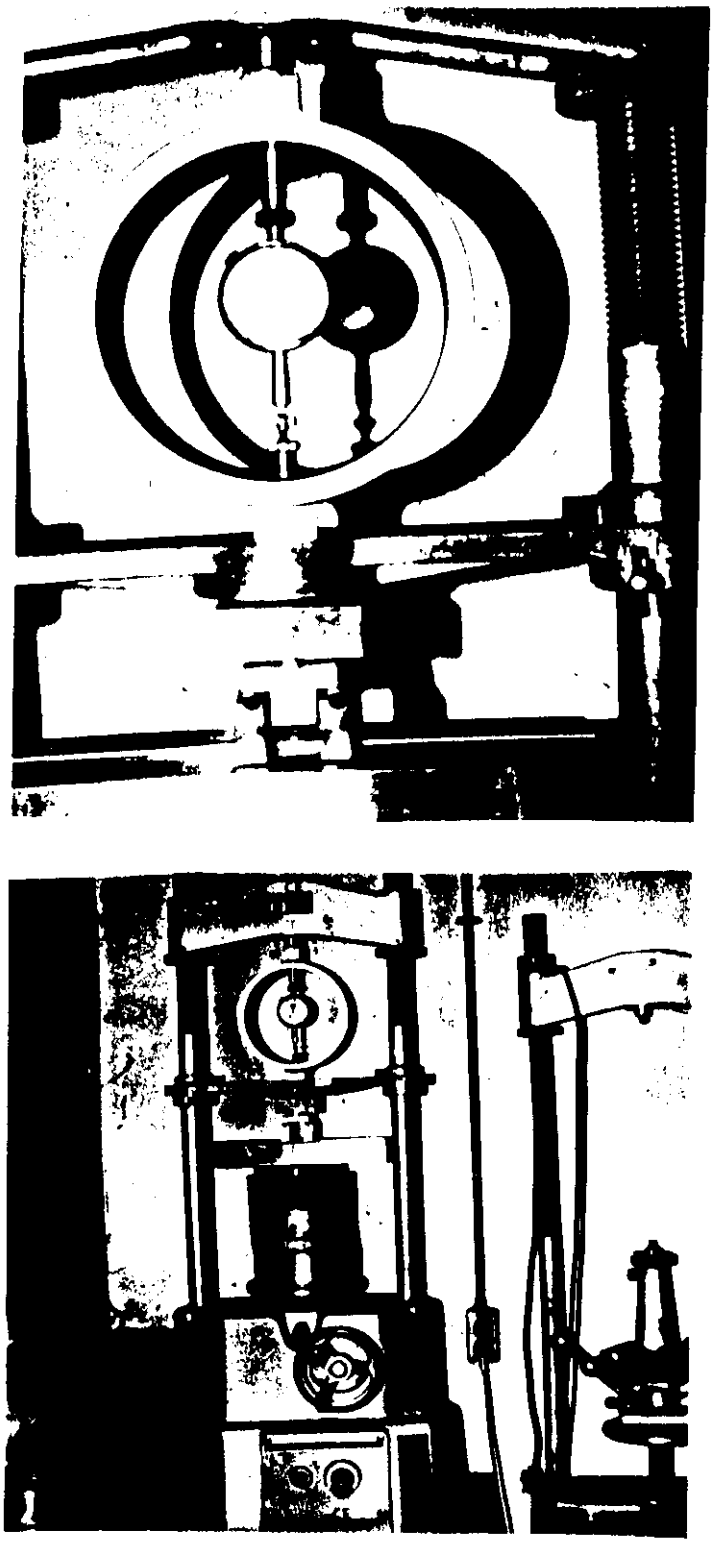
L_2 : ระยะระหว่างเครื่องหมายจุดของชิ้นทดสอบ เมื่อชิ้นทดสอบแห้งก่อนเผา (เซนติเมตร)

L_3 : ระยะระหว่างเครื่องหมายจุดของชิ้นทดสอบหลังเผา (เซนติเมตร)

4 การทดสอบความต้านทานแรงตามขวาง (strength or modulus of rupture)

- นำชิ้นทดสอบเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านการเผาแล้วทำการทดสอบความต้านทานแรงตามแนวขวาง โดยการวางชิ้นทดสอบบนที่รองรับของ bending strength tester ดังแสดงรูปที่ 3.5

- ให้น้ำหนักบรรจุกดลงบนแท่งของชิ้นทดสอบที่กึ่งกลางของความยาวของช่วงที่รองรับโดยให้น้ำหนักบรรทุกเริ่มจากศูนย์ และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในอัตราที่เท่ากัน และสม่ำเสมอจนชิ้นทดสอบแตกหัก บันทึกน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้เกิดการแตกหัก



รูปที่ 3.5 การทดสอบความต้านทานแรงตามขวาง

- คำนวณค่าความต้านทานแรงตามขวาง จากสมการ

$F = 3(PL)(10^{-7}) / 2bt^2$

เมื่อ . . . F : ความต้านทานแรงตามขวาง เป็น MPa

P : น้ำหนักบรรทุก เป็น นิวตัน

L : ความยาวของช่วงที่รองรับเท่ากับ 2/3 (1) เป็นเมตร

I : ความยาวของเนื้อดินปั้นตัวอย่าง เป็น เมตร

b : ความกว้างของเนื้อดินปั้นตัวอย่าง เป็น เมตร

t : ความหนาของเนื้อดินปั้นตัวอย่าง เป็น เมตร

3.1.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และการคัดเลือกชนิดของวัตถุดิบ

ตารางที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์ทางเคมี

ชนิดและแหล่งดิน	L. O. I.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Na_2O
ดินเหนียวดำ (1)อ. บ้านส้องจ. สุราษฎร์ธานี	10.43	60.10	27.91	0.37	nil
ดินเหนียวดำ (2)อ. บ้านส้องจ. สุราษฎร์ธานี	9.73	66.92	21.62	0.32	nil
Sodium feldspar อ. ท่าศาลา จ. นครศรีธรรมราช	1.19	70.67	20.00	0.09	7.55
ดินเหนียวดำ อ. ลานสกาจ. นครศรีธรรมราช	13.33	51.36	33.66	0.45	nil
ดินขาวต. หาดส้มแป้นจ. ระนอง	14.46	43.25	0.42	38.80	

ลักษณะของวัตถุดิบที่สังเกตได้ :

ดินเหนียวดำ (1) อ. บ้านส้อง จ. สุราษฎร์ธานี

- เป็นดินสีดำ บดละเอียดขนาด 10 เมช ผสมน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสมแล้วมีความเหนียวค่อนข้างดี เมื่อทดสอบเผาที่อุณหภูมิ 1210° C แล้วจะเกิดปฏิกิริยาหลอมเหลวที่ผิว (sintering) ไม่มีลักษณะคล้ายแก้ว ที่ผิวมีสีขาว สะอาด มีจุดสีดำเล็ก ๆ ปะปนอยู่เล็กน้อย สามารถคงรูปกรวยคว่ำอยู่ได้ มีขนาดเล็กกว่าเดิมเล็กน้อย และไม่มีรอยแตกรอบ ๆ ชิ้นทดลอง

ดินเหนียว (2) อ. บ้านส้อง จ. สุราษฎร์ธานี

- เป็นดินสีดำ บดละเอียดขนาด 100 เมช ผสมน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสมแล้วมีความเหนียวค่อนข้างดี เมื่อทดสอบเผาที่อุณหภูมิ 1210° C จะเกิดปฏิกิริยาหลอมเหลวที่ผิว ไม่มีลักษณะคล้ายแก้ว ที่ผิวมีสีขาว มีจุดสีดำเล็ก ๆ ปะปนอยู่มาก สามารถคงรูปกรวยคว่ำอยู่ได้ มีขนาดเล็กลงกว่าเดิมเล็กน้อย มีรอยแตกรอบๆ ชิ้นทดลอง

หินฟันม้า อ. ท่าศาลา จ. นครศรีธรรมราช

-เป็นหินสีขาว บดละเอียดขนาด 100 เมช เมื่อทดสอบเผาที่อุณหภูมิ 1210° C จะเกิดปฏิกิริยาหลอมเหลวที่ผิว และมีลักษณะคล้ายแก้ว ทีผิวมีสีขาวครีม สะอาด ไม่สามารถคงรูปกรวยคว่ำได้ โดยจะยุบตัวลง มีลักษณะคล้ายขนมผิง

ดินเหนียวดำ อ. ลานสกา จ. นครศรีธรรมราช

- บดละเอียดขนาด 100 เมช ผสมน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสมแล้วมีความเหนียวค้อยข้างดี ทดสอบเผาที่อุณหภูมิ 1210° C จะเกิดปฏิกิริยาหลอมเหลวที่ผิว ไม่มีลักษณะคล้ายแก้ว ที่ผิวมีสีขาว สะอาด ไม่มีจุดสีดำปะปน สามารถคงรูปกรวยคว่ำอยู่ได้ ขนาดเล็กลงกว่าเดิมเล็กน้อย ไม่มีรอยแตกรอบ ๆ ชิ้นทดลอง

ดินเหนียวขาว ตำบลหาดส้มแป้น จังหวัดระยอง

- เป็นดินสีขาว บดละเอียดขนาด 100 เมช ผสมน้ำในสัดส่วนเหมาะสมแล้วมีความเหนียวค่อยข้างดี เมื่อทดสอบเผาที่อุณหภูมิ 1210° C จะเกิดปฏิกิริยาหลอมเหลวที่ผิว ไม่มีลักษณะคล้ายแก้ว ที่ผิวมีสีขาวครีม ไม่มีจุดสีดำปะปน สามารถคงรูปกรวยคว่ำอยู่ได้ ขนาดเล็กลงกว่าเดิม ไม่มีรอยแตกรอบ ๆ ชิ้นทดลอง

หินฟันม้า (Potash feldspar) จากอินเดีย

- เป็นหินสีขาว บดละเอียดขนาด 100 เมช เมื่อทดสอบเผาที่อุณหภูมิ 1210° C เกิดปฏิกิริยาหลอมเหลวที่ผิว มีลักษณะคล้ายแก้ว ที่ผิวมีสีขาวอมม่วงอ่อน สะอาด สามารถคงรูปกรวยคว่ำอยู่ได้ มีขนาดเล็กลงกว่าเดิมครึ่งหนึ่ง ยอดแหลม สันกรวยเป็นเส้นตรง

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบ และ การคัดเลือกวัตถุดิบด้วยการเผา Cone ของวัตถุดิบตามผลการทดลอง ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้วัตถุดิบสำหรับใช้ในการทดลอง 3 ชนิด ดังต่อไปนี้ คือ

1. ดินขาว ตำบลหาดส้มแป้น จังหวัดระนอง
2. ดินเหนียวดำ (1) อำเภอบ้านส้อง จังหวัดสุราษฎร์ธานี
3. Potash feldspar จากอินเดีย

2 . ส่วนผสมของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่คำนวณได้ โดยอาศัยข้อมูลการวิเคราะห์ทางเคมี และ triangle phase diagram

ตารางที่ 3.2 แสดงส่วนผสมของเนื้อผลิตภัณฑ์สูตรต่าง ๆ

สูตรที่ 1 1% K_2O 29% Al_2O_3 70% SiO_2

วัตถุดิบ	% by weight			weight ratio
	K_2O	Al_2O_3	SiO_2	
K-feldsper	1	1.81	5.37	8.27
Kaolin		13.60	15.10	35.05
Ball clay		13.59	29.22	48.70
Flint			20.31	20.31

สูตรที่ 2 1% K_2O 34% Al_2O_3 65% SiO_2

วัตถุดิบ	% by weight			weight ratio
	K_2O	Al_2O_3	SiO_2	
K-feldspar	1	1.81	5.37	8.27
Kaolin		16.09	17.86	41.47
Ball clay		16.10	34.62	57.68
Flint			7.15	7.15

สูตรที่ 3 1% K_2O 35% Al_2O_3 64% SiO_2

วัตถุดิบ	% by weight			weight ratio
	K_2O	Al_2O_3	SiO_2	
K-feldsper	1	1.81	5.37	8.27
Kaolin		16.59	18.41	42.76
Ball clay		16.60	35.69	59.48
Flint			4.53	4.53

สูตรที่ 4 2% K_2O 33% Al_2O_3 65% SiO_2

วัตถุดิบ	% by weight			weight ratio
	K_2O	Al_2O_3	SiO_2	
K-feldspar	2	3.62	10.74	16.54
Kaolin		14.69	16.31	37.86
Ball clay		14.69	31.58	52.63
Flint			6.37	6.37

สูตรที่ 5 2% K_2O 33% Al_2O_3 65% SiO_2

วัตถุดิบ	% by weight			weight ratio
	K_2O	Al_2O_3	SiO_2	
K-feldsper	2	3.62	10.74	16.50
Kaolin		20.57	22.83	53.02
Ball clay		8.81	18.94	31.57
Flint			12.49	12.49

สูตรที่ 6 3% K_2O 27% Al_2O_3 70%SiO_2

วัตถุดิบ	% by weight			weight ratio
	K_2O	Al_2O_3	SiO_2	
K-feldspar	3	5.43	16.11	24.82
Kaolin		10.78	11.79	27.78
Ball clay		10.79	23.20	38.66
Flint			18.72	18.72

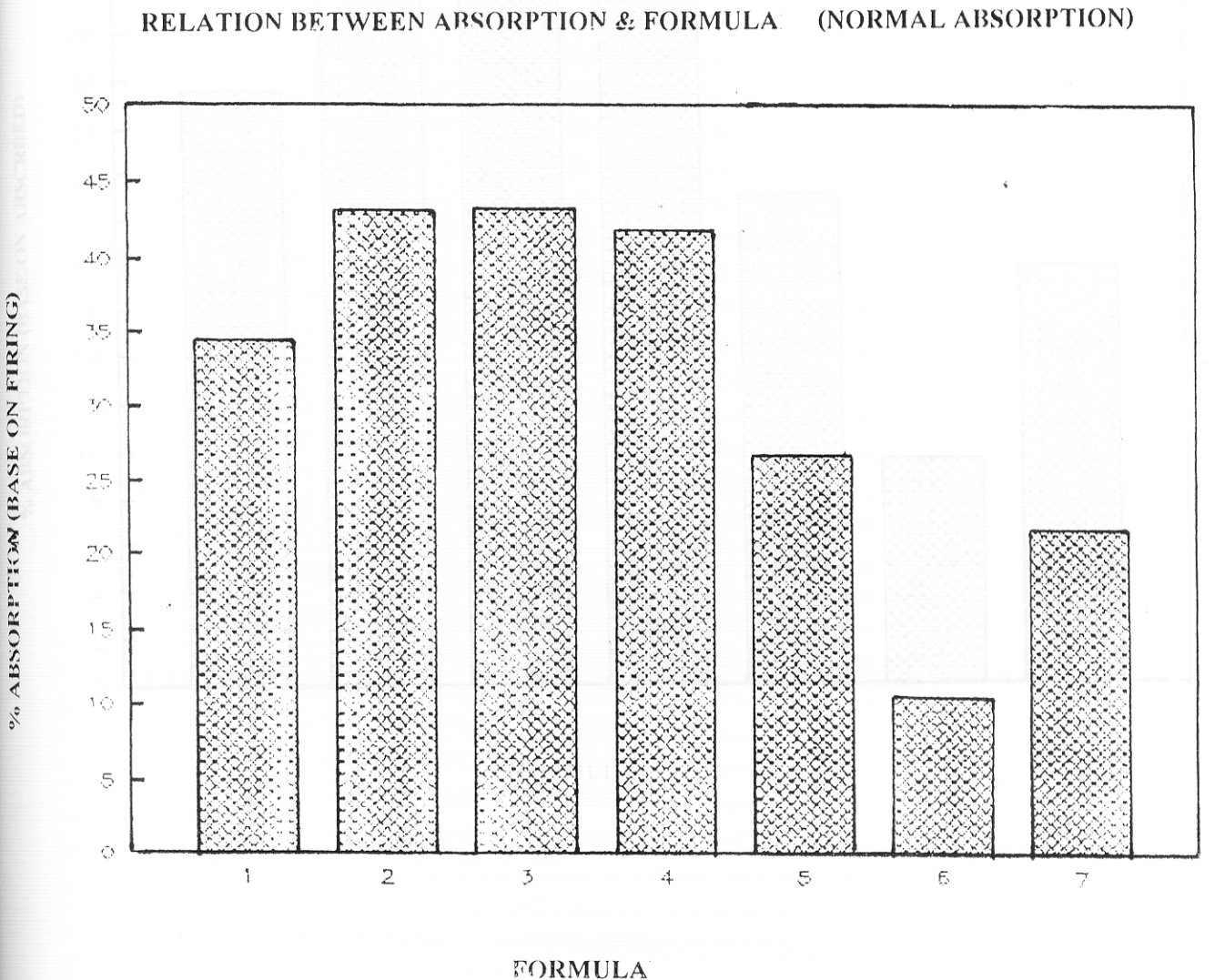
สูตรที่ 7 7% K_2O 28% Al_2O_3 65% SiO_2

วัตถุดิบ	% by weight			weight ratio
	K_2O	Al_2O_3	SiO_2	
K-feldsper	7	12.7	37.60	57.90
Kaolin		7.66	8.50	19.74
Ball clay		7.67	16.50	27.50
Flint			2.40	2.40

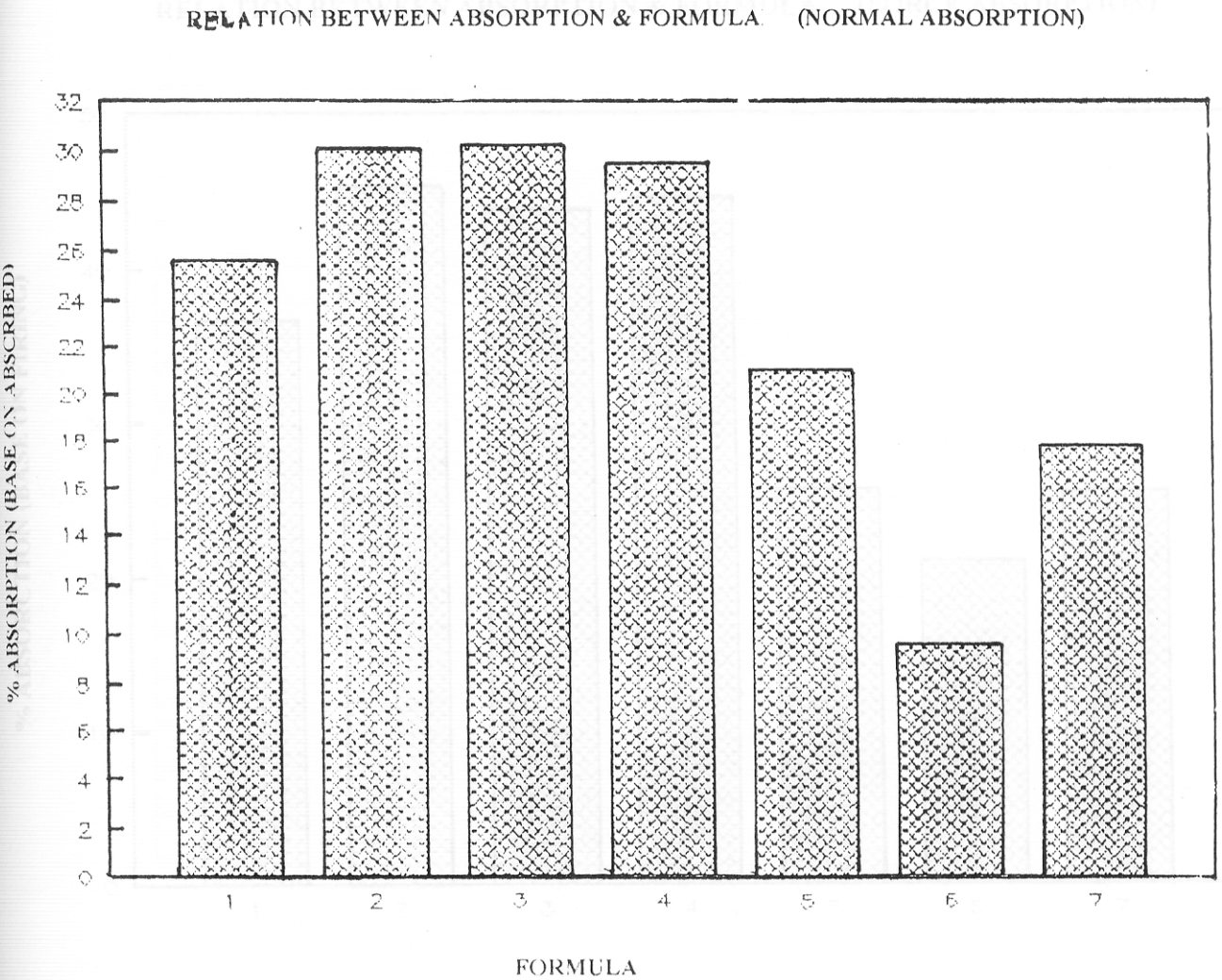
3. คุณสมบัติต่าง ๆ ของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ สูตรต่าง ๆ

การดูดซับน้ำของเนื้อผลิตภัณฑ์สูตรต่าง ๆ

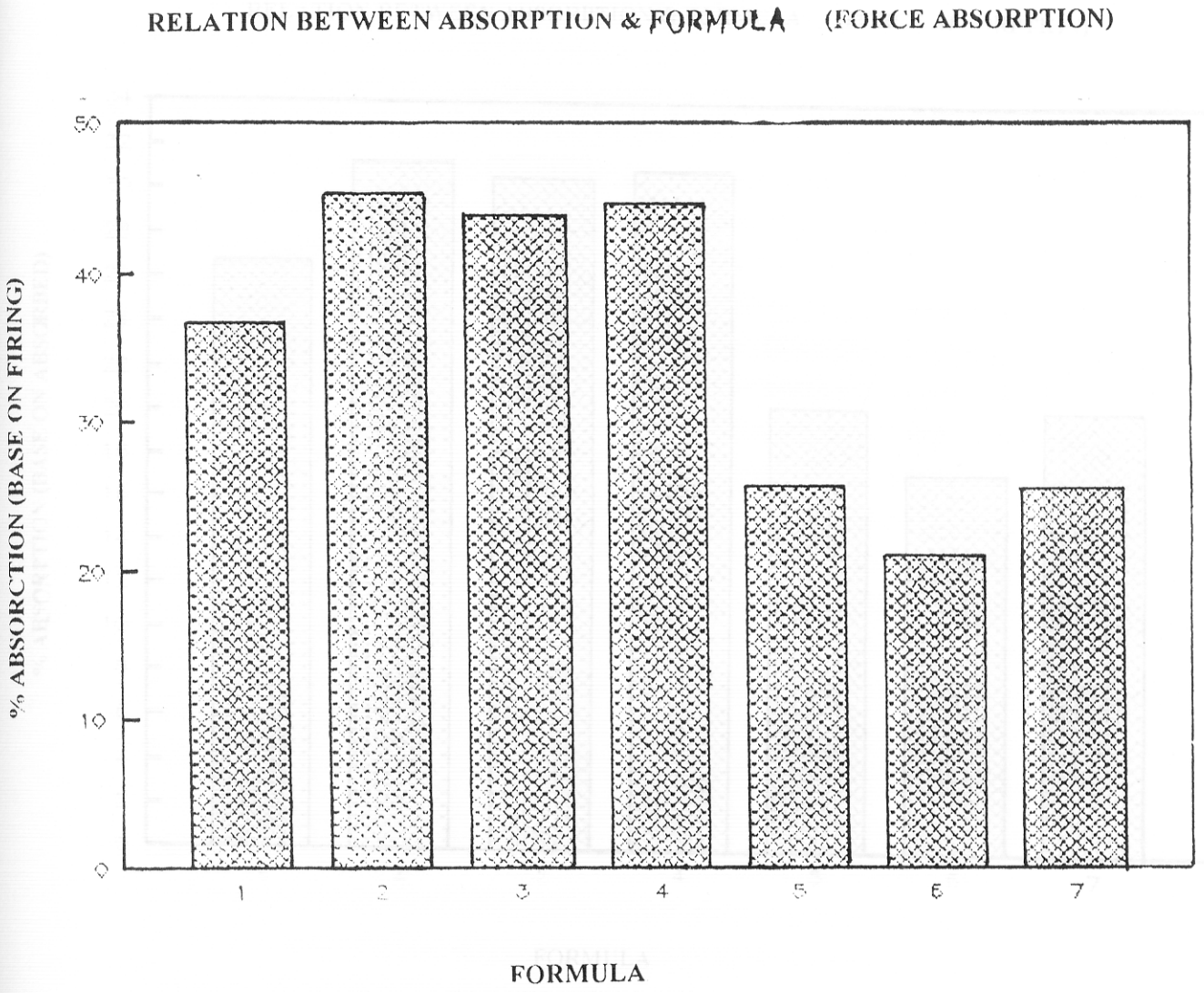
ผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของเนื้อผลิตภัณฑ์สูตรต่าง ๆแสดง ในตารางที่ a.1 ซึ่งสามารถ plot graph แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % water absorption กับ สูตรต่าง ๆ ได้ ดังกราฟรูปที่ 3.6 , 3.7 , 3.8 และ 3.9



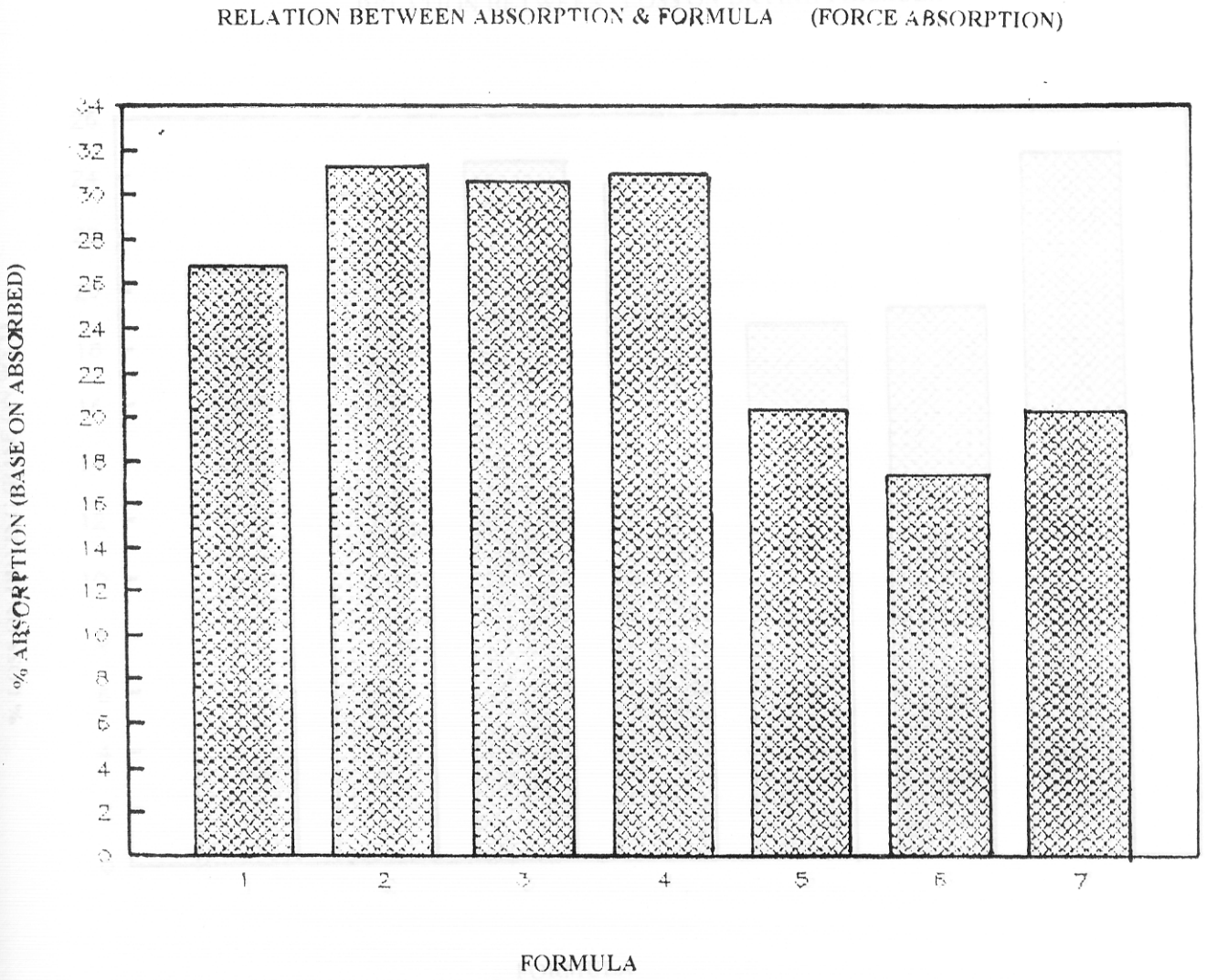
รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % water absorption กับ formula (base on firing)



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % water absorption กับ formula (base on absorption)



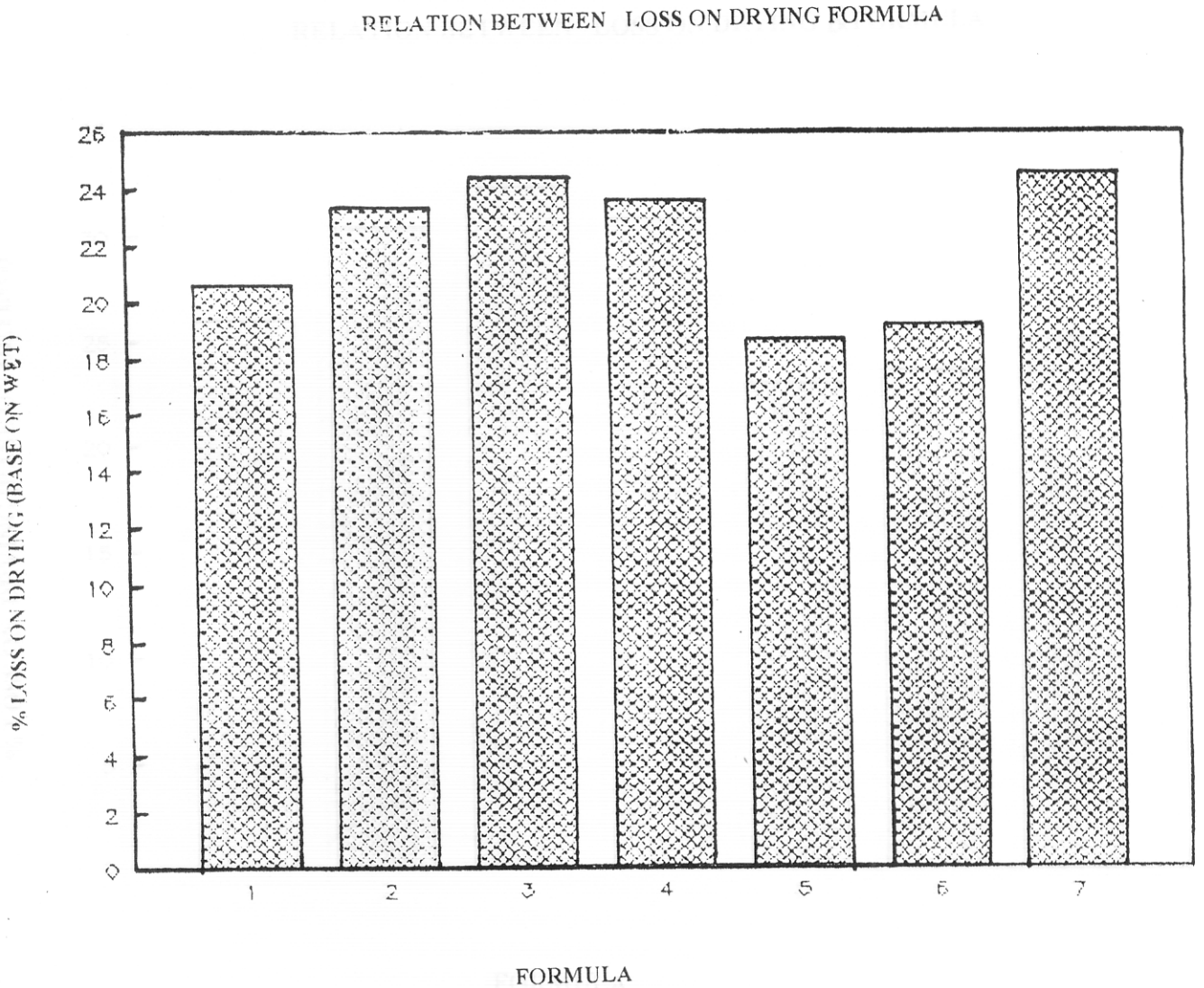
รูปที่ 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % water absorption กับ formula (base on firing)



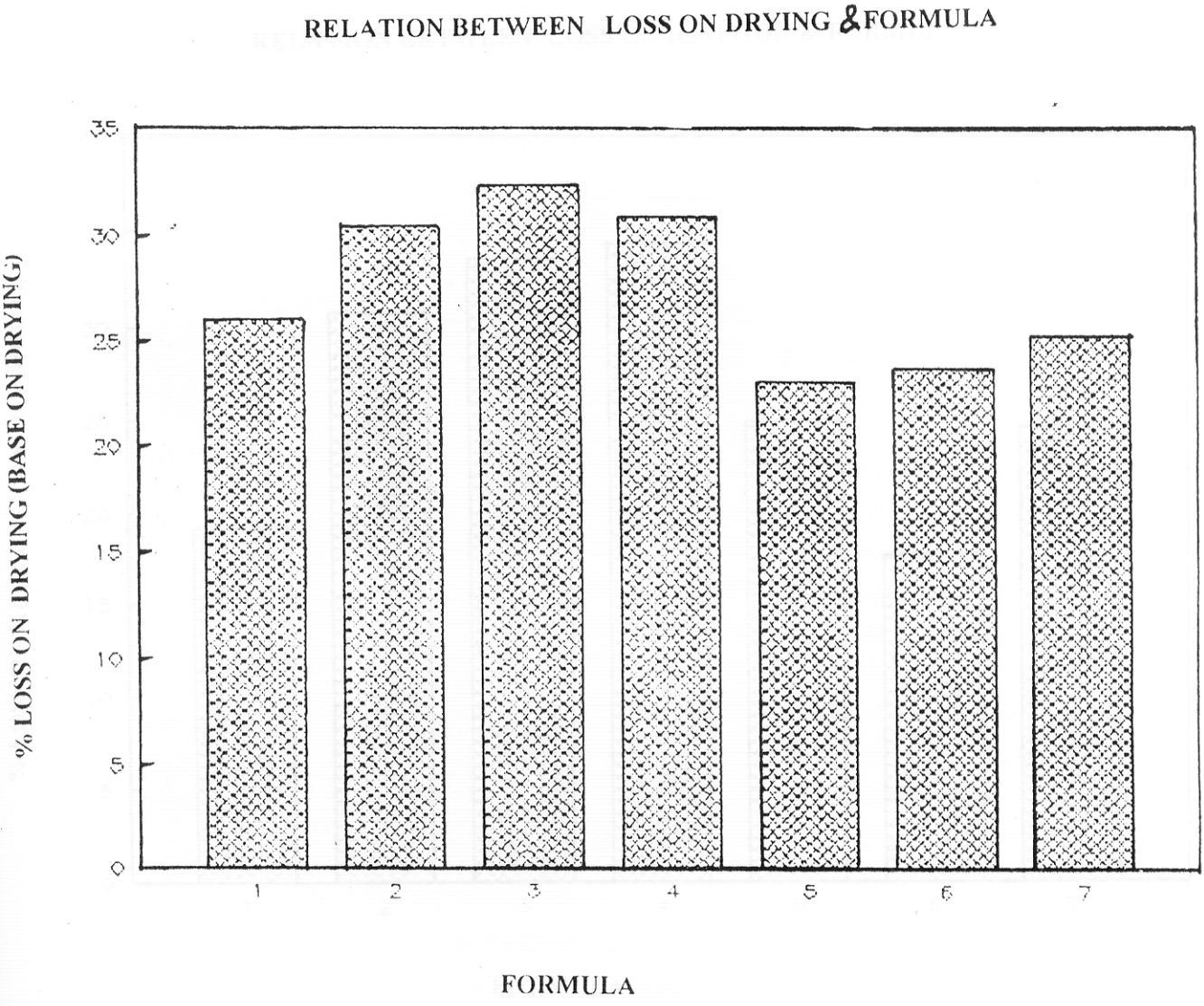
รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % water absorption กับ formula(base on absorption)

ผลการทดสอบการสูญเสียน้ำหนักหลังการอบ และหลังการเผา

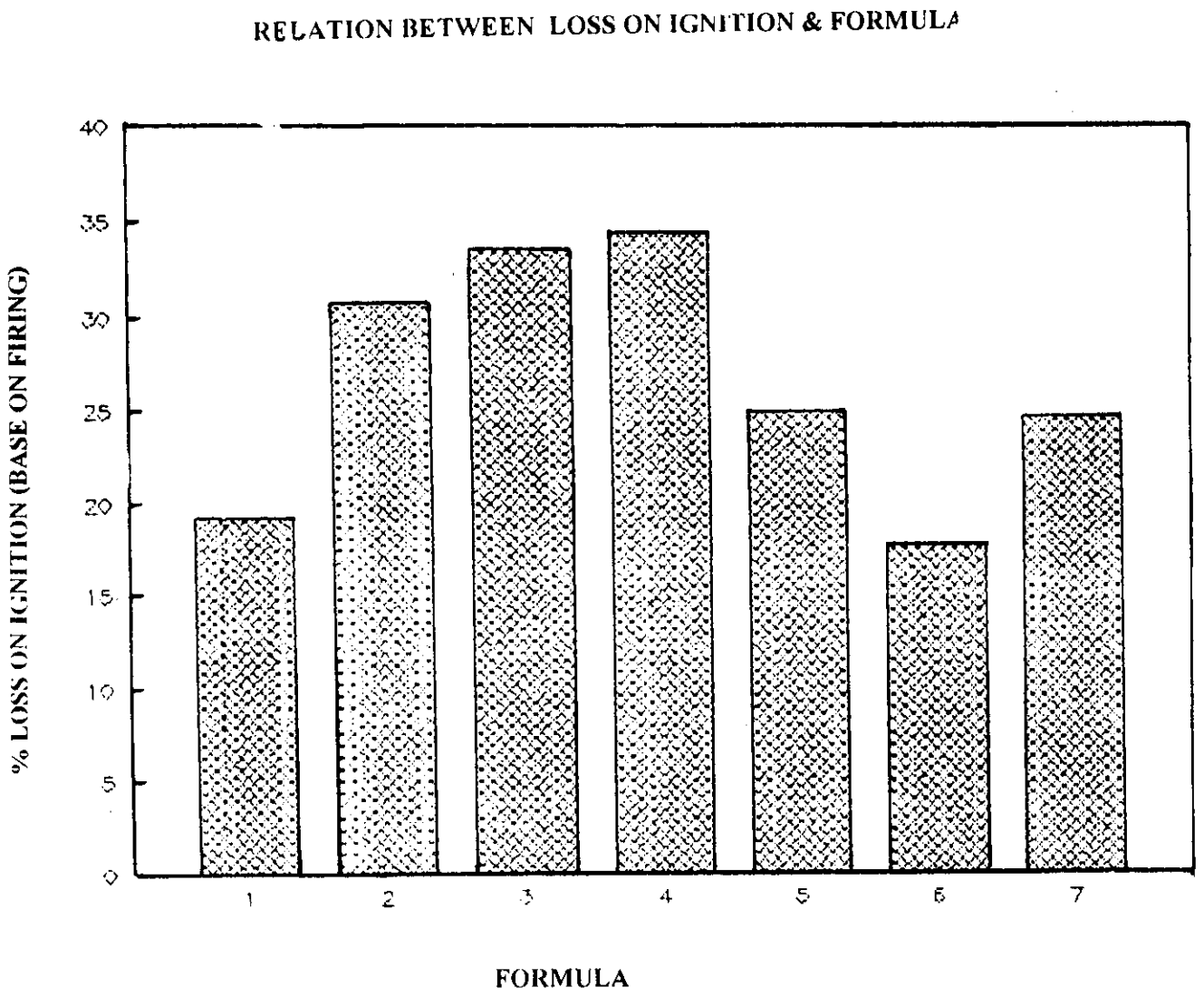
ผลการทดสอบการสูญเสียน้ำหนักหลังการอบ และหลังการเผาของเนื้อผลิตภัณฑ์สูตรต่าง ๆ แสดงในตาราง 3.2 ซึ่งสามารถ พล็อตกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % weight loss กับสูตรต่างๆ ได้ดังกราฟรูปที่ 3.10 , 3.11 , 3.12 และ 3.13



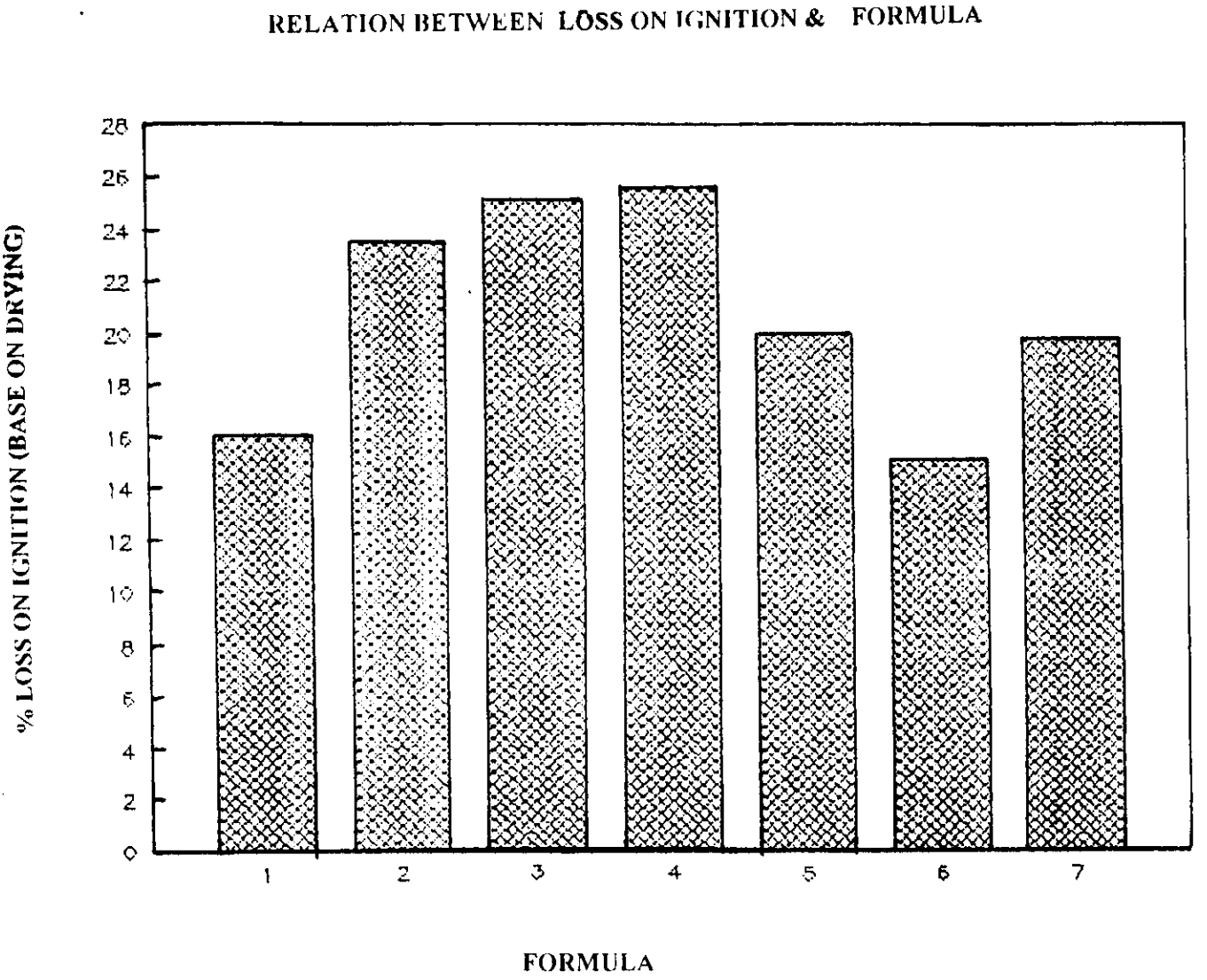
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % loss on drying ของ เนื้อผลิตภัณฑ์สูตรต่าง ๆ(base on wet)



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % loss on drying เนื้อผลิตภัณฑ์สูตรต่าง ๆ(base on drying)



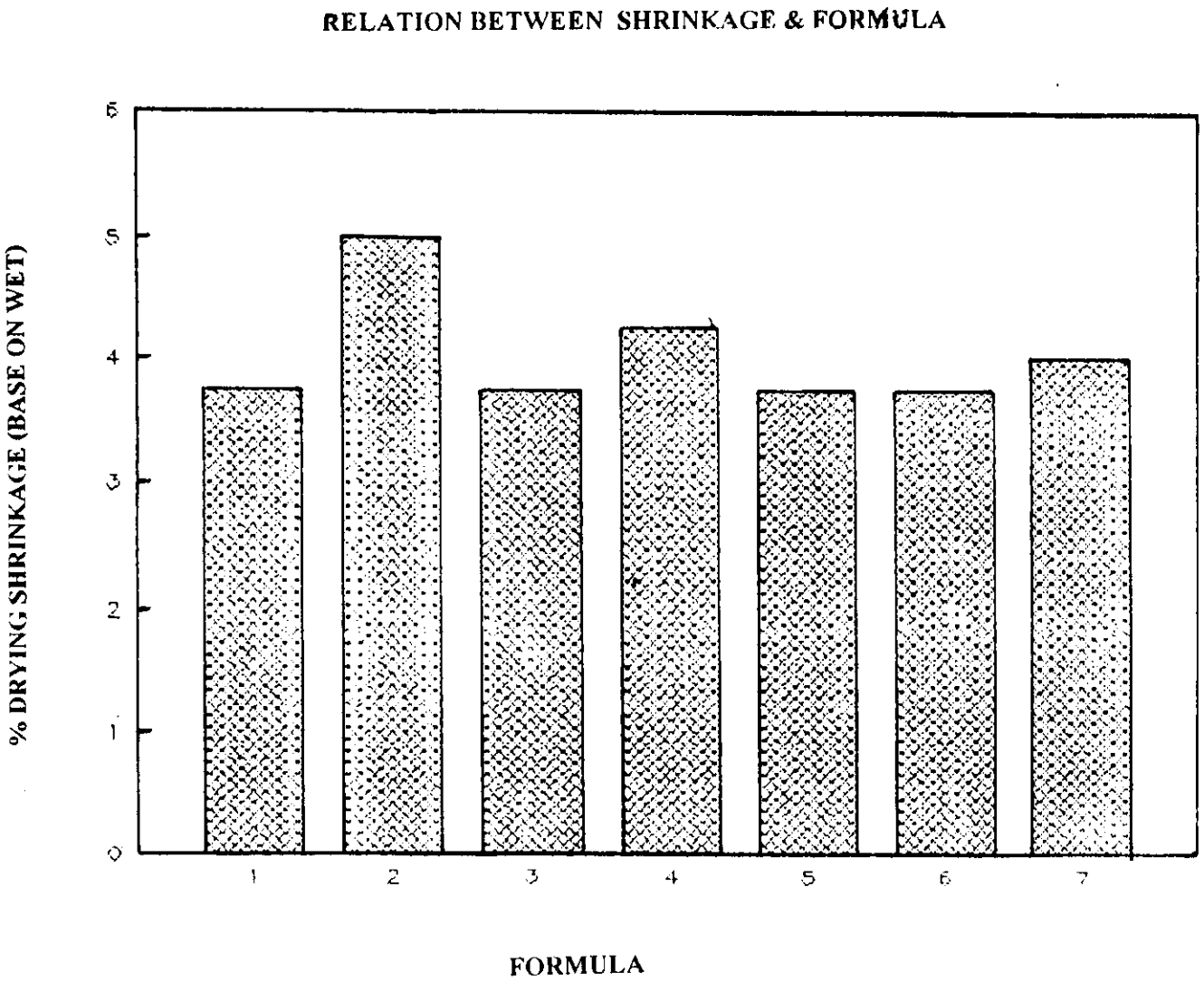
รูปที่ 3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % loss on ignition กับ เนื้อผลิตภัณฑ์สูตรต่าง ๆ (base on firing)



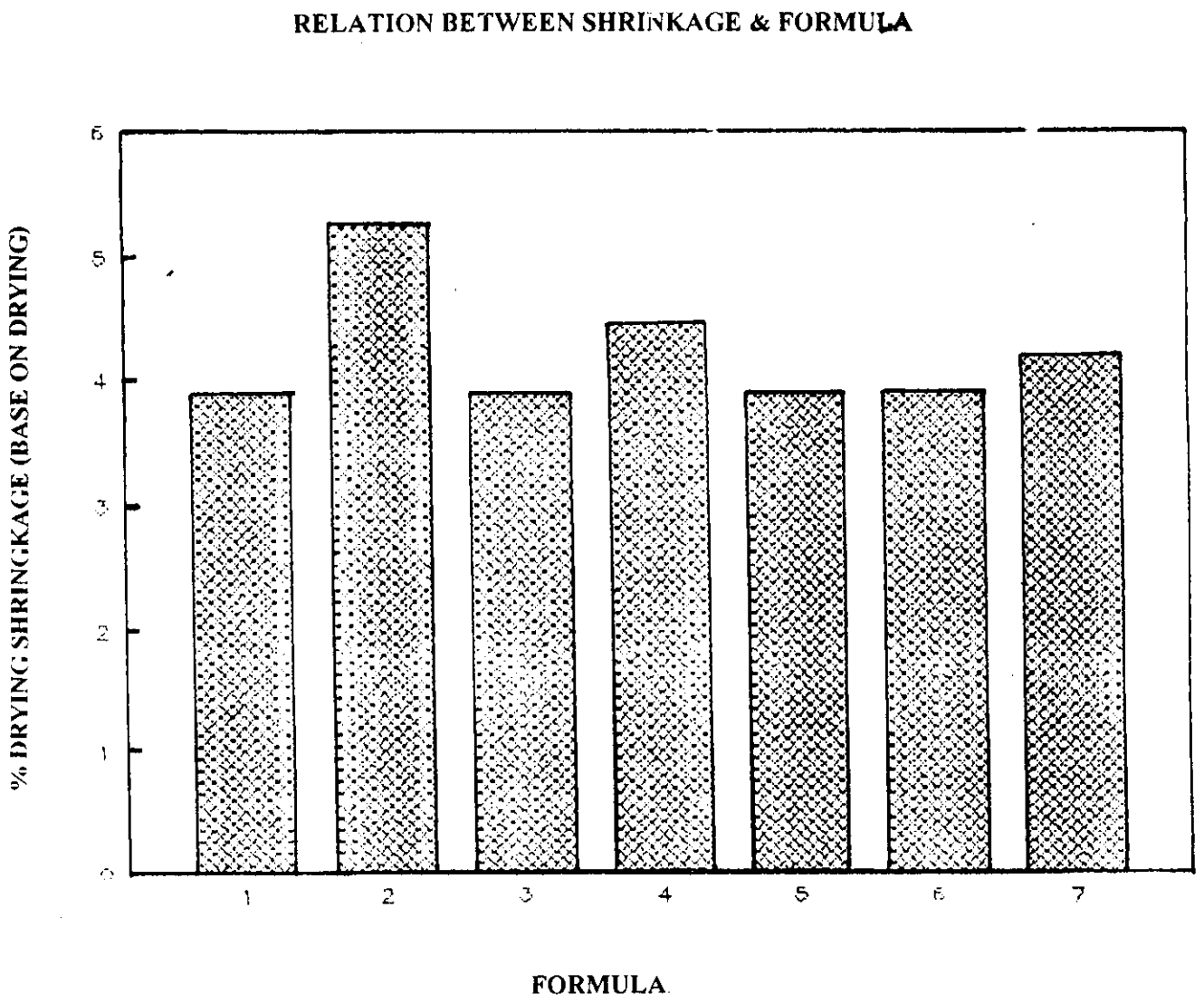
รูปที่ 3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % loss on ignition กับ เนื้อผลิตภัณฑ์สูตรต่าง ๆ (base on drying)

ผลการทดสอบเปอร์เซนต์การหดตัวหลังการอบและหลังเผาของเนื้อผลิตภัณฑ์สูตรต่าง ๆ

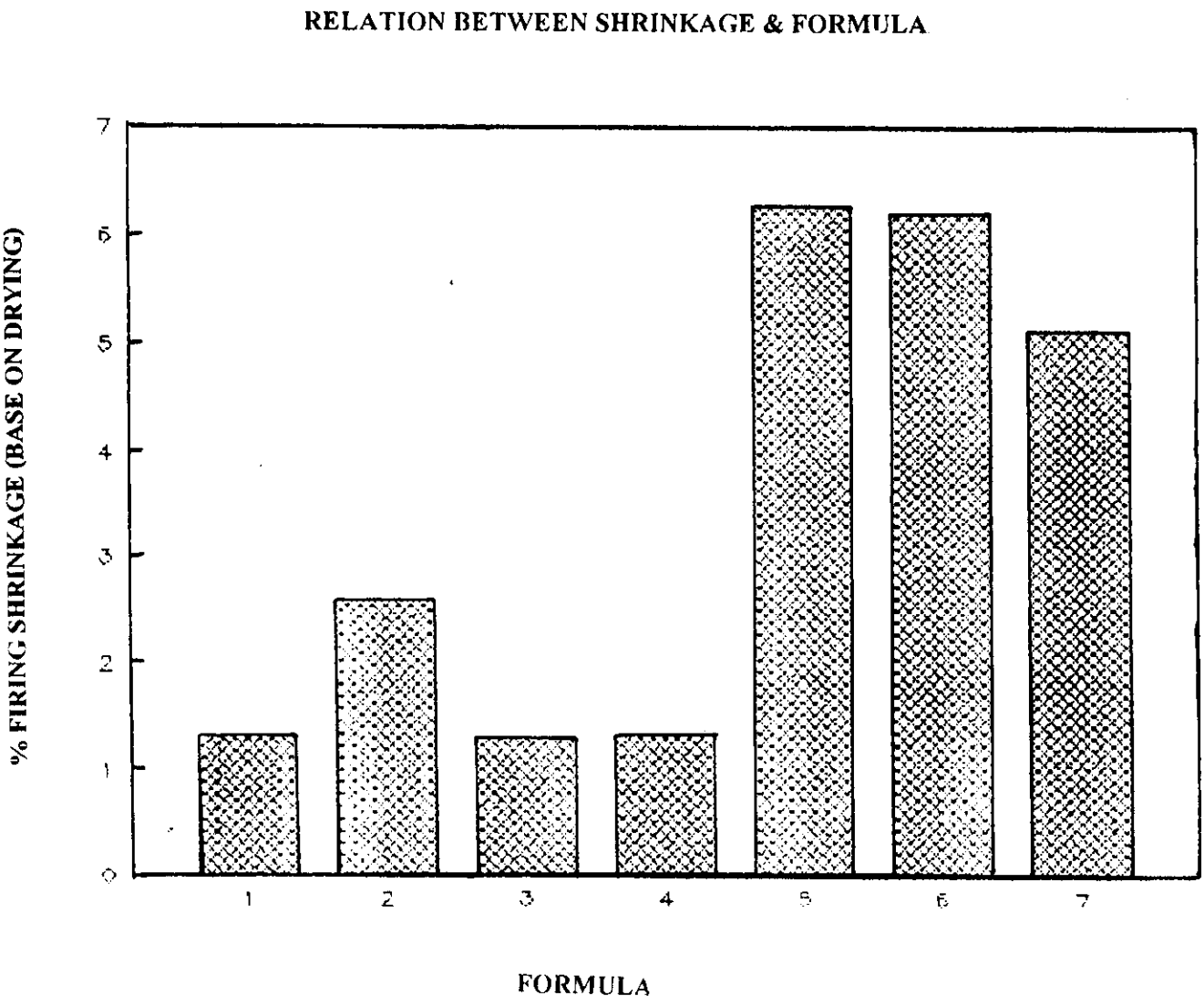
ผลการทดสอบเปอร์เซนต์การหดตัวหลังการอบและหลังเผาของเนื้อผลิตภัณฑ์สูตรต่าง ๆ แสดงในตารางที่ a.3 ซึ่งสามารถพล็อตกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % shrinkage กับ เนื้อผลิตภัณฑ์สูตรต่าง ๆ ได้ดังกราฟรูปที่ 3.14 , 3.15 , 3.16 , และ 3.17



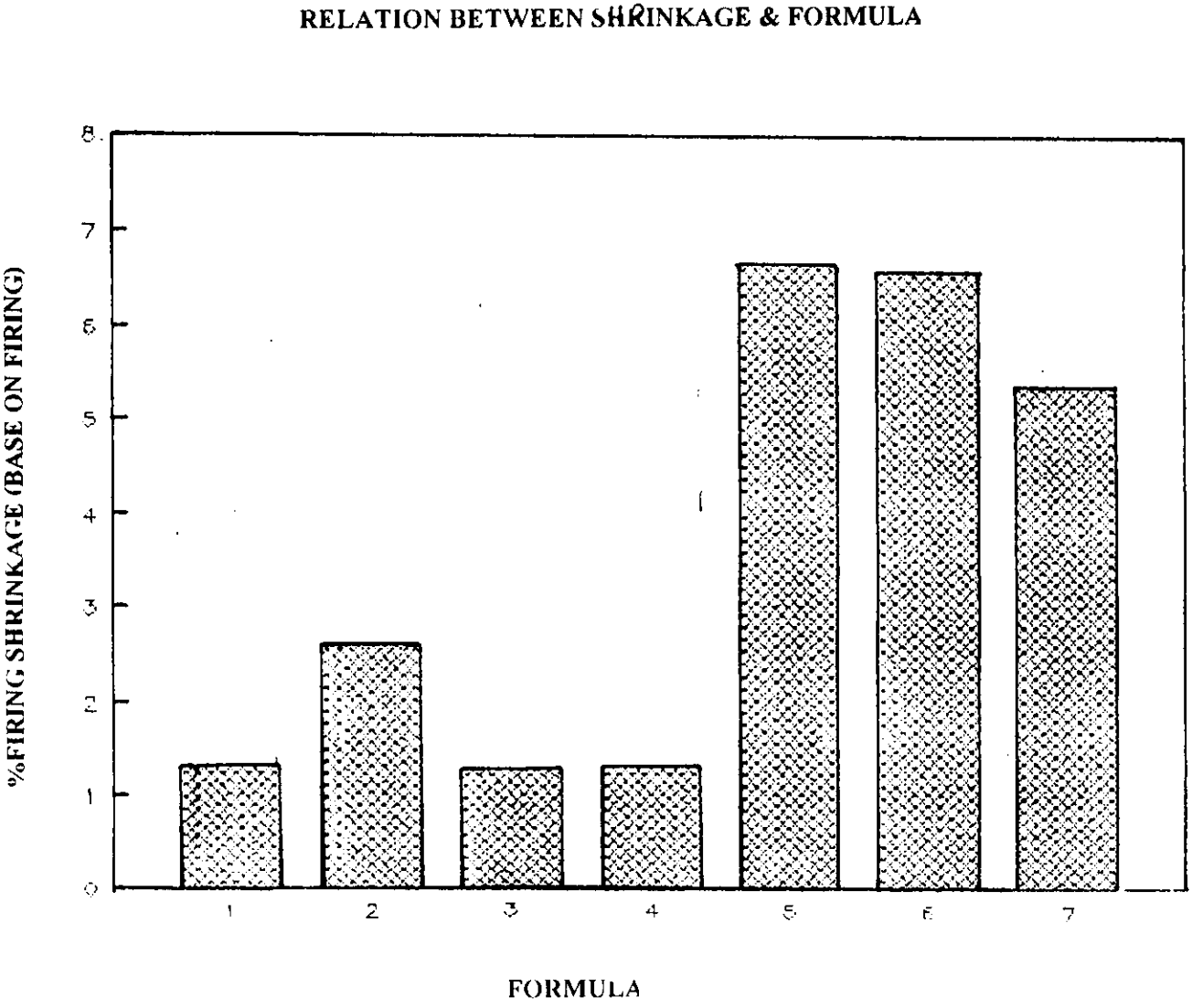
รูปที่ 3.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % shrinkage กับเนื้อผลิตภัณฑ์สูตรต่าง ๆ (base on wet)



รูปที่ 3.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % shrinkage กับ เนื้อผลิตภัณฑ์สูตรต่าง ๆ(base on drying)



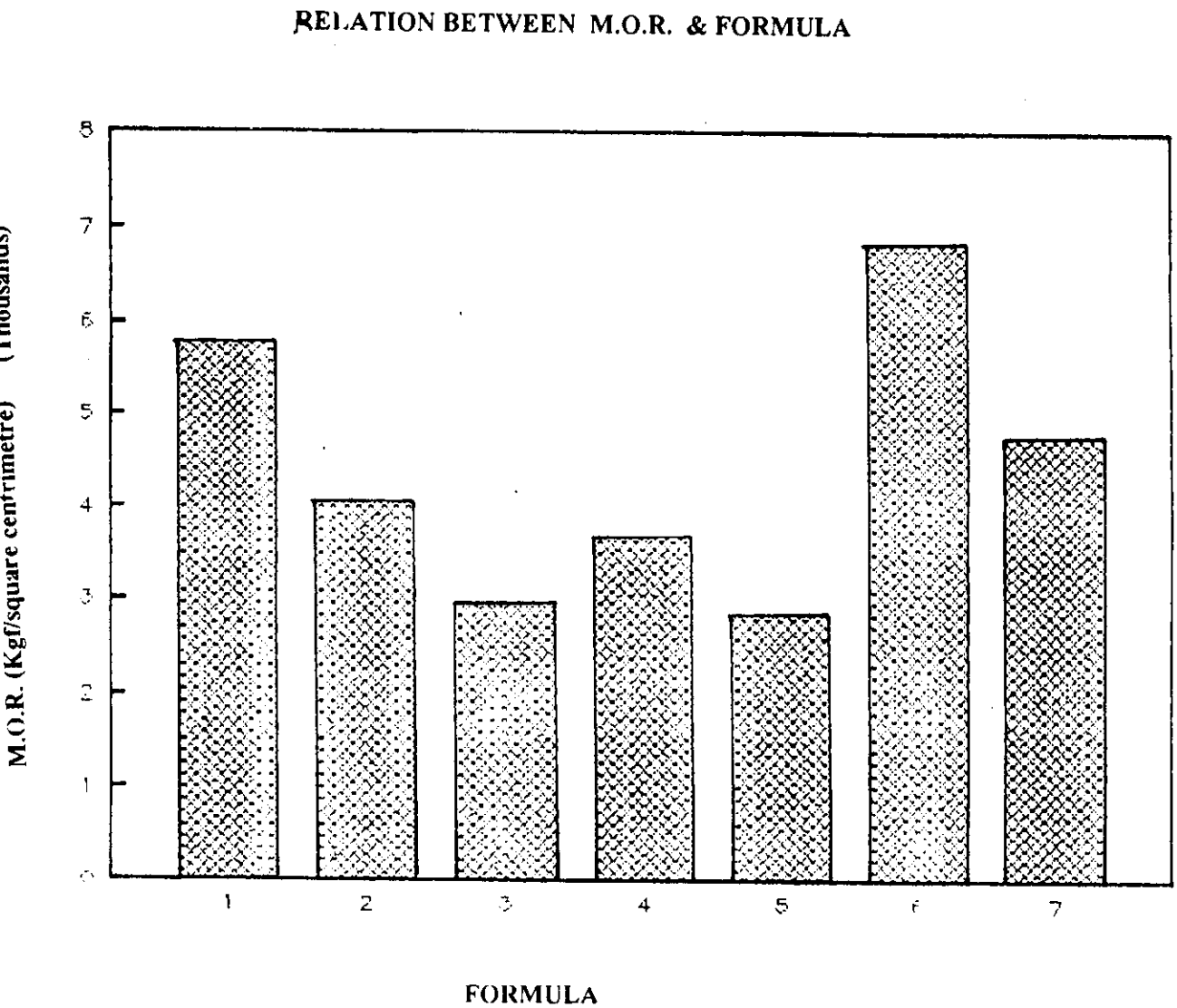
รูปที่ 3.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % shrinkage กับ เนื้อผลิตภัณฑ์สูตรต่าง ๆ(base on drying)



รูปที่ 3.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % shrinkage กับ เนื้อผลิตภัณฑ์สูตรต่าง ๆ (base on firing)

ผลการทดสอบ modulus of rupture ของเนื้อผลิตภัณฑ์สูตร ต่าง ๆ

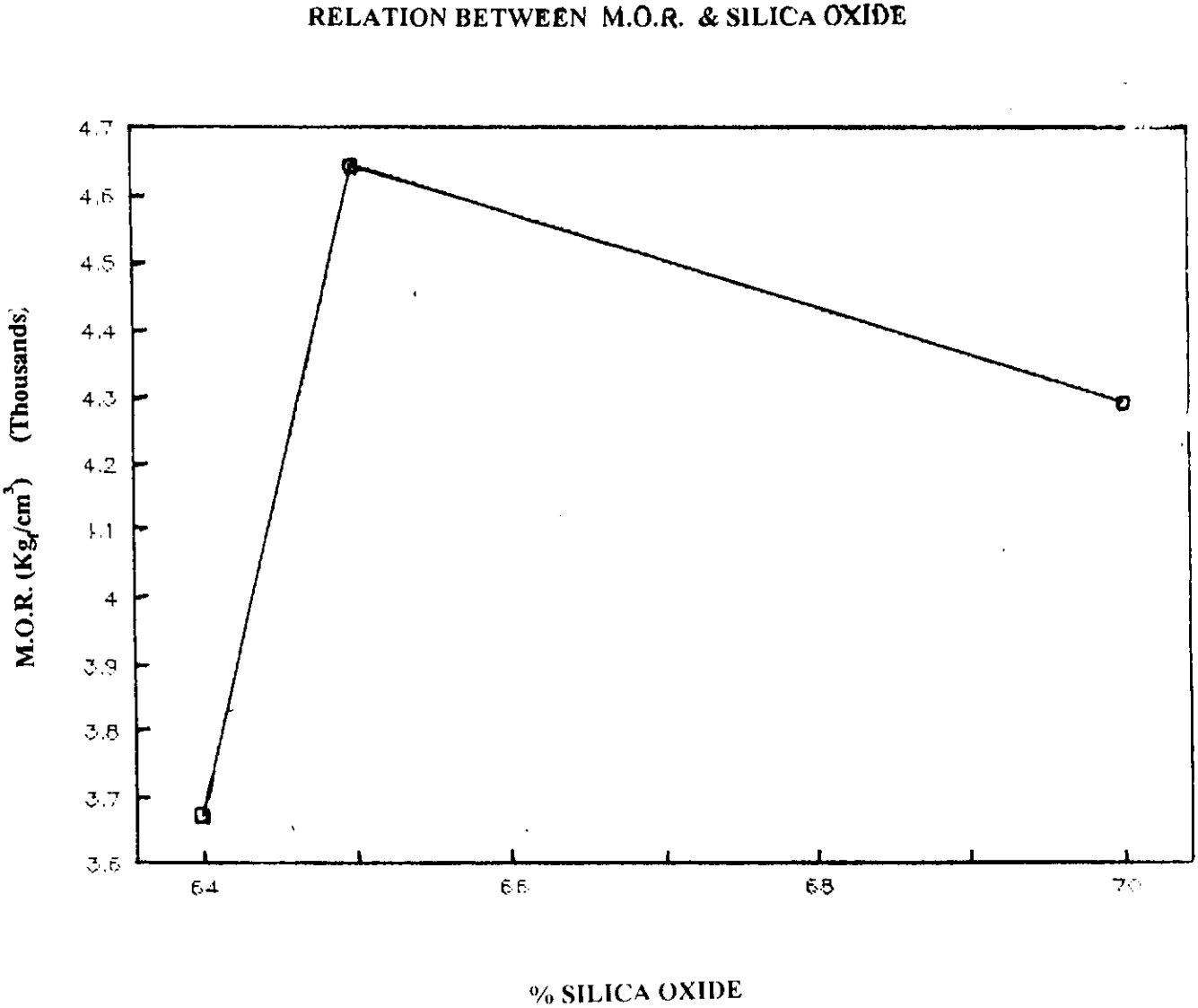
ผลการทดสอบ modulus of rupture ของเนื้อผลิตภัณฑ์สูตร ต่าง ๆแสดงในตารางที่ a.4 ซึ่งสามารถพล็อตกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง m.o.r. กับ formula ต่าง ๆ ได้ดังกราฟรูปที่ 3.18



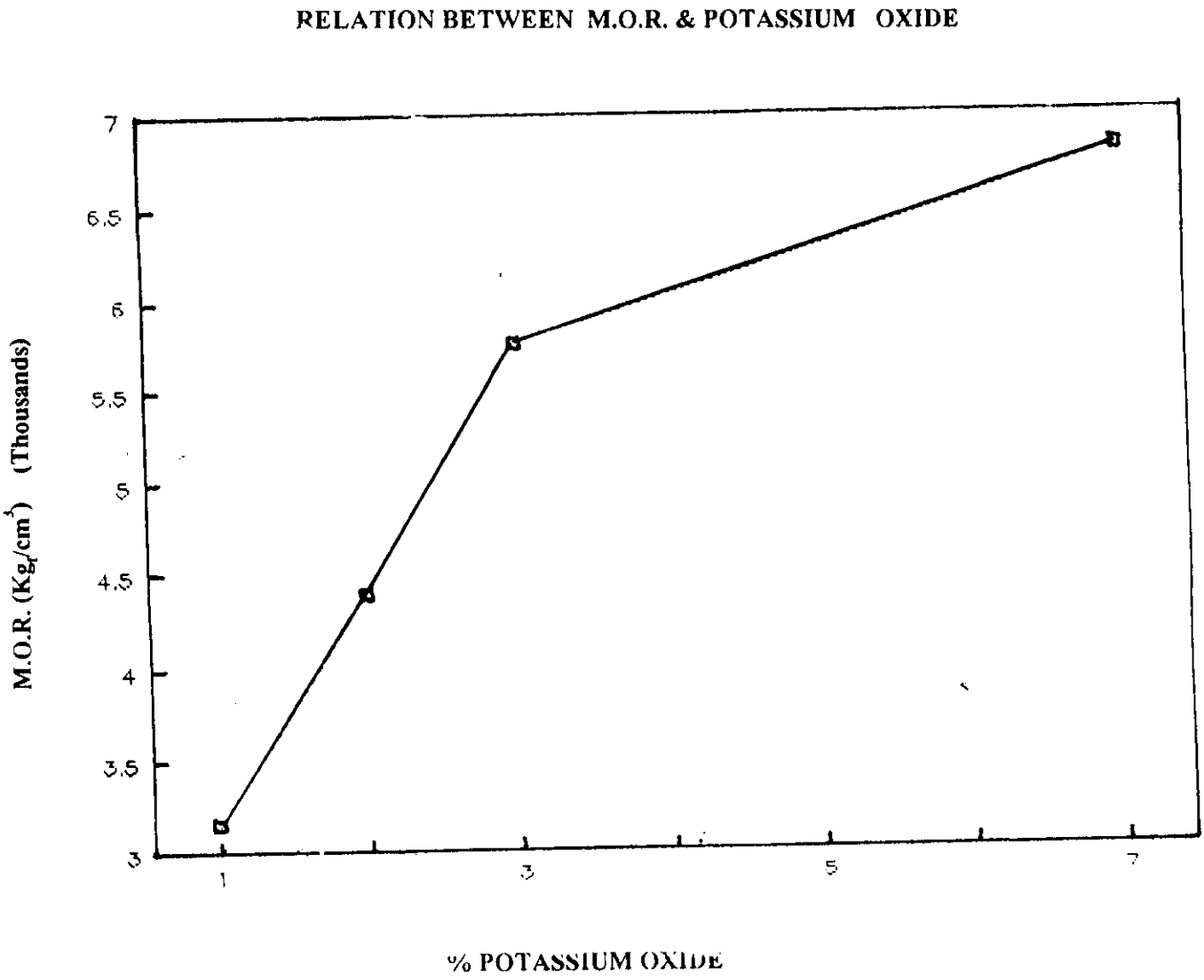
รูปที่ 3.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง m . o. r. กับ formula

M.o.r. เทียบกับ เปอร์เซนต์ของธาตุต่าง ๆ ในส่วนผสมของเนื้อ

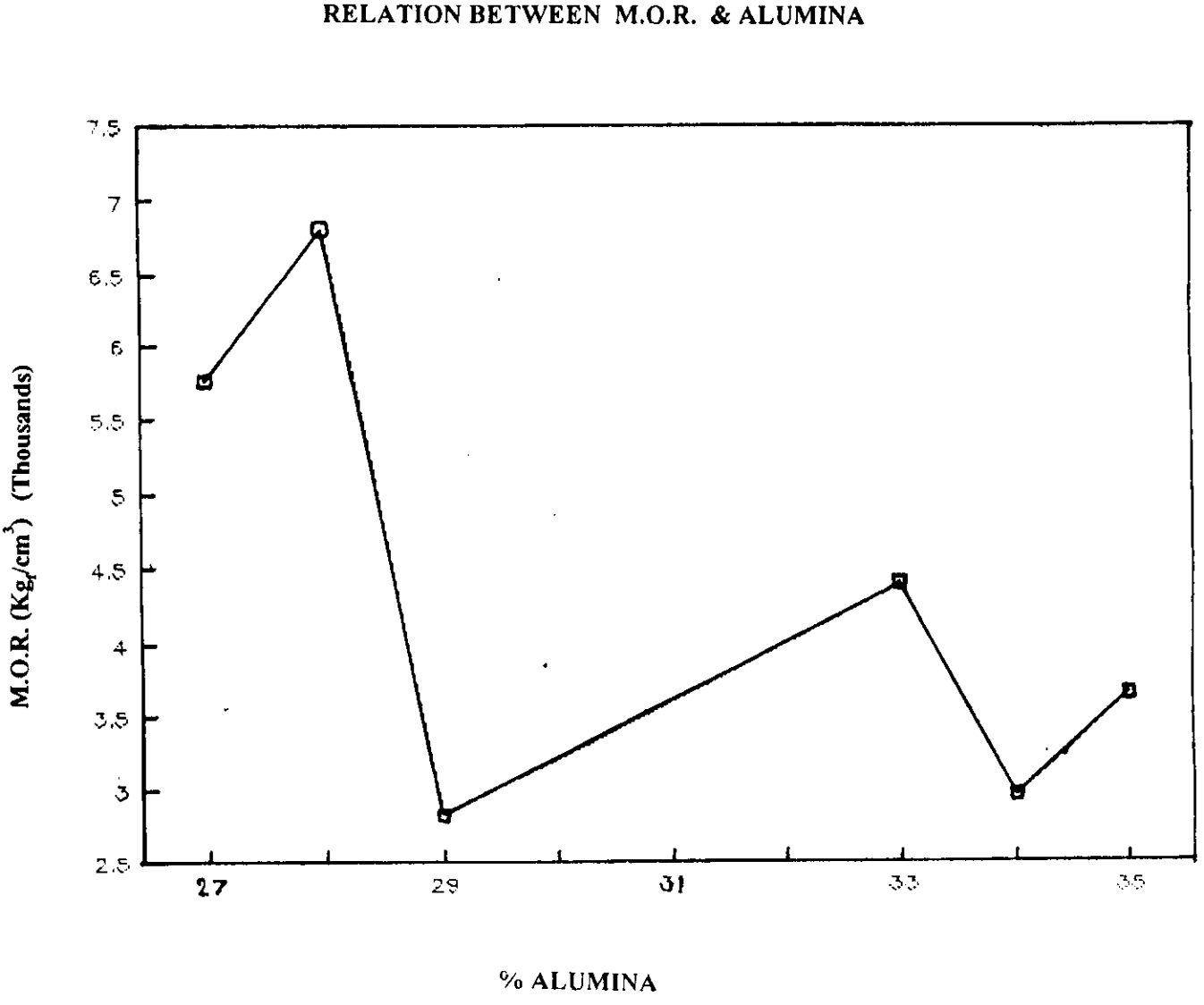
ผลิตภัณฑ์แสดง ในตารางที่ a.5 ซึ่งสามารถพล็อตกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง m.o.r. กับ ส่วนผสม
ง ๆ ในเนื้อผลิตภัณฑ์ได้ดังกราฟรูปที่ 3.19 ,3.20 และ 3.21



รูปที่ 3.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง m.o.r. กับ silica oxide



รูปที่ 3.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง m.o.r. กับ potassium oxide



รูปที่ 3.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง m.o.r. กับ alumina

3.1.6 สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง

1. จากการทดสอบหา % water absorption ไม่ว่าจะเป็นแบบ normal หรือ force absorption พบว่า สูตรที่มี % water absorption ต่ำที่สุดคือ สูตรที่ 7 ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพบของขนาดอนุภาคของวัตถุดิบนั่นคือ ดินขาวซึ่งมีเม็ดหยาบ จะดูดซับได้น้อย และ ดินเหนียวดำดูดซับได้มากกว่าดินขาวเนื่องจากมีเม็ดที่ละเอียดกว่า จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เนื้อผลิตภัณฑ์สูตรที่ 7 มีปริมาณดินเหนียวดำน้อยกว่า สูตรอื่น ๆ ทำให้ % water absorption น้อย จากทฤษฎี กล่าวว่า น้ำที่ถูกขังในช่องว่างของผลิตภัณฑ์จะมากหรือน้อยขึ้นกับขนาดอนุภาคของวัตถุดิบมีขนาดกระจายมากน้อยเพียงใด และขึ้นกับการอัดตัวของวัตถุดิบอีกด้วย กล่าวคือ วัตถุดิบที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ โอกาสที่จะมีช่องว่างในเนื้อผลิตภัณฑ์ก็มีมาก และช่องว่างขนาดใหญ่ น้ำจะมีโอกาสถูกขังได้มากตามไปด้วย นั่นคือ % water absorption สูง

ประโยชน์ของ % water absorption : ในทางอุตสาหกรรมเซรามิกส์ คือ การผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์บางชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์กระเบื้องกรุ ฝาพนังหรือกระเบื้องปูพื้น ซึ่งมีความต้องการ % water absorption ต่างกัน โดยที่กระเบื้องเคลือบกรุฝาพนังจะต้องมี % water absorption ระหว่าง 8 - 18 % ส่วนกระเบื้องปูพื้นจะต้องไม่มีการดูดซึมน้ำ หรือมีแต่น้อยมาก (0 - 5%)

2. จากการทดสอบหาการสูญเสียน้ำหนักโดยปล่อยให้ชิ้นทดสอบแห้งเองโดยธรรมชาติ หรือ % loss on drying พบว่าเนื้อผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 มี % loss on drying ต่ำที่สุด และเมื่อทดสอบหาการสูญเสียน้ำหนักหลังเผา พบว่าสูตรที่ 7 จะมี % loss on drying ต่ำที่สุด ดังแสดงในตาราง a.2

- % loss on drying : การปล่อยให้ชิ้นทดสอบแห้งเองโดยธรรมชาติ พบว่า % loss on drying ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค ของวัตถุดิบเช่นเดียวกับการศึกษาเรื่อง water absorption และการหดตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเนื้อผลิตภัณฑ์มีวัตถุดิบ บางส่วนไม่มีความเหนียวและเม็ดหยาบ ซึ่งจะมีส่วนช่วยทำให้ดูดซับปริมาณน้ำน้อยลง และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความพรุนตัวต่ำ เมื่อแห้ง การมีขนาดอนุภาคต่างกัน ของวัตถุดิบมีผลทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์อัดตัวดี ซึ่งการหายไปของน้ำหนักเนื้อผลิตภัณฑ์เกิดจากการระเหยของน้ำที่อยู่ในช่องว่าง หรือรูพรุนในเนื้อผลิตภัณฑ์ โดยที่น้ำที่ผิวของเนื้อผลิตภัณฑ์ระเหยไป น้ำในรูพรุนจะเคลื่อนเข้ามาแทนที่ ซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยอาศัยแรงสองแรงมากระทำคือ แรงไฮโดรสติค ดันน้ำในรูพรุนให้ออกมาที่ผิดจนเกิดการสมดุล และอาศัยแรงที่เกิดจากความต่างศักย์ของความชื้น ซึ่งจะขับน้ำบริเวณที่ชื้นมากกว่าภายในเนื้อดิน ออกมายังผิว ซึ่งแห้งกว่า

- % loss on ignition : เป็นการศึกษาน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ลดลงหลังเผา โดยปกติน้ำที่เหลืออยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งโดยธรรมชาติจะมีน้อยมาก ดังนั้นการลดลงของน้ำหนักของเนื้อผลิตภัณฑ์หลังเผาส่วนใหญ่แล้ว กล่าวได้ว่าเกิดจากการสลายตัวของสารเจือปน หรือ สารระเหยได้ ที่มีปะปนอยู่ในวัตถุดิบ ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางเคมีดังผลการทดลองในตารางที่ 3.1 จะพบว่า ดินเหนียวดำจะมี %loss on ingition มากกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ แสดงว่าดินเหนียวดำเป็นวัตถุดิบที่จะต้องมี volatile matter หรือจำพวกสารอินทรีย์ในปริมาณที่มากกว่าวัตถุดิบชนิดอื่นและเป็นสาเหตุที่จะก่อให้เกิด การลดลงของน้ำหนัก

หลังเผาในเนื้อผลิตภัณฑ์ได้ จากผลการทดสอบการสูญเสียน้ำหนักหลังเผา ดังแสดงในตาราง a.2 ปรากฏว่าเนื้อผลิตภัณฑ์สูตรที่ 7 มี %loss on ingition ต่ำที่สุดเนื่องจากเนื้อผลิตภัณฑ์สูตรนี้มีปริมาณของดินเหนียวดำน้อยกว่าสูตรอื่น ๆ

3. จากการทดสอบหาเปอร์เซนต์ การหดตัวหลังการอบแห้งโดยธรรมชาติ และหลังเผาพบว่า % drying shrinkage ของเนื้อผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 , 2, 6 และ 7 มีค่าเท่ากัน ซึ่งเนื้อผลิตภัณฑ์จะมีการหดตัวน้อย เพราะเนื้อผลิตภัณฑ์มีวัตถุดิบบางส่วนไม่มีความเหนียว และเม็ดหยาบซึ่งจะมีส่วนช่วยทำให้ ดูดซับปริมาณน้ำน้อยลง และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความพรุนตัวต่ำเมื่อแห้ง การที่มีขนาดต่างกันของอนุภาคของวัตถุดิบมีผลทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์อัดตัวกันดีขึ้น แต่ % firing shrinkage ของเนื้อผลิตภัณฑ์แต่ละสูตรมีค่าแตกต่างกันเห็นได้ชัดเจน จากการทดลองพบว่าเนื้อผลิตภัณฑ์สูตรที่ 2 มีค่า % firing shrinkage ต่ำที่สุดทั้งนี้เนื่องจากความร้อนทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอจนหมด มีผลทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีการหดตัวมากขึ้น นอกจากนี้ผลของขนาดของวัตถุดิบยังมีผลต่อการหดตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์ด้วย คือ เนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีดินเหนียวดำมากซึ่งจัดเป็นวัตถุดิบที่มีความละเอียดมากที่สุด จะทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีการหดตัวน้อยมาก ซึ่งในโครงงานนี้พบว่า เนื้อผลิตภัณฑ์สูตรที่ 2 มีปริมาณดินเหนียวดำ 50.34% ของวัตถุดิบทั้งหมด ทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีการหดตัวน้อย แต่จากตาราง 3.2 จะเห็นได้ว่าเนื้อผลิตภัณฑ์สูตรที่ 3 มีปริมาณดินเหนียวดำมากกว่าสูตรที่ 2 แต่มีการหดตัวมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจาก สูตรที่ 2 มีวัตถุดิบที่จะช่วยทำให้การหดตัวทั้งก่อนและหลังเผาน้อยลง คือ flint ในปริมาณที่มากกว่าสูตรที่ 3 สำหรับสูตรอื่น ๆ มีการหดตัวใกล้เคียงกับสูตรที่ 2 ทั้ง ๆ ที่มีปริมาณดินเหนียวดำน้อย เป็นผลมาจาก flint นั่นเอง

การทราบถึงการหดตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์มีประโยชน์ในการกำหนดขนาดของเนื้อผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการ ตัวอย่าง คือ เนื้อผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 ซึ่งมี % firing shrinkage (base on firing) 6.67 % ถ้าสมมุติว่าต้องการนำสูตรนี้ไปผลิตกระเบื้องบางชนิดที่มีขนาด 10 * 10 ซม

<u>การคำนวณ</u>

ต้องการผลิตภัณฑ์ ยาว10 ซม. ต้องทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาว 106.67 *10/100 =10.667ซม.

นั่นคือ ในการผลิตกระเบื้องต้องขึ้นรูปให้มีขนาด 10.67* 10.67 cm. หลังเผาผลิตภัณฑ์จึงจะได้ผลิตภัณฑ์กระเบื้องที่มีขนาด 10*10 cm. ตามต้องการ

4. เมื่อทำการเผาผลิตภัณฑ์สูตรต่าง ๆ ที่ขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบแล้วที่ 1210° C จากนั้นนำมาทดสอบหาความต้านทานตามแนวขวาง พบว่าเนื้อผลิตภัณฑ์สูตรที่ 7 มีความต้านทานแรงตามแนวขวางมากที่สุด ซึ่งประกอบด้วย potash feldspar 57.90 % ซึ่ง potash feldspar จะทำหน้าที่เป็นตัวประสาน (flux) ทำให้เนื้อดินมีความแข็งแรงมากขึ้น นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงตามแนวขวางโดยแยกตามองค์ประกอบหลักในเนื้อผลิตภัณฑ์จะได้ว่า K_2O และ Al_2O_3 จะมีผลต่อความแข็งแรงของเนื้อผลิตภัณฑ์มากกว่า SiO_2แต่โดยทั่วไปแล้วความแข็งแรงของเนื้อผลิตภัณฑ์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับ K_2O , Al_2O_3 หรือ SiO_2 ตัวใดตัวหนึ่ง แต่จะต้อง

พิจารณาควบคู่ไปทั้ง 3 ตัว ซึ่งจากการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่ทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์สูตรที่ 7 มีความแข็งแรงมากที่สุด ประกอบด้วย

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบของเนื้อ ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 7

องค์ประกอบ	% โดยน้ำหนัก
K_2O	7
Al_2O_3	28
SiO_2	65

ถ้าหากทำการเปรียบเทียบเนื้อผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 กับ 2 โดยมีปริมาณ K_2O เท่ากัน ในขณะที่ สูตรที่ 2 มี Al_2O_3 มากกว่าสูตรที่ 1 แต่มี SiO_2 น้อยกว่าสูตรที่ 1 จะพบว่าสูตรที่ 2 มีค่าความต้านทานแรงตามแนวขวางสูงกว่าสูตรที่ 1

5. จากการทดลองพอจะสรุปได้ว่า เนื้อผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติเด่นที่สุดคือ สูตรที่ 7 เนื่องจากมี % water absorption ต่ำ และมีค่าความต้านทานแรงตามแนวขวางสูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เซรามิคส์จริง ๆ ในระดับอุตสาหกรรมก็ยังจัดว่าสูตรที่ 7 เป็นสูตรที่ดีที่สุด ไม่ได้ทั้งนี้เนื่องจาก % water absorption ยังคงมีค่าสูงมาก ดังนั้นยังต้องมีการพัฒนาสูตรนี้ให้ดียิ่งขึ้น เพื่อให้เนื้อผลิตภัณฑ์มี % water absorption ลดลง ในขณะเดียวกันก็สามารถเพิ่มค่า ความต้านทานตามแนวขวางให้มีค่าสูงขึ้นได้ด้วย ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับอัตราส่วน ของวัตถุดิบที่ใช้บางตัวให้มีความเหมาะสมมากขึ้น ซึ่งเป็นแนวทางในการวิจัยในขั้นตอน ต่อไป

3.2 การทดลองหาสูตรเคลือบพอร์ซเลน

การกำหนดสูตรเนื้อดินปั้นพอร์ซเลนสำหรับการเคลือบพอร์ซเลนเพื่อให้ได้เนื้อดินปั้นที่มีความเหมาะสมกับเคลือบพอร์ซเลน ในขั้นตอนนี้จึงใช้วัตถุดิบจากแหล่งเดียวกับที่ใช้ในการเคลือบ ดังนั้นการทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อดินปั้น จึงต้องมีการทำซ้ำ เพื่อเป็นการยืนยันคุณสมบัติที่เหมาะสมของเนื้อดินปั้น โดยสูตรที่ใช้ยังคงเป็นสูตรที่ 5 ของการวิจัยในหัวข้อ 3.1 เป็นหลัก และเพื่อให้มีความสม่ำเสมอของเนื้อผลิตภัณฑ์ การขึ้นรูปจึงใช้วิธีการขึ้นรูปแบบอัดแห้ง โดยมีการศึกษาความเหมาะสมของปริมาณน้ำที่จะต้องใส่เติมในวัตถุดิบก่อนการอัดแห้งด้วย

3.2.1 วัตถุดิบ

จัดเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัยทุกชนิด ชนิดละ 25 กิโลกรัม พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลวัตถุดิบ ได้ผลแสดงดังตาราง3.4

ตาราง 3.4 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย[1]

(ร้อยละโดยน้ำหนัก)

วัตถุดิบ	โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์	โซเดียมเฟลด์สปาร์	ดินขาว	ดินดำเหนียว	ทรายแก้ว	โดโลไมต์
SiO_2	68.40	70.30	53.00	51.00	98.30	0.62
Al_2O_3	17.00	15.30	30.70	27.40	0.30	0.05
Fe_2O	0.10	0.58	0.89	1.71	0.11	0.11
MgO	<0.05	0.46	<0.05	0.20	<0.05	21.10
CaO	0.25	1.24	0.05	0.16	<0.01	30.10
Na_2O	2.37	8.35	<0.05	0.15	<0.05	<0.05
K_2O	11.20	0.37	0.27	2.13	0.02	<0.01
TiO_2	<0.01	0.29	1.89	0.18	0.14	0.01
P_2O_3	0.04	0.04	0.08	0.03	<0.01	<0.01
MnO	<0.01	0.02	<0.01	0.02	<0.01	<0.01
Cr_2O	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
L.O.I	0.78	1.92	12.50	15.50	0.69	47.10
รวม	99.80	98.90	99.40	98.60	99.60	99.10

[1] วิเคราะห์ผลโดย บริษัทวิเคราะห์และบริการสำรวจแร่ (Mineral Assay Services) 10/138 ซอยชมรม 7 หมู่บ้านเมืองทอง 1 ถนนแจ้งวัฒนะ ตำบลทุ่งสองห้อง เขตบางเขน กรุงเทพ 10210 (โทรสาร 02 5739100)

1. เนื้อดินปั้น

1.1 หาปริมาณของน้ำที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแบบอัดแห้ง (dry pressing)

- เตรียมวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นตามอัตราส่วนดังตาราง 3.5 ให้มีน้ำหนักรวม 3 กิโลกรัม

ตาราง 3.5 อัตราส่วนของเนื้อดินปั้นที่ใช้ในการวิจัย

วัตถุดิบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์	14.53
ดินขาว	46.68
ดินดำเหนียว	27.80
ทรายแก้ว	10.99

- ใส่วัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในหม้อบดและเติมน้ำลงไปร้อยละ 40
- บดวัตถุดิบจนเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง
- อบเนื้อดินปั้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท
- นำเนื้อดินปั้นที่แห้งดีแล้วมาบดด้วยหม้อบดจนเป็นผงละเอียดให้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 195 ไมครอน
- แบ่งเนื้อดินปั้นที่บดละเอียดแล้วออกเป็น 6 ชุด เติมน้ำดังนี้

ชุดที่ 1 ไม่เติมน้ำ ชุดที่ 4 เติมน้ำร้อยละ 3
ชุดที่ 2 เติมน้ำร้อยละ 1 ชุดที่ 5 เติมน้ำร้อยละ 4
ชุดที่ 3 เติมน้ำร้อยละ 2 ชุดที่ 6 เติมน้ำร้อยละ 5

- นำเนื้อดินปั้นแต่ละชุดบดด้วยหม้อบดโดยแยกกันบดจนละเอียดมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 195 ไมครอน (ตะแกรงเบอร์ 100 เมช)
- นำเนื้อดินปั้นแต่ละชุดมาขึ้นรูปโดยวิธีอัดแห้งด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิกโดยใช้ความดัน 1,250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ให้มีน้ำหนักชิ้นละ 28 กรัม โดยประมาณ ชุดละ 10 ชิ้น (วิธีการขึ้นรูป ดูภาคผนวก ก)
- เผาชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 2 องศาเซลเซียสต่อนาที
- วิเคราะห์ผล
- คัดเลือกชิ้นงานที่ไม่มีการแตกร้าว บิดเบี้ยว และไม่โค้งงอ เผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก ข)
- วิเคราะห์ผล

ทำซ้ำชุดที่มีชิ้นงานเสียน้อยที่สุด

1.2 หาค่า การหดตัว การสูญเสียน้ำหนัก การดูดซึมน้ำ และความต้านทานแรงตามขวางของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา

1. เตรียมเนื้อดินปั้นสำหรับการทดสอบ

- ชั่งส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในอัตราส่วนดังตารางที่ 3.5 ให้มีปริมาณรวม 2 กิโลกรัม
- ใส่วัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในหม้อบดและเติมน้ำลงไปร้อยละ 40
- บดวัตถุดิบจนเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง
- อบเนื้อดินปั้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท
- นำเนื้อดินปั้นมาเติมน้ำลงไปร้อยละ 3 บดด้วยหม้อบดจนละเอียดมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 195ไมครอน
- ขึ้นรูปเนื้อดินปั้นด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ที่ความดัน 1,250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยใช้น้ำหนักชิ้นละ 28 กรัมโดยประมาณ จำนวน60 ชิ้น
- อบชิ้นงานจำนวน 60 ชิ้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท

- ทำหมายเลข 1 ถึง 60 เก็บไว้เตรียมการทดสอบดังนี้

2. การหดตัวของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา (firing shrinkage)

นำชิ้นงานหมายเลข 1 ถึง 30 มาขีดเส้น ให้มีความยาว 1.750 เซนติเมตร เป็นความยาวก่อนการเผา (L_1) เผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส เมื่อชิ้นงานเย็นตัวลงแล้ววัดความยาวของเส้นที่ขีดภายหลังการเผา (L_2) คำนวณหาร้อยละของการหดตัวของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา คือ :

$$\text{ร้อยละของการหดตัวของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา} = \frac{L_1 - L_2}{L_1} x100$$

3. การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา (loss on ignition)

ชั่งน้ำหนักชิ้นงาน หมายเลข 31 ถึง 60 ก่อนการเผา (W_1) นำชิ้นงานไปเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส เมื่อชิ้นงานเย็นตัวลงแล้วชั่งน้ำหนักภายหลังการเผาแต่ละชิ้น(W_2)คำนวณหาร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา คือ

$$\text{ร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} x100$$

4. การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา (water absorption)

ชั่งน้ำหนักชิ้นงานหมายเลข 1 ถึง 30 ที่ผ่านการทดสอบหาการหดตัวภายหลังการเผามาแล้ว แต่ละชิ้น (W_1) แช่ชิ้นงานในน้ำกลั่นให้ท่วมชิ้นงานเป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำชิ้นงานขึ้นจากน้ำ เช็ดน้ำที่เกาะผิวชิ้นงานด้วยผ้าให้แห้ง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักอย่างรวดเร็ว ได้น้ำหนักเปียก (W_2) คำนวนหาร้อยละของการดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผาคือ

$$\text{ร้อยละของการดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} x100$$

5. การทดสอบความต้านทานแรงตามขวาง (strength or modulus of rupture)

นำชิ้นหมายเลข 31 ถึง 60 ที่ผ่านการทดสอบหาของการสูญเสียน้ำหนักภายหลังการเผามาแล้วมาทดสอบความต้านทานแรงตามขวาง โดยวัดขนาดของชิ้นงานทุกชิ้นก่อน แล้ววางชิ้นงานทดสอบบนที่รองรับของ bending strength tester ระยะห่าง 2/3 ของความกว้างของชิ้นงาน ให้น้ำหนักกดลงบนแท่งชิ้นงานทดสอบที่จุดกึ่งกลางของความยาวช่วงที่รองรับ โดยน้ำหนักกดเริ่มจากศูนย์ และค่อยๆเพิ่มขึ้นในอัตราที่เท่ากันอย่างสม่ำเสมอจนชิ้นงานแตกหัก บันทึกน้ำหนักที่ทำให้ชิ้นงานแตกหัก ทำซ้ำจนครบ 30 ชิ้นคำนวณค่าความต้านทานแรงตามขวาง ของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา จากสูตร

$$F = 3(PL)/2bt^2$$

F คือความต้านทานแรงตามขวาง,ปาสคาล (นิวตันต่อตารางเมตร)

P คือแรงที่กระทำจนชิ้นงานแตกหัก,นิวตัน

L คือระยะห่างของขารับน้ำหนักกด,เมตร

b คือความกว้างของชิ้นงานทดสอบ,เมตร

t คือความหนาของชิ้นงานทดสอบ,เมตร

2. เคลือบ

2.1 การเตรียมเนื้อดินปั้นสำหรับการทดสอบสูตรเคลือบ

- ชั่งส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในอัตราส่วนดังตารางที่ 2 ให้มีปริมาณรวม 20 กิโลกรัม

- ใส่วัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นลงในถัง เติมน้ำลงไปร้อยละ 40 กวนให้ทั่ว

- แบ่งเนื้อดินปั้นจำนวน 3 กิโลกรัม ใส่ในหม้อบด บดจนเนื้อดินปั้นเข้าเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง บดจนเนื้อดินปั้นที่เตรียมไว้ในถังหมดนำเนื้อดินปั้นที่บดแล้วทั้งหมดมากวนผสมกันในถัง

- อบเนื้อดินปั้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท

- นำเนื้อดินปั้นมาเติมน้ำลงไปร้อยละ 3 แล้วบดด้วยหม้อบดจนละเอียดมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 195 ไมครอน

- ขึ้นรูปเนื้อดินปั้นด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ที่ความดัน 1,250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยใช้น้ำหนักชิ้นละ 28 กรัมโดยประมาณ จำนวน 600 ชิ้น (วิธีการขึ้นรูปดูภาคผนวก ก)

- เผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 2 องศาเซลเซียสต่อนาที คงไฟไว้ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง

- คัดเลือกชิ้นงานที่ไม่มีการแตกร้าว บิดเบี้ยว หรือไม่โค้งงอ เก็บรักษาไว้ในที่แห้งและสะอาด

2.2 การหาสูตรเคลือบที่เหมาะสม

- การเตรียมวัตถุดิบ :

นำวัตถุดิบที่ใช้ในการเคลือบ คือ เฟลด์สปาร์ ดินขาว ดินดำเหนียว ทรายแก้ว บดแยกชนิดกันด้วยหม้อบด ให้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 195 ไมครอน

- เลือกสูตรเคลือบจากตารางสามเหลี่ยมด้านเท่าของ โซเดียมเฟลด์สปาร์ ดินผสม[1]และทรายแก้ว (วิธีการเลือก สูตรเคลือบ ดูภาคผนวก ก) 18 สูตร ดังตาราง 3.6

ตาราง 3.6 สูตรเคลือบที่ประกอบด้วย โซเดียมเฟลด์สปาร์ ดินผสม และทรายแก้ว

สูตรที่	โซเดียมเฟลด์-สปาร์ (กรัม)	ดินผสม (กรัม)	ทรายแก้ว (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)
1	6.4	1.6	2.0	10
2	6.4	2.0	1.6	10
3	6.4	2.6	1.0	10
4	6.6	1.4	2.0	10
5	6.6	2.0	1.4	10
6	6.6	2.4	1.0	10
7	6.8	1.2	2.0	10
8	6.8	2.0	1.2	10
9	6.8	2.2	1.0	10
10	7.0	1.0	2.0	10
11	7.0	1.5	1.5	10
12	7.0	1.8	1.2	10
13	7.0	2.0	1.0	10
14	7.0	2.3	0.7	10
15	7.0	2.5	0.5	10
16	7.2	1.0	1.8	10
17	7.2	1.8	1.0	10
18	7.2	2.0	0.8	10

[1]หมายถึงดินขาวร้อยละ70ดินดำเหนียวร้อยละ 30

- ชั่งวัตถุดิบที่ใช้ในแต่ละสูตร มีน้ำหนักรวม 10 กรัม

- นำวัตถุดิบแต่ละสูตรมาบดด้วยโกร่งพอร์ซเลน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว เติมน้ำลงไปเล็กน้อย บดจนวัตถุดิบเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำลงไป 10 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากัน

- นำน้ำเคลือบมาเคลือบชิ้นงาน สูตรละ 3 ชิ้น โดยมีขั้นตอน ดังนี้

: ทำความสะอาดผิวของชิ้นงาน โดยเช็ดด้วยผ้าแห้งและสะอาด

: ใช้พู่กันจุ่มลงในน้ำเคลือบ ทาชิ้นงาน ให้มีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร

: ตากชิ้นงานให้แห้ง โดยทิ้งไว้ในที่ร่มประมาณ 12 ชั่วโมง

- เผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

ปล่อยให้อุณหภูมิลดลงตามธรรมชาติจนถึงอุณหภูมิห้อง นำชิ้นงานออกจากเตาเผา ตรวจสอบผลเคลือบที่ได้

3 การปรับปรุงสูตรเคลือบ

3.1 การปรับปรุงเคลือบโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต

- ชั่งส่วนผสมของเคลือบสูตรที่ 13 (ให้ผลการทดลองจากขั้นตอนที่ 2.2 ดีที่สุด) ซึ่งประกอบด้วย

โซเดียมเฟลด์สปาร์	77.0	กรัม
ดินขาว	15.4	กรัม
ดินดำเหนียว	6.6	กรัม
ทรายแก้ว	11.0	กรัม
น้ำหนักรวม	110.0	กรัม

- แบ่งส่วนผสมของเคลือบเป็น 11 ส่วน เท่าๆกัน ส่วนละ 10 กรัม
- เติมแคลเซียมคาร์บอเนต ลงในส่วนผสมของเคลือบแต่ละส่วน ดังตาราง 3.7

ตาราง 3.7 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมลงในแต่ละส่วน

ส่วนที่	สูตรที่	แคลเซียมคาร์บอเนต (กรัม)
1	19	0.2
2	20	0.4
3	21	0.6
4	22	0.8
5	23	1.0
6	24	1.5
7	25	2.0
8	26	3.0
9	27	5.4

- บดเคลือบแต่ละสูตรด้วยโกร่งพอร์ซเลน เติมน้ำลงไปเล็กน้อย บดจนส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำให้มีปริมาณของแข็งร้อยละ 50
- เคลือบชิ้นงานโดยใช้พู่กันจุ่มลงในน้ำเคลือบ แล้วทาบนชิ้นงาน (ดูรายละเอียดการเคลือบภาคผนวก) สูตรละ 3 ชิ้น
- ตากแห้งชิ้นงานไว้ในที่ร่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

- เผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

วิเคราะห์ผล

3.2 การปรับปรุงเคลือบ โดยการใช้ซิงค์ออกไซด์และโดโลไมต์

- ชั่งส่วนผสมของเคลือบสูตรที่ 13 ซึ่งประกอบด้วย

โซเดียมเฟลด์สปาร์	210.0	กรัม
ดินขาว	42.0	กรัม
ดินดำเหนียว	18.0	กรัม
ทรายแก้ว	30.0	กรัม
น้ำหนักรวม	300.0	กรัม

- แบ่งส่วนผสมของเคลือบออกเป็น 30 ส่วน เท่าๆกัน ส่วนละ 10 กรัม แยกออกเป็น 3 ชุด ดังนี

- ชุดที่ 1 ประกอบด้วย 9 ส่วน เติมโดโลไมต์และซิงค์ออกไซด์ ตามตาราง 3.8

- วิเคราะห์ผล

ตาราง 3.8 ปริมาณซิงค์ออกไซด์และโดโลไมต์ที่เติมลงในแต่ละส่วน ชุดที่ 1

ส่วนที่	สูตรที่	ซิงค์ออกไซด์ (กรัม)	โดโลไมต์ (กรัม)
1	28	0.5	0.5
2	29	0.5	0.7
3	30	0.5	1.0
4	31	0.7	0.5
5	32	0.7	0.7
6	33	0.7	1.0
7	34	1.0	0.5
8	35	1.0	0.7
9	36	1.0	1.0

- ชุดที่ 2 ประกอบด้วย 12 ส่วน เติมโดโลไมต์และซิงค์ออกไซด์ ตามตาราง 3.9

- วิเคราะห์ผล

- ชุดที่ 3 ประกอบด้วย 9 ส่วน เติมโดโลไมต์และซิงค์ออกไซด์ ตามตาราง 3.10

- วิเคราะห์ผล

ตาราง 3.9 ปริมาณซิงค์ออกไซด์และโดโลไมต์ที่เติมลงในแต่ละส่วน ชุดที่ 2

ส่วนที่	สูตรที่	ซิงค์ออกไซด์ (กรัม)	โดโลไมต์ (กรัม)
1	37	1.0	0.1
2	38	1.0	0.2
3	39	1.0	0.3
4	40	1.0	0.4
5	41	1.2	0.1
6	42	1.2	0.2
7	43	1.2	0.3
8	44	1.2	0.4
9	45	1.4	0.1
10	46	1.4	0.2
11	47	1.4	0.3
12	48	1.4	0.4

ตาราง 3.10 ปริมาณซิงค์ออกไซด์และโดโลไมต์ที่เติมลงในแต่ละส่วน ชุดที่ 3

ส่วนที่	สูตรที่	ซิงค์ออกไซด์ (กรัม)	โดโลไมต์ (กรัม)
1	49	1.5	0.2
2	50	1.6	0.2
3	51	1.7	0.2
4	52	1.8	0.20
5	53	1.9	0.2
6	54	2.0	0.2
7	55	2.1	0.2
8	56	2.2	0.2
9	57	2.3	0.2

- บดเคลือบแต่ละสูตรด้วยโกร่งพอร์ซเลน เติมน้ำลงไปเล็กน้อย บดจนส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำให้มีปริมาณของแข็งร้อยละ 50

- เคลือบชิ้นงานโดยใช้พู่กันจุ่มลงในน้ำเคลือบ แล้วทาบนชิ้นงาน (ดูรายละเอียดการเคลือบ ภาคผนวก ก) สูตรละ 3 ชิ้น

- ตากแห้งชิ้นงานไว้ในที่ร่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

- เผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก ข)

- วิเคราะห์ผล

- ทำซ้ำสูตรที่ 52-57 โดยเคลือบชิ้นงานสูตรละ 10 ชิ้น

- วิเคราะห์ผล

3.3 การปรับปรุงเคลือบโดยใช้แบเรียมคาร์บอเนต

- ชั่งส่วนผสมของเคลือบสูตรที่ 54 ซึ่งประกอบด้วย

โซเดียมเฟลด์สปาร์	22.94	กรัม
ดินผสม	6.56	กรัม
ทรายแก้ว	3.28	กรัม
ซิงค์ออกไซด์	6.56	กรัม
โดโลไมต์	0.66	กรัม
น้ำหนักรวม	40.0	กรัม

- แบ่งส่วนผสมของเคลือบออกเป็น 4 ส่วน เท่าๆกัน ส่วนละ 10 กรัม

- เติมแบเรียมคาร์บอเนตลงในส่วนผสมของเคลือบแต่ละส่วน

ดังตาราง 3.11

ตาราง 3.11 ปริมาณแบเรียมคาร์บอเนตที่เติมลงในแต่ละส่วน

ส่วนที่	สูตรที่	แบเรียมคาร์บอเนต (กรัม)
1	58	0.3
2	59	0.5
3	60	0.7
4	61	1.0

- บดเคลือบแต่ละสูตรด้วยโกร่งพอร์ซเลน เติมน้ำลงไปเล็กน้อย บดจนส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำให้มีปริมาณของแข็งร้อยละ 50

3.4 การปรับปรุงเคลือบโดยใช้โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์แทนโซเดียมเฟลด์สปาร์บางส่วนในเคลือบสูตรที่ 54

- ชั่งส่วนผสมของเคลือบแต่ละสูตรดังนี้

สูตรที่ 62	โซเดียมเฟลด์สปาร์	6.0 กรัม	**สูตรที่ 63**	โซเดียมเฟลด์สปาร์	5.5 กรัม
	โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์	1.0 กรัม		โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์	1.5 กรัม

ดินขาว	1.4 กรัม	ดินขาว	1.4 กรัม
ดินดำเหนียว	0.6 กรัม	ดินดำเหนียว	0.6 กรัม
ทรายแก้ว	1.0 กรัม	ทรายแก้ว	1.0 กรัม
ซิงค์ออกไซด์	2.0 กรัม	ซิงค์ออกไซด์	2.0 กรัม
โดโลไมต์	0.2 กรัม	โดโลไมต์	0.2 กรัม
น้ำหนักรวม	12.2 กรัม	น้ำหนักรวม	12.2 กรัม

สูตรที่ 64 โซเดียมเฟลด์สปาร์	5.0 กรัม	**สูตรที่ 65** โซเดียมเฟลด์สปาร์	4.5 กรัม
โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์	2.0 กรัม	โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์	2.5 กรัม
ดินขาว	1.4 กรัม	ดินขาว	1.4 กรัม
ดินดำเหนียว	0.6 กรัม	ดินดำเหนียว	0.6 กรัม
ทรายแก้ว	1.0 กรัม	ทรายแก้ว	1.0 กรัม
ซิงค์ออกไซด์	2.0 กรัม	ซิงค์ออกไซด์	2.0 กรัม
โดโลไมต์	0.2 กรัม	โดโลไมต์	0.2 กรัม
น้ำหนักรวม	12.2 กรัม	น้ำหนักรวม	12.2 กรัม

สูตรที่ 66 โซเดียมเฟลด์สปาร์	4.0 กรัม
โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์	3.0 กรัม
ดินขาว	1.4 กรัม
ดินดำเหนียว	0.6 กรัม
ทรายแก้ว	1.0 กรัม
ซิงค์ออกไซด์	2.0 กรัม
โดโลไมต์	0.2 กรัม
น้ำหนักรวม	12.2 กรัม

- เคลือบชิ้นงานโดยใช้ภู่กันจุ่มลงในน้ำเคลือบ แล้วทาบนชิ้นงาน (ดูรายละเอียดการเคลือบในภาคผนวก) สูตรละ 5 ชิ้น
- ตากแห้งชิ้นงานไว้ในที่ร่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- เผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส
- วิเคราะห์ผล
- บดเคลือบแต่ละสูตรด้วยโกร่งพอร์ซเลน เติมน้ำลงไปเล็กน้อย บดจนส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำให้มีปริมาณของแข็งร้อยละ 50

- เคลือบชิ้นงานโดยใช้พู่กันจุ่มลงในน้ำเคลือบ แล้วทาบนชิ้นงาน (ดูรายละเอียดการเคลือบใน ภาคผนวก) สูตรละ 5 ชิ้น
- ตากแห้งชิ้นงานไว้ในที่ร่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- เผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส
- วิเคราะห์ผล

3.5 การปรับปรุงเคลือบโดยการลดขนาดอนุภาคของวัตถุดิบ

- ชั่งส่วนผสมของเคลือบสูตรที่ 54 ซึ่งประกอบด้วย

สูตรที่ 54	โซเดียมเฟลด์สปาร์	70 กรัม
	ดินขาว	14 กรัม
	ดินดำเหนียว	06 กรัม
	ทรายแก้ว	10 กรัม
	ซิงค์ออกไซด์	20 กรัม
	โดโลไมต์	02 กรัม
	น้ำหนักรวม	122 กรัม

- แยกบดวัตถุดิบในหม้อบด เติมน้ำลงไปร้อยละ 50 บดจนวัตถุดิบมีขนาดอนุภาคประมาณ 74 ไมครอน (ใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง)
- นำน้ำเคลือบแต่ละสูตรใส่ลงในกระป๋องฉีดพ่น พ่นชิ้นงาน 10 ชิ้น
- ตากแห้งชิ้นงานไว้ในที่ร่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- เผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส
- วิเคราะห์ผล

3.6 การปรับปรุงเคลือบโดยการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาเคลือบ

- ชั่งส่วนผสมของเคลือบสูตรที่ 54 ซึ่งประกอบด้วย

สูตรที่ 54	โซเดียมเฟลด์สปาร์	70 กรัม
	ดินขาว	14 กรัม
	ดินดำเหนียว	06 กรัม
	ทรายแก้ว	10 กรัม
	ซิงค์ออกไซด์	20 กรัม
	โดโลไมต์	02 กรัม
	น้ำหนักรวม	122 กรัม

- แยกบดวัตถุดิบแต่ละสูตรในหม้อบด เติมน้ำลงไปร้อยละ 50 บดจนวัตถุดิบมีขนาดอนุภาคประมาณ 74 ไมครอน (ใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง)
- นำน้ำเคลือบแต่ละสูตรใส่ลงในกระป๋องฉีดพ่น พ่นชิ้นงาน 40 ชิ้น
- ตากแห้งชิ้นงานไว้ในที่ร่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- แยกชิ้นงานออกเป็น 4 ชุด
- เผาชิ้นงานดังนี้

ชุดที่ 1 เผาที่อุณหภูมิ 1,270 องศาเซลเซียส

ชุดที่ 2 เผาที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส

ชุดที่ 3 เผาที่อุณหภูมิ 1,310 องศาเซลเซียส

ชุดที่ 4 เผาที่อุณหภูมิ 1,330 องศาเซลเซียส

- วิเคราะห์ผล

เมื่อได้เคลือบที่ดีมีความมันวาวไม่เกิดการรานตัวและไม่เกิดรูเข็ม นำเคลือบที่ได้มาทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ภาคผนวก ค)

การตรวจสอบผลเคลือบ

1 การรานตัว ใช้น้ำหมึกทาบนผิวเคลือบ วางไว้ให้แห้งพอหมาด ล้างออกให้สะอาดถ้าเคลือบเกิดการรานตัวจะเห็นเป็นรอยเส้นสีหมึกบนผิวเคลือบ

2 การเกิดรูเข็ม ใช้น้ำหมึกทาบนผิวเคลือบ วางไว้ให้แห้งพอหมาด ล้างออกให้สะอาดถ้าเคลือบเกิดรูเข็มก็จะเห็นเป็นจุดๆสีหมึกบนผิวเคลือบ อาจใช้แว่นขยายขนาดกำลัง 10 เท่าส่องดู ในกรณีที่รูเข็มนั้นเล็กมาก

3 การร่อนออกจากเนื้อดินปั้น สังเกตได้ด้วยตาเปล่า

4 เคลือบหดตัวมารวมกันเป็นหย่อมๆ สังเกตได้ด้วยตาเปล่า