รายงานการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์

รหัสโครงการ MT-B-51-CER-19-209-G

การวิจัยและพัฒนาส่วนผสมและเคลือบอุณหภูมิต่ำสำหรับอุตสาหกรรมสโตนแวร์
(เนื้อดินปั้นสำหรับเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน)
Research and Development of Low Temperature Bodies and Glazes for Stoneware Industries
(Body for Dan Kwian Pottery)

คณะผู้วิจัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม ศรีหล่มสัก
นายอ่อนลมี กมลอินทร์
นายจิตติ รินเสนา

หน่วยงานที่สังกัด
สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สนับสนุนทุนวิจัยโดย
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
ประจำปีงบประมาณ 2550

กิตติกรรมประกาศ

แรกสุดขอขอบพระคุณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่กรุณาให้ทุน สนับสนุน งานวิจัยนี้ และขอบพระคุณ ดร.สมนึก ศิริสุนทร และคณะกรรมการพิจารณาผลการดำเนินการของทุนฯ ทุกท่านที่กรุณาให้ข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ นายกเทศมนตรีเทศบาลด่านเกวียน (คุณชรินทร์ เปลี่ยนกระโทก) และคณะเจ้าหน้าที่เทศบาลตำบลด่านเกวียนที่ช่วยหาตัวแทนโรงงานเครื่องปั้นดินด่านเกวียนมาร่วมมือทำวิจัย และให้การสนับสนุน, อำนวยความสะดวก, ติดต่อประสานงานกับทางโรงงาน และเอื้อเฟื้อสถานที่ในการอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่ผู้ประกอบการโรงงานเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน

ขอขอบพระคุณ อาจารย์พิศและคุณจรรยา ป้อมสินทรัพย์ ร้านดินเผา, คุณเทียน ด่านกระโทก, คุณเมียน สิงห์ทะเล, คุณสมาน ปั้งกระโทก และคุณสม กับคุณสิริ เป้ากระโทก ที่ให้ข้อมูล, มอบวัตถุดิบเช่นเนื้อดินปั้นด่านเกวียนและขี้เถ้ารวมด่านเกวียน, ช่วยปั้นขึ้นรูป และเผาชิ้นงานให้ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ นักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยทำวิจัย, เก็บข้อมูล, เขียนและพิมพ์รายงาน ซึ่งได้แก่ นายภัทรชัย สุนทร, นายวุฒิชัย นามสอน, นางสาวโชติรส ประสานแสง และนางสาวทัศนีย์ คงคำ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และผู้ช่วยสอน อาคารเครื่องมือ 6/1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การเอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย

สุดท้ายซึ่งสำคัญที่สุดขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ที่ให้โอกาสและให้การสนับสนุนการวิจัยตลอดมา

คณะผู้วิจัย

31 มีนาคม 2553

บทคัดย่อภาษาไทย

จากสภาพการแข่งขันในอุตสาหกรรมเซรามิกทำให้ผู้ประกอบการพยายามลดอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์ให้เหลือต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่การลดอุณหภูมิการเผาให้ต่ำลงไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่สุกตัวและดูดซึมน้ำได้มาก ปกติแล้วหากต้องการทำผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาให้มีผิวเป็นเคลือบเซรามิกผู้ประกอบการจะต้องเผาผลิตภัณฑ์ของเขาสองครั้ง ครั้งแรกเผา biscuit ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส และครั้งที่สองเผาเคลือบที่ 1250 องศาเซลเซียส หลังจากชุบน้ำเคลือบบนชิ้นงานแล้ว ทำให้ต้องใช้เชื้อเพลิงสูงมาก งานวิจัยนี้ได้ค้นพบเนื้อดินปั้นพิเศษซึ่งเผาครั้งเดียวที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส แล้วผิวของผลิตภัณฑ์จะหลอมตัว ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีผิวเป็นเคลือบเซรามิก โดยที่ไม่ต้องนำไปชุบเคลือบเลย ดังนั้นเนื้อดินปั้นชนิดนี้จึงสามารถประหยัดเชื้อเพลิงในการเผาได้ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ทั้งยังสามารถประหยัดค่าแรง, ค่าวัตถุดิบและลดเวลาในการผลิตได้อีกด้วยเพราะไม่ต้องชุบเคลือบและไม่ต้องเผาสองครั้ง ยิ่งไปกว่านั้นคือส่วนผสมหลักของเนื้อดินปั้นชนิดนี้เป็นดินด่านเกวียนที่มีราคาถูกและหาได้ง่ายในท้องถิ่นและไม่มีส่วนผสมใดที่เป็นพิษเช่น ตะกั่ว

เมื่อเผาชิ้นงานที่ทำจากเนื้อดินปั้นพิเศษนี้ในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ สีน้ำตาลแดงที่มีผิวเรียบ, รานและเป็นมันวาว แต่ถ้าเผาในเตาที่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงที่ด่านเกวียนจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีผิวสีเขียวหรือน้ำตาลอ่อน ผิวเรียบแต่ไม่มันวาว สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าบรรยากาศภายในเตาไฟฟ้าแตกต่างจากบรรยากาศภายในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียนมาก และในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียนมีอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ ณ ปัจจุบันงานวิจัยพร้อมที่จะถ่ายทอดความรู้ที่ได้จากการวิจัยให้ผู้ประกอบการที่ด่านเกวียนเพื่อให้ผู้ประกอบการที่ด่านเกวียนนำไปใช้อย่างจริงจัง ซึ่งอาจจะต้องปรับปรุงสูตรส่วนผสมหรือกรรมวิธีผลิตอีกเล็กน้อยเพื่อให้เนื้อดินปั้นพิเศษนี้เหมาะสำหรับการนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์จริง สำหรับส่งไปขายแข่งขันในตลาดทั้งในและต่างประเทศต่อไป

Abstract

Competitions in ceramic industry have forced entrepreneurs to attempt to decrease its firing temperatures as low as possible. However, reducing firing temperatures causes the products to be non-fully matured and have high water absorption. Generally, Dan Kwian pottery makers fire their products two times in order to make ceramic glazed potteries. The first firing at 1100°C is biscuit firing and the second firing is operated at 1250°C after glaze slip had been applied on the specimen. These consume large amount of firewood. This work discovered a special ceramic body of which surface is melted to form ceramic glaze on pottery under one firing operation at 1000°C although glaze slip was not applied on it. Thus, this special ceramic body can reduce up to 70% of fuel cost in the firing operation. In addition, it can reduce labor and glaze raw materials costs and can save production time because no glaze is needed to apply on pottery and only one firing operation is required. Moreover, the majority composition of this special ceramic body, Dan Kwian clay, which is cheap and abundant at Dan Kwian site and non toxic constituent, such as lead is added in the special body composition.

Smooth craze and full brilliance of the yellow-brown color glazed pottery is obtained when specimen fabricated from this special ceramic body is fired in an electric kiln at 1000°C. However, if fired in firewood kiln at Dan Kwian, it produces the greenish to light brown smooth but not luster glazed pottery. The discrepancy could be caused by the fact that the atmosphere in electrical kilns is difference from the atmosphere in Dan Kwian kiln and there is a large variation of temperatures inside Dan Kwian kiln. At present, this research work is ready to transfer the knowledge to Dan Kwian manufacturers to examine the possibility of using a special ceramic body. Small modifications on composition or processing may be needed in order to make it more suitable for being used to produce pottery for selling both inside and export markets.

สารบัญเรื่อง

หน้า

กิตติกรรมประกาศ .... ก

บทคัดย่อภาษาไทย .... ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... ค

สารบัญเรื่อง .... ง

สารบัญตาราง .... ฉ

สารบัญรูป .... ญ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 2

1.4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบ 2

1.4.1 การเตรียมเนื้อดินปั้น 3

1.4.1 การเตรียมเนื้อดินปั้นพิเศษเผาที่อุณหภูมิต่ำ 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2. การพัฒนาเนื้อดินปั้น 4

2.1 วัตถุดิบที่ใช้ทำส่วนผสมเนื้อดินปั้น 4

2.1.1 วิเคราะห์วัฏภาคของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) 4

2.1.2 ศึกษาการหดและขยายตัวของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน ด้วยเครื่อง Dilatometer 4

2.1.3 ศึกษาปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเผาด้วยเครื่อง Differential thermal และ Thermogravimetric analysis (DTA & TGA) 5

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนจากโรงงานทั้ง 3 โดยใช้เทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) 5

2.2 การทดลองที่ 1 12

2.3 การทดลองที่ 2 29

2.4 การทดลองที่ 3 39

2.5 การทดลองที่ 4 76

2.6 การทดลองที่ 5 87

2.7 การทดลองที่ 6 114

2.8 การทดลองที่ 7 119

2.9 การทดลองที่ 8 124

2.10 การทดลองที่ 9 127

2.11 การทดลองที่ 10 135

2.12 การทดลองที่ 11 141

2.13 การทดลองที่ 12 147

2.14 การทดลองที่ 13 151

3. บทสรุปและข้อเสนอแนะ 161

เอกสารอ้างอิง 162

ภาคผนวก ก. 163

ภาคผนวก ข. 175

ภาคผนวก ค. 185

ภาคผนวก ง. 189

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน 3 โรงงาน 9

2 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าไม้ยูคาลิปตัสและขี้เถ้าไม้รวม 11

3 ตารางที่ 3 สูตรส่วนผสมตามอัตราส่วนของ Flux ต่าง ๆ 14

4 การดูดซึมน้ำของสูตรเนื้อดินปั้นที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำต่ำ ๆ ใกล้เคียง 5% ในการทดสอบ 2 ครั้ง 40

5 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือ โดโลไมท์ และฟริต A เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 0 ชั่วโมง 41

6 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือ โดโลไมท์ และฟริต B เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 0 ชั่วโมง 42

7 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือ โดโลไมท์ และฟริต A เผาที่เตาด่านเกวียน 43

8 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือ โดโลไมท์ และฟริต B เผาที่เตาด่านเกวียน 44

9 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือ โดโลไมท์ และฟริต A เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 0 ชั่วโมง 51

10 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือ โดโลไมท์ และฟริต B เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 0 ชั่วโมง 52

11 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือ โดโลไมท์ และฟริต A เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 1 ชั่วโมง 53

12 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือ โดโลไมท์ และฟริต B เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 1 ชั่วโมง 54

13 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือ โดโลไมท์ และฟริต A เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

14 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือ
โดโลไมท์ และฟริต B เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 56
15 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือ
โดโลไมท์ และฟริต A เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 3 ชั่วโมง 57
16 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือ
โดโลไมท์ และฟริต B เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 3 ชั่วโมง 58
17 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต A
หรือฟริต B เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 0 ชั่วโมง 68
18 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต A
หรือฟริต B เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 1 ชั่วโมง 69
19 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต A
หรือฟริต B เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 70
20 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต A
หรือฟริต B เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 3 ชั่วโมง 71
21 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นของด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ทัลคัม และฟริต A
หรือฟริต B เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 1 ชั่วโมง ทดสอบครั้งที่ 2 75
22 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน 70% + โซดาแอช 10% + ทัลคัม 10% +
ฟริต B 10% เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 81
23 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน 70% + โซดาแอช 10% + ทัลคัม 10% +
ฟริต B 10% เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 81
24 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน 70% + โซดาแอช 10% + ทัลคัม 10% +
ฟริต B 10% เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 82
25 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นของด่านเกวียนที่ใช้กันทั่วไป (Blank) หลังเผา
ในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 92
26 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นสูตรที่ 1 (70% DK, 5%Na_2CO_3, 20% Talcum,
5% Frit B) เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

27 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นสูตรที่ 2 (70% DK, 5%Na_2CO_3, 20% Dolomite, 5% Frit B) เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 94

28 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นสูตรที่ 3 (65% DK, 5%Na_2CO_3, 20% Talcum, 10% Frit B) เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 95

29 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นสูตรที่ 4 (65% DK, 5%Na_2CO_3, 20% Dolomite, 10% Frit B) เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 96

30 ความแข็งแรงหลังอบที่ 60 องศาเซลเซียส (Green Strength) ของชิ้นตัวอย่าง สูตร Blank 103

31 ความแข็งแรงหลังอบที่ 60 องศาเซลเซียส (Green Strength) ของชิ้นตัวอย่าง สูตรที่ 1 : 70% DK, 5% Na_2CO_3, 20% Talcum, 5% Frit B 104

32 ความแข็งแรงหลังอบที่ 60 องศาเซลเซียส (Green Strength) ของชิ้นตัวอย่าง สูตรที่ 2 : 70% DK, 5% Na_2CO_3, 20% Dolomite, 5% Frit B 105

33 ความแข็งแรงหลังอบที่ 60 องศาเซลเซียส (Green Strength) ของชิ้นตัวอย่าง สูตรที่ 3 : 65% DK, 5% Na_2CO_3, 20% Talcum, 10% Frit B 106

34 ความแข็งแรงหลังอบที่ 60 องศาเซลเซียส (Green Strength) ของชิ้นตัวอย่าง สูตรที่ 4 : 65% DK, 5% Na_2CO_3, 20% Dolomite, 10% Frit B 107

35 ความแข็งแรงหลังเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง สูตร Blank 108

36 ความแข็งแรงหลังเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง สูตรที่ 1 : 70% DK, 5% Na_2CO_3, 20% Talcum, 5% Frit B 109

37 ความแข็งแรงหลังเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง สูตรที่ 2 : 70% DK, 5% Na_2CO_3, 20% Dolomite, 5% Frit B 110

38 ความแข็งแรงหลังเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง สูตรที่ 3 : 65% DK, 5% Na_2CO_3, 20% Talcum, 10% Frit B 111

39 ความแข็งแรงหลังเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง สูตรที่ 4 : 65% DK, 5% Na_2CO_3, 20% Dolomite, 10% Frit B 112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

40 ความแข็งแรงหลังเผาและหลังอบเฉลี่ยของตัวอย่าง สูตร Blank และสูตรที่ 1-4 113
41 ส่วนผสมของสูตรเนื้อดินปั้นสูตร 1-4 ของการทดลองที่ 9 128
42 ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสูตร 1-4 ของการทดลองที่ 10 135
43 ส่วนผสมของสูตรเนื้อดินปั้นพิเศษ สูตร 1-9 ของการทดลองที่ 11 141
44 แสดงส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสูตร 10-11 ของการทดลองที่ 12 147
45 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน (หาครั้งที่ 1) 152
46 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน (หาครั้งที่ 2) 152
47 ส่วนผสมโดยน้ำหนักของเนื้อดินปั้นพิเศษ สูตร 1A-8A 153
48 เปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นพิเศษ สูตร 1A-8A (ไม่รวมน้ำประปา) 154

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1 กราฟเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffraction pattern) ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนทั้ง 3 โรงงาน 5
2 กราฟเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความยาวเมื่อเทียบกับความยาวเริ่มต้น (dL/L_0 %) ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนเมื่อเผาจากอุณหภูมิห้องขึ้นไปจนถึง 1000 องศาเซลเซียส 6
3 กราฟอนุพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความยาวเมื่อเทียบกับความยาวเริ่มต้น diff (dL/L_0 %) / dT 6
4 กราฟ TGA ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนของโรงงานทั้ง 3 ทดสอบโดยอัตราเร็วในการเผา 20 องศาเซลเซียส / นาที ในอากาศ 7
5 กราฟอนุพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนจากโรงงานทั้ง 3 7
6 กราฟ DTA ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนจากโรงงานทั้ง 3 ทดสอบโดยอัตราเร็วในการเผา 20 องศเซลเซียส / นาที ในอากาศ 8
7 กราฟอนุพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนจากโรงงานทั้ง 3 8
8 กราฟเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffraction pattern) ของขี้เถ้าไม้ยูคาลิปตัส 10
9 กราฟเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffraction pattern) ของขี้เถ้าไม้รวม 11
10 เครื่องบดผสม (Mortar grinder) เพื่อใช้ในการผสมดินด่านเกวียนกับ Flux ต่าง ๆ 15
11 เครื่องไฮดรอริกเอาไว้อัดแท่งดินตัวอย่างในการทดสอบสมบัติต่าง ๆ 15
12 เตาไฟฟ้า carbolite สำหรับเผาชิ้นตัวอย่างสามารถเผาได้อุณหภูมิสูงสุด 1400 องศาเซลเซียส 16
13 ผลการเติมโซดาแอชในเนื้อดินปั้นด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 17
14 ผลการเติมโดโลไมท์ในเนื้อดินปั้นด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 17
15 ผลการเติมทัลคัมในเนื้อดินปั้นด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 18
16 ผลการเติมขี้เถ้ารวมในเนื้อดินปั้นด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 18

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า

31 เปอร์เซ็นต์การหดตัว (% Linear Shrinkage) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่ 1200 องศาเซลเซียส 26
32 เปอร์เซ็นต์ความพรุนตัว (% Porosity) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่ 1200 องศาเซลเซียส 26
33 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (% Water Absorption) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่ 1200 องศาเซลเซียส 27
34 เปอร์เซ็นต์การหดตัว (% Linear Shrinkage) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่เตาด่านเกวียน 27
35 เปอร์เซ็นต์ความพรุนตัว (% Porosity) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่เตาด่านเกวียน 28
36 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (% Water Absorption) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่เตาด่านเกวียน 28
37 ผลของการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) 5% และ หินฟันม้าโซดา (Na-Feldspar) 2-6% ในเนื้อดินปั้น ของด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 29
38 ผลของการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) 10% และ หินฟันม้าโซดา (Na-Feldspar) 2-10% ในเนื้อดินปั้น ของด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 30
39 ผลของการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) 5% และ ฟริต CG466 หรือฟริต B (Frit B) 2-6% ในเนื้อดินปั้น ของด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 30
40 ผลของการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) 10% และ ฟริต B (Frit B) 2-10% ในเนื้อดินปั้น ของด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 31
41 ผลของการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) 5-10% และ ขี้เถ้ารวม (DK Ash) 5-15% ในเนื้อดินปั้น ของด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 32
42 ผลของการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) 5-10% และ ทัลคัม (Talcum) 5-15% ในเนื้อดินปั้น ของด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 33
43 ผลของการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) 5-10% และโดโลไมท์ (Dolomite) 5-15% ในเนื้อดินปั้น ของด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 34

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

44 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติมโซดาแอช 5% กับหินฟันม้าโซดา เผาอุณหภูมิต่าง ๆ 35
45 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติมโซดาแอช 10% กับหินฟันม้าโซดา เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 35
46 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติมโซดาแอช 5% กับฟริต CG466 หรือฟริต B เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 36
47 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติมโซดาแอช 10% กับฟริต CG466 หรือฟริต B เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 36
48 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติมโซดาแอชกับขี้เถ้ารวม เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 37
49 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติมโซดาแอชกับทัลคัม เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 37
50 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติมโซดาแอชกับโดโลไมท์ เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 38
51 ผลของการเติมโซดาแอช, ขี้เถ้ารวม และฟริต A หรือฟริต B เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 45
52 ผลของการเติมโซดาแอช, ทัลคัม และฟริต A หรือฟริต B เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 46
53 ผลของการเติมโซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต A หรือฟริต B เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 47
54 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวม และฟริต A เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 48
55 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ทัลคัม และฟริต A เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 48
56 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต A เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 49
57 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวม และฟริต B เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 49

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

71 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวม และฟริต B เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน 67
72 ผลการเติมโซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต A เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน 72
73 ผลการเติมโซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต B เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน 73
74 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต A เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน 74
75 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต B เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน 74
76 เครื่องบดดินด่านเกวียน Disc crusher 77
77 การชั่งน้ำหนักสูตรส่วนผสม 77
78 การคลุกผสมดินให้เข้ากันด้วยไม้พาย 78
79 การหมักดินไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้ดินหมาดตัว 78
80 เครื่องรีดดิน (Pugmill หรือ Extruder) 79
81 แผนผังกระบวนการเตรียมส่วนผสมเนื้อดินปั้นในการทดลองนี้ 79
82 เนื้อดินปั้นด่านเกวียน 70%, โซดาแอช 10%, ทัลคัม 10% และฟริต B 10% เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ 83
83 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน 70% ที่เติมโซดาแอช 10%, ทัลคัม 10% และฟริต B 10% ซึ่งเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 84
84 ชิ้นตัวอย่างที่ทำจากเนื้อดินปั้นด่านเกวียน 70% + โซดาแอช 10% + ทัลคัม 10% และฟริต B 10% เผาในเตาฟืนด่านเกวียนแล้วหลอมติดกับครกซึ่งทำจากเนื้อดินปั้นด่านเกวียนธรรมดา จากภาพจะเห็นได้ชัดว่าขณะที่เนื้อดินปั้นธรรมดา (ครก) สุกตัวแบบธรรมดาแต่เนื้อดินปั้นที่เตรียมขึ้นในงานวิจัยนี้หลอมตัวจนเยิ้ม 85

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

85 ชิ้นงานที่ทำเนื้อดินปั้นด่านเกวียน 70% + โซดาแอช 10% + ทัลคัม 10% และฟริต B 10% เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส 86
86 ชิ้นตัวอย่างที่ได้จากเครื่องรีดดินเพื่อทดสอบความแข็งแรง 89
87 เครื่องวัด Bending Strength ยี่ห้อ LLOYD INSTRUMENT รุ่น LF Plus 90
88 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่ผสมโซดาแอช, ทัลคัม หรือโดโลไมท์ และฟริต B หลังเผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 97
89 ชิ้นตัวอย่างสูตร blank เนื้อดินปั้นด่านเกวียน เผาในเตาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 98
90 ชิ้นตัวอย่างสูตร 1 เนื้อดินปั้นด่านเกวียน 70%, โซดาแอช 5%, ทัลคัม 20% และฟริต B 5% เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 99
91 ชิ้นตัวอย่างสูตร 2 เนื้อดินปั้นด่านเกวียน 70%, โซดาแอช 5%, โดโลไมท์ 20% และฟริต B 5% เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 100
92 ชิ้นตัวอย่างสูตร 3 เนื้อดินปั้นด่านเกวียน 65%, โซดาแอช 5%, ทัลคัม 20% และฟริต B 10% เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 101
93 ชิ้นตัวอย่างสูตร 4 เนื้อดินปั้นด่านเกวียน 65%, โซดาแอช 5%, โดโลไมท์ 20% และฟริต B 10% เผาที่ในเตาไฟฟ้าอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 102
94 ความแข็งแรงหลังอบและหลังเผาเฉลี่ย (Average bending strength) ของชิ้นตัวอย่าง สูตร Blank และสูตรที่ 1-4 113
95 สภาวะของการเผาชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปและอบแห้งแล้วในเตาไฟฟ้า 115
96 เนื้อดินปั้นพิเศษฯ ที่ผ่านการขึ้นรูปและอบแล้วแต่ยังไม่เผา 117

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

97 เนื้อดินปั้นของด่านเกวียนแบบธรรมดาที่เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 117
98 เนื้อดินปั้นแบบพิเศษฯ ที่เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 118
99 เนื้อดินปั้นแบบพิเศษฯ ที่เผาในเตาไม้ฟืน โรงงานคุณเมี้ยน ที่ตำบลด่านเกวียน 118
100 แสดงชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปที่ร้านดินเผา ตำบลด่านเกวียน 120
101 เนื้อดินปั้นพิเศษฯ ทั้งสองส่วนที่ผ่านการอบแห้ง 121
102 ชิ้นงานที่เผาในเตาฟืน โรงงานคุณเมี้ยน 122
103 ชิ้นงานที่เผาในเตาฟืนร้านดินเผา 122
104 ชิ้นงานที่เผาในเตาไฟฟ้าที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 123
105 เนื้อดินปั้นที่เตรียมด้วยวิธีที่ 1 ที่เผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 125
106 เนื้อดินปั้นที่เตรียมด้วยวิธีที่ 1 ที่เผาในเตาฟืนของโรงงานคุณสมาน ปั้งกระโทก 125
107 เนื้อดินปั้นที่เตรียมด้วยวิธีที่ 1 ที่เผาในเตาฟืนของโรงงานคุณสม เป้ากระโทก 126
108 เนื้อดินปั้นที่เตรียมด้วยวิธีที่ 2 ที่ผ่านการเผาในเตาไฟฟ้า 126
109 จุดต่าง ๆ ภายในเตาเผาไม้ฟืนที่ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา จุดที่ 1 ไฟอ่อน มีอุณหภูมิต่ำสุด จุดที่ 2 ไฟกลาง มีอุณหภูมิปานกลาง จุดที่ 3 ไฟแรง มีอุณหภูมิสูงสุด 128
110 เนื้อดินปั้นพิเศษ สูตรที่ 1 ของการทดลองที่ 9 ซึ่งผ่านการเผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 130
111 เนื้อดินปั้นพิเศษ สูตรที่ 2 ของการทดลองที่ 9 ซึ่งผ่านการเผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 131
112 เนื้อดินปั้นพิเศษ สูตรที่ 3 ของการทดลองที่ 9 ซึ่งผ่านการเผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 131
113 เนื้อดินปั้นพิเศษ สูตรที่ 4 ของการทดลองที่ 9 ซึ่งผ่านการเผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 132

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

114 เนื้อดินปั้นพิเศษ สูตรที่ 1 ของการทดลองที่ 9 ซึ่งเผาในเตาไม้ฟืนบริเวณไฟแรง 133
115 เนื้อดินปั้นพิเศษ สูตรที่ 2 ของการทดลองที่ 9 ซึ่งเผาในเตาไม้ฟืนบริเวณไฟอ่อน 133
116 เนื้อดินปั้นพิเศษ สูตรที่ 3 ของการทดลองที่ 9 ซึ่งเผาในเตาไม้ฟืนบริเวณไฟกลาง 134
117 เนื้อดินปั้นพิเศษ สูตรที่ 4 ของการทดลองที่ 9 ซึ่งเผาในเตาไม้ฟืนบริเวณไฟแรง 134
118 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 1 ของการทดลองที่ 10 ที่ใช้ฟริต B หรือ ฟริต CG466 เผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 136
119 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 2 ของการทดลองที่ 10 ที่ใช้ฟริต A หรือ ฟริต ST8014 เผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 137
120 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 3 ของการทดลองที่ 10 ซึ่งเผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 137
121 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 4 ของการทดลองที่ 10 ซึ่งเผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 138
122 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 1 ของการทดลองที่ 10 ซึ่งเผาในเตาไม้ฟืน 139
123 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 2 ของการทดลองที่ 10 ซึ่งเผาในเตาไม้ฟืน 140
124 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 3 ของการทดลองที่ 10 ซึ่งเผาในเตาไม้ฟืน 140
125 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 1 ของการทดลองที่ 11 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 142
126 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 2 ของการทดลองที่ 11 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 143
127 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 3 ของการทดลองที่ 11 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 143
128 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 4 ของการทดลองที่ 11 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 144
129 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 5 ของการทดลองที่ 11 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 144

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

130 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 6 ของการทดลองที่ 11 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 145
131 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 7 ของการทดลองที่ 11 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 145
132 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 8 ของการทดลองที่ 11 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 146
133 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 9 ของการทดลองที่ 11 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 146
134 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 10 ของการทดลองที่ 12 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 148
135 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 11 ของการทดลองที่ 12 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 149
136 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 10 ของการทดลองที่ 12 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน 149
137 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 11 ของการทดลองที่ 12 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน 150
138 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 1A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 155
139 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 2A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 155
140 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 3A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง 156
141 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 1A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน 156
142 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 2A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน 157
143 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 3A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน 157
144 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 4A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน 158
145 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 5A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน 158
146 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 6A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน 159

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

147 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 7A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน 159
148 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 8A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน 160

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เซรามิกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง จึงมักต้องใช้เชื้อเพลิงในการเผามาก เซรามิกเกรดดี ๆ มักจะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำต่ำ ๆ ทำให้เปลืองเชื้อเพลิงในการเผามากยิ่งขึ้น และเซรามิกเหล่านี้มักจะต้องผ่านการเคลือบเพื่อให้มีชั้นของเคลือบซึ่งเป็นแก้วที่มีผิวเรียบเป็นมันวาวปกคลุมทับทำให้เกิดความคงทน สวยงาม ทำสะอาดง่าย การเคลือบเซรามิกบางชนิดต้องเผาชิ้นงานสองครั้ง กล่าวคือครั้งแรกเผาชิ้นงานที่ขึ้นรูปเสร็จแล้วให้เป็นบิสกิต (biscuit) ก่อน ต่อจากนั้นจึงนำบิสกิตไปชุบน้ำเคลือบแล้วจึงนำไปเผาอีกครั้งหนึ่งจึงจะได้ชิ้นงานสำเร็จรูปออกมา รวมเป็นต้องเผาสองรอบจึงจะได้ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปออกมาทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก

จากสภาพการแข่งขันในอุตสาหกรรมเซรามิกทำให้มีความพยายามลดอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์ให้เหลือต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่การลดอุณหภูมิการเผาให้ต่ำลงไปจะทำให้เนื้อดินปั้นของผลิตภัณฑ์ไม่สุกตัวและดูดซึมน้ำได้มาก นอกจากนี้ชั้นของเคลือบก็ไม่สุกตัวเป็นแก้วด้วย ปกติแล้วหากต้องการทำผลิตภัณฑ์ที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ จะต้องเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิประมาณ 1200 องศาเซลเซียส ซึ่งต้องใช้เชื้อเพลิงสูงมาก พบว่าเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิเตาเผาจากอุณหภูมิห้องขึ้นไปถึง 1000 องศาเซลเซียส มีปริมาณเท่า ๆ กับเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจาก 1000 ถึง 1200 องศาเซลเซียส ฉะนั้นหากสามารถลดอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์จาก 1200 องศาเซลเซียส ลงมาเหลือ 1000 องศาเซลเซียส ก็จะลดต้นทุนเชื้อเพลิงได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และหากสูตรผสมเนื้อดินปั้นที่เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส สามารถสุกตัวเกิดชั้นเคลือบที่เป็นแก้วที่ผิวด้วยก็จะทำให้ลดต้นทุนเชื้อเพลิงลงไปอีก เพราะว่าเผาเพียงครั้งเดียวไม่ต้องเผาสองครั้ง

เนื้อดินปั้นที่เตรียมขึ้นมานั้นมีความหยาบไม่สามารถนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีผิวละเอียดได้และเมื่อนำไปเผาจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำสูง (ประมาณ 18 เปอร์เซนต์) และมีผิวด้าน ผิวไม่มันวาว หากต้องการทำผลิตภัณฑ์ที่เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำต่ำ และมีผิวเป็นมันวาวต้องนำไปเคลือบด้วยน้ำเคลือบและที่สำคัญคือต้องนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงคือประมาณ 1000 องศาเซลเซียส

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาสูตรเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 1000 องศาเซลเซียส

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

พัฒนาสูตรเนื้อดินปั้นของผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 1000 องศาเซลเซียส และลดต้นทุนในกระบวนการผลิต

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับกระบวนการการดำเนินการวิจัยนั้นคณะผู้วิจัยจะอธิบายถึงเฉพาะขั้นตอนโดยรวมเท่านั้น และจะอธิบายอีกครั้งโดยละเอียดในบทที่ 2 สามารถแบ่งวิธีดำเนินการวิจัยออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1.4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบ

วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นและขี้เถ้ารวมจากโรงงานที่ด่านเกวียนทั้ง 3 ดังต่อไปนี้

1) วิเคราะห์วัฏภาคของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) โดยนำเนื้อดินปั้นจากโรงงานทั้ง 3 ไปอบแห้งที่ 100 องศาเซลเซียส แล้วบดให้ละเอียดในโกร่งแล้วนำไปตรวจสอบวัฏภาค

2) ศึกษาการหดและขยายตัวของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน ด้วยใช้เครื่อง Dilatometer โดยหล่อแท่งชิ้นตัวอย่างที่ต้องการทดสอบให้มีขนาดประมาณ 0.6 × 0.6 × 5 ซม. แล้วเผาตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 1000 องศาเซลเซียส

3) ศึกษาปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเผาและน้ำหนักของดินที่หายไปในระหว่างเผาตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 1200 องศาเซลเซียสด้วยเครื่อง Differential thermal analysis และ Thermogravimetric analysis (DTA & TGA) โดยนำเนื้อดินปั้นจากโรงงานทั้ง 3 มาตากให้แห้งแล้วบดให้ละเอียดในครก แล้วนำไปตรวจสอบด้วยเครื่อง DTA & TGA

4) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนจากโรงงานทั้ง 3 โดยใช้เทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)

1.4.2 การเตรียมเนื้อดินปั้น

การเตรียมเนื้อดินปั้น ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1) การหมักดิน นำดินเหนียวมาก ซึ่งหมายถึงดินที่มีทรายผสมอยู่น้อย จึงมีความเหนียวมาก ผสมกับดินเหนียวน้อย ซึ่งหมายถึงดินที่มีทรายผสมอยู่มาก จึงมีความเหนียวน้อย ในบ่อหมักที่อัตราส่วน ดินเหนียวมาก : ดินเหนียวน้อย เป็น 2:1 จากนั้นเติมน้ำลงไปในบ่อหมักให้ชุ่ม แล้วหมักทิ้งไว้เป็นเวลา 24-30 ชั่วโมง

2) การนวดดิน นำดินที่หมักเรียบร้อยแล้วจากขั้นตอนข้างต้นป้อนเข้าเครื่องรีดดิน (pug mill) 2-3 รอบ เพื่อให้ได้เนื้อดินที่เป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) จะได้แท่งดินที่เรียกว่า "เนื้อดินปั้น" ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อน ๆ ยาวประมาณ 30-60 ซ.ม. กว้างประมาณ 8-10 ซ.ม.

1.4.3 การเตรียมเนื้อดินปั้นพิเศษเผาที่อุณหภูมิต่ำ

1) นำเนื้อดินปั้นในหัวข้อ 1.4.2 อบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 90-110 องศาเซลเซียส จากนั้นบดเนื้อดินที่อบแห้งดังกล่าวด้วยเครื่องบด (Disc crusher) แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 mesh

2) ผสมเนื้อดินปั้นที่อบและบดจากขั้นตอนข้างต้นกับทัลคัม (Talcum) และฟริต (Frit CG466 และ ST8014) ซึ่งเป็นชื่อเครื่องหมายทางการค้า คลุกผสมให้เข้ากันดีด้วยอุปกรณ์ช่วยผสมให้เข้ากัน เช่น ไม้พาย

3) ละลายโซดาแอช (Na_2CO_3) ในน้ำ นำไปผสมให้เข้ากันกับเนื้อดินปั้นด้วยไม้พาย แล้วหมักโดยเก็บเนื้อดินปั้นที่ผสมขึ้นมาในภาชนะปิดไม่ให้น้ำระเหยออก โดยหมักของผสมดังกล่าวไว้เป็นเวลา 1-3 วัน จากนั้นนำเนื้อดินปั้นป้อนเข้าเครื่องรีดดิน (pug mill) ประมาณ 3-4 รอบ เพื่อให้ของผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และนำไปขึ้นรูป อบแห้งและเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องไปที่ 1000 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที และเมื่อถึง 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิลงมา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จะได้เนื้อดินปั้นที่มีผิวเป็นมันวาว มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำต่ำประมาณ 6-10 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้ เช่น ผลิตภัณฑ์ของตกแต่ง และอื่น ๆ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้สูตรเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 1000 องศาเซลเซียส

บทที่ 2
การพัฒนาเนื้อดินปั้น

2.1 วัตถุดิบที่ใช้ทำส่วนผสมเนื้อดินปั้น

เริ่มจาก นายกเทศมนตรีเทศบาล ด่านเกวียน (คุณธรินทร์) ช่วยแนะนำโรงงานเครื่องปั้นดินด่านเกวียนให้ร่วมพัฒนาสูตรเนื้อดินปั้นและเคลือบ จำนวน 3 โรงงาน ดังนี้

-โรงงานคุณเมียน สิงห์ทะเล เป็นตัวแทนโรงงานกลุ่มด่านซัย

-โรงงานคุณสมาน ปั้งกระโทก เป็นตัวแทนโรงงานแถบบ้านใหม่หนองมะทม

-โรงงานคุณสม เป้ากระโทก เป็นตัวแทนโรงงานแถบหลัง ๆ โรงงานอาจารย์พิศ

ผู้วิจัยขอรับเนื้อดินปั้นและขี้เถ้ารวมจากโรงงานตัวแทนทั้ง 3 แล้วนำไปศึกษาและวิเคราะห์หาองค์ประกอบและสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นและขี้เถ้ารวมจากโรงงานที่ด่านเกวียนดังต่อไปนี้

2.1.1 วิเคราะห์วัฏภาคของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD)

โดยนำเนื้อดินปั้นจากโรงงานทั้ง 3 ไปอบแห้งที่ 100 องศาเซลเซียส แล้วบดให้ละเอียดในโกร่งแล้วนำไปตรวจสอบวัฏภาค ผลการตรวจสอบพบเนื้อดินปั้นประกอบด้วยผลึกของควอตซ์ (Quartz; SiO_2) เป็นจำนวนมากดังแสดงในรูปที่ 1 อนึ่งเนื้อดินปั้นจากโรงงานทั้ง 3 ได้กราฟ XRD ไม่ต่างกัน

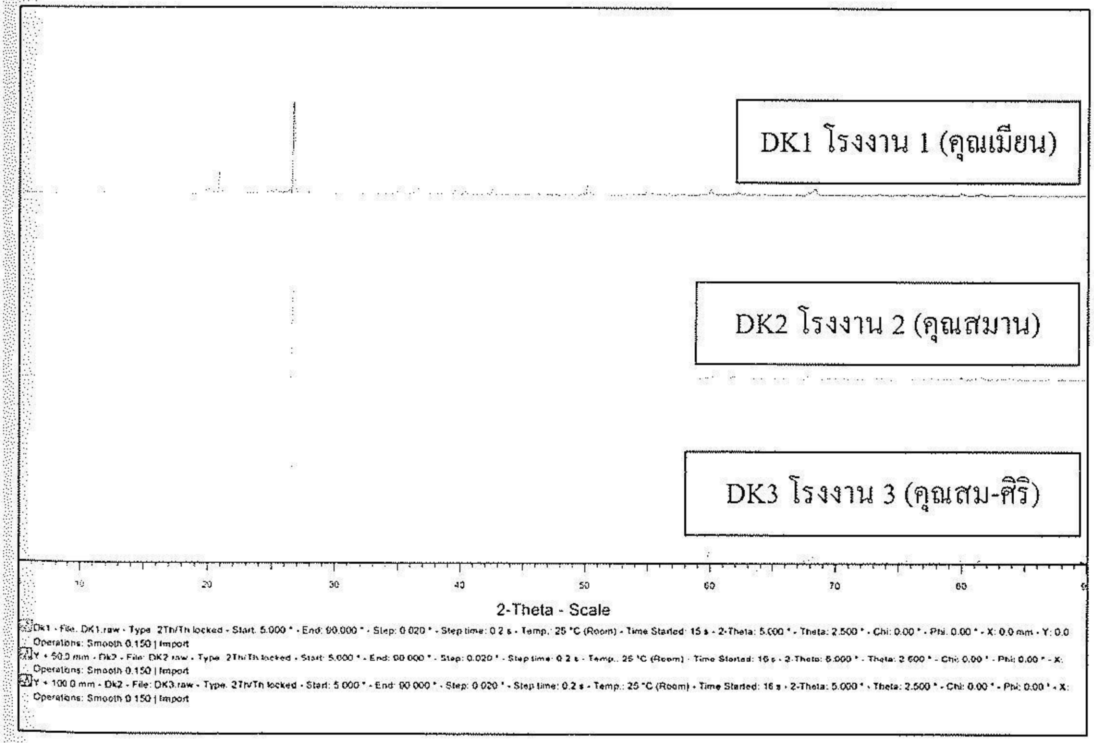
2.1.2 ศึกษาการหดและขยายตัวของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน ด้วยเครื่อง Dilatometer โดยหล่อแท่งชิ้นตัวอย่างที่ต้องการทดสอบให้มีขนาดประมาณ $0.6 \times 0.6 \times 5$ ซม. แล้วเผาตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 1000 องศาเซลเซียส รูปที่ 2 และ 3 แสดงกราฟการขยายตัวของแท่งดินด่านเกวียน จากภาพจะเห็นว่าดินจากโรงงานทั้ง 3 มีการหดตัวไม่แตกต่างกันมากนัก และเนื่องจากดินที่ทดสอบไม่ได้ผ่านการเผามาก่อนจึงหดตัวมาก โดยจะหดตัวมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจึงต้องระวังเวลาเผาดินชนิดนี้ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิช่วงประมาณ 550 – 600 องศาเซลเซียส ชิ้นงานจะมีการเปลี่ยนแปลงความยาวมากกว่าปกติ เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของควอตซ์ (Quartz inversion) เพราะว่าเนื้อดินปั้นด่านเกวียนประกอบด้วยควอตซ์มาก นอกจากนี้จะเห็นว่าที่อุณหภูมิประมาณ 900 องศาเซลเซียส ชิ้นงานมีการหดตัวอย่างรวดเร็ว เพราะว่าเกิดการยุบตัวในโครงสร้างของดิน

2.1.3 ศึกษาปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเผาด้วยเครื่อง Differential thermal และ Thermogravimetric analysis (DTA & TGA)

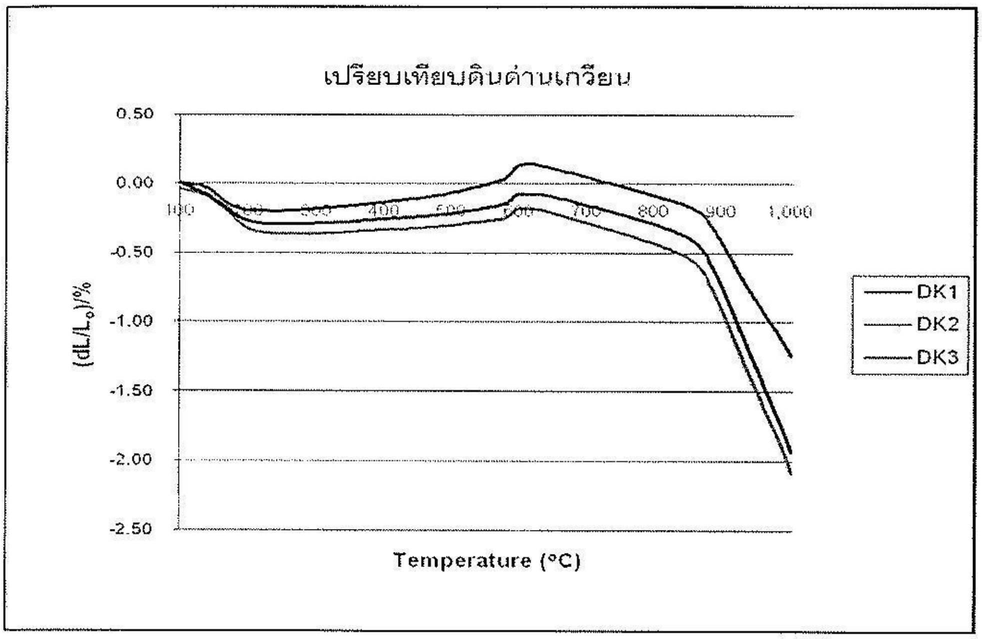
ศึกษาปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเผาและน้ำหนักของดินที่หายไปในระหว่างการเผาตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 1200 องศาเซลเซียส โดยนำเนื้อดินปั้นจากโรงงานทั้ง 3 มาตากให้แห้ง แล้วบดให้ละเอียดในครก นำไปตรวจสอบด้วยเครื่อง DTA & TGA รูปที่ 4-7 แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแท่งดินแห้งจากรูปจะเห็นว่าน้ำหนักของดินลดลง 8-9 เปอร์เซ็นต์ จากน้ำหนักดินเริ่มต้นเมื่อเผาตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 1200 องศาเซลเซียส และจะเกิดปฏิกิริยาการระเหยของน้ำที่ถูกดูดซับที่ประมาณ 100 องศาเซลเซียส และการออกไปของน้ำในสูตรเคมีของดิน (Chemical Water) ที่ประมาณ 500 องศาเซลเซียส

2.1.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนจากโรงงานทั้ง 3 โดยใช้เทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)

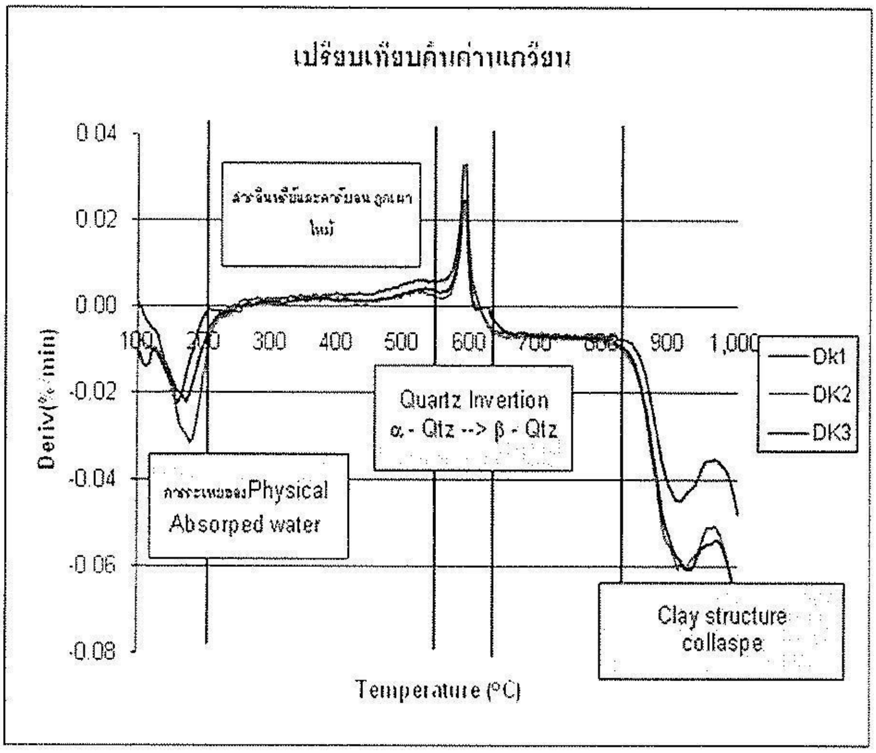
ผลการตรวจสอบพบเนื้อดินปั้นมีอะลูมินา ซิลิกา และออกไซด์ของเหล็ก (Al_2O_3 , SiO_2 & Fe_2O_3) เป็นองค์ประกอบหลัก ตารางที่ 1 และภาคผนวก ก. แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดินปั้นดินด่านเกวียนจากโรงงานทั้ง 3



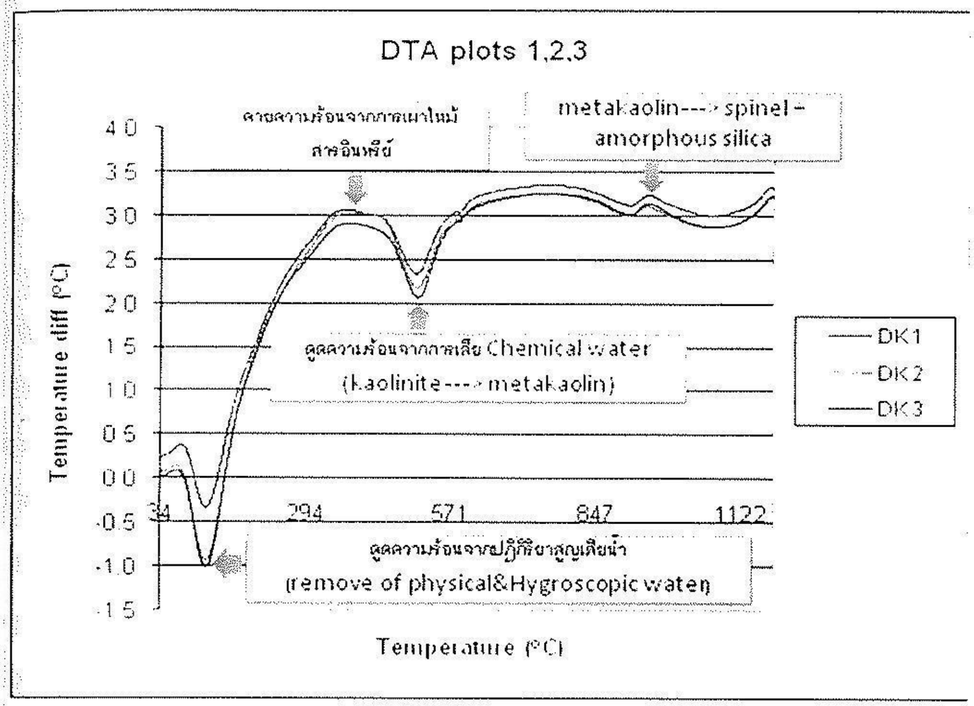
รูปที่ 1 กราฟเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffraction pattern) ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนทั้ง 3 โรงงาน



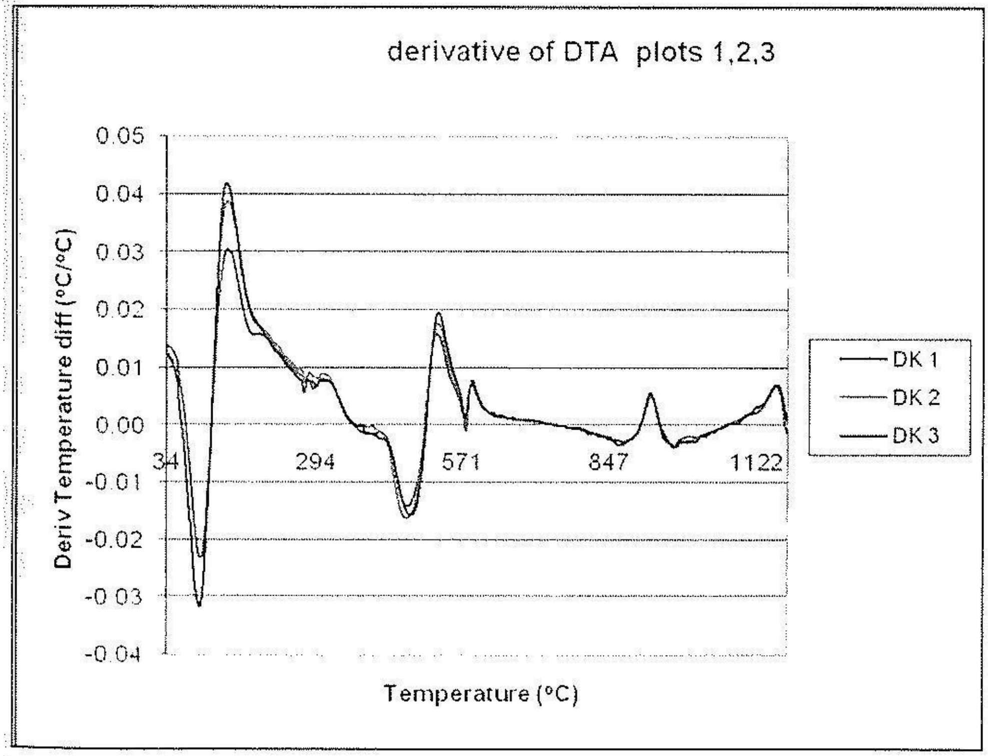
รูปที่ 2 กราฟเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความยาวเมื่อเทียบกับความยาวเริ่มต้น (dL/L_0 %) ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนเมื่อเผาจากอุณหภูมิห้องไปจนถึง 1000 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3 กราฟอนุพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความยาวเมื่อเทียบกับความยาวเริ่มต้น diff (dL/L_0 %) / dT



รูปที่ 6 กราฟ DTA ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนจากโรงงานทั้ง 3 ทดสอบโดยอัตราเร็วในการเผา 20 องศาเซลเซียส / นาที ในอากาศ



รูปที่ 7 กราฟอนุพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนจากโรงงานทั้ง 3

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน 3 โรงงาน

ส่วนประกอบทางเคมี	โรงงาน 1 (%wt)	โรงงาน 2 (%wt)	โรงงาน 3 (%wt)
Silica (SiO_2)	63.2	59.8	59.7
Alumina (Al_2O_3)	20.6	21.5	21.8
Iron oxide (Fe_2O_3)	5.70	6.70	6.30
Potassium oxide (K_2O)	1.29	1.38	1.44
Titanium oxide (TiO_2)	1.04	1.06	1.06
Magnesium oxide (MgO)	0.82	0.88	0.89
Calcium oxide (CaO)	0.42	0.41	0.38
Sodium oxide (Na_2O)	0.39	0.43	0.58
Sulphur trioxide (SO_3)	0.08	0.15	0.23
Manganese oxide (MnO)	0.06	0.10	0.11
Phosphorus pentaoxide (P_2O_5)	0.06	0.05	0.04
Loss on ignition (1000°C)	6.20	7.40	7.20

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาวัตถุดิบตัวอื่น ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ดังนี้

1) ขี้เถ้าไม้ยูคาลิปตัส (Euca ash) และขี้เถ้าไม้รวมจากด่านเกวียน (DK ash) โดยที่ขี้เถ้าไม้ยูคาลิปตัสเตรียมได้จากการนำเศษไม้ยูคาลิปตัสมาเผาให้เปลี่ยนเป็นขี้เถ้า แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช ส่วนขี้เถ้าไม้รวมจากด่านเกวียนได้จากการนำขี้เถ้าจากเตาเผาของโรงงานที่ด่านเกวียนทั้ง 3 โรงงาน ไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 30 เมช แล้วนำขี้เถ้ารวมจากโรงงานทั้ง 3 มาผสมกันอัตราส่วน 1 : 1 : 1 ใน หม้อบดผสม (Ball mill) ที่ใส่ลูกบดเพียงเล็กน้อย แล้วจากนั้นนำไปใช้ในงานวิจัย ผู้วิจัยนำขี้เถ้าไม้ยูคาลิปตัสและขี้เถ้าไม้รวม ไปวิเคราะห์วัฏภาคด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) ผลปรากฏว่าวัฏภาคหลักทางเคมีของขี้เถ้าคือ แคลเซียมคาร์บอเนตหรือแคลไซต์ ($CaCO_3$) ดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9 นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของขี้เถ้าทั้ง 2 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 และภาคผนวก ก. จากตารางจะเห็นว่าองค์ประกอบหลักของขี้เถ้าคือ CaO, MgO, Al_2O_3 และ SiO_2

2) โซดาแอช (Na_2CO_3) ซื้อจากบริษัท เซรามิกส์ อาร์ อัส จำกัด กิโลกรัมละ 45 บาท (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม) มีองค์ประกอบทางเคมีตามที่แนบในภาคผนวก ก.

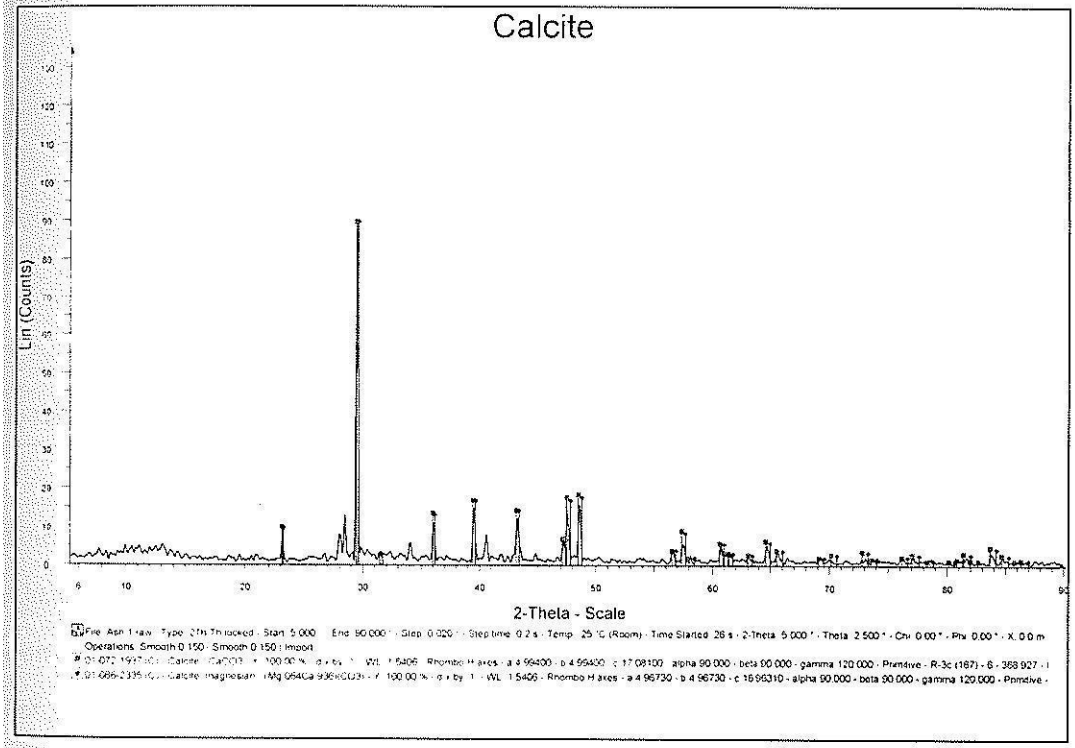
3) โดโลไมท์ (Dolomite) ซื้อจากบริษัท เซรามิกส์ อาร์ อัส จำกัด กิโลกรัมละ 7 บาท (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม) มีองค์ประกอบทางเคมีตามที่แนบในภาคผนวก ก.

4) ทัลคัม (Talcum) ซื้อจากบริษัท เซรามิกส์ อาร์ อัส จำกัด กิโลกรัมละ 15 บาท (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม) มีองค์ประกอบทางเคมีตามที่แนบในภาคผนวก ก.

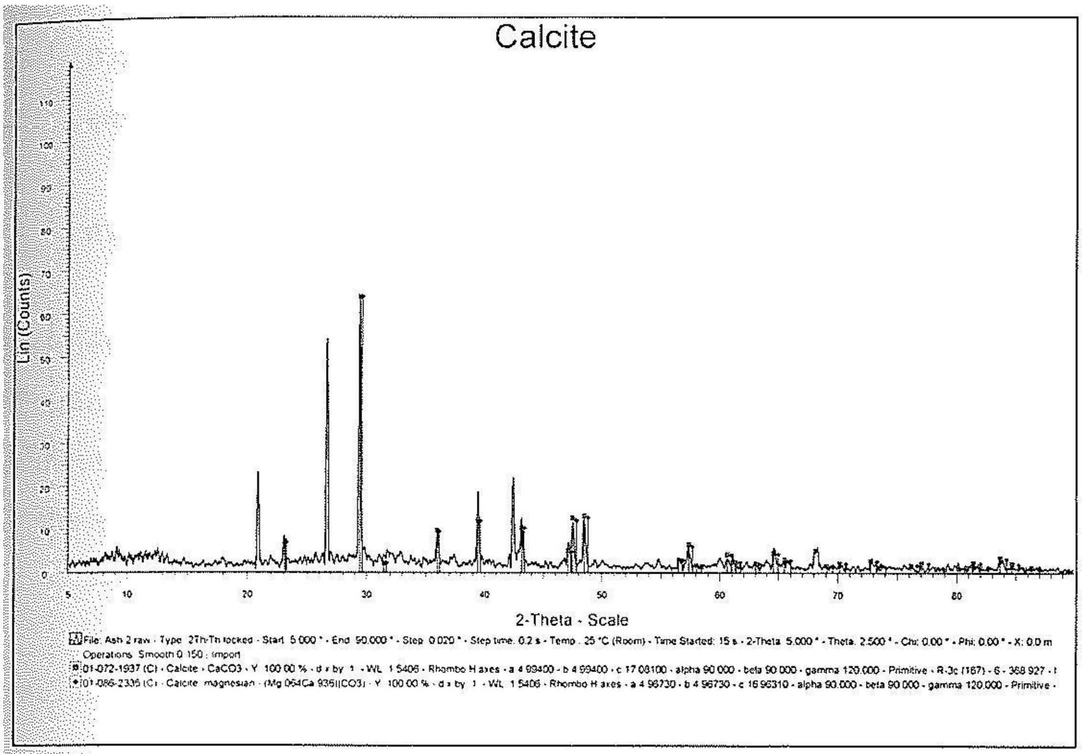
5) TOP-BOR (Boron oxide) ซื้อมาจากบริษัท อัพบิว เคมีคอล อินดัสทรี จำกัด กิโลกรัมละ 38 บาท (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม) มีองค์ประกอบทางเคมีตามที่แนบในภาคผนวก ก.

6) ฟริต CG-466 ซื้อจากบริษัท อัมรินทร์เซรามิกส์ คอร์เปอเรชัน กิโลกรัมละ 60 บาท ในงานวิจัยนี้เรียกว่า "ฟริต B" มีองค์ประกอบทางเคมีตามที่แนบในภาคผนวก ก.

7) ฟริต ST-8014F ได้รับอนุเคราะห์จากบริษัท สยามฟริท จำกัด กิโลกรัมละ 20 บาท ในรายงานวิจัยนี้เรียกว่า "ฟริต A" มีองค์ประกอบทางเคมีตามที่แนบในภาคผนวก ก.



รูปที่ 8 กราฟเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffraction pattern) ของขี้เถ้าไม้ยูคาลิปตัส



รูปที่ 9 กราฟเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffraction pattern) ของขี้เถ้าไม้รวม

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าไม้ยูคาลิปตัสและขี้เถ้าไม้รวม

องค์ประกอบทางเคมี	ขี้เถ้าไม้ยูคาลิปตัส (%wt)	ขี้เถ้าไม้รวม (%wt)
Silica (SiO_2)	0.62	12.0
Alumina (Al_2O_3)	0.11	0.75
Iron oxide (Fe_2O_3)	0.11	0.58
Potassium oxide (K_2O)	4.80	1.61
Magnesium oxide (MgO)	3.49	5.90
Calcium oxide (CaO)	46.1	49.6
Sodium oxide (Na_2O)	0.64	0.11
Sulphur trioxide (SO_3)	1.62	1.28
Manganese oxide (MnO)	1.98	0.23
Phosphorus pentaoxide (P_2O_5)	1.69	2.85
Strontium oxide (SrO)	0.08	0.22
Loss on ignition (1000°C)	38.7	24.4

2.2 การทดลองที่ 1

จุดประสงค์

เพื่อศึกษาผลการลดอุณหภูมิของตัวช่วยลดอุณหภูมิ (Flux) ชนิดต่างๆ

ความเป็นมา

เนื่องจากต้องการพัฒนาเนื้อดินปั้นที่มีจุดสุกตัวไม่เกิน 1000 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ทำผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ ให้กับอุตสาหกรรมด่านเกวียน และปัจจุบันผู้ประกอบการที่ด่านเกวียนต้องเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิประมาณ 1200 องศาเซลเซียส จึงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติใกล้เคียงความเป็นสโตนแวร์ (มีการดูดซึมน้ำไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์) ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดลองที่ 1 เพื่อศึกษาดูว่า Flux ชนิดต่าง ๆ มีผลต่อเนื้อดินปั้นด่านเกวียนอย่างไร

วิธีการทดลอง

ผสมสูตรส่วนผสมระหว่างเนื้อดินปั้นด่านเกวียนกับ Flux ชนิดต่าง ๆ ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

1) นำเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่ได้จากโรงงานทั้ง 3 มาอบ แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช เพื่อคัดขนาดด้วยเครื่องกรอง

2) นำผงดินที่ได้ผสมเข้ากับ Flux ชนิดต่าง ๆ ตามสูตรในตารางที่ 3 โดยใช้เครื่องบดผสม Mortar grinder ดังรูปที่ 10

3) แล้วนำมาชั่งน้ำหนักให้ได้ 10 กรัมแล้วอัดด้วยเครื่องไฮดรอริกดังรูปที่ 11 ด้วยแรงอัด 636.9 กก./ซม^2 ได้ชิ้นตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 มม. และสูง 18 มม. จำนวน 168 ชิ้น

4) ชั่งน้ำหนักและวัดขนาดชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและบันทึกค่า

5) นำชิ้นตัวอย่างที่ได้ในแต่ละสูตรการทดลองไปเผาในเตาไฟฟ้า ดังรูปที่ 12 ที่อุณหภูมิ 800, 900, 1000, 1100 และ 1200 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (heating rate) 5 องศาเซลเซียส/นาที ไม่ยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุด และอัตราการลดอุณหภูมิ (Cooling rate) 10 องศาเซลเซียส/นาที

6) วัดขนาดชิ้นตัวอย่างหลังเผาและบันทึกค่า เพื่อนำไปคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว (% Linear Shrinkage)

7) นำชิ้นตัวอย่างไปต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ปิดฝาด้วย ต้องคอยเติมน้ำให้น้ำเดือดท่วมชิ้นตัวอย่างตลอดเวลาที่ต้มและปล่อยให้เย็นตัวลงในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

8) นำชิ้นตัวอย่างไปชั่งแบบแขวนลอยในน้ำได้เป็นน้ำหนักแขวนลอยในน้ำ (Suspended weight, W_{SS})

9) นำชิ้นตัวอย่างออกมาเอาผ้าเช็ดน้ำที่ไหลเยิ้มออก แล้วชั่งน้ำหนักได้เป็นน้ำหนักอิ่มตัว (Saturated weight, W_S)

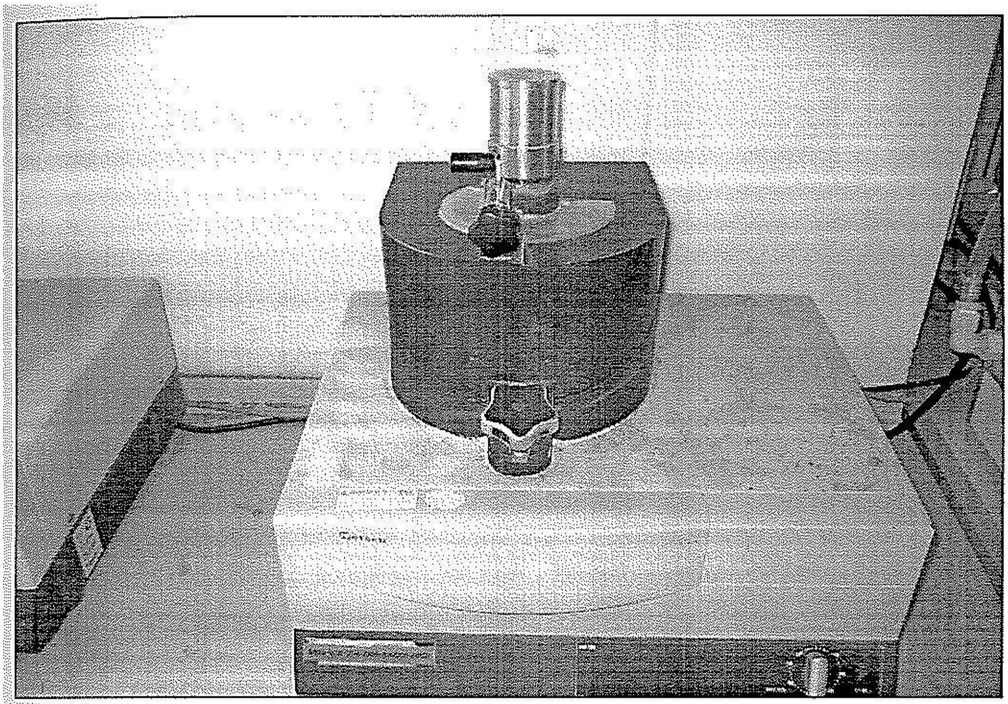
10) นำชิ้นตัวอย่างไปอบจนแห้งสนิทแล้วปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนักได้เป็นน้ำหนักแห้งสุทธิ (Dry weight, W_D)

11) นำค่า W_{SS} , W_S และ W_D ที่ได้ไปหาค่าความหนาแน่น (Bulk density), ความพรุนตัว (Apparent porosity), การดูดซึมน้ำ (Water absorption) และความถ่วงจำเพาะ (Apparent specific gravity)

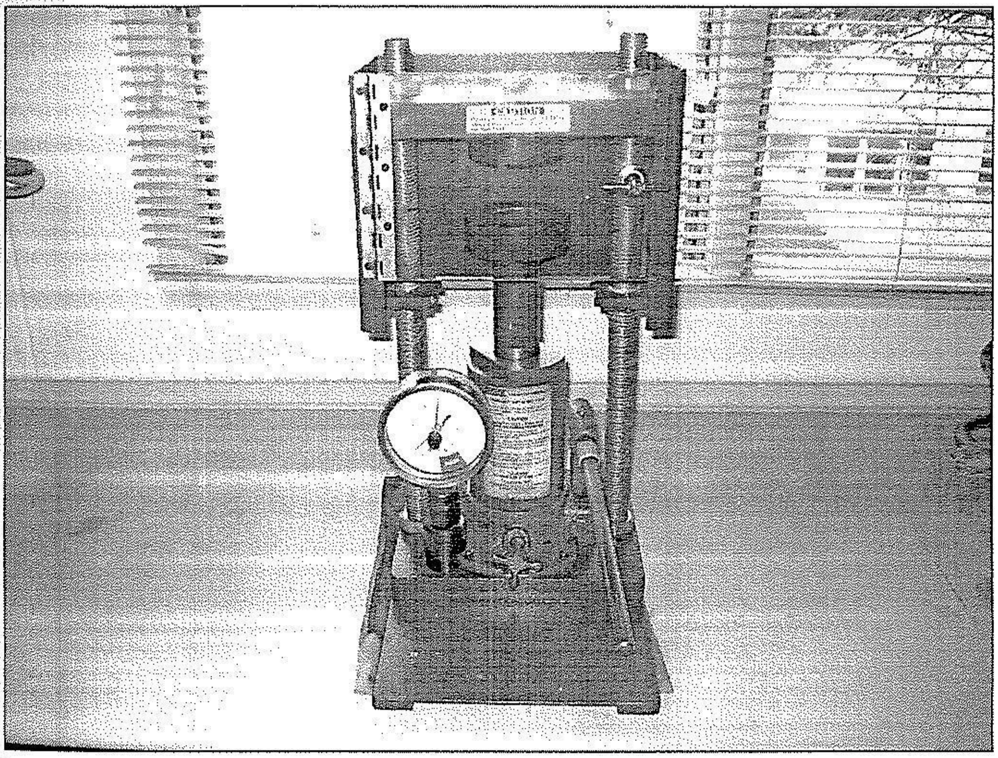
12) เขียนกราฟระหว่างผลของการเติม Flux ในดินด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ และสมบัติที่หาได้

ตารางที่ 3 สูตรส่วนผสมตามอัตราส่วนของ Flux ต่าง ๆ

สูตรส่วนผสมที่	เนื้อดินปั้นด่านเกวียน (กรัม)	Flux ที่เติม (กรัม)
BLANK	100	0
5% Na_2CO_3	95	5
10% Na_2CO_3	90	10
15% Na_2CO_3	85	15
20% Na_2CO_3	80	20
5% Dolomite	95	5
10% Dolomite	90	10
15% Dolomite	85	15
20% Dolomite	80	20
5% Talcum	95	5
10% Talcum	90	10
15% Talcum	85	15
20% Talcum	80	20
5% DK Ash	95	5
10% DK Ash	90	10
15% DK Ash	85	15
20% DK Ash	80	20
5% Top BOR	95	5
10% Top BOR	90	10
15% Top BOR	85	15
20% Top BOR	80	20
5% Euca Ash	95	5
10% Euca Ash	90	10
15% Euca Ash	85	15
20% Euca Ash	80	20



รูปที่ 10 เครื่องบดผสม (Mortar grinder) เพื่อใช้ในการผสมดินด่านเกวียนกับ Flux ต่าง ๆ

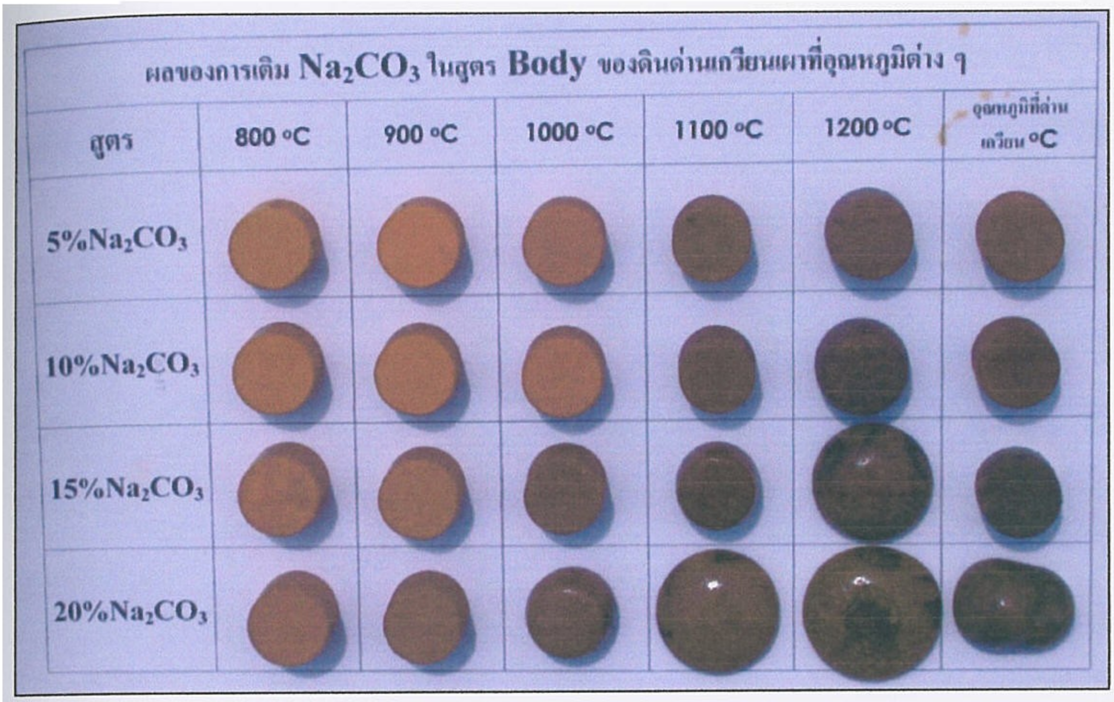


รูปที่ 11 เครื่องไฮดรอริกสำหรับอัดแท่งดินตัวอย่างในการทดสอบสมบัติต่าง ๆ

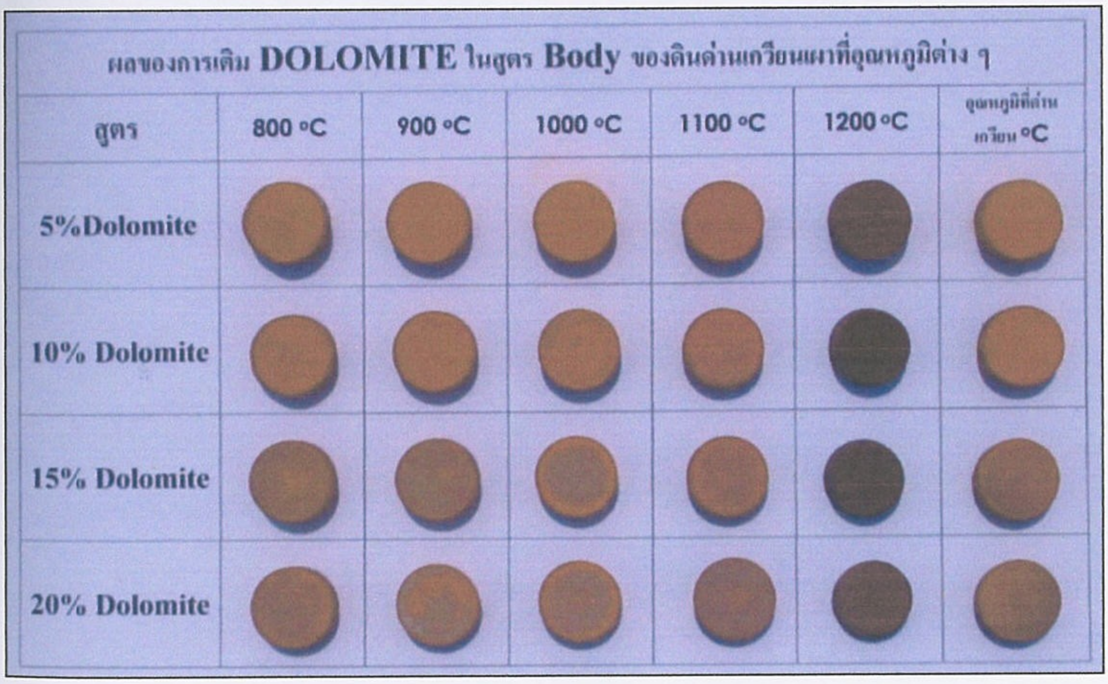
รูปที่ 12 เตาไฟฟ้า carbolite สำหรับเผาชิ้นตัวอย่างสามารถเผาได้อุณหภูมิสูงสุด 1400 องศาเซลเซียส

ผลการทดลอง

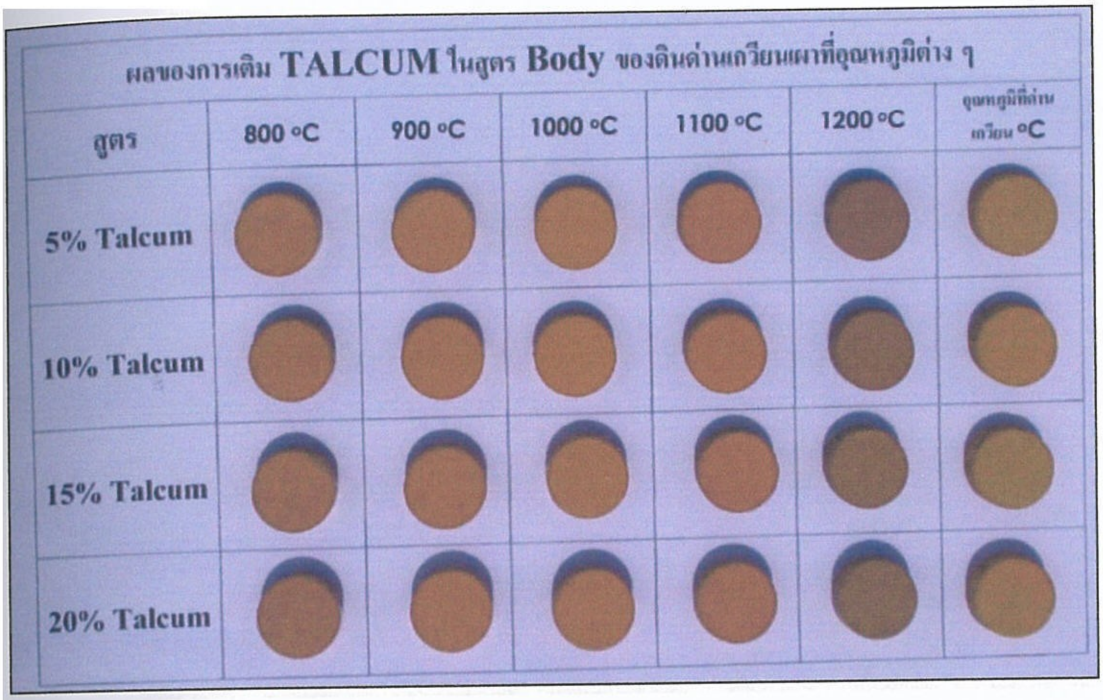
รูปที่ 13-18 แสดงลักษณะชิ้นตัวอย่างสูตรต่าง ๆ ในการทดลองที่ 1, รูปที่ 19-36 แสดงสมบัติทางกายภาพของชิ้นตัวอย่างสูตรต่าง ๆ ในการทดลองที่ 1 จากการทดลองที่ 1 ยังไม่พบสูตรใดที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำต่ำกว่า 3-5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเผาไม่เกิน 1000 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการทดลองนี้พบว่า Flux ที่สามารถลดจุดสุกตัวของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนได้ดีที่สุดคือ โซดาแอช (Na_2CO_3) ซึ่งเป็น Flux ที่มีส่วนประกอบหลักเป็นธาตุหมู่ที่ 1 ในตารางธาตุ การทดลองต่อไปเป็นการทดลองเติมวัตถุดิบซึ่งเป็น Flux ที่ให้ธาตุหมู่ที่ 2 เช่น ขี้เถ้ารวม (DK ash) ลงมาช่วยเสริมแรงกับโซดาแอช



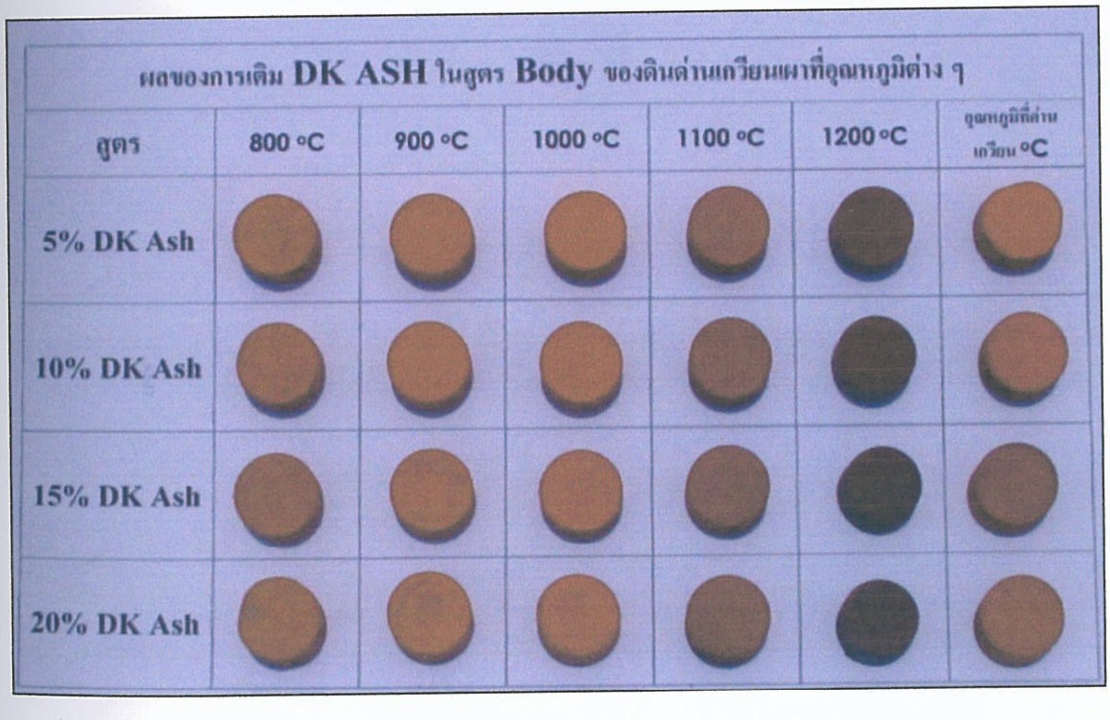
รูปที่ 13 ผลการเติมโซดาแอชในเนื้อดินปั้นด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



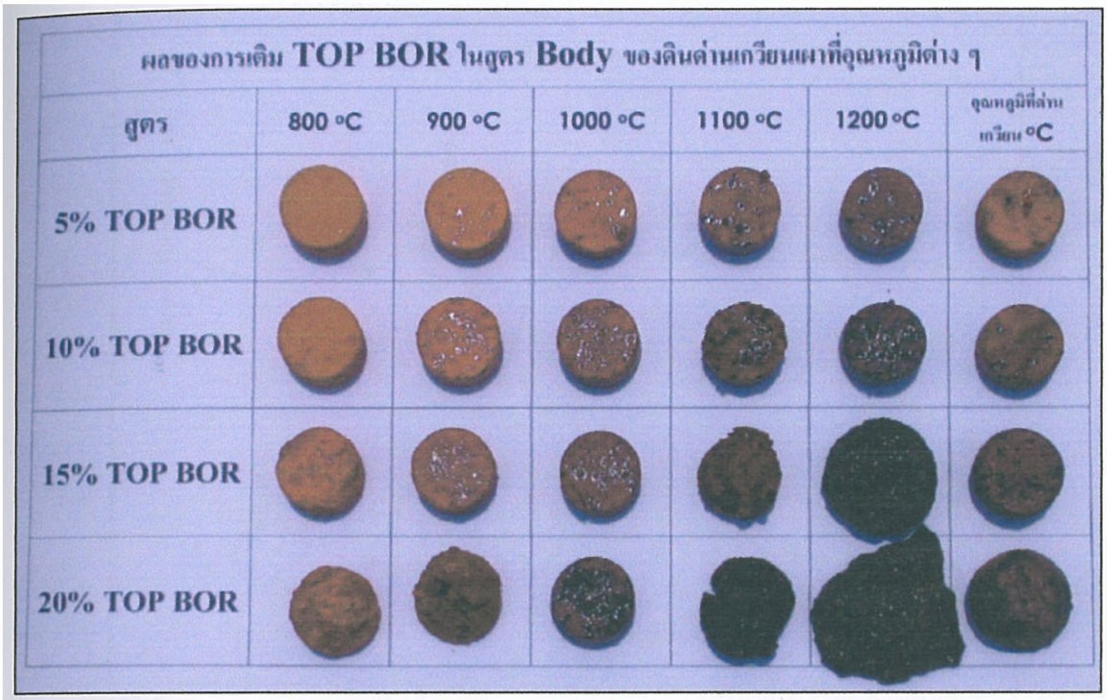
รูปที่ 14 ผลการเติมโดโลไมท์ในเนื้อดินปั้นด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



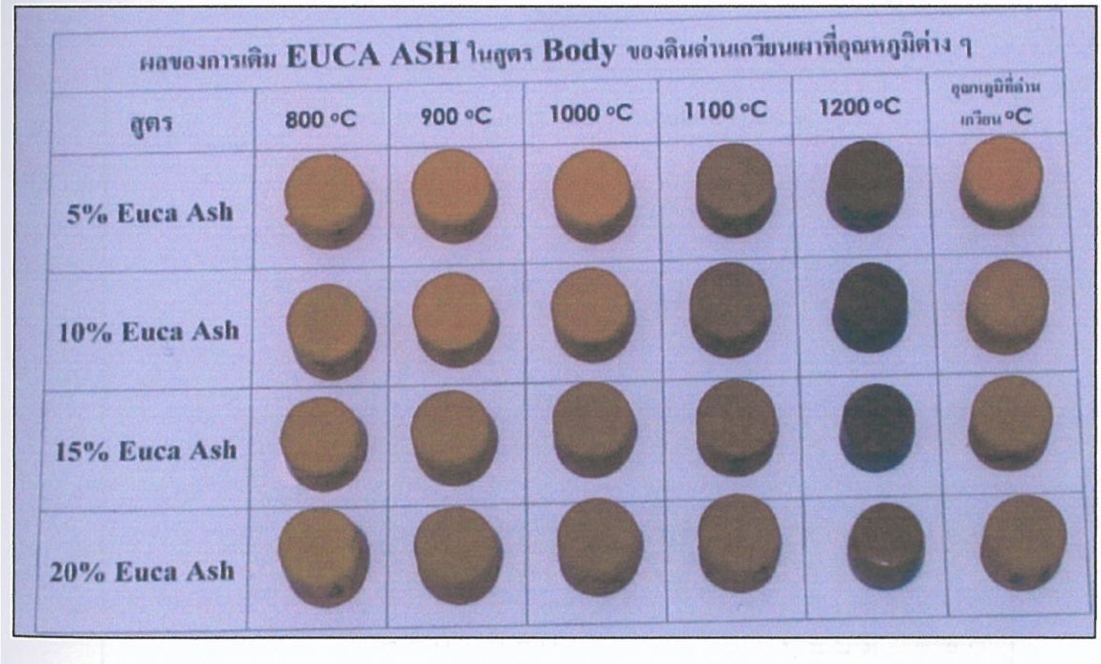
รูปที่ 15 ผลการเติมทัลคัมในเนื้อดินปั้นด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



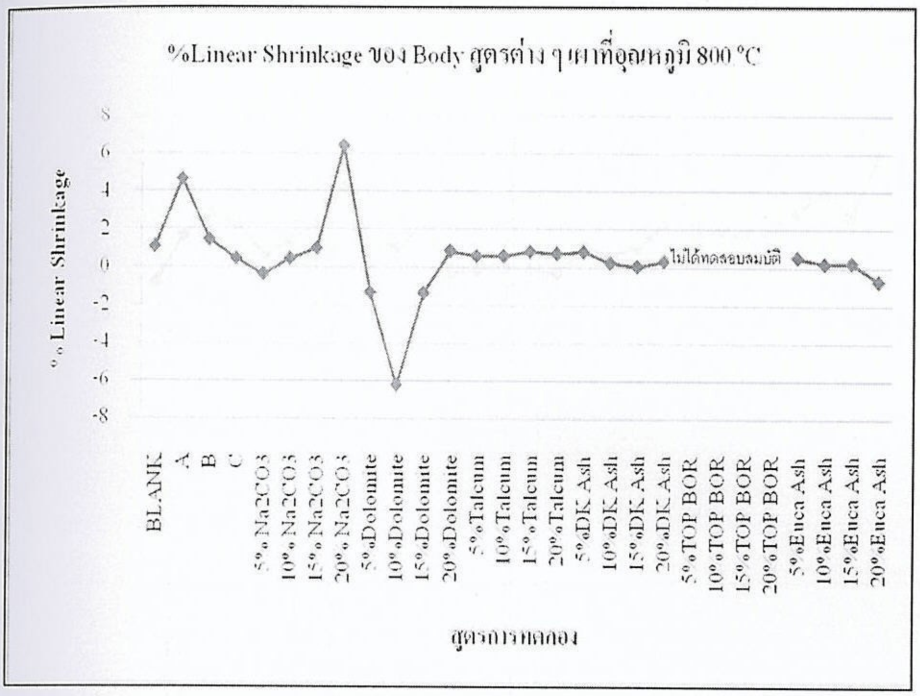
รูปที่ 16 ผลการเติมขี้เถ้ารวมในเนื้อดินปั้นด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



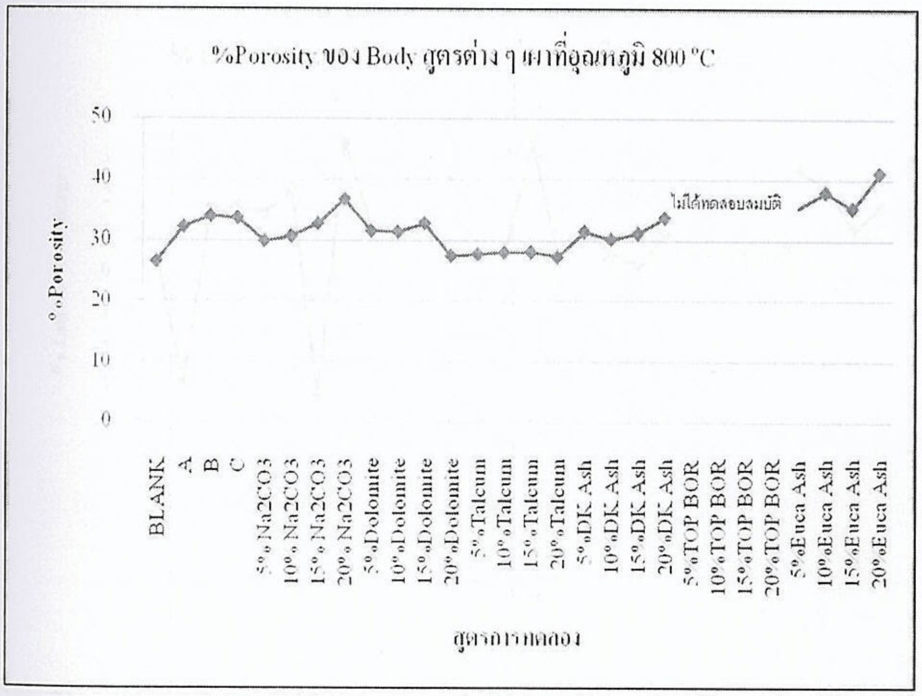
รูปที่ 17 ผลการเติม TOP - BOR ในเนื้อดินปั้นด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



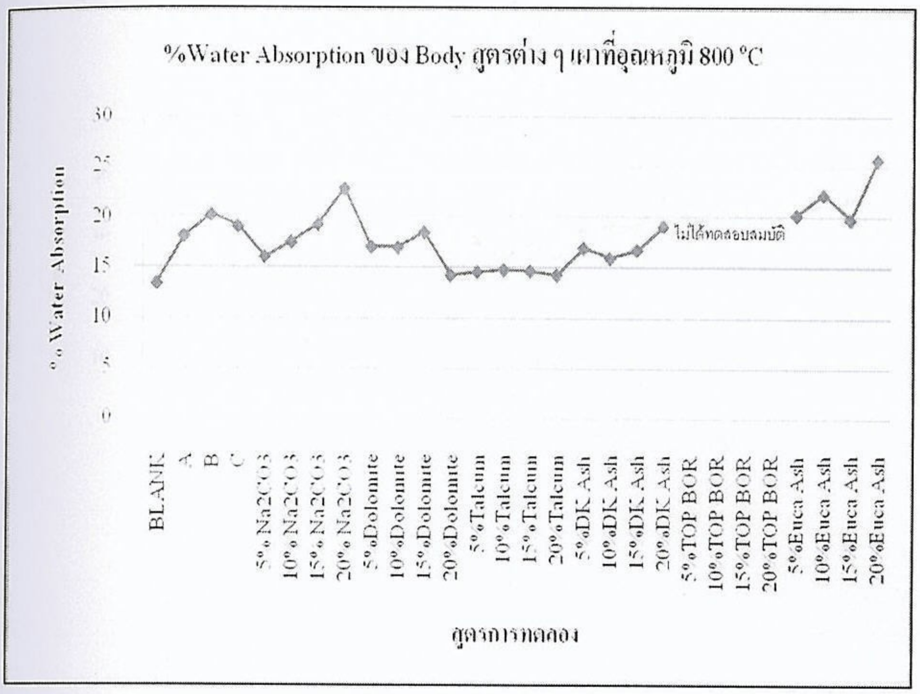
รูปที่ 18 ผลการเติมขี้เถ้ายูคาลิปตัสในเนื้อดินปั้นด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



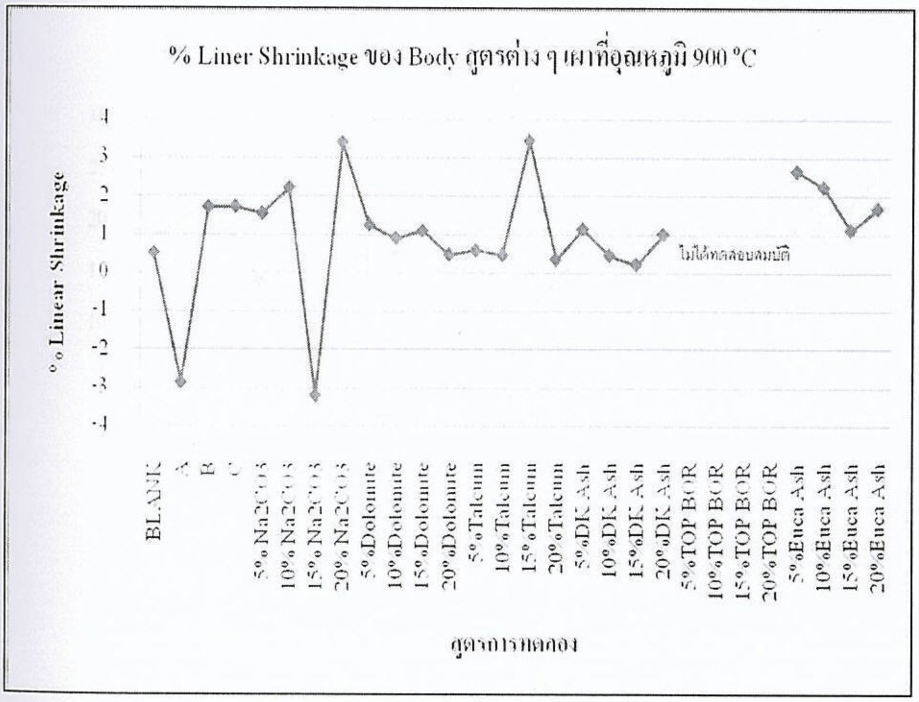
รูปที่ 19 เปอร์เซ็นต์การหดตัว (% Linear Shrinkage) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่ 800 องศาเซลเซียส



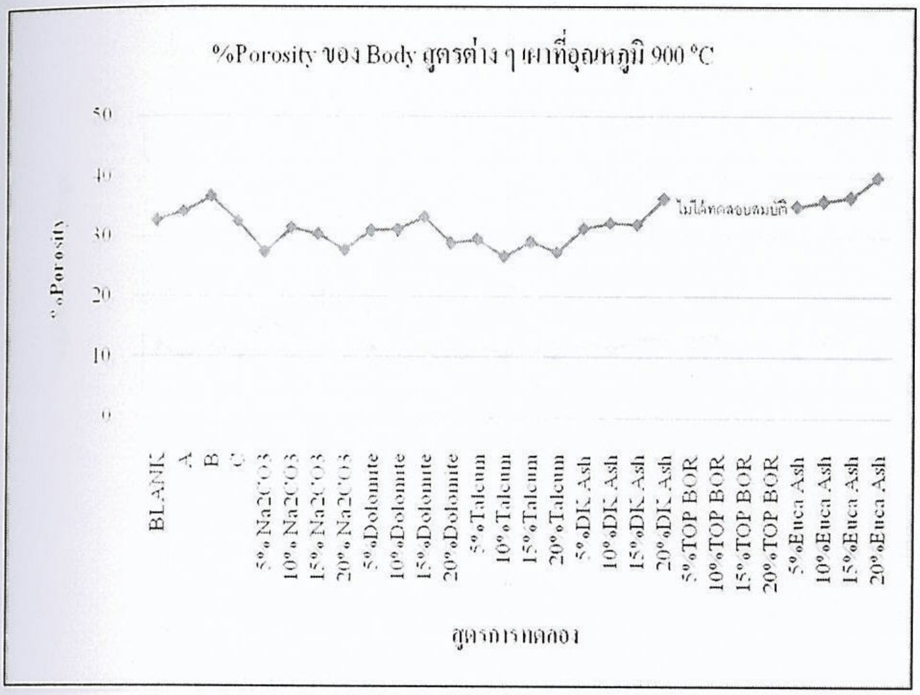
รูปที่ 20 เปอร์เซ็นต์ความพรุนตัว (% Porosity) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่ 800 องศาเซลเซียส



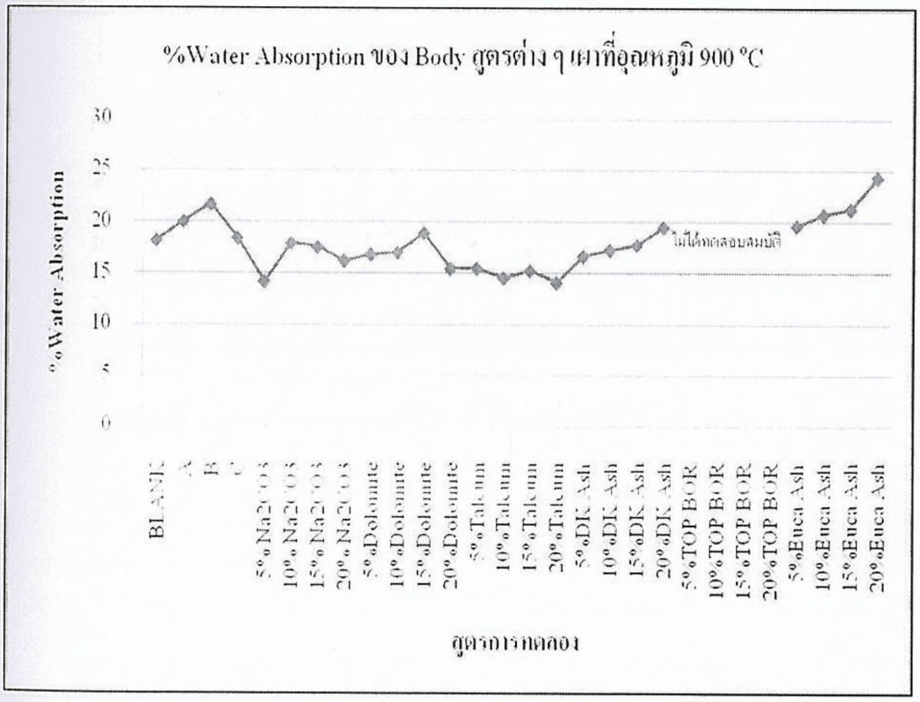
รูปที่ 21 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (% Water Absorption) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่ 800 องศาเซลเซียส



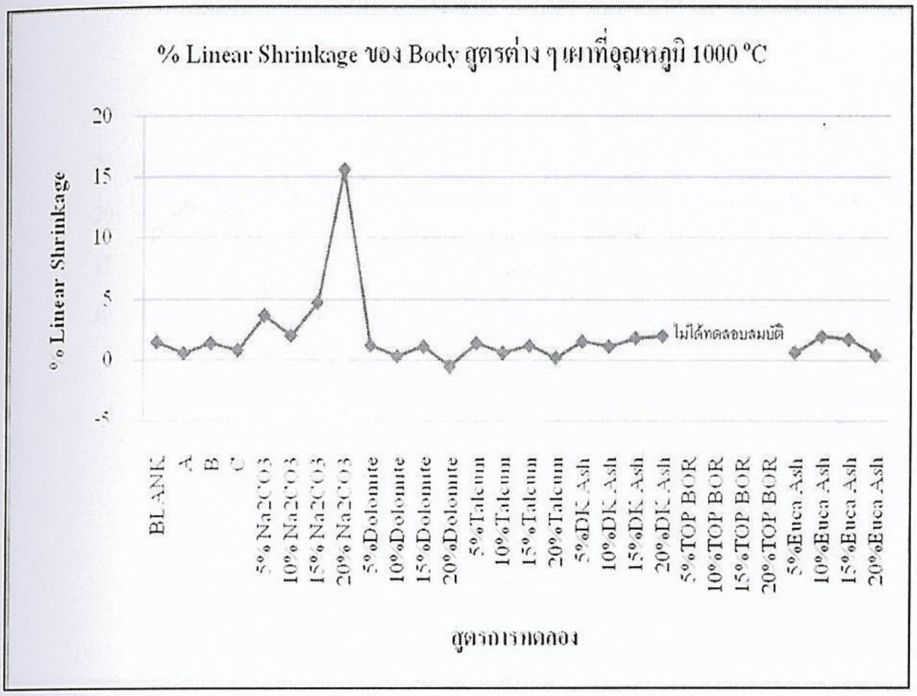
รูปที่ 22 เปอร์เซ็นต์การหดตัว (% Linear Shrinkage) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่ 900 องศาเซลเซียส



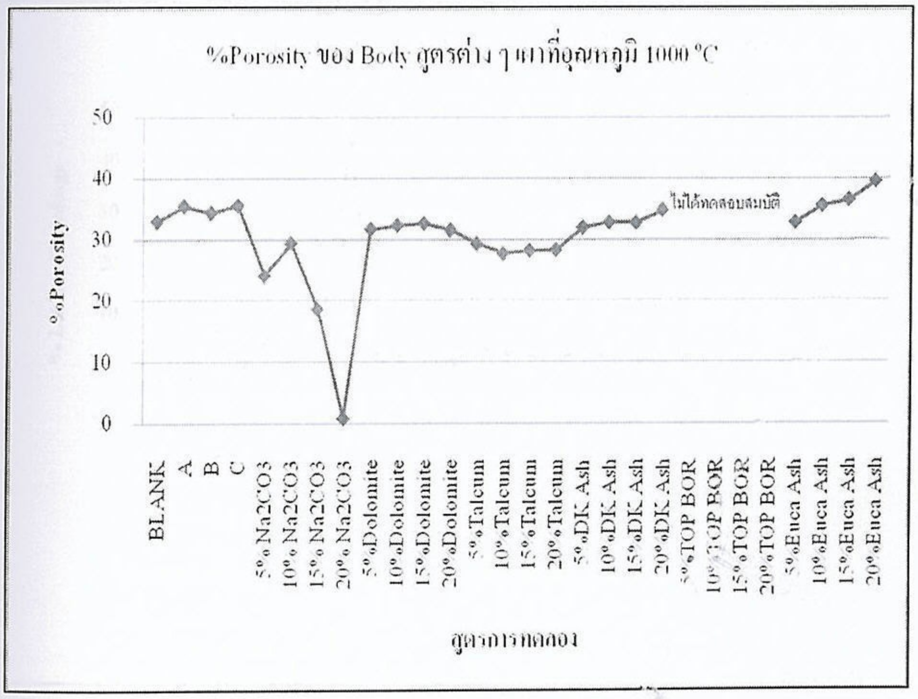
รูปที่ 23 เปอร์เซ็นต์ความพรุนตัว (% Porosity) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่ 900 องศาเซลเซียส



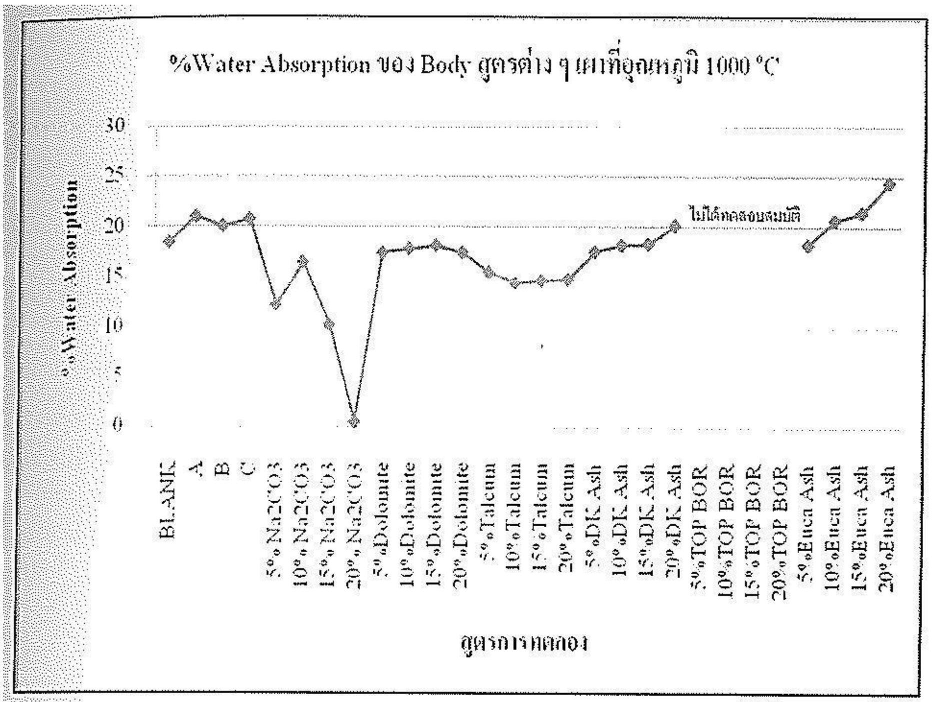
รูปที่ 24 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (% Water Absorption) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่ 900 องศาเซลเซียส



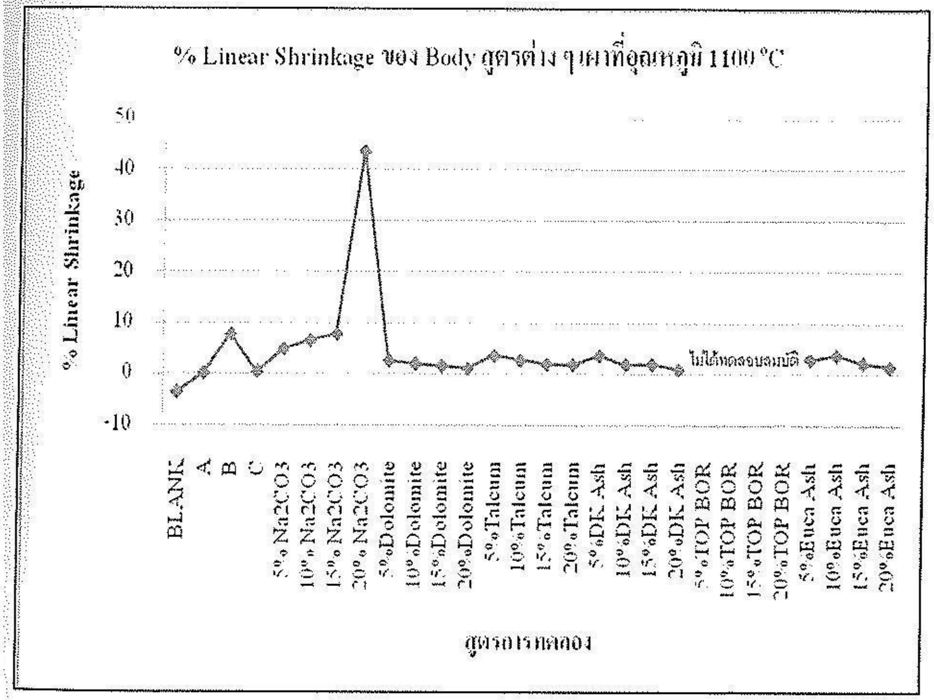
รูปที่ 25 เปอร์เซ็นต์การหดตัว (% Linear Shrinkage) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส



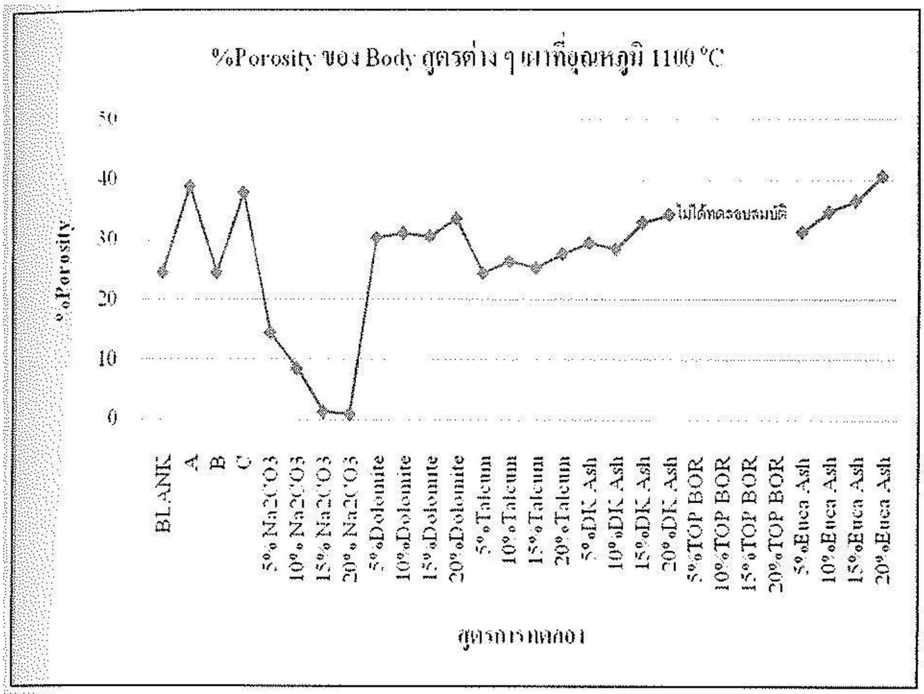
รูปที่ 26 เปอร์เซ็นต์ความพรุนตัว (% Porosity) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส



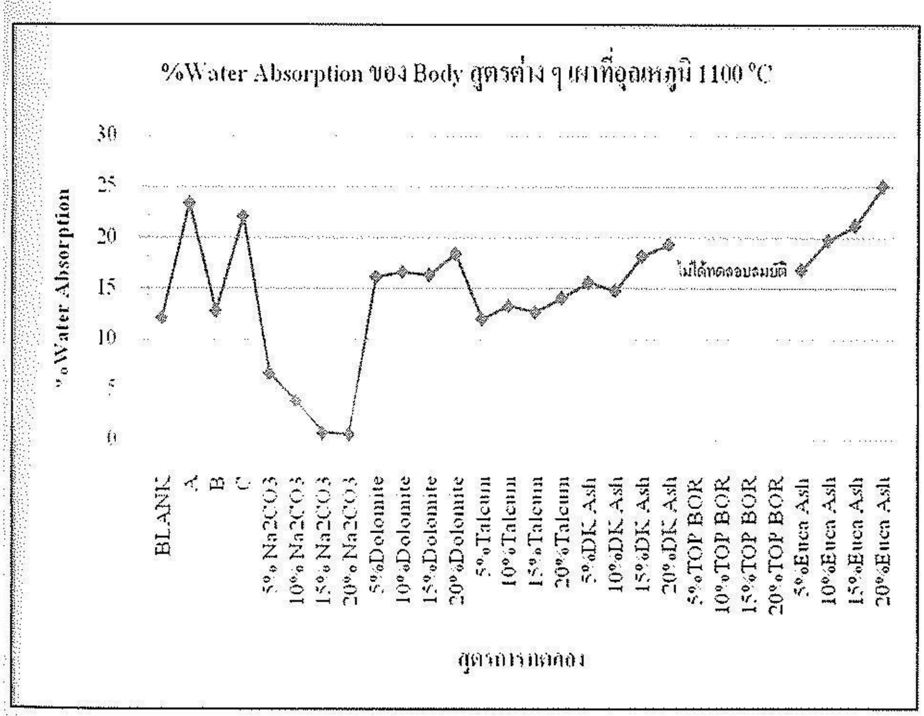
รูปที่ 27 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (% Water Absorption) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส



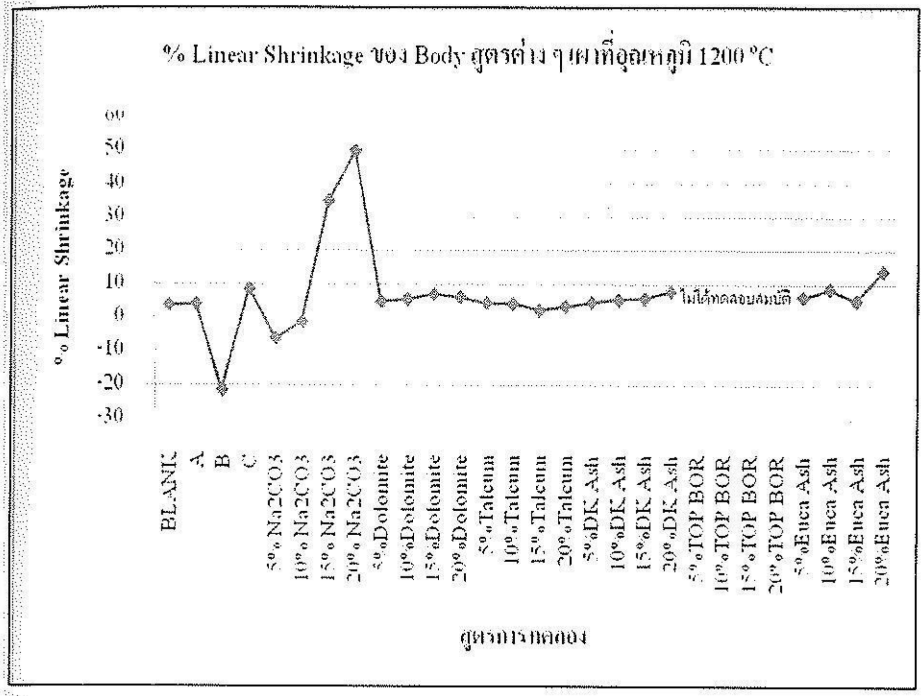
รูปที่ 28 เปอร์เซ็นต์การหดตัว (% Linear Shrinkage) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่ 1100 องศาเซลเซียส



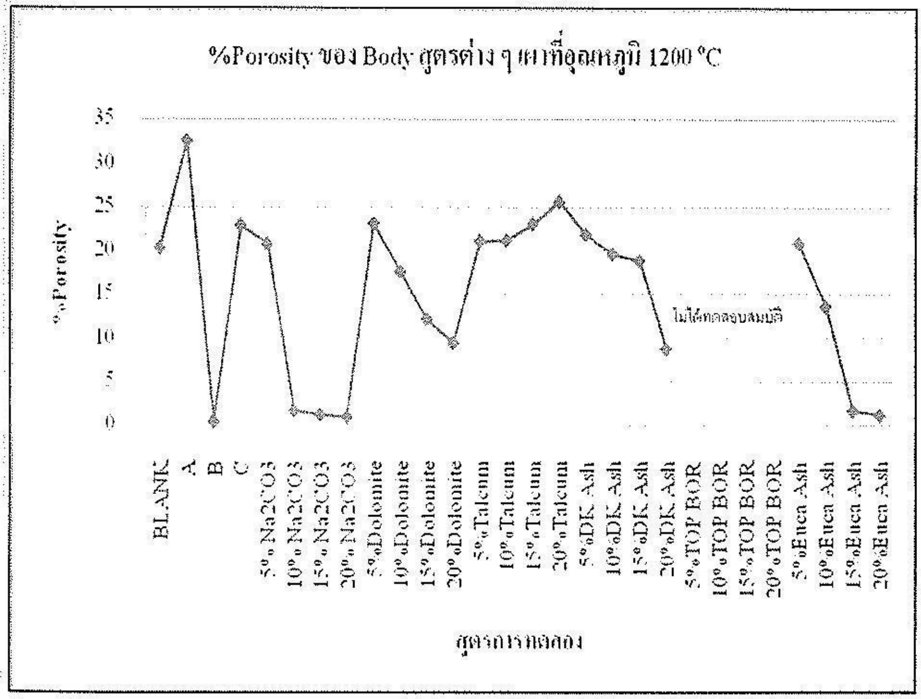
รูปที่ 29 เปอร์เซ็นต์ความพรุนตัว (% Porosity) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่ 1100 องศาเซลเซียส



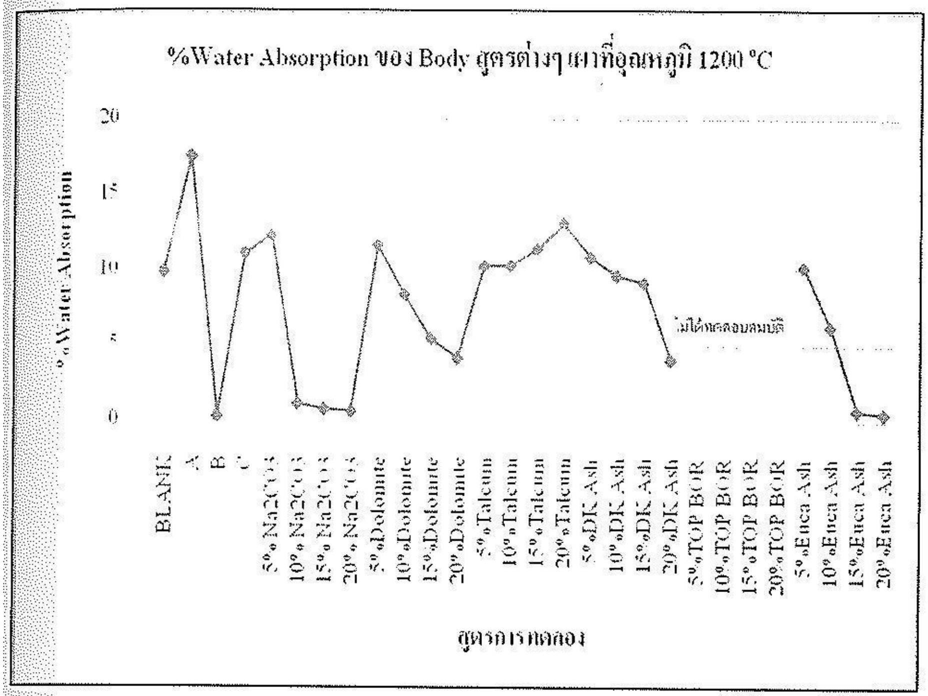
รูปที่ 30 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (% Water Absorption) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่ 1100 องศาเซลเซียส



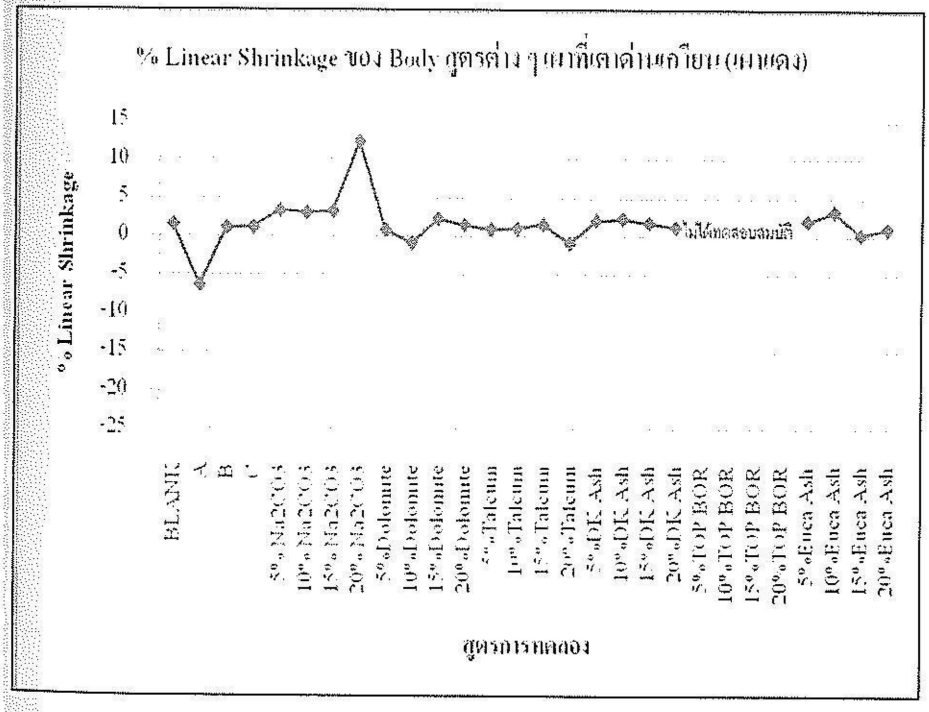
รูปที่ 31 เปอร์เซ็นต์การหดตัว (% Linear Shrinkage) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่ 1200 องศาเซลเซียส



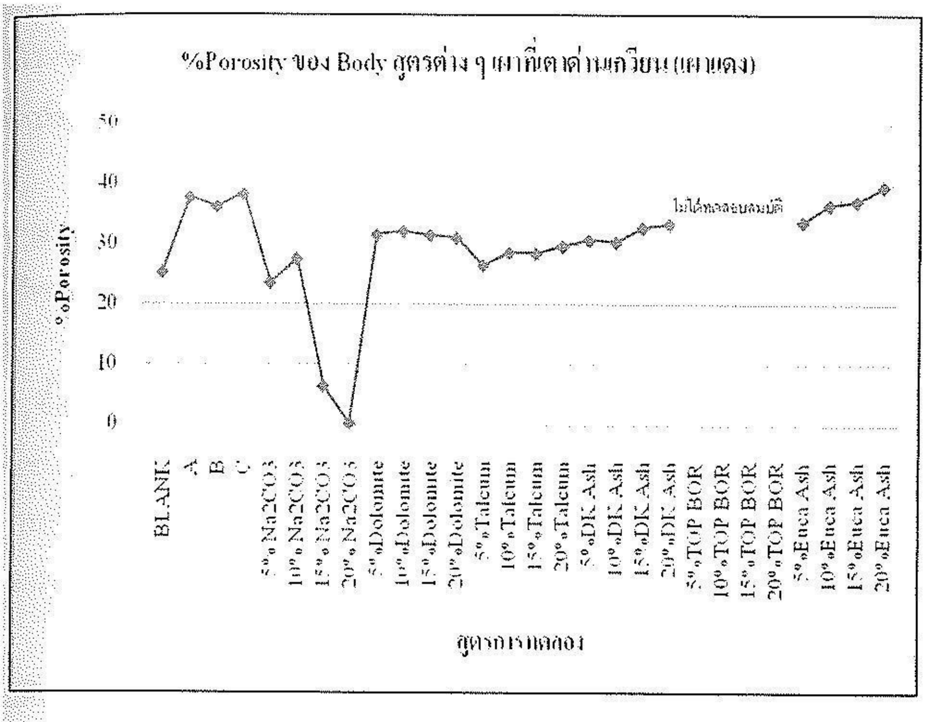
รูปที่ 32 เปอร์เซ็นต์ความพรุนตัว (% Porosity) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่ 1200 องศาเซลเซียส



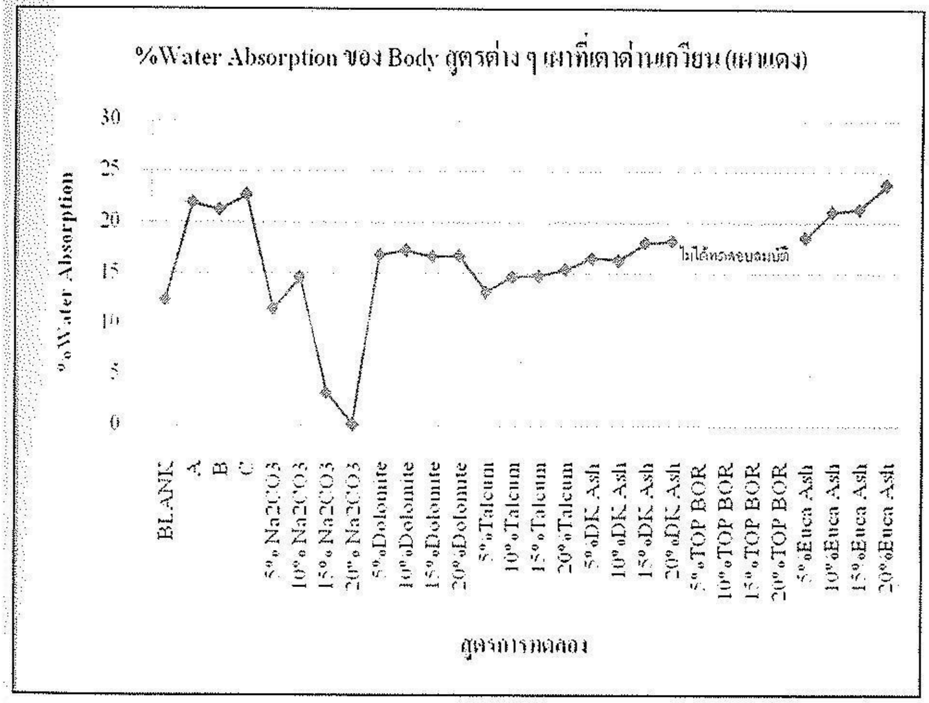
รูปที่ 33 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (% Water Absorption) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่ 1200 องศาเซลเซียส



รูปที่ 34 เปอร์เซ็นต์การหดตัว (% Linear Shrinkage) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่เตาด่านเกวียน



รูปที่ 35 เปอร์เซ็นต์ความพรุนตัว (% Porosity) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่เตาด่านเกวียน



รูปที่ 36 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (% Water Absorption) ของส่วนผสมสูตรต่าง ๆ เผาที่เตาด่านเกวียน

2.3 การทดลองที่ 2

จุดประสงค์

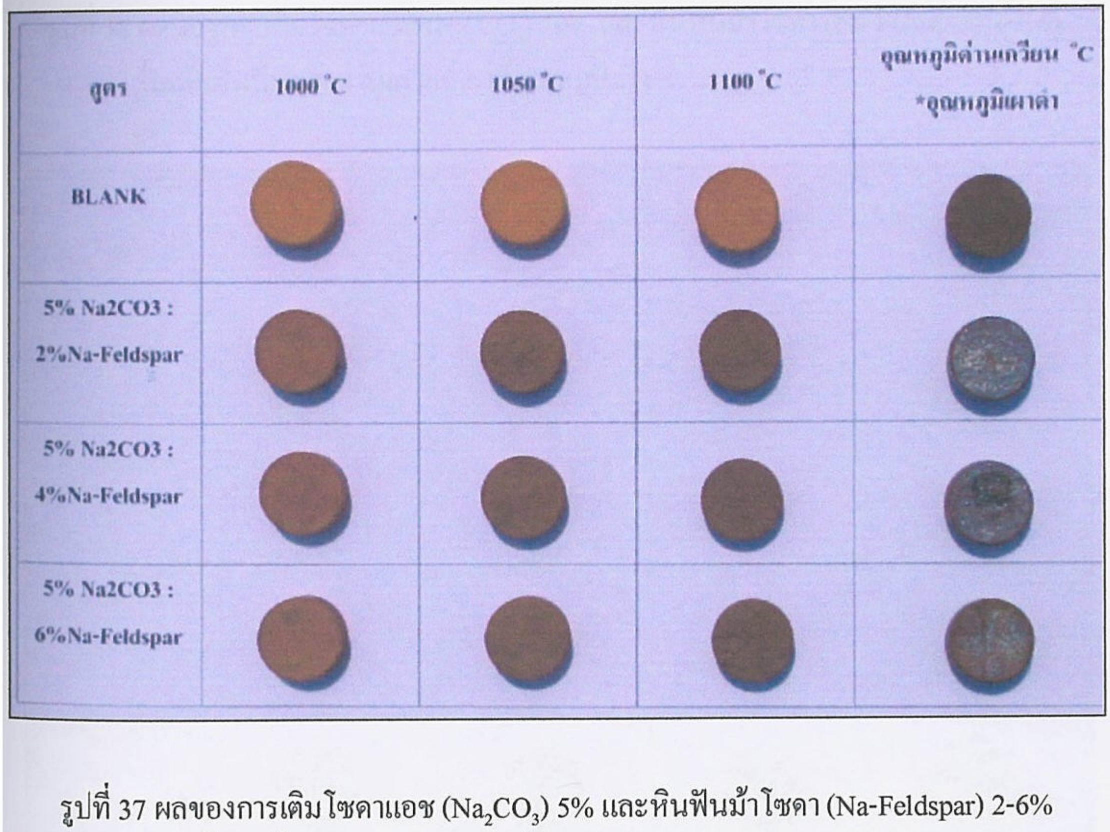
เพื่อศึกษาผลของการเติม Flux ที่ให้ธาตุหมู่ 2 ลงไปช่วยโซดาแอช (Na_2CO_3) ในการลดอุณหภูมิ

วิธีทดลอง

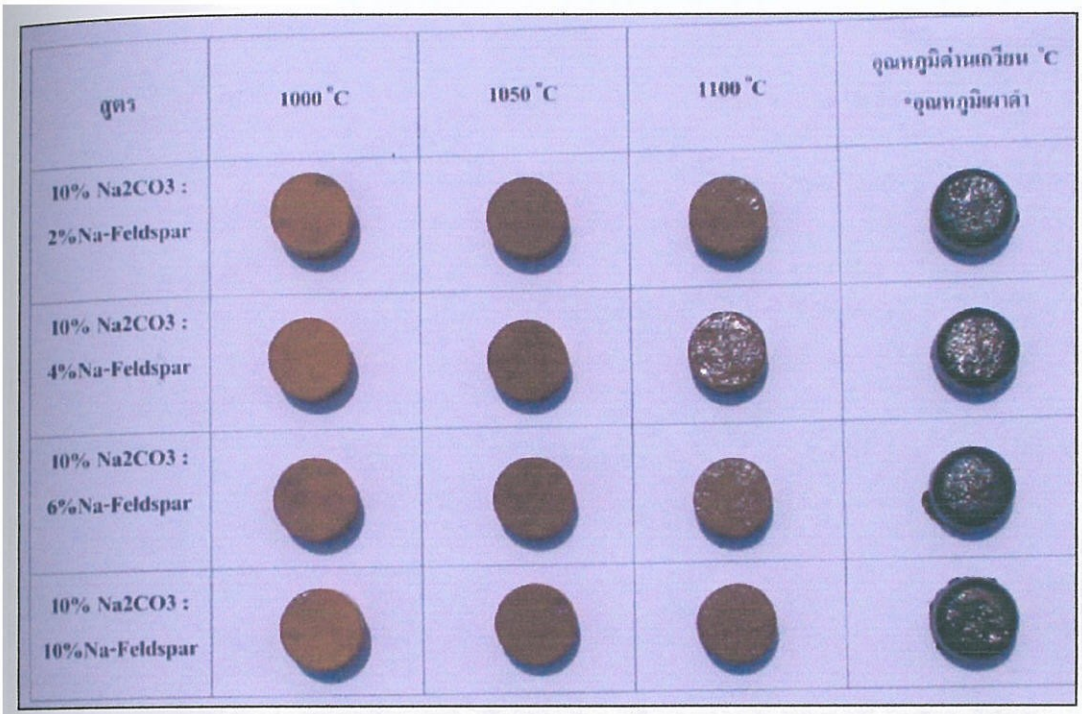
เติมวัตถุดิบที่ประกอบด้วยธาตุหมู่ 2 เช่น หินฟันม้าโซดา (Na-Feldspar), ฟริต (Frit), ขี้เถ้ารวม (DK ash), ทัลคัม (Talcum) และโดโลไมท์ (Dolomite) วัตถุดิบพวกนี้จะให้ธาตุหมู่ 2 เช่น Ba, Ca, Mg ฯลฯ ออกมา ซึ่งจะช่วยลดจุดสุกตัวที่อุณหภูมิในช่วงที่ 2 ของการเผา ทำให้ชิ้นงานที่ได้มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่ต่ำลง

ผลการทดลอง

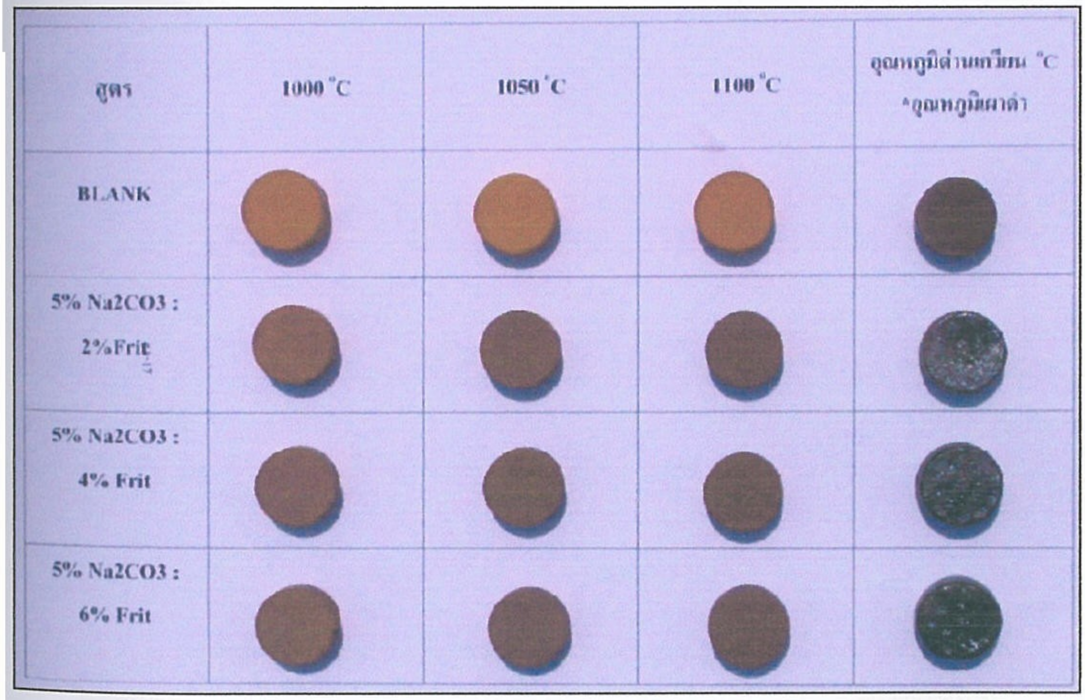
รูปที่ 37-43 แสดงลักษณะต่าง ๆ ของชิ้นงานในการทดลองที่ 2, รูปที่ 44-50 แสดงสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานในการทดลองที่ 2



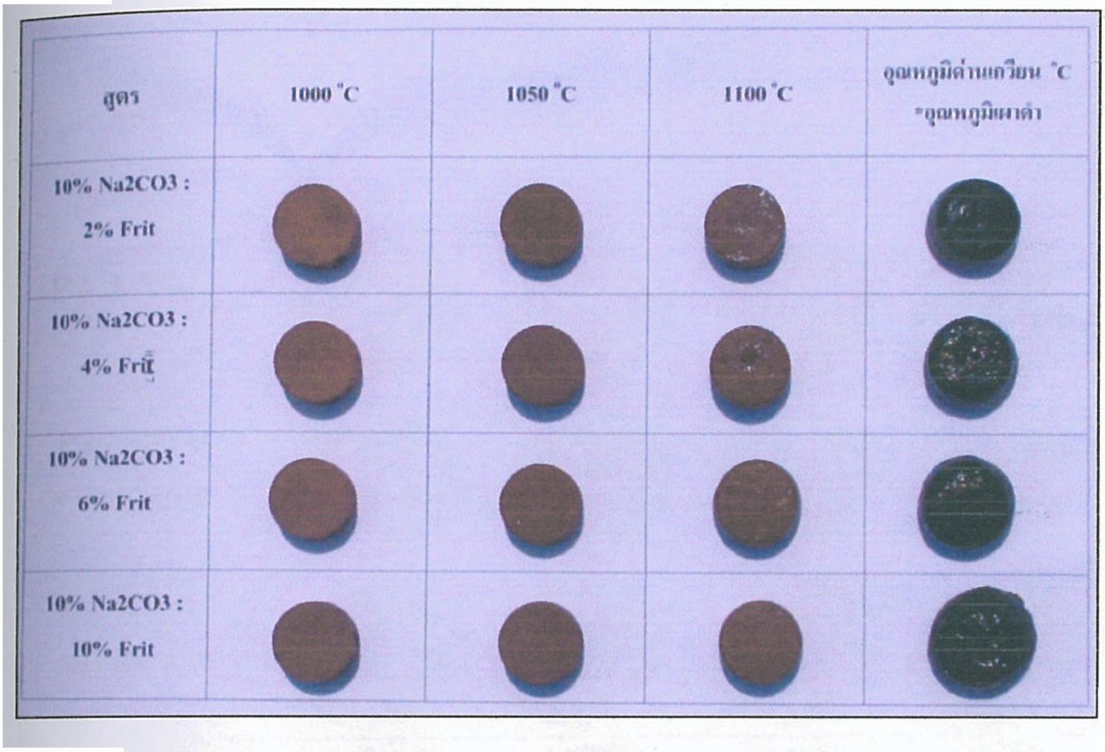
รูปที่ 37 ผลของการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) 5% และหินฟันม้าโซดา (Na-Feldspar) 2-6% ในเนื้อดินปั้นของด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



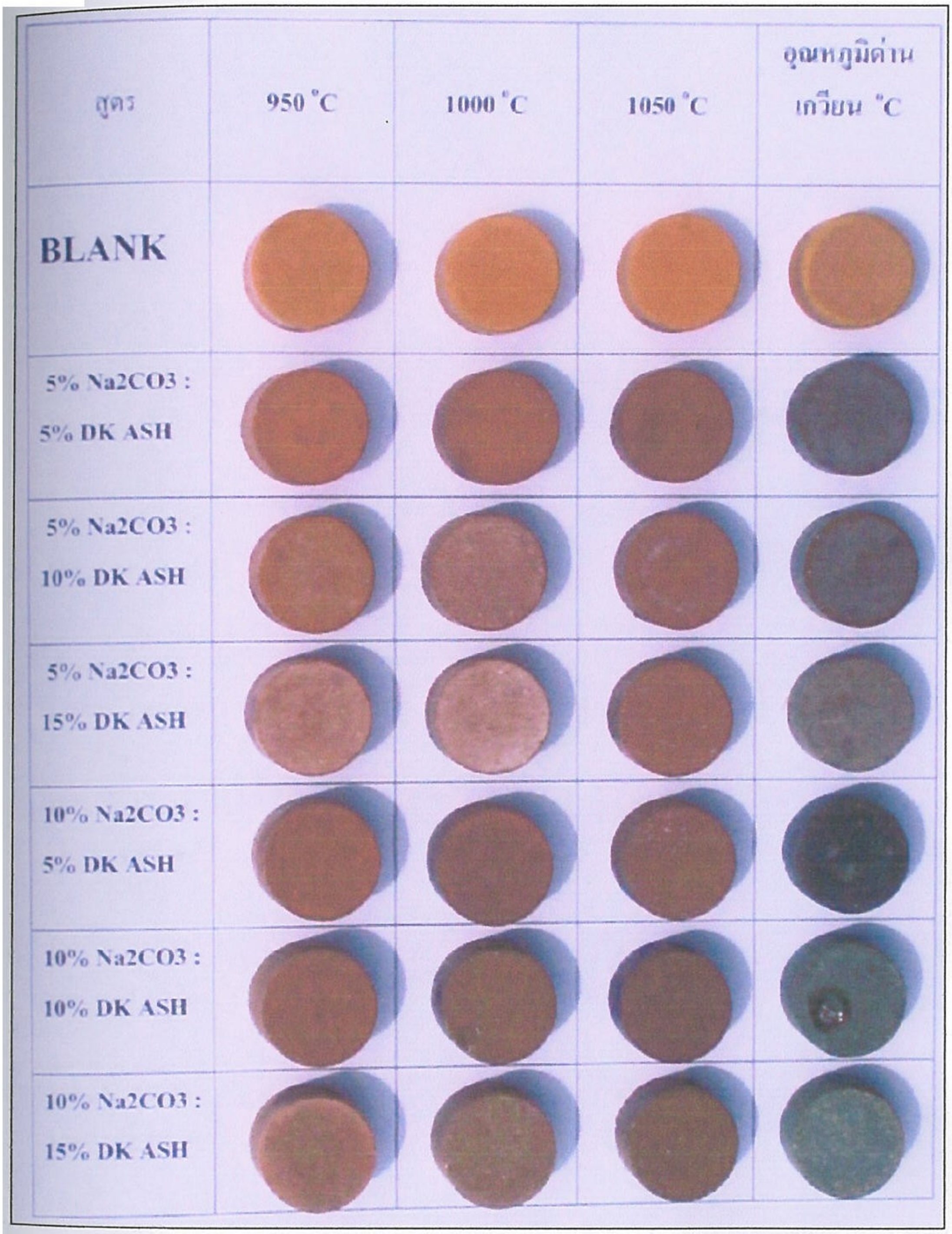
รูปที่ 38 ผลของการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) 10% และหินฟันม้าโซดา (Na-Feldspar) 2-10% ในเนื้อดินปั้นของด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



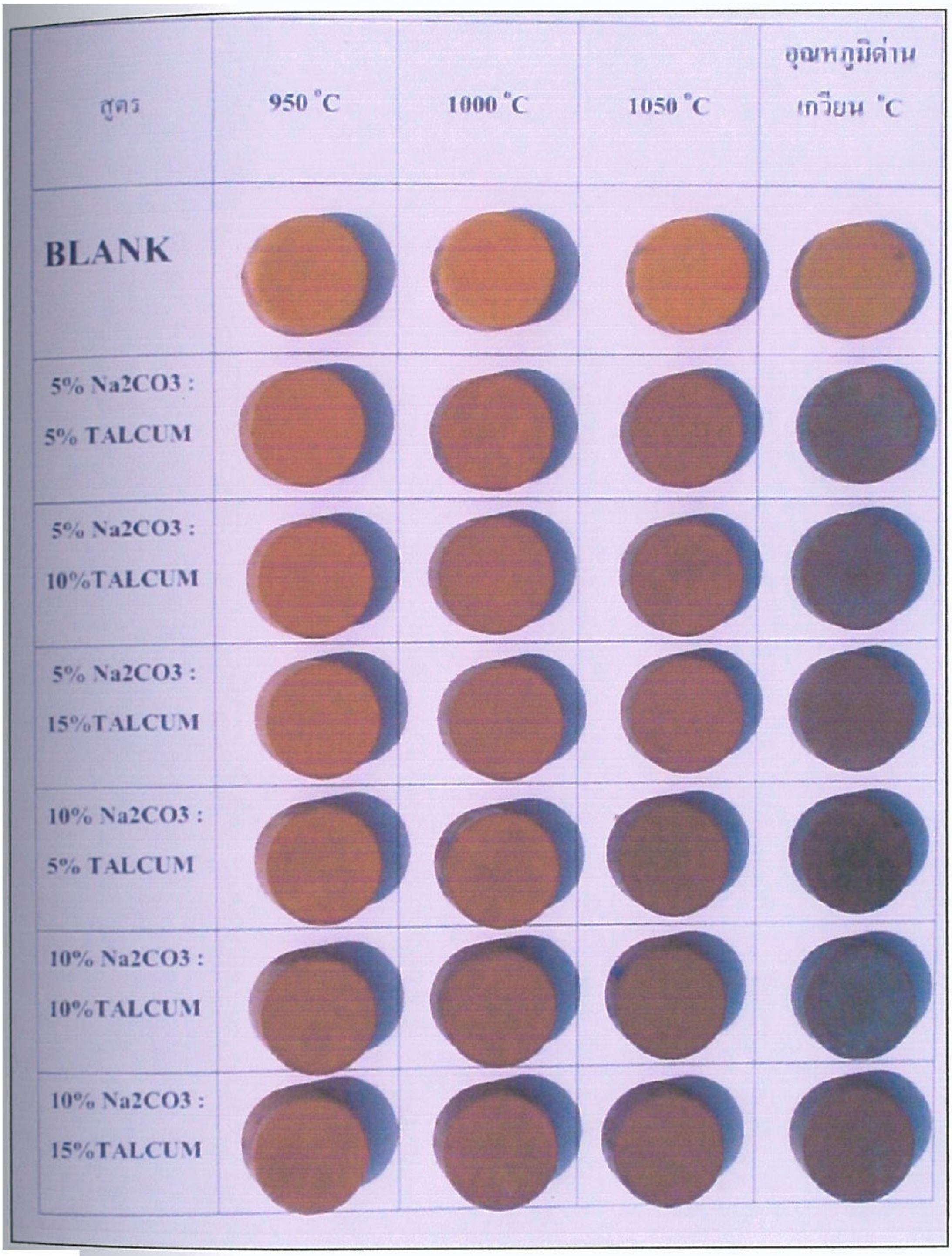
รูปที่ 39 ผลของการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) 5% และฟริต CG466 หรือฟริต B (Frit B) 2-6% ในเนื้อดินปั้นของด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



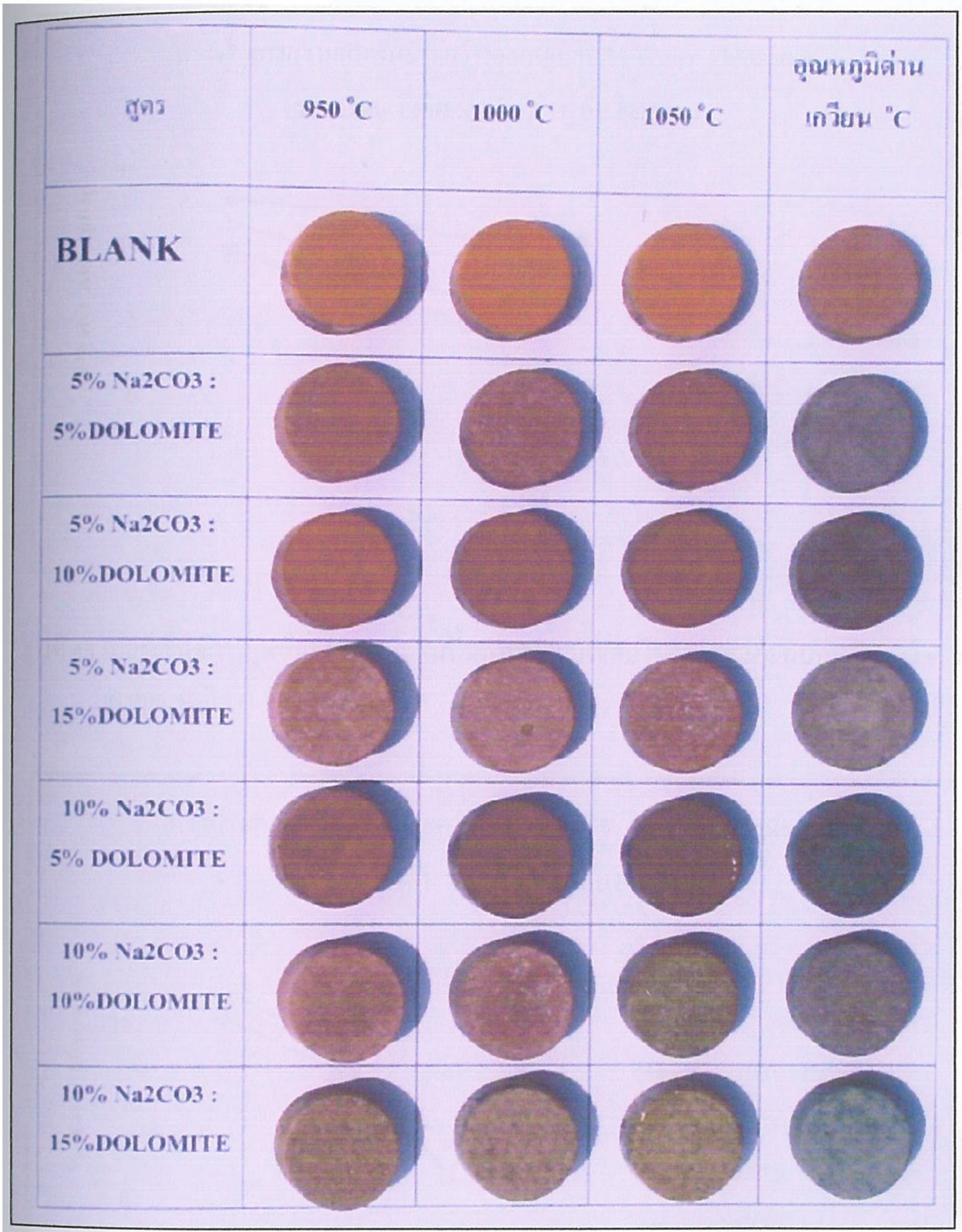
รูปที่ 40 ผลของการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) 10% และฟริต B (Frit B) 2-10% ในเนื้อดินปั้นของด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



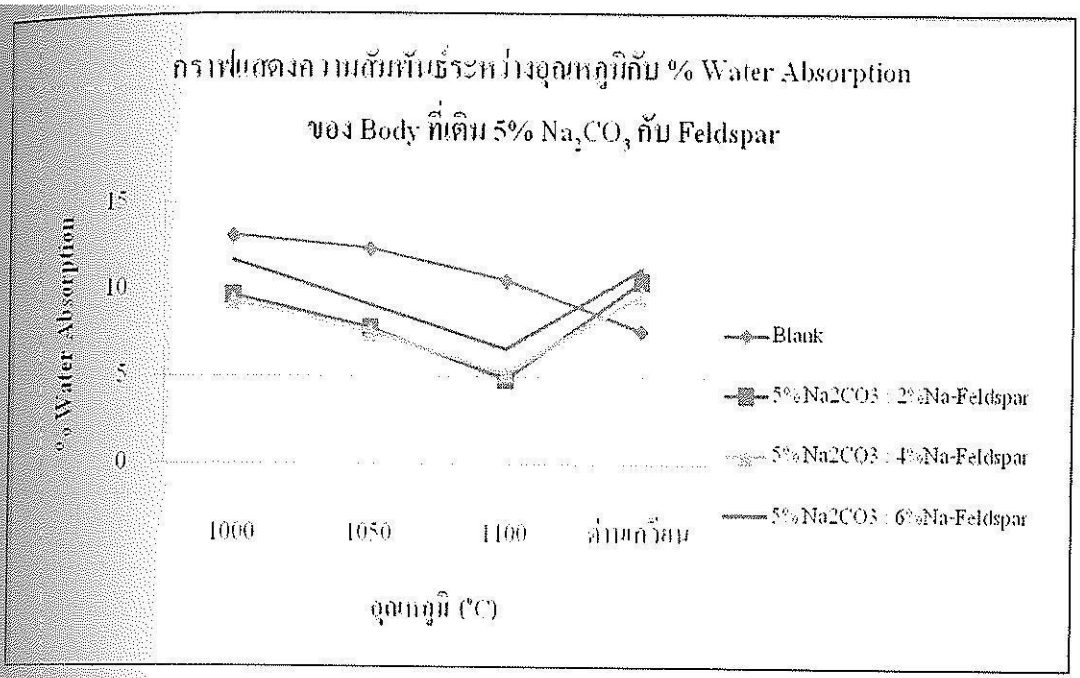
รูปที่ 41 ผลของการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) 5-10% และขี้เถ้ารวม (DK Ash) 5-15% ในเนื้อดินปั้นของด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



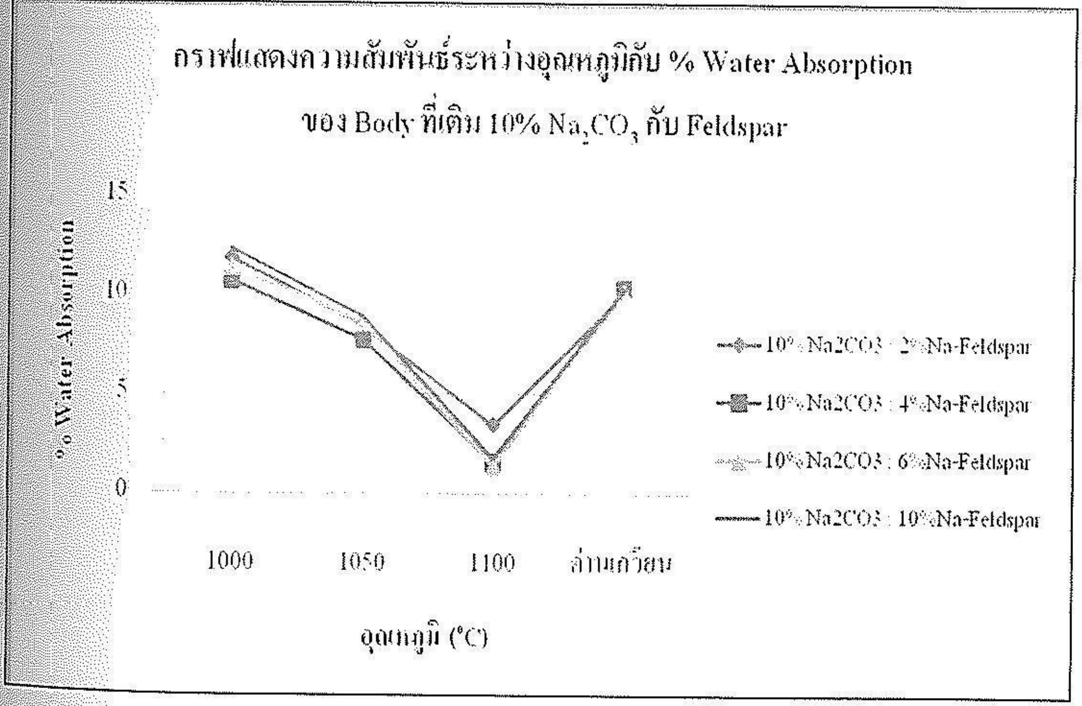
รูปที่ 42 ผลของการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) 5-10% และทัลคัม (Talcum) 5-15% ในเนื้อดินปั้นของด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



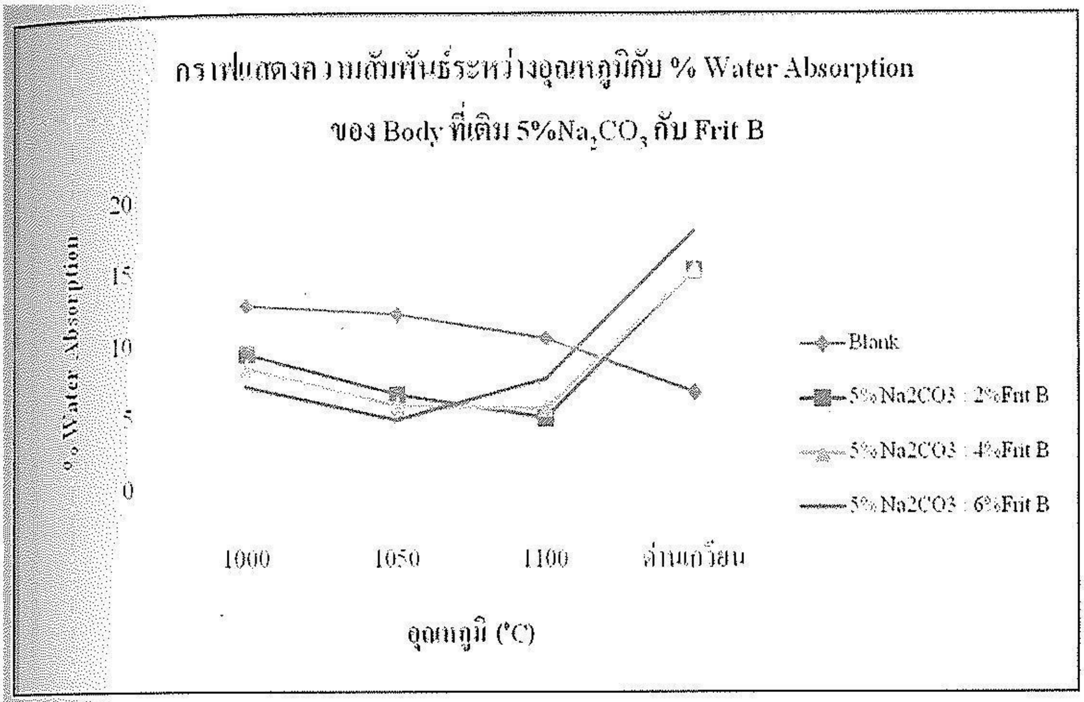
รูปที่ 43 ผลของการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) 5-10% และโดโลไมท์ (Dolomite) 5-15% ในเนื้อดินปั้นของด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



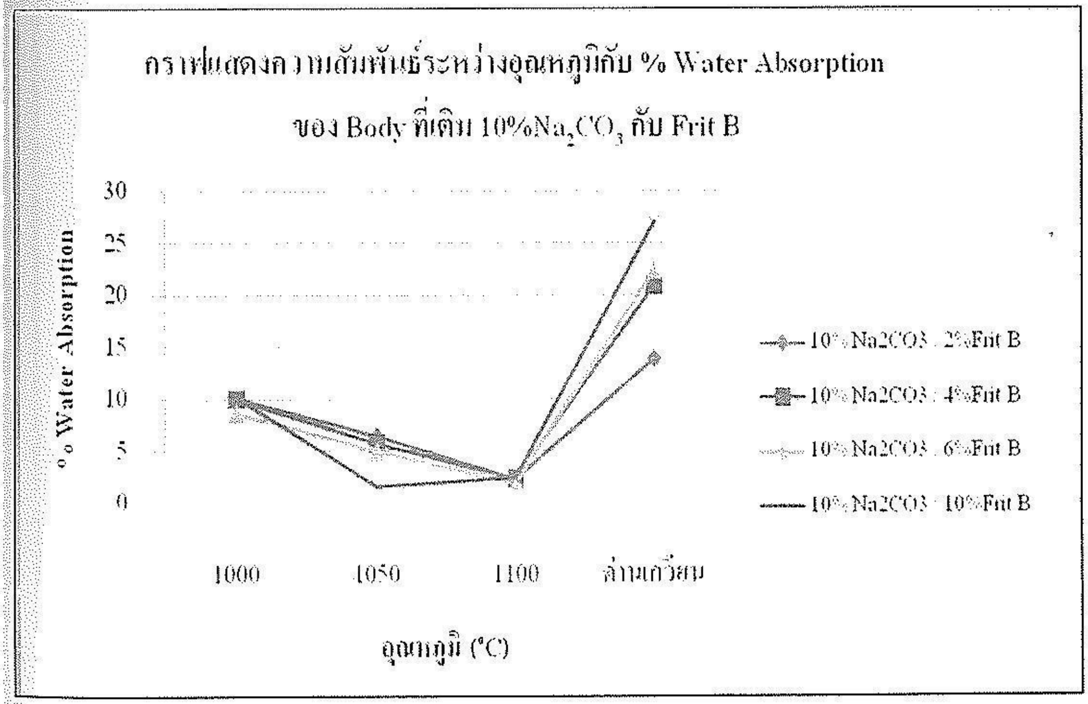
รูปที่ 44 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติมโซดาแอช 5% กับหินฟันม้าโซดา เผาอุณหภูมิต่าง ๆ



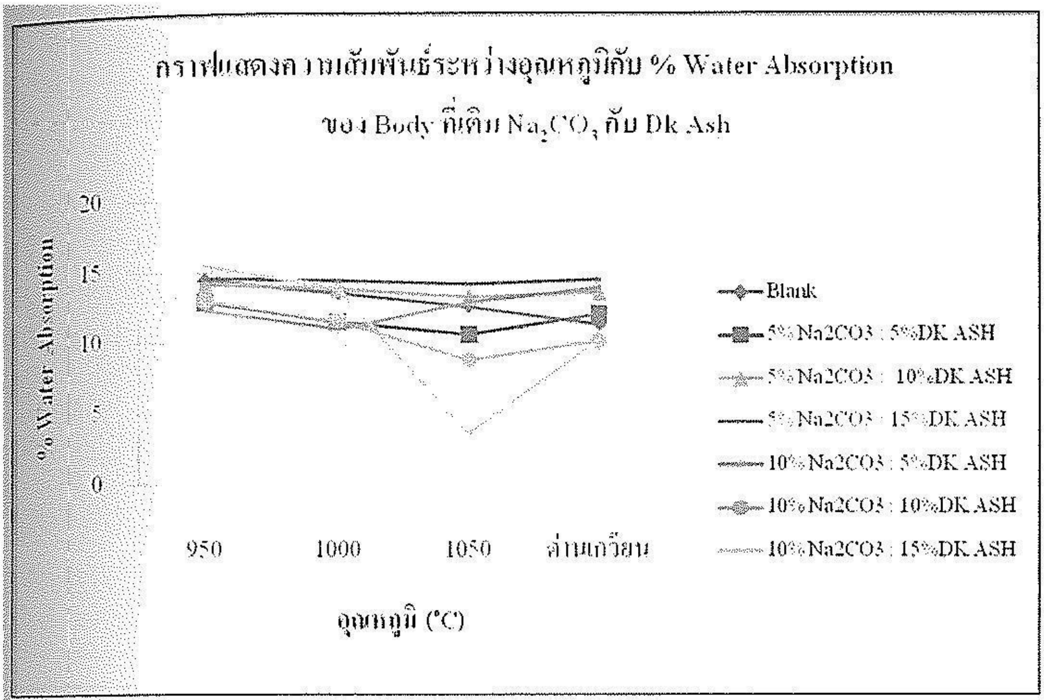
รูปที่ 45 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติมโซดาแอช 10% กับหินฟันม้าโซดา เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



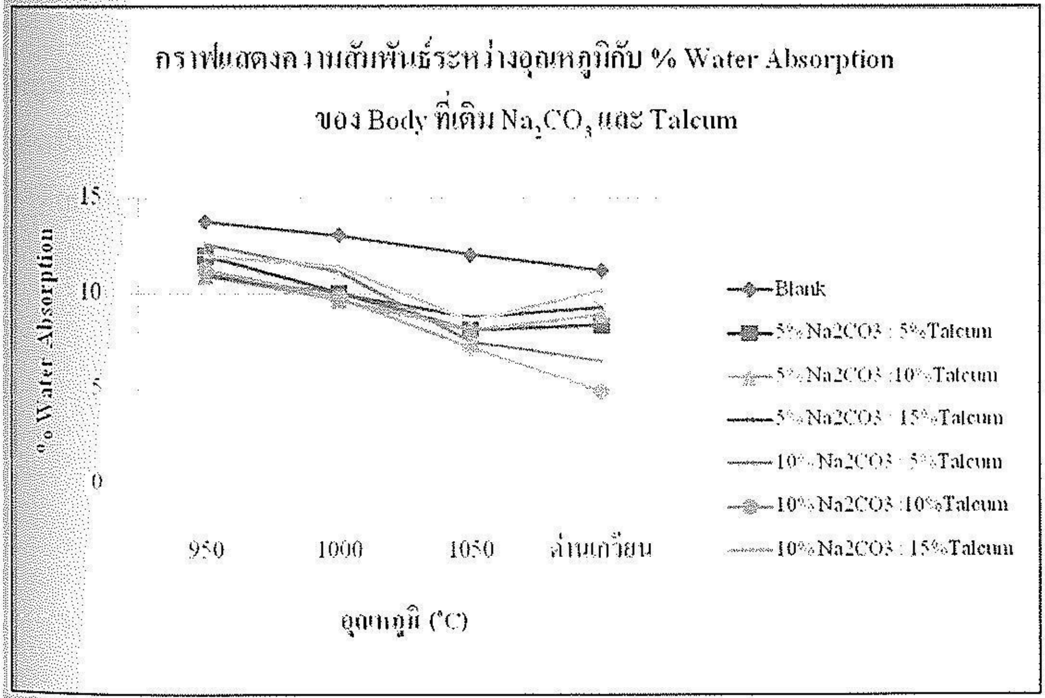
รูปที่ 46 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติมโซดาแอช 5% กับฟริต CG466 หรือฟริต B เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



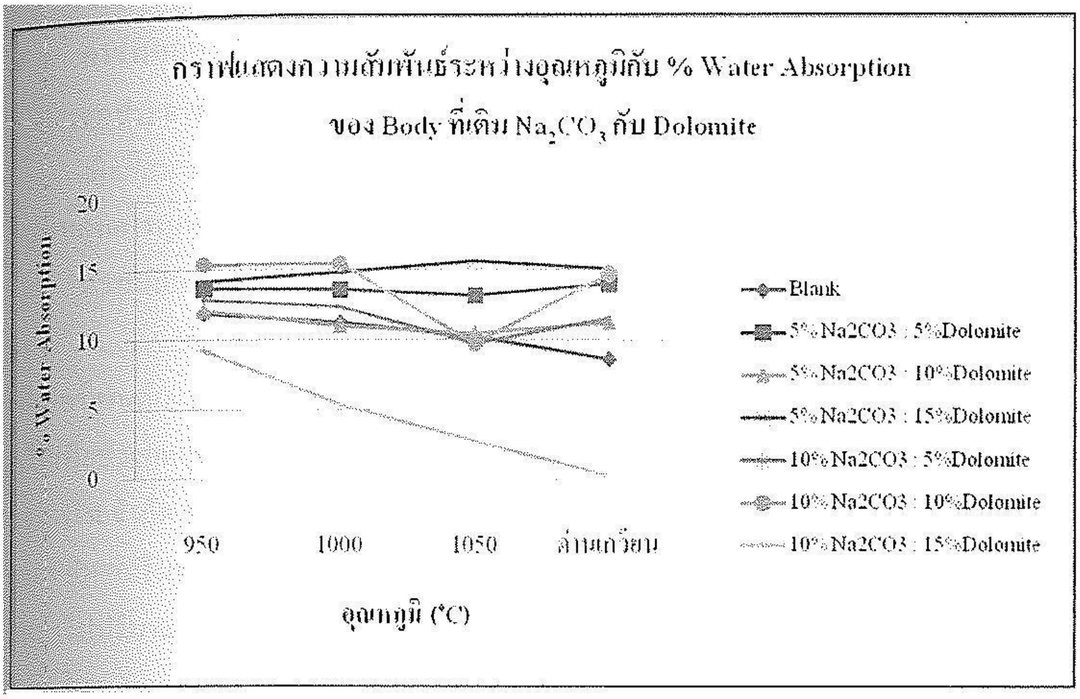
รูปที่ 47 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติมโซดาแอช 10% กับฟริต CG466 หรือฟริต B เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 48 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติมโซดาแอชกับขี้เถ้ารวม เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 49 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติมโซดาแอชกับทัลคัม เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 50 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติมโซดาแอชกับโดโลไมท์ เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จากผลการทดลองพบว่าการเพิ่ม Flux ที่มีธาตุหมู่ 2 เข้าไปในสูตรส่วนผสมช่วยลดอุณหภูมิในการสุกตัวของเนื้อดินปั้นได้ โดยจะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมีค่าที่ต่ำลงกว่าเนื้อดินปั้นที่ใช้โซดาแอช (Na_2CO_3) อย่างเดียวในการทดลองที่ 1 อย่างไรก็ตามชิ้นงานทุกสูตรซึ่งเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 1000 องศาเซลเซียส ยังคงมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมสูงกว่า 5 เปอร์เซ็นต์

2.4 การทดลองที่ 3

จุดประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) วัตถุดิบที่ให้ธาตุหมู่ 2 และฟริต (Frit) ลงไปลดอุณหภูมิการสุกตัวของเนื้อดินปั้น และศึกษาผลของการเพิ่มเวลาในการยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุด

ความเป็นมา

เนื้อดินปั้นที่เติมโซดาแอชและวัตถุดิบที่ให้ธาตุหมู่ 2 ในการทดลองนี้ยังมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำสูงกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเผาที่ 1000 องศาเซลเซียส จึงทดลองเติมฟริตเข้าไปเพื่อช่วยลดอุณหภูมิจุดสุกตัว ฟริตที่นำมาใช้ในที่นี้มี 2 ชนิด คือ 1) ฟริต ST-8014F จากบริษัทสยามฟริต จำกัด ราคากิโลกรัมละ 20 บาท ซึ่งในรายงานวิจัยนี้เรียกว่า “Frit A” 2) ฟริต CG-466 จากบริษัท อัมรินทร์เซรามิกส์ คอร์เปอเรชัน กิโลกรัมละ 60 บาท ในงานวิจัยนี้เรียกว่า “Frit B” โดยเติมเข้าไปปริมาณ 2, 4, 6 และ 10 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังได้ทดลองยืนไฟเป็นเวลาต่าง ๆ กันตั้งแต่ 0-3 ชั่วโมง

ผลการการทดลอง

ตารางที่ 4-19 และรูปที่ 51-75 แสดงผลการเติมโซดาแอช, วัตถุดิบที่ให้ธาตุหมู่ 2 และฟริต A หรือ B เข้าไปในเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ แล้วเผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟเป็นเวลาต่าง ๆ กัน และเผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน

จากผลการทดลองจะเห็นว่าการยืนไฟทำให้สูตรส่วนผสมในการทดลองนี้แทบทุกสูตรมีการดูดซึมน้ำต่ำลง ยกเว้นแต่สูตร 10%Na_2CO_3: 10%Dolomite ที่ผสม Frit A หรือ Frit B ที่ยืนไฟ 3 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่สูงกว่าที่ไม่ยืนไฟเลย นอกจากนี้จะเห็นว่ามีสูตรหลายสูตรที่การยืนไฟ 2 และ 3 ชั่วโมง มีการดูดซึมน้ำที่มากขึ้นกว่าการยืนไฟ 1 ชั่วโมง

ที่สำคัญคือพบว่ามีเนื้อดินปั้นบางสูตรที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำใกล้เคียง 5 เปอร์เซ็นต์เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส คือสูตรที่มีส่วนผสมเป็นเนื้อดินปั้นด่านเกวียน + โซดาแอช 10% + ทัลคัม 10% + ฟริต A หรือ ฟริต B 4%, 6% หรือ 10% ซึ่งเผาโดยยืนไฟ 1-3 ชั่วโมง เพื่อให้ยืนยันการทดลองข้างต้น จึงทำการทดลองซ้ำอีกครั้งได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การดูดซึมน้ำของสูตรเนื้อดินปั้นที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำต่ำ ๆ ใกล้เคียง 5 เปอร์เซ็นต์ ในการทดสอบ 2 ครั้ง

สูตรส่วนผสม	%การดูดซึมน้ำ test1	%การดูดซึมน้ำ test2
10% Na_2CO3 :10%Talcum : 2% Frit A	6.613	5.418
10% Na_2CO_3 :10%Talcum : 4% Frit A	5.051	5.684
10% Na_2CO_3 :10%Talcum : 6% Frit A	4.820	5.490
10% Na_2CO_3 :10%Talcum : 10% Frit A	4.419	5.407
10% Na_2CO_3 :10%Talcum : 2% Frit B	7.013	5.305
10% Na_2CO_3 :10%Talcum : 4% Frit B	3.995	4.078
10% Na_2CO_3 :10%Talcum : 6% Frit B	4.587	6.378
10% Na_2CO_3 :10%Talcum : 10% Frit B	3.948	5.853

จากการทดลองที่ได้สามารถยืนยันได้ว่าพบสูตรส่วนผสมซึ่งเผาที่ 1000 องศาเซลเซียส แล้วมีสมบัติเป็นสโตนแวร์ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่มีค่าอยู่ในช่วง 3 - 6 % และเพื่อเป็นการทดสอบว่าสูตรส่วนผสมนี้สามารถนำไปใช้งานได้จริงสำหรับผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผาที่ด่านเกวียนซึ่งส่วนใหญ่ผสมแบบหมาด งานวิจัยนี้จึงได้ทดลองผสมแบบเปียกในการทดลองต่อไป

ตารางที่ 5 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือ โดโลไมท์ และฟริต A เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส [illegible] ชั่วโมง

สูตร	1000 °C									
	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{ss} (g)	W_s (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm³)	%Apparent specific gravity
10% Na2CO3 : 5%DK ASH : 2% Frit A	16.84	16.10	4.971	9.323	8.234	4.394	25.023	13.226	1.892	2.523
10% Na2CO3 : 5%DK ASH : 4% Frit A	16.72	16.16	4.979	9.296	8.291	3.349	23.280	12.122	1.921	2.503
10% Na2CO3 : 5%DK ASH : 6% Frit A	17.42	16.72	5.013	9.441	8.382	4.018	23.916	12.634	1.893	2.488
10% Na2CO3 : 5%DK ASH :10% Frit A	16.20	15.60	4.876	9.039	8.303	3.704	17.680	8.864	1.994	2.423
5% Na2CO3 :10%Talcum : 2% Frit A	16.12	15.42	5.223	9.186	8.441	4.342	18.799	8.826	2.130	2.623
5% Na2CO3 : 10%Talcum : 4% Frit A	16.36	15.48	5.264	9.231	8.520	5.379	17.923	8.345	2.148	2.617
5% Na2CO3 : 10%Talcum : 6% Frit A	15.94	14.92	5.176	9.035	8.378	6.399	17.025	7.842	2.171	2.616
10% Na2CO3 :10%Talcum :10% Frit A	16.78	15.70	5.310	9.398	8.625	6.436	18.909	8.962	2.110	2.602
5% Na2CO3 :10%Dolomite : 2% Frit A	15.22	15.04	4.788	8.732	7.908	1.183	20.892	10.420	2.005	2.535
5% Na2CO3 : 10%Dolomite : 4% Frit A	17.10	16.40	5.255	9.682	8.468	4.094	27.423	14.336	1.913	2.636
5% Na2CO3 : 10%Dolomite : 6% Frit A	15.62	15.14	4.995	9.030	8.092	3.073	23.247	11.592	2.005	2.613
10% Na2CO3 :10%Dolomite :10% Frit A	15.20	15.08	4.874	8.853	8.077	0.789	19.502	9.608	2.030	2.522

ตารางที่ 6 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือโดโลไมท์ และฟริต B เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 9 ชั่วโมง

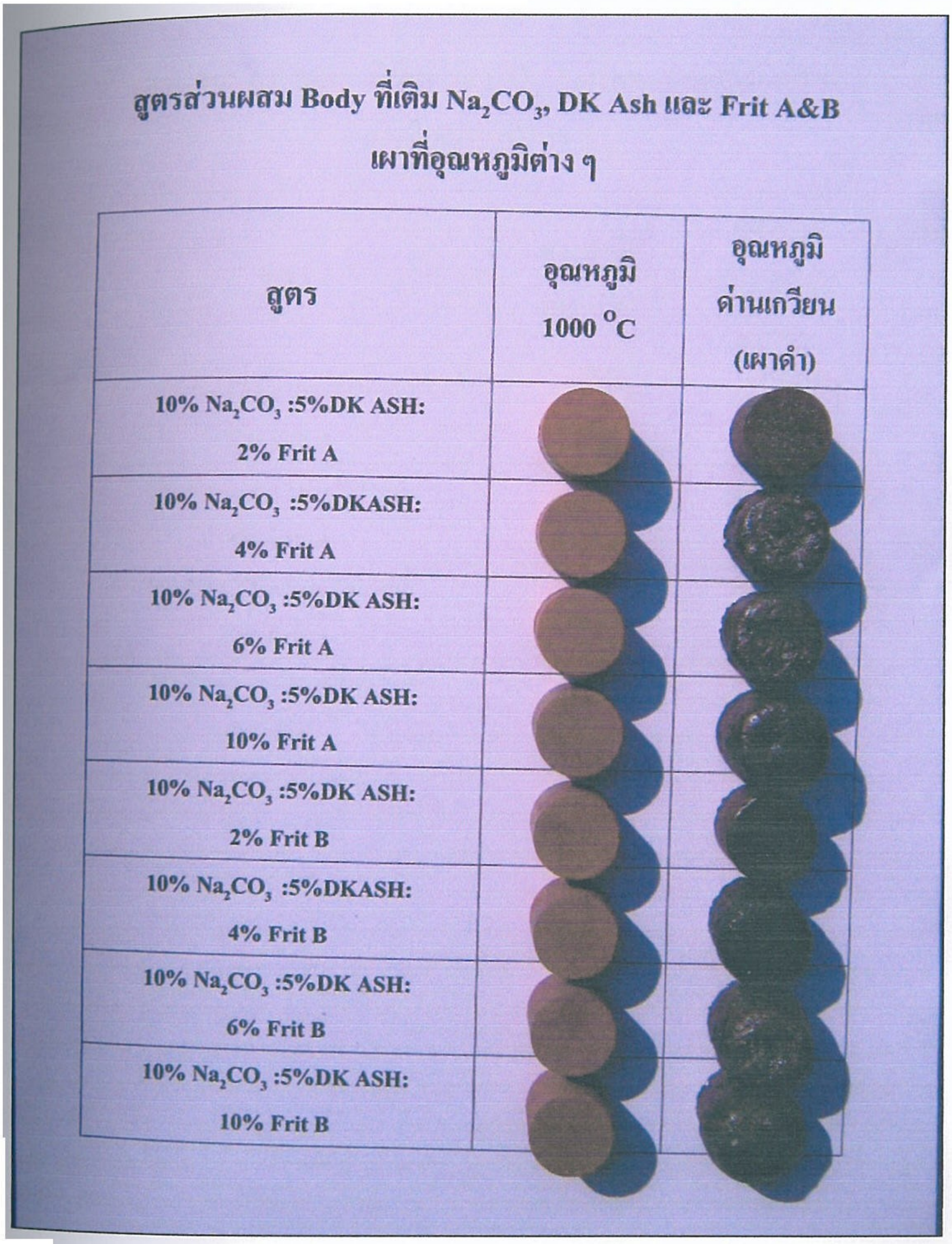
สูตร	1000 °C									
	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{ss} (g)	W_s (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
10% Na_2CO_3 : 5%DK ASH : 2% Frit B	16.18	15.56	4.885	8.997	8.140	3.832	20.841	10.528	1.980	2.501
10% Na_2CO_3 : 5%DK ASH : 4% Frit B	17.00	16.34	4.958	9.259	8.302	3.882	22.251	11.527	1.930	2.483
10% Na_2CO_3 : 5%DK ASH : 6% Frit B	17.00	16.20	4.952	9.213	8.335	4.706	20.605	10.534	1.956	2.464
10% Na_2CO_3 : 5%DK ASH :10% Frit B	17.70	17.00	4.961	9.366	8.422	3.955	21.430	11.209	1.912	2.433
5% Na_2CO_3 :10%Talcum : 2% Frit B	16.66	15.74	5.280	9.303	8.525	5.522	19.339	9.126	2.119	2.627
5% Na_2CO_3 : 10%Talcum : 4% Frit B	16.10	15.00	5.173	9.008	8.393	6.832	16.037	7.328	2.189	2.607
5% Na_2CO_3 : 10%Talcum : 6% Frit B	16.72	15.40	5.186	9.082	8.432	7.895	16.684	7.709	2.164	2.598
10% Na_2CO_3 :10%Talcum :10% Frit B	15.52	14.70	5.119	8.879	8.409	5.284	12.500	5.589	2.236	2.556
5% Na_2CO_3 :10%Dolomite : 2% Frit B	16.10	15.60	5.005	9.140	8.084	3.106	25.538	13.063	1.955	2.626
5% Na_2CO_3 : 10%Dolomite : 4% Frit B	16.32	15.64	5.059	9.270	8.171	4.167	26.098	13.450	1.940	2.626
5% Na_2CO_3 : 10%Dolomite : 6% Frit B	16.62	16.00	5.068	9.378	8.178	3.730	27.842	14.674	1.897	2.630
10% Na_2CO_3 :10%Dolomite :10% Frit B	15.84	15.34	4.972	9.045	8.156	3.157	21.827	10.900	2.002	2.562

ตารางที่ 7 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช ขี้เถ้าแกลบหรือทัลคัมหรือโดโลไมท์ และฟริต A ณ ที่เตาด่านเกวียน

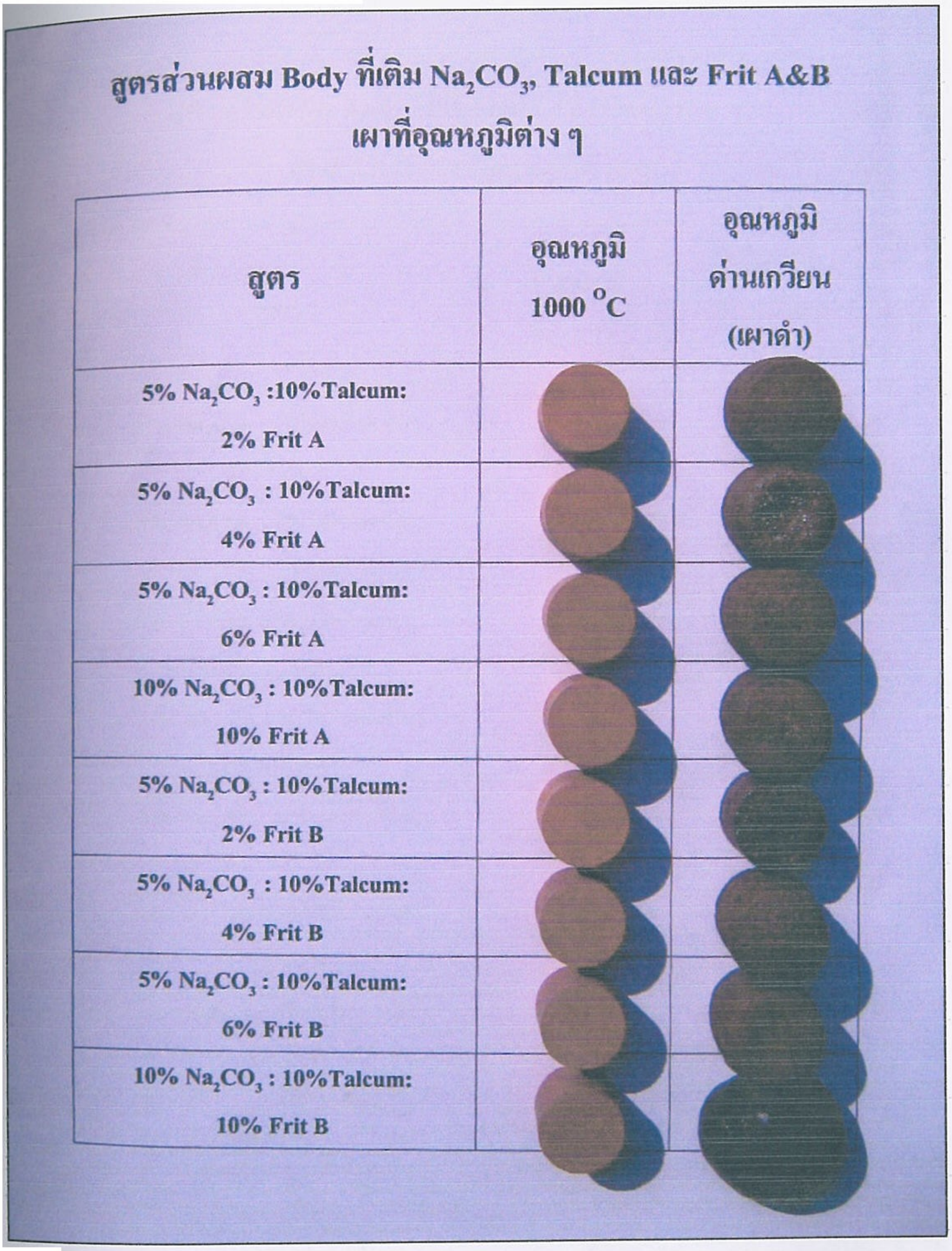
สูตร	ด่านเกวียน									
	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_S (g)	W_S (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm³)	%Apparent specific gravity
10% Na2CO3 : 5%DK ASH : 2% Frit A	17.00	15.40	4.221	8.457	8.011	9.412	10.529	5.567	1.891	2.114
10% Na2CO3 : 5%DK ASH : 4% Frit A	16.80	19.36	3.845	9.571	8.320	-15.238	21.848	15.036	1.453	1.859
10% Na2CO3 : 5%DK ASH : 6% Frit A	17.24	20.00	3.262	9.486	8.408	-16.009	17.320	12.821	1.351	1.634
10% Na2CO3 : 5%DK ASH :10% Frit A	16.12	22.00	2.048	8.970	8.432	-36.476	7.772	6.380	1.218	1.321
5% Na2CO3 :10%Talcum : 2% Frit A	16.20	21.00	1.758	8.553	8.385	-29.630	2.472	2.004	1.234	1.265
5% Na2CO3 : 10%Talcum : 4% Frit A	16.80	20.62	1.470	8.589	8.475	-22.738	1.601	1.345	1.190	1.210
5% Na2CO3 : 10%Talcum : 6% Frit A	15.90	21.30	1.543	8.567	8.396	-33.962	2.435	2.037	1.195	1.225
10% Na2CO3 :10%Talcum :10% Frit A	18.00	20.90	1.852	8.340	8.193	-16.111	2.266	1.794	1.263	1.292
5% Na2CO3 :10%Dolomite : 2% Frit A	17.00	16.14	4.609	8.864	8.304	5.059	13.161	6.744	1.952	2.247
5% Na2CO3 : 10%Dolomite : 4% Frit A	15.22	21.60	1.668	8.643	8.484	-41.919	2.280	1.874	1.216	1.245
5% Na2CO3 : 10%Dolomite : 6% Frit A	15.08	21.94	1.466	8.621	8.477	-45.491	2.013	1.699	1.185	1.209
10% Na2CO3 :10%Dolomite :10% Frit A	15.34	21.28	2.152	8.943	8.388	-38.722	8.173	6.617	1.235	1.345

ตารางที่ 8 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือโดโลไมท์ และฟริต B เผาที่เตาด่านเกวียน

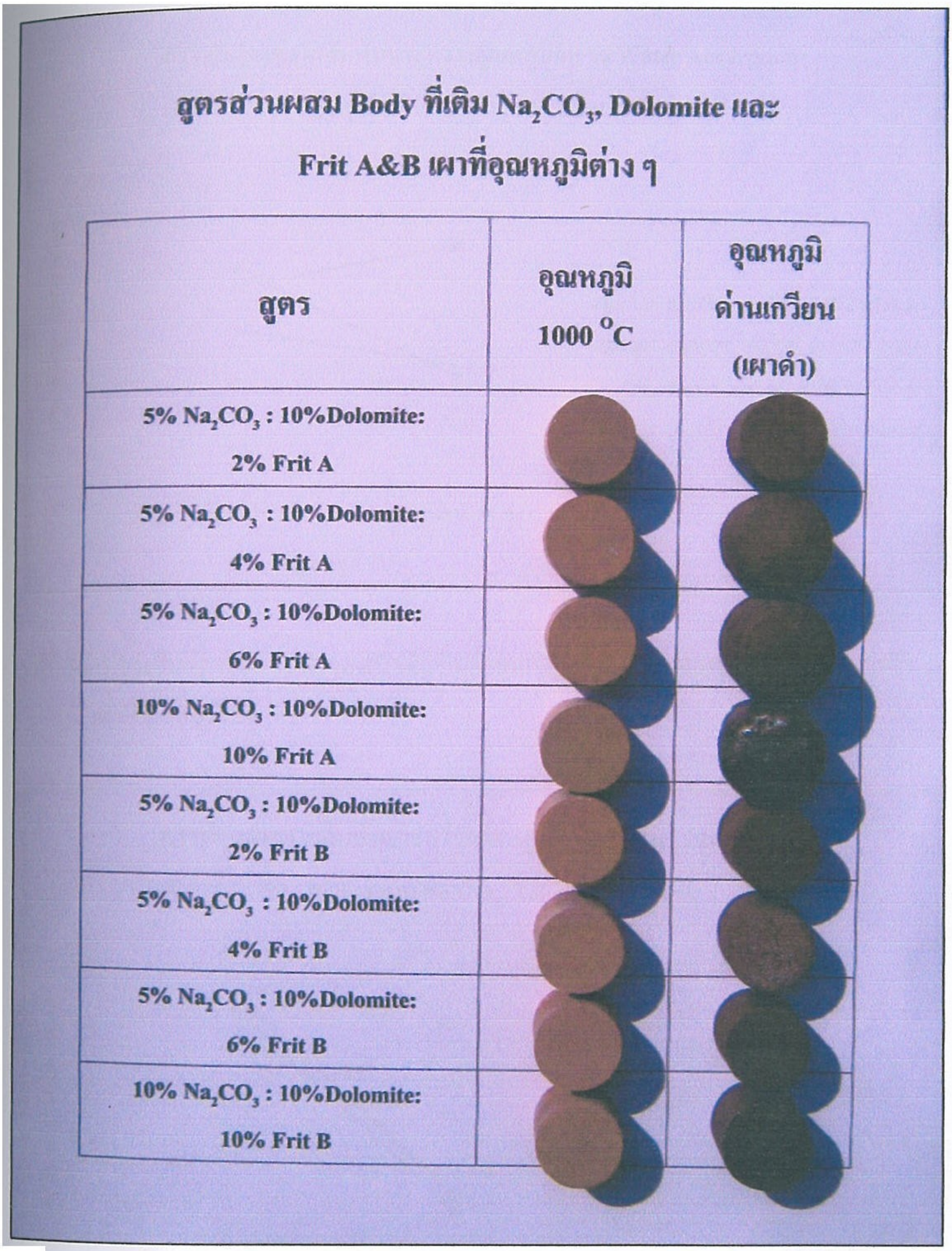
สูตร	ด่านเกวียน									
	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{ss} (g)	W_s (g)	W_D (g)	%linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
10% Na2CO3 : 5%DK ASH : 2% Frit B	16.08	15.84	4.230	8.590	7.967	1.493	14.289	7.820	1.827	2.132
10% Na2CO3 : 5%DK ASH : 4% Frit B	17.60	18.38	3.982	9.252	8.212	-4.432	19.734	12.664	1.558	1.941
10% Na2CO3 : 5%DK ASH : 6% Frit B	17.12	21.20	4.098	9.648	8.398	-23.832	22.523	14.884	1.513	1.953
10% Na2CO3 : 5%DK ASH :10% Frit B	16.62	20.14	3.241	9.170	8.325	-21.179	14.252	10.150	1.404	1.637
5% Na2CO3 :10%Talcum : 2% Frit B	16.00	16.76	3.429	8.113	7.972	-4.750	3.010	1.769	1.702	1.755
5% Na2CO3 : 10%Talcum : 4% Frit B	15.86	23.88	1.295	8.755	8.584	-50.567	2.292	1.992	1.151	1.178
5% Na2CO3 : 10%Talcum : 6% Frit B	17.00	21.22	1.420	8.689	8.561	-24.824	1.761	1.495	1.178	1.199
10% Na2CO3 :10%Talcum :10% Frit B	17.00	17.84	0.000	8.965	8.613	-4.941	3.926	4.087	0.961	1.000
5% Na2CO3 :10%Dolomite : 2% Frit B	16.22	15.64	4.266	8.373	8.057	3.576	7.694	3.922	1.962	2.125
5% Na2CO3 : 10%Dolomite : 4% Frit B	16.24	15.56	4.347	8.421	8.090	4.187	8.125	4.091	1.986	2.161
5% Na2CO3 : 10%Dolomite : 6% Frit B	17.00	15.80	4.295	8.258	8.096	7.059	4.088	2.001	2.043	2.130
10% Na2CO3 :10%Dolomite :10% Frit B	15.52	15.40	4.272	8.528	7.892	0.773	14.944	8.059	1.854	2.180



รูปที่ 51 ผลของการเติมโซดาแอช, ขี้เถ้ารวม และฟริต A หรือฟริต B เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



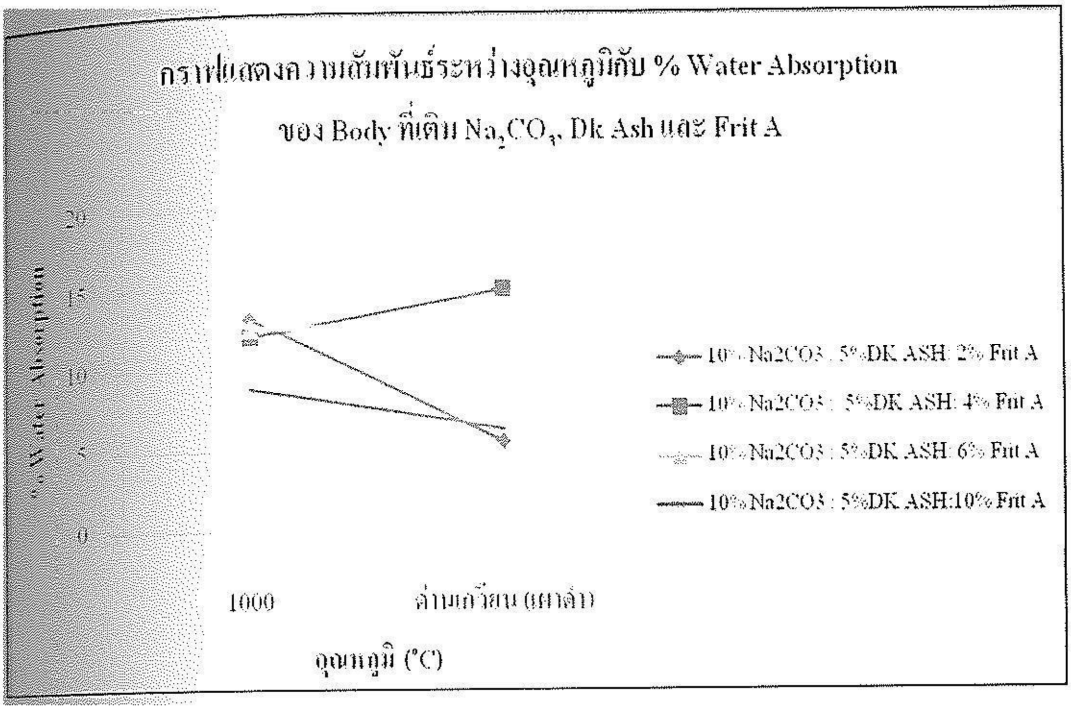
รูปที่ 52 ผลของการเติมโซดาแอช, ทัลคัม และฟริต A หรือฟริต B เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



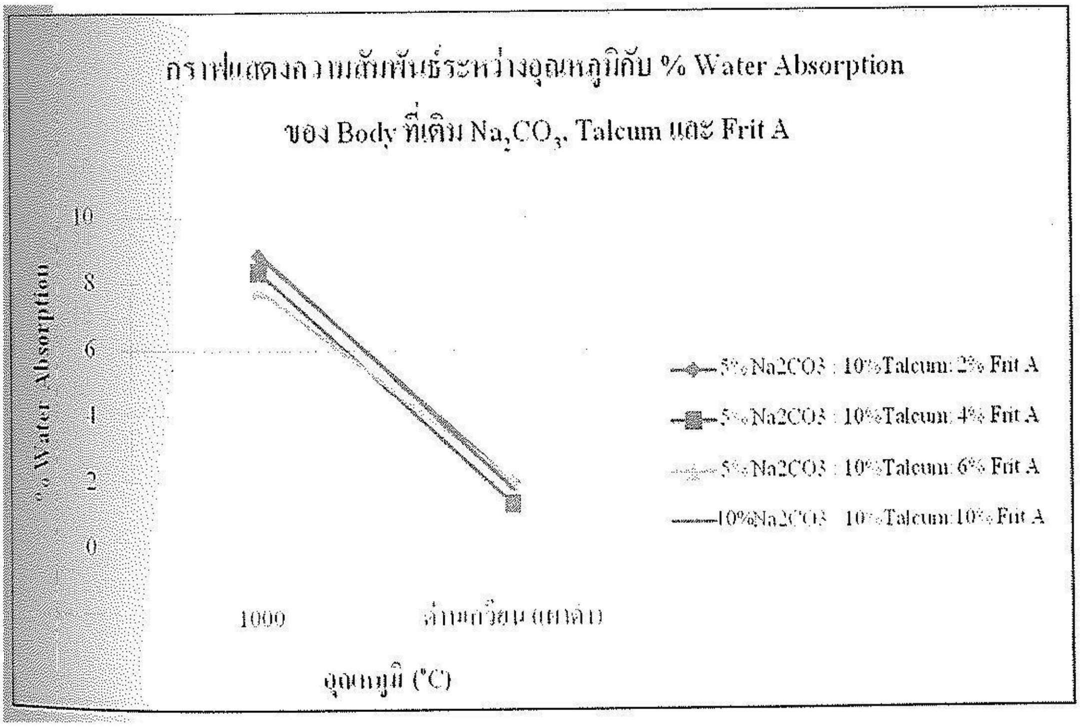
สูตรส่วนผสม Body ที่เติม Na_2CO_3, Dolomite และ Frit A&B เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

สูตร	อุณหภูมิ 1000 °C	อุณหภูมิ ด่านเกวียน (เผาดำ)
5% Na_2CO_3 : 10%Dolomite: 2% Frit A		
5% Na_2CO_3 : 10%Dolomite: 4% Frit A		
5% Na_2CO_3 : 10%Dolomite: 6% Frit A		
10% Na_2CO_3 : 10%Dolomite: 10% Frit A		
5% Na_2CO_3 : 10%Dolomite: 2% Frit B		
5% Na_2CO_3 : 10%Dolomite: 4% Frit B		
5% Na_2CO_3 : 10%Dolomite: 6% Frit B		
10% Na_2CO_3 : 10%Dolomite: 10% Frit B		

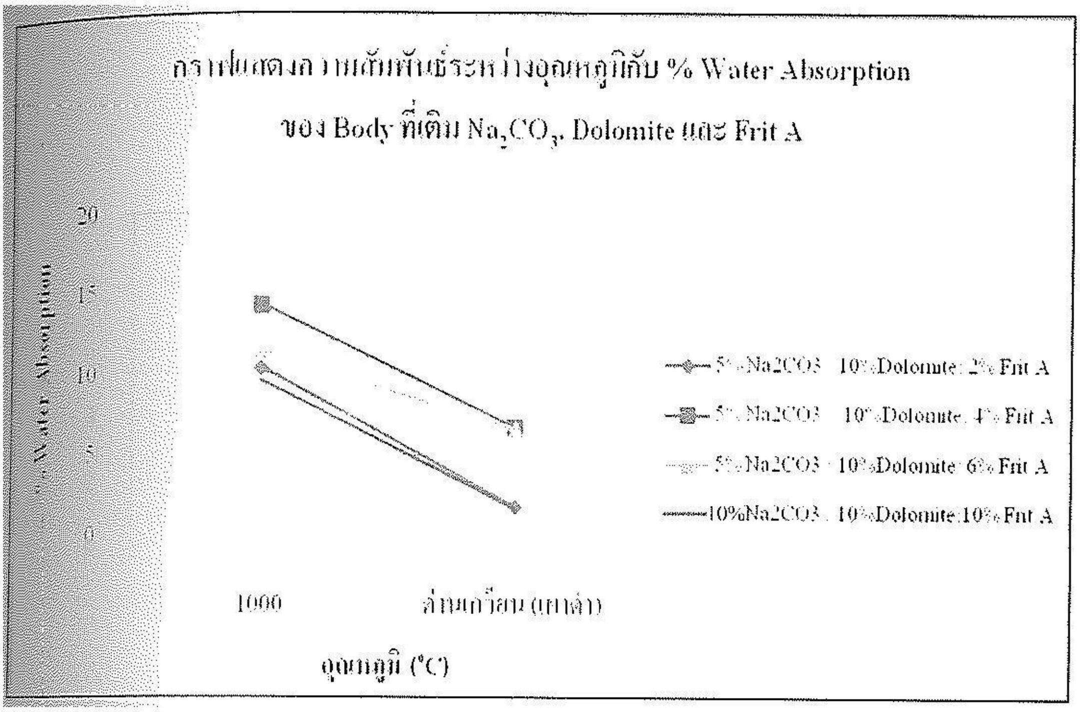
รูปที่ 53 ผลของการเติมโซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต A หรือฟริต B เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



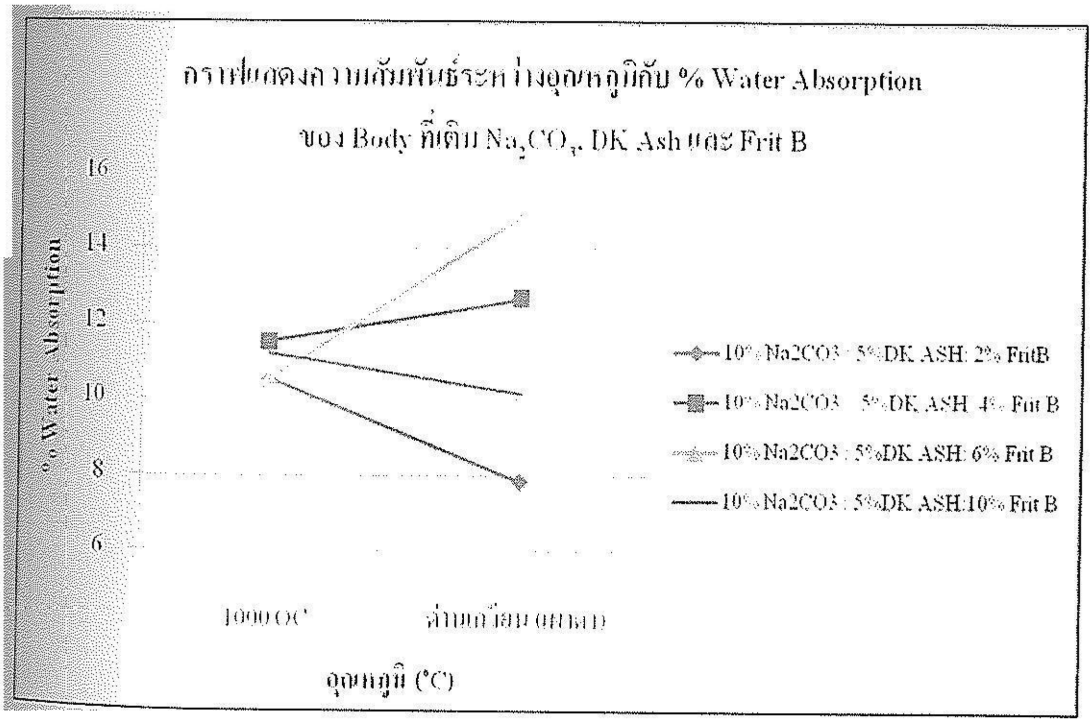
รูปที่ 54 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวม และฟริต A เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



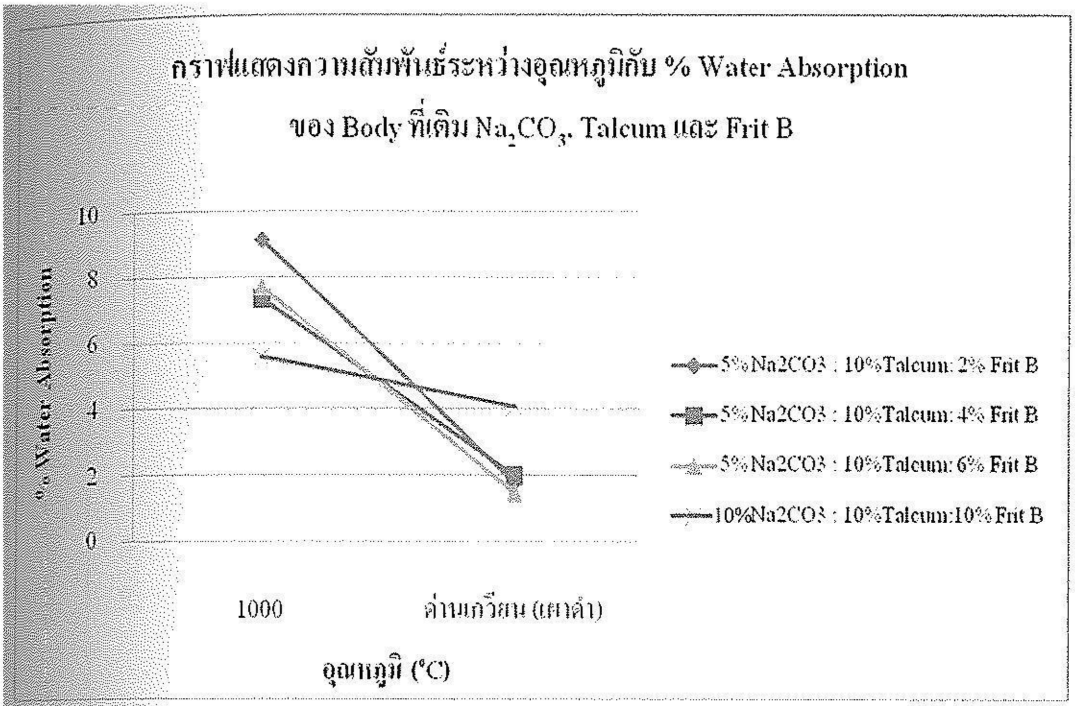
รูปที่ 55 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ทัลคัม และฟริต A เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



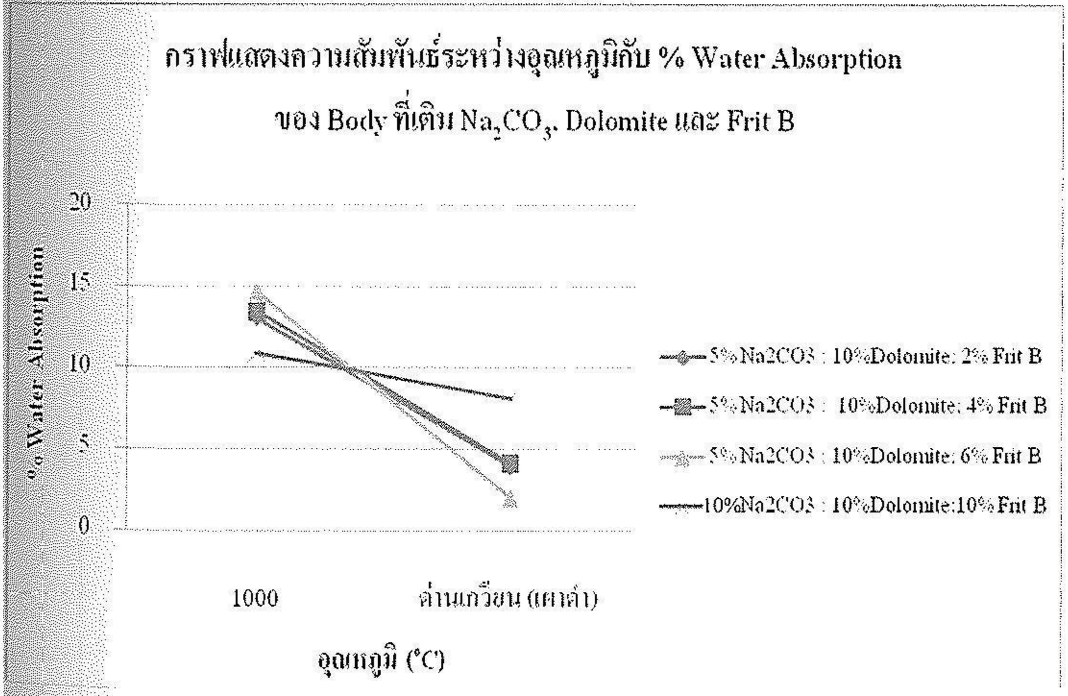
รูปที่ 56 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต A เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 57 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวม และฟริต B เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 58 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ทัลคัม และฟริต B เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 59 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต B เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ตารางที่ 9 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือโดโลไมท์ และฟริต A เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 0 ชั่วโมง

สูตร	1000 °C เป็นเวลา 0 ชั่วโมง									
	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{ss} (g)	W_s (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
10% Na2CO3 :10%Talcum : 2% Frit A	17.14	15.72	4.946	9.226	8.385	8.285	19.650	10.030	1.959	2.438
10% Na2CO3 : 10%Talcum : 4% Frit A	17.66	15.82	4.930	9.222	8.387	10.419	19.455	9.956	1.954	2.426
10% Na2CO3 : 10%Talcum : 6% Frit A	17.90	16.22	5.006	9.402	8.420	9.385	22.338	11.663	1.915	2.466
10% Na2CO3 :10%Talcum :10% Frit A	17.74	16.22	4.982	9.348	8.466	8.568	20.202	10.418	1.939	2.430
10% Na2CO3 :10%Dolomite : 2% Frit A	18.30	16.56	4.857	9.420	8.137	9.508	28.117	15.767	1.783	2.481
10% Na2CO3 : 10%Dolomite : 4% Frit A	17.56	16.60	4.814	9.322	8.160	5.467	25.776	14.240	1.810	2.439
10% Na2CO3 : 10%Dolomite : 6% Frit A	17.16	16.78	4.838	9.473	8.220	2.214	27.033	15.243	1.773	2.431
10% Na2CO3 :10%Dolomite :10% Frit A	17.40	16.76	4.831	9.441	8.286	3.678	25.054	13.939	1.797	2.398
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 2% Frit A	17.80	17.34	5.078	9.836	8.465	2.584	28.815	16.196	1.779	2.499
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 4% Frit A	17.76	16.90	4.954	9.548	8.331	4.842	26.491	14.608	1.813	2.467
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 6% Frit A	15.80	14.70	4.321	8.342	7.288	6.962	26.212	14.462	1.812	2.456
10% Na2CO3 : 10%DK ASH :10% Frit A	17.54	17.20	4.949	9.617	8.402	1.938	26.028	14.461	1.800	2.433

ตารางที่ 10 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือโดโลไมท์ และฟริต B เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 0 ชั่วโมง

สูตร	1000 °C เป็นเวลา 0 ชั่วโมง									
	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{SS} (g)	W_S (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm³)	%Apparent specific gravity
10% Na2CO3 :10%Talcum : 2% Frit B	17.00	16.12	4.997	9.396	8.431	5.176	21.937	11.446	1.917	2.455
10% Na2CO3 : 10%Talcum : 4% Frit B	17.40	16.18	4.976	9.357	8.503	7.011	19.493	10.044	1.941	2.411
10% Na2CO3 : 10%Talcum : 6% Frit B	17.60	16.34	4.909	9.347	8.412	7.159	21.068	11.115	1.895	2.401
10% Na2CO3 :10%Talcum :10% Frit B	17.50	16.32	4.801	9.211	8.430	6.743	17.710	9.265	1.912	2.323
10% Na2CO3 :10%Dolomite : 2% Frit B	17.74	16.48	4.805	9.343	8.112	7.103	27.126	15.175	1.788	2.453
10% Na2CO3 : 10%Dolomite : 4% Frit B	18.34	16.34	4.748	9.262	8.107	10.905	25.587	14.247	1.796	2.414
10% Na2CO3 : 10%Dolomite : 6% Frit B	17.32	16.58	4.744	9.295	8.126	4.273	25.687	14.386	1.786	2.403
10% Na2CO3 :10%Dolomite :10% Frit B	17.30	16.86	4.756	9.367	8.169	2.543	25.981	14.665	1.772	2.393
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 2% Frit B	17.80	17.20	4.994	9.686	8.345	3.371	28.581	16.070	1.779	2.490
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 4% Frit B	18.30	17.12	4.953	9.628	8.367	6.448	26.973	15.071	1.790	2.451
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 6% Frit B	17.60	17.00	4.868	9.516	8.309	3.409	25.968	14.526	1.788	2.415
10% Na2CO3 : 10%DK ASH :10% Frit B	18.56	17.90	4.998	9.821	8.530	3.556	26.768	15.135	1.769	2.415

ตารางที่ 11 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือโดโลไมท์ และฟริต A เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 1 ชั่วโมง

สูตร	1000 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง									
	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{SS} (g)	W_S (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm³)	%Apparent specific gravity
10% Na2CO3 :10%Talcum : 2% Frit A	17.46	15.54	4.825	8.851	8.302	10.997	13.636	6.613	2.062	2.388
10% Na2CO3 : 10%Talcum : 4% Frit A	17.14	15.12	4.788	8.735	8.315	11.785	10.641	5.051	2.107	2.358
10% Na2CO3 : 10%Talcum : 6% Frit A	17.56	15.58	4.812	8.851	8.444	11.276	10.077	4.820	2.091	2.325
10% Na2CO3 :10%Talcum :10% Frit A	17.63	15.74	4.826	8.908	8.531	10.720	9.236	4.419	2.090	2.303
10% Na2CO3 :10%Dolomite : 2% Frit A	17.32	16.10	4.800	9.191	8.039	7.044	26.235	14.330	1.831	2.482
10% Na2CO3 : 10%Dolomite : 4% Frit A	17.16	15.50	4.675	8.902	8.027	9.674	20.700	10.901	1.899	2.395
10% Na2CO3 : 10%Dolomite : 6% Frit A	17.66	16.10	4.702	9.085	8.037	8.834	23.911	13.040	1.834	2.410
10% Na2CO3 :10%Dolomite :10% Frit A	17.90	16.08	4.696	9.057	8.104	10.168	21.853	11.760	1.858	2.378
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 2% Frit A	17.74	16.34	4.873	9.261	8.182	7.892	24.590	13.187	1.865	2.473
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 4% Frit A	17.34	16.16	4.852	9.206	8.258	6.805	21.773	11.480	1.897	2.425
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 6% Frit A	17.30	16.70	4.894	9.374	8.427	3.468	21.138	11.238	1.881	2.385
10% Na2CO3 : 10%DK ASH :10% Frit A	17.56	16.62	4.808	9.255	8.390	5.353	19.451	10.310	1.887	2.342

ตารางที่ 12 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือโดโลไมท์ และฟริต B เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 1 ชั่วโมง

สูตร	1000 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง									
	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{SS} (g)	W_S (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
10% Na_2CO_3 :10%Talcum : 2% Frit B	17.14	15.78	4.883	8.973	8.385	7.935	14.377	7.013	2.050	2.394
10% Na_2CO_3 : 10%Talcum : 4% Frit B	17.60	15.30	4.741	8.695	8.361	13.068	8.447	3.995	2.115	2.310
10% Na_2CO_3 : 10%Talcum : 6% Frit B	17.06	16.40	4.665	8.709	8.327	3.869	9.446	4.587	2.059	2.274
10% Na_2CO_3 :10%Talcum :10% Frit B	17.22	15.70	4.581	8.716	8.385	8.827	8.005	3.948	2.028	2.204
10% Na_2CO_3 :10%Dolomite : 2% Frit B	17.16	16.62	4.871	9.396	8.143	3.147	27.691	15.387	1.800	2.489
10% Na_2CO_3 : 10%Dolomite : 4% Frit B	17.54	16.40	4.788	9.271	8.130	6.499	25.452	14.034	1.814	2.433
10% Na_2CO_3 : 10%Dolomite : 6% Frit B	17.00	16.64	4.807	9.334	8.161	2.118	25.911	14.373	1.803	2.433
10% Na_2CO_3 :10%Dolomite :10% Frit B	17.40	16.64	4.687	9.202	8.190	4.368	22.414	12.357	1.814	2.338
10% Na_2CO_3 : 10%DK ASH : 2% Frit B	17.60	16.98	4.955	9.504	8.325	3.523	25.918	14.162	1.830	2.470
10% Na_2CO_3 : 10%DK ASH : 4% Frit B	17.80	16.90	4.843	9.355	8.372	5.056	21.786	11.742	1.855	2.372
10% Na_2CO_3 : 10%DK ASH : 6% Frit B	17.54	17.00	4.727	9.248	8.348	3.079	19.907	10.781	1.846	2.305
10% Na_2CO_3 : 10%DK ASH :10% Frit B	17.96	17.50	4.548	9.106	8.382	2.561	15.884	8.638	1.839	2.186

ตารางที่ 13 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้าวมหรือทัลคัมหรือโดโลไมท์ และฟริต A เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

สูตร	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{SS} (g)	W_S (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
1000 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	17.00	15.40	4.965	8.889	8.269	9.412	15.800	7.498	2.107	2.503
10% Na2CO3 :10%Talcum : 2% Frit A	16.28	15.00	4.930	8.830	8.358	7.862	12.103	5.647	2.143	2.438
10% Na2CO3 : 10%Talcum : 4% Frit A	17.00	15.46	4.952	8.934	8.410	9.059	13.159	6.231	2.112	2.432
10% Na2CO3 : 10%Talcum : 6% Frit A	17.18	15.74	4.986	9.035	8.497	8.382	13.287	6.332	2.099	2.420
10% Na2CO3 :10%Talcum :10% Frit A	17.30	16.52	4.927	9.404	8.115	4.509	28.792	15.884	1.813	2.545
10% Na2CO3 :10%Dolomite : 2% Frit A	16.32	15.54	4.772	9.011	7.981	4.779	24.298	12.906	1.883	2.487
10% Na2CO3 : 10%Dolomite : 4% Frit A	16.82	16.00	4.790	9.173	8.033	4.875	26.010	14.191	1.833	2.477
10% Na2CO3 : 10%Dolomite : 6% Frit A	16.54	15.84	4.778	9.090	8.132	4.232	22.217	11.781	1.886	2.425
10% Na2CO3 :10%Dolomite :10% Frit A	17.10	16.10	4.872	9.204	8.147	5.848	24.400	12.974	1.881	2.488
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 2% Frit A	16.88	15.96	4.843	9.134	8.189	5.450	22.023	11.540	1.908	2.447
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 4% Frit A	17.80	16.86	4.943	9.420	8.411	5.281	22.537	11.996	1.879	2.425
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 6% Frit A	17.50	16.44	4.845	9.225	8.325	6.057	20.548	10.811	1.901	2.392
10% Na2CO3 : 10%DK ASH :10% Frit A										

ตารางที่ 14 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือโดโลไมท์ และฟริต B เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

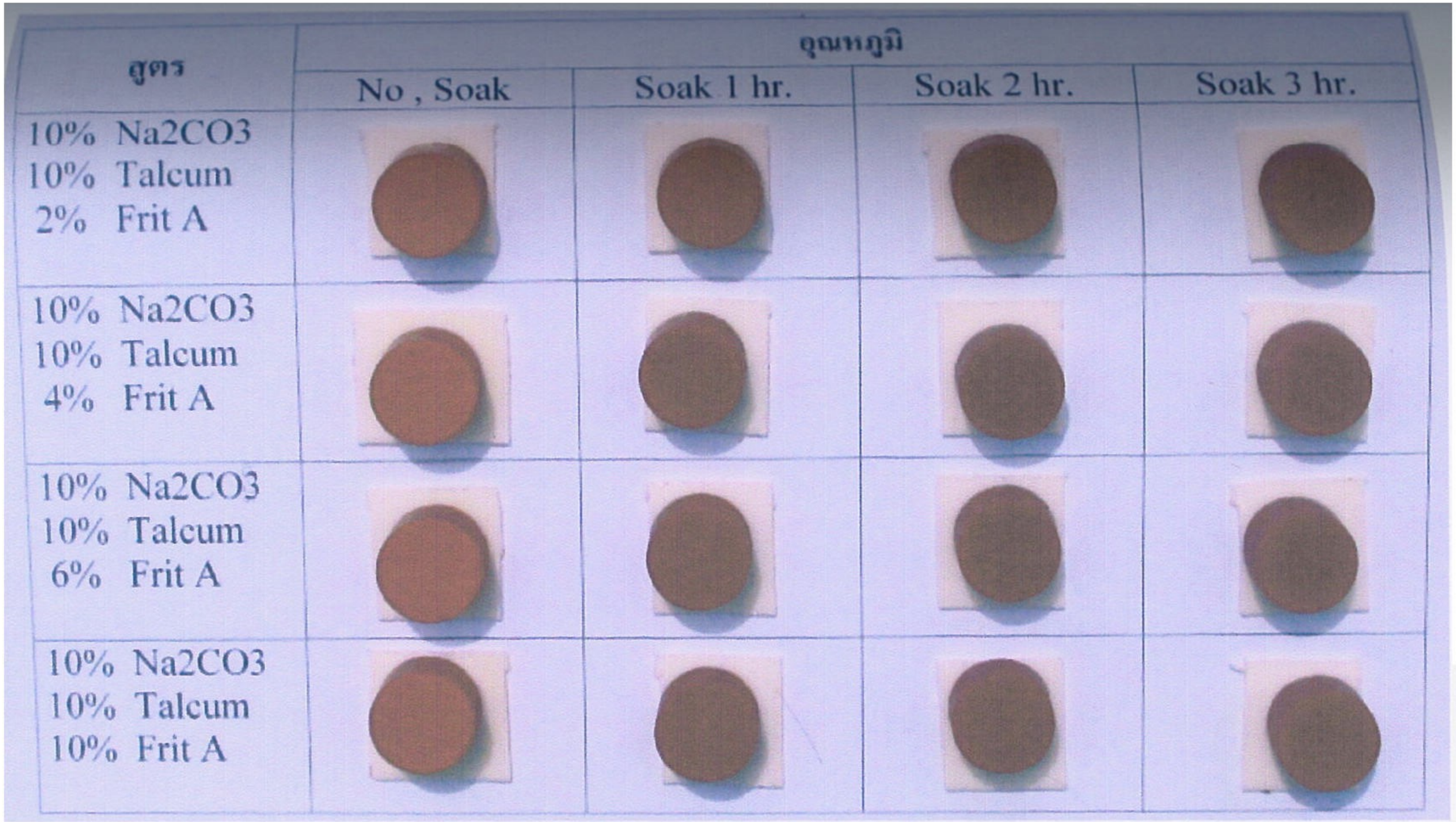
สูตร	1000 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง									
	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{ss} (g)	W_s (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
10% Na2CO3 :10%Talcum : 2% Frit B	17.26	15.44	4.994	8.956	8.333	10.545	15.724	7.476	2.103	2.496
10% Na2CO3 : 10%Talcum : 4% Frit B	17.14	15.50	4.873	8.796	8.364	9.568	11.012	5.165	2.132	2.396
10% Na2CO3 : 10%Talcum : 6% Frit B	16.60	15.40	4.823	8.871	8.322	7.229	13.562	6.597	2.056	2.378
10% Na2CO3 :10%Talcum :10% Frit B	17.00	15.92	4.779	8.952	8.427	6.353	12.581	6.230	2.019	2.310
10% Na2CO3 :10%Dolomite : 2% Frit B	17.06	16.32	4.830	9.273	8.099	4.338	26.424	14.496	1.823	2.478
10% Na2CO3 : 10%Dolomite : 4% Frit B	17.22	16.50	4.846	9.350	8.115	4.181	27.420	15.219	1.802	2.482
10% Na2CO3 : 10%Dolomite : 6% Frit B	17.16	16.34	4.769	9.244	8.126	4.779	24.983	13.758	1.816	2.421
10% Na2CO3 :10%Dolomite :10% Frit B	17.40	16.66	4.802	9.318	8.189	4.253	25.000	13.787	1.813	2.418
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 2% Frit B	17.66	16.96	4.970	9.483	8.344	3.964	25.238	13.651	1.849	2.473
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 4% Frit B	17.90	17.06	4.913	9.457	8.356	4.693	24.230	13.176	1.839	2.427
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 6% Frit B	17.74	16.84	4.813	9.318	8.346	5.073	21.576	11.646	1.853	2.362
10% Na2CO3 : 10%DK ASH :10% Frit B	18.34	17.30	4.643	9.207	8.430	5.671	17.025	9.217	1.847	2.226

ตารางที่ 15 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวมหรือทัลคัมหรือโดโลไมท์ และฟริต A เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 3 ชั่วโมง

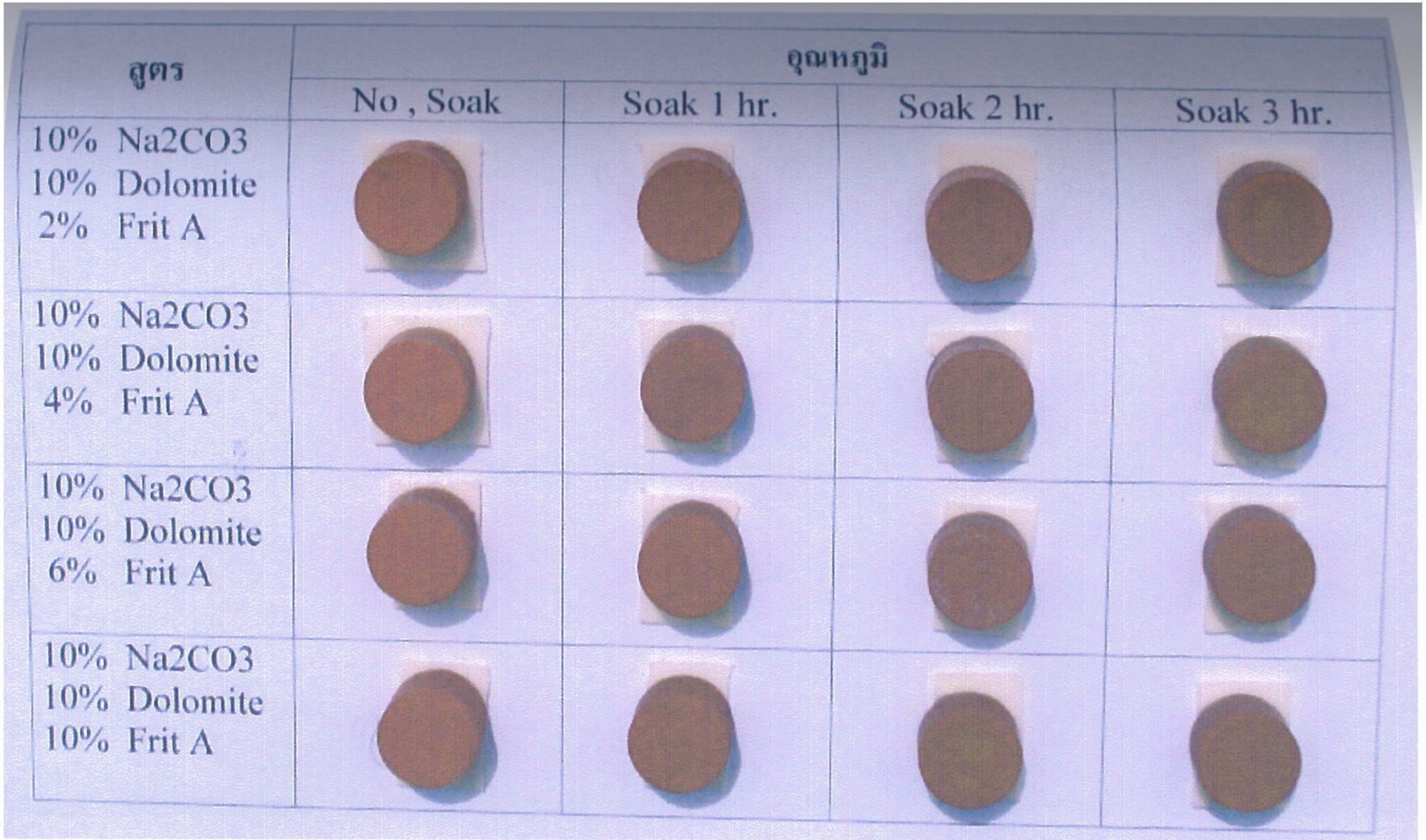
สูตร	1000 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง									
	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{ss} (g)	W_s (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm³)	%Apparent specific gravity
10% Na2CO3 :10%Talcum : 2% Frit A	17.20	15.40	5.041	8.949	8.285	10.465	16.991	8.014	2.120	2.554
10% Na2CO3 : 10%Talcum : 4% Frit A	16.70	15.24	5.026	8.965	8.347	8.743	15.689	7.404	2.119	2.513
10% Na2CO3 : 10%Talcum : 6% Frit A	17.22	15.60	5.058	9.073	8.551	9.408	13.001	6.105	2.130	2.448
10% Na2CO3 :10%Talcum :10% Frit A	17.26	15.90	5.056	9.143	8.553	7.879	14.436	6.898	2.093	2.446
10% Na2CO3 :10%Dolomite : 2% Frit A	17.30	16.64	4.878	9.425	8.123	3.815	28.634	16.029	1.786	2.503
10% Na2CO3 : 10%Dolomite : 4% Frit A	16.14	15.52	4.806	9.049	7.991	3.841	24.935	13.240	1.883	2.509
10% Na2CO3 : 10%Dolomite : 6% Frit A	16.80	16.12	4.871	9.276	8.047	4.048	27.898	15.271	1.827	2.534
10% Na2CO3 :10%Dolomite :10% Frit A	17.00	16.14	4.929	9.338	8.114	5.059	27.761	15.085	1.840	2.548
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 2% Frit A	17.20	16.48	4.960	9.361	8.197	4.186	26.449	14.200	1.863	2.532
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 4% Frit A	16.84	16.10	4.893	9.190	8.210	4.394	22.807	11.937	1.911	2.475
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 6% Frit A	17.56	17.00	5.025	9.488	8.456	3.189	23.123	12.204	1.895	2.465
10% Na2CO3 : 10%DK ASH :10% Frit A	17.16	16.32	4.843	9.228	8.345	4.895	20.137	10.581	1.903	2.383

ตารางที่ 16 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้าวัวหรือทัลคัมหรือโดโลไมท์ และฟริต B เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 3 ชั่วโมง

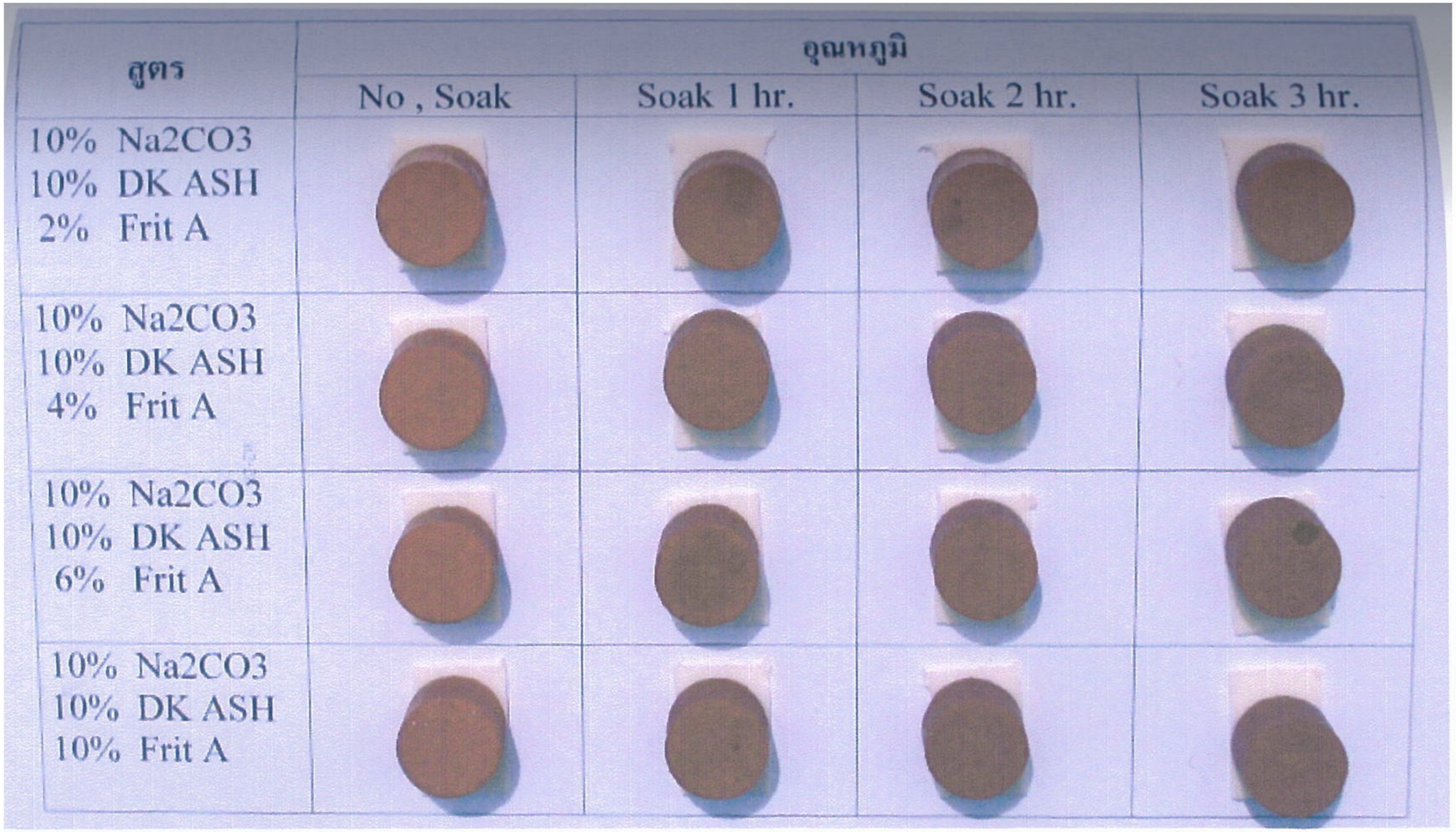
สูตร	1000 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง									
	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{ss} (g)	W_s (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
10% Na2CO3 :10%Talcum : 2% Frit B	17.30	15.54	5.053	9.018	8.386	10.173	15.939	7.536	2.115	2.516
10% Na2CO3 : 10%Talcum : 4% Frit B	16.90	15.46	4.899	8.836	8.497	8.521	8.611	3.990	2.158	2.362
10% Na2CO3 : 10%Talcum : 6% Frit B	16.16	15.30	4.769	8.802	8.486	5.322	7.835	3.724	2.104	2.283
10% Na2CO3 :10%Talcum :10% Frit B	17.00	16.08	4.735	8.919	8.638	5.412	6.716	3.253	2.065	2.213
10% Na2CO3 :10%Dolomite : 2% Frit B	17.00	16.36	4.910	9.390	8.113	3.765	28.504	15.740	1.811	2.533
10% Na2CO3 : 10%Dolomite : 4% Frit B	17.00	16.44	4.906	9.404	8.111	3.294	28.746	15.941	1.803	2.531
10% Na2CO3 : 10%Dolomite : 6% Frit B	17.40	16.78	4.945	9.506	8.148	3.563	29.774	16.667	1.786	2.544
10% Na2CO3 :10%Dolomite :10% Frit B	17.60	17.00	4.925	9.525	8.196	3.409	28.891	16.215	1.782	2.506
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 2% Frit B	17.50	16.84	4.958	9.459	8.273	3.771	26.350	14.336	1.838	2.496
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 4% Frit B	17.60	16.80	4.972	9.468	8.333	4.545	25.245	13.621	1.853	2.479
10% Na2CO3 : 10%DK ASH : 6% Frit B	18.00	17.38	4.945	9.545	8.367	3.444	25.609	14.079	1.819	2.445
10% Na2CO3 : 10%DK ASH :10% Frit B	18.30	17.22	4.695	9.179	8.397	5.902	17.440	9.313	1.873	2.268



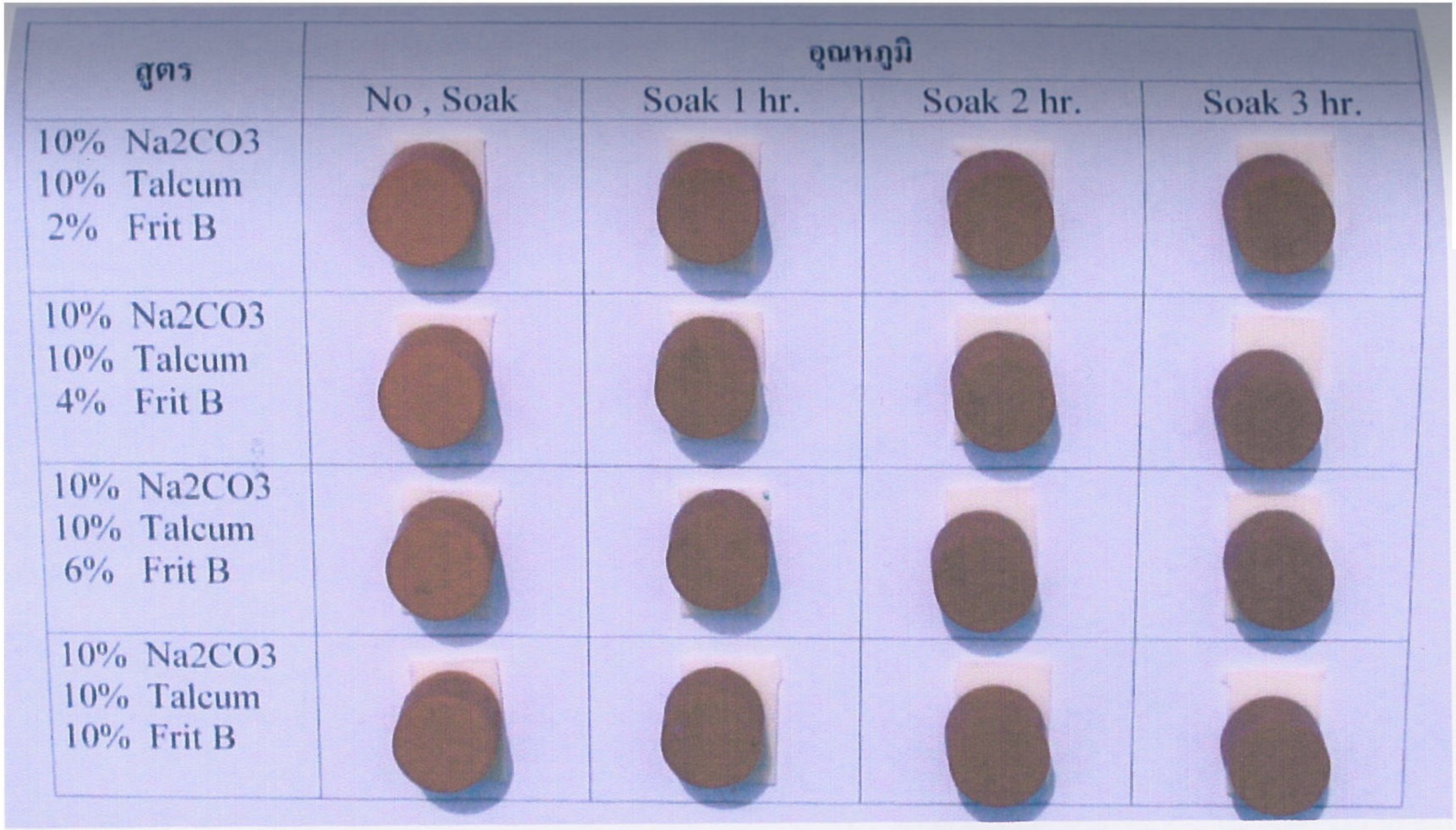
รูปที่ 60 ผลการเติมโซดาแอช, ทัลคัม และฟริต A เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน



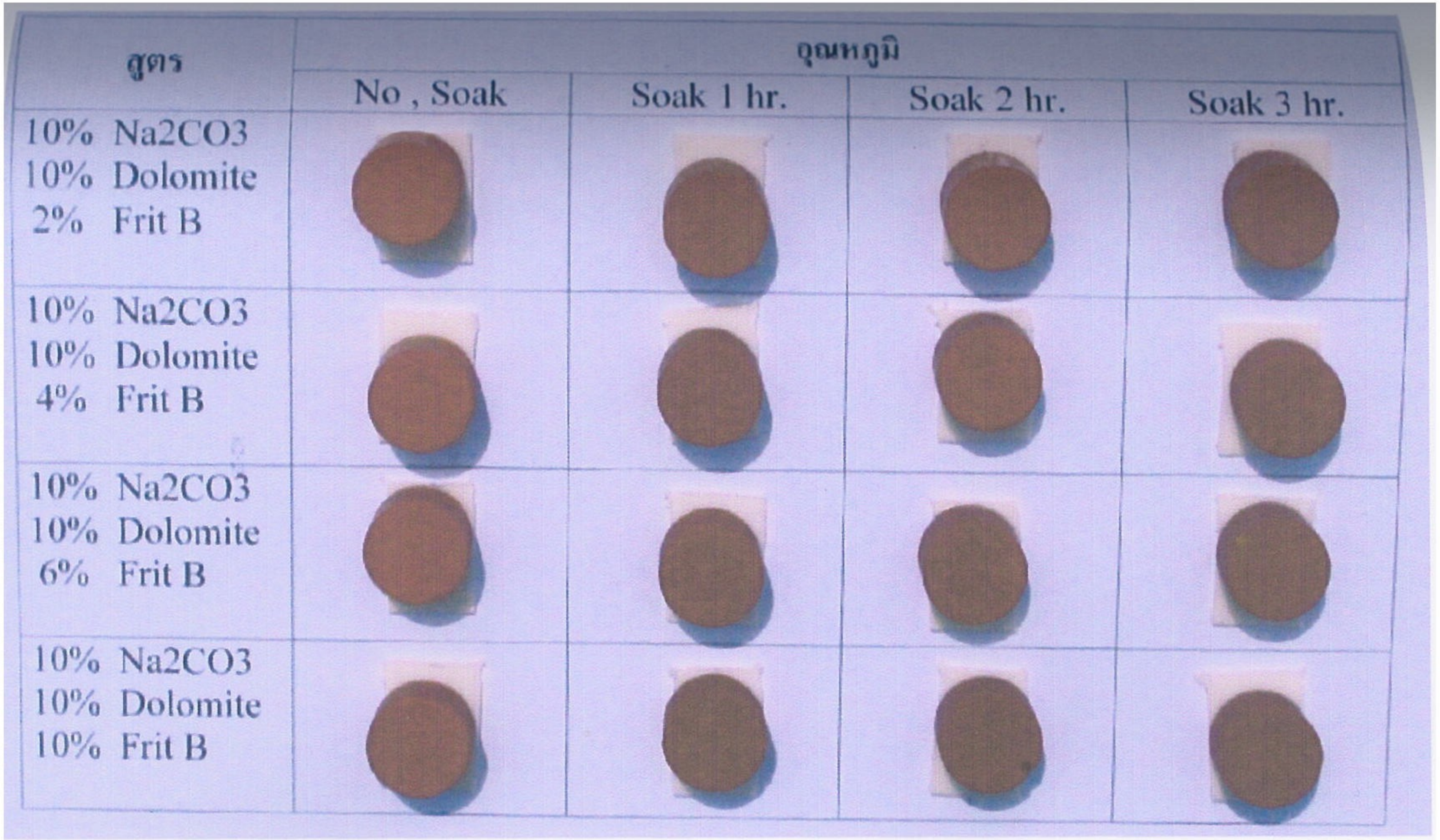
รูปที่ 61 ผลการเติมโซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต A เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน



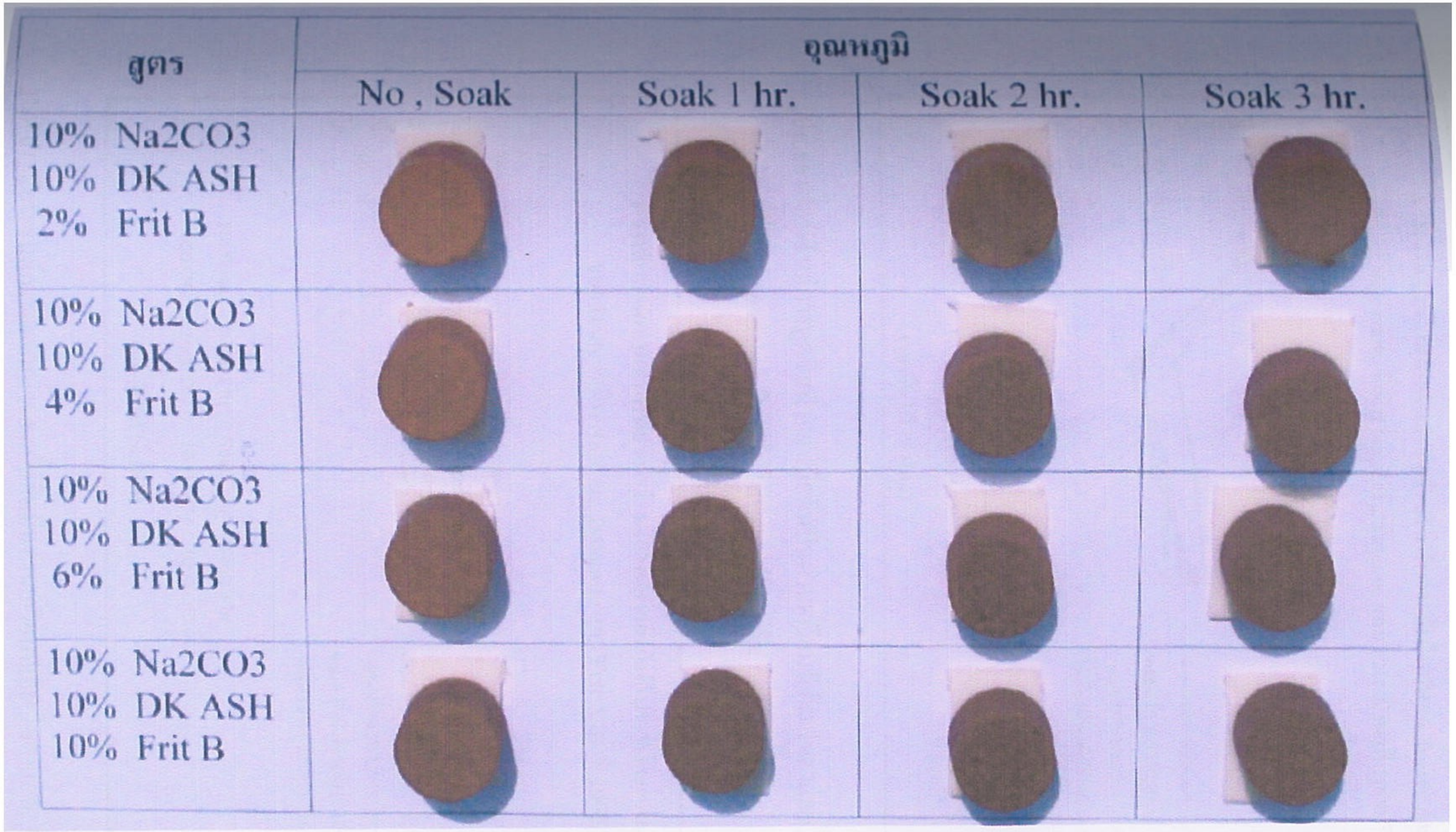
รูปที่ 62 ผลการเติมโซดาแอช, ขี้เถ้ารวม และฟริต A เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน



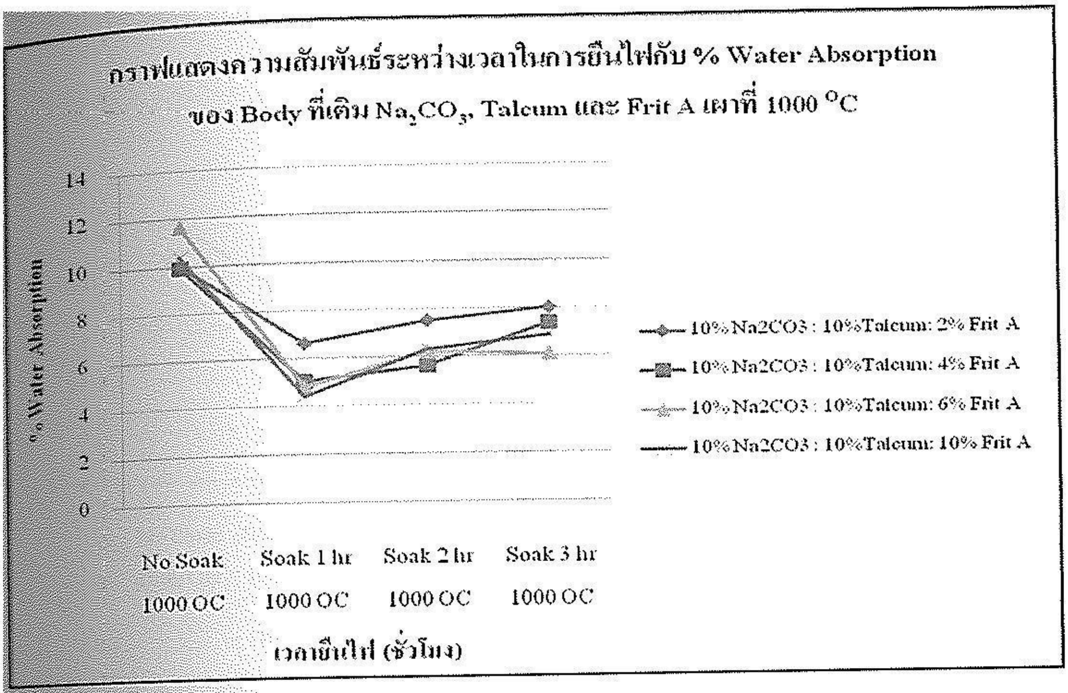
รูปที่ 63 ผลการเติมโซดาแอช, ทัลคัม และฟริต B เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน



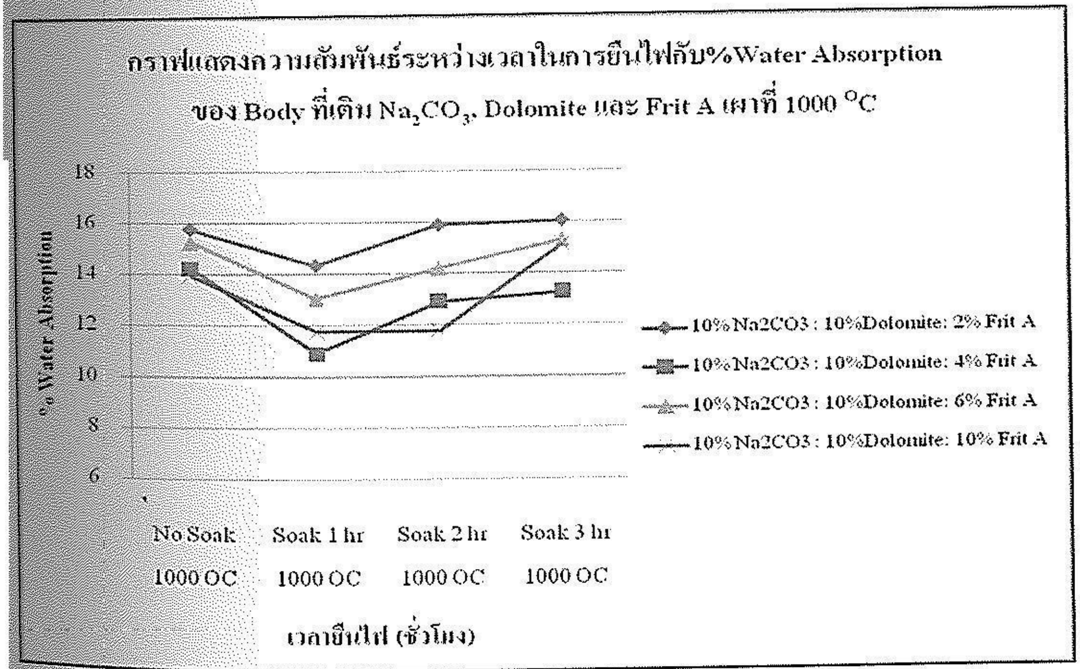
รูปที่ 64 ผลการเติมโซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต B เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน



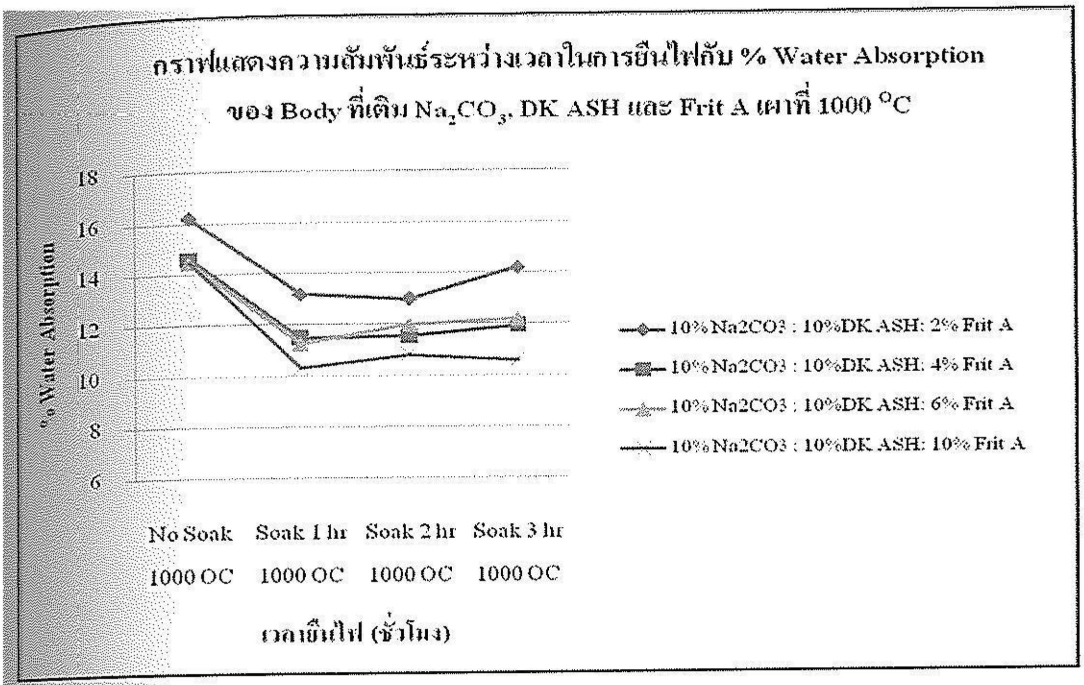
รูปที่ 65 ผลการเติมโซดาแอช, ขี้เถ้ารวม และฟริต B เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน



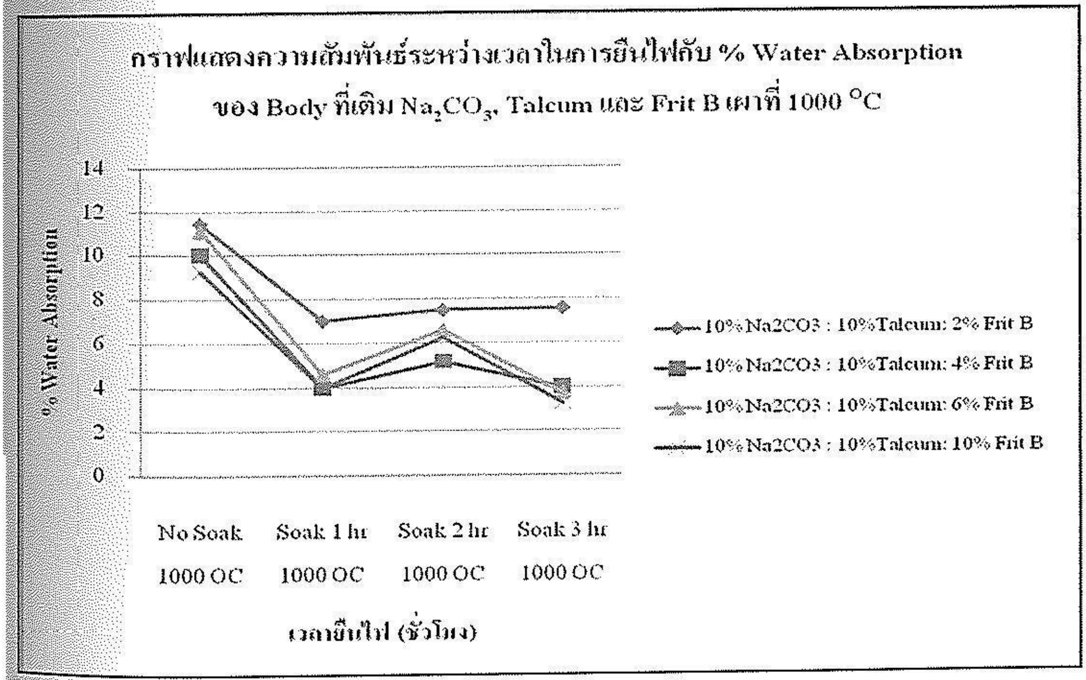
รูปที่ 66 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ทัลคัม และฟริต A เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน



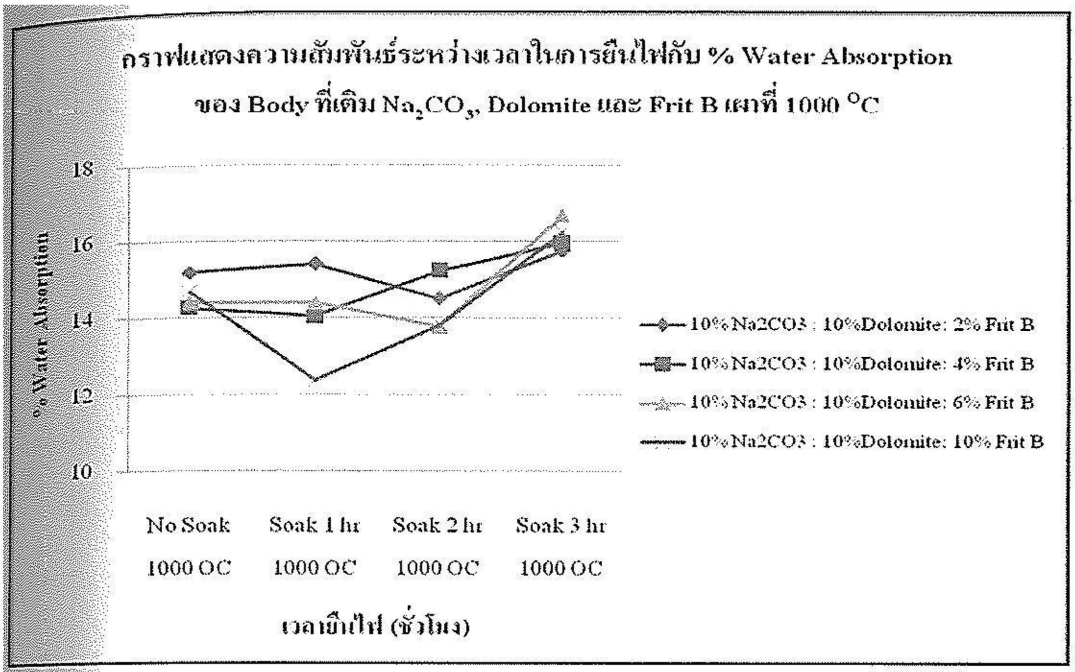
รูปที่ 67 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต A เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน



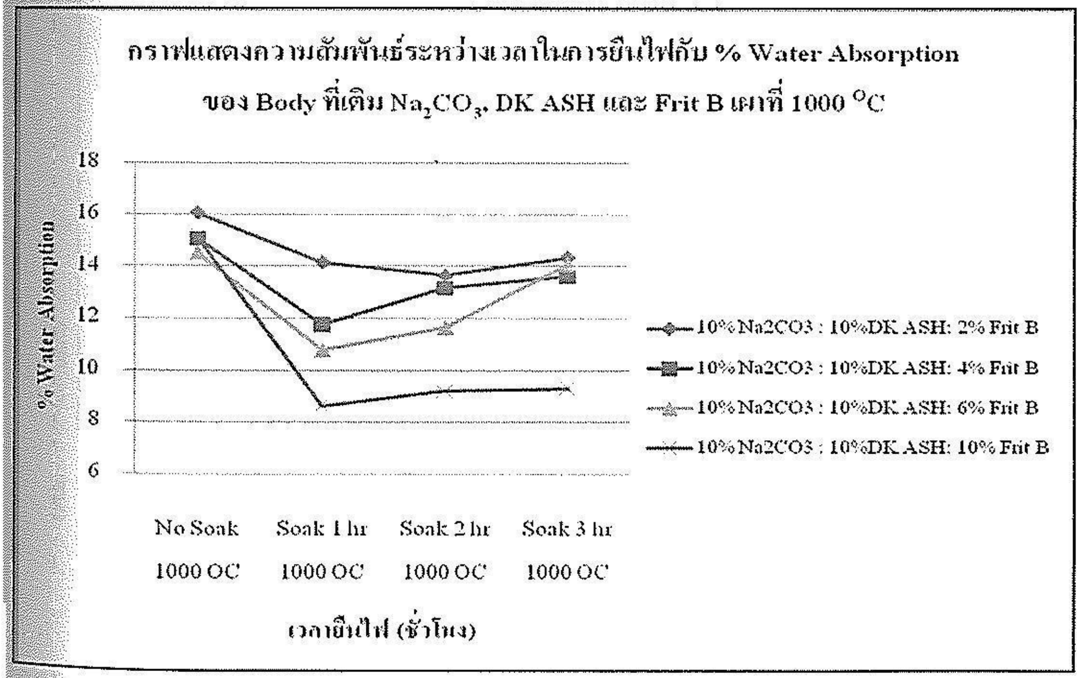
รูปที่ 68 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวม และฟริต A เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน



รูปที่ 69 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ทัลคัม และฟริต B เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน



รูปที่ 70 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต B เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน



รูปที่ 71 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ขี้เถ้ารวม และฟริต B เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 17 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต A หรือฟริต B เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 0 ชั่วโมง

สูตร	1000 °C เป็นเวลา 0 ชั่วโมง									
	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{SS} (g)	W_S (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite : 2% Frit A	16.46	16.24	4.737	9.206	7.972	1.337	27.612	15.479	1.784	2.464
10% Na_2CO_3 : 15%Dolomite : 4% Frit A	16.50	16.18	4.727	9.212	7.965	1.939	27.804	15.656	1.776	2.460
10% Na_2CO_3 : 15%Dolomite : 6% Frit A	16.40	16.04	4.698	9.147	8.023	2.195	25.264	14.010	1.803	2.413
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite :10% Frit A	16.56	16.22	4.721	9.215	8.044	2.053	26.057	14.557	1.790	2.421
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite : 2% Frit B	16.48	16.10	4.728	9.210	7.933	2.306	28.492	16.097	1.770	2.475
10% Na_2CO_3 : 15%Dolomite : 4% Frit B	16.40	16.08	4.672	9.123	7.912	1.951	27.207	15.306	1.778	2.442
10% Na_2CO_3 : 15%Dolomite : 6% Frit B	16.94	16.52	4.757	9.330	7.920	2.479	30.833	17.803	1.732	2.504
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite :10% Frit B	16.76	16.32	4.574	9.104	8.004	2.625	24.283	13.743	1.767	2.334

ตารางที่ 18 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต A หรือฟริต B เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ ชั่วโมง

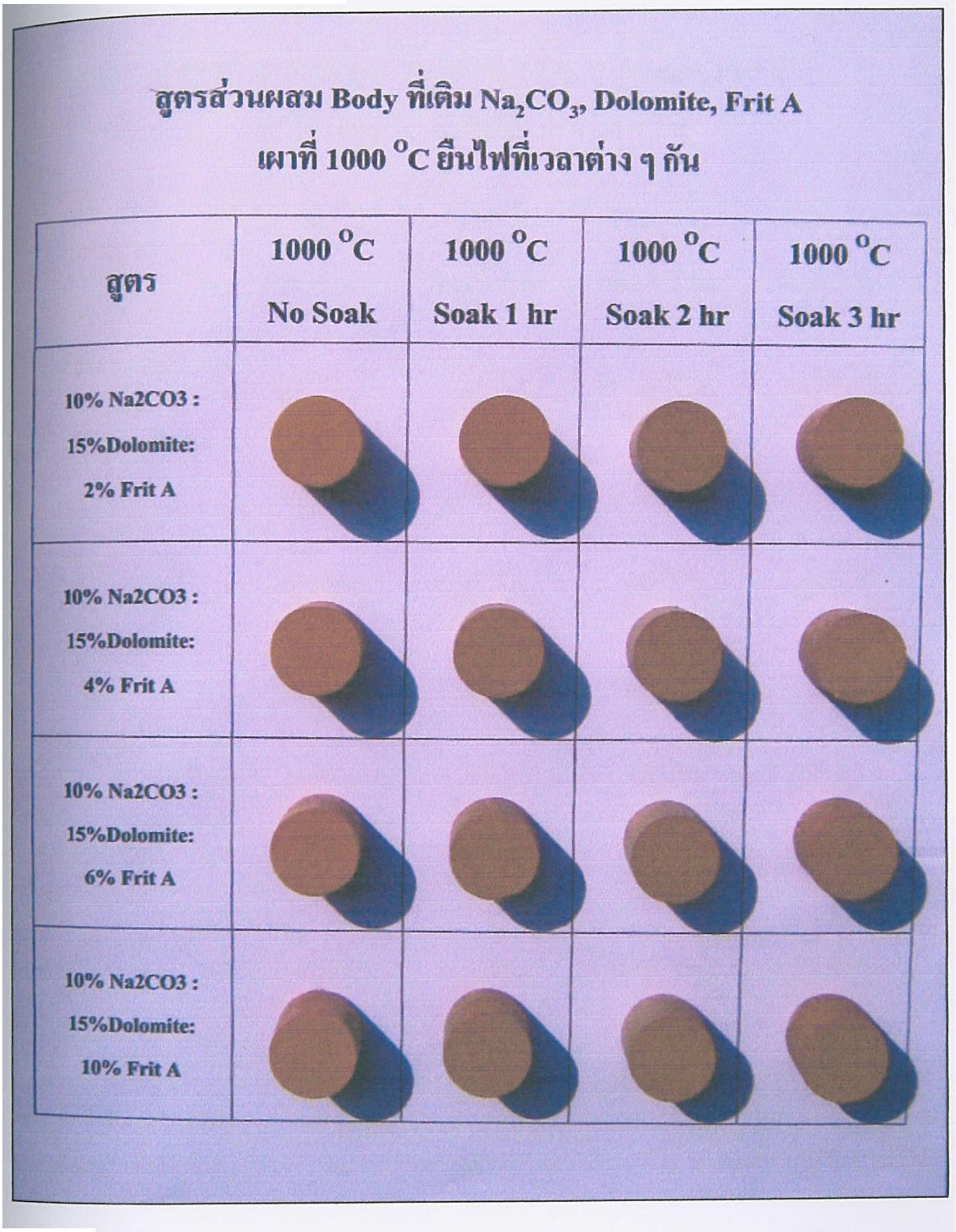
สูตร	1000 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง									
	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{ss} (g)	W_s (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite : 2% Frit A	16.32	15.96	4.590	8.964	7.901	2.206	24.303	13.454	1.806	2.386
10% Na_2CO_3 : 15%Dolomite : 4% Frit A	16.68	16.08	4.647	9.076	7.948	3.597	25.469	14.192	1.795	2.408
10% Na_2CO_3 : 15%Dolomite : 6% Frit A	16.48	16.12	4.539	8.990	7.955	2.184	23.253	13.011	1.787	2.329
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite :10% Frit A	16.58	16.00	4.526	8.900	8.002	3.498	20.530	11.222	1.829	2.302
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite : 2% Frit B	16.62	16.08	4.708	9.144	7.948	3.249	26.961	15.048	1.792	2.453
10% Na_2CO_3 : 15%Dolomite : 4% Frit B	16.58	16.06	4.637	9.044	7.945	3.136	24.938	13.833	1.803	2.402
10% Na_2CO_3 : 15%Dolomite : 6% Frit B	16.82	16.18	4.727	9.186	7.905	3.805	28.728	16.205	1.773	2.487
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite :10% Frit B	16.60	16.04	4.342	8.737	7.978	3.373	17.270	9.514	1.815	2.194

ตารางที่ 19 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต A หรือฟริต B เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

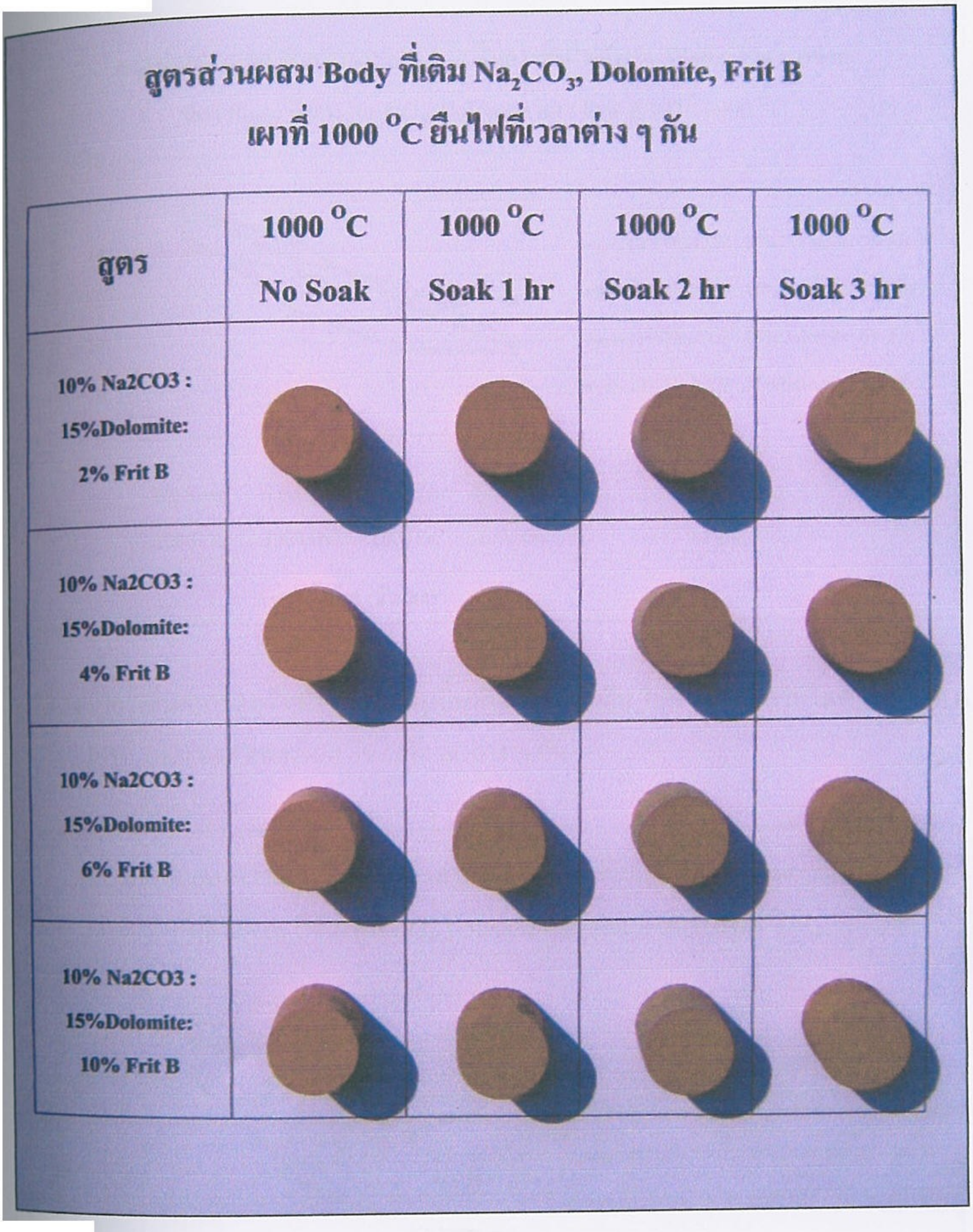
สูตร	1000 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง									
	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{ss} (g)	W_s (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite : 2% Frit A	16.58	16.14	4.646	9.038	8.045	2.654	22.609	12.343	1.832	2.367
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite : 4% Frit A	16.22	15.76	4.495	8.837	7.925	2.836	21.004	11.508	1.825	2.310
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite : 6% Frit A	16.50	16.02	4.503	8.891	8.002	2.909	20.260	11.110	1.824	2.287
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite :10% Frit A	16.98	16.92	4.459	8.794	8.022	0.353	17.809	9.624	1.851	2.251
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite : 2% Frit B	16.48	16.00	4.680	9.097	7.927	2.913	26.489	14.760	1.795	2.441
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite : 4% Frit B	16.20	15.84	4.506	8.858	7.956	2.222	20.726	11.337	1.828	2.306
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite : 6% Frit B	16.50	16.08	4.685	9.093	7.893	2.545	27.223	15.203	1.791	2.460
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite :10% Frit B	16.28	15.86	4.266	8.592	7.971	2.580	14.355	7.791	1.843	2.151

ตารางที่ 20 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต A หรือฟริต B เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 3 ชั่วโมง

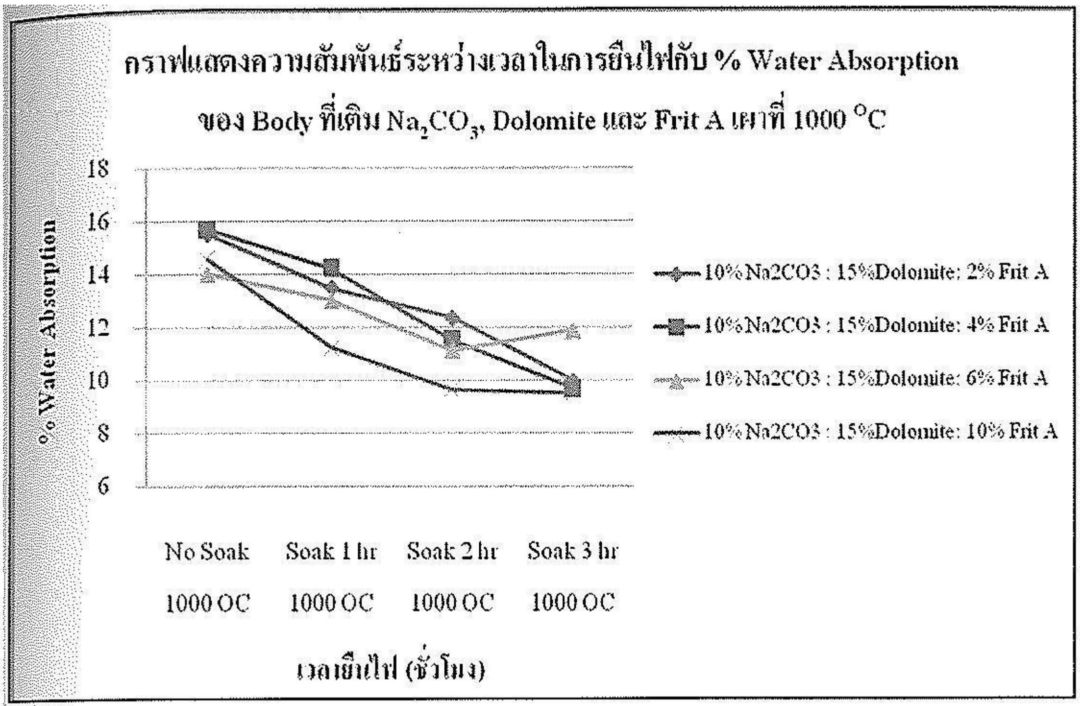
สูตร	1000 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง									
	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{SS} (g)	W_S (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite : 2% Frit A	16.88	15.42	4.432	8.679	7.893	8.649	18.507	9.958	1.858	2.281
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite : 4% Frit A	16.08	15.64	4.409	8.728	7.960	2.736	17.782	9.648	1.843	2.242
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite : 6% Frit A	16.58	15.96	4.524	8.910	7.965	3.739	21.546	11.864	1.816	2.315
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite :10% Frit A	16.50	15.90	4.410	8.746	7.988	3.636	17.482	9.489	1.842	2.233
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite : 2% Frit B	16.20	15.64	4.562	8.890	7.811	3.457	24.931	13.814	1.805	2.404
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite : 4% Frit B	16.18	15.72	4.512	8.820	7.791	2.843	23.886	13.208	1.808	2.376
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite : 6% Frit B	16.44	15.88	4.648	9.011	7.811	3.406	27.504	15.363	1.790	2.469
10% Na_2CO_3 :15%Dolomite :10% Frit B	16.50	15.84	4.210	8.578	7.983	4.000	13.622	7.453	1.828	2.116



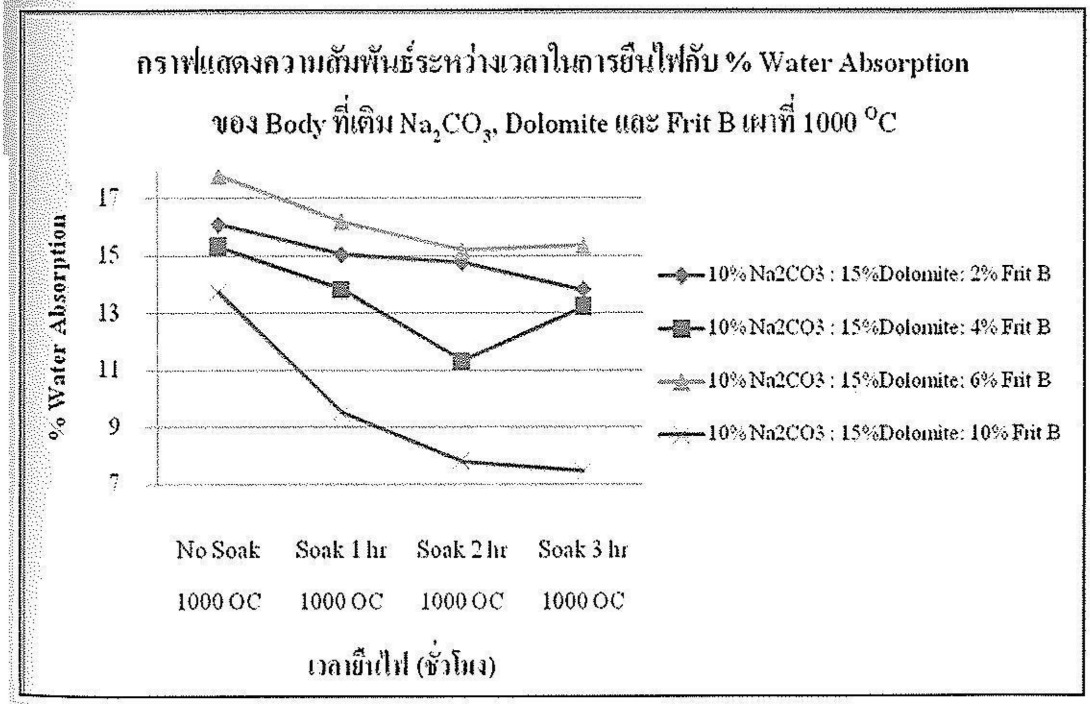
รูปที่ 72 ผลการเติมโซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต A เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน



รูปที่ 73 ผลการเติมโซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต B เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส
ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน



รูปที่ 74 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต A เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน



รูปที่ 75 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, โดโลไมท์ และฟริต B เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟที่เวลาต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 21 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นของด่านเกวียนที่เติม โซดาแอช, ทัลคัม และฟริต A หรือฟริต B เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 1 ชั่วโมง ทดสอบครั้งที่ 2

สูตร	1000 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง									
	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{ss} (g)	W_s (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
10% Na_2CO_3 :10%Talcum : 2% Frit A	16.42	15.44	4.795	8.814	8.361	5.968	11.271	5.418	2.080	2.345
10% Na_2CO_3 : 10%Talcum : 4% Frit A	16.60	15.52	4.861	8.887	8.409	6.506	11.873	5.684	2.089	2.370
10% Na_2CO_3 : 10%Talcum : 6% Frit A	16.50	15.50	4.875	8.897	8.434	6.061	11.512	5.490	2.097	2.370
10% Na_2CO_3 :10%Talcum :10% Frit A	16.48	15.56	4.884	8.967	8.507	5.583	11.266	5.407	2.084	2.348
10% Na_2CO_3 :10%Talcum : 2% Frit B	16.08	15.24	4.785	8.794	8.351	5.224	11.050	5.305	2.083	2.342
10% Na_2CO_3 : 10%Talcum : 4% Frit B	16.14	15.28	4.761	8.729	8.387	5.328	8.619	4.078	2.114	2.313
10% Na_2CO_3 : 10%Talcum : 6% Frit B	16.52	15.72	4.817	8.940	8.404	4.843	13.000	6.378	2.038	2.343
10% Na_2CO_3 :10%Talcum :10% Frit B	16.50	15.74	4.767	8.952	8.457	4.606	11.828	5.853	2.021	2.292

2.5 การทดลองที่ 4

จุดประสงค์

เพื่อเปลี่ยนแปลงวิธีการเตรียมเนื้อดินปั้นจากวิธีผสมแห้งเป็นผสมหมาด

ความเป็นมา

ในการทดลองที่ผ่านมาเป็นการผสมสูตรแบบแห้ง แต่ผู้ประกอบการที่ด่านเกวียนผสมเนื้อดินปั้นด้วยวิธีผสมหมาด เพื่อให้นำสูตรเนื้อดินปั้นที่ได้ไปใช้ที่โรงงานของผู้ประกอบการที่ด่านเกวียนได้ง่ายขึ้น ผู้วิจัยจึงผสมสูตรแบบเปียก โดยเลือกสูตรที่มีความเป็นสโตนแวร์มากที่สุด คือ สูตรดินด่านเกวียน 70% + โซดาแอช 10% + ทัลคัม 10% + ฟริต B 10% วิธีผสมสูตรเนื้อดินปั้นดังต่อไปนี้

1) เตรียมดินด่านเกวียนโดยการอบดินด่านเกวียนให้แห้ง แล้วนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่อง Disc crusher ดังรูปที่ 76

2) นำดินด่านเกวียนที่ได้ไปร่อนผ่านตะแกรงขนาดรูเปิด 80 เมช

3) ชั่งน้ำหนักดินด่านเกวียนและส่วนผสมต่าง ๆ ตามสูตรที่กล่าวข้างต้นดังรูปที่ 77

4) เตรียมส่วนผสมขนาด 6 กิโลกรัม โดยชั่งน้ำหนักดินด่านเกวียนอบแห้งมา 3.5 กิโลกรัม, โซดาแอช 0.5 กิโลกรัม, ทัลคัม 0.5 กิโลกรัม, ฟริต B 0.5 กิโลกรัม และน้ำประปา 2 กิโลกรัม (หรือ 2 ลิตร)

5) ผสมโซดาแอชกับฟริต B ในน้ำ 2 กิโลกรัม กวนผสมให้เข้ากัน

6) ผสมดินด่านเกวียนและทัลคัม ให้เข้ากันโดยการคลุกผสมด้วยมือในกะละมังพลาสติก

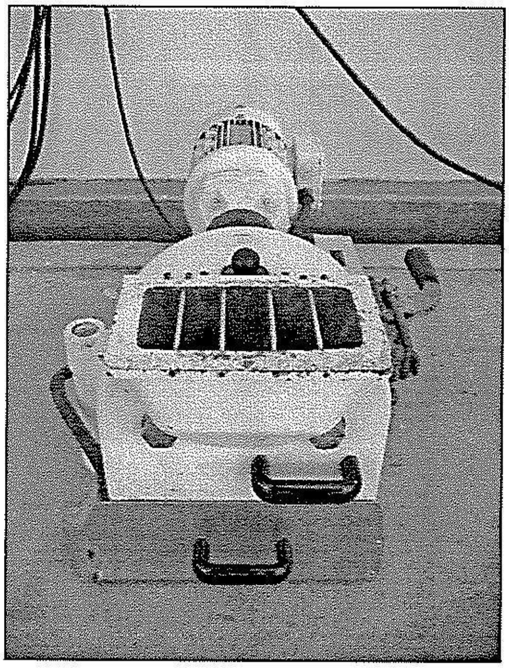
7) เทน้ำของผสมระหว่างโซดาแอชกับฟริต B ลงในกะละมังพลาสติกที่ผสมดินด่านเกวียนและทัลคัม แล้วคลุกผสมให้เข้ากันด้วยไม้พายผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด ดังรูปที่ 78

8) หมักไว้เป็นเวลา 1 วัน เพื่อให้ดินหมาดตัว ดังรูป 79

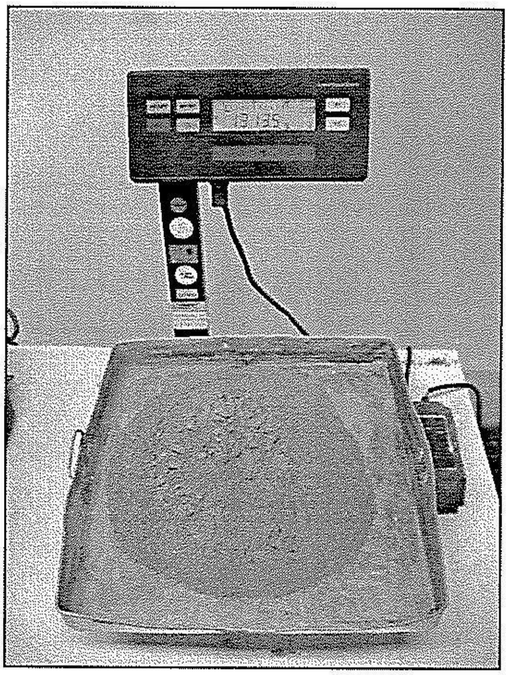
9) นำดินที่ได้ไปผสมอีกทีในเครื่อง Pugmill หรือ Extruder นวดผสมหลาย ๆ รอบเพื่อให้ดินเข้ากันมากที่สุด จะได้ท่อนดินออกมา ดังรูปที่ 80

10) นำชิ้นตัวอย่างที่ได้ไปอบและเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส/นาที และอัตราการลดอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส/นาที

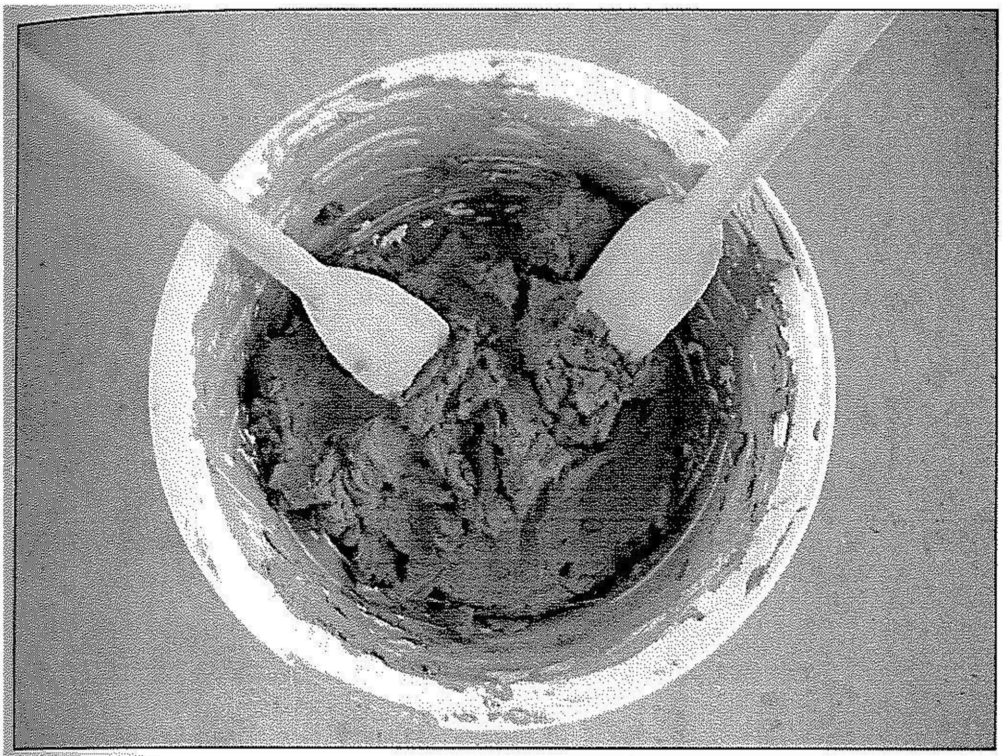
11) นำชิ้นตัวอย่างที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ต่อไป รูปที่ 81 แสดงแผนผังกระบวนการเตรียมส่วนผสมเนื้อดินปั้นในการทดลองนี้



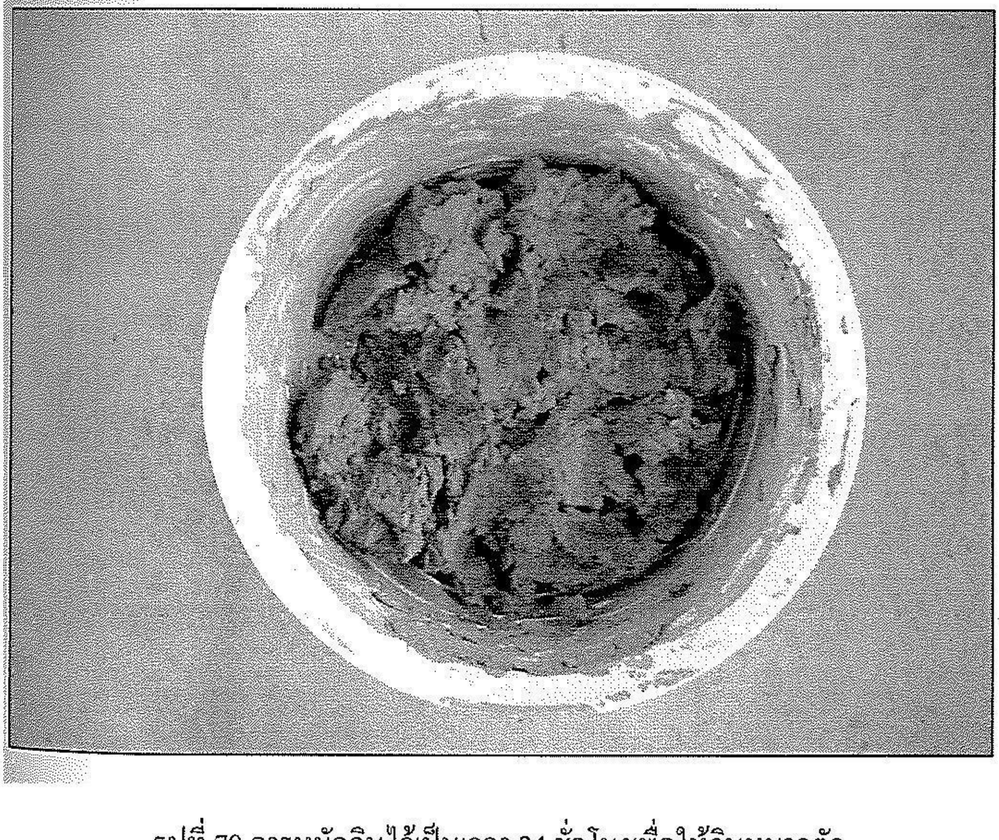
รูปที่ 76 เครื่องบดดินด่านเกวียน Disc crusher



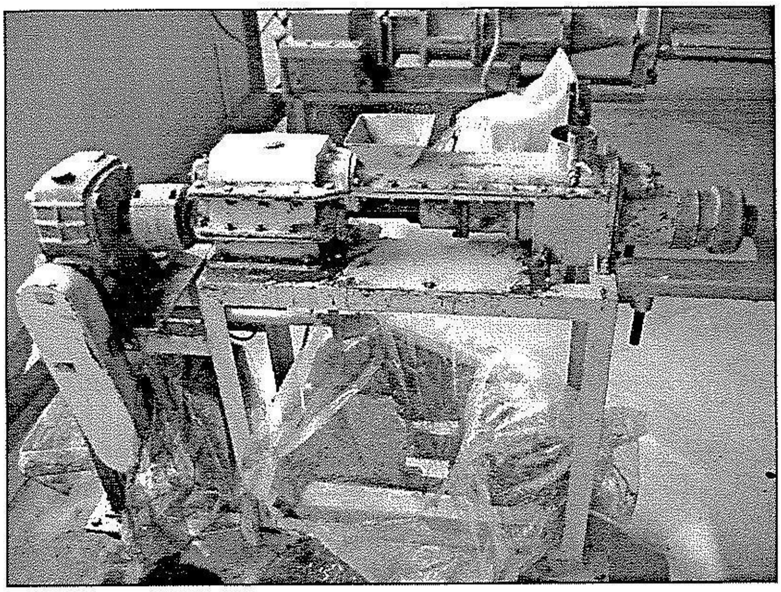
รูปที่ 77 การชั่งน้ำหนักสูตรส่วนผสม



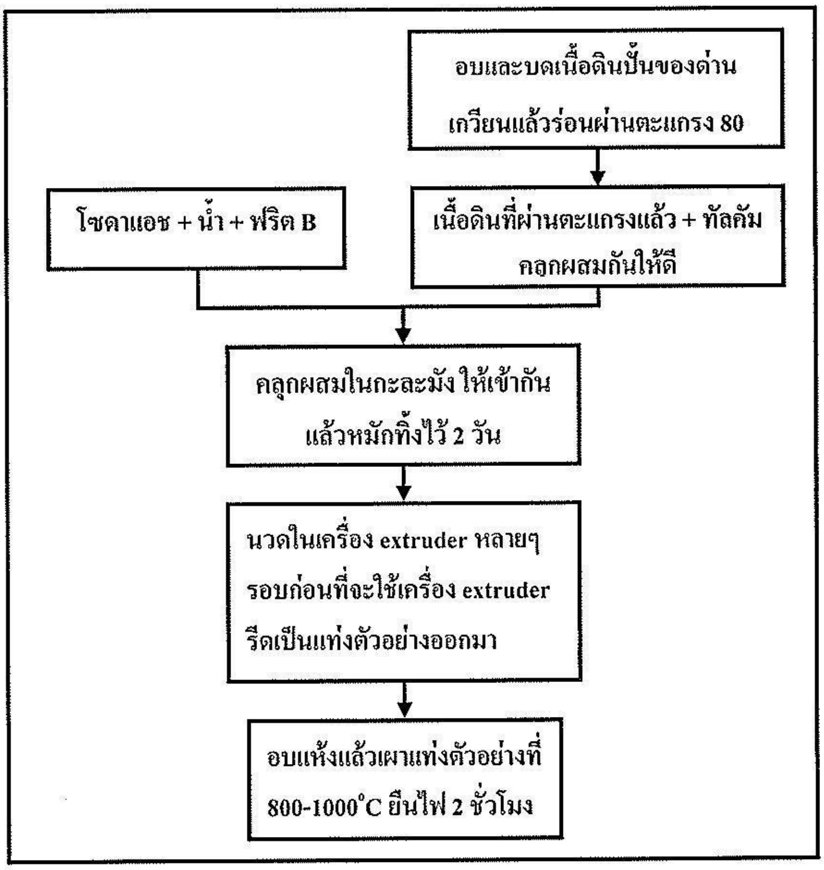
รูปที่ 78 การคลุกผสมดินให้เข้ากันด้วยไม้พาย



รูปที่ 79 การหมักดินไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้ดินหมาดตัว



รูปที่ 80 เครื่องรีดดิน (Pugmill หรือ Extruder)



รูปที่ 81 แผนผังกระบวนการเตรียมส่วนผสมเนื้อดินปั้นในการทดลองนี้

ผลการทดลอง

ตารางที่ 22-24 และรูปที่ 82-83 แสดงลักษณะและสมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นในการทดลองที่ 4 เผาที่ 800-1000 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่าชิ้นตัวอย่างที่ทำขึ้นจากเนื้อดินปั้นของด่านเกวียนที่อบและบดแล้ว 70%, โซดาแอช 10%, ทัลคัม 10% และฟริต B 10% เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง เกิดเคลือบขึ้นที่ผิวของชิ้นตัวอย่าง เคลือบที่เกิดขึ้นน่าจะมาจากโซดาแอช และฟริต B ละลายน้ำก่อนที่จะเทผสมในดินด่านเกวียนที่ผสมทัลคัม (Talcum) ซึมกลับออกมาที่ผิว และจากการตรวจสอบสมบัติต่าง ๆ ทางกายภาพพบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นในการทดลองนี้อยู่ที่ประมาณ 7% ถึงแม้นว่าจะสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ (คือไม่เกิน 5%) แต่ถือว่ายอมรับได้ จึงสรุปว่าสูตรการทดลองดังกล่าวเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง มีความเป็นผลิตภัณฑ์สโตนแวร์โดยการหาค่าเฉลี่ยจากชิ้นตัวอย่างทั้งหมด 5 ชิ้น เคลือบบนชิ้นงานที่เผาที่ 800 และ 900 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง อนึ่งชิ้นงานที่เผาที่ 800-900 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำสูงและไม่เกิดเคลือบบนผิวชิ้นงาน ซึ่งอาจจะเป็นเพราะอุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียส ต่ำเกินกว่าที่จะทำให้ผิวชิ้นงานสุกตัว

ตารางที่ 22 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน 70% + โซดาแอช 10% + ทัลคัม 10% + ฟริต B 10% เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

1000 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ชิ้นที่	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{SS} (g)	W_S (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
1	47.46	45.84	9.945	18.160	16.927	3.413	15.009	7.284	2.060	2.424
2	47.06	46.36	10.200	18.741	17.405	1.487	15.642	7.676	2.038	2.416
3	48.26	46.44	10.856	19.853	18.534	3.771	14.660	7.117	2.060	2.414
4	48.00	46.38	10.337	18.883	17.489	3.375	16.312	7.971	2.046	2.445
5	47.96	46.34	8.589	15.535	14.495	3.378	14.973	7.175	2.087	2.454

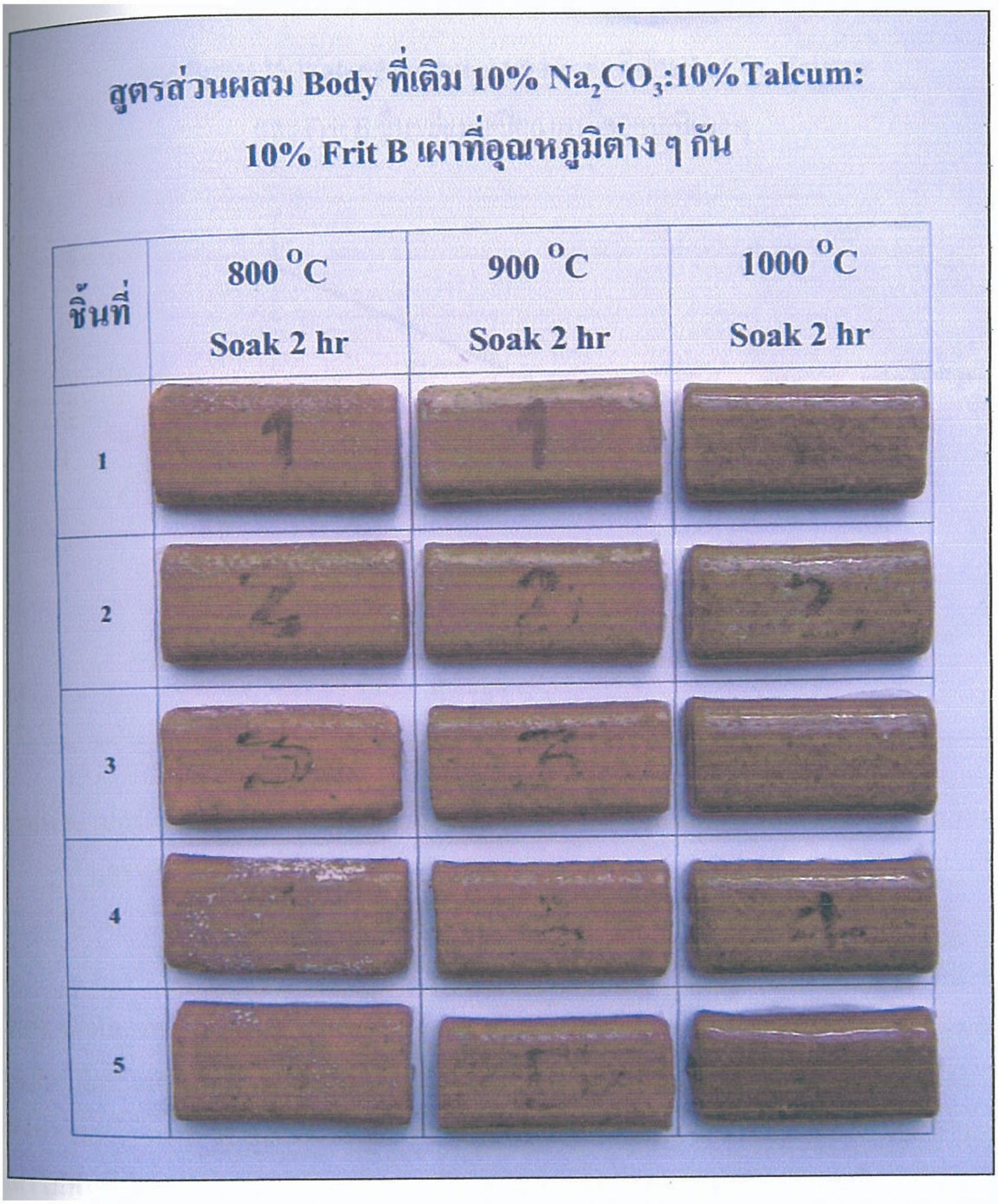
ตารางที่ 23 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน 70% + โซดาแอช 10% + ทัลคัม 10% + ฟริต B 10% เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

900 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

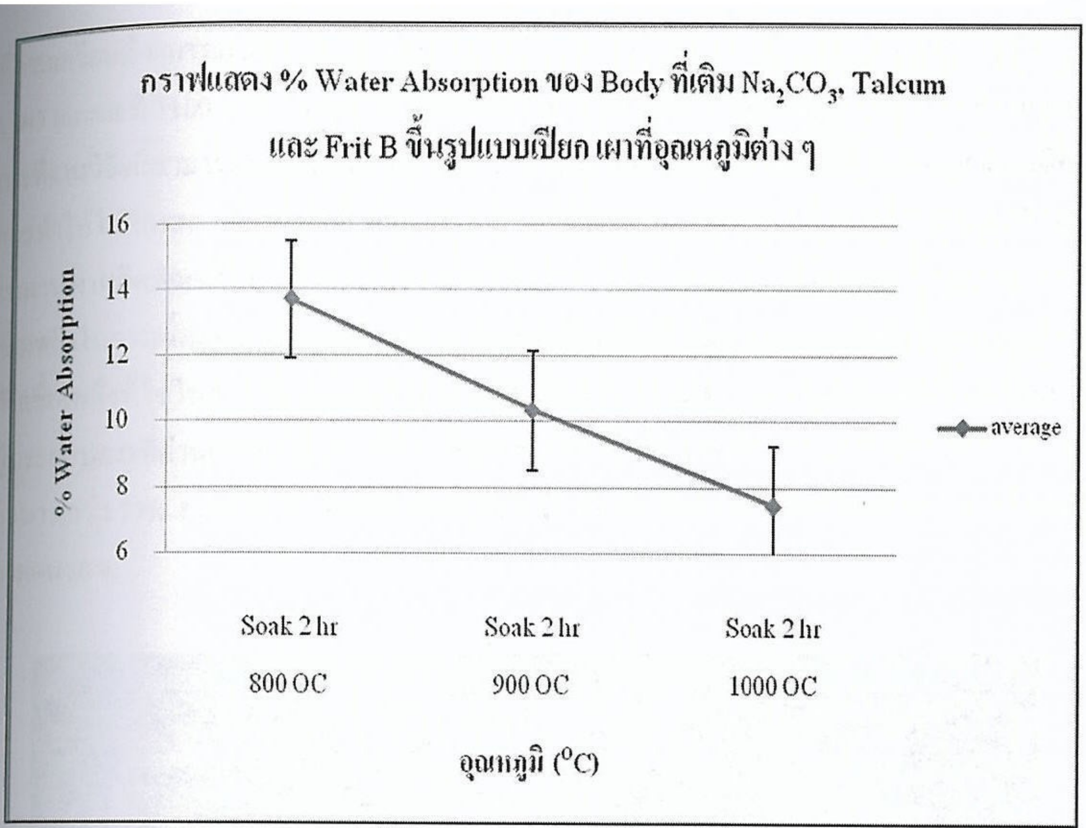
ชิ้นที่	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{SS} (g)	W_S (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
1	47.34	45.72	9.918	18.382	16.691	3.422	19.979	10.131	1.972	2.464
2	46.72	45.20	9.620	17.835	16.227	3.253	19.574	9.909	1.975	2.456
3	47.32	45.80	9.700	18.018	16.351	3.212	20.041	10.195	1.966	2.458
4	46.82	45.32	10.195	18.971	17.121	3.204	21.080	10.805	1.951	2.472
5	46.18	44.84	9.539	17.755	16.049	2.902	20.764	10.630	1.953	2.465

ตารางที่ 24 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน 70% + โซดาแอช 10% + ทัลคัม 10% + ฟริต B 10% เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

ชิ้นที่	800 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง									
	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{SS} (g)	W_S (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
1	47.82	46.86	10.338	19.829	17.378	2.008	25.824	14.104	1.831	2.468
2	47.30	46.54	10.060	19.169	16.912	1.607	24.778	13.346	1.857	2.468
3	46.22	45.20	9.395	18.112	15.719	2.207	27.452	15.224	1.803	2.486
4	48.00	46.78	10.136	19.438	17.438	2.542	21.501	11.469	1.875	2.388
5	47.22	45.66	9.968	19.112	16.719	3.304	26.170	14.313	1.828	2.477



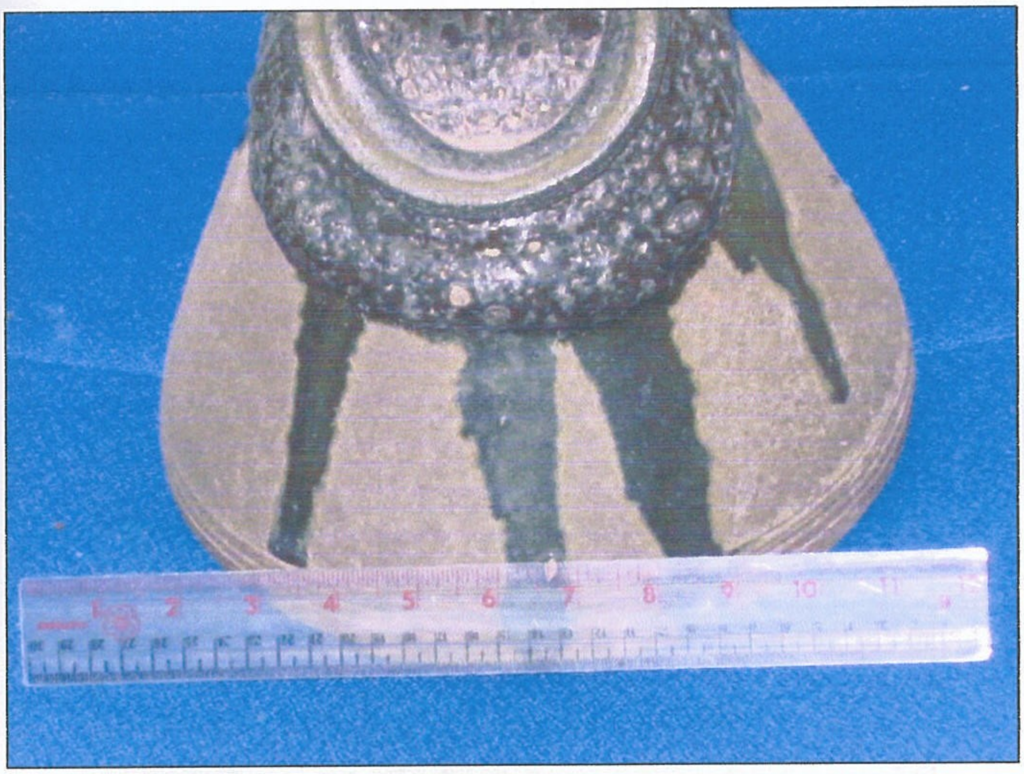
รูปที่ 82 เนื้อดินปั้นด่านเกวียน 70%, โซดาแอช 10%, ทัลคัม 10% และฟริต B 10% เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 83 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน 70% ที่เติมโซดาแอช 10%, ทัลคัม 10% และฟริต B 10% ซึ่งเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

เนื่องจากชิ้นงานที่ทำจากเนื้อดินปั้นด่านเกวียนอบและบด 70% เติมโซดาแอช 10%, ทัลคัม 10% และ ฟริต B 10% เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีความพิเศษคือมีผิวเป็นมันเหมือนมีเคลือบในตัว งานวิจัยนี้จึงเรียกเนื้อดินนี้ว่า “เนื้อดินปั้นพิเศษ” ผู้วิจัยจึงได้ขอให้คุณเมี้ยน สิงห์ทะเล ที่ด่านเกวียน ทดลองนำเนื้อดินปั้นพิเศษนี้ไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงานเล็ก ๆ แล้วแบ่งไปเผาที่เตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียนส่วนหนึ่งและนำกลับมาเผาในเตาไฟฟ้าที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีอีกส่วนหนึ่ง ผลปรากฏว่าชิ้นงานที่เผาในเตาด่านเกวียนหลอมติดกับครกซึ่งขึ้นรูปจากเนื้อดินปั้นปกติของด่านเกวียน ดังแสดงในรูป 84 แสดงให้เห็นชัดว่าเนื้อดินปั้นพิเศษฯ มีจุดหลอมตัวต่ำกว่าเนื้อดินปั้นด่านเกวียนมาก และชิ้นตัวอย่างที่ทำจากเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ซึ่งเผาในเตาไฟฟ้ากลับมีความสวยงามพิเศษคือมีผิวสุกตัวเป็นแก้วมันวาวเหมือนมีเคลือบในตัวทั้ง ๆ ที่ไม่ได้เคลือบแต่อย่างใด (ดังรูป 85) ดังนั้นหากนำเนื้อดินปั้นนี้ไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเคลือบในตัวโดยไม่ต้องชุบเคลือบเลย ทำให้ประหยัดต้นทุนได้มาก เนื่องจากเนื้อดินปั้นดังกล่าวสุกตัวที่อุณหภูมิต่ำ กล่าวคือ สุกตัวโดยการเผาเพียงครั้งเดียวที่อุณหภูมิเพียง 1000 องศาเซลเซียส จากข้อมูลที่สอบถามคุณจรรยา ป้อมสินทรัพย์ (ร้านดินเผา ที่ด่านเกวียน) ทราบว่า ณ ปัจจุบัน หากผู้ประกอบการ

ที่ด่านเกวียนต้องการเผาผลิตภัณฑ์ด่านเกวียนให้มีผิวเคลือบเป็นเซรามิกจะต้องเผา 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 เผา biscuit ที่ 1100 องศาเซลเซียส และเผาครั้งที่ 2 เผาเคลือบ ที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส การที่งานวิจัยนี้สามารถลดอุณหภูมิในการเผาจาก 1250 องศาเซลเซียส มาเผาที่ 1000 องศาเซลเซียส และทำให้ไม่ต้องเผา biscuit อีกด้วย แสดงว่างานวิจัยนี้สามารถประสพความสำเร็จในการลดต้นทุนในการเผาผลิตภัณฑ์ที่มีเคลือบเป็นเซรามิกได้มากกว่าร้อยละ 75% เพราะว่าเคยมีงานวิจัยพบว่าเชื้อเพลิงในการเพิ่มอุณหภูมิเตาจาก 1000 องศาเซลเซียส ไปถึง 1200 องศาเซลเซียส มีปริมาณเท่า ๆ กับเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิเตาจากอุณหภูมิห้องไปถึง 1000 องศาเซลเซียส ฉะนั้นหากผู้ประกอบการที่ด่านเกวียนใช้สูตรเนื้อดินปั้นพิเศษนี้จะใช้เชื้อเพลิงในการเผาผลิตภัณฑ์ที่มีราคาถูกลงมากกว่า 75% งานวิจัยนี้ได้จดอนุสิทธิบัตรเนื้อดินปั้นพิเศษสูตรดังกล่าวดังรายละเอียดในภาคผนวก ง.



รูปที่ 84 ชิ้นตัวอย่างที่ทำจากเนื้อดินปั้นด่านเกวียน 70% + โซดาแอช 10% + ทัลคัม 10% และฟริต B 10% เผาในเตาฟืนด่านเกวียนแล้วหลอมติดกับครกซึ่งทำจากเนื้อดินปั้นด่านเกวียนธรรมดาจากภาพจะเห็นได้ชัดว่าขณะที่เนื้อดินปั้นธรรมดา (ครก) สุกตัวแบบธรรมดาแต่เนื้อดินปั้นที่เตรียมขึ้นในงานวิจัยนี้หลอมตัวจนเยิ้ม

รูปที่ 85 ชิ้นงานที่ทำจากเนื้อดินปั้นด่านเกวียน 70% + โซดาแอช 10% + ทัลคัม 10% และ ฟริต B 10% เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง เผาในเตาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

2.6 การทดลองที่ 5

จุดประสงค์

เพื่อลดต้นทุนสูตรผสมเนื้อดินปั้นพิเศษและเปรียบเทียบความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นที่ผสมขึ้นกับเนื้อดินปั้นแบบที่โรงงานผู้ประกอบการที่ด่านเกวียนใช้อยู่ตามปกติทั่วไป (blank)

ความเป็นมา

จากภาคผนวก ข. จะเห็นได้ว่าต้นทุนเนื้อดินปั้นพิเศษที่เตรียมในการทดลองที่ 4 มีราคาสูงมาก จึงต้องการปรับปรุงให้มีราคาถูกลง และเพื่อตรวจสอบดูว่าเนื้อดินปั้นแบบพิเศษที่ค้นพบมีความแข็งแรงสูงกว่าหรือต่ำกว่าเนื้อดินปั้นที่ผู้ประกอบการที่ด่านเกวียนใช้อยู่ทั่วไป

วิธีการทดลอง

1) ผสมเนื้อดินปั้นที่มีส่วนผสมต่างกัน 5 สูตร ใช้เนื้อดินปั้นมาตรฐานที่โรงงานที่ด่านเกวียนใช้อยู่ทั่วไป ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เป็นสูตรสำหรับเปรียบเทียบ (blank) ดังต่อไปนี้

สูตร	สูตรผสมเนื้อดินปั้น
Blank	เนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่ใช้กันทั่วไป
สูตรที่ 1	ดินด่านเกวียน 70% ; โซดาแอช 5% ; ทัลคัม 20% ; ฟริต B 5%
สูตรที่ 2	ดินด่านเกวียน 70% ; โซดาแอช 5% ; โดโลไมท์ 20% ; ฟริต B 5%
สูตรที่ 3	ดินด่านเกวียน 65% ; โซดาแอช 5% ; ทัลคัม 20% ; ฟริต B 10%
สูตรที่ 4	ดินด่านเกวียน 65% ; โซดาแอช 5% ; โดโลไมท์ 20% ; ฟริต B 10%

2) นำดินที่ผสมแต่ละสูตรส่วนผสมไปเข้าเครื่องรีดดินแล้วรีดชิ้นตัวอย่างให้เป็นแท่งมีขนาด พื้นที่หน้าตัด กว้าง × สูง เท่ากับ 15 มม. × 10 มม. และยาวเท่ากับ 150 มม. ดังรูปที่ 86 สูตรละ 40 ชิ้น

3) นำชิ้นตัวอย่างที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อไล่น้ำออกจากโครงสร้าง

4) นำชิ้นตัวอย่างทุกสูตร สูตรละ 20 ชิ้นไปเผาที่เตาไฟฟ้า (รูปที่ 12) อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศปกติ ใช้อัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส/นาที และยืนไฟ 2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงด้วยอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส/นาที จนถึงอุณหภูมิห้อง

5) นำชิ้นตัวอย่างในข้อ 4 ที่ผ่านการเผาแล้วไปวัดความแข็งแรงด้วยเครื่องวัด Bending Strength ยี่ห้อ LLOYD INSTRUMENT รุ่น LF Plus ดังรูปที่ 87 โดยกำหนดให้ความเร็ว

ในการกดเท่ากับ 4.4 นิวตัน/นาที ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C689 แล้วบันทึกค่าแรงกดที่ทำให้ชิ้นงานหัก (Maximum Load) ที่วัดได้

6) นำค่า Maximum Load ที่วัดได้ ไปคำนวณค่า Modulus of rupture (MOR) จากสมการดังนี้ $MOR = 3PL / 2bd^2$

7) จากนั้นนำดินในแต่ละสูตรอีกส่วนหนึ่งที่เหลือไปรีดเป็นแท่งชิ้นตัวอย่าง ขนาด กว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ 2.5 × 4.5 × 1 ซม. จำนวนสูตรละ 20 ชิ้นตัวอย่าง

8) นำชิ้นตัวอย่างทุกสูตร สูตรละ 20 ชิ้นไปเผาที่เตาไฟฟ้าสีเทา Carbolite อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศปกติ ใช้อัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส/นาที และยืนไฟ 2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงด้วยอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส/นาที จนถึงอุณหภูมิห้อง

9) นำชิ้นตัวอย่างไปหาเปอร์เซ็นต์การหดตัว (%Linear Shrinkage) ตามสูตรการคำนวณ ดังต่อไปนี้

$$\%linear\ shrinkage = \frac{dry\ length - fired\ length}{dry\ length} \times 100$$

เมื่อ dry length คือ ความยาวหลังอบแห้ง

fired length คือ ความยาวหลังเผา

10) แล้วนำชิ้นตัวอย่างไปต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ปิดฝาด้วย ต้องคอยเติมน้ำให้น้ำเดือดท่วมชิ้นตัวอย่างตลอดเวลาที่ต้มและปล่อยให้เย็นตัวลงในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

11) นำชิ้นตัวอย่างไปชั่งแบบแขวนลอยในน้ำได้เป็นน้ำหนักแขวนลอยในน้ำ (Suspended weight, W_{SS})

12) ใช้ผ้าหมาดเช็ดน้ำที่ไหลเยิ้มออกจากผิวชิ้นตัวอย่าง แล้วชั่งน้ำหนักได้เป็นน้ำหนักที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated weight, W_S)

13) นำชิ้นตัวอย่างไปอบจนแห้งสนิทแล้วปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนักได้เป็นน้ำหนักแห้งสุทธิ (Dry weight, W_D)

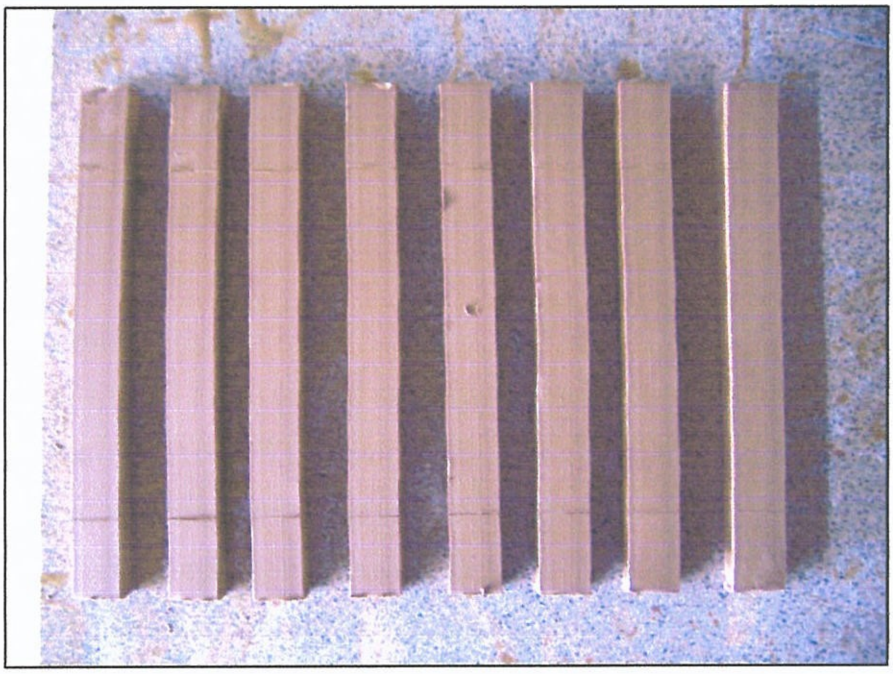
14) นำค่า W_{SS} , W_S และ W_D ที่ได้ไปหาค่าความหนาแน่น (Bulk density), ความพรุนตัว (Apparent Porosity), การดูดซึมน้ำ (Water Absorption) และความถ่วงจำเพาะ (Apparent specific gravity) ตามมาตรฐาน ASTM C 373-88 ตามสูตรการคำนวณ ดังต่อไปนี้

$$\%porosity = \frac{(w_S - w_D)}{(w_S - w_{SS})} \rho_l \times 100$$

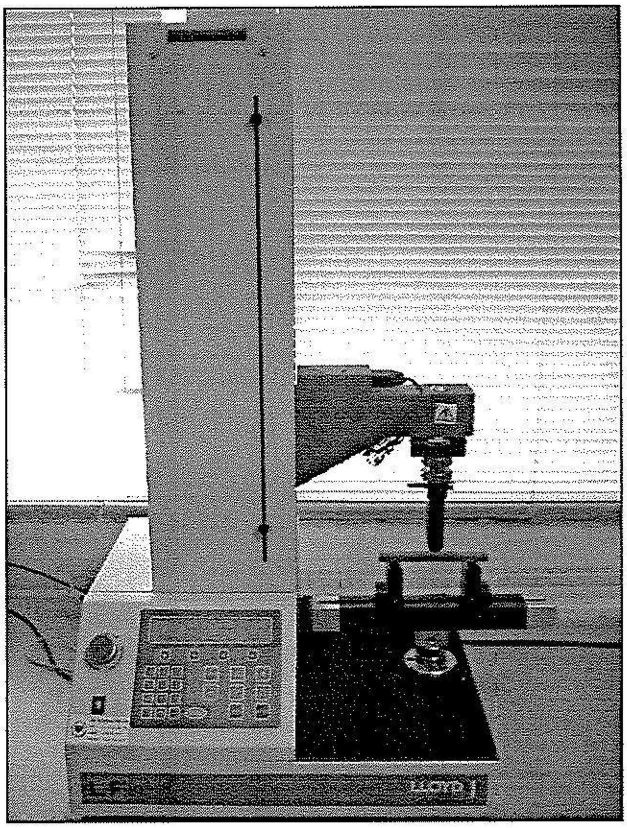
$$\%water\ absorption = \frac{(w_S - w_D)}{w_D} \times 100$$

$$bulk\ density\ (g/cm^3) = \frac{w_D \rho_l}{(w_S - w_{SS})} \times 100$$

$$\%apparent\ specific\ gravity = \frac{w_D}{(w_D - w_{SS})} \times 100$$



รูปที่ 86 ชิ้นตัวอย่างที่ได้จากเครื่องรีดดินเพื่อทดสอบความแข็งแรง



รูปที่ 87 เครื่องวัด Bending Strength ยี่ห้อ LLOYD INSTRUMENT รุ่น LF Plus

ผลการทดลอง

ตารางที่ 25-29 และรูปที่ 88-95 แสดงลักษณะและสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นทุกสูตร หลังเผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ตารางที่ 30-40 และรูปที่ 94 แสดงความแข็งแรงหลังอบและหลังเผาของเนื้อดินปั้นทุกสูตร

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของเนื้อดินปั้นสูตรที่ 1-4 (รูปที่ 90-93) เทียบกับสูตร blank (รูปที่ 89) ซึ่งทำจากเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่ผู้ประกอบการที่ด่านเกวียนใช้กันอยู่ทั่วไป จะเห็นว่าเนื้อดินปั้นสูตร blank และสูตรที่ 2 และ 4 ที่ใช้โดโลไมท์เป็นส่วนผสมมีผิวด้านไม่มีลักษณะของเคลือบบนผิวชิ้นตัวอย่าง ขณะที่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 1 และ 3 ซึ่งใช้ทัลคัมเป็นส่วนผสมมีผิวมันเป็นเคลือบ อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบผิวเนื้อดินปั้นสูตรที่ 2 และ 4 ในการทดลองนี้มีผิวเป็นมันและเป็นเคลือบน้อยกว่าเนื้อดินปั้นสูตรที่ใช้ในการทดลองที่ 4 (รูปที่ 82 และ 85) มาก นอกจากนี้จะเห็นว่าเนื้อดินปั้นสูตรที่ 1 และ 3 มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเป็นที่ยอมรับ เพราะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเฉลี่ยจากตัวอย่าง 20 ชิ้นเท่ากับ 8.14% และ 9.15 ตามลำดับซึ่งใกล้เคียงกับเนื้อดินปั้นในการทดลองที่ 4 แต่สูตรที่ 2 และสูตรที่ 4 ซึ่งเป็นการแทนที่ โซดาแอช, ฟริต B และทัลคัม ด้วยโดโลไมท์

มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเฉลี่ยจากตัวอย่าง 20 ชิ้นสูงมาก คือเท่ากับ 20.49% และ 18.87% ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าเมื่อนำไปเผาโดโลไมท์จะเกิดการแตกตัวให้แก๊สออกมา ทำให้เกิดความพรุนตัวมากขึ้นในชิ้นตัวอย่างจึงดูดซึมน้ำได้มากขึ้น แสดงว่าไม่สามารถลดต้นทุนเนื้อดินปั้นด้วยการแทนที่โซดาแอช, ฟริต B และทัลคัม ด้วยโดโลไมท์ได้

จากการทดลองนำชิ้นตัวอย่างที่รีดเป็นแท่งไปหาความแข็งแรงก่อนเผาและหลังเผา พบว่าสูตรที่ 1 และสูตรที่ 3 มีค่าความแข็งแรง (Modulus of Rupture) ก่อนเผาเฉลี่ยจากตัวอย่าง 20 ชิ้น เท่ากับ 13.41 MPa และ 12.55 MPa ตามลำดับ ส่วนค่าความแข็งแรง (Modulus of Rupture) หลังเผาเฉลี่ยจากตัวอย่าง 20 ชิ้น เท่ากับ 21.85 MPa และ 20.26 MPa ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าชิ้นตัวอย่างสูตรที่ 1 และ 3 มีความแข็งแรงมากกว่าชิ้นตัวอย่างที่เตรียมขึ้นจากเนื้อดินปั้นด่านเกวียนทั่วไป (สูตร blank) ซึ่งมีค่าความแข็งแรง (Modulus of Rupture) ก่อนเผาเฉลี่ยจากตัวอย่าง 20 ชิ้น เท่ากับ 9.04 MPa และค่าความแข็งแรง (Modulus of Rupture) หลังเผาเฉลี่ยจากตัวอย่าง 20 ชิ้น เท่ากับ 18.92 MPa แต่สูตรส่วนผสมที่ 2 และ 4 มีค่าความแข็งแรง (Modulus of Rupture) ก่อนเผาเฉลี่ยจากตัวอย่าง 20 ชิ้น เท่ากับ 9.18 MPa และ 10.45 MPa ตามลำดับ ส่วนความแข็งแรง (Modulus of Rupture) หลังเผาเฉลี่ยจากตัวอย่าง 20 ชิ้น เท่ากับ 15.25 MPa และ 12.88 MPa ตามลำดับ จะเห็นว่าความแข็งแรงก่อนเผาจะมีค่ามากกว่าสูตร Blank เล็กน้อย แต่ความแข็งแรงหลังเผาจะมีค่าต่ำกว่าสูตร Blank

โดยสรุปจะเห็นว่าการปรับสูตรเนื้อดินปั้นพิเศษตามสูตรที่ 1 และสูตรที่ 3 จะได้ชิ้นงานที่เผาได้ที่มีความมันวาวน้อยลง เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำสูงขึ้นเล็กน้อย และความแข็งแรงหลังอบและหลังเผาเพิ่มขึ้น จึงอาจจะปรับสูตรเนื้อดินปั้นพิเศษตามสูตรที่ 1 และ 3 ได้ แต่การปรับปรุงสูตรเนื้อดินปั้นตามสูตรที่ 2 และ 4 ได้ชิ้นงานที่ไม่มีผิวเป็นเคลือบเซรามิก, เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำสูงขึ้นมาก และความแข็งแรงลดลงมาก จึงไม่น่าจะปรับปรุงสูตรเนื้อดินปั้นตามสูตรที่ 2 และ 4 ได้

ตารางที่ 25 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นของด่านเกวียนที่ใช้กันทั่วไป (Blank) หลังเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

ชิ้นที่	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{SS} (g)	W_S (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
1	38.10	37.00	8.790	16.162	14.287	2.887	25.434	13.124	1.938	2.599
2	36.58	35.60	8.498	15.638	13.824	2.679	25.406	13.122	1.936	2.596
3	35.82	34.84	8.298	15.251	13.483	2.736	25.428	13.113	1.939	2.600
4	39.30	38.00	9.012	16.583	14.644	3.308	25.611	13.241	1.934	2.600
5	37.30	36.24	8.644	15.884	14.014	2.842	25.829	13.344	1.936	2.610
6	37.78	36.72	8.803	16.179	14.297	2.806	25.515	13.164	1.938	2.602
7	38.72	37.70	8.937	16.412	14.513	2.634	25.405	13.085	1.942	2.603
8	37.26	36.28	8.637	15.891	14.024	2.630	25.738	13.313	1.933	2.603
9	37.00	35.84	8.593	15.801	13.969	3.135	25.416	13.115	1.938	2.598
10	37.26	36.30	8.610	15.827	13.969	2.576	25.745	13.301	1.936	2.607
11	37.00	36.04	8.505	15.648	13.811	2.595	25.717	13.301	1.934	2.603
12	36.22	35.22	8.349	15.362	13.556	2.761	25.752	13.323	1.933	2.603
13	37.00	36.04	8.583	15.790	13.922	2.595	25.919	13.418	1.932	2.608
14	37.20	36.22	8.665	15.914	14.056	2.634	25.631	13.219	1.939	2.607
15	36.42	35.40	8.392	15.415	13.602	2.801	25.815	13.329	1.937	2.611
16	37.48	36.48	8.638	15.874	14.032	2.668	25.456	13.127	1.939	2.601
17	35.98	35.00	8.223	15.136	13.360	2.724	25.691	13.293	1.933	2.601
18	37.90	36.90	8.725	16.032	14.137	2.639	25.934	13.405	1.935	2.612
19	37.60	36.66	8.638	15.924	14.039	2.500	25.872	13.427	1.927	2.599
20	37.30	36.38	8.646	15.907	14.035	2.466	25.782	13.338	1.933	2.604

ตารางที่ 26 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นสูตรที่ 1 (70% DK, 5%Na_2CO_3, 20% Talcum, 5% Frit B) เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

ชิ้นที่	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{SS} (g)	W_S (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
1	35.98	34.60	7.543	13.974	12.904	3.835	16.638	8.292	2.007	2.407
2	37.80	36.88	8.154	15.023	14.008	2.434	14.777	7.246	2.039	2.393
3	37.52	36.14	7.840	14.528	13.510	3.678	15.221	7.535	2.020	2.383
4	38.54	37.42	8.324	15.370	14.225	2.906	16.250	8.049	2.019	2.411
5	37.70	36.16	7.770	14.512	13.527	4.085	14.610	7.282	2.006	2.350
6	37.40	36.20	7.919	14.628	13.378	3.209	18.632	9.344	1.994	2.451
7	37.82	36.62	8.032	14.823	13.651	3.173	17.258	8.585	2.010	2.429
8	37.38	36.28	7.934	14.639	13.456	2.943	17.644	8.792	2.007	2.437
9	37.24	35.96	7.947	14.618	13.437	3.437	17.703	8.789	2.014	2.448
10	37.48	35.96	7.869	14.596	13.463	4.055	16.843	8.416	2.001	2.407
11	37.22	36.00	7.823	14.575	13.583	3.278	14.692	7.303	2.012	2.358
12	37.22	35.70	7.891	14.682	13.788	4.084	13.164	6.484	2.030	2.338
13	37.48	36.50	8.063	14.883	13.666	2.615	17.845	8.905	2.004	2.439
14	36.88	35.54	7.836	14.498	13.319	3.633	17.697	8.852	1.999	2.429
15	38.56	37.14	8.110	15.025	13.826	3.683	17.339	8.672	1.999	2.419
16	37.52	36.14	7.859	14.634	13.471	3.678	17.166	8.633	1.988	2.400
17	37.62	36.00	7.913	14.671	13.512	4.306	17.150	8.578	1.999	2.413
18	37.96	36.48	8.135	14.887	13.704	3.899	17.521	8.633	2.030	2.461
19	38.62	37.14	8.098	15.020	13.900	3.832	16.180	8.058	2.008	2.396
20	36.80	35.80	7.895	14.513	13.641	2.717	13.176	6.392	2.061	2.374

ตารางที่ 27 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นสูตรที่ 2 (70% DK, 5%Na_2CO_3, 20% Dolomite, 5% Frit B) เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

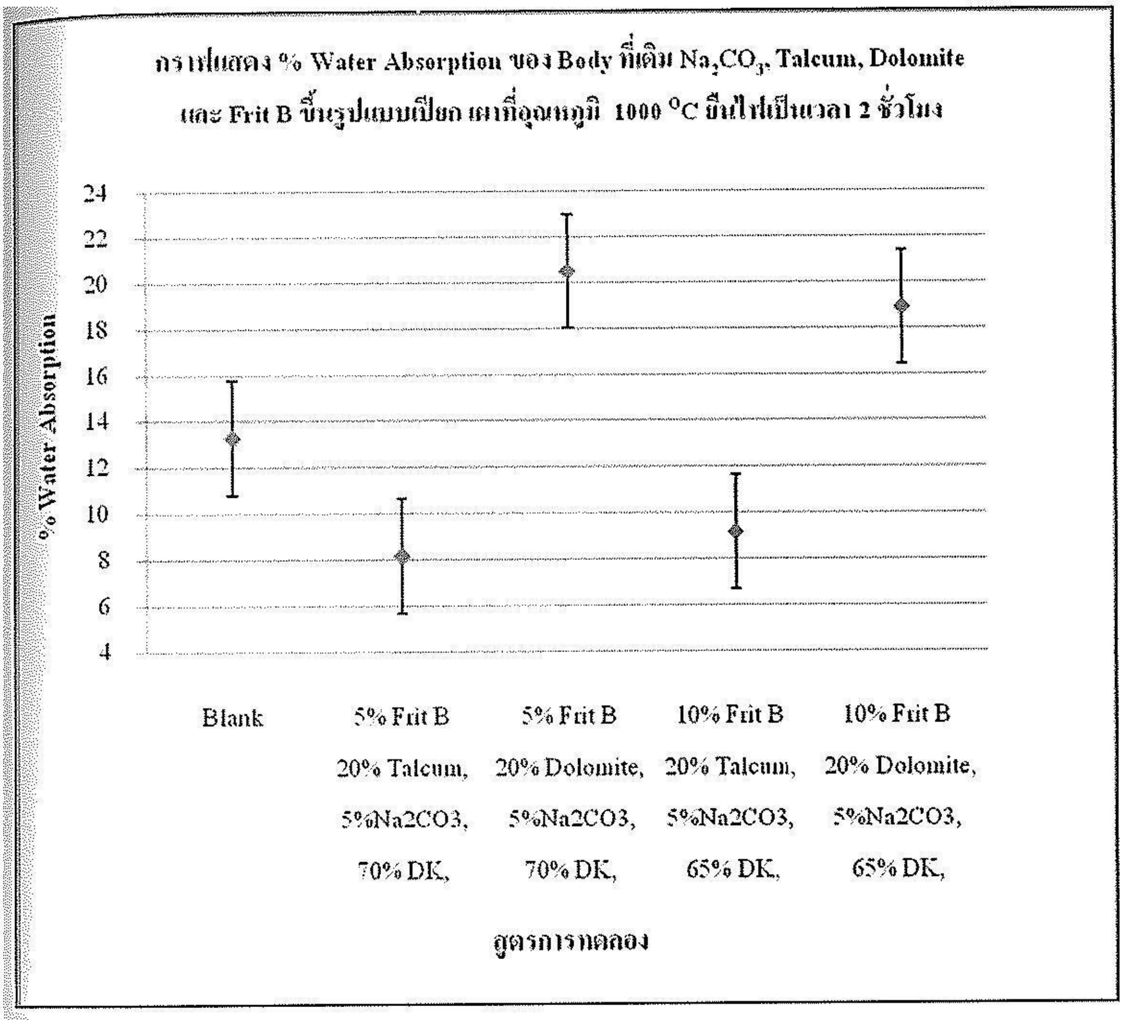
ชิ้นที่	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{SS} (g)	W_S (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
1	38.64	38.18	8.493	16.559	13.766	1.190	34.627	20.289	1.707	2.611
2	37.36	36.94	8.285	16.140	13.427	1.124	34.539	20.206	1.709	2.611
3	36.12	35.92	8.002	15.592	12.935	0.554	35.007	20.541	1.704	2.622
4	37.64	37.36	8.388	16.322	13.530	0.744	35.190	20.636	1.705	2.631
5	37.82	37.70	8.483	16.547	13.728	0.317	34.958	20.535	1.702	2.617
6	37.44	37.00	8.442	16.428	13.675	1.175	34.473	20.132	1.712	2.613
7	37.62	37.28	8.445	16.446	13.652	0.904	34.921	20.466	1.706	2.622
8	37.12	36.82	8.354	16.285	13.517	0.808	34.901	20.478	1.704	2.618
9	37.74	37.28	8.303	16.217	13.457	1.219	34.875	20.510	1.700	2.611
10	36.74	36.54	8.237	16.047	13.278	0.544	35.455	20.854	1.700	2.634
11	37.00	36.92	8.254	16.142	13.364	0.216	35.218	20.787	1.694	2.615
12	37.46	37.12	8.273	16.188	13.447	0.908	34.630	20.384	1.699	2.599
13	37.28	37.00	8.374	16.311	13.533	0.751	35.001	20.528	1.705	2.623
14	36.58	36.34	8.203	15.989	13.279	0.656	34.806	20.408	1.705	2.616
15	37.18	36.84	8.299	16.168	13.427	0.914	34.833	20.414	1.706	2.618
16	37.58	37.30	8.326	16.228	13.464	0.745	34.978	20.529	1.704	2.620
17	37.32	37.00	8.275	16.143	13.392	0.857	34.964	20.542	1.702	2.617
18	37.74	37.36	8.388	16.342	13.550	1.007	35.102	20.605	1.704	2.625
19	38.90	38.56	8.647	16.898	14.018	0.874	34.905	20.545	1.699	2.610
20	36.48	36.40	8.138	15.890	13.180	0.219	34.959	20.561	1.700	2.614

ตารางที่ 28 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นสูตรที่ 3 (65% DK, 5%Na_2CO_3, 20% Talcum, 10% Frit B) เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

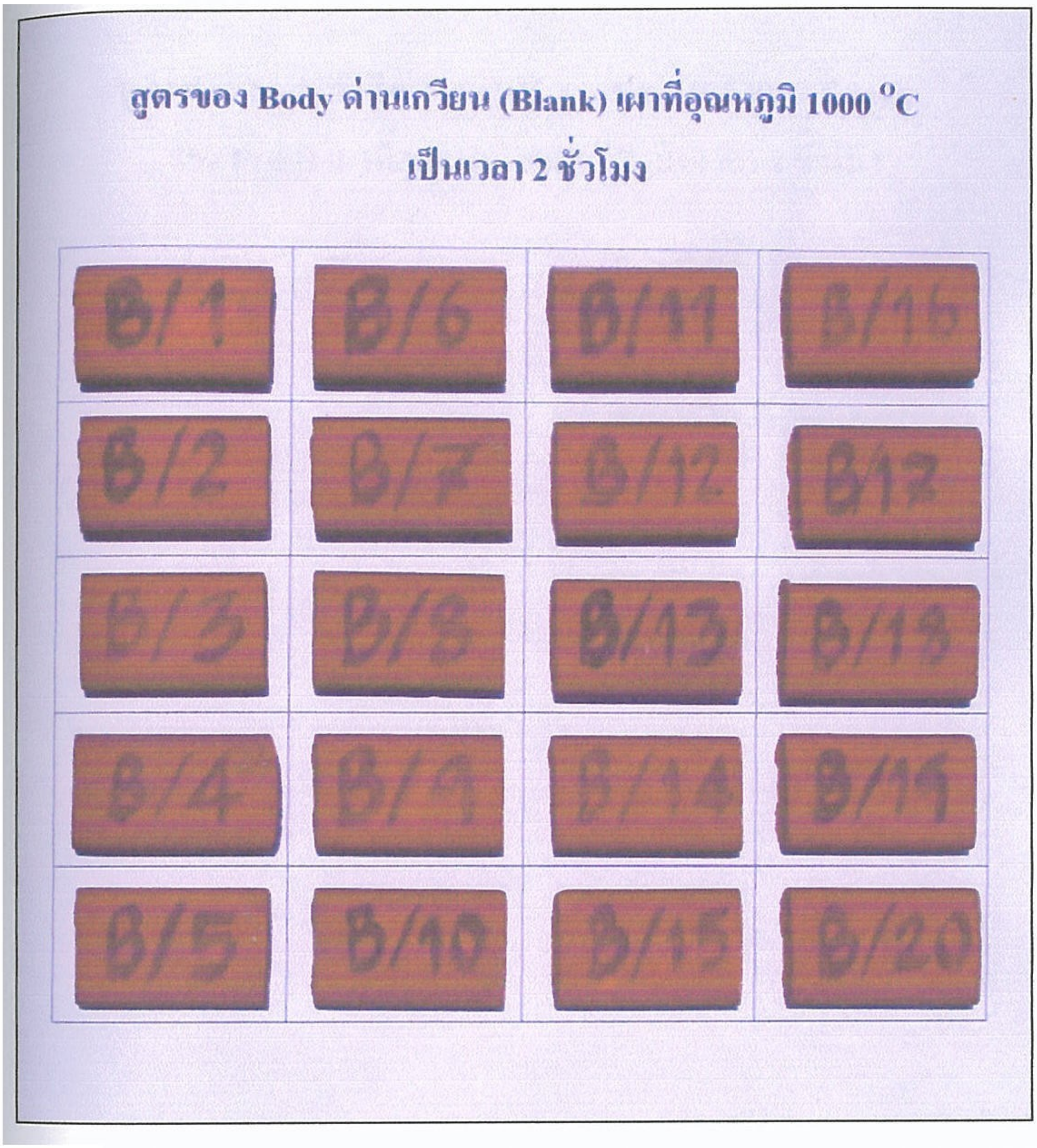
ชิ้นที่	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{ss} (g)	W_s (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
1	37.60	36.20	8.028	14.805	13.537	3.723	18.710	9.367	1.997	2.457
2	36.72	35.84	7.916	14.617	13.361	2.397	18.743	9.400	1.994	2.454
3	38.44	36.78	8.070	14.885	13.634	4.318	18.357	9.176	2.001	2.450
4	37.62	36.58	8.030	14.845	13.598	2.764	18.298	9.170	1.995	2.442
5	38.72	37.22	8.228	15.187	13.865	3.874	18.997	9.535	1.992	2.460
6	38.16	36.82	8.166	15.041	13.745	3.512	18.851	9.429	1.999	2.464
7	37.36	36.00	7.936	14.627	13.370	3.640	18.786	9.402	1.998	2.460
8	37.30	36.48	8.094	14.996	13.708	2.198	18.661	9.396	1.986	2.442
9	37.66	36.36	8.071	14.901	13.616	3.452	18.814	9.437	1.994	2.456
10	37.40	36.28	8.038	14.934	14.128	2.995	11.688	5.705	2.049	2.320
11	36.88	35.80	7.804	14.455	13.210	2.928	18.719	9.425	1.986	2.444
12	37.30	35.70	7.982	14.728	13.468	4.290	18.678	9.356	1.996	2.455
13	36.64	36.26	8.236	15.211	13.892	1.037	18.910	9.495	1.992	2.456
14	36.70	35.48	7.924	14.592	13.343	3.324	18.731	9.361	2.001	2.462
15	37.90	37.00	8.224	15.202	13.931	2.375	18.214	9.124	1.996	2.441
16	36.86	35.24	7.820	14.461	13.251	4.395	18.220	9.131	1.995	2.440
17	37.62	36.32	8.108	14.989	13.725	3.456	18.369	9.209	1.995	2.443
18	37.46	36.86	8.012	14.823	13.539	1.602	18.852	9.484	1.988	2.450
19	37.34	36.62	7.950	14.722	13.454	1.928	18.724	9.425	1.987	2.444
20	36.30	35.44	7.906	14.558	13.350	2.369	18.160	9.049	2.007	2.452

ตารางที่ 29 สมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้นสูตรที่ 4 (65% DK, 5%Na_2CO_3, 20% Dolomite, 10% Frit B) เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

ชิ้นที่	ขนาดก่อนเผา (mm)	ขนาดหลังเผา (mm)	W_{SS} (g)	W_S (g)	W_D (g)	% linear Shrinkage	%Porosity	%Water Absorption	Bulk Density (g/cm^3)	%Apparent specific gravity
1	37.90	37.46	8.525	16.474	13.922	1.161	32.105	18.331	1.751	2.580
2	35.58	35.12	7.971	15.419	13.036	1.293	31.995	18.280	1.750	2.574
3	38.00	37.88	8.593	16.616	14.002	0.316	32.581	18.669	1.745	2.589
4	37.56	37.08	8.435	16.355	13.797	1.278	32.298	18.540	1.742	2.573
5	36.78	36.42	8.260	15.955	13.463	0.979	32.385	18.510	1.750	2.588
6	37.64	37.14	8.565	16.526	13.939	1.328	32.496	18.559	1.751	2.594
7	37.00	36.84	8.408	16.225	13.699	0.432	32.314	18.439	1.752	2.589
8	37.76	37.00	8.308	16.101	13.559	2.013	32.619	18.748	1.740	2.582
9	37.74	37.34	8.537	16.536	13.970	1.060	32.079	18.368	1.746	2.571
10	37.90	37.60	8.557	16.549	13.968	0.792	32.295	18.478	1.748	2.581
11	36.70	36.32	8.256	16.958	13.470	1.035	40.083	25.895	1.548	2.583
12	35.88	35.50	8.060	15.616	13.181	1.059	32.226	18.474	1.744	2.574
13	38.72	38.38	8.717	16.882	14.251	0.878	32.223	18.462	1.745	2.575
14	39.72	39.28	8.923	17.264	14.582	1.108	32.154	18.393	1.748	2.577
15	37.30	37.00	8.372	16.211	13.684	0.804	32.236	18.467	1.746	2.576
16	38.00	37.60	8.649	16.769	14.129	1.053	32.512	18.685	1.740	2.578
17	37.24	36.82	8.383	16.226	13.709	1.128	32.092	18.360	1.748	2.574
18	35.64	35.34	8.031	15.536	13.093	0.842	32.552	18.659	1.745	2.587
19	38.00	37.54	8.551	16.538	13.944	1.211	32.478	18.603	1.746	2.586
20	38.42	38.00	8.564	16.564	13.960	1.093	32.550	18.653	1.745	2.587

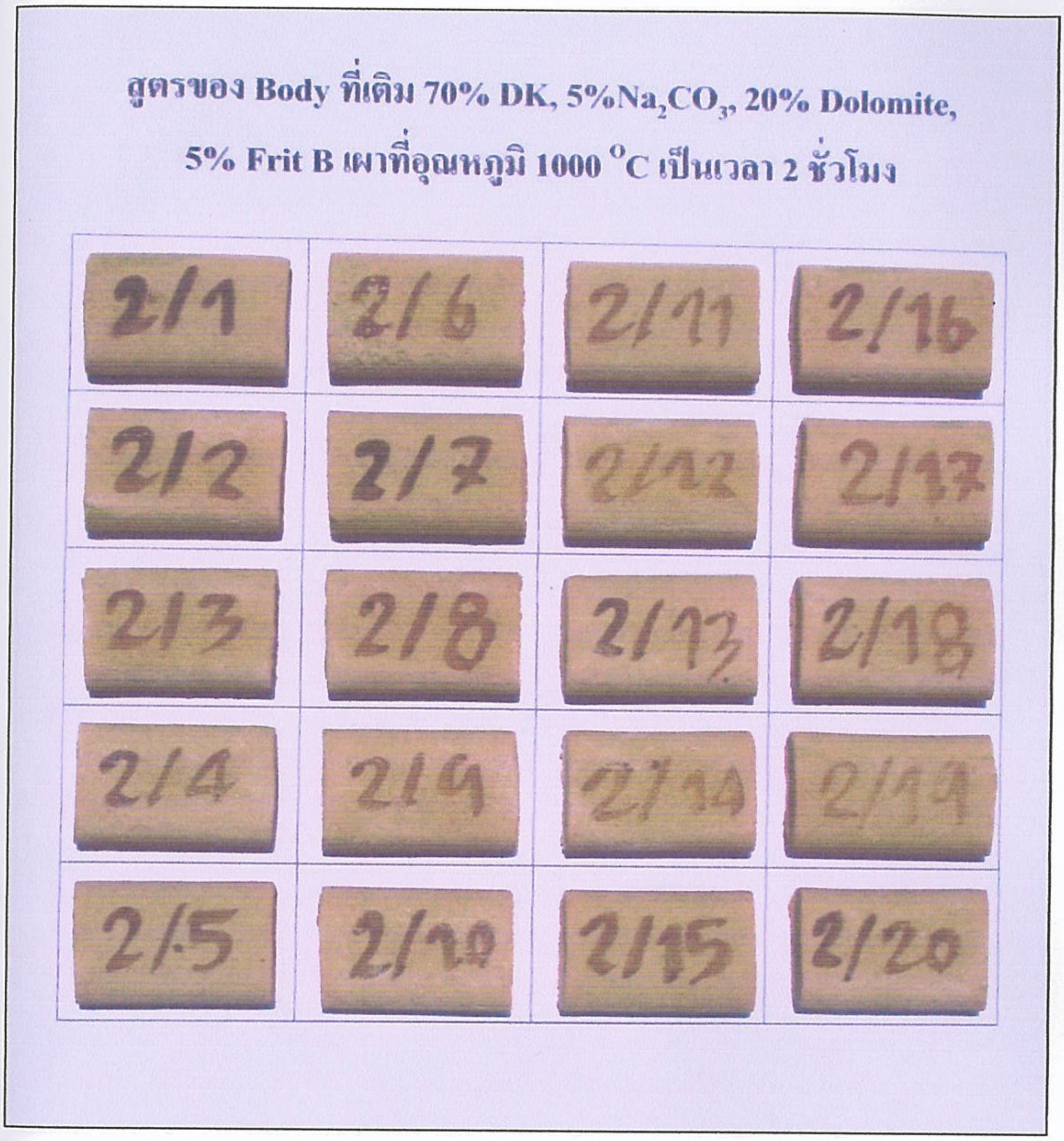


รูปที่ 88 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่ผสมโซดาแอช, ทัลคัมหรือโดโลไมท์ และฟริต B หลังเผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

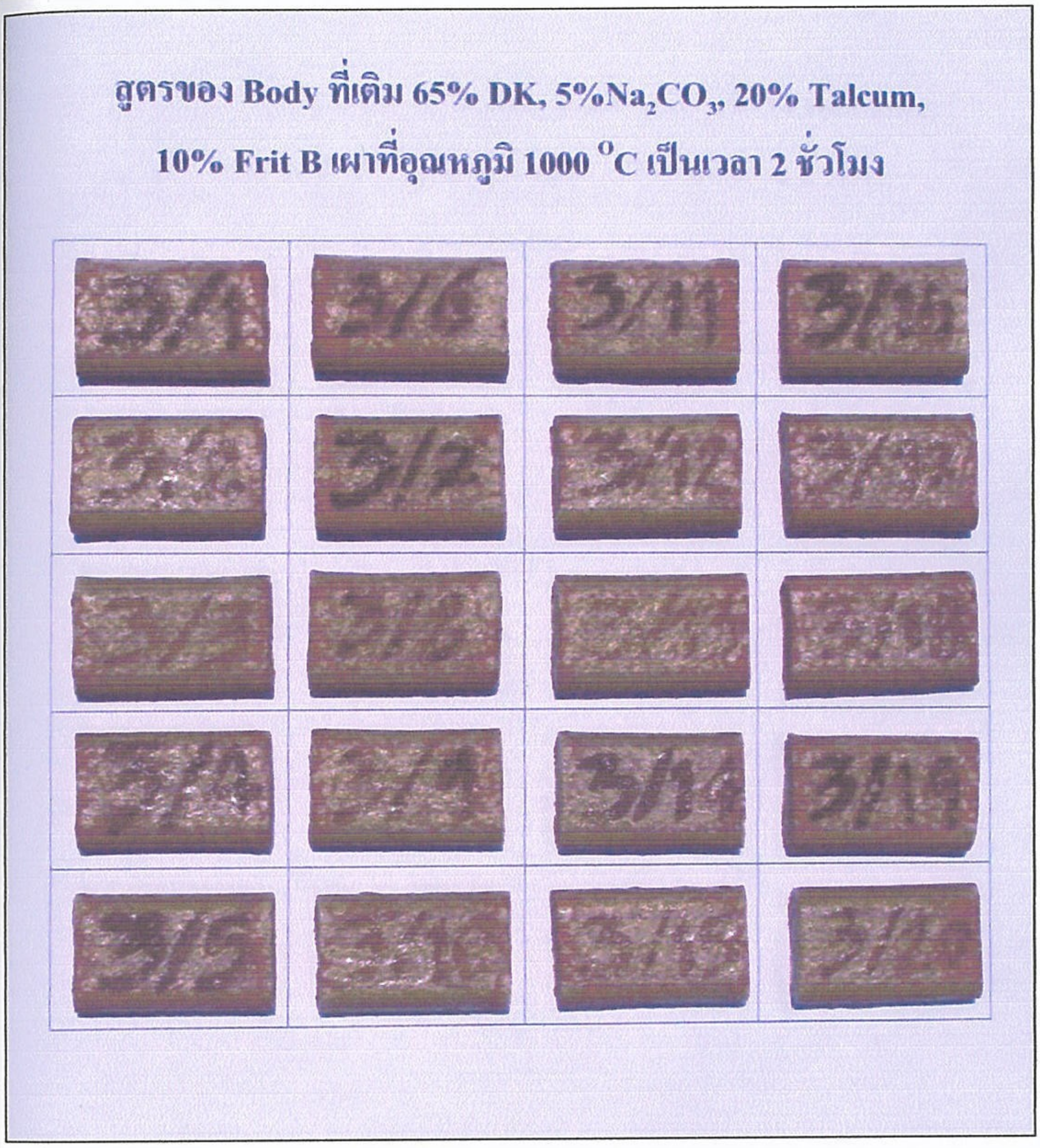


รูปที่ 89 ชิ้นตัวอย่างสูตร blank เนื้อดินปั้นด่านเกวียน เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

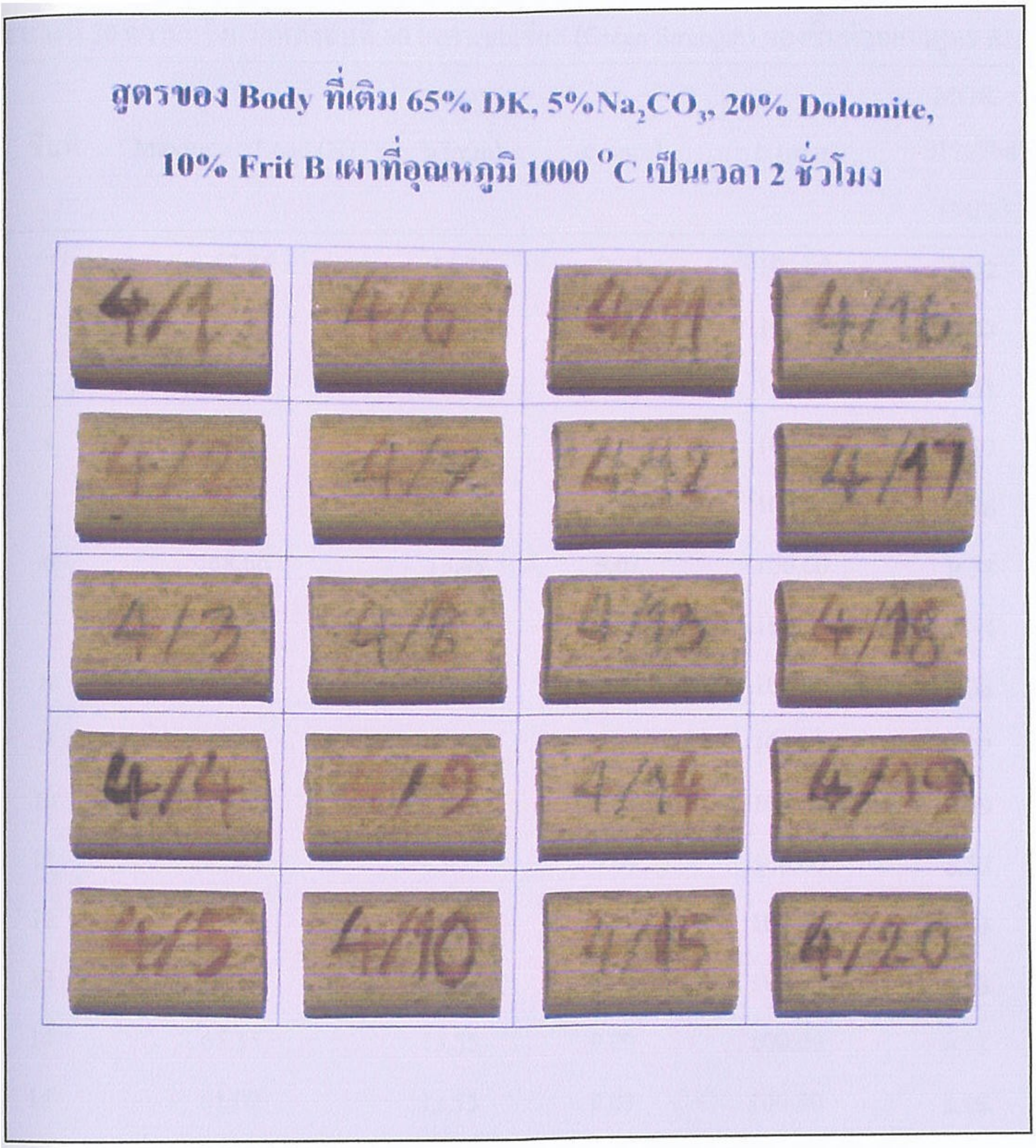
รูปที่ 90 ชิ้นตัวอย่างสูตร 1 เนื้อดินปั้นด่านเกวียน 70%, โซดาแอช 5%, ทัลคัม 20% และฟริต B 5% เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 91 ชิ้นตัวอย่างสูตร 2 เนื้อดินปั้นด่านเกวียน 70%, โซดาแอช 5%, โดโลไมท์ 20% และ ฟริต B 5% เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 92 ชิ้นตัวอย่างสูตร 3 เนื้อดินปั้นด่านเกวียน 65%, โซดาแอช 5%, ทัลคัม 20% และฟริต B 10% เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 93 ชิ้นตัวอย่างสูตร 4 เนื้อดินปั้นด่านเกวียน 65%, โซดาแอช 5%, โดโลไมท์ 20% และ ฟริต B 10% เผาที่ในเตาไฟฟ้าอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 30 ความแข็งแรงหลังอบที่ 60 องศาเซลเซียส (Green Strength) ของชิ้นตัวอย่างสูตร Blank

ชิ้นที่	Maximum Load (N)	b (mm)	d (mm)	L (mm)	MOR = $3PL/2bd^2$ (MPa)
1	67.86	13.54	9.03	100.00	9.22
2	69.77	13.54	9.03	100.00	9.48
3	69.41	13.46	9.02	100.00	9.51
4	65.91	13.58	9.06	100.00	8.87
5	65.26	13.52	9.04	100.00	8.86
6	68.66	13.49	9.02	100.00	9.38
7	67.76	13.49	8.98	100.00	9.34
8	69.36	13.49	9.07	100.00	9.38
9	69.39	13.55	9.08	100.00	9.32
10	68.70	13.55	9.05	100.00	9.29
11	62.82	13.52	9.04	100.00	8.53
12	65.50	13.53	9.08	100.00	8.81
13	68.96	13.56	9.09	100.00	9.23
14	65.15	13.55	9.09	100.00	8.73
15	61.02	13.53	9.09	100.00	8.19
16	61.13	13.60	9.11	100.00	8.12
17	68.13	13.50	9.02	100.00	9.30
18	63.46	13.52	9.02	100.00	8.65
19	70.17	13.53	9.03	100.00	9.54
20	66.77	13.61	9.02	100.00	9.04
				Average	9.04
				STDEV	0.43

ตารางที่ 31 ความแข็งแรงหลังอบที่ 60 องศาเซลเซียส (Green Strength) ของชิ้นตัวอย่างสูตรที่ 1 : 70% DK, 5%Na_2CO_3, 20% Talcum, 5% Frit B

ชิ้นที่	Maximum Load (N)	b (mm)	d (mm)	L (mm)	MOR = $3PL/2bd^2$ (MPa)
1	91.24	13.46	9.03	100.00	12.47
2	95.31	13.46	9.03	100.00	13.03
3	105.07	13.48	9.08	100.00	14.18
4	104.51	13.67	9.08	100.00	13.91
5	99.50	13.58	9.03	100.00	13.48
6	92.71	13.57	8.93	100.00	12.85
7	100.93	13.42	8.97	100.00	14.02
8	106.96	13.41	8.98	100.00	14.84
9	104.03	13.38	8.95	100.00	14.56
10	97.81	13.42	8.99	100.00	13.53
11	81.08	13.54	8.95	100.00	11.21
12	106.89	13.44	9.02	100.00	14.66
13	104.66	13.46	9.10	100.00	14.08
14	104.87	13.52	9.04	100.00	14.24
15	104.36	13.62	9.05	100.00	14.03
16	96.93	13.54	8.95	100.00	13.41
17	102.43	13.48	8.95	100.00	14.23
18	82.54	13.50	8.92	100.00	11.53
19	71.58	13.39	9.01	100.00	9.88
20	102.52	13.40	9.00	100.00	14.17
				Average	13.41
				STDEV	1.28

ตารางที่ 32 ความแข็งแรงหลังอบที่ 60 องศาเซลเซียส (Green Strength) ของชิ้นตัวอย่างสูตรที่ 2 : 70% DK, 5%Na_2CO_3, 20% Dolomite, 5% Frit B

ชิ้นที่	Maximum Load (N)	b (mm)	d (mm)	L (mm)	MOR = $3PL/2bd^2$ (MPa)
1	62.54	13.63	9.35	100.00	7.87
2	70.64	13.58	9.30	100.00	9.02
3	77.77	13.63	9.34	100.00	9.81
4	77.10	13.76	9.39	100.00	9.53
5	77.08	13.64	9.47	100.00	9.45
6	76.73	13.65	9.41	100.00	9.52
7	82.85	13.85	9.47	100.00	10.01
8	76.90	13.63	9.34	100.00	9.70
9	78.79	13.56	9.45	100.00	9.76
10	77.99	13.62	9.44	100.00	9.64
11	78.53	13.56	9.39	100.00	9.85
12	72.35	13.65	9.41	100.00	8.98
13	38.36	13.61	9.37	100.00	4.82
14	68.97	13.68	9.50	100.00	8.38
15	72.66	13.63	9.38	100.00	9.09
16	84.79	13.64	9.43	100.00	10.49
17	71.69	13.67	9.36	100.00	8.98
18	75.57	13.57	9.27	100.00	9.72
19	79.28	13.59	9.42	100.00	9.86
20	73.67	13.68	9.38	100.00	9.18
				Average	9.18
				STDEV	1.18

ตารางที่ 33 ความแข็งแรงหลังอบที่ 60 องศาเซลเซียส (Green Strength) ของชิ้นตัวอย่างสูตรที่ 3 : 65% DK, 5%Na_2CO_3, 20% Talcum, 10% Frit B

ชิ้นที่	Maximum Load (N)	b (mm)	d (mm)	L (mm)	MOR = $3PL/2bd^2$ (MPa)
1	88.25	13.92	9.50	100.00	10.54
2	102.30	13.52	9.04	100.00	13.89
3	99.16	13.42	9.06	100.00	13.50
4	96.18	13.46	9.09	100.00	12.97
5	94.99	13.41	9.02	100.00	13.06
6	84.09	13.52	9.15	100.00	11.14
7	92.34	13.50	9.16	100.00	12.23
8	94.27	13.45	9.05	100.00	12.84
9	90.56	13.43	9.03	100.00	12.40
10	89.81	13.45	9.01	100.00	12.34
11	91.42	13.53	9.09	100.00	12.27
12	93.98	13.53	9.07	100.00	12.67
13	64.06	13.56	9.09	100.00	8.58
14	96.33	13.36	9.03	100.00	13.26
15	100.20	13.34	9.03	100.00	13.82
16	99.85	13.48	9.06	100.00	13.54
17	91.73	13.46	9.05	100.00	12.48
18	91.00	13.53	9.06	100.00	12.29
19	98.72	13.48	9.08	100.00	13.32
20	102.48	13.49	9.08	100.00	13.82
				Average	12.55
				STDEV	1.27

ตารางที่ 34 ความแข็งแรงหลังอบที่ 60 องศาเซลเซียส (Green Strength) ของชิ้นตัวอย่างสูตรที่ 4 : 65% DK, 5%Na_2CO_3, 20% Dolomite, 10% Frit B

ชิ้นที่	Maximum Load (N)	b (mm)	d (mm)	L (mm)	MOR = $3PL/2bd^2$ (MPa)
1	82.29	13.73	9.53	100.00	9.90
2	75.79	13.75	9.57	100.00	9.03
3	78.64	13.86	9.55	100.00	9.33
4	77.90	13.80	9.47	100.00	9.44
5	77.68	13.98	9.54	100.00	9.16
6	70.83	13.81	9.68	100.00	8.21
7	93.87	13.86	9.45	100.00	11.38
8	84.44	13.76	9.39	100.00	10.44
9	91.36	13.89	9.52	100.00	10.89
10	93.78	13.84	9.45	100.00	11.38
11	94.88	13.87	9.47	100.00	11.44
12	92.95	13.89	9.50	100.00	11.12
13	92.28	13.86	9.48	100.00	11.11
14	91.99	13.88	9.47	100.00	11.09
15	96.38	13.84	9.44	100.00	11.72
16	72.17	13.83	9.41	100.00	8.84
17	94.08	13.78	9.38	100.00	11.64
18	77.19	13.84	9.42	100.00	9.43
19	102.69	13.91	9.50	100.00	12.27
20	91.01	13.80	9.39	100.00	11.22
				Average	10.45
				STDEV	1.17

ตารางที่ 35 ความแข็งแรงหลังเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง สูตร Blank

ชิ้นที่	Maximum Load (N)	b (mm)	d (mm)	L (mm)	MOR = $3PL/2bd^2$ (MPa)
1	134.34	13.29	9.00	100.00	18.72
2	138.93	13.25	8.98	100.00	19.50
3	128.87	13.26	8.99	100.00	18.04
4	134.91	13.29	8.95	100.00	19.01
5	134.41	13.30	9.00	100.00	18.71
6	136.84	13.27	8.97	100.00	19.22
7	146.10	13.28	9.01	100.00	20.33
8	140.46	13.36	8.96	100.00	19.64
9	128.19	13.26	9.04	100.00	17.74
10	132.19	13.29	8.91	100.00	18.79
11	136.63	13.33	8.99	100.00	19.02
12	137.83	13.35	8.95	100.00	19.33
13	137.29	13.35	9.01	100.00	19.00
14	141.13	13.34	9.01	100.00	19.55
15	134.75	13.30	9.03	100.00	18.64
16	138.60	13.34	9.01	100.00	19.20
17	130.99	13.35	9.09	100.00	17.81
18	134.75	13.22	8.96	100.00	19.04
19	134.83	13.30	9.02	100.00	18.69
20	131.55	13.28	8.98	100.00	18.43
				Average	18.92
				STDEV	0.63

ตารางที่ 36 ความแข็งแรงหลังเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง
สูตรที่ 1 : 70% DK, 5% Na_2CO_3, 20% Talcum, 5% Frit B

ชิ้นที่	Maximum Load (N)	b (mm)	d (mm)	L (mm)	MOR = $3PL/2bd^2$ (MPa)
1	115.66	12.93	8.55	100.00	18.35
2	133.52	12.92	8.60	100.00	20.96
3	139.01	13.09	9.00	100.00	19.67
4	130.31	12.97	8.66	100.00	20.10
5	157.63	12.97	8.71	100.00	24.03
6	156.49	12.98	8.66	100.00	24.11
7	152.88	12.96	8.60	100.00	23.92
8	127.47	12.88	8.54	100.00	20.35
9	143.66	12.93	8.69	100.00	22.07
10	152.30	13.01	8.66	100.00	23.41
11	131.04	12.86	8.65	100.00	20.43
12	151.65	12.93	8.64	100.00	23.57
13	165.94	12.92	8.60	100.00	26.05
14	166.39	12.90	8.65	100.00	25.86
15	142.15	12.77	8.67	100.00	22.21
16	154.07	12.87	8.60	100.00	24.28
17	150.23	12.85	8.60	100.00	23.71
18	132.15	12.72	8.54	100.00	21.37
19	98.26	12.79	8.58	100.00	15.65
20	105.20	12.69	8.60	100.00	16.81
				Average	21.85
				STDEV	2.83

ตารางที่ 37 ความแข็งแรงหลังเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง
สูตรที่ 2 : 70% DK, 5% Na_2CO_3, 20% Dolomite, 5% Frit B

ชิ้นที่	Maximum Load (N)	b (mm)	d (mm)	L (mm)	MOR = $3PL/2bd^2$ (MPa)
1	105.26	13.62	9.46	100.00	12.95
2	116.68	13.51	9.35	100.00	14.82
3	119.79	13.53	9.30	100.00	15.35
4	123.26	13.60	9.37	100.00	15.48
5	127.69	13.56	9.31	100.00	16.30
6	140.99	13.57	9.33	100.00	17.90
7	132.74	13.59	9.34	100.00	16.79
8	120.37	13.58	9.35	100.00	15.21
9	113.74	13.58	9.35	100.00	14.37
10	103.10	13.61	9.44	100.00	12.75
11	111.91	13.74	9.31	100.00	14.10
12	109.06	13.49	9.27	100.00	14.11
13	140.03	13.51	9.30	100.00	17.98
14	125.29	13.52	9.37	100.00	15.83
15	129.75	13.50	9.33	100.00	16.56
16	110.40	13.51	9.32	100.00	14.11
17	97.69	13.58	9.40	100.00	12.21
18	137.28	13.52	9.30	100.00	17.61
19	124.77	13.51	9.30	100.00	16.02
20	114.45	13.57	9.36	100.00	14.44
				Average	15.25
				STDEV	1.66

ตารางที่ 38 ความแข็งแรงหลังเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง
สูตรที่ 3 : 65% DK, 5% Na_2CO_3, 20% Talcum, 10% Frit B

ชิ้นที่	Maximum Load (N)	b (mm)	d (mm)	L (mm)	MOR = $3PL/2bd^2$ (MPa)
1	118.09	13.05	8.80	100.00	17.53
2	97.26	12.90	8.75	100.00	14.77
3	125.44	12.89	8.57	100.00	19.88
4	119.26	12.81	8.58	100.00	18.97
5	143.37	12.89	8.61	100.00	22.51
6	130.89	13.03	8.68	100.00	20.00
7	138.28	12.97	8.68	100.00	21.23
8	140.08	13.05	8.86	100.00	20.51
9	170.45	13.14	9.20	100.00	22.99
10	173.87	13.30	9.54	100.00	21.55
11	169.88	13.28	9.50	100.00	21.26
12	170.65	13.05	9.25	100.00	22.92
13	180.93	13.01	9.13	100.00	25.03
14	166.88	13.18	9.56	100.00	20.78
15	154.08	13.18	9.39	100.00	19.89
16	164.83	13.31	9.01	100.00	22.88
17	143.32	13.03	8.89	100.00	20.88
18	132.29	13.12	9.05	100.00	18.47
19	114.90	13.02	8.99	100.00	16.38
20	125.37	13.07	9.26	100.00	16.78
				Average	20.26
				STDEV	2.55

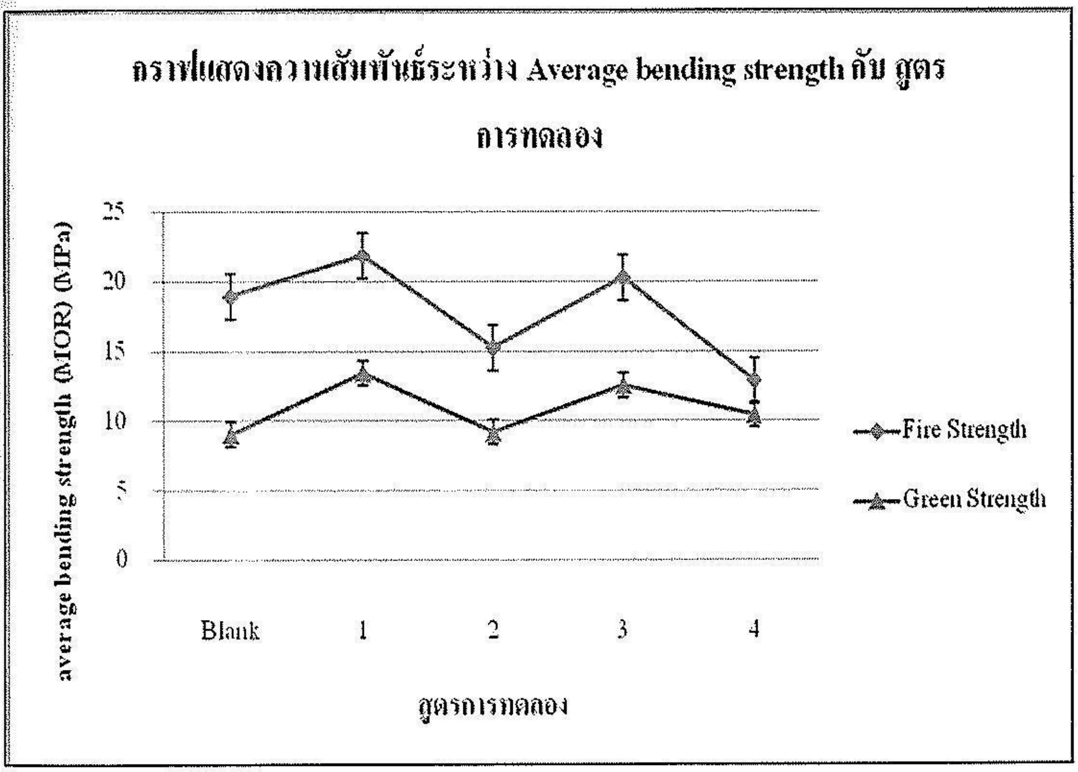
ตารางที่ 39 ความแข็งแรงหลังเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

สูตรที่ 4 : 65% DK, 5% Na_2CO_3, 20% Dolomite, 10% Frit B

ชิ้นที่	Maximum Load (N)	b (mm)	d (mm)	L (mm)	MOR = $3PL/2bd^2$ (MPa)
1	120.76	13.63	9.30	100.00	15.37
2	98.48	13.63	9.30	100.00	12.53
3	84.00	13.68	9.37	100.00	10.49
4	119.07	13.61	9.40	100.00	14.85
5	110.83	13.64	9.29	100.00	14.12
6	112.81	13.60	9.26	100.00	14.51
7	95.04	13.63	9.27	100.00	12.17
8	88.05	13.62	9.31	100.00	11.19
9	120.35	13.60	9.24	100.00	15.55
10	124.13	13.65	9.36	100.00	15.57
11	101.86	13.71	9.37	100.00	12.69
12	86.64	13.70	9.37	100.00	10.80
13	125.73	13.58	9.30	100.00	16.06
14	45.80	13.61	9.35	100.00	5.77
15	122.36	13.64	9.35	100.00	15.39
16	116.42	13.61	9.27	100.00	14.93
17	113.19	13.58	9.35	100.00	14.30
18	118.37	13.59	9.33	100.00	15.01
19	43.37	13.57	9.25	100.00	5.60
20	87.17	13.72	9.43	100.00	10.72
				Average	12.88
				STDEV	3.06

ตารางที่ 40 ความแข็งแรงหลังเผาและหลังอบเฉลี่ยของตัวอย่าง สูตร Blank และสูตรที่ 1-4

Fire Strength					
สูตรที่	Blank	1	2	3	4
Average	18.92	21.85	15.25	20.26	12.88
STDEV	0.63	2.83	1.66	2.55	3.06
Green Strength					
สูตรที่	Blank	1	2	3	4
Average	9.04	13.41	9.18	12.55	10.45
STDEV	0.43	1.28	1.18	1.27	1.17



รูปที่ 94 ความแข็งแรงหลังอบและหลังเผาเฉลี่ย (Average bending strength) ของชิ้นตัวอย่าง สูตร Blank และสูตรที่ 1-4

2.7 การทดลองที่ 6

จุดประสงค์

เพื่อทดลองเปลี่ยนแปลงวิธีการเตรียมเนื้อดินปั้นพิเศษและทดลองเผาในเตาไม้ฟืน

ความเป็นมา

ปกติฟริตเป็นวัตถุดิบที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นอาจจะไม่จำเป็นต้องเอาฟริตไปละลายน้ำพร้อมกับโซดาแอช ก่อนนำไปใช้ ดังนั้นการทดลองนี้จึงเอาฟริตไปผสมกับดินด่านเกวียนพร้อมกับทัลคัม อาจจะกล่าวได้ว่าในการทดลองนี้ทดลองเอาแต่เฉพาะโซดาแอชไปละลายในน้ำประปา (ได้สารละลาย) และเอาฟริตไปผสมกับดินและทัลคัม (ได้ของผสม) จากนั้นจึงเอาของผสมกับสารละลายมาผสมกัน

วิธีการทดลอง

เตรียมส่วนผสมของเนื้อดินปั้น โดยมีวิธีการดังนี้

1) นำเนื้อดินปั้นด่านเกวียนไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนกว่าเนื้อดินด่านเกวียนจะแห้งสนิท (เนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่เอามาอบนี้ คือ เนื้อดินผสมระหว่างดินด่านเกวียนชนิดเหนียวมากและดินด่านเกวียนชนิดเหนียวน้อยที่ผู้ประกอบการด่านเกวียนผสมเสร็จแล้วพร้อมที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์)

2) นำเนื้อดินปั้นของด่านเกวียนที่ผ่านการอบแห้งในข้อ 1 ไปบดละเอียดแล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อน (sieve) เบอร์ 80 เมช

3) ชั่งส่วนผสมของเนื้อดินปั้นพิเศษที่มีเคลือบในตัว โดยใช้อัตราส่วนดังนี้ เนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่ผ่านการบดและร่อนแล้ว (จากข้อ 2) ร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ทัลคัม (talcum) ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ฟริต B คือ ฟริต CG466 (จากบริษัทอัมรินทร์ เซรามิคส์ คอร์ปอเรชั่น) ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก คลุกผสมให้เข้ากันโดยสามารถใช้มือหรือไม้พายกวนผสมในภาชนะ เช่น ถังหรือกะละมัง

4) หลังจากนั้นชั่งโซดาแอช (Na_2CO_3) ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และชั่งน้ำประปา 4 เท่าของ น้ำหนัก โซดาแอชแล้วกวนผสมจนกว่าโซดาแอชจะละลายจนหมด

5) นำส่วนผสมในข้อที่ 3 และ 4 มาทำการผสมให้เข้ากัน แล้วหมักทิ้งไว้ประมาณ 1-2 วัน ในอ่างปูนปลาสเตอร์

<u>หมายเหตุ</u> ข้อ 3-4 ในการทดลองนี้แตกต่างจากการทดลองที่ 4 กล่าวคือในการทดลองที่ 4 จะผสมดินด่านเกวียน + ทัลคัมให้เสร็จก่อน ต่อจากนั้นเอาโซดาแอชกับฟริต B ไปละลายน้ำได้สารละลายโซดาแอช + ฟริต B แล้วจึงเอาของผสมระหว่างดินกับทัลคัม ไปผสมกับสารละลายของโซดาแอช + ฟริต B แต่ในการทดลองนี้เอาฟริต B + ดิน + ทัลคัม ให้เสร็จก่อนแล้ว

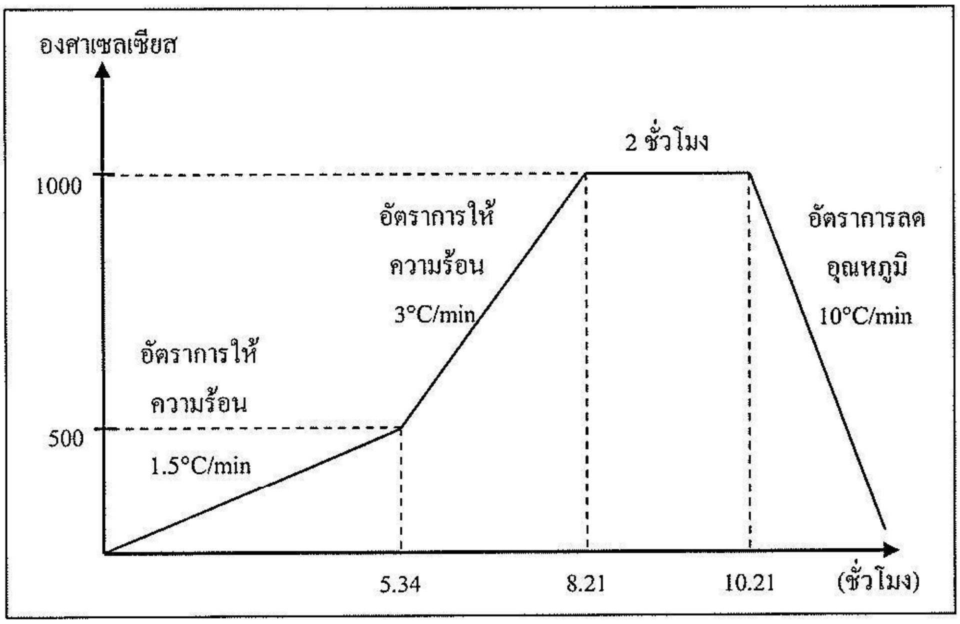
จึงเอาของผสมที่ได้ไปผสมกับสารละลายของโซดาแอชในน้ำ สังเกตว่าทดลองนี้ที่ต่างจากการทดลองที่ 4 อีกอย่าง คือ ในการทดลองนี้หมักของผสมในอ่างปูนปลาสเตอร์ แต่ในการทดลองที่ 4 หมักในกะละมังหรือถังพลาสติก

6) นำดินที่หมักไว้ไปทำการรีดผสมในเครื่องรีดดินประมาณ 3-4 รอบ เพื่อให้ส่วนผสมภายในเกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจะได้แท่งเนื้อดินปั้นพิเศษฯ

7) นำเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ที่ได้ไปขึ้นรูปที่โรงงานคุณเมี้ยน ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา

8) นำชิ้นงานที่ขึ้นรูปแล้วตากและอบแห้ง แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งไปเผาในเตาไฟฟ้าที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (เผาในเตาในรูปที่ 12 ใช้สภาวะการเผาดังแสดงในรูปที่ 95) จากรูปจะเห็นว่า สภาวะการเผาในเตาไฟฟ้าของการทดลองนี้แตกต่างจากสภาวะการเผาในเตาไฟฟ้าในการทดลองที่ 4 เล็กน้อย กล่าวคือ ในการทดลองที่ 4 เผาโดยอัตราในการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส/นาที แต่ในการทดลองนี้ใช้อัตราในการเพิ่มอุณหภูมิช้ากว่านั้น ชิ้นงานส่วนที่ 2 นำไปเผาในเตาที่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงที่โรงงานคุณเมี้ยน ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา

9) เพื่อเป็นการเปรียบเทียบให้เห็นข้อแตกต่างระหว่างเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ที่เตรียมขึ้นในการทดลองนี้กับเนื้อดินปั้นของด่านเกวียนแบบธรรมดาที่ผู้ประกอบการด่านเกวียนใช้อยู่ งานวิจัยนี้จึงนำเนื้อดินปั้นด่านเกวียนแบบธรรมดามาขึ้นรูปแล้วเผาในเตาไฟฟ้าด้วย



รูปที่ 95 สภาวะของการเผาชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปและอบแห้งแล้วในเตาไฟฟ้า

ผลการทดลอง

รูปที่ 96 แสดงเนื้อดินปั้นพิเศษที่ขึ้นรูปและอบแล้วแต่ยังไม่เผา สังเกตว่าผิวของชิ้นงานมีลักษณะเป็นคราบเหมือนเกลือเกาะอยู่ที่ผิว คาดว่าเกลือเหล่านี้เกิดจากโซดาแอชและฟริตซึ่งละลายน้ำซึมมาเกาะที่ผิวเมื่อชิ้นงานแห้ง

รูปที่ 97 แสดงเนื้อดินปั้นของด่านเกวียนแบบธรรมดาที่เผาในเตาไฟฟ้า จะเห็นว่าไม่มีผิวเป็นเคลือบอยู่เลย

รูปที่ 98 แสดงเนื้อดินปั้นพิเศษฯ หลังจากเผาในเตาไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าผิวของชิ้นงานมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลมันวาวคล้ายกับผิวเคลือบ แต่ความมันวาวน้อยกว่าผิวเคลือบของเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ในการทดลองที่ 4

รูปที่ 99 แสดงเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ที่ผ่านการเผาในเตาไม้ฟืน จะเห็นว่าชิ้นงานจะมีสีเขียวเข้มจนเกือบสีดำทึบมันวาวเป็นเคลือบหลอมติดกับแผ่นรองเผาแต่ไม่หลอมรุนแรงมากเท่ากับชิ้นงานในการทดลองที่ 4

อนึ่งสังเกตที่ว่าเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ที่เผาในเตาไฟฟ้ามีสีน้ำตาล แต่ที่เผาในเตาไม้ฟืนมีสีออกเขียวเข้ม สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าชิ้นงานที่เผาในเตาไฟฟ้ามีออกซิเจนมากทำให้ไอออนของเหล็กอยู่ในรูปของ Fe^{3+} ซึ่งมีสีแดงและเหลืองรวมกันเป็นน้ำตาล แต่สำหรับชิ้นงานที่เผาในเตาไม้ฟืนที่ตำบลด่านเกวียน ซึ่งมีบรรยากาศภายในเตาเผาเป็นแบบรีดักชั่นทำให้ไอออนของเหล็กอยู่ในรูปของ Fe^{2+} จึงให้สีเขียว ส่วนการที่ชิ้นงานที่เผาในเตาด่านเกวียนหลอมตัวมากกว่าชิ้นงานที่เผาในเตาไฟฟ้า อาจจะเกิดเนื่องจากอุณหภูมิภายในเตาไม้ฟืนบริเวณที่วางชิ้นงานอาจจะสูงกว่า 1000 องศาเซลเซียส ก็ได้ เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 97-98 และ 99 จะเห็นว่าเนื้อดินปั้นพิเศษฯ มีความพิเศษกว่าเนื้อดินปั้นแบบธรรมดาที่ใช้กันทั่วไปมาก เพราะเนื้อดินปั้นแบบพิเศษมีผิวเป็นเคลือบที่เป็นเซรามิกในตัวปกคลุม ขณะที่เนื้อดินปั้นธรรมดายังมีสภาพเหมือนผลิตภัณฑ์จำพวกกระถางต้นไม้ซึ่งเป็น earthernware อยู่เลย

รูปที่ 96 เนื้อดินปั้นพิเศษฯ ที่ผ่านการขึ้นรูปและอบแล้วแต่ยังไม่เผา

รูปที่ 97 เนื้อดินปั้นของด่านเกวียนแบบธรรมดาที่เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 98 เนื้อดินปั้นแบบพิเศษฯ ที่เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 99 เนื้อดินปั้นแบบพิเศษฯ ที่เผาในเตาไม้ฟืน โรงงานคุณเมี้ยน ที่ตำบลด่านเกวียน

สรุปผลการทดลอง

เนื้อดินปั้นพิเศษฯ ที่เตรียมด้วยวิธีใหม่ในการทดลองนี้ซึ่งเผาในเตาไฟฟ้ามีผิวเป็นเคลือบที่มีความมันวาวน้อยกว่าที่เตรียมด้วยวิธีในการทดลองที่ 4 และเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ที่เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียนมีผิวเป็นมันวาวเป็นเคลือบสีเขียวเข้ม

ข้อเสนอแนะ

ก่อนเผาชิ้นงานที่ทำขึ้นจากเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ควรจะขัดคราบเกลือที่ผิวชิ้นงานบริเวณจุดสัมผัสกับแผ่นรองเผา เพื่อป้องกันไม่ให้ผิวที่กลายเป็นเคลือบหลอมตัวไปติดกับวัสดุที่รองเผา

2.8 การทดลองที่ 7

จุดประสงค์

เพื่อทดลองเผาในเตาด่านเกวียนที่โรงงานอื่น ๆ และเตรียมดินโดยไม่ใช้เครื่องรีดดิน

ความเป็นมา

การทดลองเนื้อดินปั้นที่ผ่านมาเผาที่โรงงานด่านเกวียนเผาที่โรงงานคุณเมี้ยนเพียงที่เดียว เพื่อให้เห็นว่าการเผาที่โรงงานอื่น ๆ ให้ผลต่างกันหรือไม่อย่างไร และเพื่อให้ประหยัดเวลาในการเตรียมเนื้อดินจึงทดลองเตรียมดินโดยไม่ผ่านเครื่องรีดดิน

วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการเตรียมส่วนผสมของเนื้อดินปั้น โดยมีวิธีการเตรียมดังนี้

1) - 5) เหมือนข้อ 1. - ข้อ 5. ในการทดลองที่ 6

6) ตามวิธีการเดิมในการทดลองที่ 4-6 จะนำดินที่หมักแล้วไปรีดผสมในเครื่องรีดดินประมาณ 3-4 รอบ เพื่อให้ส่วนผสมภายในเกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจะได้แท่งเนื้อดินปั้นทรงกระบอกตามต้องการ แต่ในการทดลองครั้งนี้แบ่งเนื้อดินที่ผ่านการหมักแล้วออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 นำมากวนผสมด้วยมือเป็นเวลา 30 นาที ส่วนที่ 2 นำไปขึ้นรูปได้เลย

7) นำเนื้อดินปั้นทั้งสองส่วนจากข้อ 6 ไปขึ้นรูป (ที่ร้านดินเผา ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา) ได้ชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 100 แล้วปล่อยไว้ให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

รูปที่ 100 ชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปที่ร้านดินเผา ตำบลด่านเกวียน

8) นำชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปจากเนื้อดินปั้นทั้งสองส่วนไปเผาในเตาเผา 3 ที่ คือ 1) เผาในเตาฟืน ที่โรงงานของคุณเมี้ยนที่ตำบลด่านเกวียน 2) เผาในเตาฟืนที่ร้านดินเผา ที่ตำบลด่านเกวียน 3) เผาในเตาไฟฟ้า (รูปที่ 12) ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยใช้สภาวะการเผาในเตาไฟฟ้าเหมือนกับที่กล่าวแล้วในการทดลองที่ 6 ก่อนนำไปเผาในเตาไฟฟ้า จะนำชิ้นงานไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส ก่อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ผลการทดลอง

หลังจากอบชิ้นงานก่อนที่จะนำไปเผาในเตาไฟฟ้า พบว่าชิ้นงานที่เตรียมจากเนื้อดินปั้นทั้งสองส่วนเกิดการแตกร้าว และที่ผิวเกิดการหลุดร่อนออกคล้ายเปลือกไม้ ดังรูปที่ 101 ซึ่งสาเหตุอาจเกิดมาจากการนำชิ้นงานที่นำเข้าไปอบมีความชื้นสูงเกินไป จึงทำให้ชิ้นงานแตก อนึ่ง ผิวที่หลุดร่อนมีลักษณะคล้าย ๆ คราบเกลือในการทดลองที่แล้ว (รูปที่ 96) คาดว่าน่าจะเกิดจากสาเหตุเดียวกันกับที่กล่าวไว้แล้วในการทดลองที่ผ่านมา รูปที่ 102 แสดงชิ้นงานที่เผาในเตาไม้ฟืนที่โรงงานคุณเมี้ยนจะเห็นได้ว่าชิ้นงานมีผิวเป็นเคลือบด้านสีเขียวอ่อน ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะบรรยากาศภายในเตาเป็นบรรยากาศแบบรีดักชั่น รูปที่ 103 แสดงชิ้นงานที่เผาในเตาไม้ฟืนร้านดินเผา จะเห็นว่าชิ้นงานที่ได้มีผิวเป็นเคลือบสีน้ำตาลอ่อน ผิวเคลือบมีความเป็นมันเล็กน้อย ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะบรรยากาศภายในเตาไม้ฟืนที่ร้านดินเผามีความเป็นรีดักชั่นน้อยกว่าบรรยากาศในเตาไม้ฟืนที่โรงงานคุณเมี้ยน และสุดท้ายรูปที่ 104 แสดงชิ้นงานที่เผาในเตาไฟฟ้า

จะเห็นชิ้นงานมีเคลือบสีน้ำตาลแดงเป็นมันวาวผิวเรียบกว่าที่เผาเตาไม้ฟืน จากรูปที่ 102-104 จะเห็นว่าชิ้นงานที่เตรียมจากเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ทั้งสองส่วน (ส่วนที่ 1 ได้จากการนำดินที่หมักแล้วไปกวนผสมด้วยมือ 30 นาที ก่อนนำไปขึ้นรูป และส่วนที่ 2 ได้จากการนำดินที่หมักแล้วไปขึ้นรูปได้เลยโดยไม่ต้องนำไปรีดหรือกวนผสมอีก) มีลักษณะของความเป็นผิวเคลือบที่แทบจะไม่แตกต่างกันเลย

รูปที่ 101 เนื้อดินปั้นพิเศษฯ ทั้งสองส่วนที่ผ่านการอบแห้ง

เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานที่เผาในเตาไม้ฟืนที่ (โรงงานคุณเมี้ยน) ในการทดลองนี้กับที่เผาในเตาไม้ฟืนที่โรงงานเดียวกันในการทดลองที่ 4 และ 5 (รูปที่ 84 และ 99 ตามลำดับ) จะเห็นว่าชิ้นงานที่เผาในเตาโรงงานเดียวกันในการทดลองนี้มีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะการเผาในการทดลองที่ 4 และ 5 เป็นการเผาแบบเผาดำ ซึ่งผู้ประกอบการด่านเกวียนใช้เผาผลิตภัณฑ์จำพวกครก ส่วนในการทดลองนี้เป็นการเผาแบบเผาแดง ซึ่งเป็นการเผาผลิตภัณฑ์จำพวกกระถางต้นไม้หรือผลิตภัณฑ์จำพวก earthernware หรืออาจจะเกิดจากการวางชิ้นงานไว้ในจุดที่ต่างกันได้ เพราะเตาเผาที่ด่านเกวียนน่าจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิภายในเตาสูง

รูปที่ 102 ชิ้นงานที่เผาในเตาฟืน โรงงานคุณเมี้ยน

รูปที่ 103 ชิ้นงานที่เผาในเตาฟืนร้านดินเผา

เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานที่ผ่านการเผาในเตาไฟฟ้าในการทดลองนี้กับที่เผาในเตาไฟฟ้าในการทดลองที่ 6 จะเห็นว่าชิ้นงานที่เผาในเตาไฟฟ้าในการทดลองนี้มีผิวเป็นมันวาว และเรียบกว่าที่เผาในการทดลองที่ 6 (รูปที่ 98) แต่เมื่อเทียบชิ้นงานที่เผาในเตาไฟฟ้าในการทดลองนี้กับที่เผาในเตาไฟฟ้าการทดลองที่ 4 (รูป 85) จะเห็นว่าชิ้นงานในการทดลองที่ 4 มีผิวเป็นแก้วสุกตัวเป็นมันมากกว่าชิ้นงานของการทดลองนี้ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่า วิธีการเตรียมเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ในการทดลองนี้แตกต่างจากวิธีการเตรียมเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ในการทดลองที่ 4 นั้นเอง

รูปที่ 104 ชิ้นงานที่เผาในเตาไฟฟ้าที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สรุปผลการทดลอง

1) สามารถเตรียมเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ได้โดยไม่ผ่านการรีดด้วยเครื่องรีดดิน เพราะชิ้นงานที่เผาในเตาไฟฟ้าที่ได้ยังคงมีความเป็นมันวาวเป็นเคลือบในตัว

2) ชิ้นงานที่เผาในเตาไม้ฟืนด่านเกวียนคนละโรงงานหรือแม้แต่การเผาในเตาโรงงานเดียวกันแต่เผาคนละครั้งมีผิวที่แตกต่างกัน

3) ชิ้นงานที่เผาในเตาไฟฟ้ามีผิวเป็นเคลือบและผิวเรียบสุกตัวเป็นมันมากกว่าที่เผาในเตาไม้ฟืน

2.9 การทดลองที่ 8

จุดประสงค์

กลับไปเตรียมเนื้อดินปั้นโดยนำฟริต CG466 หรือฟริต B ไปละลายน้ำพร้อมกับโซดาแอช

ความเป็นมา

เนื่องจากพบว่าเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ที่เตรียมในการทดลองที่ 6 และ 7 ซึ่งเผาในเตาไฟฟ้ามีความเป็นมันวาวไม่เท่าเนื้อดินปั้นสูตรเดียวกันที่เตรียมในการทดลองที่ 4 ทั้ง ๆ ที่เนื้อดินปั้นทั้งหมดมีส่วนผสมเหมือนกันและเผาด้วยเตาเดียวกันด้วยสภาวะการเผาที่เหมือนกัน

วิธีการทดลอง

เตรียมเนื้อดินพิเศษฯ ที่มีสูตรผสมดังที่กล่าวในการทดลองที่ 4-6 ด้วยวิธีต่างกัน 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 เตรียมด้วยวิธีการเหมือนกันกับที่ใช้เตรียมเนื้อดินปั้นส่วนที่ 2 ในการทดลองที่ 7

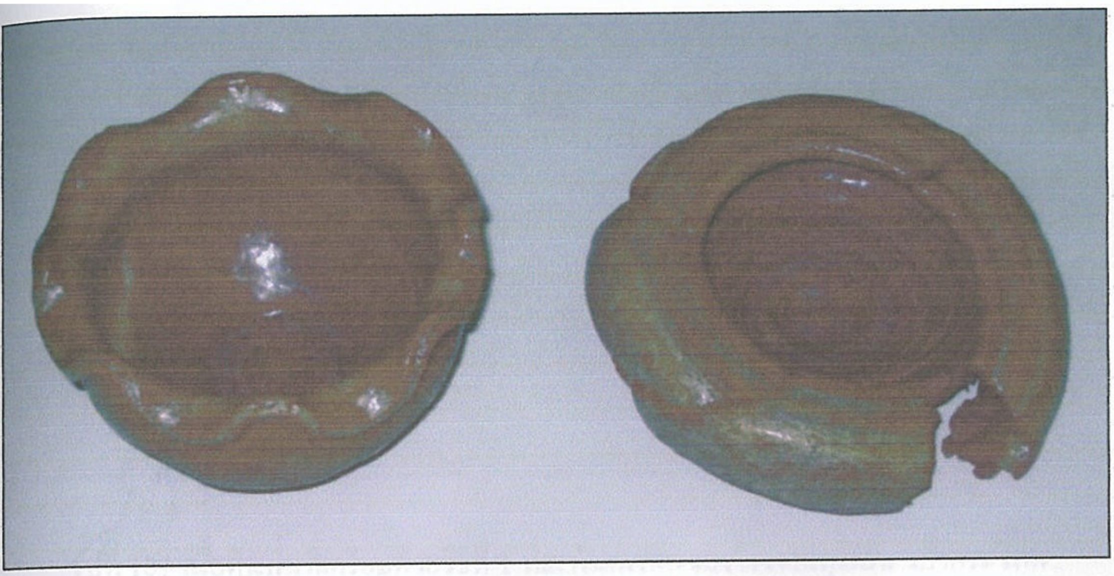
วิธีที่ 2 เตรียมโดยวิธีที่เหมือนกับวิธีที่ 1 โดยจะแตกต่างกันเล็กน้อยตรงที่ว่าวิธีที่ 2 จะแยกเอาฟริต CG466 หรือฟริต B ไปละลายกับโซดาแอชกับน้ำก่อน แล้วจึงนำไปผสมกับของผสมระหว่างดินกับทัลคัม

หลังจากได้เนื้อดินปั้นแล้วนำเนื้อดินปั้นที่เตรียมด้วยวิธีที่ 1 ไปขึ้นรูปและเผาที่โรงงานคุณสมาน ปั้งกระโทก, โรงงานคุณสม เป้ากระโทก และแบ่งชิ้นงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปที่โรงงานคุณสมานส่วนหนึ่งมาอบและเผาในเตาไฟฟ้าที่มหาวิทยาลัย ส่วนเนื้อดินที่เตรียมด้วยวิธีที่ 2 นำมาขึ้นรูปที่มหาวิทยาลัยแล้วอบและเผา อนึ่งการอบและเผาในเตาไฟฟ้านั้นอบและเผาด้วยวิธีการและสภาวะเดียวกับที่กล่าวแล้วในการทดลองที่ 6

ผลการทดลอง

เนื้อดินปั้นที่เตรียมด้วยวิธีที่ 1

รูปที่ 105 แสดงชิ้นงานที่ผ่านการเผาในเตาไฟฟ้า จะเห็นว่าชิ้นงานจะเกิดเคลือบผิวมันปานกลางสีน้ำตาลแดง ส่วนรูปที่ 106 แสดงชิ้นงานที่ผ่านการเผาในเตาไม้ฟืนของโรงงานคุณสมาน จากรูปจะเห็นว่ามีเคลือบผิวมันปานกลางเช่นกันแต่เคลือบเป็นสีเขียว สุดท้ายเป็นชิ้นงานที่เผาในเตาไม้ฟืนที่โรงงานคุณสม ดังแสดงในรูปที่ 107 จะเห็นว่ามีเคลือบผิวด้านสีเขียวไม่สุกตัว สาเหตุอาจเกิดจากชิ้นงานที่เผาในเตาไม้ฟืนของโรงงานคุณสม อาจจะถูกวางไว้ภายในเตาตรงบริเวณไฟอ่อน คือ มีอุณหภูมิต่ำจึงทำให้เคลือบไม่สุกตัว



รูปที่ 105 เนื้อดินปั้นที่เตรียมด้วยวิธีที่ 1 ที่เผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 106 เนื้อดินปั้นที่เตรียมด้วยวิธีที่ 1 ที่เผาในเตาฟืนของโรงงานคุณสมาน ปั้งกระโทก

รูปที่ 107 เนื้อดินปั้นที่เตรียมด้วยวิธีที่ 1 ที่เผาในเตาฟืนของโรงงานคุณสม เป้ากระโทก

เนื้อดินปั้นที่เตรียมวิธีที่ 2

รูปที่ 108 แสดงชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 2 เผาในเตาไฟฟ้า พบว่าชิ้นงานมีผิวเป็นเคลือบที่มีความโดดเด่นสวยงามมากกว่าชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 (รูปที่ 105) ซึ่งเผาในเตาเดียวกันสภาวะการเผาเหมือนกัน

รูปที่ 108 เนื้อดินปั้นที่เตรียมด้วยวิธีที่ 2 ที่ผ่านการเผาในเตาไฟฟ้า

สรุปผลการทดลอง

1) การเผาเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ในเตาไม้ฟืนจะได้เคลือบสีเขียว แต่การเผาในเตาไฟฟ้าจะได้เคลือบสีน้ำตาลแดง

2) การเตรียมเนื้อดินปั้นพิเศษฯ โดยการผสมฟริต โซดาแอช และน้ำประปาเข้าด้วยกันก่อนแล้วกวนผสมจนกว่าจะละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงนำไปผสมกับดินด่านเกวียนที่คลุกกับทัลคัมอีกครั้งหนึ่ง จะได้ชิ้นงานที่มีผิวเป็นเคลือบที่มันวาวผิวเรียบกว่าการเตรียมโดยวิธีในการทดลองที่ 7

2.10 การทดลองที่ 9

จุดประสงค์

ทดลองใช้ดินด่านเกวียนแบบที่ไม่ผ่านตะแกรงเบอร์ 80 เมช และลองเติมซิลิกาลงไปในส่วนผสมกับทดลองเปลี่ยนแปลงเวลาในการหมักและทดลองเผาที่จุดต่าง ๆ ของเตาไม้ฟืน

ความเป็นมา

ทดลองไม่ร่อนเนื้อดินปั้นดินด่านเกวียนผ่านตะแกรงเพื่อลดความยุ่งยากในการเตรียมเนื้อดินปั้น และทดลองเติมซิลิกาเพื่อลดการรานตัวของผิวเคลือบ และทดลองเปลี่ยนเวลาในการหมักเพื่อดูผลของการเปลี่ยนแปลงเวลา สุดท้ายทดลองวางชิ้นงานที่เผาในเตาไม้ฟืนที่จุดต่าง ๆ ซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน เนื่องจากภายในเตาไม้ฟืนของด่านเกวียนมีอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ แบ่งเตาไม้ฟืนออกเป็น 3 ส่วนตามอุณหภูมิในเตา ดังรูปที่ 109

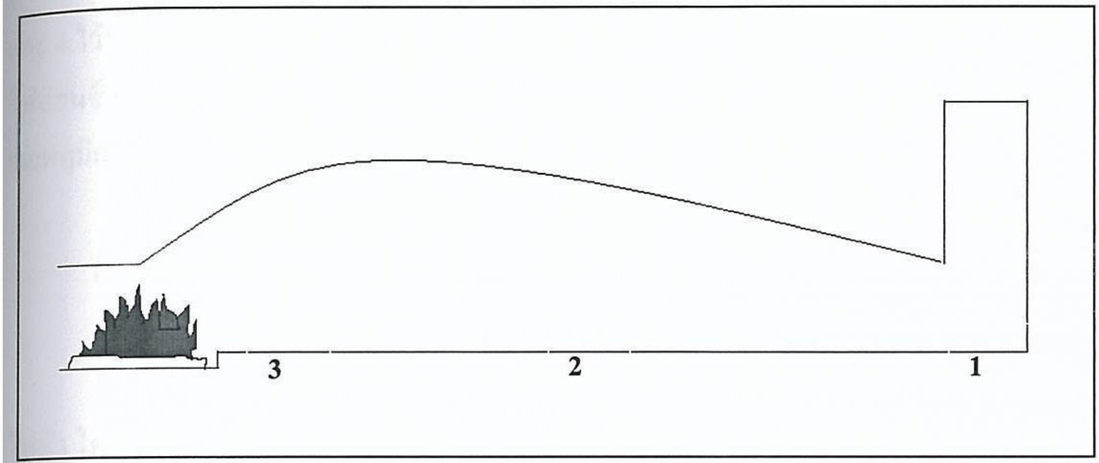
วิธีการทดลอง

1) ผสมเนื้อดินปั้นตามสูตรผสมในตารางที่ 41 โดยนำเนื้อดินด่านเกวียนที่ผ่านการบดแล้วร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ทัลคัม (talcum) ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก คลุกผสมให้เข้ากันโดยสามารถใช้มือหรือไม้พายกวนผสมในภาชนะ เช่น ถังหรือกะละมังก็ได้ ได้ของผสมระหว่างดินกับทัลคัม

2) หลังจากนั้นชั่งโซดาแอช (Na_2CO_3) ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ฟริต CG466 (จากบริษัท อัมรินทร์ เซรามิคส์ คอร์ปอเรชั่น) ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และชั่งน้ำประปา 4 เท่าของน้ำหนักของโซดาแอช แล้วนำโซดาแอชกับฟริตไปละลายในน้ำกวนผสมจนกว่าโซดาแอชและฟริตจะละลายจนหมดได้สารละลาย

3) นำส่วนผสมที่ได้จากข้อ 1 และสารละลายในข้อ 2 มาผสมให้เข้ากันประมาณ 30 นาที แล้วหมักทิ้งไว้ในอ่างปูนปลาสเตอร์โดยใช้ผ้าขาวรองไว้ตามเวลาที่กำหนดในตารางที่ 41

หลังจากหมักได้เนื้อดินปั้นพิเศษ ที่สามารถนำไปขึ้นรูปเลยโดยไม่ต้องนำไปรีดหรือนวดผสมด้วยมือ 30 นาทีอีก



รูปที่ 109 จุดต่าง ๆ ภายในเตาเผาไม้ฟืนที่ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา
จุดที่ 1 ไฟอ่อน มีอุณหภูมิต่ำสุด จุดที่ 2 ไฟกลาง มีอุณหภูมิปานกลาง
จุดที่ 3 ไฟแรง มีอุณหภูมิสูงสุด

ตารางที่ 41 ส่วนผสมของสูตรเนื้อดินปั้นสูตร 1-4 ของการทดลองที่ 9

สูตร	ส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก)					ระยะเวลาที่หมักในอ่างปูนปลาสเตอร์
	ดินปั้นด่านเกวียน	ทัลคัม	ซิลิกา	โซดาแอช	ฟริต CG466	
1	70	10	-	10	10	7 วัน
2	70	10	3	7	10	1-2 วัน
3	70	10	3	10	7	1-2 วัน
4	70	10	-	10	10	1-2 วัน

หมายเหตุ : ใช้น้ำประปาร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ของน้ำหนักของของแข็งทั้งหมดรวมกัน หรือ 4 เท่าของน้ำหนักโซดาแอช

สูตรที่ 1-3 ใช้ดินด่านเกวียนอบแห้งร่อนผ่านตะแกรง 80 เมช แล้ว แต่สูตร 4 ใช้ดินด่านเกวียนอบแห้งที่ไม่ได้นำไปร่อนผ่านตะแกรง นำเนื้อดินปั้นทั้ง 4 สูตรที่เตรียมได้ไปขึ้นรูปที่โรงงานคุณเทียน ด่านกระโทก ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา หลังจากนั้นแบ่งชิ้นงานเป็นสองส่วน ชิ้นงานส่วนที่ 1 นำไปอบแห้งและเผาในเตาไฟฟ้า ด้วยการอบและสภาวะ

การเผาที่กล่าวแล้วในการทดลองที่ 6 ชิ้นงานส่วนที่ 2 นำไปปล่อยให้แห้งและเผาเตาไม้ฟืนที่โรงงานคุณเทียน ด่านกระโทก ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา การเผาครั้งนี้เผาแบบเผาแดง ก่อนเผานำชิ้นงานไปผึ่งลมให้แห้งก่อนแต่ไม่ผ่านการอบแห้ง วางชิ้นงานสูตรที่ 1 และ 4 ไว้บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงสุดในเตา เรียกว่าจุดไฟแรง (จุดที่ 3 ในรูปที่ 109) สูตรที่ 2 ไว้บริเวณไฟอ่อนซึ่งมีอุณหภูมิต่ำสุดภายในเตา (จุดที่ 1 ในรูปที่ 109) สุดท้ายสูตรที่ 3 ไว้บริเวณไฟกลางที่มีอุณหภูมิกลาง ๆ ภายในเตา (จุดที่ 2 ในรูปที่ 109)

ผลการทดลอง

ที่เผาในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 110-113 แสดงเนื้อดินปั้นพิเศษฯ สูตรที่ 1-4 ที่ผ่านการเผาในเตาไฟฟ้า โดยรูปที่ 110 แสดงเนื้อดินปั้นพิเศษฯ สูตรที่ 1 ซึ่งมีส่วนผสมและเตรียมขึ้นด้วยวิธีเดียวกันกับในการทดลองที่ 4 ต่างกันเพียง 2 อย่าง คือ

1) ในการทดลองนี้หมัก 7 วัน แต่ในการทดลองที่ 4 หมัก 1-2 วัน

2) ในการทดลองนี้หมักดินในอ่างปูนปลาสเตอร์ แต่ในการทดลองที่ 4 หมักดินในถังพลาสติก จะเห็นว่าชิ้นงานในรูปที่ 110 มีเคลือบที่มีความมันวาวน้อยกว่าชิ้นงานในการทดลองที่ 4 (รูปที่ 85) ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะการหมักหลายวันทำให้โซดาแอชและฟริต B ละลายแผ่กระจายตัวในเนื้อดินปั้นได้มากกว่าการหมัก 1-2 วัน ดังนั้นเมื่อนำมาปั้นและอบแห้ง โซดาแอชและฟริต B จึงซึมออกมาที่ผิวเนื้อดินปั้นน้อยลง เมื่อนำไปเผาจึงทำให้เนื้อดินปั้นที่ผิวหลอมตัวเป็นเคลือบได้น้อยลง

รูปที่ 111 แสดงเนื้อดินปั้นพิเศษฯ สูตรที่ 2 ซึ่งแทนที่โซดาแอช 3% ในสูตรที่ 1 ด้วยซิลิกา หมัก 1-2 วัน จะเห็นว่าเนื้อดินปั้นสูตรนี้มีผิวเป็นเคลือบที่เป็นมันวาวกว่าสูตรที่ 1 (รูปที่ 110) เป็นการยืนยันอีกครั้งว่า การหมักจำนวนน้อย ๆ วันจะได้ชิ้นงานที่มีผิวมันวาวมากกว่าการหมักนาน ๆ อนึ่งผิวเคลือบสูตรนี้แตกเป็นรอยแตกรานมากพอ ๆ กับรอยแตกรานบนผิวชิ้นงานในรูปที่ 85 แสดงว่าการแทนที่โซดาแอช 3% ด้วยซิลิกาไม่สามารถลดการรานได้

รูปที่ 112 แสดงเนื้อดินปั้นพิเศษฯ สูตรที่ 3 ซึ่งเกิดจากการแทนที่ฟริต 3% ในสูตรที่ 1 ด้วยซิลิกา หมัก 1-2 วัน จะเห็นว่าเนื้อดินปั้นสูตรนี้มีผิวเป็นเคลือบที่เป็นมันเป็นมันวาวกว่าเนื้อดินปั้นสูตรที่ 1 นอกจากนี้รอยรานบนผิวก็มากพอ ๆ กับรอยรานบนผิวชิ้นงานในรูปที่ 85 แสดงว่าการแทนที่ฟริต 3% ด้วยซิลิกาไม่สามารถลดการรานตัวได้

รูปที่ 113 แสดงเนื้อดินปั้นพิเศษฯ สูตรที่ 4 ซึ่งเตรียมโดยใช้ดินด่านเกวียนที่ไม่ร่อนผ่านตะแกรง 80 เมช จะเห็นว่าเนื้อดินปั้นสูตรนี้มีผิวเป็นเคลือบที่มันวาวและเรียบน้อยกว่าเนื้อดินปั้นในรูปที่ 85 ซึ่งเตรียมขึ้นจากส่วนผสมเดียวกันด้วยกระบวนการเดียวกันเพียงแต่ใช้ดิน

ที่ร่อนผ่านตะแกรง ดังนั้นจึงอาจจะกล่าวได้ว่าการใช้ดินที่ไม่ผ่านตะแกรงจะได้ชิ้นงานที่มีผิวเป็นเคลือบแต่เคลือบจะมีความมันวาวลดลง

รูปที่ 110 เนื้อดินปั้นพิเศษ สูตรที่ 1 ของการทดลองที่ 9 ซึ่งผ่านการเผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 111 เนื้อดินปั้นพิเศษ สูตรที่ 2 ของการทดลองที่ 9 ซึ่งผ่านการเผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 112 เนื้อดินปั้นพิเศษ สูตรที่ 3 ของการทดลองที่ 9 ซึ่งผ่านการเผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 113 เนื้อดินปั้นพิเศษ สูตรที่ 4 ของการทดลองที่ 9 ซึ่งผ่านการเผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

ที่เผาในเตาไม้ฟืน

รูปที่ 114-117 แสดงเนื้อดินปั้นพิเศษฯ สูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งเผาในเตาไม้ฟืนโรงงานคุณเทียน ด่านกระโทก จากภาพที่ 114, 116 และ 117 จะเห็นว่าเนื้อดินปั้นสูตรที่ 1, 3 และ 4 ซึ่งเผาในบริเวณไฟกลางและไฟแรงจะมีผิวเป็นเคลือบที่ไม่เรียบและไม่เป็นมันวาวเท่า ๆ กัน ส่วนเนื้อดินปั้นสูตรที่ 2 ที่เผาในบริเวณไฟอ่อนในเตาไม้ฟืน (รูปที่ 115) จะเห็นว่าชิ้นงานไม่สุกตัวมีผิวด้าน ๆ สีชมพูอ่อน

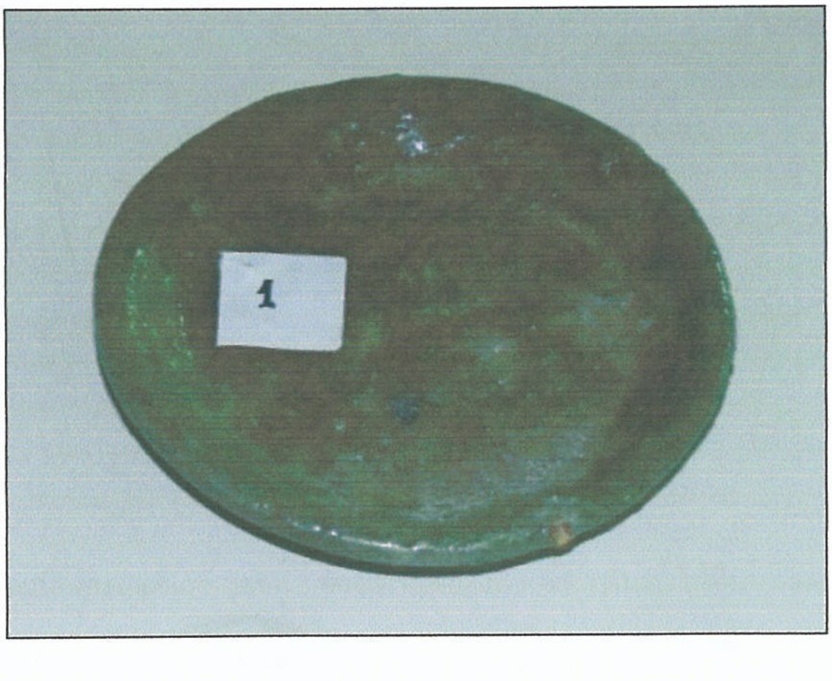
สรุปผลการทดลอง

1) สามารถปรับปรุงสูตรเนื้อดินปั้นพิเศษฯ โดยการแทนที่โซดาแอชหรือฟริต 3% ด้วยซิลิกา ชิ้นงานที่ได้จากการแทนที่ดังกล่าวยังคงมีผิวเรียบมันวาวเป็นแก้วเช่นเดิม อย่างไรก็ตามการแทนที่ดังกล่าวไม่สามารถ ช่วยลดการรานตัวของเคลือบได้

2) การหมักเนื้อดินปั้นพิเศษฯ นานขึ้นจาก 1-2 วันเป็น 7 วัน จะทำให้เมื่อนำไปขึ้นรูปและเผาจะได้ชิ้นงานที่มีผิวเป็นมันวาวน้อยลง

3) การใช้ดินที่ไม่ร่อนผ่านตะแกรงเป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้นพิเศษฯ จะทำให้ชิ้นงานมีผิวเป็นเคลือบมันวาว และสุกตัวน้อยลง

4) ควรเผาเนื้อดินปั้นพิเศษฯ นี้ในบริเวณไฟกลางและไฟแรงของเตาไม้ฟืนเท่านั้นเพราะการเผาที่บริเวณไฟอ่อนเนื้อดินปั้นจะไม่สุกตัว



รูปที่ 114 เนื้อดินปั้นพิเศษ สูตรที่ 1 ของการทดลองที่ 9 ซึ่งเผาในเตาไม้ฟืนบริเวณไฟแรง

รูปที่ 115 เนื้อดินปั้นพิเศษ สูตรที่ 2 ของการทดลองที่ 9 ซึ่งเผาในเตาไม้ฟืนบริเวณไฟอ่อน

รูปที่ 116 เนื้อดินปั้นพิเศษ สูตรที่ 3 ของการทดลองที่ 9 ซึ่งเผาในเตาไม้ฟืนบริเวณไฟกลาง

รูปที่ 117 เนื้อดินปั้นพิเศษ สูตรที่ 4 ของการทดลองที่ 9 ซึ่งเผาในเตาไม้ฟืนบริเวณไฟแรง

2.11 การทดลองที่ 10

จุดประสงค์

เปลี่ยนชนิดของฟริตในส่วนผสมของเนื้อดินปั้นและการทดสอบการลดความรานตัว

ความเป็นมา

การที่ต้องผสมเนื้อดินปั้นจากฟริตชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้นเป็นความเสี่ยง หากฟริตมีราคาแพงขึ้นหรือขาดตลาดจะทำให้เกิดปัญหาได้ การทดลองนี้จึงทดลองใช้ฟริต A ซึ่งเป็นฟริตเบอร์ ST8014 จากบริษัท สยาม ฟริต แทนฟริต B ซึ่งเป็นฟริตเบอร์ CG466 จากบริษัท อัมรินทร์ เซรามิก คอร์เปอเรชัน ซึ่งใช้ในการทดลองที่ 4-9 ที่ผ่านมา

วิธีการทดลอง

ผสมเนื้อดินปั้นพิเศษฯ 4 สูตรตามส่วนผสมในตารางที่ 42 โดยที่สูตรที่ 1 เป็นสูตรดั้งเดิมที่ใช้ได้ผลตั้งแต่การทดลองที่ 4 ส่วนสูตรที่ 2-4 เป็นสูตรที่เปลี่ยนฟริต CG466 เป็นฟริต ST8014 กรรมวิธีเตรียมเนื้อดินปั้นใช้วิธีเดียวกันกับที่กล่าวแล้วในการทดลองที่ 9 โดยหมักเนื้อดิน 1-2 วัน ก่อนนำไปขึ้นรูป

ตารางที่ 42 ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสูตร 1-4 ของการทดลองที่ 10

สูตร	ส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				
	ดินด่านเกวียน	ทัลคัม	ซิลิกา	ฟริต	โซดาแอช
1	70	10	-	CG466 = 10	10
2	70	10	-	ST8014 = 10	10
3	70	10	3	ST8014 = 10	7
4	70	10	5	ST8014 = 10	5

หมายเหตุ : ใช้น้ำประปาแต่ละสูตรร้อยละ 40 ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมด หรือ 4 เท่าของน้ำหนักโซดาแอช

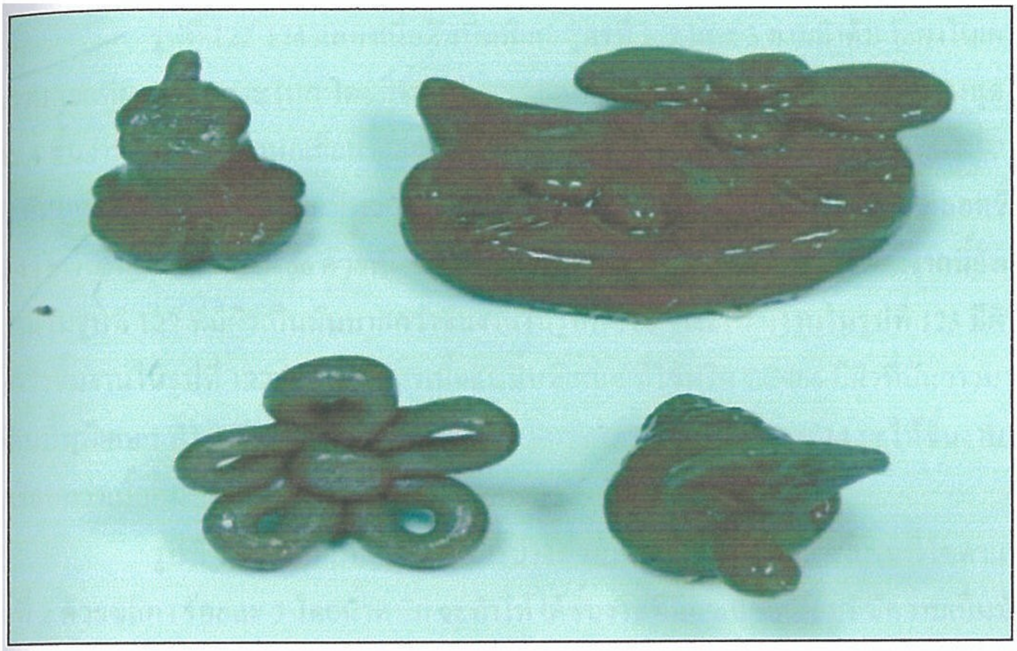
นำเนื้อดินปั้นของแต่ละสูตรที่เตรียมได้ไปขึ้นรูปที่โรงงานคุณเทียน ด่านกระโทก ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา แล้วแบ่งชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้เป็นสองส่วน ส่วนที่ 1 นำไปอบแล้วเผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ในเตาไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตามรายละเอียดที่กล่าวในรูปที่ 95 (การทดลองที่ 6) ส่วนที่ 2 อบและเผาในเตาไม้ฟืนที่โรงงานคุณเทียน ด่านกระโทก ตำบลด่านเกวียน จังหวัดนครราชสีมา เผาโดยกรรมวิธีเผาที่เรียกว่าเผาแดง โดยวางชิ้นงานทั้งหมดทั้ง 4 สูตรไว้ในบริเวณไฟแรงของเตาเผา

ผลการทดลอง

รูปที่ 118-121 แสดงเนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งเผาในเตาไฟฟ้า จากรูปที่ 118 และ 119 จะเห็นว่าชิ้นงานที่ทำจากเนื้อดินปั้นสูตรที่ 1 และ 2 มีผิวเป็นเคลือบที่มีผิวเป็นมันเหมือนกัน แสดงว่าสามารถแทนที่ฟริต CG466 ด้วยฟริต ST8014 ได้ รูปที่ 120 แสดงชิ้นงานที่ขึ้นรูปจากเนื้อดินปั้นสูตรที่ 3 ซึ่งเตรียมขึ้นโดยการแทนที่โซดาแอชในสูตรที่ 2 ด้วยซิลิการ้อยละ 3 โดยน้ำหนัก จะเห็นว่าชิ้นงานบางชิ้นมีผิวเป็นเคลือบมันแต่ชิ้นงานบางชิ้นมีผิวเป็นเคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน ที่มีผิวเป็นมันยังคงมีการราน รูปที่ 121 แสดงชิ้นงานจากเนื้อดินปั้น สูตรที่ 4 ซึ่งเตรียมขึ้นโดยการแทนที่โซดาแอชในเนื้อดินปั้นสูตรที่ 2 ด้วยซิลิการ้อยละ 5 โดยน้ำหนัก จะเห็นว่าได้ชิ้นงานที่มีผิวเป็นเคลือบด้านที่ราบเรียบสีน้ำตาล

รูปที่ 118 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 1 ของการทดลองที่ 10 ที่ใช้ฟริต B หรือ ฟริต CG466
เผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 119 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 2 ของการทดลองที่ 10 ที่ใช้ฟริต A หรือ ฟริต ST8014
เผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 120 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 3 ของการทดลองที่ 10 ซึ่งเผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

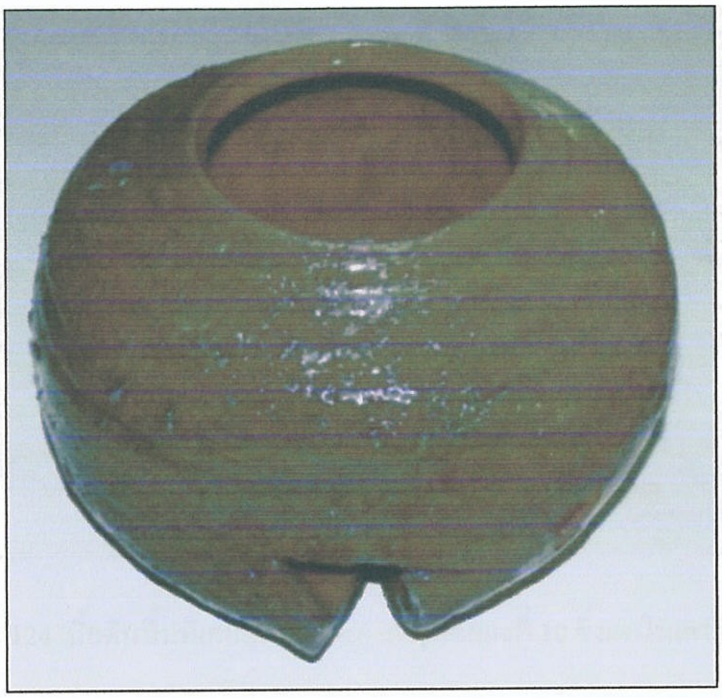
รูปที่ 121 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 4 ของการทดลองที่ 10 ซึ่งเผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 122-124 แสดงเนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ที่เผาในเตาฟืนที่โรงงานคุณเทียน ด่านกระโทก โดยที่ชิ้นงานทุกชิ้นถูกวางเอาไว้ที่บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงสุดในเตา (สูตร 4 ชิ้นงานเกิดการแตกหักเสียหายก่อนเข้าเผา จึงไม่นำมาแสดง) เมื่อเปรียบเทียบสูตรที่ 2 (รูปที่ 123) กับสูตรที่ 1 (รูปที่ 122) จะเห็นว่าทั้งสองสูตรได้ชิ้นงานที่มีผิวเป็นเคลือบมันทั้งตลอดชิ้นงาน แสดงว่าการแทนที่ฟริต CG466 ด้วยฟริต ST8014 ยังคงได้ชิ้นงานที่มีผิวเป็นมัน นอกจากนี้ยังเห็นว่าชิ้นงานในรูปที่ 122 ที่มีผิวเป็นมันมากกว่าชิ้นงานในรูปที่ 123 ขณะที่ชิ้นงานในรูปที่ 123 มีผิวเรียบราบกว่าชิ้นงานในรูปที่ 122 แสดงว่าสูตรเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ที่ใช้ฟริต CG466 มีผิวที่มันวาวมากกว่าเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ที่ใช้ฟริต ST8014 ขณะที่เนื้อดินปั้นพิเศษฯ ที่ใช้ฟริต ST8014 จะให้ชิ้นงานที่มีผิวราบเรียบกว่าเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ที่ใช้ฟริต CG466

รูปที่ 124 มีเคลือบเกิดขึ้นเพียงบางส่วนเท่านั้น แสดงว่าการแทนที่โซดาแอชในสูตรที่ 2 ด้วยซิลิกา ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก จะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีผิวเป็นเคลือบที่มีความเป็นมันวาวน้อยลงและยังมีการรานเกิดขึ้นที่ผิวเคลือบเหมือนเดิม จากรูปที่ 124 ยังจะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่มีผิวไม่สม่ำเสมอบางส่วนเป็นมัน บางส่วนด้าน ซึ่งเกิดจากการแทนที่โซดาแอช บางส่วนด้วยซิลิกา แสดงว่าไม่สามารถแทนที่โซดาแอชในเนื้อดินปั้นพิเศษฯ สูตรที่ใช้ฟริต ST8014 ในทางตรงกันข้าม จากการทดลองที่ 9 จะเห็นว่าสามารถแทนที่โซดาแอช ในเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ที่ใช้ ฟริต CG466 ได้ 3% โดยไม่ทำให้เคลือบบนผิวชิ้นงานลดความเป็นมันวาวไปเลย

สรุปผลการทดลอง

สามารถแทนที่ฟริต CG466 ทั้งหมดในเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ด้วยฟริต ST8014 โดยที่ชิ้นงานหลังเผาในเตาไฟฟ้ายังคงมีความมันวาวและมีผิวที่ราบเรียบเดิม แต่สำหรับชิ้นงานที่เผาในเตาไม้ฟืนการแทนที่ฟริต CG466 ด้วยฟริต ST8014 จะได้ชิ้นงานที่มีผิวเรียบเนียนขึ้นแต่ความมันวาวลดลง ไม่สามารถแทนที่โซดาแอช 3% ด้วยซิลิกาในเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ที่ใช้ฟริต ST8014



รูปที่ 122 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 1 ของการทดลองที่ 10 ซึ่งเผาในเตาไม้ฟืน

รูปที่ 123 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 2 ของการทดลองที่ 10 ซึ่งเผาในเตาไม้ฟืน

รูปที่ 124 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 3 ของการทดลองที่ 10 ซึ่งเผาในเตาไม้ฟืน

2.12 การทดลองที่ 11

จุดประสงค์

ทดลองเปลี่ยนดินที่ใช้เป็นส่วนประกอบหลัก

ความเป็นมา

เนื่องจากต้องการปรับปรุงเนื้อดินปั้นพิเศษ ให้มีสีต่าง ๆ แต่ดินด่านเกวียนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเนื้อดินปั้นพิเศษมีสีเข้ม จึงทดลองใช้ดินชนิดอื่นแทน

วิธีการทดลอง

1) ผสมเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ที่มีส่วนผสมต่าง ๆ กัน ตามส่วนผสมในตารางที่ 43 โดยใช้กรรมวิธีผสมตามกรรมวิธีในการทดลองที่ 9 โดยหมักดิน 1-2 วัน และเปลี่ยนดินที่ใช้จากด่านเกวียนเป็นดินคอมพาวด์เคลย์

2) นำเนื้อดินปั้นของแต่ละสูตรที่เตรียมในข้อ 1 ไปขึ้นรูปที่โรงงานคุณเทียน ด่านกระโทก ตำบลด่านเกวียน หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 วัน แล้วเผาในเตาไฟฟ้าที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ตามสภาวะการเผาที่กล่าวในการทดลองที่ 6

ตารางที่ 43 ส่วนผสมของสูตรเนื้อดินปั้นพิเศษ สูตร 1-9 ของการทดลองที่ 11

สูตร	ส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	ดินคอมพาวด์เคลย์	ทัลคัม	ฟริต CG466	โซดาแอช
1	70	10	10	10
2	76	10	7	7
3	80	10	5	5
4	73	10	10	7
5	73	10	7	10
6	75	10	10	5
7	75	10	5	10
8	78	10	7	5
9	78	10	5	7

หมายเหตุ : ผสมน้ำประปาแต่ละสูตรร้อยละ 40 ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมด

ผลการทดลอง

รูปที่ 125-133 แสดงเนื้อดินปั้นพิเศษ สูตรที่ 1-9 ตามลำดับที่เผาในเตาไฟฟ้า จากรูปจะเห็นว่าชิ้นงานทุกชิ้น เนื้อดินปั้นทุกสูตรมีสีค่อนครีม ทั้งนี้เพราะเนื้อดินปั้นพิเศษเหล่านี้ทำมาจากดินคอมพาวด์เคลย์ซึ่งมีเหล็กเป็นองค์ประกอบน้อย นอกจากนี้จะเห็นว่าเนื้อดินปั้นทุกสูตรมีผิวเป็นเคลือบที่มีผิวเรียบ และเป็นมันวาวมากน้อยแตกต่างกันไป สูตรที่มีผิวมันวาวระดับปานกลาง คือ สูตรที่ 1, 2, 3, 4 และ 6 อย่างไรก็ตามเคลือบบนผิวเนื้อดินทุกสูตรในการทดลองนี้มีความเป็นมันวาวน้อยกว่าเนื้อดินปั้นพิเศษที่ใช้ดินด่านเกวียนเป็นส่วนผสมหลัก เพราะดินด่านเกวียนมีเหล็กเป็นองค์ประกอบมาก และเหล็กเป็นตัวช่วยลดการสุกตัวของเนื้อดินปั้นได้

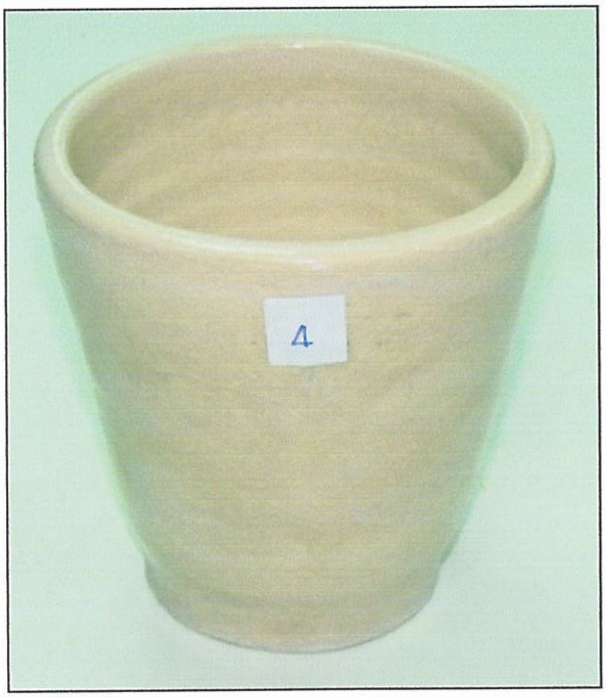
สรุปผลการทดลอง

การใช้ดินคอมพาวด์เคลย์เป็นส่วนผสมหลักแทนดินด่านเกวียน ในส่วนผสมดินปั้นสูตรพิเศษ จะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีผิวเป็นเคลือบสีขาวสุกตัว แต่มีผิวไม่มันวาวเท่ากับเนื้อดินปั้นพิเศษที่ใช้ดินด่านเกวียนเป็นส่วนผสมหลัก

รูปที่ 125 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 1 ของการทดลองที่ 11 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 126 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 2 ของการทดลองที่ 11 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 127 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 3 ของการทดลองที่ 11 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 128 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 4 ของการทดลองที่ 11 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 129 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 5 ของการทดลองที่ 11 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 130 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 6 ของการทดลองที่ 11 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 131 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 7 ของการทดลองที่ 11 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 132 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 8 ของการทดลองที่ 11 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 133 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 9 ของการทดลองที่ 11 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

2.13 การทดลองที่ 12

จุดประสงค์

ทดลองลดปริมาณฟริตและโซดาแอช ในส่วนผสมเพื่อลดต้นทุนเนื้อดินปั้น

ความเป็นมา

เนื่องจากเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ที่คิดค้นในงานวิจัยนี้มีต้นทุนค่อนข้างแพง (ดูรายละเอียดต้นทุนแต่ละสูตรที่ ภาคผนวก ข.) ถึงแม้นจะได้ทดลองลดต้นทุนโดยแทนที่ฟริต และโซดาแอช ด้วย ทัลคัม (การทดลองที่ 5) และทดลองแทนที่ฟริต CG466 ด้วยฟริต ST8014 (การทดลองที่ 10) แล้วก็ยังมีราคาต้นทุนแพงอยู่ดี จึงทดลองปรับสูตรผสมใหม่อีกครั้งหนึ่งโดยลองแทนที่ฟริต CG466 และ โซดาแอช ด้วยดินด่านเกวียน

วิธีการทดลอง

1) ผสมเนื้อดินปั้นขึ้นมา 2 สูตรเรียกว่าสูตรที่ 10-11 ตามส่วนผสมในตารางที่ 44 โดยใช้วิธีการผสมตามที่กล่าวแล้วในการทดลองที่ 9 หมักดินไว้ 1-2 วัน ในอ่างปูนปลาสเตอร์

ตารางที่ 44 แสดงส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสูตร 10-11 ของการทดลองที่ 12

สูตร	ส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	ดินด่านเกวียน	ทัลคัม	ฟริต CG466	โซดาแอช
10	76	10	7	7
11	80	10	5	5

หมายเหตุ : ผสมน้ำประปาแต่ละสูตรร้อยละ 40 ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมด

2) นำเนื้อดินปั้นพิเศษแต่ละสูตรที่เตรียมได้ไปขึ้นรูปที่โรงงานคุณเทียน ด่านกระโทก แบ่งชิ้นงานออกเป็นสองส่วน ส่วนที่ 1 เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้าที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยจะอบก่อนแล้วจึงนำไปเผาตามสภาวะการเผาที่กล่าวในการทดลองที่ 6 ส่วนที่ 2 เผาในเตาไม้ฟืนที่โรงงานคุณเทียน ด่านกระโทก ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้วิธีเผาแบบเผาแดง ก่อนเผาจะนำชิ้นงานไปผึ่งลมให้แห้ง

ผลการทดลอง

สำหรับชิ้นงานที่เผาในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 134-135 แสดงเนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 10 และ 11 ตามลำดับ ที่เผาในเตาไฟฟ้า จากรูปจะเห็นได้ว่าชิ้นงานทั้งสองมีผิวเคลือบที่สุกตัวผิวเรียบเป็นมันวาวมีรอยรานโดยที่เนื้อดินปั้นสูตร 10 มีผิวเป็นเคลือบที่หนากว่าเนื้อดินปั้นสูตร 11 สาเหตุน่าจะเกิดจากเนื้อดินปั้นพิเศษฯ สูตรที่ 10 มีปริมาณฟริตและโซดาแอชมากกว่าสูตรที่ 11 เมื่อเทียบกับเนื้อดินปั้นพิเศษฯ สูตรดั้งเดิม (รูปที่ 118 การทดลองที่ 10) จะเห็นว่าเนื้อดินปั้นพิเศษ สูตรที่ 10 และ 11 มีผิวที่เป็นเคลือบที่สุกตัวใกล้เคียงกับสูตรเนื้อดินปั้นพิเศษดั้งเดิม แสดงว่าสามารถลดต้นทุนเนื้อดินปั้นพิเศษได้ โดยการแทนที่โซดาแอชและฟริตด้วยดินด่านเกวียน

สำหรับชิ้นงานที่เผาในเตาไม้ฟืน

รูปที่ 136-137 แสดงเนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 10 และ 11 ตามลำดับ ที่เผาในเตาฟืนโรงงานคุณเทียน ด่านกระโทก ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา จะเห็นว่าเนื้อดินปั้นพิเศษ ทั้งสองสูตรเมื่อเผาแล้วจะมีเคลือบเกิดขึ้นที่ผิวเหมือนกัน แต่เคลือบที่เกิดขึ้นจะมีความมันวาวน้อยกว่าที่เผาในเตาไฟฟ้า และเมื่อเทียบกับเนื้อดินปั้นพิเศษฯ สูตรดั้งเดิมที่เผาในเตาคุณเทียน ด่านกระโทกเหมือนกัน (รูปที่ 122 ในทดลองที่ 10) จะเห็นว่าเนื้อดินปั้นสูตรที่ 10 และ 11 ในการทดลองนี้มีผิวเป็นเคลือบที่เรียบกว่าแต่มันวาวน้อยกว่า

สรุปผลการทดลอง

สามารถลดต้นทุนเนื้อดินปั้นพิเศษโดยแทนที่ฟริตและโซดาแอชด้วยดินด่านเกวียนประมาณ 3-5% โดยชิ้นงานที่ได้จะมีผิวเป็นเคลือบมันวาวลดลงเล็กน้อย

รูปที่ 134 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 10 ของการทดลองที่ 12 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 135 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 11 ของการทดลองที่ 12 เผาที่เตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 136 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 10 ของการทดลองที่ 12 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน

รูปที่ 137 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 11 ของการทดลองที่ 12 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน

2.14 การทดลองที่ 13

จุดประสงค์

ทดลองเตรียมเนื้อดินปั้นโดยไม่อบแห้งดินด่านเกวียน

ความเป็นมา

เนื่องจากการเตรียมเนื้อดินพิเศษในการทดลองที่ผ่าน ๆ มาทั้งหมด จะต้องนำเนื้อดินปั้นด่านเกวียน ซึ่งเป็นวัตถุดิบไปอบก่อน แล้วจึงนำไปใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นพิเศษ ทำให้ต้องเสียเวลาในการอบหรือตากให้ดินแห้งก่อน ผู้วิจัยจึงทดลองผสมเนื้อดินปั้นพิเศษฯ แบบใหม่โดยไม่ต้องนำดินด่านเกวียนไปอบแห้งก่อน

วิธีการทดลอง

1) หาความชื้นของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนโดยนำเนื้อดินปั้นของด่านเกวียนที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปที่ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการทำเนื้อดินปั้นพิเศษฯ มา 3 แท่ง สุ่มตัวอย่างมา 6 จุด ชั่งน้ำหนักก่อนอบแล้วนำตัวอย่างไปอบจนแห้งสนิทและชั่งน้ำหนักหลังอบแล้วคำนวณความชื้นตามสูตรคำนวณ ดังนี้ ได้ความชื้นดังแสดงในตารางที่ 45

ความชื้น (ฐานเปียก ; Wet basis) = (นน. ก่อนอบ – นน. หลังอบ) × 100 ÷ นน. ก่อนอบ

ความชื้น (ฐานแห้ง ; Dry basis) = (นน. ก่อนอบ – นน. หลังอบ) × 100 ÷ นน. หลังอบ

2) หลังจากนั้นนำเนื้อดินปั้นด่านเกวียนส่วนที่เหลือเก็บใส่ถุงพลาสติกห่อหุ้มไว้อย่างดี แล้วนำไปเก็บในถังพลาสติกอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นระเหยออก เก็บไว้ 10 วัน แล้วจึงหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนอีกครั้ง โดยใช้ขั้นตอนและวิธีการเดียวกันกับรายละเอียดข้างต้น ได้ข้อมูลความชื้นดังแสดงในตารางที่ 46

ตารางที่ 45 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน (หาครั้งที่ 1)

จุดที่	น้ำหนัก (กรัม)		ความชื้น (%)	
	ก่อนอบ	หลังอบ	ฐานเปียก	ฐานแห้ง
1	213.0	161.5	24.18	31.89
2	295.5	224.5	24.03	31.63
3	462.0	348.5	24.57	32.57
4	211.0	159.5	24.41	32.29
5	235.0	178.0	24.26	32.02
6	169.0	128.0	24.26	32.03
	เฉลี่ย		24.29	32.07

ตารางที่ 46 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อดินปั้นด่านเกวียน (หาครั้งที่ 2)

จุดที่	น้ำหนัก (กรัม)		ความชื้น (%)	
	ก่อนอบ	หลังอบ	ฐานเปียก	ฐานแห้ง
1	101.0	76.5	24.26	32.03
2	90.0	67.5	25.00	33.33
3	112.5	85.0	24.44	32.35
4	126.5	95.5	24.51	32.46
5	84.0	63.5	24.41	32.28
6	116.5	87.5	24.89	33.14
	เฉลี่ย		24.59	32.60

จากตารางจะเห็นว่าเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่ใช้ทำวัตถุดิบเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ในงานวิจัยนี้มีความชื้นแบบฐานเปียกและแบบฐานแห้งประมาณ 24 และ 32% ตามลำดับ ดังนั้น หากพิจารณาด้วยสูตรความชื้นฐานแห้ง จะเห็นได้ว่าถ้าหากต้องการดินด่านเกวียนอบแห้ง 70 กรัม จะต้องนำดินด่านเกวียนหมาด (หรือดินด่านเกวียนเปียก) มาเท่ากับ $(32 \div 100 \times 70)\text{g} + 70\text{g} \approx 92.4$ กรัม และหากพิจารณาด้วยสูตรความชื้นฐานเปียกจะเห็นว่า หากต้องการดินด่านเกวียนอบแห้ง 70 กรัม จะต้องนำดินด่านเกวียนหมาด (หรือดินด่านเกวียนเปียก) มาเท่ากับ $70 \div \{1-(24 \div 100)\} \approx 92.1$ กรัม

3) ผสมเนื้อดินปั้นพิเศษ สูตร 1A ถึง 8A โดยใช้เนื้อดินปั้นของด่านเกวียนแบบหมาด ที่ผู้ประกอบการที่ด่านเกวียนผสมไว้แล้วพร้อมที่จะขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าดินด่านเกวียนหมาด ชั่งดินด่านเกวียนหมาดกับทัลคัมตามส่วนผสมในตารางที่ 47 ผสมดินด่านเกวียนหมาดกับทัลคัมโดยการคลุกผสมด้วยมือก่อน จากนั้นนำไปรีดผสมด้วยเครื่องรีด (extruder) ประมาณ 3 รอบ จนส่วนผสมเข้ากันดีได้ของผสมระหว่างดินด่านเกวียนกับทัลคัม

4) ชั่งโซดาแอช (Na_2CO_3), ฟริต CG466 (จากบริษัท อัมรินทร์ เซรามิคส์ คอร์ปอเรชั่น) และน้ำประปาตามส่วนผสมในตารางที่ 47 และน้ำประปา 4 เท่าของโซดาแอช แล้วกวนผสมจนกว่าโซดาแอชและฟริตละลายจนหมด ได้สารละลายของโซดาแอชกับฟริต

5) นำของผสมจากข้อ 3 และสารละลายจากข้อ 4 มาผสมให้เข้ากัน โดยคลุกด้วยไม้พายหรือมือประมาณ 30 นาทีหรือจนกว่าทุกส่วนเข้ากันดี แล้วหมักทิ้งไว้ในอ่างปลาสเตอร์โดยใช้ผ้าขาวรองประมาณ 1-2 วัน

6) นำเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ทุก ๆ สูตรที่เตรียมได้ไปขึ้นรูปที่โรงงานคุณเทียน ด่านกระโทก ตำบลด่านเกวียน

7) แบ่งชิ้นงานขึ้นรูปเสร็จแล้วเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งเผาในเตาไม้ฟืนที่ร้านดินเผา ตำบลด่านเกวียน เผาแบบเผาแดงโดยที่ก่อนเผาจะผึ่งลมให้แห้งก่อนเผา ชิ้นงานอีกส่วนหนึ่งนำไปอบแห้งและเผาในเตาไฟฟ้าที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีตามสภาวะการเผาดังที่กล่าวไว้แล้วในการทดลองที่ 6 ตารางที่ 48 แสดงส่วนผสมของเนื้อดินปั้นพิเศษ ในการทดลองนี้เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจริงของวัตถุดิบทุกชนิด ไม่รวมน้ำประปาที่ใช้

ตารางที่ 47 ส่วนผสมโดยน้ำหนักของเนื้อดินปั้นพิเศษ สูตร 1A-8A

สูตร	ส่วนผสม (กรัม)					น้ำประปา
	ดินหมาด	ทัลคัม	ฟริต CG466	ฟริต ST8014	โซดาแอช	
1A	6630.42	714.29	714.29	0	714.29	2857.16
2A	6630.42	714.29	714.29	0	714.29	2857.16
3A	6630.42	294.12	294.12	0	294.12	882.36
4A	4451.04	176.47	176.47	0	176.47	529.41
5A	3978.25	98.9	0	98.9	98.9	296.7
6A	4451.04	98.9	0	98.9	98.9	395.6
7A	3978.25	66.67	0	100	166.67	300
8A	4451.04	66.67	0	100	166.67	383.34

ตารางที่ 48 เปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นพิเศษ สูตร 1A-8A (ไม่รวมน้ำประปา)

สูตร	ส่วนผสม (wt%)				
	ดินหมาด	ทัลคัม	ฟริต CG466	ฟริต ST8014	โซดาแอช
1A	75.58	8.14	8.14	0.00	8.14
2A	75.58	8.14	8.14	0.00	8.14
3A	88.26	3.91	3.91	0.00	3.91
4ฤ	89.37	3.54	3.54	0.00	3.54
5A	93.06	2.31	0.00	2.31	2.31
6A	93.75	2.08	0.00	2.08	2.08
7A	92.27	1.55	0.00	2.32	3.87
8A	93.03	1.39	0.00	2.09	3.48

ผลการทดลอง

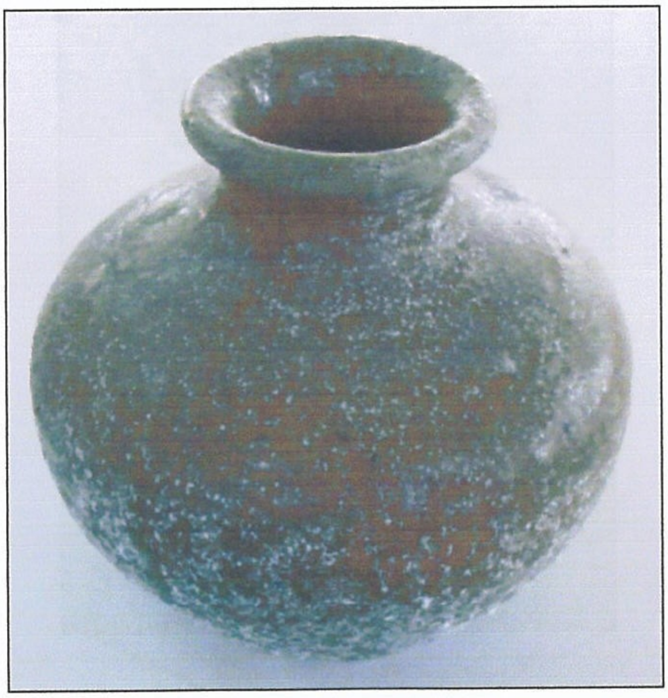
รูปที่ 138-140 แสดงเนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 1A-3A ซึ่งเผาในเตาไฟฟ้า พบว่าชิ้นงานทั้ง 3 สูตร มีผิวที่เป็นเคลือบสีน้ำตาล ผิวมันสุกตัว อย่างไรก็ตามผิวของเคลือบมีรอยสีขาว ๆ คล้าย ๆ กลุ่มของฟองอากาศเกาะอยู่เป็นจ้ำ ๆ

รูปที่ 141-148 แสดงเนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 1A-8A ตามลำดับเผาในเตาฟืนที่ร้านดินเผา ตำบลด่านเกวียน จังหวัดนครราชสีมา จะเห็นได้ว่าชิ้นงานสูตรที่ 1A และ 2A มีผิวเป็นเคลือบกึ่งมันกึ่งด้านสีน้ำตาลแดงปนเหลือง อนึ่งผิวเคลือบของเนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 1A มีผงสีขาว ๆเกาะอยู่แต่ผงชนิดนี้ไม่ติดถาวรแต่สามารถเช็ดออกได้ด้วยผ้า และจะเห็นได้ว่าเนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 3A-8A มีผิวด้าน ๆ คล้าย ๆ กับไม่มีชั้นเคลือบสุกตัวปกคลุมอยู่ แสดงว่าผิวชิ้นงานไม่สุกตัว ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าสูตรเหล่านี้มีสารลดการสุกตัว คือ ทัลคัม, ฟริต และโซดาแอช ผสมอยู่น้อยเกินไป

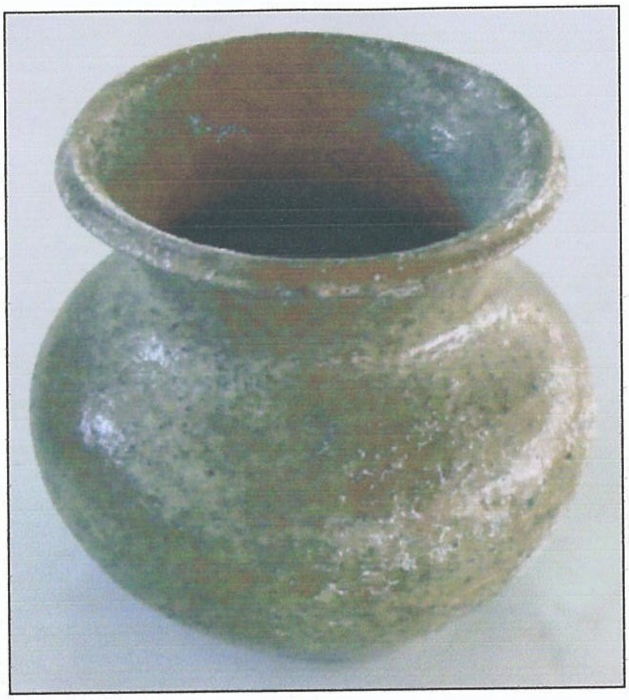
รูปที่ 138 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 1A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 139 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 2A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

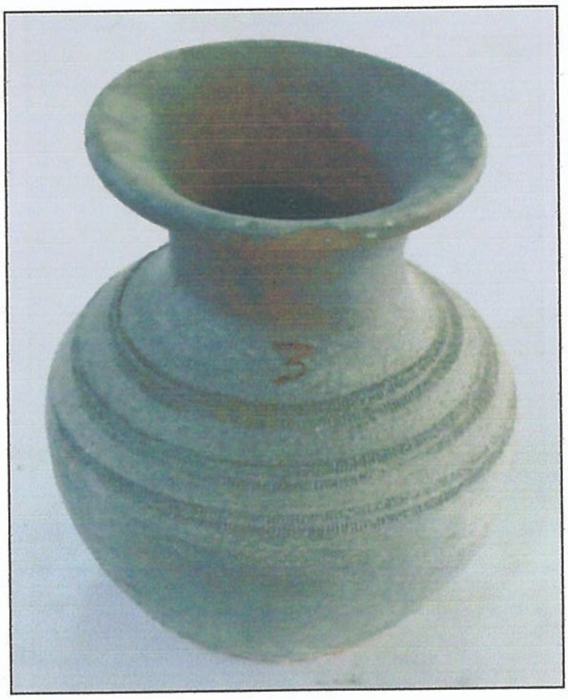
รูปที่ 140 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 3A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไฟฟ้าที่ 1000 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 141 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 1A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน

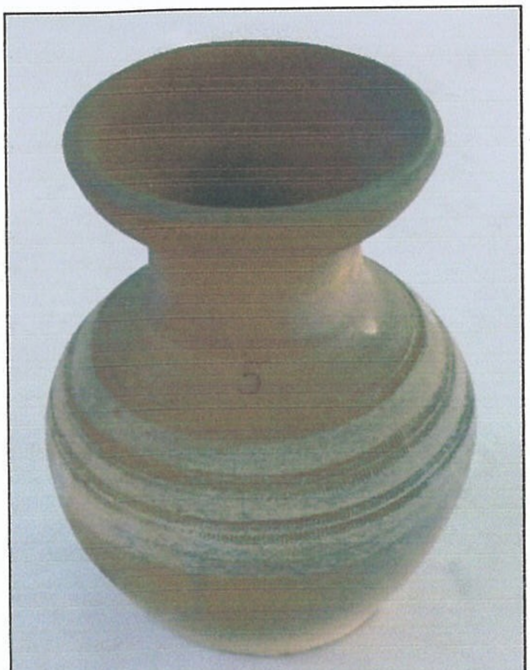


รูปที่ 142 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 2A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน

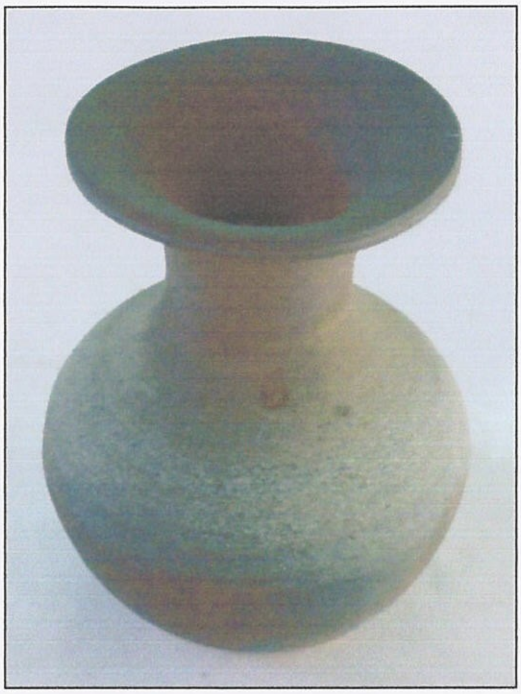


รูปที่ 143 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 3A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน

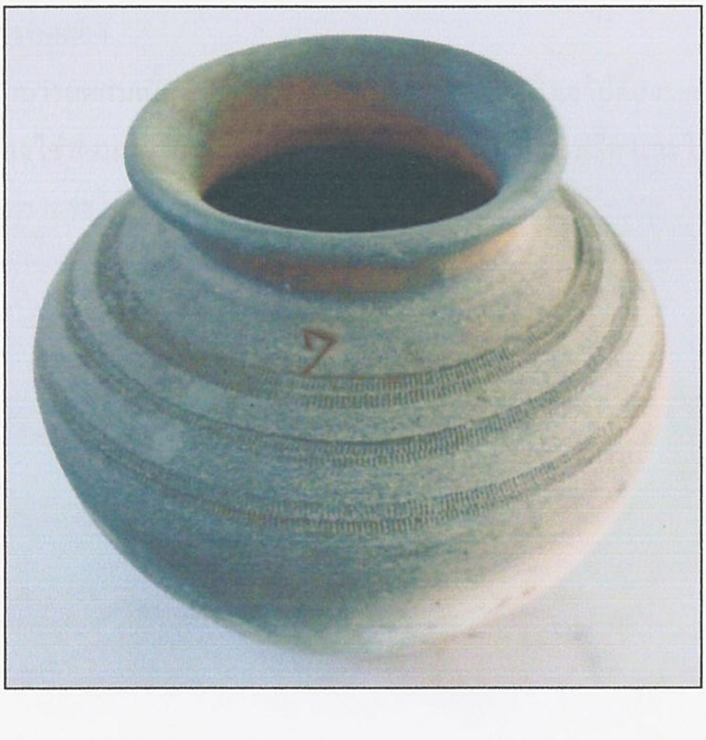
รูปที่ 144 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 4A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน



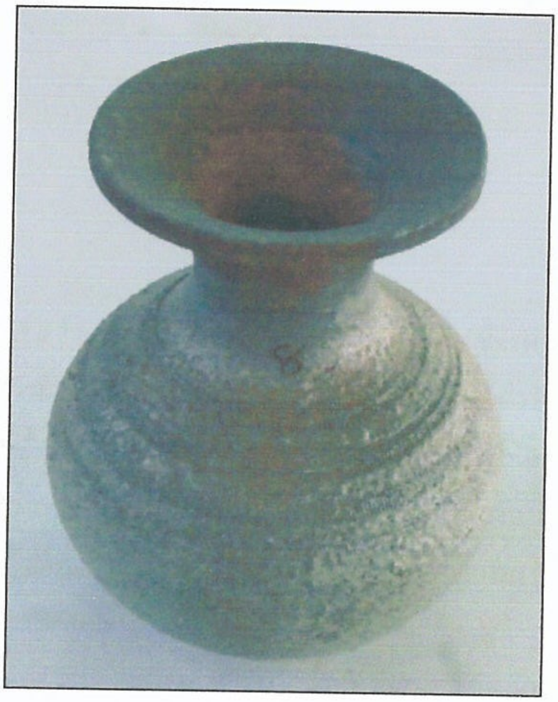
รูปที่ 145 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 5A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน



รูปที่ 146 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 6A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน



รูปที่ 147 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 7A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน



รูปที่ 148 เนื้อดินปั้นพิเศษสูตรที่ 8A ของการทดลองที่ 13 เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน

สรุปผลการทดลอง

สามารถผสมเนื้อดินปั้นพิเศษฯ ที่มีเคลือบในตัว โดยไม่ต้องบดเนื้อดินด่านเกวียนให้แห้งก่อน แต่ต้องใช้ส่วนผสมที่เหมาะสมและ ไม่ควรลดทัลคัม, ฟริต และ โซดาแอช ลงไปให้เหลือน้อยเกินไป เพราะจะได้ชิ้นงานที่ผิวไม่เป็นเคลือบ

บทที่ 3
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ตอนแรกงานวิจัยส่วนนี้ตั้งใจจะวิจัยหาเนื้อดินปั้นซึ่งเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 1000 องศาเซลเซียส แล้วมีเปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำไม่เกิน 5% ให้กับผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผาที่ด่านเกวียน แล้วจะพัฒนาเคลือบที่เหมาะสมมาเคลือบเนื้อดินปั้นที่ได้อีกครั้งหนึ่ง แต่บังเอิญว่าเนื้อดินปั้นที่ค้นพบกลับมีลักษณะพิเศษ คือ มีผิวเป็นเคลือบเซรามิกในตัว งานวิจัยส่วนนี้จึงได้พัฒนาสูตรเนื้อดินปั้นพิเศษ ต่อไปให้มีราคาต่ำลง และใช้วัตถุดิบได้หลากหลาย และสามารถนำไปใช้ในเตาเผาที่ด่านเกวียนได้ดีในระดับหนึ่ง

เนื้อดินปั้นพิเศษที่ค้นพบและพัฒนาในงานวิจัยนี้มีส่วนผสมหลักเป็นเนื้อดินปั้นด่านเกวียน, ทัลคัม และฟริต หากเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส จะได้ชิ้นงานที่มีผิวเป็นแก้วผิวมันวาว สีน้ำตาลแดง มีรอยราน แต่หากเผาในเตาไม้ฟืนได้ชิ้นงานที่มีผิวเป็นเคลือบเซรามิก สีเขียวหรือน้ำตาล ผิวไม่มันวาวมากเท่าที่เผาในเตาไฟฟ้า

ถึงแม้นว่าเนื้อดินปั้นพิเศษ นี้จะมีราคาแพงกว่าเนื้อดินปั้นทั่วไปที่ผู้ประกอบการที่ด่านเกวียนใช้อยู่ในปัจจุบัน แต่ข้อดีของเนื้อดินปั้นพิเศษ จะช่วยให้ประหยัดต้นทุนค่าไม้ฟื้นในการเผาได้ 75% เพราะสามารถลดอุณหภูมิในการเผาจาก 1250 องศาเซลเซียส ให้เหลือเพียง 1000 องศาเซลเซียส และยังทำให้ไม่ต้องเผา biscuit อีกด้วย เนื้อดินปั้นชนิดนี้ยังช่วยให้ผู้ประกอบการประหยัดวัตถุดิบในการทำเคลือบ ประหยัดค่าแรงในการชุบเคลือบ, การขนของเข้าออกเตา และยังประหยัดเวลาในการผลิตอีกด้วย เนื้อดินปั้นชนิดนี้ช่วยให้ไม่ต้องทำน้ำเคลือบ, ไม่ต้องชุบเคลือบ, ไม่ต้องเผา 2 เที่ยว ที่สำคัญคือเนื้อดินปั้นชนิดนี้ไม่มีส่วนผสมที่เป็นสารมีพิษ เช่นตะกั่ว ด้วย จึงสามารถนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ส่งต่างประเทศได้

ในอนาคตน่าจะมีการทดลองนำเนื้อดินปั้นชนิดนี้ไปใช้ที่ด่านเกวียนมากขึ้น เพื่อจะให้เกิดประโยชน์กับอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนอย่างจริงจัง

เอกสารอ้างอิง

ดรุณี วัฒนศิริเวช และ สุธี วัฒนศิริเวช. (2552). **การวิเคราะห์แร่ดินเคลือบและตำหนิในผลิตภัณฑ์เซรามิก.** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2539). **เซรามิกส์.** (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรรณา ต.แสงจันทร์. (28 พ.ย. 2551). **การพัฒนาเคลือบไฟต่ำ"ในงานสัมนาเรื่อง : พลังงานทางรอด? ทางเลือก? ของอุตสาหกรรมเซรามิก.** กรุงเทพฯ : โรงแรมเจ้าพระยาปาร์ก.

สมนึก ศิริสุนทร. (19 พ.ค. 2552). **ต้นทุนพลังงานและสร้างนวัตกรรมใหม่ทางรอด ทางเลือก ของอุตสาหกรรมเซรามิกไทย.** ลำปาง : โรงแรมเวียงลคอร.

Kingery, W.D., Bowen, H.K. and Uhlmann, D.R. (1991). **Introduction to Ceramic.** (2). Singapore : Wiley.

Singer, F. and German, W.L. (1960). **Ceramic glazes.** London : Carlisle Place.

ภาคผนวก ก.

ก1. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

เนื้อดินปั้นด่านเกวียนจากโรงงานตัวแทนที่ 1

ลักษณะตัวอย่างเบื้องต้น เป็นผงสีน้ำตาล
ลักษณะตัวอย่างเมื่อผ่านการเผา จะเปลี่ยนเป็นสีส้ม

ผลการวิเคราะห์

ปริมาณสารระเหย (เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส), ร้อยละ	6.20
ปริมาณเถ้า (เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส), ร้อยละ	93.8

ส่วนประกอบทางเคมี

Silica (SiO_2), ร้อยละ	63.2 %wt
Alumina (Al_2O_3), ร้อยละ	20.6 %wt
Iron oxide (Fe_2O_3), ร้อยละ	5.70 %wt
Potassium oxide (K_2O), ร้อยละ	1.29 %wt
Titanium oxide (TiO_2), ร้อยละ	1.04 %wt
Magnesium oxide (MgO), ร้อยละ	0.82 %wt
Calcium oxide (CaO), ร้อยละ	0.42 %wt
Sodium oxide (Na_2O), ร้อยละ	0.39 %wt
Sulphur trioxide (SO_3), ร้อยละ	0.08 %wt
Manganese oxide (MnO), ร้อยละ	0.06 %wt
Phosphorus pentaoxide (P_2O_5), ร้อยละ	0.06 %wt
Loss on ignition (1000 องศา), ร้อยละ	6.20 %wt

ก2. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

เนื้อดินปั้นด่านเกวียนจากโรงงานตัวแทนที่ 2

ลักษณะตัวอย่างเบื้องต้น เป็นผงสีน้ำตาล
ลักษณะตัวอย่างเมื่อผ่านการเผา จะเปลี่ยนเป็นสีส้ม

ผลการวิเคราะห์

ปริมาณสารระเหย (เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส), ร้อยละ	7.40
ปริมาณเถ้า (เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส), ร้อยละ	92.6

ส่วนประกอบทางเคมี

Silica (SiO_2), ร้อยละ	59.8 %wt
Alumina (Al_2O_3), ร้อยละ	21.5 %wt
Iron oxide (Fe_2O_3), ร้อยละ	6.70 %wt
Potassium oxide (K_2O), ร้อยละ	1.38 %wt
Titanium oxide (TiO_2), ร้อยละ	1.06 %wt
Magnesium oxide (MgO), ร้อยละ	0.88 %wt
Calcium oxide (CaO), ร้อยละ	0.41 %wt
Sodium oxide (Na_2O), ร้อยละ	0.43 %wt
Sulphur trioxide (SO_3), ร้อยละ	0.15 %wt
Manganese oxide (MnO), ร้อยละ	0.10 %wt
Phosphorus pentaoxide (P_2O_5), ร้อยละ	0.05 %wt
Loss on ignition (1000 องศา), ร้อยละ	7.40 %wt

ก3. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

เนื้อดินปั้นด่านเกวียนจากโรงงานตัวแทนที่ 3

ลักษณะตัวอย่างเบื้องต้น เป็นผงสีน้ำตาล
ลักษณะตัวอย่างเมื่อผ่านการเผา จะเปลี่ยนเป็นสีส้ม

ผลการวิเคราะห์

ปริมาณสารระเหย (เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส), ร้อยละ	7.20
ปริมาณเถ้า (เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส), ร้อยละ	92.8

ส่วนประกอบทางเคมี

Silica (SiO_2), ร้อยละ	59.7 %wt
Alumina (Al_2O_3), ร้อยละ	21.8 %wt
Iron oxide (Fe_2O_3), ร้อยละ	6.30 %wt
Potassium oxide (K_2O), ร้อยละ	1.44 %wt
Titanium oxide (TiO_2), ร้อยละ	1.06 %wt
Magnesium oxide (MgO), ร้อยละ	0.89 %wt
Calcium oxide (CaO), ร้อยละ	0.38 %wt
Sodium oxide (Na_2O), ร้อยละ	0.58 %wt
Sulphur trioxide (SO_3), ร้อยละ	0.23 %wt
Manganese oxide (MnO), ร้อยละ	0.11 %wt
Phosphorus pentaoxide (P_2O_5), ร้อยละ	0.04 %wt
Loss on ignition (1000 องศา), ร้อยละ	7.20 %wt

ก4. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

ขี้เถ้ายูคาลิปตัส

ปริมาณสารระเหย (เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส), ร้อยละ	38.7
ปริมาณเถ้า (เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส), ร้อยละ	61.3

ส่วนประกอบทางเคมี

Silica (SiO_2), ร้อยละ	0.62
Alumina (Al_2O_3), ร้อยละ	0.11
Iron oxide (Fe_2O_3), ร้อยละ	0.11
Potassium oxide (K_2O), ร้อยละ	4.80
Magnesium oxide (MgO), ร้อยละ	3.49
Calcium oxide (CaO), ร้อยละ	46.1
Sodium oxide (Na_2O), ร้อยละ	0.64
Sulphur trioxide (SO_3), ร้อยละ	1.62
Manganese oxide (MnO), ร้อยละ	1.98
Phosphorus pentaoxide (P_2O_5), ร้อยละ	1.69
Strontium oxide (SrO), ร้อยละ	0.08
Loss on ignition (1000 องศา), ร้อยละ	38.7

ก5. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

ขี้เถ้าไม้รวม

ปริมาณสารระเหย (เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส), ร้อยละ	24.4
ปริมาณเถ้า (เผาที่ 1000 องศาเซลเซียส), ร้อยละ	75.6

ส่วนประกอบทางเคมี

Silica (SiO_2), ร้อยละ	12.0
Alumina (Al_2O_3), ร้อยละ	0.75
Iron oxide (Fe_2O_3), ร้อยละ	0.58
Potassium oxide (K_2O), ร้อยละ	1.61
Magnesium oxide (MgO), ร้อยละ	5.90
Calcium oxide (CaO), ร้อยละ	49.6
Sodium oxide (Na_2O), ร้อยละ	0.11
Sulphur trioxide (SO_3), ร้อยละ	1.28
Manganese oxide (MnO), ร้อยละ	0.23
Phosphorus pentaoxide (P_2O_5), ร้อยละ	2.85
Strontium oxide (SrO), ร้อยละ	0.22
Loss on ignition (1000 องศา), ร้อยละ	24.4

ก6. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

ฟริต CG466 (ฟริต B)

Silica (SiO_2), ร้อยละ	57.5
Alumina (Al_2O_3), ร้อยละ	10.8
Boron oxide (B_2O_3), ร้อยละ	11.2
Calcium oxide (CaO), ร้อยละ	6.40
Sodium oxide (Na_2O), ร้อยละ	5.60
Zinc oxide (ZnO), ร้อยละ	2.78
Potassium oxide (K_2O), ร้อยละ	2.74
Barium oxide (BaO), ร้อยละ	1.67
Magnesium oxide (MgO), ร้อยละ	0.38
Ferric oxide (Fe_2O_3), ร้อยละ	0.16
Strontium oxide (SrO), ร้อยละ	0.11

ก7. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

ฟริต ST8014F (ฟริต A)

Silica (SiO_2), ร้อยละ	63.2
Alumina (Al_2O_3), ร้อยละ	8.40
Calcium oxide (CaO), ร้อยละ	15.2
Sodium oxide (Na_2O), ร้อยละ	0.99
Potassium oxide (K_2O), ร้อยละ	5.50
Barium oxide (BaO), ร้อยละ	4.25
Magnesium oxide (MgO), ร้อยละ	1.64
Ferric oxide (Fe_2O_3), ร้อยละ	0.16

ก8. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

โซดาแอช (Na_2CO_3)

ส่วนประกอบทางเคมี

Na_2CO_3, ร้อยละ	99.20
Sulphate, ร้อยละ	0.013
Calcium, ร้อยละ	0.008
Chloride, ร้อยละ	0.180
Magnesium, ร้อยละ	0.003
Iron, ร้อยละ	0.0012

ก9. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

ทัลคัม (Talcum)

ส่วนประกอบทางเคมี

Silica (SiO_2), ร้อยละ	47.00
Magnesium oxide (MgO), ร้อยละ	30.00
Ferric oxide (Fe_2O_3), ร้อยละ	0.50

ก10. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

โดโลไมท์ (Dolomite)

ส่วนประกอบทางเคมี

Calcium oxide (CaO), ร้อยละ	36.4
Magnesium oxide (MgO), ร้อยละ	19.4
Ferric oxide (Fe_2O_3), ร้อยละ	0.03

ก11. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

TOP-BOR

ส่วนประกอบทางเคมี

Boron oxide (B_2O_3), ร้อยละ	80.0
Sodium oxide (Na_2O), ร้อยละ	14.1
Sulphur trioxide (SO_3), ร้อยละ	5.40

ภาคผนวก ข.

ข. คำนวณต้นทุนการผลิต

ตารางที่ ข1. ราคาต่อหน่วยของวัตถุดิบแต่ละตัวที่ใช้ในการทำส่วนผสม (ไม่รวมค่าแรงในการบดและผสม)

วัตถุดิบที่ใช้ทำส่วนผสม	ราคา (บาท/กก.) ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม	ที่มาของวัตถุดิบ
เนื้อดินปั้นด่านเกวียน (body หรือ DK)	2	โรงงานตัวแทนที่ด่านเกวียน
โซดาแอช (Na_2CO_3)	45	บริษัท เซรามิกส์ อาร์อิส จำกัด
โดโลไมท์ (Dolomite)	7	บริษัท เซรามิกส์ อาร์อิส จำกัด
ทัลคัม (Talcum)	15	บริษัท เซรามิกส์ อาร์อิส จำกัด
ท๊อบบอร์ (TOP-BOR)	38	บริษัท อัพบิว เคมีคอล อินดัสทรี จำกัด
ขี้เถ้ายูคา (Euca Ash)	0	เผาไม้ยูคาลิปตัสเอง
ขี้เถ้ารวม (DK Ash)	0	โรงงานตัวแทนที่ด่านเกวียน
ทรายบด (Sand)	10	บริษัท อัมรินทร์เซรามิกส์คอร์เปอเรชั่น จำกัด
หินฟันม้าโซดา (Na- Feldspar)	2.5	
ฟริต B (Frit CG-466)	60	บริษัท อัมรินทร์เซรามิกส์คอร์เปอเรชั่น จำกัด
ฟริต A (Frit ST- 8014F)	20	บริษัท สยามฟริท จำกัด
ดินคอมพาวด์เคลย์	7	บริษัท คอมพาวเคลย์ จำกัด

ตารางที่ ข2. ต้นทุนสูตรผสมเนื้อดินปั้นในการทดลองที่ 1

สูตร	ดินด่านเกวียน	Na_2CO_3	Dolomite	Talcum	DK Ash	TOP BOR	Euca Ash	Al_2O_3	sand	ต้นทุน (บาท/กก.)
BLANK (Body)	100									2.00
95%Body + 5% Na_2CO_3	95	5								4.15
90%Body + 10% Na_2CO_3	90	10								6.30
85%Body + 15% Na_2CO_3	85	15								8.45
80%Body + 20% Na_2CO_3	80	20								10.60
95%Body + 5% Dolomite	95		5							2.25
90%Body + 10%Dolomite	90		10							2.50
85%Body + 15%Dolomite	85		15							2.75
80%Body + 20%Dolomite	80		20							3.00
95%Body + 5% Talcum	95			5						2.65
90%Body + 10%Talcum	90			10						3.30
85%Body + 15%Talcum	85			15						3.95
80%Body + 20%Talcum	80			20						4.60
95%Body + 5% DK Ash	95				5					1.90
90%Body + 10%DK Ash	90				10					1.80
85%Body + 15%DK Ash	85				15					1.70
80%Body + 20%DK Ash	80				20					1.60
95%Body + 5% TOP BOR	95					5				3.80
90%Body + 10%TOP BOR	90					10				5.60
85%Body + 15%TOP BOR	85					15				7.40
80%Body + 20%TOP BOR	80					20				9.20
95%Body + 5% Euca Ash	95						5			1.90
90%Body + 10%Euca Ash	90						10			1.80
85%Body + 15%Euca Ash	85						15			1.70
80%Body + 20%Euca Ash	80						20			1.60

ตารางที่ ข3. ต้นทุนสูตรผสมเนื้อดินปั้นการทดลองที่ 2

สูตร	ดินด่านเกวียน	Na_2CO_3	Na-Feldspar	Frit B	ต้นทุน (บาท/กก.)
93%Body + 5% Na_2CO_3 + 2%Na-Feldspar	93	5	2		4.16
91%Body + 5% Na_2CO_3 + 4%Na-Feldspar	91	5	4		4.17
89%Body + 5% Na_2CO_3 + 6%Na-Feldspar	89	5	6		4.18
88%Body + 10% Na_2CO_3 + 2%Na-Feldspar	88	10	2		6.31
86%Body + 10% Na_2CO_3 + 4%Na-Feldspar	86	10	4		6.32
84%Body + 10% Na_2CO_3 + 6%Na-Feldspar	84	10	6		6.33
80%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Na-Feldspar	80	10	10		6.35
93%Body + 5% Na_2CO_3 + 2%Frit B	93	5		2	5.31
91%Body + 5% Na_2CO_3 + 4%Frit B	91	5		4	6.47
89%Body + 5% Na_2CO_3 + 6%Frit B	89	5		6	7.63
88%Body + 10% Na_2CO_3 + 2%Frit B	88	10		2	7.46
86%Body + 10% Na_2CO_3 + 4%Frit B	86	10		4	8.62
84%Body + 10% Na_2CO_3 + 6%Frit B	84	10		6	9.78
80%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Frit B	80	10		10	12.10

ตารางที่ ข3. ต้นทุนสูตรผสมเนื้อดินปั้นการทดลองที่ 2 (ต่อ)

สูตร	ดินด่านเกวียน	Na_2CO_3	Dolomite	Talcum	DK Ash	ต้นทุน (บาท/กก.)
90%Body + 5% Na_2CO_3 + 5% DK ASH	90	5			5	4.05
85%Body + 5% Na_2CO_3 + 10%DK ASH	85	5			10	3.95
80%Body + 5% Na_2CO_3 + 15%DK ASH	80	5			15	3.85
85%Body + 10% Na_2CO_3 + 5% DK ASH	85	10			5	6.20
80%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%DK ASH	80	10			10	6.10
75%Body + 10% Na_2CO_3 + 15%DK ASH	75	10			15	6.00
90%Body + 5% Na_2CO_3 + 5% Talcum	90	5		5		4.80
85%Body + 5% Na_2CO_3 + 10%Talcum	85	5		10		5.45
80%Body + 5% Na_2CO_3 + 15%Talcum	80	5		15		6.10
85%Body + 10% Na_2CO_3 + 5% Talcum	85	10		5		6.95
80%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Talcum	80	10		10		7.60
75%Body + 10% Na_2CO_3 + 15%Talcum	75	10		15		8.25
90%Body + 5% Na_2CO_3 + 5% Dolomite	90	5	5			4.40
85%Body + 5% Na_2CO_3 + 10%Dolomite	85	5	10			4.65
80%Body + 5% Na_2CO_3 + 15%Dolomite	80	5	15			4.90
85%Body + 10% Na_2CO_3 + 5% Dolomite	85	10	5			6.55
80%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Dolomite	80	10	10			6.80
75%Body + 10% Na_2CO_3 + 15%Dolomite	75	10	15			7.05

ตารางที่ ข4. ต้นทุนสูตรผสมเนื้อดินปั้นในการทดลองที่ 3

สูตร	ดินด่านเกวียน	Na_2CO_3	Dolomite	Talcum	DK Ash	Frit A	Frit B	ต้นทุน (บาท/กก.)
83%Body + 10% Na_2CO_3 + 5%DK ASH +2% Frit A	83	10			5	2		6.56
81%Body + 10% Na_2CO_3 + 5%DK ASH +4% Frit A	81	10			5	4		6.92
79%Body + 10% Na_2CO_3 + 5%DK ASH +6% Frit A	79	10			5	6		7.28
75%Body + 10% Na_2CO_3 + 5%DK ASH +10% Frit A	75	10			5	10		8.00
83%Body + 5% Na_2CO_3 + 10%Talcum +2% Frit A	83	5		10		2		5.81
81%Body + 5% Na_2CO_3 + 10%Talcum +4% Frit A	81	5		10		4		6.17
79%Body + 5% Na_2CO_3 + 10%Talcum +6% Frit A	79	5		10		6		6.53
70%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Talcum +10% Frit A	70	10		10		10		9.40
83%Body + 5% Na_2CO_3 + 10% Dolomite +2% Frit A	83	5	10			2		5.01
81%Body + 5% Na_2CO_3 + 10%Dolomite +4% Frit A	81	5	10			4		5.37
79%Body + 5% Na_2CO_3 + 10%Dolomite +6% Frit A	79	5	10			6		5.73
75%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Dolomite +10% Frit A	75	10	10			10		8.60
83%Body + 10% Na_2CO_3 + 5%DK ASH +2% Frit B	83	10			5		2	7.36
81%Body + 10% Na_2CO_3 + 5%DK ASH +4% Frit B	81	10	-		5		4	8.52
79%Body + 10% Na_2CO_3 + 5%DK ASH +6% Frit B	79	10			5		6	9.68
75%Body + 10% Na_2CO_3 + 5%DK ASH +10% Frit B	75	10			5		10	12.00
83%Body + 5% Na_2CO_3 + 10%Talcum +2% Frit B	83	5		10			2	6.61
81%Body + 5% Na_2CO_3 + 10%Talcum +4% Frit B	81	5		10			4	7.77
79%Body + 5% Na_2CO_3 + 10%Talcum +6% Frit B	79	5		10			6	8.93
75%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Talcum +10% Frit B	75	10		10			10	13.40
83%Body + 5% Na_2CO_3 + 10% Dolomite +2% Frit B	83	5	10				2	5.81
81%Body + 5% Na_2CO_3 + 10%Dolomite +4% Frit B	81	5	10				4	6.97
79%Body + 5% Na_2CO_3 + 10%Dolomite +6% Frit B	79	5	10				6	8.13
70%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Dolomite +10% Frit B	70	10	10				10	12.60

ตารางที่ ข4. ต้นทุนสูตรผสมเนื้อดินปั้นในการทดลองที่ 3 (ต่อ)

สูตร	ดินด่านเกวียน	Na_2CO_3	Dolomite	Talcum	DK Ash	Frit A	Frit B	ต้นทุน (บาท/กก.)
78%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Talcum +2% Frit A	78	10		10		2		7.96
76%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Talcum +4% Frit A	76	10		10		4		8.32
74%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Talcum +6% Frit A	74	10		10		6		8.68
70%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Talcum +10% Frit A	70	10		10		10		9.40
78%Body + 10% Na_2CO_3 + 10% Dolomite +2% Frit A	78	10	10			2		7.16
76%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Dolomite +4% Frit A	76	10	10			4		7.52
74%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Dolomite +6% Frit A	74	10	10			6		7.88
70%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Dolomite +10% Frit A	70	10	10			10		8.60
78%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%DK ASH +2% Frit A	78	10			10	2		6.46
76%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%DK ASH +4% Frit A	76	10			10	4		6.82
74%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%DK ASH +6% Frit A	74	10			10	6		7.18
70%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%DK ASH +10% Frit A	70	10			10	10		7.90
78%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Talcum +2% Frit B	78	10		10			2	8.76
76%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Talcum +4% Frit B	76	10		10			4	9.92
74%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Talcum +6% Frit B	74	10		10			6	11.08
70%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Talcum +10% Frit B	70	10		10			10	13.40
78%Body + 10% Na_2CO_3 + 10% Dolomite +2% Frit B	78	10	10				2	7.96
76%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Dolomite +4% Frit B	76	10	10				4	9.12
74%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Dolomite +6% Frit B	74	10	10				6	10.28
70%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%Dolomite +10% Frit B	70	10	10				10	12.60
78%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%DK ASH +2% Frit B	78	10			10		2	7.26
76%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%DK ASH +4% Frit B	76	10			10		4	8.42
74%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%DK ASH +6% Frit B	74	10			10		6	9.58
70%Body + 10% Na_2CO_3 + 10%DK ASH +10% Frit B	70	10			10		10	11.90

ตารางที่ ข5. ต้นทุนสูตรผสมเนื้อดินปั้นในการทดลองที่ 5

สูตร	ดินด่านเกวียน	Na_2CO_3	Dolomite	Talcum	Frit B (CG466)	ต้นทุน (บาท/กก.)
DK (Blank)	100					2.00
1) 70% DK + 5% Na_2CO_3 + 20% Talcum + 5% Frit B	70	5		20	5	9.65
2) 70% DK + 5% Na_2CO_3 + 20% Dolomite + 5% Frit B	70	5	20		5	8.05
3) 65% DK + 5% Na_2CO_3 + 20% Talcum + 10% Frit B	65	5		20	10	12.55
4) 65% DK + 5% Na_2CO_3 + 20% Dolomite + 10% Frit B	65	5	20		10	10.95

ตารางที่ ข6. ต้นทุนสูตรผสมเนื้อดินปั้นในการทดลองที่ 9

สูตร	ดินด่านเกวียน	Na_2CO_3	Silica	Talcum	Frit B (CG466)	ต้นทุน (บาท/กก.)
1) 70% DK + 10% Na_2CO_3 + 10% Talcum + 10% Frit B	70	10		10	10	13.40
2) 70% DK + 7% Na_2CO_3 + 3% Silica +10% Talcum + 10% Frit B	70	7	3	10	10	12.35
3) 70% DK + 10% Na_2CO_3 + 3% Silica +10% Talcum + 7% Frit B	70	10	3	10	7	11.90
4) 70% DK + 10% Na_2CO_3 + 10% Talcum + 10% Frit B	70	10		10	10	13.40

ตารางที่ ข7. ต้นทุนสูตรผสมเนื้อดินปั้นพิเศษในการทดลองที่ 10

สูตร	ดินด่านเกวียน	Na_2CO_3	Silica	Talcum	Frit	ต้นทุน (บาท/กก.)
1) 70% DK + 10% Na_2CO_3 + 10% Talcum + 10%Frit B	70	10		10	10	13.40
2) 70% DK + 10% Na_2CO_3 +10% Talcum + 10%Frit A	70	10		10	10	9.40
3) 70% DK + 7% Na_2CO_3 + 3% Silica +10% Talcum + 10%Frit A	70	7	3	10	10	8.35
4) 70% DK + 5% Na_2CO_3 + 5% Silica + 10% Talcum + 10%Frit A	70	5	5	10	10	7.65

ตารางที่ ข8. ต้นทุนสูตรผสมเนื้อดินปั้นพิเศษในการทดลองที่ 11

สูตร	ดินคอมพาวด์เคลย์	Na2CO3	Talcum	Frit B	100 g	ต้นทุน (บาท/กก.)
1) 70% Compound + 10% Na_2CO_3 + 10% Talcum + 10%Frit B	70	10	10	10	1.69	16.90
2) 76% Compound + 7% Na_2CO_3 + 10% Talcum + 7%Frit B	76	7	10	7	1.42	14.17
3) 80% Compound + 5% Na_2CO_3 + 10% Talcum + 5%Frit B	80	5	10	5	1.24	12.35
4) 73% Compound + 7% Na_2CO_3 + 10% Talcum + 10%Frit B	73	7	10	10	1.58	15.76
5) 73% Compound + 10% Na_2CO_3 + 10% Talcum + 7%Frit B	73	10	10	7	1.53	15.31
6) 75% Compound + 5% Na_2CO_3 + 10% Talcum + 10%Frit B	75	5	10	10	1.50	15.00
7) 75% Compound + 10% Na_2CO_3 + 10% Talcum + 5%Frit B	75	10	10	5	1.43	14.25
8) 78% Compound + 5% Na_2CO_3 + 10% Talcum + 7%Frit B	78	5	10	7	1.34	13.41
9) 78% Compound + 7% Na_2CO_3 + 10% Talcum + 5%Frit B	78	7	10	5	1.31	13.11

ตารางที่ ข9. ต้นทุนสูตรผสมเนื้อดินปั้นพิเศษในการทดลองที่ 12

สูตร	ดินด่านเกวียน	Na_2CO_3	Talcum	Frit B	ต้นทุน (บาท/กก.)
10) 76% DK + 7% Na_2CO_3 + 10% Talcum + 7%Frit B	76	7	10	7	10.37
11) 80% DK + 5% Na_2CO_3 +10% Talcum + 5%Frit B	80	5	10	5	8.35

ตารางที่ ข10. ต้นทุนสูตรผสมเนื้อดินปั้นพิเศษในการทดลองที่ 13

สูตร	ดินด่านเกวียน	Na_2CO_3	Talcum	Frit B (CG466)	Frit A (ST8014)	ต้นทุน (บาท/กก.)
1A) 76% DK + 8% Na_2CO_3 + 8% Talcum + 8%Frit B	76	8	8	8		11.12
2A) 76% DK + 8% Na_2CO_3 + 8% Talcum + 8%Frit B	76	8	8	8		11.12
3A) 88% DK + 4% Na_2CO_3 + 4% Talcum + 4%Frit B	88	4	4	4		6.56
4A) 88% DK + 4% Na_2CO_3 + 4% Talcum + 4%Frit B	88	4	4	4		6.56
5A) 94% DK + 2% Na_2CO_3 + 2% Talcum + 2%Frit A	94	2	2		2	3.48
6A) 94% DK + 2% Na_2CO_3 + 2% Talcum + 2%Frit A	94	2	2		2	3.48
7A) 92% DK + 4% Na_2CO_3 + 2% Talcum + 2%Frit A	92	4	2		2	4.34
8A) 94% DK + 3% Na_2CO_3 + 1% Talcum + 2%Frit A	94	3	1		2	3.78

ภาคผนวก ค.

ค. ตรวจสอบอุณหภูมิการเผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน

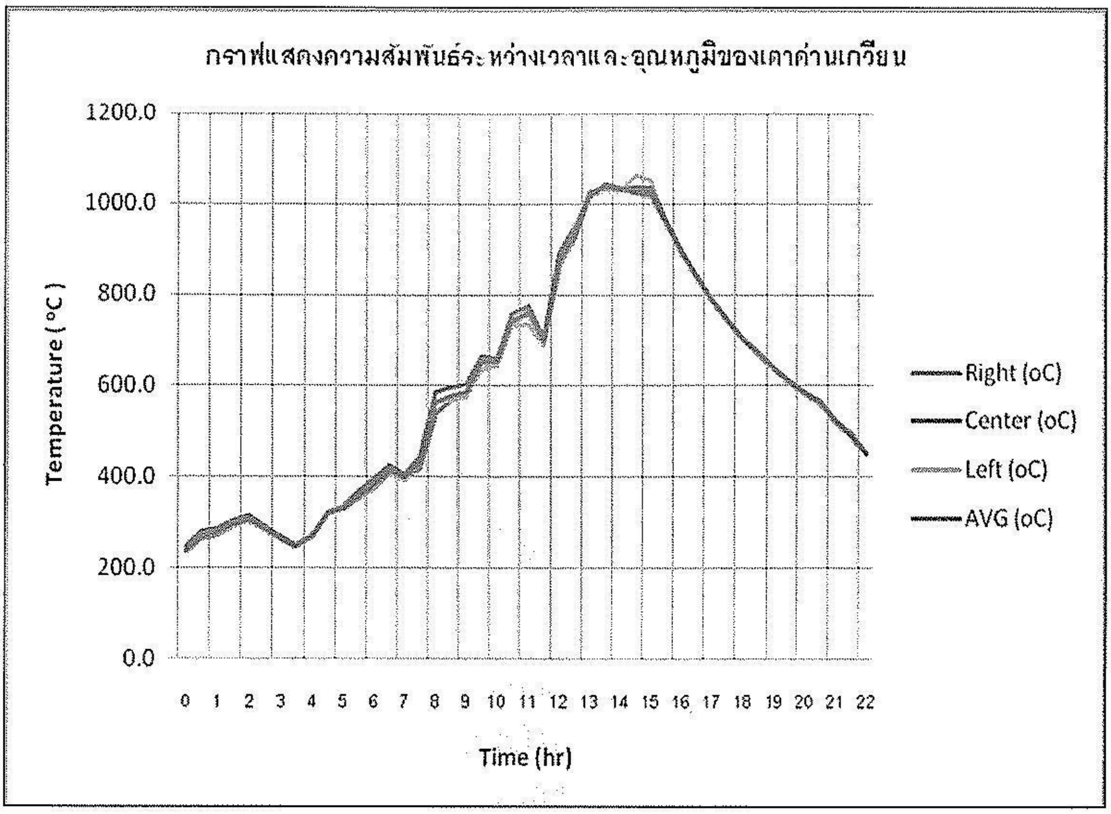
ผลการวัดอุณหภูมิการเผาชิ้นตัวอย่างที่เตาด่านเกวียนโรงงานของคุณเมียน วันที่11 พฤษภาคม 2551 วัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์มอคัปเปิลชนิด K 3 ตัว ตัวหนึ่งอยู่กึ่งกลางเตา อีก 2 ตัวอยู่ด้านซ้ายและด้านขวาของกลางเตา แล้วเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ Wisco Data logger

ตารางที่ ค1. อุณหภูมิ ณ ชั่วโมงต่าง ๆ ของการเผาในเตาด่านเกวียน

วันที่	ชั่วโมงการเผา	ด้านขวาของเตา (°C)	กลางเตา Center (°C)	ด้านซ้ายของเตา (°C)	เฉลี่ย (°C)
11/5/2008	0.0	236.1	247.3	236.0	239.8
11/5/2008	0.5	263.4	281.6	268.5	271.2
11/5/2008	1.0	273.9	285.6	275.6	278.4
11/5/2008	1.5	293.7	303.0	293.0	296.6
11/5/2008	2.0	305.8	314.2	304.5	308.2
11/5/2008	2.5	290.3	291.0	283.7	288.3
11/5/2008	3.0	268.9	267.7	262.8	266.5
11/5/2008	3.5	250.1	250.0	247.2	249.1
11/5/2008	4.0	270.5	272.1	271.6	271.4
11/5/2008	4.5	320.7	321.4	322.3	321.5
11/5/2008	5.0	330.4	335.6	333.4	333.1
11/5/2008	5.5	355.1	367.8	350.3	357.7
11/5/2008	6.0	382.1	395.4	374.1	383.9
11/5/2008	6.5	409.4	424.9	407.1	413.8
11/5/2008	7.0	398.9	405.0	393.2	399.0
11/5/2008	7.5	419.8	443.7	426.7	430.1
11/5/2008	8.0	538.2	585.3	563.4	562.3
11/5/2008	8.5	569.3	596.9	568.8	578.3
11/5/2008	9.0	582.1	601.9	576.4	586.8
11/5/2008	9.5	654.6	663.0	634.7	650.8
11/5/2008	10.0	658.8	658.7	643.2	653.6

ตารางที่ ค2. (ต่อ) อุณหภูมิ ณ ชั่วโมงต่าง ๆ ของการเผาในเตาด่านเกวียน

11/5/2008	10.5	737.5	757.7	732.5	742.6
11/5/2008	11.0	763.5	774.2	734.1	757.3
11/5/2008	11.5	703.8	704.6	690.3	699.6
11/5/2008	12.0	865.7	889.5	854.2	869.8
11/5/2008	12.5	924.0	948.8	943.2	938.7
11/5/2008	13.0	1017.4	1016.8	1026.9	1020.4
12/5/2008	13.5	1042.1	1033.0	1029.1	1034.7
12/5/2008	14.0	1034.2	1029.5	1027.0	1030.2
12/5/2008	14.5	1022.1	1023.7	1061.5	1035.8
12/5/2008	15.0	1017.7	1028.3	1051.2	1032.4
12/5/2008	15.5	953.7	960.5	961.2	958.5
12/5/2008	16.0	891.2	896.1	895.4	894.2
12/5/2008	16.5	837.2	840.2	839.0	838.8
12/5/2008	17.0	785.9	788.0	786.1	786.7
12/5/2008	17.5	741.5	743.5	741.1	742.0
12/5/2008	18.0	701.1	703.5	701.2	701.9
12/5/2008	18.5	666.1	669.4	666.9	667.5
12/5/2008	19.0	635.2	638.1	633.6	635.6
12/5/2008	19.5	607.5	610.4	605.4	607.8
12/5/2008	20.0	582.5	586.3	581.4	583.4
12/5/2008	20.5	561.9	564.7	561.4	562.7
12/5/2008	21.0	520.3	523.2	521.4	521.6
12/5/2008	21.5	490.6	491.0	497.1	492.9
12/5/2008	22.0	450.7	453.6	451.9	452.1



รูปที่ ค1. อุณหภูมิ ทั้ง 3 จุด ณ เวลาต่างๆ ของการเผาในเตาเผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน

ภาคผนวก ง.

ง. คำขออนุสิทธิบัตรเนื้อดินปั้นไฟต่ำที่เกิดเคลือบในตัว

แบบสป/สผ/อสป/001-ก
หน้า 1 ของจำนวน 2 หน้า

คำขอรับ~~สิทธิบัตร~~/อนุสิทธิบัตร

☐ การประดิษฐ์
☐ การออกแบบผลิตภัณฑ์
☑ อนุสิทธิบัตร

ข้าพเจ้าผู้ลงลายมือชื่อในคำขอรับ~~สิทธิบัตร~~/อนุสิทธิบัตรนี้ ขอรับ~~สิทธิบัตร~~/อนุสิทธิบัตร ตามพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2535 และพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2542

สำหรับเจ้าหน้าที่

วันรับคำขอ 2 6 มิ.ย. 2552	เลขที่คำขอ 0903000649
วันยื่นคำขอ	
สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	
ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์	
ประเภทผลิตภัณฑ์	
วันประกาศโฆษณา	เลขที่ประกาศโฆษณา
วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
ลายมือชื่อเจ้าหน้าที่	

1.ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์~~การออกแบบผลิตภัณฑ์~~

"เนื้อดินปั้นเผาไฟต่ำที่เกิดการเคลือบในตัว"

2 คำขอรับสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์นี้เป็นคำขอสำหรับแบบผลิตภัณฑ์อย่างเดียวกันและเป็นคำขอลำดับที่ ในจำนวน - คำขอ ที่ยื่นในคราวเดียวกัน

3. ผู้ขอรับ~~สิทธิบัตร~~/อนุสิทธิบัตร และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ)
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.1 สัญชาติ ไทย
3.2 โทรศัพท์ 02-564-7000 ต่อ 1314 – 1350
3.3 โทรสาร 02 564 7003
3.4 อีเมล์ tlo@tmc.nstda.or.th

4.สิทธิในการขอรับ~~สิทธิบัตร~~/อนุสิทธิบัตร
☐ ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ ☑ ผู้รับโอน ☐ ผู้ขอรับสิทธิโดยเหตุอื่น

5. ตัวแทน (ถ้ามี) ที่อยู่ (เลขที่ ถนน จังหวัด รหัสไปรษณีย์)
น.ส.อรุณศรี ศรีมนะธิทธิพล และ/หรือ นายจารุญวัย นิรพัฒนกุล และ/หรือ น.ส.อรกนก พรรณรักษา อยู่ที่ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

5.1 ตัวแทนเลขที่ 1463,1731,1513
5.2 โทรศัพท์ 02 5647000
5.3 โทรสาร 025647003
5.4 อีเมล์ tlo@tmc.nstda.or.th

6.ผู้ประดิษฐ์/~~ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์~~ และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ)
1.นายสุธรรม ศรีหล่มสัก 2.นายย้อนลมี กมลอินทร์ อยู่ที่ วิศวกรรมเซรามิก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 3000

7.คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิม
ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้ถือว่าได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ในวันเดียวกับคำขอรับสิทธิบัตร เลขที่ วันยื่น เพราะคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิมเพราะ
☐ คำขอเดิมมีการประดิษฐ์หลายอย่าง ☐ ถูกคัดค้านเนื่องจากผู้ขอไม่มีสิทธิ ☐ ขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ

หมายเหตุ ในกรณีที่ไม่อาจระบุรายละเอียดได้ครบถ้วน ให้จัดทำเป็นเอกสารแนบท้ายแบบพิมพ์นี้โดยระบุหมายเลขกำกับข้อและหัวข้อที่แสดงรายละเอียดเพิ่มเติมดังกล่าวด้วย