

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการนำเศษแก้วจากห้องปฏิบัติการไปใช้ในงานเซรามิกส์

Ceramics from Recycled Waste Glasses



ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

RCH

TP

859.7

๔๓21ก

ค.1

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 27714

วัน, เดือน, ปี 1.1 ส.ย. 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำเศษแก้วจากห้องปฏิบัติการซึ่งได้แก่ แก้วทนไฟ (Borosilicate Glass) และแก้วธรรมดา (Soda Glass) กลับมาใช้ใหม่ในงานเซรามิกส์โดยใช้เป็นส่วนประกอบในเนื้อดินปั้นเซรามิกส์ประเภท High Fire Porcelain เพื่อทดแทนหินฟันม้าและหินเขียวหนุมาน ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของเนื้อดิน โดยทำการขึ้นรูปและเผาที่อุณหภูมิ 1240 °C แล้วทำการทดสอบสมบัติก่อนการเผาและหลังการเผา ซึ่งได้แก่ แรงกดแบบต่อเนื่อง (Modulus of rupture) ความแข็ง (Hardness) การทนแรงกระแทก (Impact) เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (Water adsorption) และเปอร์เซ็นต์การหดตัว (Shrinkage)

จากการทดลองพบว่าสูตรเนื้อดินปั้นที่มีแก้วทนไฟเป็นองค์ประกอบมีค่าแรงกดแบบต่อเนื่อง การทนแรงกระแทก และความแข็งดีกว่าเนื้อดินปั้น High Fire Porcelain และเนื้อดินปั้นที่มีแก้วธรรมดาเป็นองค์ประกอบตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อดินที่มีแก้วใด ๆ เป็นองค์ประกอบมีการดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าเนื้อดินปั้น

## ABSTRACT

The aim of this research is recycling waste glasses, which were Borosilicate and Soda for ceramics works. Borosilicate Glass and Soda Glass were recycled in High Fire Porcelain Body to substitute Felspar and Silica that were the components of clay body. The clay bodies which had Borosilicate and Soda Glasses as a component were shaped and fired at 1240 °C. Samples of each clays were tested for properties such as Modulus of rupture, Hardness, Impact resistance, Water adsorption and Shinkage. From the experimental measurements found that, clay body which had Borosilicate Glass as a component had Impact resistance, Modulus of rupture, and hardness higher than High Fire Porcelain Body and the clay body which had Soda glass as a the component respectively. Furthermore, clay body with every glasses as a component had less water adsorption than High Fire Porcelain Body.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 3 การทดลองและการดำเนินการ	16
3.1 การแยกเศษแก้ว	16
3.2 การบดเศษแก้ว	16
3.3 การเตรียมเนื้อดินปั้น	16
3.4 การขึ้นรูปชิ้นงาน	19
3.5 การเผาชิ้นงาน	19
3.6 การทดสอบสมบัติของชิ้นงาน	20
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	21
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	40
ภาคผนวก	ผ1
บรรณานุกรม	

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1.1 แสดงชนิดของแก้ว	3
ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของดินขาวจากแหล่งต่างๆ	9
ตารางที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบในเนื้อดินแต่ละชนิด	19
ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการทนแรงกระแทกของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (Reference)	21
ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการทนแรงกระแทกของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตร A1)	21
ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการทนแรงกระแทกของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรA2)	21
ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการทนแรงกระแทกของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรA3)	22
ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการทนแรงกระแทกของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรB1)	22
ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการทนแรงกระแทกของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรB2)	22
ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการทนแรงกระแทกของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรB3)	22
ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแข็งของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (Reference)	25
ตารางที่ 4.9 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแข็งของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรA1)	25
ตารางที่ 4.10 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแข็งของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรA2)	25
ตารางที่ 4.11 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแข็งของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรA3)	26

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.12 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแข็ง ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรB1)	26
ตารางที่ 4.13 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแข็ง ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรB2)	26
ตารางที่ 4.14 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแข็ง ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรB3)	26
ตารางที่ 4.15 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (Reference)	29
ตารางที่ 4.16 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรA1)	29
ตารางที่ 4.17 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรA2)	29
ตารางที่ 4.18 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรB1)	30
ตารางที่ 4.19 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรB2)	30
ตารางที่ 4.20 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรB3)	30
ตารางที่ 4.21 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการหดตัว ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (Reference)	32
ตารางที่ 4.22 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการหดตัว ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรA1)	32
ตารางที่ 4.23 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการหดตัว ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรA2)	32
ตารางที่ 4.24 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการหดตัว ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรA3)	33

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.25 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการหดตัวของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรB1)	33
ตารางที่ 4.26 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการหดตัวของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรB2)	33
ตารางที่ 4.27 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการหดตัวของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรB3)	33
ตารางที่ 4.28 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแรงกดแบบต่อเนื่องของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (Reference)	36
ตารางที่ 4.29 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแรงกดแบบต่อเนื่องของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรA1)	36
ตารางที่ 4.30 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแรงกดแบบต่อเนื่องของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรA2)	36
ตารางที่ 4.31 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแรงกดแบบต่อเนื่องของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรA3)	37
ตารางที่ 4.32 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแรงกดแบบต่อเนื่องของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรB1)	37
ตารางที่ 4.33 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแรงกดแบบต่อเนื่องของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรB2)	37
ตารางที่ 4.34 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแรงกดแบบต่อเนื่องของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา (สูตรB3)	37

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงค่าการทนแรงกระแทกก่อนเผา ของชิ้นตัวอย่างแต่ละสูตร	23
รูปที่ 4.2 แผนภูมิแสดงค่าการทนแรงกระแทกหลังเผา ของชิ้นตัวอย่างแต่ละสูตร	24
รูปที่ 4.3 แผนภูมิแสดงค่าความแข็งก่อนเผา ของชิ้นตัวอย่างแต่ละสูตร	27
รูปที่ 4.4 แผนภูมิแสดงค่าความแข็งหลังเผา ของชิ้นตัวอย่างแต่ละสูตร	28
รูปที่ 4.5 แผนภูมิแสดงค่าการดูดซึมน้ำหลังเผา ของชิ้นตัวอย่างแต่ละสูตร	31
รูปที่ 4.6 แผนภูมิแสดงค่าการหดตัวก่อนเผา ของชิ้นตัวอย่างแต่ละสูตร	34
รูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดงค่าการหดตัวหลังเผา ของชิ้นตัวอย่างแต่ละสูตร	35
รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงค่าแรงกดแบบต่อเนื่องก่อนเผา ของชิ้นตัวอย่างแต่ละสูตร	38
รูปที่ 4.9 แผนภูมิแสดงค่าแรงกดแบบต่อเนื่องหลังเผา ของชิ้นตัวอย่างแต่ละสูตร	39

### รูปในส่วนของภาคผนวก

รูป ก. แสดงภาพขยายของพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผา จาก Scanning Electron Microscope (Reference)	a
รูป ข. แสดงภาพขยายของพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างหลังเผา จาก Scanning Electron Microscope (Reference)	a
รูป ค. แสดงภาพขยายของพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผา จาก Scanning Electron Microscope (รูปที่ A1)	b

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูป ง. แสดงภาพขยายของพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างหลังเผา จาก Scanning Electron Microscope (สูตร A1)	b
รูป จ. แสดงภาพขยายของพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผา จาก Scanning Electron Microscope (สูตร A2)	c
รูป ฉ. แสดงภาพขยายของพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างหลังเผา จาก Scanning Electron Microscope (สูตร A2)	c
รูป ช. แสดงภาพขยายของพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผา จาก Scanning Electron Microscope (สูตร A3)	d
รูป ซ. แสดงภาพขยายของพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างหลังเผา จาก Scanning Electron Microscope (สูตร A3)	d
รูป ฅ. แสดงภาพขยายของพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผา จาก Scanning Electron Microscope (สูตร B1)	e
รูป ญ. แสดงภาพขยายของพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างหลังเผา จาก Scanning Electron Microscope (สูตร B1)	e
รูป ฎ. แสดงภาพขยายของพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผา จาก Scanning Electron Microscope (สูตร B2)	f
รูป ฏ. แสดงภาพขยายของพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างหลังเผา จาก Scanning Electron Microscope (สูตร B2)	f
รูป ฐ. แสดงภาพขยายของพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผา จาก Scanning Electron Microscope (สูตร B3)	g
รูป ท. แสดงภาพขยายของพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างหลังเผา จาก Scanning Electron Microscope (สูตร B3)	g

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโรงงานพิเศษ

แก้วเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างไม่แน่นอน (Amorphous Structure) โดยทั่วไปเป็นสารประกอบของซิลิกา และอัลคาไลน์ มนุษย์รู้จักและได้นำมาใช้เป็นประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ มากมายตั้งแต่สมัยโบราณ

ในปัจจุบันการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมเป็นไปอย่างรวดเร็วเพื่อรองรับจำนวนประชากรโลกที่เพิ่มมากขึ้น แก้วจึงถูกผลิตให้มีสมบัติที่แตกต่างกันมากมาย เพื่อตอบสนองความต้องการพื้นฐานและการใช้งานในด้านต่าง ๆ เช่น ใช้เป็นเครื่องประดับ วัสดุก่อสร้าง วัสดุตกแต่งผนังและอาคาร เฟอร์นิเจอร์ และวัสดุบรรจุภัณฑ์หรือแม้แต่ส่วนประกอบขีปนาวุธ

เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการเคมีโดยมากเป็นแก้วที่มีคุณสมบัติพิเศษทนความร้อนสูงและมีสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวต่ำ จัดเป็นแก้วโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass) แก้วประเภทนี้จะประกอบด้วย ซิลิกา 80.5 % โบรอนออกไซด์ 13 % อลูมินา 2 % โซเดียมออกไซด์ 4 % และโปตัสเซียมออกไซด์ 0.5 % แก้วชนิดนี้จะขายภายใต้ชื่อการค้าว่า Pyrex, Kimax ฯลฯ

ในแต่ละปีตามห้องปฏิบัติการต่าง ๆ จะมีเครื่องแก้วที่ชำรุดแตกหัก ไม่สามารถใช้งานได้เป็นจำนวนมาก และโดยมากจะถูกนำไปทิ้ง ไม่ได้นำไปใช้ให้เป็นประโยชน์แต่อย่างใด งานวิจัยนี้ได้นำแก้วเหล่านี้ไปเป็นส่วนประกอบของเนื้อดินปั้นผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ โดยทั่วไปวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผสมเนื้อดินจะประกอบไปด้วยดินขาว (Kaolin) หินฟันม้า (Feldspar) และหินแก้วหรือหินเขี้ยวหนูมาน (Quartz) หินฟันม้าเป็นสารประกอบอลูมิโนซิลิเกตของโลหะอัลคาไลน์และอัลคาไลน์เอิร์ทที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิกา 70 % อลูมินา 18 % โซเดียมออกไซด์ 3-4 % และโปตัสเซียมออกไซด์ 8 % ที่เหลือจะเป็นออกไซด์ของโลหะอีกหลายชนิด และหินเขี้ยวหนูมานมีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกา 98 - 99 % องค์ประกอบของหินทั้งสองชนิดจะมีความใกล้เคียงกับแก้วโบโรซิลิเกตอยู่บ้างพอสมควร การนำแก้วมาใช้แทนหินทั้งสองชนิดจึงเป็นการประหยัดทรัพยากรและเป็นการนำแก้วกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์ อีกทั้งยังเป็นการพัฒนาคุณภาพของดินขาวและดินเหนียวที่มีอยู่ภายในประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมในการใช้เศษแก้วจากห้องปฏิบัติการทดแทน หินเขียวหุนมานและหินฟันม้าซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่เป็นส่วนผสมสำคัญ ในเนื้อดินสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของเนื้อดินและผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการเผาของเนื้อดิน เซรามิกส์ที่มีหินฟันม้าและหินเขียวหุนมานเป็นองค์ประกอบกับเนื้อดินเซรามิกส์ที่ใช้แก้วเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนเดียวกัน โดยจะศึกษาเปรียบเทียบลักษณะความสวยงามของเนื้อดิน การหดตัวของชิ้นงานเมื่อแห้ง ความแข็งและความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานก่อนและหลังการเผา

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. รวบรวมและเตรียมวัตถุดิบซึ่งประกอบด้วย
  - 2.1 -ดินขาวจากจังหวัดระนอง
  - ดินขาวจากประเทศอังกฤษ
  - 2.2 Feldspar จากประเทศจีน
3. ผสมเนื้อดินและขึ้นรูปชิ้นงานตามส่วนผสมที่ใช้ทั่วไป โดยเปรียบเทียบระหว่างดินที่มีส่วนผสมของ Feldspar กับดินที่ใช้แก้วผสมแทน Feldspar
4. ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของชิ้นงานซึ่งได้แก่
  - 4.1 คุณลักษณะเนื้อของชิ้นงาน ในทุกขั้นตอน โดยใช้กล้องที่มีกำลังขยายสูง
  - 4.2 ดูความสวยงามของเนื้อเซรามิกส์ โดยอาศัยเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ทั่วไป
  - 4.3 เปอร์เซนต์การหดตัวของชิ้นงานเมื่อแห้ง
  - 4.4 ความแข็งของชิ้นงานก่อนและหลังเผา
  - 4.5 การทนแรงกระแทกของชิ้นงานก่อนและหลังเผา
  - 4.6 Modulus of rupture
5. สรุปและประเมินความเหมาะสมของการใช้แก้วแทน Feldspar และความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ โดยสรุปจากสมบัติที่ได้ศึกษามา
6. ทำรายงานการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แก้ว (Glass)

ประกอบด้วยซิลิเกตที่ไม่เป็นผลึก (noncrystalline silicate) กับออกไซด์ ของธาตุต่างๆ เช่น แคลเซียมออกไซด์ (CaO) , โซเดียมออกไซด์ (Na<sub>2</sub>O) , โพแทสเซียมออกไซด์ (K<sub>2</sub>O) , อลูมิเนียมออกไซด์ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) และโบรอนออกไซด์ (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) เป็นต้น ซึ่งออกไซด์ของธาตุเหล่านี้มีผลทำให้แก้วแสดงสมบัติแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของออกไซด์

ตารางที่ 1 แสดงชนิดและองค์ประกอบอย่างกว้างๆ ของแก้ว

##### 2.1.1 ชนิดของแก้ว

ชนิดของแก้ว	องค์ประกอบ ( ร้อยละ โดยน้ำหนัก )						คุณลักษณะการใช้งาน
	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	อื่น	
ซิลิกาหลอมเหลว	99.5						อุณหภูมิหลอมตัวสูง สัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ
96 % ซิลิกา (Vycor)	96				4		ต้านทานการเกิด thermal shock และ สารเคมีได้ดี , ใช้เป็น อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ
โบโลซิลิกา	81	3.5		2.5	13		ต้านทานการเกิด thermal shock และ สารเคมีได้ดี , ใช้เป็น ovenware
โซดาไลม์	74	16	5	1		4MgO	อุณหภูมิหลอมตัวต่ำ
Optical flint	54	1				37PbO 8 K <sub>2</sub> O	ความหนาแน่นสูง, ต่ำ reflective Index สูง
แก้ว-เซรามิกส์	70						ขึ้นรูปง่ายแข็งแรงและ ทน Thermal Shock ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของแก้วในเชิงพาณิชย์ แบ่งออกได้หลายประเภทตามลักษณะการใช้งานซึ่งจะมียังค์ประกอบหลักทางเคมีที่แตกต่างกันตามคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานซึ่งจะแยกชนิดได้ดังนี้

### ก. แก้วซิลิกาบริสุทธิ์ (Pure Silica Glass)

มีส่วนประกอบทางเคมีเป็นซิลิกา 99.5 % เป็นแก้วที่มีการขยายตัวต่ออุณหภูมิต่ำ จึงใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิสูง มีคุณสมบัติทางด้านทนการกัดกร่อนทางเคมีและด้านทานการนำไฟฟ้าให้คุณสมบัติการส่งผ่านรังสีอุลตราไวโอเลตได้ดี โดยเฉพาะสมบัติ dielectrical peristant

แก้วชนิดนี้ใช้ประโยชน์ในการทำครุซิบิล (crucible) ชนิดพิเศษ ผลิตภัณฑ์บริสุทธิ์ของซิลิกาใช้ทำเป็นเครื่องแยกโมเลกุลของไฮโดรเจนกับฮีเลียม

### ข. แก้วที่มีซิลิกาเป็นส่วนประกอบ 96 % ( 96 percent Silica)

มีส่วนประกอบทางเคมี คือซิลิกา 96% โบรอนออกไซด์ 3 % เป็นแก้วที่มีคุณสมบัติทนต่อความร้อนได้ดี สามารถใช้ได้ดีในงานอุณหภูมิสูง มีค่าคงที่การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ ซึ่งคุณสมบัติจะดีกว่าทั่วไป ยกเว้นแก้วซิลิกาบริสุทธิ์

การใช้งานของแก้วชนิดนี้ เช่น ทำเป็นกระจกยานอวกาศ เครื่องแก้วที่ใช้สำหรับทดลองทางวิทยาศาสตร์ เมื่อไม่ต้องการให้มีการสูญเสียความร้อน เป็นต้น

### ค. แก้วโซดา-ไลม์-ซิลิกา (Soda-Lime-Silica Glass)

ประกอบด้วย ซิลิกา 70 %, โซเดียมออกไซด์ ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) 15 % และแคลเซียมออกไซด์ 10 % การเติมโซเดียมออกไซด์ ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) และโปแตสเซียมออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$ ) ในบางครั้งจะทำให้ซิลิกามีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียส ถ้ามีการเติมแคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{MgO}$ ) และอลูมินา จะช่วยให้แก้วมีคุณสมบัติด้านทานการนำไฟฟ้าและสารเคมีได้ดีขึ้นซึ่งเป็นคุณสมบัติพื้นฐานทั่วไปของแก้วทั้งหมด

ประโยชน์ของแก้วชนิดนี้ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เช่น ทำเป็นกระจกแผ่น ภาชนะบรรจุสิ่งของ หลอดไฟฟ้า เป็นต้น

### ง. แก้วโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass) หรือแก้วไพเรกซ์ (Pyrex) และอลูมินา 1-4%

มีสมบัติคือ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่ำ (low thermal expansion coefficient) คือมีค่าประมาณ  $20 \times 10^{-7}$  in/in/F ทำให้มีคุณสมบัติทน thermal shock ได้ดี นิยมนำไปทำอุปกรณ์เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการเคมี, เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูง, หลอดไฟที่ใช้กับกระแสไฟฟ้าสัปดาห์สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## จ. แก้วอลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate Glass)

มีส่วนประกอบทางเคมี คือ ซิลิกา 5-60% , อลูมินา 20-40% , แกลเซียมออกไซด์ 5-50% และ โบรอนออกไซด์ 0-10%

แก้วชนิดนี้มีคุณสมบัติที่ดีกว่าแก้วโบโรซิลิเกต แต่จะมีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงที่ใกล้เคียงกัน ประโยชน์ใช้สำหรับทำหลอดไฮเปอร์ฟอร์แมนซ์ มิลลิทารี เพาเวอร์ (High performance military tube) และงานอื่นๆ ที่เหมือนกับแก้วโบโรซิลิเกต

## ฉ. แก้วที่เกี่ยวกับสายตา (Optical Glass)

นิยมใช้ทำเป็นกระจกแว่นตา เลนส์สายตา ตัวอย่างเช่น

### A. Light herine cuawn Glass

ดัชนีหักเหของแสง 1.54-1.55 และมีส่วนประกอบทางเคมี คือ

SiO <sub>2</sub>	45-50%	BaO	20-30%	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3-5%
ZnO	10-15%	Na <sub>2</sub> O	1%	PbO	0.5%
K <sub>2</sub> O	7%				

### B. Very densi flint Glass

ดัชนีหักเหของแสง 1.6-1.9 และมีส่วนประกอบทางเคมี คือ

Si <sub>2</sub> o	20-40%	K <sub>2</sub> O	0-10%	PbO	50-80%
-------------------	--------	------------------	-------	-----	--------

## 2.2 หินฟันม้า (Feldspar)

เป็นสารประกอบอลูมิโนซิลิเกตของอัลคาไลและอัลคาไลเอิร์ทโดยเฉพาะสารประกอบของ Na, K, Ca พบมากและใช้มากในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ส่วนสารประกอบบริสุทธิ์ของ Na, K, Ca หาได้ยาก ในแร่หินฟันม้าจะมีทั้ง Na, K, Ca ซึ่งจะมีอัตราส่วนแตกต่างกัน เนื่องจากว่า สารประกอบทั้งสามตัวนี้มีการละลายซึ่งกันและกันในขณะที่เป็นของแข็ง หินฟันม้าใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ เพื่อเป็นตัวเริ่มก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดเนื้อแก้วในเนื้อผลิตภัณฑ์ ดังนั้น หินฟันม้าจึงเป็นตัวส่งเสริมให้มีการเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก้ว และช่วยส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติโปร่งแสงดีขึ้น หินฟันม้าเป็นแหล่งให้อัลคาไลและอลูมินาแก่เคลือบและแก้ว ข้อดีที่ทำให้อุตสาหกรรมเซรามิกส์นำมาใช้ก็คือ หินฟันม้ามีราคาถูก และเป็นสารประกอบอัลคาไลที่ไม่ละลายน้ำ

แร่หินพื้นม้าที่พบมากมี 3 ชนิด คือ  $K\left(\begin{smallmatrix} Al \\ Si_3 \end{smallmatrix}\right)O_3$  เรียก orthoclase,  $Na\left(\begin{smallmatrix} Al \\ Si_3 \end{smallmatrix}\right)O_3$

เรียก albite และ  $Ca\left(\begin{smallmatrix} Al_2 \\ Si_3 \end{smallmatrix}\right)O_3$  เรียก anorthite โครงสร้างของมันเป็นร่างแห 3 มิติ เกิดจากการเชื่อม  
โยงกันของ oxygen ทั้ง 4 อะตอม ของ oxygen-silicon tetrahedron นอกจากนี้  $Al^{+3}$  ยังเข้าไปแทน  
ที่  $Si^{+4}$  บางส่วน และช่องว่างในโครงสร้างร่างแหถูก  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{+2}$  เข้าไปอยู่ ขนาดของ  
อนุภาค  $Na^+$  เท่ากับ  $0.98 \text{ \AA}$ ,  $Ca^{+2}$  เท่ากับ  $1.06 \text{ \AA}$ ,  $K^+$  เท่ากับ  $1.33 \text{ \AA}$  เนื่องจาก  $Na^+$  และ  $Ca^{+2}$  มี  
ขนาดใกล้เคียงกัน สารประกอบของมันจึงมีการละลายกันได้ดี ส่วน  $K^+$  มีขนาดใหญ่ สารประกอบ  
ของมันจึงละลายกับสารประกอบของ  $Na^+$ ,  $Ca^{+2}$  ได้เพียงบางส่วน หินพื้นม้าที่มี  $Na^+$  และ  $Ca^{+2}$   
เป็นส่วนประกอบมีโครงสร้างเป็น triclinic และหินพื้นม้าที่มี  $K^+$  เป็นองค์ประกอบมีโครงสร้างเป็น  
monoclinic เป็นโครงสร้างของหินพื้นม้าเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น

### 2.3 หินเขียวหनुมาน (Quartz)

หินเขียวหनुมานช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งแรงไม่โค้งงอ และช่วยทำให้การหดตัว  
ก่อนเผาและหลังเผา น้อย ในเนื้อดินปั้นด้วยขามชั้นดีจะมีหินเขียวหनुมานผสมอยู่ 10 ถึง 30% หิน  
เขียวหनुมานที่ใช้ในเนื้อดินปั้นด้วยขามชั้นดี ควรมีเปอร์เซ็นต์เหล็กต่ำ ถึงแม้จะมีอลูมินาปนอยู่เล็กน้อย  
ก็ไม่เป็นอันตราย

หินเขียวหनुมานนี้พบมากบนผิวโลก คุณสมบัติหลายอย่างของแร่นี้ได้มีผู้ศึกษาเอาไว้ตาม  
ตารางข้างท้ายนี้

ความถ่วงจำเพาะ	2.651
จุดหลอมตัว	1723° C
ความแข็ง (Knoop Hardness)	820
ส.ป.ส. การขยายตัว	$7.4 \times 10^{-6} / C$
ดัชนีหักเหของแสง	1.544
โครงสร้างของผลึก	Hexagonal
Dielectric constant	4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างอะตอมของหินเขียวหนุมานเป็นร่างแหสามมิติ เกิดจากอะตอมออกซิเจนทั้งสี่ ของ tetrahedron หลาย ๆ รูปเชื่อมกันอย่างต่อเนื่อง การเชื่อมโยงกันทำให้ผลึกแข็ง ดังนั้น หินเขียวหนุมานจึงจัดเป็นพวกซิลิเกตมากกว่าพวกออกไซด์ พันธะจึงแข็งแรง ทำให้จุดหลอมตัวสูง

แหล่งของหินเขียวหนุมานในประเทศไทย เช่น จันทบุรี นอกจากนี้ทรายทะเลหลายแหล่งในประเทศไทยซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมี  $\text{SiO}_2$  ในเปอร์เซ็นต์สูง เช่น ระยอง สงขลา เป็นต้น

ส่วนประกอบของหินเขียวหนุมานตามธรรมชาติมีผู้วิเคราะห์ไว้ดังนี้

$\text{SiO}_2$	97.85 - 99.8 %
$\text{Al}_2\text{O}_3$	.09 - .17 %
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	.02 - .89 %
$\text{TiO}_2$	0 - .01 %
CaO	0 - .20 %
MgO	0 - .09 %
K.NaO	0 - .56 %
น้ำ	0 - 1.10 %
อินทรีย์สาร	0 - 0.50 %

หินเขียวหนุมานที่ขุดและใช้ในอุตสาหกรรมมีชื่อเรียกว่า potter's flint นั้นมีขนาดโดยเฉลี่ย 50 % ต่ำกว่า 30 ไมครอน การควบคุมขนาดก็มีความสำคัญ เพราะว่ามีอิทธิพล ต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

#### 2.4 ดินขาว (kaolin)

คำว่า kaolin ในภาษาอังกฤษ เชื่อว่ามาจากคำในภาษาจีน ที่ออกเสียงว่า kaolin ซึ่งหมายความว่า สันเขาที่สูง อันเป็นที่มาของดินขาวในประเทศอังกฤษดินขาวจะรู้จักกันในนาม china clay หรือดินประเทศจีน แต่ชื่อเรียกที่เป็นมาตรฐานทั่วโลก คือ kaolin ส่วนคำว่า ดินขาวที่ใช้เรียกในประเทศไทย เข้าใจว่าคงมาจากสีขาวของดินนั่นเอง

ดินขาวบริสุทธิ์จะมีสูตรโมเลกุล  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  หรือ  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

$SiO_2$	46.3 %
$Al_2O_3$	39.8 %
$H_2O$	13.9 %

แต่ดินขาวที่ค้นพบโดยทั่วไปมักมีส่วนประกอบที่ต่างไปจากนี้ เนื่องจากสาเหตุ คือ

ก. เนื่องจากมีสารอื่นเข้าไปแทนที่อยู่ในโครงสร้างของดินขาว

ข. เนื่องจากมีสารประกอบอื่นปะปนอยู่

ชนิดของดินขาว โดยทั่วไปมีอยู่ 2 ชนิดคือ

1. **Residual Kaolin** เป็นดินขาวที่ได้จากแร่ เพ็กมาไทต์ (Pegmatite) ซึ่งปฏิบัติการสลายตัวต่อไปนี้



2. **Sedimentary Kaolin** เป็นดินขาวที่ได้จากแร่หินต่าง ๆ เช่น แกรไฟท์ ซิสต์ สแลกซาร์ล หินปูน เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแยกหินเหล่านี้จะได้แร่หลักใหญ่ ๆ ที่ต้องการคือ มีสโทไวท์ ไบโอไทท์ ควอทซ์ ออกไซด์ของเหล็ก รูไทล์การ์เนต ซึ่งแร่เหล่านี้เองที่นำมาผลิตเป็นดินขาวโดยปฏิบัติการทางเคมีหลายขั้นตอน ได้แก่ Hydrolysis, Carbonation, Desilication และ Hydration ดินขาวชนิดนี้มีลักษณะขึ้นอยู่กับชนิดของหินที่นำมาผลิต มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง

ในการวิเคราะห์ทางเคมีของดินขาวจากแหล่งต่าง ๆ พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของดินขาวในแหล่งต่าง ๆ ไม่เหมือนกัน แสดงได้ดังตาราง 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของดินขาวจากแหล่งต่าง ๆ

ชื่อ	แหล่งที่มา	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Leed Moore	England	48.50	36.30	0.56	0.05	0.10	0.10	1.92	0.09
N.B.S.	England	47.40	38.33	0.71	0.06	0.10	0.02	1.39	0.06
MGR	England	47.48	37.75	0.58	0.03	0.19	0.20	1.31	0.20
E.Tor	California	45.25	38.64	0.34	-	0.12	0.18	1.02	1.39
Tex-K	Texas	49.00	39.30	0.75	0.65	0.30	0.35	0.60	0.40
CW	Georgia	44.94	38.33	0.31	1.41	0.09	-	0.18	0.04
kaolin-R	Ranong	47.20	37.10	0.95	0.86	0.11	0.06	1.67	0.08

สำหรับดินขาวที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ kaolin-R ซึ่งเป็นดินที่มีแหล่งกำเนิดที่จังหวัด  
ระนอง

#### 2.4.1 สมบัติทางกายภาพของดินขาว

2.4.1.1 ขนาดของอนุภาคของดินขาวมีความสำคัญต่อการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และการหด  
ตัวเมื่อโดนความร้อน

2.4.1.2 รูปร่างอนุภาคของดินขาวมีลักษณะเป็นผลึกรูป Hexagonal ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง  
กลางอยู่ระหว่าง 0.05-10.00 ไมโครเมตร ผลึกจะมีเป็นแผ่นบางซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าน  
ศูนย์กลางต่อความหนาของอนุภาค มีค่าประมาณ 25

2.4.1.3 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอนุภาคมีค่าน้อย เพราะมีที่ว่างในโครงผลึกที่  
สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนหรือแทนที่อนุภาคน้อย

2.4.1.4 การหดตัวเมื่อทำให้แห้ง มีค่าน้อย

2.4.1.5 การหดตัวหลังการเผา ดินขาวบริสุทธิ์จะเกิดการหดตัวเมื่อไปเผาที่อุณหภูมิ  
1300 องศาเซลเซียส การหดตัวของดินขาวจะมีค่าอยู่ระหว่าง 6-17 เปอร์เซ็นต์ ถ้าเผาจนกระทั่ง  
กลายเป็นแก้วจะเกิดการหดตัวถึง 20 เปอร์เซ็นต์

ดินขาวที่ผ่านการเผาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างภายในขึ้น โดยจะเกิดการ  
เปลี่ยนแปลงโครงผลึกใหม่ หรือผลิตภัณฑ์ใหม่ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ดินเหนียว (ball clay)

ดินขาวเป็นดินที่ใ้ร่่มากในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ แต่มีดินอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีความสำคัญเช่นกัน ดินชนิดนี้มีสีดำ แต่เมื่อเผาแล้วจะมีสีขาว ดินชนิดนี้มีความเหนียวมากกว่าและทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่เผามีความแข็งแรงมากกว่าดินขาว

ดินเหนียวอาจจะให้ค่าจำกัดความได้ว่า หมายถึงดินที่มีสีขาวคล้ำจนถึงดำสนิทมีแหล่งสะสมในที่ลุ่ม มีคตินละเอียดและมีอินทรีย์สารเจือปน มีความเหนียวดี ให้ความแข็งแรงต่อผลิตภัณฑ์ก่อนเผาคือดีกว่าดินขาว มีช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสภาพของเนื้อดินไปเป็นเนื้อแก้วค่อนข้างขาว หลังเผามีสีขาวหรือสีจาง ดินเหนียวมีการเปลี่ยนแปลงมากในแต่ละแหล่ง

### 2.5.1 ส่วนประกอบของดินเหนียว

ส่วนประกอบทางเคมีของดินเหนียวแตกต่างกันไปตามแหล่งที่มันสะสม ส่วนประกอบโดยประมาณอาจจำแนกได้ดังนี้

1.  $\text{SiO}_2$  อยู่ระหว่าง 40-60%
2.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ประมาณ 30%
3.  $\text{H}_2\text{O}$  ในผลึกและอินทรีย์สาร 10%
4.  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  เล็กน้อย

แร่ดินต่าง ๆ ที่พบในดินเหนียวพอสรุปได้ คือ Kaolinite ซึ่งมีทั้งหยาบและละเอียดเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ก็มี Mommorillonite และ Illite เล็กน้อย แร่อื่น ๆ ที่เป็นส่วนประกอบอยู่ก็มี Quartz, Mica เป็นต้น

ส่วนอินทรีย์สารที่พบได้แก่ Lignite, Waxes, Resins, Lignin และ Humus นอกจากนี้ก็มีเกลือที่ละลายน้ำได้ เกลือส่วนใหญ่เป็นเกลือซัลเฟตและเกลือคลอไรด์ของ Al, Fe, Ca, Mg, K, Na ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอนุมูลอยู่ระหว่าง 1 ถึง 30 Milliequivalents ต่อ 100 กรัมของดินแห้ง

## 2.5.2 คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว

2.5.2.1. ขนาด ดินเหนียวมีขนาดละเอียดกว่าดินขาว ขนาดดินเหนียวจะมีขนาดละเอียดแค่ไหนและมากน้อยเพียงใจะเปลี่ยนแปลงไปตามแหล่งที่พบ คือ แหล่งดินที่ถูกพัดพาไปไกลจากแหล่งเดิมจะมีการเสียดสี และการบดกันตามธรรมชาติมาก ขนาดของเม็ดดินจะละเอียดมากขึ้นตามลำดับ

2.5.2.2. ความเหนียว กล่าวโดยทั่วไปแล้ว ดินเหนียวมีความเหนียวดีกว่าดินขาว การผสมดินเหนียวลงไปในเรื่องดินปั้นจะช่วยทำให้การขึ้นรูปได้ดีขึ้น

2.5.2.3. การหดตัวเมื่อแห้ง ดินเหนียวมีการหดตัวมากน้อยแตกต่างกันไปตามแหล่งหรือชนิดของดินเหนียวนั้น เช่น ดินเหนียวที่มี  $\text{SiO}_2$  สูงแทบไม่มีการหดตัวเลย แต่ดินเหนียวที่มีอินทรีย์สารสูงจะมีการหดตัวมากประมาณ 15 % แต่อย่างไรก็ตามเราไม่ใช้ดินเหนียวอย่างเดี๋ยวนในการผสมเนื้อดินปั้น เราสามารถที่จะทดลองผสมเนื้อดินปั้นขึ้นมาหาส่วนผสมเนื้อดินปั้นที่มีการหดตัวที่เหมาะสมได้

2.5.2.4. ความแข็งแรงก่อนเผา ปกติดินเหนียวจะมีความแข็งแรงกว่าดินขาว ดินเหนียวที่มีความแข็งแรงสูงเมื่อผสมในเนื้อดินปั้นจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงสูงตามด้วย

2.5.2.5 คุณสมบัติหลังจากเผา ถ้าเป็นดินเหนียวล้วน ๆ คุณสมบัติหลังจากการเผา เป็นต้นว่า สีเป็นอย่างไร เนื้อดีหรือไม่คืออย่างไร ไม่ค่อยสำคัญนัก แต่คุณสมบัติเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อเนื้อดินปั้นเมื่อผสมดินเหนียวลงไปในเรื่องดินปั้น ดินเหนียวบางอย่างมี mica ประกอบอยู่ เมื่อผสมในเนื้อดินปั้นเมื่อเผา mica จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาในเนื้อดินปั้นทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์แน่นและเหนียวมากขึ้น

## 2.6 ชนิดของเนื้อดินปั้น

สามารถจำแนกตามอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา (Firing Temperature) ได้ดังนี้

2.6.1 EARTHENWARE

2.6.2 STONEWARE

2.6.3 PORCELAIN

2.6.4 BONE CHINA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CLAY BODY	FIRING TEMPERATURE (°C)
<b>EARTHENWARE</b>	
ลักษณะ - สีแดงทั้งก่อนเผาและหลังเผา	1,000 - 1,080
- สีขาว, ครีม, ชมพู เมื่อถูกเผา จะให้สีอื่น	1,060 - 1,180
<b>STONEWARE</b>	
ลักษณะ - สีเทาหลังจากเผาสีจะจางลง	1,200 - 1,300
<b>PORCELAIN</b>	
ลักษณะ - สีขาวถึงสีครีมเมื่อยังไม่เผา หลังจากเผาจะเป็นสีขาว	1,280 - 1,350
<b>BONE CHINA</b>	
ลักษณะ - สีขาวทั้งก่อนเผาและหลังเผา	1,240 - 1,260

#### EARTHENWARE

เนื้อผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีสีขาวมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำประมาณ 7 ถึง 9% การตกแต่งมักเป็นแบบตกแต่งบนผิวเคลือบ ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีความแข็งแรงสวยงาม ราคาค่อนข้างถูก แต่ผลิตภัณฑ์มีความโปร่งแสงและความแข็งแรงสู้ผลิตภัณฑ์ชนิด Porcelain ไม่ได้

#### STONEWARE

เนื้อดิน Stone Ware มี 2 ลักษณะคือ เนื้อดินละเอียดและเนื้อดินหยาบ หม้อ Stone Ware ที่ใช้ตามบ้านโดยทั่วไป จะหนักกว่า Earthenware หรือ Porcelain และ Stone Ware ที่ดีที่สุดควรทำจากเนื้อดินละเอียด เนื้อดินหยาบจะถูกจำกัดไว้สำหรับภาชนะขนาดใหญ่

#### PORCELAIN

Porcelain เป็นดินที่มีเนื้อละเอียดมีสีขาวและมีความเหนียวหลังจากนำไปเผา ซึ่งหลังจากเผาเนื้อดินอาจจะโปร่งแสงหรือทึบแสงตามองค์ประกอบและความหนาแน่นของเนื้อดิน เนื้อดินชนิดนี้ไม่ย่ำที่จะ Throw หรือ Handle เนื่องมาจากเนื้อดินมีช่วง Critical Moisture ซึ่งสามารถทำให้เนื้อดินนี้อ่อนนุ่มมากหรือแห้งมากได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## BONE CHINA

ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้แข็งแรงมากมีสีขาว เวลาเคาะเสียงดังกังวานและโปร่งแสงดีมาก  
วิธีการผลิต ก่อนข้างยากเนื่องจากเนื้อดินปั้นมีความเหนียวไม่ดี ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปใหม่ไม่แข็งแรง  
ผลิตภัณฑ์มักจะเสียรูประหว่างการเผาและการควบคุมสีก็ลำบากแต่ปัจจุบันปัญหาเหล่านี้  
หมดไปแล้ว

### การเผาดิบและการเผาเคลือบ (Bisque and Glaze firing)

#### 1. การเผาดิบ (Bisque Firing)

การเผาดิบเป็นการเผาขั้นแรกก่อนที่จะเกิดเนื้อแก้วเป็นการเปลี่ยนองค์ประกอบทาง  
เคมีของดินทำให้เนื้อดินมีความแข็ง ในงานเซรามิกการเผาดิบมีความจำเป็นมากเพราะถ้านำไปทำ  
การเผาเคลือบก่อนอาจทำให้ชิ้นงานแตกได้

ปัจจัยสำคัญในการเผาดิบคือการไล่น้ำออกจากชิ้นงานซิลิกา จะเริ่มจัดเรียงตัวขึ้น  
ใน Cristobalite phase การเกิด Cristobalite ทำให้เกิดการหดตัวในชิ้นงาน Cristobalite จะเกิด  
ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส (2012 องศาฟาเรนไฮต์)

#### • การจัดเตรียมเตาเผาสำหรับการเผาดิบ

ทำความสะอาดเตาเผาและตรวจสอบว่ามีส่วนใดของเตาเผาเสียหายหรือไม่ การวางชิ้นงาน  
ในเตาเผาควรทำให้แน่นหนาพอสมควร โดยมีชั้นวางชิ้นงานหลายๆชั้นในเตาเผา การเผาในตอน  
เริ่มต้นต้องทำอย่างช้าๆเพื่อไล่น้ำออกจากชิ้นงานให้กลายเป็นไอน้ำทำการเริ่มเผาอย่างรวดเร็วแรง  
ดันของไอน้ำจะทำให้ผิวของชิ้นงานลอกออกเป็นแผ่นน้ำจะเปลี่ยนเป็น ไอน้ำหมดที่อุณหภูมิ  
ระหว่าง 450-600 องศาเซลเซียส (840-1110 องศาฟาเรนไฮต์)เมื่อเตาเผาเริ่มมีสีแดงทึบ วัสดุช่วง  
อุณหภูมิ 200-400 องศาเซลเซียส (390-750 องศาฟาเรนไฮต์) เป็นขั้นที่สารอินทรีย์เริ่มสลายตัว  
สารแปลกปลอมเช่นฟลูออรีนและซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ การเผาจะเริ่มจนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึง  
900 องศาเซลเซียส (1650 องศาฟาเรนไฮต์) หรือมากกว่าในตอนสุดท้ายของการเผาชิ้นงานควร  
ใกล้เคียงจุดที่จะเกิดแก้ว ซึ่งอุณหภูมิของการเกิดแก้วขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของดินแต่ละชนิด

ชนิดของดิน	อุณหภูมิของการเกิดแก้ว °C ( °F )
Terracotta ware ,Brick and Red tiles	900 - 1040 (1650 - 1900)
General Earthenware	1040 - 1140 (1900 - 2080)
Fine Earthenware	100 -1200 (2010 -2190)
Stoneware	1200 -1280 (2190-2340)
Porcelain	1240- 1340 (2260-2440)
Bone China	1230 -1240 (2240 -2250)

## 2. การเผาเคลือบ (Glaze Firing)

ตอนเริ่มต้นของการเผาจะเพิ่มอุณหภูมิอย่างรวดเร็วและคงที่แล้วจึงช้าลงเมื่อถึงช่วงอุณหภูมิการหลอมตัวของแก้วช่วงนี้จะเกิดปฏิกิริยาเคมีและเกิดแก้วขึ้นส่งผลให้เกิดสีเห็นความหยาบละเอียดของชิ้นงาน ช่วงอุณหภูมิที่ใช้เป็นดังนี้

ชนิดของดิน	อุณหภูมิของการเกิดแก้ว °C ( °F)
Earthenware	1000-1180 (1830 -2150)
Fine , white earthenwares	1060 -1140 (1940 - 2080)
Stoneware	1200 - 1300 (2190 - 2370)
Porcelain	1280 -1350 (2340 -2460)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชนิดของเตาเผา

### 1. เตาเผาไฟฟ้า

เตาเผาชนิดนี้ใช้ตอนเริ่มแรกสะดวกและง่ายต่อการใช้ทำด้วยเซรามิกส์ไฟเบอร์ซึ่งจะช่วยลดปริมาณเชื้อเพลิงและการสูญเสียความร้อนส่วนที่ให้ความร้อนจะอยู่ภายในเตาเมื่อให้ความร้อนจะเกิดเป็นจุดเล็กสีดำข้อดีของเตาเผาไฟฟ้าคือ มีความปลอดภัยและมีการเผาไหม้ที่สะอาดแต่ไม่สามารถใช้กับการเผาแบบรีดักชันได้เหมาะสำหรับ Stoneware เตาเผาที่มีความจุ 1.5 -3.5 ลูกบาศก์ฟุต

### 2. เตาเผาแก๊ส

เตาเผาชนิดนี้จะใช้เวลาในการเผาเร็วขึ้นและสามารถควบคุมการเผาให้ช้าลงได้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์เกิดการจัดเรียงตัวของผลึกสมบูรณ์ ข้อควรระวังในการใช้คือการสะสมของก๊าซที่ไม่ดี ไฟอาจทำให้เกิดการระเบิด ข้อดีของเตาเผาแก๊สคือสามารถควบคุมอุณหภูมิและปริมาณเชื้อเพลิงได้เตาเผาชนิดนี้เหมาะกับการเผาแบบรีดักชันของ Stoneware

### 3. เตาเผาที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงสำหรับเตาเผาชนิดนี้สามารถใช้ได้ตั้งแต่ น้ำมันดิบหรือใช้น้ำมันรถยนต์จนถึงน้ำมันก๊าดการนำน้ำมันเข้าไปภายในเตาอาจทำได้โดยการหยดหรือให้น้ำมันผสมกับอากาศแล้วทำการพ่นเข้าไปปลวไฟต้องไม่สัมผัสกับชิ้นงานเตาเผาชนิดนี้จะก่อให้เกิดควันดำขึ้น

### 4. เตาเผาที่ใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง

เป็นการเผาที่สะอาดกว่าการใช้น้ำมันหรือถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ความร้อนที่ให้ออกมาจะขึ้นกับชนิดของไม้ระหว่างที่ใส่เชื้อเพลิงเข้าไปต้องเอาชี้ออกมาเพื่อให้อากาศเข้าไปได้สะดวกนิยมใช้ในการเผา Earthenware

### 5. เตาเผาที่ใช้ถ่านหิน

เตาเผาชนิดนี้นิยมใช้ถ่านหิน ถ่านโค้ก ถ่านพีท เป็นเชื้อเพลิงในการเผาที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำในการเผาที่อุณหภูมิต่ำจะใช้ถ่านพีทเตาเผาชนิดนี้จะมีปัญหาของซัลเฟอร์ที่ปนมากับถ่านหินทำให้พื้นผิวของผลิตภัณฑ์เสียส่วนมากเตาเผาชนิดนี้จะใช้เผาผลิตภัณฑ์ Terracotta ware เตาเผาชนิดนี้ให้ความร้อนประมาณ  $900 - 1000^{\circ}\text{C}$  ( $1650 - 1830^{\circ}\text{F}$ )

### บทที่ 3

## การทดลองและการดำเนินการ

### 3.1 การแยกเศษแก้ว

3.1.1 ทำการแยกเศษแก้วเป็น 2 ส่วนคือ

- เศษแก้วทนไฟ
- เศษแก้วธรรมดา

3.1.2 ทำความสะอาดเศษแก้ว

### 3.2 การบดเศษแก้ว

3.2.1 นำเศษแก้วที่ผ่านการทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วทำให้ละเอียดด้วยครกหิน

3.2.2 นำเศษแก้วที่ผ่านการบดด้วยครกหิน บดด้วยเครื่องบดแก้ว

3.2.3 นำเศษแก้วบดร่อนด้วยตะแกรงขนาด 200 Mesh

### 3.3 การเตรียมเนื้อดินปั้น

3.3.1 การเตรียมเนื้อดินปั้น Porcelain สูตรอ้างอิง (Reference)

- นำหินสีเขียวหยาบ, หินฟันม้า, ดินขาว, ดินเหนียว มาผสมให้เข้ากันในอัตราส่วน 1:1:1:1
- ผสมน้ำในอัตราส่วน 1:4 (น้ำ:เนื้อดินปั้น) ผสมน้ำและดินให้เข้ากัน
- นำเนื้อดินปั้นที่ผ่านการผสมน้ำแล้ว ไปผึ่งในบ่อตากดินจนกระทั่งเนื้อดินมีความแข็งพอที่จะนวดได้
- นำดินที่ได้จากบ่อผึ่งทำการนวดจนกระทั่งเนื้อดินมีความเหนียวเท่ากันตลอดและเหมาะสำหรับการขึ้นรูป
- เก็บเนื้อดินที่ได้โดยการห่อด้วยถุงพลาสติก

3.3.2 การเตรียมเนื้อดินปั้น Porcelain สูตรที่ 1

- นำแก้วทนไฟ, หินฟันม้า, ดินขาว, ดินเหนียว มาผสมให้เข้ากันในอัตราส่วน 1:1:1:1
- ผสมน้ำในอัตราส่วน 1:4 (น้ำ:เนื้อดินปั้น) ผสมน้ำและดินให้เข้ากัน
- นำเนื้อดินปั้นที่ผ่านการผสมน้ำแล้ว ไปผึ่งในบ่อตากดินจนกระทั่งเนื้อดินมีความแข็งพอที่จะนวดได้
- นำดินที่ได้ จากบ่อผึ่งทำการนวดจนกระทั่งเนื้อดินมีความเหนียวเท่ากันตลอดและเหมาะสำหรับการขึ้นรูป
- เก็บเนื้อดินที่ได้ โดยการห่อด้วยถุงพลาสติก

3.3.3 การเตรียมเนื้อดินปั้น Porcelain สูตรที่ 2

- นำแก้วทนไฟ, หินเขี้ยวหุมนาน, ดินขาว, ดินเหนียว มาผสมให้เข้ากันในอัตราส่วน 1:1:1:1
- ผสมน้ำในอัตราส่วน 1:4 (น้ำ:เนื้อดินปั้น) ผสมน้ำและดินให้เข้ากัน
- นำเนื้อดินปั้นที่ผ่านการผสมน้ำแล้ว ไปผึ่งในบ่อตากดินจนกระทั่งเนื้อดินมีความแข็งพอที่จะนวดได้
- นำดินที่ได้ จากบ่อผึ่งทำการนวดจนกระทั่งเนื้อดินมีความเหนียวเท่ากันตลอดและเหมาะสำหรับการขึ้นรูป
- เก็บเนื้อดินที่ได้ โดยการห่อด้วยถุงพลาสติก

3.3.4 การเตรียมเนื้อดินปั้น Porcelain สูตรที่ 3

- นำแก้วทนไฟ, ดินขาว, ดินเหนียว มาผสมให้เข้ากันในอัตราส่วน 2:1:1
- ผสมน้ำในอัตราส่วน 1:4 (น้ำ:เนื้อดินปั้น) ผสมน้ำและดินให้เข้ากัน
- นำเนื้อดินปั้นที่ผ่านการผสมน้ำแล้ว ไปผึ่งในบ่อตากดินจนกระทั่งเนื้อดินมีความแข็งพอที่จะนวดได้
- นำดินที่ได้ จากบ่อผึ่งทำการนวดจนกระทั่งเนื้อดินมีความเหนียวเท่ากันตลอดและเหมาะสำหรับการขึ้นรูป
- เก็บเนื้อดินที่ได้ โดยการห่อด้วยถุงพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.5 การเตรียมเนื้อดินปั้น Porcelain สูตรที่ 4

- นำแก้วธรรมดา, หินฟันม้า, ดินขาว, ดินเหนียว มาผสมให้เข้ากัน ในอัตราส่วน 1:1:1:1
- ผสมน้ำในอัตราส่วน 1:4 (น้ำ:เนื้อดินปั้น) ผสมน้ำและดินให้เข้ากัน
- นำเนื้อดินปั้นที่ผ่านการผสมน้ำแล้ว ไปผึ่งในบ่อตากดินจนกระทั่ง เนื้อดินมีความแข็งพอที่จะนวดได้
- นำดินที่ได้ จากบ่อผึ่งทำการนวดจนกระทั่งเนื้อดินมีความเหนียว เท่ากันตลอดและเหมาะสำหรับการขึ้นรูป
- เก็บเนื้อดินที่ได้ โดยการห่อด้วยถุงพลาสติก

### 3.3.6 การเตรียมเนื้อดินปั้น Porcelain สูตรที่ 5

- นำแก้วธรรมดา, หินเขียวหุมนาน, ดินขาว, ดินเหนียวมาผสม ให้เข้ากันในอัตราส่วน 1:1:1:1
- ผสมน้ำในอัตราส่วน 1:4 (น้ำ:เนื้อดินปั้น) ผสมน้ำและดินให้เข้ากัน
- นำเนื้อดินปั้นที่ผ่านการผสมน้ำแล้ว ไปผึ่งในบ่อตากดินจนกระทั่ง เนื้อดินมีความแข็งพอที่จะนวดได้
- นำดินที่ได้จากบ่อผึ่งทำการนวดจนกระทั่งเนื้อดินมีความเหนียว เท่ากันตลอดและเหมาะสำหรับการขึ้นรูป
- เก็บเนื้อดินที่ได้ โดยการห่อด้วยถุงพลาสติก

### 3.3.7 การเตรียมเนื้อดินปั้น Porcelain สูตรที่ 6

- นำแก้วธรรมดา, ดินขาว, ดินเหนียวมาผสมให้เข้ากัน ในอัตราส่วน 2:1:1
- ผสมน้ำในอัตราส่วน 1:4 (น้ำ:เนื้อดินปั้น) ผสมน้ำและดินให้เข้ากัน
- นำเนื้อดินปั้นที่ผ่านการผสมน้ำแล้ว ไปผึ่งในบ่อตากดินจนกระทั่ง เนื้อดินมีความแข็งพอที่จะนวดได้
- นำดินที่ได้ จากบ่อผึ่งทำการนวดจนกระทั่งเนื้อดินมีความเหนียว เท่ากันตลอดและเหมาะสำหรับการขึ้นรูป
- เก็บเนื้อดินที่ได้ โดยการห่อด้วยถุงพลาสติก

ความแตกต่างขององค์ประกอบในเนื้อดินแต่ละชนิดสรุปได้ดังตารางข้างล่าง

A = แก้วธรรมดา (Soda Glass)	B = แก้วทนไฟ (Borosilicate Glass)
A1: สูตร (1:1:1:1) แก้ว : หินฟอสเฟต : ดินขาว : ดินเหนียว	B1 : สูตร (1:1:1:1) แก้ว : หินฟอสเฟต : ดินขาว : ดินเหนียว
A2 : สูตร (1:1:1:1) แก้ว : หินเขียวหนุมาน : ดินขาว : ดินเหนียว	B2 : สูตร (1:1:1:1) แก้ว : หินเขียวหนุมาน : ดินขาว : ดินเหนียว
A3: สูตร (2:1:1) แก้ว : ดินขาว : ดินเหนียว	B3 : สูตร (2:1:1) แก้ว : ดินขาว : ดินเหนียว

หมายเหตุ R = Reference : สูตร (1:1:1:1) หินเขียวหนุมาน : หินฟอสเฟต : ดินขาว : ดินเหนียว

### 3.4 การขึ้นรูปชิ้นงาน

3.4.1 การนำเนื้อดินขึ้นรูปที่ผ่านการนวดมาขึ้นรูปโดยใช้แม่แบบ

3.4.2 นำชิ้นงานไปตากแดดจนแห้ง

3.4.3 ตกแต่งชิ้นงานด้วยกระดาษทราย

### 3.5 การเผาชิ้นงาน

3.5.1 การเผาดิบ

- นำชิ้นงานที่ผ่านการตกแต่งแล้วเข้าเตาเผา แล้วทำการเผาด้วยอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

3.5.2 การเผาเคลือบ

- นำชิ้นงานที่ผ่านการเผาดิบแล้วเข้าเตาเผา แล้วทำการเผาด้วยอุณหภูมิ 1,240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 การทดสอบสมบัติของชิ้นงาน

#### 3.6.1 การทดสอบแรงกระแทก

- นำชิ้นงานที่ผ่านการเผาเกลืออบทดสอบการทนแรงกระแทก ด้วยเครื่อง Impact

#### 3.6.2 การทดสอบ Modulus of rupture

- นำชิ้นงานที่ผ่านการเผาเกลืออบทดสอบ Modulus of rupture ด้วยเครื่อง Tensile

#### 3.6.3 การทดสอบ Hardness

- นำชิ้นงานที่ผ่านการเผาเกลืออบทดสอบ Hardness ด้วยเครื่อง Hardness

#### 3.6.4 การทดสอบดูพื้นผิวของชิ้นงาน

- นำชิ้นงานที่ผ่านการเผาเกลืออบทดสอบดูพื้นผิวด้วยเครื่อง Scanning electron microscope กำลังขยาย 200,000 เท่า

#### 3.6.5 การทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

- นำชิ้นงานที่ผ่านการเผาเกลือมาทดสอบ ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

โดยนำชิ้นงานที่ทดสอบ ไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดจากนั้นนำชิ้นงานไป แช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำชิ้นงานขึ้นจากอ่างน้ำร้อนทิ้งไว้ให้แห้งจากนั้นนำชิ้นงานไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดอีกครั้งหนึ่งและนำค่าที่ได้มาคำนวณหา เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ โดยใช้สูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักชิ้นงานหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักชิ้นงานก่อนแช่น้ำ}) \times 100}{\text{น้ำหนักชิ้นงานก่อนแช่น้ำ}}$$

#### 3.6.6 ค่าการหดตัว

- นำชิ้นงานก่อนการเผาเกลือมาวัดเส้นความยาว 10 เซนติเมตร

หลังจากนั้นทำการเผาชิ้นงานแล้วนำชิ้นงานที่ผ่านการเผาเกลือมาวัดความยาวของเส้นและคำนวณหาค่าการหดตัวโดยใช้สูตร

$$\text{ค่าการหดตัว (\%)} = \frac{(\text{ความยาวของเส้นก่อนการเผา} - \text{ความยาวของเส้นหลังการเผา}) \times 100}{\text{ความยาวของเส้นก่อนการเผา}}$$

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### ● การทดสอบการทนแรงกระแทก

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลที่ ได้จากการทดสอบการทนแรงกระแทกของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

Reference (1:1:1:1) (หินเขียวทูนาน:หินฟันม้า:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทนแรงกระแทก ก่อนเผา ( $\text{KJ/m}^2$ )	การทนแรงกระแทก หลังเผา ( $\text{KJ/m}^2$ )
ชั้นที่ 1	29.64	35.65
ชั้นที่ 2	30.72	36.57
ชั้นที่ 3	29.37	33.15
เฉลี่ย	29.91	36.57

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลที่ ได้จากการทดสอบการทนแรงกระแทกของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

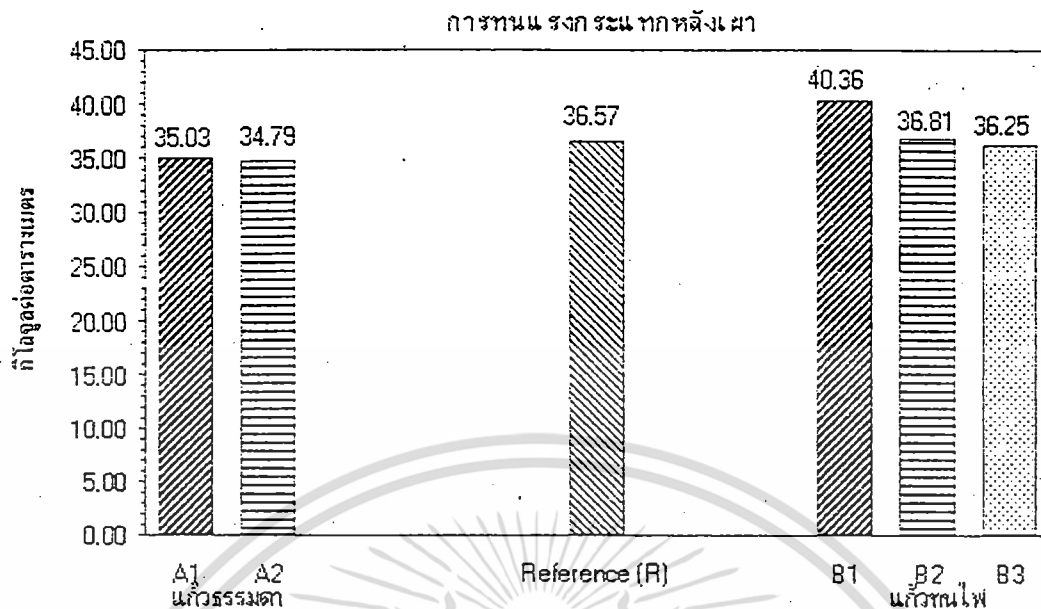
แก้วธรรมดา(Soda Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินฟันม้า:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทนแรงกระแทก ก่อนเผา ( $\text{KJ/m}^2$ )	การทนแรงกระแทก หลังเผา ( $\text{KJ/m}^2$ )
ชั้นที่ 1	33.41	34.46
ชั้นที่ 2	35.04	36.36
ชั้นที่ 3	34.41	34.27
เฉลี่ย	34.29	35.03

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลที่ ได้จากการทดสอบการทนแรงกระแทกของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วธรรมดา(Soda Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินเขียวทูนาน:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทนแรงกระแทก ก่อนเผา ( $\text{KJ/m}^2$ )	การทนแรงกระแทก หลังเผา ( $\text{KJ/m}^2$ )
ชั้นที่ 1	31.76	33.13
ชั้นที่ 2	32.48	36.11
ชั้นที่ 3	34.12	35.13
เฉลี่ย	32.79	34.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 แผนภูมิแท่งแสดงค่าการทนแรงกระแทกหลังเผาของชิ้นตัวอย่างแต่ละสูตร



อธิบายข้อมูลจากการทดสอบการทนแรงกระแทกหลังการเผา  
จากกราฟรูปที่ 4.2 ค่าการทนแรงกระแทกหลังการเผาของเนื้อดินปั้นแต่ละสูตรเป็นดังนี้

$$R = 36.57 \text{ KJ/m}^2$$

$$A1 = 35.03 \text{ KJ/m}^2$$

$$A2 = 34.79 \text{ KJ/m}^2$$

$$B1 = 40.36 \text{ KJ/m}^2$$

$$B2 = 36.81 \text{ KJ/m}^2$$

$$B3 = 36.25 \text{ KJ/m}^2$$

ลำดับค่าการทนแรงกระแทกของเนื้อดินปั้นแต่ละสูตรหลังการเผาจากมากไปน้อยเป็น  
ดังนี้

$$B1 > B2 > R > B3 > A1 > A2$$

จากข้อมูลที่ได้พบว่าสูตรเนื้อดินปั้นที่มีแก้วทนไฟเป็นองค์ประกอบมีค่าการทนแรง  
กระแทกมาก เนื่องมาจากแก้วทนไฟเกิด Sintering ได้ดี ทำให้เนื้อดินแน่นส่งผลให้ สามารถ  
ทนแรงกระแทกได้ดีส่วนเนื้อดินปั้นที่มีแก้วธรรมดาเป็นองค์ประกอบเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ  
1240 °C เนื้อดินปั้นที่มีแก้วทนไฟเป็นองค์ประกอบจะเกิดการหลอมตัวของแก้วเป็นผลให้ชิ้นงาน  
เกิดการเสีขรุขระ, ขวมตัว เกิดรูพรุนในชิ้นงานมากซึ่งลักษณะเช่นนี้ทำให้ค่าการทนแรงกระแทก  
ลดลง

จากลำดับค่า การทนแรงกระแทกของชิ้นตัวอย่างหลังการเผาที่ได้จากการทดสอบมี  
ค่าสอดคล้องกับเหตุผลข้างต้นทำให้สรุปได้ว่า เนื้อดินปั้นที่มีแก้วทนไฟเป็นองค์ประกอบมีค่า  
การทนแรงกระแทกมากกว่าเนื้อดินปั้น High Fire Porcelain และเนื้อดินปั้นที่มีแก้วธรรมดาเป็น  
องค์ประกอบตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการทนแรงกระแทกของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและ

หลังเผา

แก้วธรรมดา(Soda Glass)สูตร 2:1:1 (แก้ว:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทนแรงกระแทก ก่อนเผา ( $\text{KJ/m}^2$ )	การทนแรงกระแทก หลังเผา ( $\text{KJ/m}^2$ )
ชั้นที่ 1	36.46	-
ชั้นที่ 2	31.10	-
ชั้นที่ 3	37.59	-
เฉลี่ย	35.05	-

ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการทนแรงกระแทกของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและ

หลังเผา

แก้วทนไฟ(Borosilicate Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินฟันม้า:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทนแรงกระแทก ก่อนเผา ( $\text{KJ/m}^2$ )	การทนแรงกระแทก หลังเผา ( $\text{KJ/m}^2$ )
ชั้นที่ 1	34.27	42.02
ชั้นที่ 2	32.16	38.43
ชั้นที่ 3	31.48	40.62
เฉลี่ย	32.64	40.36

ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการทนแรงกระแทกของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและ

หลังเผา

แก้วทนไฟ(Borosilicate Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินเขียวหุมนาน:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทนแรงกระแทก ก่อนเผา ( $\text{KJ/m}^2$ )	การทนแรงกระแทก หลังเผา ( $\text{KJ/m}^2$ )
ชั้นที่ 1	27.20	37.91
ชั้นที่ 2	27.28	35.50
ชั้นที่ 3	29.34	37.01
เฉลี่ย	27.94	36.81

ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการทนแรงกระแทกของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและ

หลังเผา

แก้วทนไฟ(Borosilicate Glass)สูตร 2:1:1 (แก้ว:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทนแรงกระแทก ก่อนเผา ( $\text{KJ/m}^2$ )	การทนแรงกระแทก หลังเผา ( $\text{KJ/m}^2$ )
ชั้นที่ 1	30.95	35.76
ชั้นที่ 2	28.77	35.18
ชั้นที่ 3	28.48	37.81
เฉลี่ย	29.40	36.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

● การทดสอบความแข็ง

ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแข็งของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

Reference (1:1:1:1) (หินสีเขียวหุนมาน:หินฟันม้า:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบความแข็ง	
	ก่อนเผา	หลังเผา
ชั้นที่ 1	54.00	88.33
ชั้นที่ 2	53.00	90.66
ชั้นที่ 3	55.53	87.67
เฉลี่ย	54.11	88.89

ตารางที่ 4.9 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแข็งของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วธรรมดา(Soda Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินฟันม้า:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบความแข็ง	
	ก่อนเผา	หลังเผา
ชั้นที่ 1	62.33	83.00
ชั้นที่ 2	61.00	82.33
ชั้นที่ 3	61.83	83.33
เฉลี่ย	61.72	82.89

ตารางที่ 4.10 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแข็งของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วธรรมดา(Soda Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินเขียวหุนมาน:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบความแข็ง	
	ก่อนเผา	หลังเผา
ชั้นที่ 1	57.67	90.33
ชั้นที่ 2	58.83	87.00
ชั้นที่ 3	56.17	87.00
เฉลี่ย	57.56	88.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแข็งของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วธรรมดา(Soda Glass)สูตร2:1:1 (แก้ว:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบความแข็ง	การทดสอบความแข็ง
	ก่อนเผา	หลังเผา
ชั้นที่ 1	61.33	-
ชั้นที่ 2	59.67	-
ชั้นที่ 3	60.00	-
เฉลี่ย	60.33	-

ตารางที่ 4.12 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแข็งของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วทนไฟ(Borosilicate Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินหินมี:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบความแข็ง	การทดสอบความแข็ง
	ก่อนเผา	หลังเผา
ชั้นที่ 1	60.33	83.00
ชั้นที่ 2	56.00	85.00
ชั้นที่ 3	54.67	88.00
เฉลี่ย	57.00	85.33

ตารางที่ 4.13 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแข็งของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

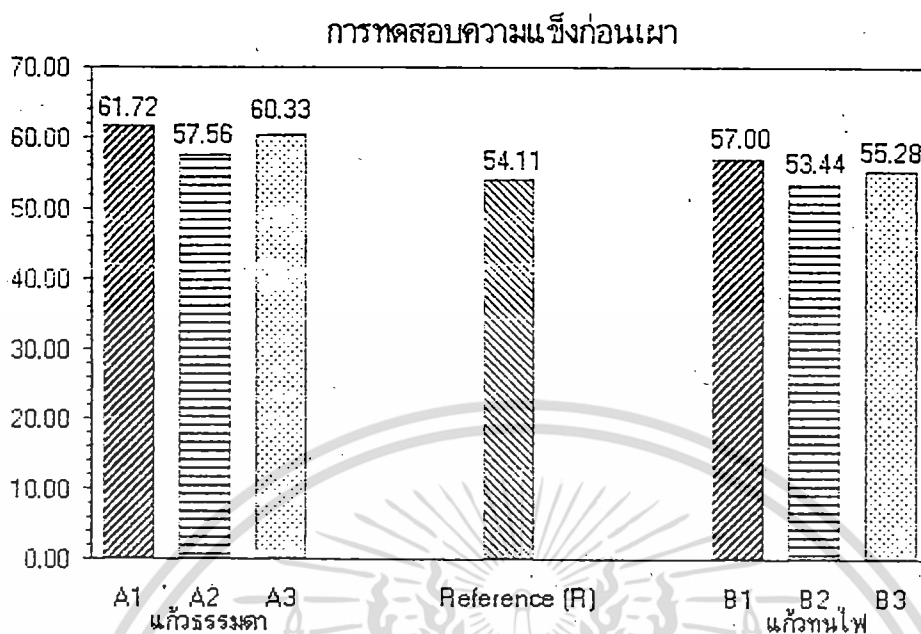
แก้วทนไฟ(Borosilicate Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินเขียวทนมาน:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบความแข็ง	การทดสอบความแข็ง
	ก่อนเผา	หลังเผา
ชั้นที่ 1	54.50	88.67
ชั้นที่ 2	51.00	90.00
ชั้นที่ 3	54.83	90.33
เฉลี่ย	53.44	89.66

ตารางที่ 4.14 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแข็งของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วทนไฟ(Borosilicate Glass)สูตร 2:1:1 (แก้ว:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบความแข็ง	การทดสอบความแข็ง
	ก่อนเผา	หลังเผา
ชั้นที่ 1	56.50	88.00
ชั้นที่ 2	53.67	89.00
ชั้นที่ 3	55.67	89.33
เฉลี่ย	55.28	88.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความแข็งก่อนเผาของชิ้นตัวอย่างแต่ละสูตร



อธิบายข้อมูลจากการทดสอบความแข็งแรง (Hardness) ก่อนการเผา จากกราฟรูปที่ 4.2 ค่าความแข็ง (Hardness) ก่อนการเผาของเนื้อดินปั้นแต่ละสูตรมีดังนี้

$$R = 54.11$$

$$A1 = 61.72$$

$$A2 = 57.56$$

$$A3 = 60.33$$

$$B1 = 57.00$$

$$B2 = 53.44$$

$$B3 = 55.28$$

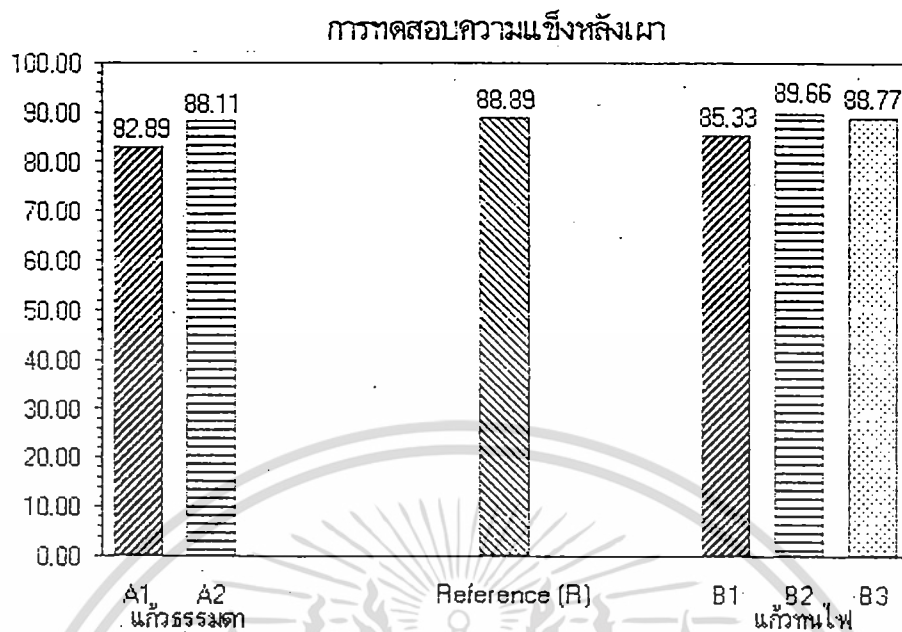
ลำดับค่าความแข็งของเนื้อดินปั้นแต่ละสูตรก่อนการเผาจากมากไปน้อยเป็นดังนี้

$$A1 > A3 > A2 > B1 > B3 > R > B2$$

จากข้อมูลที่ได้พบว่าสูตรเนื้อดินปั้นที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบมีค่าความแข็งก่อนการเผาเนื่องจากอนุภาคของแก้วสามารถแทรกตัวในส่วนของเนื้อดินปั้นได้ดีส่งผลให้เนื้อดินแน่นและมีค่าความแข็งก่อนการเผามากกว่าเนื้อดินปั้น High Fire Porcelain

จากลำดับค่าความแข็งก่อนการเผาที่ได้จากการทดสอบมีความสอดคล้องกับเหตุผลข้างต้นทำให้สรุปได้ว่า เนื้อดินปั้นที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบมีค่าความแข็งมากกว่าเนื้อดินปั้น High Fire Porcelain

รูปที่ 4.4 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความแข็งหลังการเผาของชิ้นตัวอย่างแต่ละสูตร



อธิบายข้อมูลจากการทดสอบความแข็งแรง (Hardness) หลังการเผา จากกราฟรูปที่ 4.4 ค่าความแข็ง (Hardness) หลังการเผาของเนื้อดินปั้นแต่ละสูตรเป็นดังนี้

$$R = 88.89$$

$$A1 = 82.89$$

$$A2 = 88.11$$

$$B1 = 85.33$$

$$B2 = 89.66$$

$$B3 = 88.77$$

ลำดับค่าความแข็งของเนื้อดินปั้นแต่ละสูตรหลังการเผาจากมากไปน้อยเป็นดังนี้

$$B2 > R > B3 > A2 > B1 > A1$$

จากข้อมูลที่ได้พบว่าสูตรเนื้อดินปั้นที่มีแก้วทนไฟเป็นองค์ประกอบมีค่าความแข็งมากเนื่องจากเกิด Sintering ได้ดี ทำให้เนื้อดินปั้นแน่นเป็นผลให้ค่าความแข็งมาก ส่วนเนื้อดินปั้นที่มีแก้วธรรมดาเป็นองค์ประกอบเกิดการหลอมตัวของแก้วทำให้ชิ้นงานเกิดการเสีรูปร่างและบวมตัวเกิดรูพรุนในชิ้นงานมากทำให้เนื้อดินปั้นไม่แน่น ดังนั้นค่าความแข็งลดลง

จากลำดับค่าความแข็งหลังการเผาที่ได้จากการทดสอบมีความสอดคล้องกับเหตุผลข้างต้นทำให้สรุปได้ว่า เนื้อดินปั้นที่มีแก้วทนไฟเป็นองค์ประกอบมีค่าความแข็งมากกว่าเนื้อดินปั้น High Fire Porcelain และเนื้อดินปั้นที่มีแก้วธรรมดาเป็นองค์ประกอบตามลำดับ

● การทดสอบการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ 4.15 แสดงข้อมูลที่ไดจากการทดสอบการดูดซึมน้ำของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

Reference (1:1:1:1) (หินเขียวหนุมาน:หินฟันม้า:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบการดูด ซึมน้ำก่อนเผา (%)	การทดสอบการดูด ซึมน้ำหลังเผา (%)
ชั้นที่ 1	-	2.46
ชั้นที่ 2	-	2.99
ชั้นที่ 3	-	2.43
เฉลี่ย	-	2.63

ตารางที่ 4.16 แสดงข้อมูลที่ไดจากการทดสอบการดูดซึมน้ำของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วธรรมดา(Soda Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินฟันม้า:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบการดูด ซึมน้ำก่อนเผา (%)	การทดสอบการดูด ซึมน้ำหลังเผา (%)
ชั้นที่ 1	-	0.43
ชั้นที่ 2	-	0.47
ชั้นที่ 3	-	0.44
เฉลี่ย	-	0.45

ตารางที่ 4.17 แสดงข้อมูลที่ไดจากการทดสอบการดูดซึมน้ำของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วธรรมดา(Soda Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินเขียวหนุมาน:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบการดูด ซึมน้ำก่อนเผา (%)	การทดสอบการดูด ซึมน้ำหลังเผา (%)
ชั้นที่ 1	-	0.97
ชั้นที่ 2	-	1.91
ชั้นที่ 3	-	1.90
เฉลี่ย	-	1.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 แสดงข้อมูลที่ไดจากการทดสอบการดูดซึมน้ำของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วทนไฟ(Borosilicate Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินฟีนิต:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบการดูด ซึมน้ำก่อนเผา (%)	การทดสอบการดูด ซึมน้ำหลังเผา (%)
ชั้นที่ 1	-	0.40
ชั้นที่ 2	-	0.40
ชั้นที่ 3	-	0.41
เฉลี่ย	-	0.40

ตารางที่ 4.19 แสดงข้อมูลที่ไดจากการทดสอบการดูดซึมน้ำของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

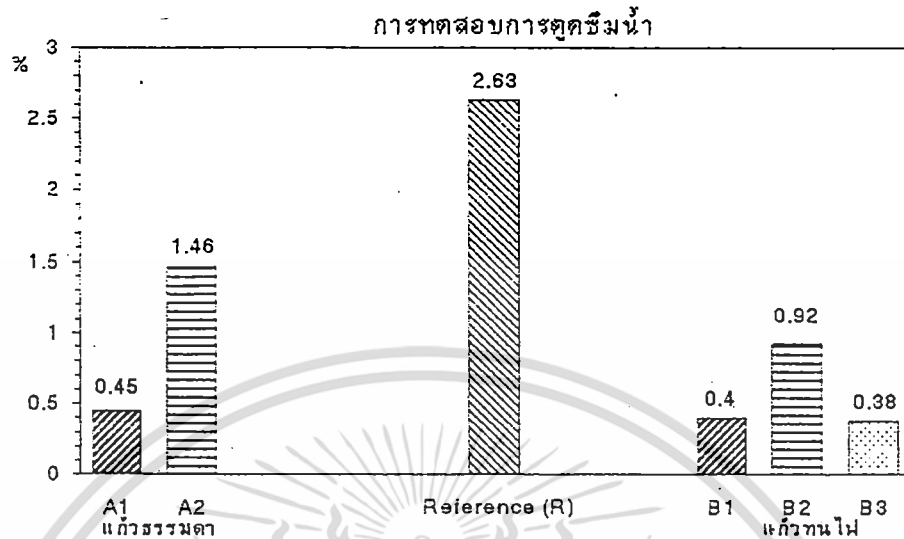
แก้วทนไฟ(Borosilicate Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินเขียวหนุมาน:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบการดูด ซึมน้ำก่อนเผา (%)	การทดสอบการดูด ซึมน้ำหลังเผา (%)
ชั้นที่ 1	-	0.91
ชั้นที่ 2	-	0.91
ชั้นที่ 3	-	0.93
เฉลี่ย	-	0.92

ตารางที่ 4.20 แสดงข้อมูลที่ไดจากการทดสอบการดูดซึมน้ำของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วทนไฟ(Borosilicate Glass)สูตร 2:1:1 (แก้ว:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบการดูด ซึมน้ำก่อนเผา (%)	การทดสอบการดูด ซึมน้ำหลังเผา (%)
ชั้นที่ 1	-	0.40
ชั้นที่ 2	-	0.35
ชั้นที่ 3	-	0.40
เฉลี่ย	-	0.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 แผนภูมิแท่งแสดงค่าการดูดซึมน้ำหลังเผาของชิ้นตัวอย่างแต่ละสูตร



อธิบายข้อมูลจากการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำหลังการเผา  
จากกราฟรูปที่ 4.5 ค่าการดูดซึมน้ำหลังการเผาของเนื้อดินปั้นแต่ละสูตรเป็นดังนี้

$$R = 2.63 \%$$

$$A1 = 0.45 \%$$

$$A2 = 1.46 \%$$

$$B1 = 0.40 \%$$

$$B2 = 0.92 \%$$

$$B3 = 0.38 \%$$

ลำดับค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นแต่ละสูตรหลังการเผาจากมากไปน้อยเป็นดังนี้

$$R > A2 > B2 > A1 > B1 > B3$$

จากข้อมูลที่ได้พบว่าสูตรเนื้อดินปั้นที่มีแก้วทนไฟเป็นองค์ประกอบและสูตรเนื้อดินปั้นที่มีแก้วธรรมดาเป็นองค์ประกอบมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่า Reference เพราะเนื้อดินที่มีแก้วเป็นส่วนประกอบสามารถเกิดการ Sintering และหลอมตัว ทำให้รูพรุนในชิ้นงานน้อยลงและผิวชิ้นงานเรียบขึ้น ดังนั้นค่าการดูดซึมน้ำจึงมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายของพื้นผิวของชิ้นงานจาก

Scanning Electron Microscope (ดังแสดงในภาคผนวก) พบว่าชิ้นงานที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบจะมีรูพรุนน้อยกว่าชิ้นงานที่ไม่มีแก้วเป็นส่วนประกอบอย่างเห็นได้ชัด

จากลำดับค่าการดูดซึมน้ำหลังการเผาเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการทดสอบมีความสอดคล้องกับเหตุผลข้างต้นทำให้สรุปได้ว่า เนื้อดินปั้นที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบมีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่าเนื้อดินปั้น High Fire Porcelain

### ๑ การทดสอบการหดตัว

ตาราง 4.21 แสดงข้อมูลที่ี้ได้จากการทดสอบการหดตัวของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

Reference (1:1:1:1) (หินเขียวหุนมาน:หินฟันม้า:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบ การหดตัวก่อนเผา (%)	การทดสอบ การหดตัวหลังเผา(%)
ชั้นที่ 1	7.00	12.50
ชั้นที่ 2	7.00	12.00
ชั้นที่ 3	7.00	12.50
เฉลี่ย	7.00	12.34

ตาราง 4.22 แสดงข้อมูลที่ี้ได้จากการทดสอบการหดตัวของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วธรรมดา(Soda Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินฟันม้า:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบการหด ตัวก่อนเผา (%)	การทดสอบการหดตัว หลังเผา (%)
ชั้นที่ 1	5.0	6.5
ชั้นที่ 2	5.0	6.5
ชั้นที่ 3	5.0	6.5
เฉลี่ย	5.0	6.5

ตาราง 4.23 แสดงข้อมูลที่ี้ได้จากการทดสอบการหดตัวของชิ้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วธรรมดา(Soda Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินเขียวหุนมาน:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบการหด ตัวก่อนเผา (%)	การทดสอบการหดตัว หลังเผา (%)
ชั้นที่ 1	4.00	6.00
ชั้นที่ 2	4.00	6.00
ชั้นที่ 3	3.00	6.00
เฉลี่ย	3.67	6.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.24 แสดงข้อมูลที่ได้อาจจากการทดสอบการหดตัวของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วธรรมดา(Soda Glass)สูตร 2:1:1 (แก้ว:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบการหด ตัวก่อนเผา (%)	การทดสอบการหดตัว หลังเผา (%)
ชั้นที่ 1	2.00	-
ชั้นที่ 2	3.00	-
ชั้นที่ 3	3.00	-
เฉลี่ย	2.67	-

ตาราง 4.25 แสดงข้อมูลที่ได้อาจจากการทดสอบการหดตัวของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วทนไฟ(Borosilicate Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินฟีนิกซ์:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบการหด ตัวก่อนเผา (%)	การทดสอบการหดตัว หลังเผา (%)
ชั้นที่ 1	7.00	15.00
ชั้นที่ 2	7.00	15.50
ชั้นที่ 3	6.00	15.00
เฉลี่ย	6.67	15.17

ตาราง 4.26 แสดงข้อมูลที่ได้อาจจากการทดสอบการหดตัวของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

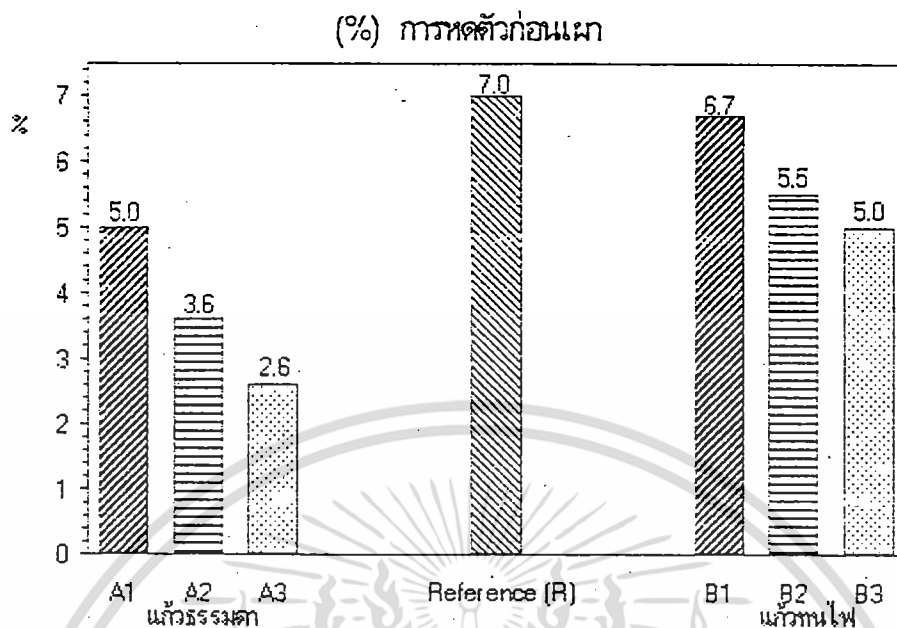
แก้วทนไฟ(Borosilicate Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินเขียวหนุมาน:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบการหด ตัวก่อนเผา (%)	การทดสอบการหดตัว หลังเผา (%)
ชั้นที่ 1	6.0	14.5
ชั้นที่ 2	5.0	13.5
ชั้นที่ 3	5.5	14.0
เฉลี่ย	5.5	14.0

ตาราง 4.27 แสดงข้อมูลที่ได้อาจจากการทดสอบการหดตัวของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วทนไฟ(Borosilicate Glass)สูตร 2:1:1 (แก้ว:ดินขาว:ดินเหนียว)	การทดสอบการหด ตัวก่อนเผา (%)	การทดสอบการหดตัว หลังเผา (%)
ชั้นที่ 1	5.0	13.50
ชั้นที่ 2	5.0	13.00
ชั้นที่ 3	5.0	11.50
เฉลี่ย	5.0	12.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่-1.6 แผนภูมิแท่งแสดงค่าการหดตัวก่อนเผาของหินตัวอย่างแต่ละสูตร



อธิบายข้อมูลจากการทดสอบค่าการหดตัวก่อนการเผา  
จากกราฟรูปที่ 4.6 ค่าการหดตัวก่อนการเผาของเนื้อดินปั้นแต่ละสูตรเป็นดังนี้

R = 7.0 %

A1 = 5.0 %

A2 = 3.6 %

A3 = 2.6 %

B1 = 6.7 %

B2 = 5.5 %

B3 = 5.0 %

ลำดับค่าการหดตัวของเนื้อดินปั้นแต่ละสูตรก่อนการเผาจากมากไปน้อยเป็นดังนี้

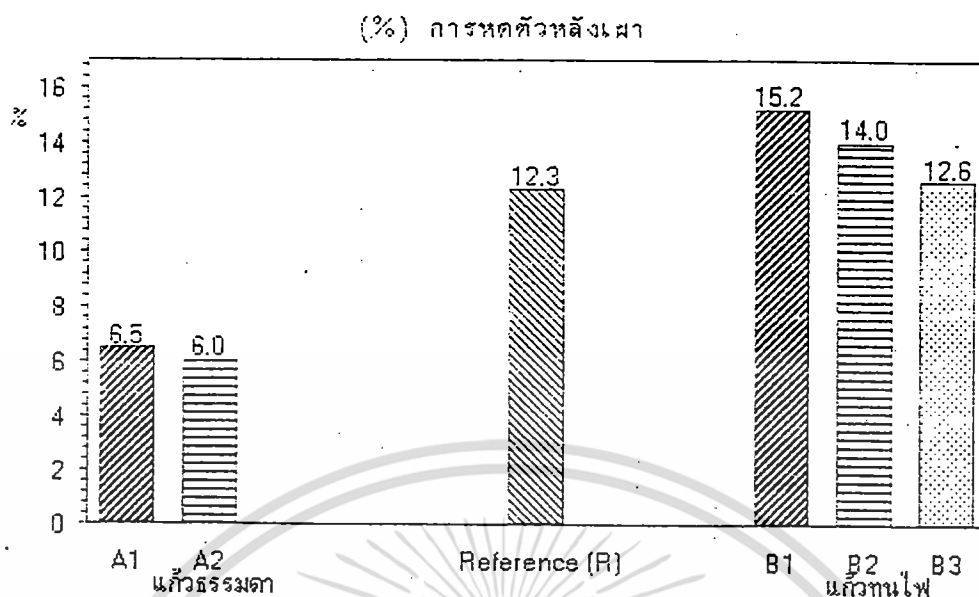
$R > B1 > B2 > A1, B3 > A2 > A3$

จากข้อมูลที่ได้พบว่าสูตรเนื้อดินปั้นที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบมีค่าการหดตัวน้อยเนื่องจากเนื้อดินปั้นสามารถดูดซึมน้ำได้น้อยเมื่อเนื้อดินปั้นแห้งน้ำจะระเหยออกไปน้อยทำให้เนื้อดินเกิดการหดตัวน้อย

จากลำดับค่าการหดตัวหลังการเผาที่ได้จากการทดสอบมีความสอดคล้องกับเหตุผลข้างต้นทำให้สรุปได้ว่า เนื้อดินปั้นที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบมีค่าการหดตัวน้อยกว่าเนื้อดินปั้น

High Fire Porcelain

รูปที่ 4.7 แผนภูมิแท่งแสดงค่าการหดตัวหลังเผาของชิ้นงานตัวอย่างแต่ละสูตร



อธิบายข้อมูลจากการทดสอบค่าการหดตัวหลังการเผา  
จากกราฟรูปที่ 4.7 ค่าการหดตัวหลังการเผาของเนื้อดินปั้นแต่ละสูตรเป็นดังนี้

$$R = 12.30 \%$$

$$A1 = 6.50 \%$$

$$A2 = 6.00 \%$$

$$B1 = 15.20 \%$$

$$B2 = 14.00 \%$$

$$B3 = 12.60 \%$$

ลำดับค่าการหดตัวของเนื้อดินปั้นแต่ละสูตรหลังการเผาจากมากไปน้อยเป็นดังนี้

$$B1 > B2 > B3 > R > A1 > A2$$

จากข้อมูลที่ได้พบว่าสูตรเนื้อดินปั้นที่มีแก้วทนไฟเป็นองค์ประกอบมีค่าการหดตัวมาก เนื่องจาก แก้วทนไฟเกิด Sintering ได้ดี ทำให้ปริมาตรช่องว่างในเนื้อดินลดลงเนื่องจากเกิดผลึกขึ้น ส่งผลให้ค่าการหดตัวมากขึ้น ส่วนเนื้อดินปั้นที่มีแก้วธรรมดาเป็นองค์ประกอบเกิดเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 1240 °C จะเกิดการหลอมตัวของแก้วเป็นผลให้ชิ้นงานเกิดการเสีรูปร่างวมตัวและเกิดรูพรุนในชิ้นงานมากลักษณะเช่นนี้ทำให้ค่าการหดตัวต่ำ

จากลำดับค่าการหดตัวหลังการเผาที่แจ้งผลการทดสอบมีความสอดคล้องกับเหตุผลข้างต้นทำให้สรุปได้ว่า เนื้อดินปั้นที่มีแก้วทนไฟเป็นองค์ประกอบมีค่าการหดตัวมากกว่าเนื้อดินปั้น High Fire Porcelain และเนื้อดินปั้นที่มีแก้วธรรมดาเป็นองค์ประกอบตามลำดับ

● การทดสอบ Modulus of Rupture

ตารางที่ 4.28 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ Modulus of rupture ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

Reference (1:1:1:1) (หินซีเมนต์:หินฟืน:เถ้าดินขาว:ดินเหนียว)	Modulus of rupture ก่อนเผา (Kg <sub>f</sub> )	Modulus of rupture หลังเผา (Kg <sub>f</sub> )
ชั้นที่ 1	7.39	128.60
ชั้นที่ 2	7.06	106.10
ชั้นที่ 3	7.23	131.30
เฉลี่ย	7.22	122.00

ตารางที่ 4.29 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ Modulus of rupture ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วธรรมดา(Soda Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินฟืน:เถ้าดินขาว:ดินเหนียว)	Modulus of rupture ก่อนเผา (Kg <sub>f</sub> )	Modulus of rupture หลังเผา (Kg <sub>f</sub> )
ชั้นที่ 1	4.70	73.76
ชั้นที่ 2	7.24	71.65
ชั้นที่ 3	8.28	116.50
เฉลี่ย	6.74	87.30

ตารางที่ 4.30 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ Modulus of rupture ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วธรรมดา(Soda Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินซีเมนต์:เถ้าดินขาว:ดินเหนียว)	Modulus of rupture ก่อนเผา (Kg <sub>f</sub> )	Modulus of rupture หลังเผา (Kg <sub>f</sub> )
ชั้นที่ 1	6.87	61.04
ชั้นที่ 2	8.06	61.26
ชั้นที่ 3	6.25	36.44
เฉลี่ย	7.06	69.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.31 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ Modulus of rupture ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วธรรมดา(Soda Glass)สูตร 2:1:1 (แก้ว:ดินขาว:ดินเหนียว)	Modulus of rupture ก่อนเผา ( $K_{gf}$ )	Modulus of rupture หลังเผา ( $K_{gf}$ )
ชั้นที่ 1	6.22	-
ชั้นที่ 2	2.45	-
ชั้นที่ 3	4.20	-
เฉลี่ย	4.29	-

ตารางที่ 4.32 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ Modulus of rupture ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วทนไฟ(Borosilicate Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินฟันม้า:ดินขาว:ดินเหนียว)	Modulus of rupture ก่อนเผา ( $K_{gf}$ )	Modulus of rupture หลังเผา ( $K_{gf}$ )
ชั้นที่ 1	4.99	198.00
ชั้นที่ 2	3.29	172.00
ชั้นที่ 3	2.85	115.00
เฉลี่ย	3.71	161.67

ตารางที่ 4.33 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ Modulus of rupture ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

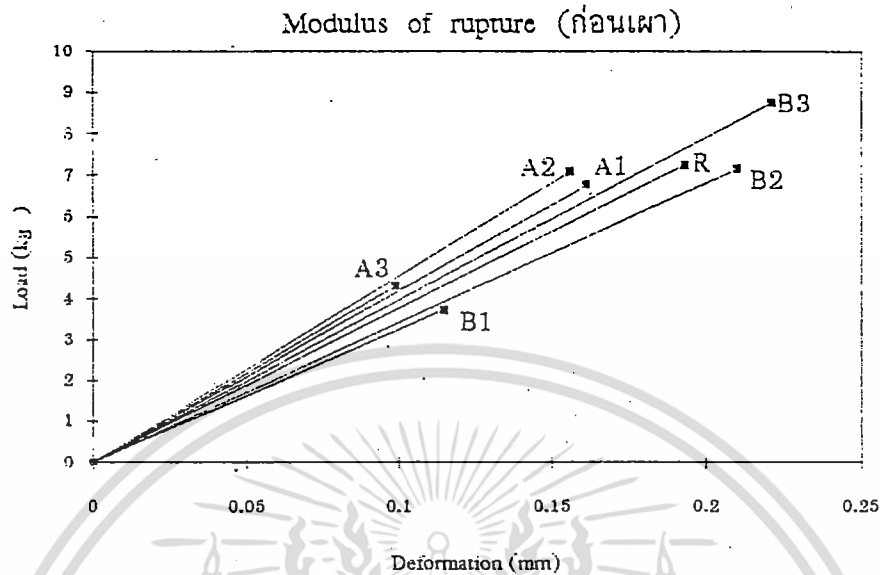
แก้วทนไฟ(Borosilicate Glass)สูตร 1:1:1:1 (แก้ว:หินเขียวทนมาน:ดินขาว:ดินเหนียว)	Modulus of rupture ก่อนเผา ( $K_{gf}$ )	Modulus of rupture หลังเผา ( $K_{gf}$ )
ชั้นที่ 1	5.34	176.00
ชั้นที่ 2	7.71	135.00
ชั้นที่ 3	3.42	168.00
เฉลี่ย	7.16	159.60

ตารางที่ 4.34 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ Modulus of rupture ของชั้นตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา

แก้วทนไฟ(Borosilicate Glass)สูตร 2:1:1 (แก้ว:ดินขาว:ดินเหนียว)	Modulus of rupture ก่อนเผา ( $K_{gf}$ )	Modulus of rupture หลังเผา ( $K_{gf}$ )
ชั้นที่ 1	9.10	149.10
ชั้นที่ 2	10.00	107.60
ชั้นที่ 3	7.10	157.90
เฉลี่ย	8.73	138.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่า Modulus of rupture ก่อนเผาของชั้นตัวอย่างแต่ละสูตร



อธิบายข้อมูลจากการทดสอบ Modulus of rupture ก่อนการเผา จากกราฟรูปที่ 4.9 ค่า Modulus of rupture ก่อนการเผาของเนื้อดินปั้นแต่ละสูตรเป็นดังนี้

$$R = 7.22 \text{ Kg}_f$$

$$A1 = 6.73 \text{ Kg}_f$$

$$A2 = 7.05 \text{ Kg}_f$$

$$A3 = 4.29 \text{ Kg}_f$$

$$B1 = 3.71 \text{ Kg}_f$$

$$B2 = 7.15 \text{ Kg}_f$$

$$B3 = 8.73 \text{ Kg}_f$$

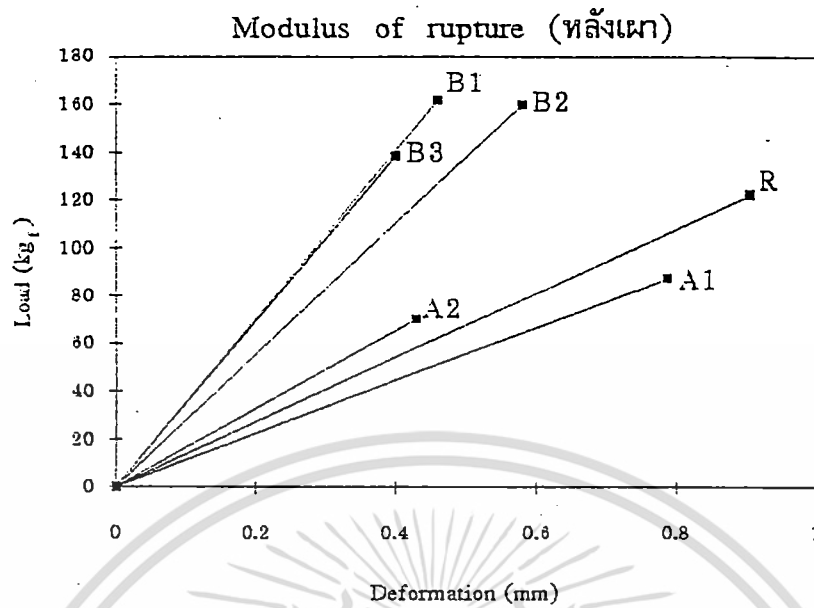
ลำดับค่า Modulus of rupture ของเนื้อดินปั้นแต่ละสูตรก่อนการเผาจากมากไป น้อยเป็นดังนี้

$$B3 > R > B2 > A2 > A1 > A3 > B1$$

จากข้อมูลที่ได้พบว่าสูตรเนื้อดินปั้นที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบ มีค่าการทนแรงแบบต่อเนื่องมาก เนื่องมาจากอนุภาคของแก้วสามารถแทรกตัวในเนื้อดินปั้นได้ดีทำให้เนื้อดินแน่นส่งผลให้สามารถทนแรงแบบต่อเนื่องของเนื้อดินก่อนการเผามากกว่าเนื้อดินที่เป็น Reference (ก่อนการเผา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่า Modulus of rupture หลังเผาของชิ้นตัวอย่างแต่ละสูตร



อธิบายข้อมูลจากการทดสอบ Modulus of rupture หลังการเผา จากกราฟรูปที่ 4.9 ค่า Modulus of rupture หลังการเผาของเนื้อดินปั้นแต่ละสูตรเป็นดังนี้

$$R = 122.00 \text{ Kg}_f$$

$$A1 = 87.30 \text{ Kg}_f$$

$$A2 = 69.58 \text{ Kg}_f$$

$$B1 = 161.67 \text{ Kg}_f$$

$$B2 = 159.60 \text{ Kg}_f$$

$$B3 = 138.20 \text{ Kg}_f$$

ลำดับค่า Modulus of rupture ของเนื้อดินปั้นแต่ละสูตรหลังการเผาจากมากไป น้อยเป็นดังนี้

$$B1 > B2 > B3 > R > A1 > A2$$

จากข้อมูลที่ได้พบว่าสูตรเนื้อดินปั้นที่มีแก้วทนไฟเป็นองค์ประกอบ มีค่าการทนแรงแบบต่อเนื่องมากเนื่องมาจากแก้วทนไฟเกิด Sintering ได้ดี ทำให้เนื้อดินแน่นส่งผลให้สามารถทนแรงแบบต่อเนื่องได้ดี ส่วนเนื้อดินปั้นที่มีแก้วธรรมดาเป็นองค์ประกอบเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1240° C จะเกิดการหลอมตัวของแก้วเป็นผลให้ชิ้นงานเกิดการเสีรูปร่าง, บวมตัว และเกิดรูพรุนในชิ้นงานมากซึ่งลักษณะเช่นนี้จะทำให้ค่า Modulus of Rupture ชิ้นงานลดลง จากลำดับค่า Modulus of rupture หลังการเผาที่ได้จากการทดสอบมีค่าสอดคล้องกับเหตุผลข้างต้นทำให้สรุปได้ว่า เนื้อดินปั้นที่มีแก้วทนไฟเป็นองค์ประกอบมีค่าการทนแรงแบบต่อเนื่องมากกว่าเนื้อดินปั้น High Fire Porcelain และเนื้อดินปั้นที่มีแก้วธรรมดาเป็นองค์ประกอบตามลำดับ

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อใช้เศษแก้วจากห้องปฏิบัติการซึ่งประกอบด้วยแก้วทนไฟ (Borosilicate Glass) และแก้วธรรมดา (Soda Glass) มาทดแทนหินฟีนมาและหินเขียว หินมาในเนื้อดินปั้นเซรามิกส์ประเภท High Fire Porcelain พบว่าเศษแก้วจากห้องปฏิบัติการสามารถนำมาใช้ทดแทน หินฟีนมา และหินเขียว หินมาในเนื้อดินปั้นเซรามิกส์ประเภท High Fire Porcelain ได้ เนื่องจากเนื้อดินปั้นเซรามิกส์ที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบมีสมบัติในการดูดซึมน้ำน้อยและที่สำคัญพบว่ามีสมบัติต้านแรงกดและสมบัติทางด้านกายภาพใกล้เคียงเนื้อดินปั้นเซรามิกส์ประเภท High Fire Porcelain ซึ่งแสดงได้ดังนี้

#### สมบัติทางด้านเชิงกล

- การทนแรงกระแทก ( Impact )  
 ชิ้นงานที่มีแก้วทนไฟเป็นองค์ประกอบ > High Fire Porcelain > ชิ้นงานที่มีแก้วธรรมดาเป็นองค์ประกอบ
- การทนแรงแบบค่อเนื่อง ( Modulus of rupture )  
 ชิ้นงานที่มีแก้วทนไฟเป็นองค์ประกอบ > High Fire Porcelain > ชิ้นงานที่มีแก้วธรรมดาเป็นองค์ประกอบ
- ความแข็ง ( Hardness )  
 ชิ้นงานที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบ > High Fire Porcelain

#### สมบัติทางกายภาพ

- การหดตัว  
 ชิ้นงานที่มีแก้วทนไฟเป็นองค์ประกอบ > High Fire Porcelain > ชิ้นงานที่มีแก้วธรรมดาเป็นองค์ประกอบ
- การดูดซึมน้ำ  
 High Fire Porcelain > ชิ้นงานที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบ
- พื้นผิว ( ความละเอียดและความเงา )  
 ชิ้นงานที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบ > High Fire Porcelain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อเสนอแนะ

1. ชิ้นงานที่มีแก้วทนไฟเป็นองค์ประกอบมีสมบัติเชิงกลที่ดีสามารถนำไปใช้ในงานที่มีการรับแรงได้ดี
2. ชิ้นงานที่มีแก้วธรรมดาเป็นองค์ประกอบมีจุดหลอมตัวต่ำและหลอมตัวได้ดีอาจนำไปใช้ทำน้ำเคลือบเซรามิกส์ได้
3. ชิ้นงานที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบเหมาะในการนำไปใช้ในงานประเภทที่มีการดูดซึมน้ำน้อย เช่น ถ้วยกาแฟ , กาน้ำ เป็นต้น
4. ชิ้นงานที่มีแก้วธรรมดาเป็นองค์ประกอบควรมีการศึกษาสมบัติของชิ้นงานเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

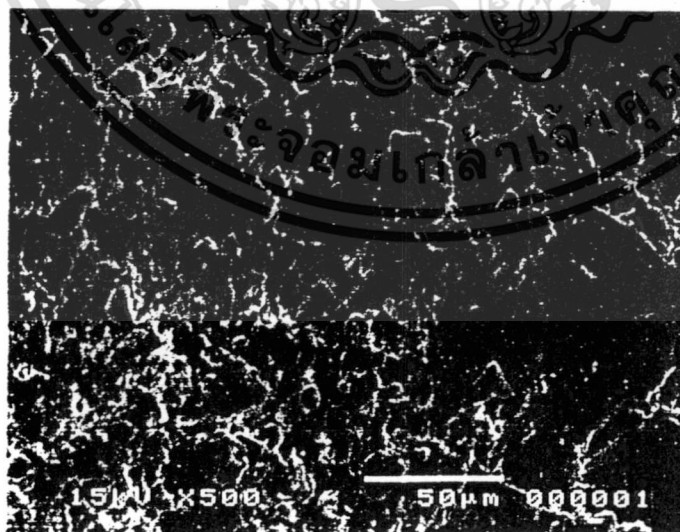
รูป ก. แสดงภาพขยายของพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผาด้วยกล้อง

Scanning Electron Microscope (Reference)



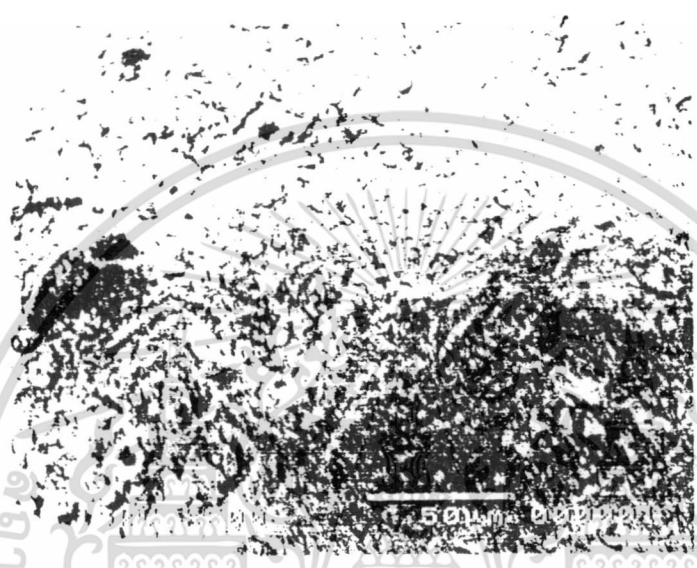
รูป ข. แสดงภาพขยายของพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างหลังเผาด้วยกล้อง

Scanning Electron Microscope (Reference)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ค. แสดงภาพขยายของพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผาด้วยกล้อง  
Scanning Electron Microscope (สูตร A1)



รูป ง. แสดงภาพขยายของพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างหลังเผาด้วยกล้อง  
Scanning Electron Microscope (สูตร A1)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป จ แสดงภาพขยายของพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผาด้วยกล้อง

Scanning Electron Microscope (สูตร A2)



รูป ฉ. แสดงภาพขยายของพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างหลังเผาด้วยกล้อง

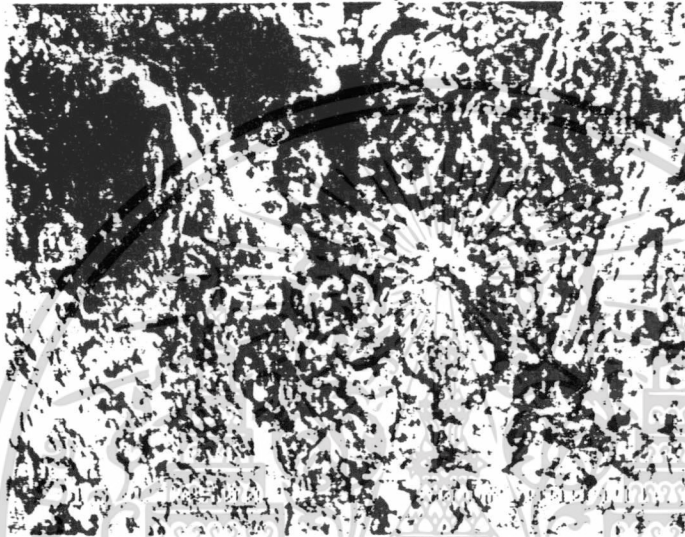
Scanning Electron Microscope (สูตร A2)



เอกสารนี้เป็นเอกสาร  
 ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ช แสดงภาพขยายของพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผาด้วยกล้อง

Scanning Electron Microscope (สูตร A3)



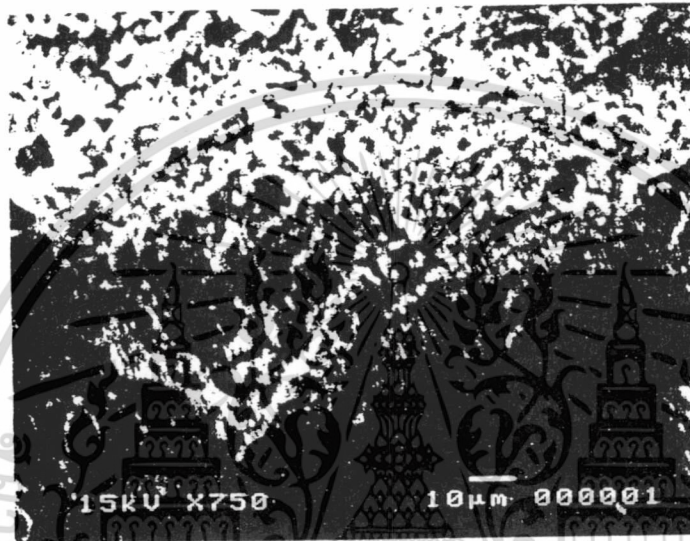
รูป ซ แสดงภาพขยายของพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างหลังเผาด้วยกล้อง

Scanning Electron Microscope (สูตร A3)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ฌ แสดงภาพขยายของพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผาด้วยกล้อง  
Scanning Electron Microscope (สูตร B1)



รูป ฉ แสดงภาพขยายของพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างหลังเผาด้วยกล้อง  
Scanning Electron Microscope (สูตร B1)

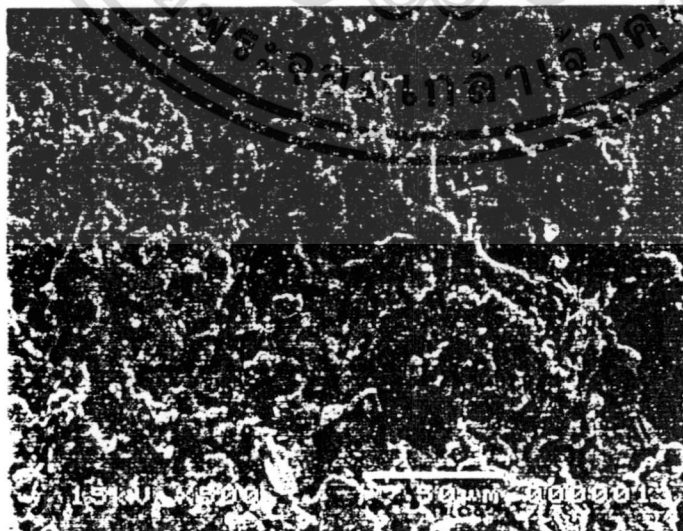


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ๗ แสดงภาพขยายของพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผาด้วยกล้อง  
Scanning Electron Microscope (สูตร B2)

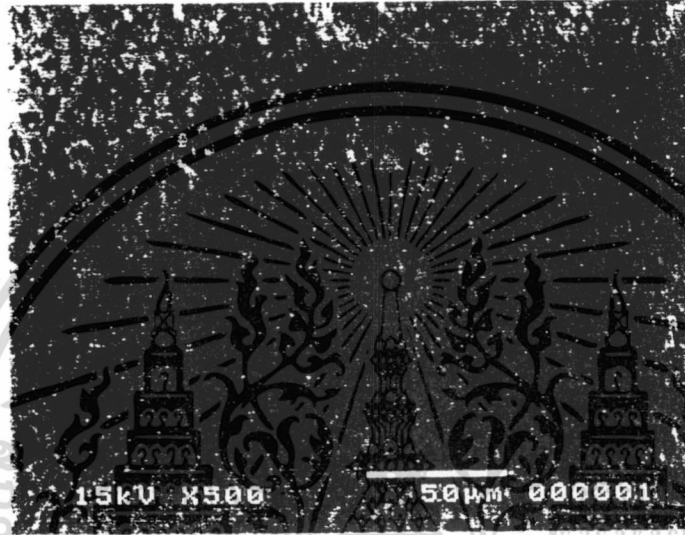


รูป ๘ แสดงภาพขยายของพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างหลังเผาด้วยกล้อง  
Scanning Electron Microscope (สูตร B2)

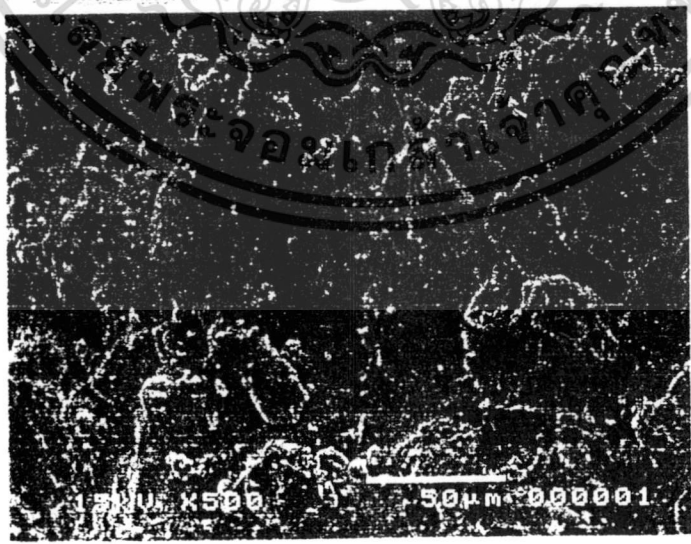


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ๖ แสดงภาพขยายของพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผาด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope(สูตร B3)



รูป ๗ แสดงภาพขยายของพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างหลังเผาด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (สูตร B3)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

## เอกสารอ้างอิง

1. ปรีดา พิมพ์ขาวขำ , เซรามิกส์ . 4 th ed . สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2539.
2. Danald R. Askeland . The Science and Engineering of Materials . 3 rd ed . PWS Publisshing company , 1994 .
3. John J.T. Ceramics Industrial Processing and Testing . 2 rd ed . Iowa State University Press , Iowa , 1993.
4. Kenneth C. The Potter 's Manual . 1st ed . London : Quarto Publishing Limited , 1987 .
5. Kingery W.D. Introduction to Ceramics . 2 nd Edition Son , New York , 1975.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้