



## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเนื้อดินด่านเกวียนเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร  
(Development of Dan Kwian Clay for Use in Tableware Industry)



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเนื้อดินด่านเกวียนเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร  
(Development of Dan Kwian Clay for Use in Tableware Industry)

ผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนูรัตน์ ภูวานคำ

สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

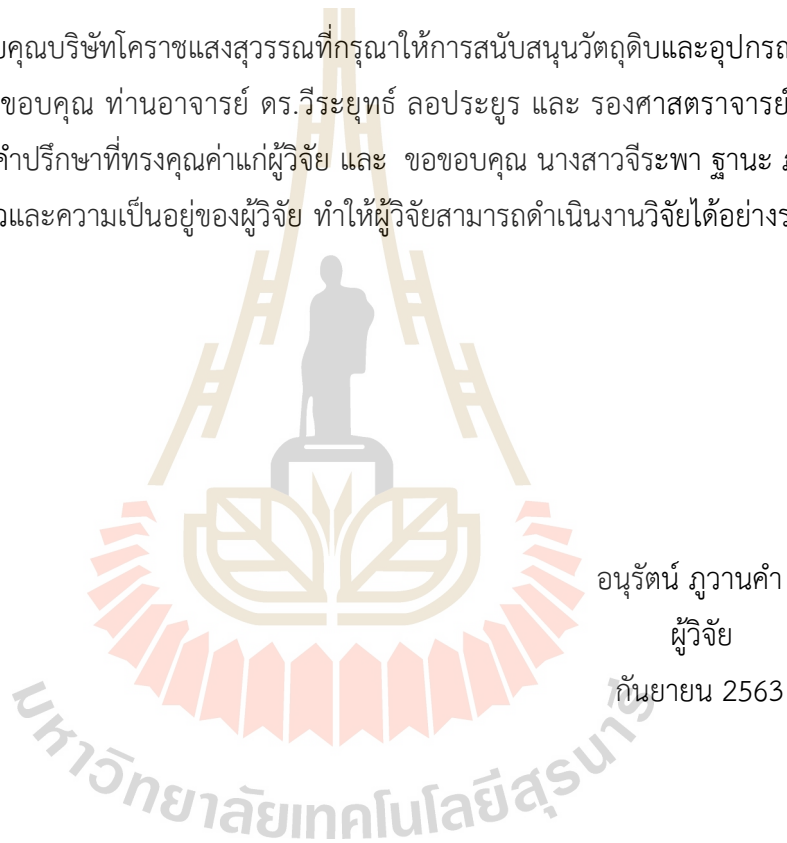
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2563

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย ด้วยการสนับสนุนในครั้งนี้ ผู้วิจัยสามารถนำแนวคิดที่มีออกมาสู่การทำวิจัยจริงจนประสบผลสำเร็จ ทำให้ได้เทคโนโลยีที่สำคัญอันจะเป็นพื้นฐานในการประยุกต์ใช้ในด้านเกี่ยวอันเป็นวัตถุประสงค์ในท้องถิ่นของจังหวัดนครราชสีมาเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ นอกเหนือจากผลิตภัณฑ์กลุ่มเดิมที่เคยผลิตมาก่อน

ขอขอบคุณบริษัทโคราชแสงสุวรรณที่กรุณาให้การสนับสนุนวัสดุและอุปกรณ์ที่จำเป็นในการทดลอง ขอขอบคุณ ท่านอาจารย์ ดร.วีระยุทธ ลอประยูร และ รองศาสตราจารย์ ดร.จรัสศรี ลอประยูร ผู้ให้คำปรึกษาที่ทรงคุณค่าแก่ผู้วิจัย และ ขอขอบคุณ นางสาวจีระพา ฐานะ ภรรยาที่คอยดูแลเรื่องส่วนตัวและความเป็นอยู่ของผู้วิจัย ทำให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินงานวิจัยได้อย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพ



อนูรัตน์ ภูวานคำ  
ผู้วิจัย

กันยายน 2563

## บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาดินดานเกวียนให้มีสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร โดยใช้ เฟลด์สปาร์ ดินเกอลิน (ดินล้าปล้าง) และ ทราาย เป็นวัตถุดิบสำหรับปรับปรุงสมบัติของดินดานเกวียน วัตถุดิบทั้งหมดจะถูกผสมเข้าด้วยกันตามสัดส่วนที่ออกแบบจากแผนภาพสี่เหลี่ยมของผสมทั้งหมดจะถูกนำไปขึ้นรูปเป็นแท่งทรง กระบอก ด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ก่อนนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1100 หรือ 1200 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงนำไปทดสอบความแข็งแรง การดูดซึมน้ำ ปริมาณรูพรุน และการหดตัว

งานวิจัยฉบับนี้เผยให้เห็นว่าดินดานเกวียนสามารถพัฒนาสมบัติให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารได้ ส่วนผสมที่เหมาะสมประกอบด้วยดินดานเกวียน ดินล้าปล้าง เฟลสปาร์ และทราาย ในปริมาณร้อยละ 40, 10, 10, และ 40 ตามลำดับ และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาอยู่ในช่วง 1100-1200 องศาเซลเซียส หลังผ่านการเผาที่ 1100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ความแข็งแรงของเนื้อดินดานเกวียนที่พัฒนาได้มีค่าสูงกว่าดินสำเร็จรูปสำหรับผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารที่มีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด

## Abstract

The aim of this research is to improve the properties of Dan Kwian Clay for using as a raw material for producing ceramic tableware. Feldspar, kaolinite clay, and quartz were used as the raw materials for improving the properties of Dan Kwian clay. All raw materials were mixed according to the ratios which were designed by the quaternary diagram. The mixture was fabricated to be the cylinder shape by a piston-extruder. The green samples were sintered at 1100 °C or 1200 °C. Flexural strength, water absorption, porosity, and shrinkage were examined. This research reveals that the properties of Dan Kwian clay can be developed for use in the ceramic tableware industry. The appropriate composition of the mixture composes of Dan Kwian clay, kaolinite clay, feldspar, and quartz in the weight percent of 40, 10, 10, and 40, respectively. The proper firing temperature is between 1100 °C – 1200 °C for 2 hours. After firing at 1100 °C for 2 hours, the flexural strength of the developed Dan Kwian clay is higher than that of the commercial clays used for a ceramic tableware industry.

# สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ .....	ก
บทคัดย่อ (ไทย).....	ข
บทคัดย่อ (อังกฤษ).....	ค
สารบัญ .....	ง
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ .....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 กรอบแนวคิดการวิจัย .....	2
1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย .....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย .....	2
<b>2 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....</b>	<b>3</b>
2.1 ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ผลิตจากดิน .....	3
2.2 วัตถุประสงค์สำหรับใช้ผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ผลิตจากดิน .....	4
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	15
<b>3 วัสดุและวิธีการทดลอง .....</b>	<b>17</b>
3.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	17
3.2 วิธีการทดลอง .....	18
<b>4 ผลการทดลองและอภิปรายผล .....</b>	<b>25</b>
<b>5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>37</b>
รายการอ้างอิง.....	38
ประวัติผู้เขียน.....	41

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันหมู่บ้านด้านเกวียนกลายเป็นหนึ่งในสัญลักษณ์ที่สำคัญของจังหวัดนครราชสีมา เนื่องจากเป็นหมู่บ้านที่มีชื่อเสียงและมีประวัติศาสตร์อันยาวนานในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาด้านเกวียน แต่ด้วยสภาพการแข่งขันทางการค้าที่มีความรุนแรงมากขึ้น ประกอบกับตลาดกระจายสินค้าของผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่มีอยู่อย่างจำกัด ส่งผลให้ผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผาด้านเกวียนประสบปัญหาราคาสินค้าตกต่ำ ที่ผ่านมามีงานวิจัยหลายชิ้นทำการศึกษาเพื่อพัฒนาและปรับปรุงเครื่องปั้นดินเผาด้านเกวียนให้มีรูปแบบแตกต่างไปจากเดิม เช่น การพัฒนาเนื้อดินปั้นและเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ด้านเกวียน การพัฒนาเคลือบจากซีเมนต์ไม้อูคาลิปตัสเพื่อใช้สำหรับเคลือบบนเครื่องปั้นดินเผาด้านเกวียน การพัฒนาเนื้อดินด้านเกวียนสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ และการพัฒนาเคลือบซิลิเกตเพื่อนำมาใช้เคลือบบนผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาด้านเกวียน เป็นต้น แต่งานวิจัยเกือบทั้งหมดเน้นการปรับปรุงเนื้อดินและเคลือบเพื่อการผลิตเครื่องปั้นดินเผาเพียงอย่างเดียว ทำให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้านเกวียนที่ผ่านมามีไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร เนื่องจากตลาดกระจายสินค้ายังคงเป็นตลาดเดิม จึงไม่สามารถเพิ่มการกระจายสินค้าและมูลค่าของผลิตภัณฑ์ทางออกหนึ่งของการพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ของชุมชนด้านเกวียน คือการพัฒนาดินด้านเกวียนให้สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นที่มีความหลากหลายมากขึ้น

เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารเป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกใช้งานในชีวิตประจำวันของทุกคน เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมเซรามิกที่สร้างรายได้ให้กับประเทศและเป็นอุตสาหกรรมภายในประเทศที่มีศักยภาพในการแข่งขันกับนานาชาติได้สูง ยิ่งไปกว่านั้นผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังมีตลาดกระจายสินค้าขนาดใหญ่ เนื้อผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารมักมีสีขาวหรือสีครีม และใช้ดินขาวและดินดำเป็นวัตถุดิบหลัก ลักษณะของเนื้อผลิตภัณฑ์ดังกล่าวถูกใช้งานมาหลายร้อยปีโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ดินด้านเกวียนจัดเป็นดินทุติยภูมิ (Secondary clay) ปัญหาหลักของดินชนิดนี้คือมีความบริสุทธิ์ต่ำ แต่หากนำมาผ่านการพัฒนาที่เหมาะสมดินชนิดนี้ก็มีศักยภาพที่ดีพอที่จะสามารถนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารได้ งานวิจัยชิ้นนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาดินด้านเกวียนให้เหมาะแก่การนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ซึ่งนอกจากจะเป็นการแก้ปัญหาราคาสินค้าที่ตกต่ำและยกระดับคุณภาพชีวิตของคนในชุมชนด้านเกวียนอย่างยั่งยืนแล้ว ยังเป็นการพัฒนาเนื้อผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารชนิดใหม่อีกด้วย

## 1.2 กรอบแนวคิดการวิจัย

โดยทั่วไปแล้วการผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารจะใช้ดินขาว (Kaolinite clay) และดินดำ (Ball clay) เป็นวัตถุดิบหลัก จุดประสงค์ในการใช้ดินขาวเนื่องจากเป็นดินที่มีความบริสุทธิ์ หลังเผาจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีขาว ส่วนดินดำถูกใช้เพื่อเพิ่มความเหนียวให้กับวัตถุดิบเพื่อให้สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่างๆได้ อย่างไรก็ตามแม้เวลาจะผ่านไปหลายร้อยปีลักษณะของเนื้อผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารยังคงลักษณะเดิมไม่เปลี่ยนแปลง กล่าวคือยังคงเน้นให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีความขาว จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าหากมีการปรับปรุงดินด้านเกวียนที่ดีพอโดยการเติมวัตถุดิบอื่นเข้าไปสมบัติหลังเผาที่ได้ของดินด้านเกวียนมีศักยภาพที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ได้อย่างหลากหลาย รวมถึงผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารด้วย ซึ่งเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารที่ผลิตจากดินด้านเกวียนจะมีสีส้มในลักษณะที่ต่างออกไปจากเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารแบบดั้งเดิมโดยสิ้นเชิง รวมทั้งจะมีจุดเด่นและจะมีเอกลักษณ์เฉพาะที่อุตสาหกรรมจากแหล่งอื่นไม่สามารถลอกเลียนแบบได้ จึงนับเป็นอีกจุดแข็งหนึ่งของงานวิจัยชิ้นนี้

## 1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.3.1 เพื่อพัฒนาเนื้อดินด้านเกวียนให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร
- 1.3.2 เพื่อหาส่วนผสมที่สามารถพัฒนาดินด้านเกวียนให้มีสมบัติที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ผลิตเป็นเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร
- 1.3.3 เพื่อหาอุณหภูมิการเผาที่เหมาะสมสำหรับเผาผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารที่ผลิตจากดินด้านเกวียน

## 1.4 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.4.1 ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมี ของดินด้านเกวียน
- 1.4.2 พัฒนาสูตรเนื้อดินด้านเกวียนให้มีสมบัติที่เหมาะสมกับการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร
- 1.4.3 ตรวจสอบหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการนำดินด้านเกวียนที่พัฒนาได้ไปขึ้นรูป
- 1.4.4 หาอุณหภูมิการเผาที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารที่ผลิตจากดินด้านเกวียน

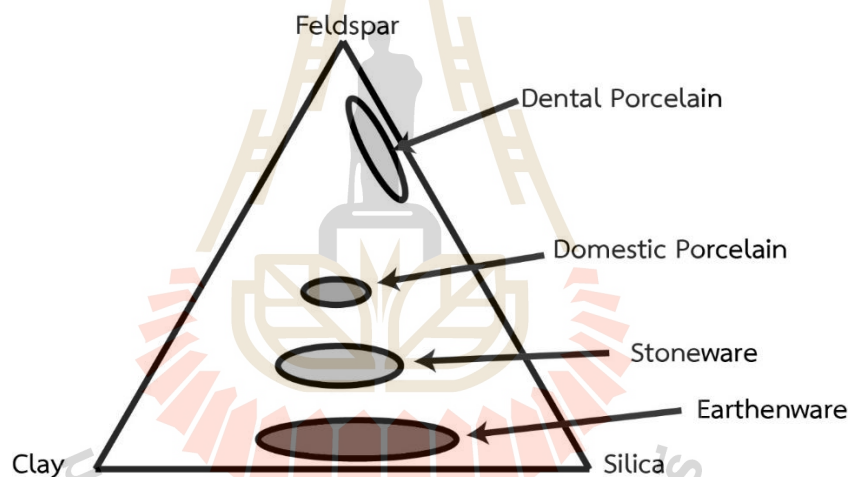


## บทที่ 2

### ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ผลิตจากดิน (Clay products)

ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้จะใช้ดิน (Clay) เป็นวัตถุดิบหลัก บางผลิตภัณฑ์จะใช้ดินเพียงอย่างเดียวในการผลิต บางผลิตภัณฑ์จะนำดินไปผสมกับวัตถุดิบอื่น เช่น เฟลด์สปาร์ (Feldspar) ซิลิกา (Silica) และสารเติมแต่ง (Additive) อื่นๆ เพื่อปรับสมบัติให้เหมาะสมกับเนื้อผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างส่วนผสมระหว่าง ดิน เฟลด์สปาร์ และซิลิกา ของผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ในแผนภูมิสามเหลี่ยม (Tri-axial diagram)



รูปที่ 2.1 แผนภูมิสามเหลี่ยม (Tri-axial diagram) แสดงส่วนผสมระหว่างดิน เฟลด์สปาร์ และซิลิกา ของผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ [6]

ดินเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของวัสดุกลุ่มนี้ เมื่อผสมดินกับน้ำด้วยสัดส่วนที่เหมาะสม จะทำให้ดินเกิดความเหนียวสามารถขึ้นรูปขึ้นงานเป็นรูปร่างต่างๆ ตามต้องการได้ และเมื่อผ่านกระบวนการเผาดินจะเกิดการหลอมทำให้รูพรุนลดลงและทำให้เกิดความแข็งแรง เฟลด์สปาร์ทำหน้าที่ในการช่วยลดอุณหภูมิการเผาให้ต่ำลง ส่วนซิลิกามีบทบาทช่วยเพิ่มความทนไฟ ลดการบิดเบี้ยวของชิ้นงานที่เผาด้วยอุณหภูมิสูง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเทรราคอตตา (Terracotta) คือ ผลิตภัณฑ์ที่เผาด้วยอุณหภูมิต่ำมีเนื้อสีส้มหรือแดง เช่น หม้อดิน กระถางต้นไม้ และผลิตภัณฑ์ด้านเครื่องปั้น เป็นต้น กลุ่มเครื่องใช้สำหรับโต๊ะอาหาร (Tablewares) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ถูก

นำไปใช้บนโต๊ะอาหารเช่น ถ้วย จาน ชาม เป็นต้น กลุ่มสุขภัณฑ์ (Sanitarywares) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ถูกใช้งานในห้องน้ำ เช่น โถส้วม อ่างล้างหน้า เป็นต้น และกลุ่มกระเบื้อง (Ceramic tiles) คือ กระเบื้องชนิดต่างๆ เช่น กระเบื้องปูพื้น กระเบื้องบุผนัง และ กระเบื้องมุงหลังคา เป็นต้น

เซรามิกไวท์แวร์ คือ ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ผลิตจากดินชนิดหนึ่งที่มีเนื้อผลิตภัณฑ์เป็นสีขาว [3] อาจเคลือบหรือไม่เคลือบก็ได้ โดยส่วนใหญ่มีผิวเรียบเนียน [8] เช่น ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้สำหรับโต๊ะอาหาร สุขภัณฑ์ และกระเบื้อง เป็นต้น [3] โดยส่วนใหญ่แล้วผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้จะผลิตจากวัตถุดิบหลัก 3 อย่าง ได้แก่ ดิน เฟลด์สปาร์ และซิลิกา วัตถุดิบทั้งหมดจะถูกบดผสมก่อนนำไปขึ้นรูปและเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้เกิดความแข็งแรง ในผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้ โบนีไชนา (Bone china) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อขาวและโปร่งแสงมาก โดยจะมีการเติมเถ้ากระดูก (Bone ash) ลงในส่วนผสมสาเหตุที่ผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้มีความโปร่งแสงมากเป็นพิเศษเนื่องมาจากผลึก (Crystalline) และวัฏภาคแก้ว (Glassy phase) ในเนื้อผลิตภัณฑ์หลังเผามีค่าดัชนีหักเหของแสงใกล้เคียงกัน ส่งผลให้การกระเจิงของแสงที่ส่องผ่านมายังชิ้นงานเกิดขึ้นน้อย [4] โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์กลุ่มไวท์แวร์จะถูกเคลือบด้วยชั้นแก้วบางๆ ที่เรียกว่าเคลือบเซรามิก (Ceramic glaze) เพื่อปกปิดผิวของผลิตภัณฑ์ เพื่อลดการดูดซึมน้ำ เพิ่มความสวยงาม ลดการขีดข่วนที่ผิว โดยเคลือบดังกล่าวอาจจะมีสีหรือไม่มีสี อาจโปร่งใสหรือทึบแสงก็ได้

## 2.2 วัตถุดิบสำหรับใช้ผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ผลิตจากดิน

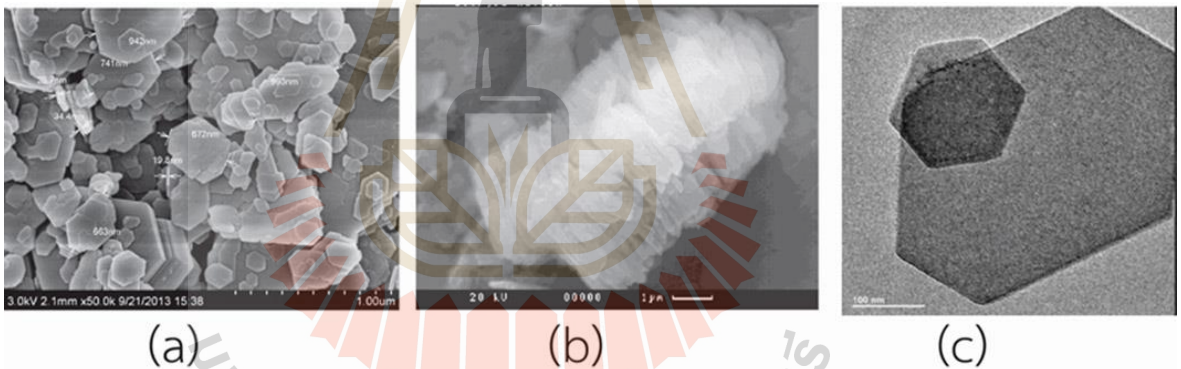
### 2.2.1 ดิน (Clay)

ดินในงานเซรามิกอาจถูกเรียกและถูกแบ่งออกเป็นหลายชนิด แต่โดยแท้จริงแล้วแร่ดินคือสารประกอบไฮเดรตอลูมิเนียมซิลิเกต (Hydrated aluminum silicates) ที่เกิดจากการผุพังของแร่เฟลด์สปาร์หรือหินแกรนิต (Granites stone) การเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ของหินเหล่านี้จึงกลายเป็นดินใช้เวลานานหลายล้านปี ดินที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินเหล่านี้จะถูกเรียกว่าดินปฐมภูมิ (Primary clay) ในประเทศไทยจะรู้จักดินเหล่านี้ในชื่อ ดินขาวหรือดินเคโอลิน (Kaolinite clay)

ดินเคโอลินเป็นดินในกลุ่มของแร่ดินเคโอลิน (Kaolinite) เป็นแร่ดินที่พบมากที่สุดเมื่อเทียบกับแร่ดินชนิดอื่นๆ รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะผลึกของดินเคโอลินที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron microscope, TEM) ภาพดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแท้จริงแล้วดินเคโอลิน มีลักษณะผลึกเป็นรูปแผ่นหกเหลี่ยมที่มีความหนาและมักเกาะกันเป็นชั้นๆ คล้ายกับหนังสือที่วางซ้อนกัน ผลึกของดินเคโอลิน หนึ่งแผ่นมีขนาดความกว้างโดยประมาณ 1 ไมโครเมตร และมีความหนาประมาณ 0.1 ไมโครเมตร

กระบวนการแปรสภาพของเฟลด์สปาร์เป็นดินขาวเรียกว่า กระบวนการเคโอลิไนต์เซชัน (Kaolinization) หากเปรียบเทียบสูตรเคมีของดินเคโอลินที่มีสูตรเป็น  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  กับสูตรทางเคมีของเฟลด์สปาร์ซึ่งมีสูตรเป็น  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$  จะพบว่าสิ่งที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคือ สารประกอบ อัลคาไลน์และซิลิกาของเฟลด์สปาร์หายไป สิ่งที่เกิดขึ้นระหว่างการเปลี่ยนแปลง คือ สารประกอบอัลคาไลน์ถูกละลายไปกับน้ำฝน ส่วนซิลิกาหลุดออกมาอยู่ในรูปของซิลิกาหรือทรายอิสระ ดังนั้น โดยทั่วไปแล้วตามแหล่งดินขาวมักจะพบทรายปนอยู่ด้วยเสมอ เป็นสาเหตุให้กระบวนการผลิตดินขาวต้องมีการล้างดินเพื่อนำทรายเหล่านี้ออก

ในแหล่งดินขาวบางแหล่งอาจพบเฟลด์สปาร์ที่ยังแปรสภาพเป็นดินขาวไม่สมบูรณ์ เฟลด์สปาร์เหล่านี้มักจะถูกเรียกว่า หินผุ (Pottery stone) หากพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีจะพบว่าเฟลด์สปาร์เป็นแร่ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าดินขาวเนื่องจากมีสารประกอบอัลคาไลน์ซึ่งเป็นตัวช่วยในการหลอมละลาย ดังนั้น หินผุซึ่งเป็นวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมระหว่างเฟลด์สปาร์และดินขาวจึงมีสมบัติอยู่ระหว่างกลาง จึงเป็นเหตุผลให้แหล่งหินผุดีๆ บางแหล่งสามารถนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน (Porcelain) โดยไม่จำเป็นต้องเติมเฟลด์สปาร์เพิ่มอีก



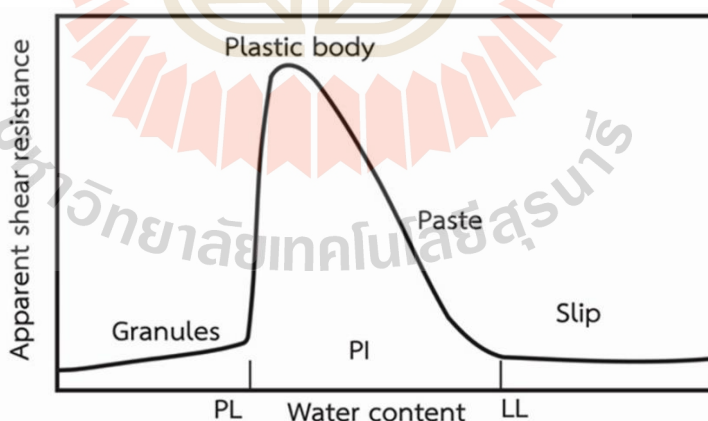
รูปที่ 2.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (a) ผลึกหกเหลี่ยมของดินเคโอลิน [12] (b) การเกาะกันของผลึกดินมีลักษณะคล้ายหนังสือวางเรียงกัน [13] และ (c) ผลึกของดินถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน [14]

ดินขาวบางแหล่งได้ถูกกระแสน้ำพัดพาให้เคลื่อนย้ายจากแหล่งกำเนิดไหลไปตามแม่น้ำลำธาร ระหว่างการเดินทางอนุภาคของดินขาวจะถูกขัดสีให้มีขนาดที่เล็กลง ประกอบกับมักจะถูกปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ต่างๆ ที่อยู่ตามธรรมชาติ ดินเหล่านี้จะไปตกตะกอนอยู่บริเวณแหล่งน้ำนิ่ง เรียกว่า ดินตะกอน (Sedimentary clay) หรือดินทุติยภูมิ (Secondary clay) ด้วยอนุภาคที่เล็กและมีสารอินทรีย์ซึ่งมีลักษณะเป็นกาวธรรมชาติเจือปน จึงทำให้ดินทุติยภูมิมีความเหนียวมากกว่าดินปฐมภูมิ และจากการที่ต้องเดินทางจากแหล่งกำเนิดจึงทำให้ดินทุติยภูมิมีความบริสุทธิ์น้อยกว่าดินปฐมภูมิ

บางครั้งดินทุติยภูมิอาจถูกปนเปื้อนด้วยแร่เหล็กมาก ดินเหล่านั้นก็จะมีสีแดง แต่หากมีการปนเปื้อนน้อยหลังการเผาจะได้สีครีมหรือสีขาวตามลักษณะสีเดิมของดินปฐมภูมิ

สมบัติของดินที่มีความเหนียวสามารถขึ้นรูปได้และให้ความแข็งแรงหลังเผา เป็นสมบัติพิเศษที่ทำให้ดินเป็นวัตถุที่สำคัญในส่วนผสมของเซรามิกชนิดต่างๆ จากลักษณะผลึกของดินดังแสดงในรูปที่ 2.2 เมื่อเติมน้ำเข้าไปในดินจะทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างน้ำกับอนุภาคของดิน ทำให้ดินเกิดความเหนียว เมื่อออกแรงขึ้นรูปดินจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปตามแรงกด บีบ หรือแรงดึงที่ใส่เข้าไป อนุภาคของดินจะเกิดการสานตัวและยึดเกาะกัน เมื่อหยุดให้แรงหรือเอาแรงออกดินจึงสามารถคงรูปร่างไว้ได้ ดังนั้น ดินที่มีขนาดอนุภาคเล็กย่อมมีการสานตัวได้แน่นกว่าดินที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ จึงทำให้มีความแข็งแรงก่อนเผา (Green strength) สูงกว่าดินที่มีขนาดอนุภาคใหญ่

ผลของปริมาณน้ำต่อความเหนียวของดินแสดงในรูปที่ 2.3 เมื่อเติมน้ำเข้าไปในดินแห้ง ความเหนียวของดินจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดพลาสติกจำกัด (Plastic limit, PL) จุดนี้ดินจะมีสภาพเป็นดินเหนียวเหมาะกับการขึ้นรูปด้วยวิธีพลาสติกฟอร์มมิ่ง (Plastic forming) เช่น การปั้น เป็นต้น ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในบทต่อไป หลังจากจุดนี้ไปแล้วดินจะมีความเหนียวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดสูงสุด เมื่อเติมน้ำเลยจุดที่มีความเหนียวสูงสุด ความเหนียวของดินจะเริ่มลดลงจนถึงจุดลิกวิดลิมิต (Liquid limit, LL) ซึ่งเป็นจุดที่ดินกลายเป็นของเหลวในรูปของน้ำดิน ความแตกต่างของปริมาณน้ำระหว่างจุดพลาสติกจำกัดกับจุดลิกวิดลิมิตเรียกว่า ดัชนีความเหนียว (Plasticity index, PI) ปริมาณของน้ำที่ถูกเติมเข้าไปในดินเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้สำหรับควบคุมการขึ้นรูปเซรามิกด้วยวิธีต่างๆ

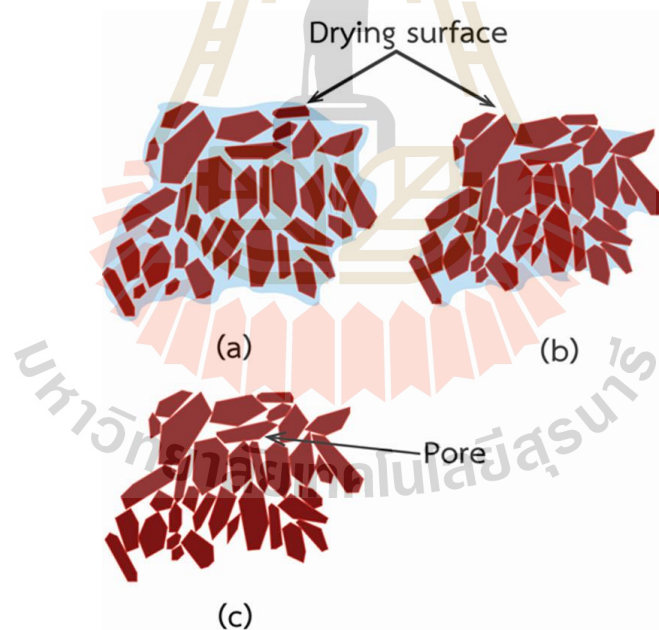


รูปที่ 2.3 ผลของปริมาณน้ำต่อความเหนียวของดิน [15]

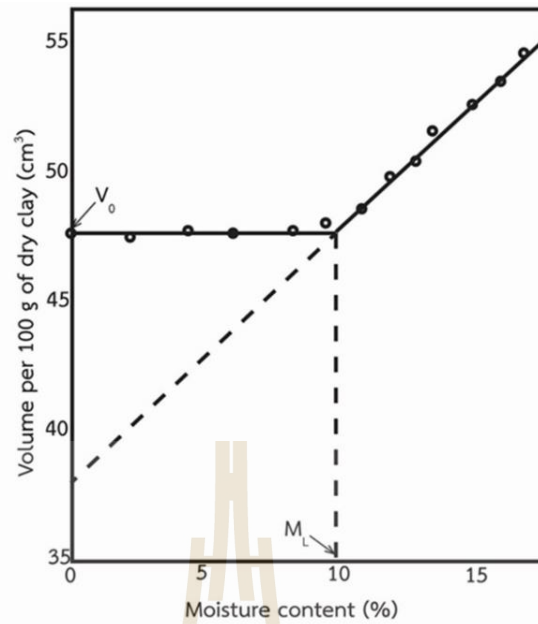
น้ำที่ถูกเติมเข้าไปในดินจะผลึกอนุภาคของดินให้ห่างออกจากกันดังแสดงในรูปที่ 2.4 (a) เมื่อชิ้นงานถูกทำให้แห้ง น้ำที่อยู่ระหว่างอนุภาคของดินจะหลุดออกจากชิ้นงานโดยเริ่มจากการระเหยออกจากผิวของชิ้นงาน เมื่อน้ำระเหยออกไป อนุภาคของดินจะเริ่มขยับตัวเข้ามาหากันด้วยแรงดึงดูด

ของน้ำ ส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการหดตัวระหว่างการอบแห้ง จนในที่สุดอนุภาคดินจะสัมผัสกันดังแสดงในรูปที่ 2.4 (b) เมื่อถึงจุดนี้แล้วชิ้นงานจะไม่เกิดการหดตัวอีก แต่จะหดอีกครั้งระหว่างกระบวนการเผาผนึก (Sintering) รูปที่ 2.5 แสดงการหดตัวของชิ้นงานต่อปริมาณความชื้นที่ลดลง จากภาพจะพบว่าเมื่อปริมาณน้ำลดลงจนถึงจุด  $M_L$  ขนาดของชิ้นงานจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแม้ว่าปริมาณความชื้นจะลดลงก็ตาม ปริมาณความชื้น ณ จุด  $M_L$  นี้เรียกว่า ปริมาณความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) การหดตัวระหว่างการแห้งของชิ้นงานเรียกว่า Drying shrinkage น้ำที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการหดตัวเรียกว่า Shrinkage water ในช่วงที่ชิ้นงานเกิดการหดตัวนี้หากทำการอบชิ้นงานเร็วเกินไปชิ้นงานจะเกิดแรงเค้นอันเป็นผลมาจากการขยับตัวของอนุภาคดิน หากแรงเค้นมีมากจะทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการอบแห้ง การเพิ่มความเร็วในการอบแห้งสามารถทำได้เมื่อความชื้นในชิ้นงานต่ำกว่าปริมาณความชื้นวิกฤต

หากพิจารณาขนาดอนุภาคต่อการหดตัวของชิ้นงานจะพบว่า เมื่อดินมีขนาดอนุภาคเล็กพื้นที่ผิวมีมาก ต้องใช้น้ำเพื่อให้เกิดความเหนียวในปริมาณที่มาก เมื่ออบแห้งการหดตัวของดินก็จะมากตามไปด้วย จึงเป็นเหตุผลว่าเหตุใดดินทุติยภูมิจึงมีการหดตัวหลังอบมากกว่าดินปฐมภูมิ



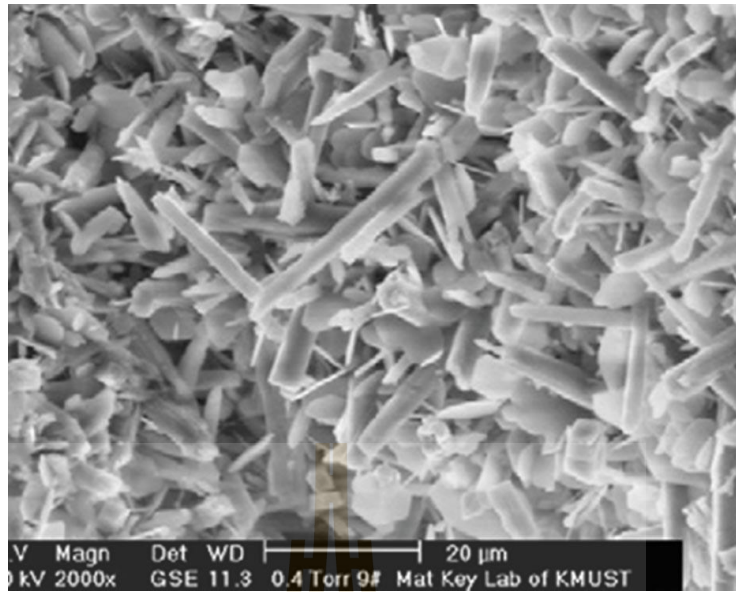
รูปที่ 2.4 แบบจำลองการหดตัวของชิ้นงานอันเนื่องมาจากน้ำเคลื่อนตัวออกจากชิ้นงานระหว่างการอบแห้ง (a) น้ำที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการหดตัว (b) น้ำส่วนที่เหลือค้างอยู่ระหว่างรูพรุน (c) รูพรุนที่ถูกทิ้งไว้ภายในชิ้นงานหลังน้ำออกจากชิ้นงานจนหมด [16]



รูปที่ 2.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชิ้นงานต่อปริมาณความชื้น เมื่อความชื้นลดลงมาถึงจุด  $M_L$  ปริมาตรของชิ้นงานที่มีขนาด  $V_0$  จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอีก [16]

เมื่อความชื้นในชิ้นงานต่ำกว่าปริมาณความชื้นวิกฤต น้ำส่วนที่เหลือจะถูกขังอยู่ระหว่างช่องว่างของอนุภาคดิน น้ำเหล่านี้จะไม่ส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการหดตัวเรียกว่า Pore water และจะเคลื่อนตัวไปที่ผิวของชิ้นงานด้วยแรงแคพิลลารี (Capillary force) รูพรุนจะถูกทิ้งไว้ในชิ้นงานหลังจากน้ำเคลื่อนที่ออกไปดังแสดงในรูปที่ 2.4 (c) รูพรุนเหล่านี้จะถูกจำกัดออกจากชิ้นงานในขั้นตอนการเผาไหม้ อันจะส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการหดตัวหลังเผา (Firing shrinkage) ซึ่งเกิดจากขบวนการขจัดรูพรุนออกจากชิ้นงาน เมื่อผ่านการเผาองค์ประกอบทางเคมีของดินจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของมุลไลต์ (Mullite,  $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเซรามิกที่ผ่านการเผา

ดังที่กล่าวไว้ในตอนต้น ดินทุติยภูมิเป็นดินที่มีขนาดอนุภาคเล็กและมีความเหนียวที่สูงกว่าดินปฐมภูมิ โดยทั่วไปดินทุติยภูมิที่มีความบริสุทธิ์สูงมักถูกเรียกว่า ดินดำ (Ball Clay) ดินดำที่มีคุณภาพดีจะให้สีขาวหรือสีครีมหลังเผา และมักจะถูกนำไปใช้เพิ่มความเหนียวให้กับดินขาว เพื่อให้การขึ้นรูปชิ้นงานทำได้ง่ายขึ้น ดังที่กล่าวไว้ในตอนต้นว่าดินดำต้องใช้น้ำปริมาณมากในการทำให้มีความเหนียว ส่งผลให้ดินดำมีการหดตัวสูง ดังนั้น ในทางปฏิบัติจึงเป็นไปได้เลยที่จะใช้ดินดำแทนที่ดินขาวทั้งหมด เนื่องจากหากใช้ดินดำในการขึ้นรูปชิ้นงานเพียงอย่างเดียวจะส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการแตกร้าวหรือโก่งงอ (Warpage) หลังอบแห้ง



รูปที่ 2.6 ผลึกของมุลไลต์ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [17]

### 2.2.2 ฟลักซ์ (Flux)

ฟลักซ์ คือ วัสดุที่ใช้เพื่อลดจุดสุกตัว หรือลดอุณหภูมิการหลอมละลายของผลิตภัณฑ์ วัสดุในกลุ่มนี้จะถูกเติมเข้าไปในเนื้อผลิตภัณฑ์เพื่อลดอุณหภูมิการเผาและเพื่อให้เกิดวัฏภาคของเหลว (Liquid phase) ระหว่างการเผา หลังจากเย็นตัววัฏภาคของเหลวจะอยู่ในรูปของแก้วทำหน้าที่เชื่อมประสานเกรน (Grain) ต่างๆ ภายในเนื้อผลิตภัณฑ์เข้าด้วยกัน เพื่อลดความพรุนของผลิตภัณฑ์ แต่หากใช้ฟลักซ์ในปริมาณมากเกินไปวัฏภาคของเหลวที่เกิดขึ้นในปริมาณมากจะเป็นสาเหตุของการเสียรูปหรือยุบตัวของผลิตภัณฑ์ วัสดุที่มีสมบัติเป็นฟลักซ์มักมีอัลคาไลน์ (Alkalies) อัลคาไลน์เอิร์ธ (Alkaline earth) บอริกออกไซด์ (Boric oxide) ตะกั่วออกไซด์ (Lead oxide) หรือฟลูออรีน (Fluorine) อยู่ในองค์ประกอบ ซึ่งอาจอยู่ในรูปของออกไซด์หรือซิลิเกต (Silicate)

ในทางปฏิบัติแล้วต้นทุนการผลิตนับเป็นปัจจัยหลักที่ต้องพิจารณา สารในกลุ่มของอัลคาไลน์และอัลคาไลน์เอิร์ธบริสุทธิ์เป็นสารที่มีราคาแพงและสามารถละลายน้ำได้ ดังนั้น การนำไปใช้จึงต้องนำไปหลอมให้เป็นแก้วที่เรียกว่า ฟริต (Frit) ก่อน ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต ดังนั้นอุตสาหกรรมเซรามิกโดยส่วนใหญ่จึงนิยมเลือกใช้ฟลักซ์ที่อยู่ในรูปของแร่ธรรมชาติซึ่งมีราคาถูกกว่าและไม่ละลายน้ำ แร่เฟลด์สปาร์หรือบางครั้งเรียกว่าหินฟันม้า เป็นแร่ที่สำคัญมากในงานเซรามิก เนื่องจากเป็นวัสดุหลักที่ทำหน้าที่เป็น ฟลักซ์ในเนื้อผลิตภัณฑ์หรือในเคลือบ (Glaze)

### 2.2.2.1 เฟลด์สปาร์ (Feldspar)

เฟลด์สปาร์เป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญมากในงานเซรามิก เป็นวัตถุดิบที่สามารถหลอมได้ที่อุณหภูมิปานกลาง องค์ประกอบทางเคมีและอุณหภูมิหลอมละลายของเฟลด์สปาร์ที่สำคัญแสดงในตารางที่ 2.1 เฟลด์สปาร์เป็นแร่ที่อยู่ในรูปสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกตของโซเดียม โพแทสเซียม หรือ แคลเซียม แร่เฟลด์สปาร์บริสุทธิ์ที่สำคัญได้แก่ แอลไบต์ (Albite) ออร์โทเคลส (Orthoclase) และอะนอร์ไทต์ (Anorthite) แร่เหล่านี้โดยปกติแล้วจะเกิดร่วมกันตามธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แอลไบต์และอะนอร์ไทต์ และสามารถพบในรูปสารละลายของแข็ง (Solid solution) ในสัดส่วนต่างๆ ในทางกลับกันสารละลายของแข็งระหว่างอะนอร์ไทต์และออร์โทเคลสมักจะเกิดได้น้อยกว่า แร่เฟลด์สปาร์ที่สำคัญที่สุดในงานเซรามิกคือเฟลด์สปาร์ที่เป็นส่วนผสมระหว่างแอลไบต์และออร์โทเคลส โดยเฟลด์สปาร์ดังกล่าวจะถูกแยกคุณภาพตามสัดส่วนของโซเดียมออกไซด์ต่อโพแทสเซียมออกไซด์

ตารางที่ 2.1 เฟลด์สปาร์ที่สำคัญในอุตสาหกรรมเซรามิก

ชื่อ	องค์ประกอบทางเคมี	จุดหลอมตัว (องศาเซลเซียส)
Potash feldspar (Orthoclase)	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	1200-1250
Soda feldspar (Albite)	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	1100-1200
Lithium feldspar (Spodumene)	$Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$	-
Calcium feldspar (Anorthite)	$CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1100-1200
Barium feldspar (Celsian)	$BaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	-

ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยทั่วไปประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง ได้แก่ ดิน (Clay) ควอตซ์ (Quartz) และเฟลด์สปาร์ (Feldspar) ระหว่างกระบวนการเผาผนึก เฟลด์สปาร์จะหลอมตัวเปลี่ยนไปอยู่ในรูปวัฏภาคของเหลวซึ่งจะยึดและเชื่อมติดอนุภาคของดินกับควอตซ์เข้าด้วยกัน แรงตึงผิวของวัฏภาคของเหลวจะดึงอนุภาคของของแข็งเข้ามาหากัน ทำให้กระบวนการเผาผนึกดำเนินไปได้ง่าย ระหว่างการหลอมตัวเฟลด์สปาร์จะละลายอนุภาคของวัตถุดิบตัวอื่น ทำให้เกิดปฏิกิริยาและเกิดวัฏภาคต่างๆ ที่ซับซ้อนขึ้นในเนื้อผลิตภัณฑ์ ในขณะที่เดียวกันวัฏภาคของเหลวเหล่านี้ก็จะกระจายตัวเข้าไปเติมเต็ม รูพรุนในเนื้อผลิตภัณฑ์

ในบางครั้งจะมีการเติมลิเทียมเฟลด์สปาร์ในผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน เนื่องจากลิเทียมเฟลด์สปาร์ จะช่วยลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficient of thermal expansion) ของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้พอร์ซเลนทนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยฉับพลัน (Thermal shock) ได้ดีขึ้น



หากพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของเฟลด์สปาร์จะพบว่า เฟลด์สปาร์เป็นวัตถุดิบที่เป็นเคลือบเซรามิก (Glaze) ตามธรรมชาติ เคลือบบางชนิดใช้เฟลด์สปาร์เป็นวัตถุดิบหลักเกินกว่าร้อยละ 90 ในการนำเฟลด์สปาร์มาใช้ในกระบวนการผลิตนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบและควบคุมสมบัติหลายประการ เช่น องค์ประกอบทางเคมี ขนาดอนุภาคหลังการบดย่อย และจุดหลอมตัว เป็นต้น เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้ส่งผลโดยตรงต่อผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต

#### 2.2.2.2 หินผุ (China stone)

ว่าหินผุ คือ เฟลด์สปาร์ที่แปรสภาพเป็นดินขาวยังไม่สมบูรณ์ เป็นวัตถุดิบที่ประกอบด้วยเฟลด์สปาร์ ดินขาว และควอตซ์ ทำให้หินผุมีความทนไฟมากกว่าเฟลด์สปาร์ และมีช่วงอุณหภูมิการเผา (Firing range) กว้างกว่าเฟลด์สปาร์ ในแหล่งหินผุบางแห่งมีคุณภาพดีและมีสมบัติที่เหมาะสมจนสามารถนำมาเตรียมเป็นเนื้อผลิตภัณฑ์พอร์ซเลนได้โดยไม่ต้องผสมกับวัตถุดิบอื่น

#### 2.2.2.3 เนฟลินไซเอไนต์ (Nepheline Syenite)

เป็นแร่ที่จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับเฟลด์สปาร์ มีสูตรเคมีเป็น  $K_2O \cdot 3Na_2O \cdot 4Al_2O_3 \cdot 9SiO_2$  เป็นวัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นตัวหลอมละลายได้ดีกว่าเฟลด์สปาร์ เนื่องจากมีด่างโซเดียมในปริมาณสูง นอกจากนี้เนฟลินไซเอไนต์ยังช่วยเพิ่มช่วงอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์ให้กว้างขึ้น

#### 2.2.2.4 เถ้าโซดา (Soda ash)

เป็นฟลักซ์ชนิดหนึ่งโดยทั่วไปมีองค์ประกอบทางเคมีเป็น  $Na_2CO_3 \cdot xH_2O$  ซึ่ง x สามารถมีได้หลายค่าเช่น 1, 7 หรือ 10 วัตถุดิบนี้เป็นแหล่งปฐมภูมิ (Primary source) ของโซเดียมออกไซด์ ( $Na_2O$ ) ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตกระจกหรือแก้วชนิดต่างๆ

#### 2.2.2.5 บอแรกซ์ (Borax)

มีสูตรเคมีเป็น  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$  วัตถุดิบชนิดนี้ประกอบด้วยฟลักซ์สองชนิดคือ โซเดียม-ออกไซด์ และบอริกออกไซด์ ( $B_2O_3$ ) จึงทำให้บอแรกซ์เป็นฟลักซ์ที่รุนแรง การใช้งานหลักๆ ของวัตถุดิบชนิดนี้จะถูกใช้ในอุตสาหกรรมแก้ว เคลือบ หรืออีนาเมล

#### 2.2.2.6 ตะกั่วออกไซด์ (Lead oxide)

ถูกใช้เป็นฟลักซ์ในเคลือบ อีนาเมล และ ใช้ในการผลิตแก้วคริสตัล (Crystal glass) ตะกั่วออกไซด์ที่สำคัญในงานเซรามิกประกอบด้วย ตะกั่วเหลือง (Litharge,  $PbO$ ) ตะกั่วแดง (Red lead,  $Pb_3O_4$ ) และตะกั่วขาว (White lead,  $2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$ ) วัตถุดิบเหล่านี้ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีและเป็นวัตถุดิบที่ถูกควบคุมการใช้งานเนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่เป็นพิษ

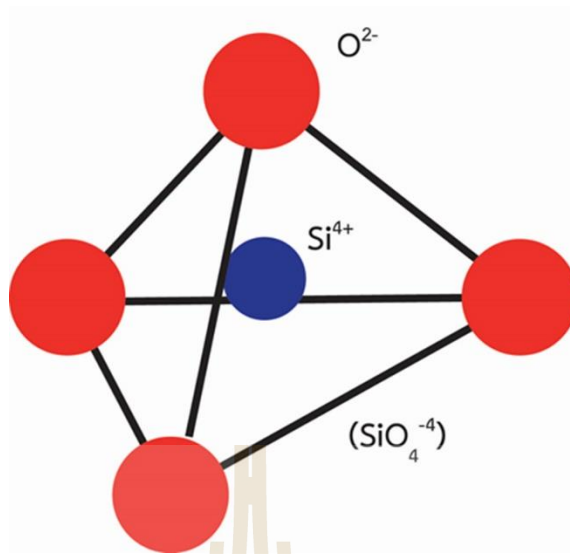
### 2.2.2.7 เถ้ากระดูก (Bone ash)

ได้จากการเผากระดูกวัวหรือควายที่อุณหภูมิประมาณ 800-1000°C กระดูกม้าหรือหมู ไม่นิยมนำมาผลิตเถ้ากระดูกเนื่องจากมีปริมาณของเหล็กปนสูง เถ้ากระดูกเป็นฟลักซ์ที่รุนแรงหลอม เกิดแก้วได้ง่ายทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อโปร่งแสง จะถูกใช้ร่วมกับเฟลด์สปาร์ในผลิตภัณฑ์ประเภท โบนีนา

### 2.2.3 วัตถุดิบที่ทำหน้าที่ทนไฟ

ผลิตภัณฑ์เซรามิกสมัยเก่าโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยวัตถุดิบหลัก 3 อย่าง ได้แก่ ดิน เฟลด์สปาร์ และทรายหรือควอตซ์ ดินทำหน้าที่ให้ความเหนียวสำหรับขึ้นรูป เฟลด์สปาร์ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิการเผา วัตถุดิบตัวสุดท้ายทำหน้าที่เพิ่มความทนไฟให้กับผลิตภัณฑ์ เพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์ยุบตัว บิดเบี้ยว หรือเสียรูปหลังการเผา

ซิลิกอน (Silicon, Si) เป็นธาตุที่พบมากที่สุดบนผิวโลก แต่โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ ออกไซด์ ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่า ซิลิกา (Silica, SiO<sub>2</sub>) และหากอยู่ในรูปของออกไซด์และองค์ประกอบ อื่นๆ จะเรียกว่า ซิลิเกต (Silicate) ตัวอย่างเช่น แคลเซียมซิลิเกต (Calcium Silicate, Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) เป็นต้น ซิลิกาที่อยู่ในรูปของแร่ควอตซ์หรือทราย เป็นวัตถุดิบที่ถูกใช้มากในงานเซรามิก เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้สำหรับผลิตแก้ว เป็นส่วนประกอบหลักในเคลือบเซรามิกและอีนาเมล รวมไปถึงเป็นส่วนประกอบของเนื้อผลิตภัณฑ์พอร์ซเลนด้วย ซิลิกาถูกใช้ในปริมาณมหาศาลในอุตสาหกรรมแก้ว วัตถุดิบเหล่านี้ ได้มาจากทรายที่มีความบริสุทธิ์ นอกจากนี้ซิลิกายังเป็นวัตถุดิบที่ให้ความแข็งแรงและความคงทนกับเนื้อผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน ซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูงและมีลักษณะเป็นเม็ดหยาบจะถูกนำไปขึ้นรูปเพื่อใช้เป็นวัสดุทนไฟที่สามารถทนต่อการกัดกร่อนจากสภาวะความเป็นกรดได้ดี ซิลิกาเป็นสารที่มีโครงสร้างหลายรูปแบบ (Polymorphic) แม้จะมีสูตรเคมีที่เขียนเหมือนกัน แต่มีการจัดเรียงอะตอม ในโครงสร้างที่แตกต่างกัน โครงสร้างผลึกของซิลิกามีสามโครงสร้างหลัก ประกอบด้วย ควอตซ์ (Quartz) ทริไคไมท์ (Tridymite) และคริสโตบาไลท์ (Cristobalite) ซึ่งทุกตัวมีสูตรทางเคมีเป็น SiO<sub>2</sub> เหมือนกัน แต่มีโครงสร้างอะตอมที่ต่างกัน พันธะระหว่าง Si-O เป็นโครงสร้างพื้นฐานของซิลิกา แต่ละไอออนของ Si<sup>4+</sup> ในซิลิกาจะถูกล้อมรอบด้วยออกซิเจน 4 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งลักษณะของออกซิเจนที่เรียงตัวกันเป็นรูปพีระมิดฐานสามเหลี่ยมเรียกว่า โครงสร้างแบบเตตระฮีดรอน (Tetrahedron) ซึ่งโครงสร้างของซิลิกาจะมีความแตกต่างกันที่รูปแบบการยึดติดกันระหว่างหน่วยพื้นฐานของเตตระฮีดรอน

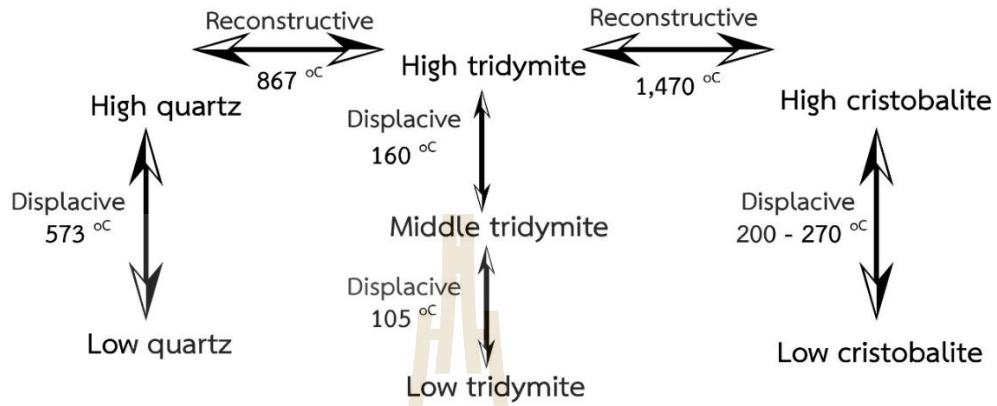


รูปที่ 2.8 โครงสร้างพื้นฐานของซิลิกาแต่ละไอออนของ  $\text{Si}^{4+}$  จะถูกล้อมรอบด้วยไอออนของ  $\text{O}^{2-}$  4 ตัว [6]

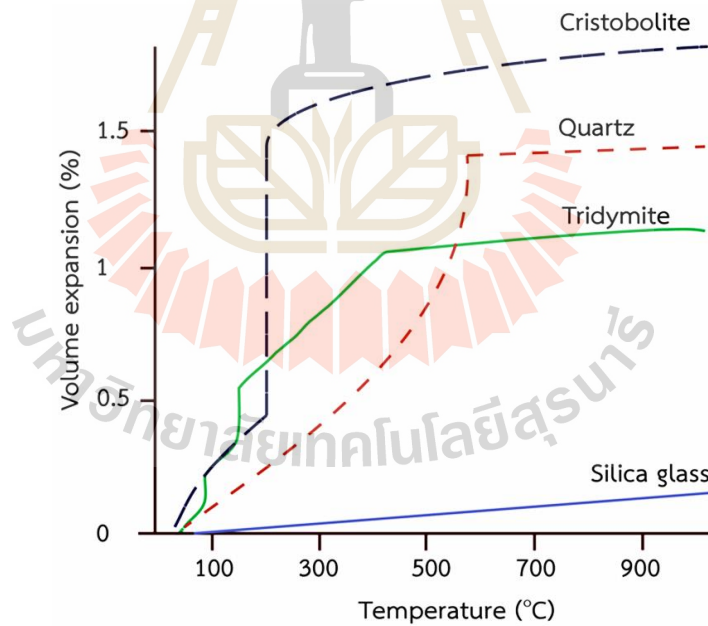
การเปลี่ยนโครงสร้างผลึกของซิลิกามี 2 รูปแบบได้แก่ การเปลี่ยนแปลงแบบคอนเวอร์ชัน (Conversions) และการเปลี่ยนแปลงแบบอินเวอร์ชัน (Inversion)

การเปลี่ยนแปลงแบบคอนเวอร์ชันเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากควอตซ์เป็นทริไคไมท์ และคริสโตบาไลท์ ที่อุณหภูมิประมาณ  $867^{\circ}\text{C}$  และที่อุณหภูมิที่สูงกว่า  $1470^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงที่อะตอมมีการเคลื่อนที่มาก มีการแยกและสร้างพันธะใหม่ เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ และมีผลต่อการเผาผลิภัณฑ์น้อย ในทางตรงกันข้าม การเปลี่ยนแปลงแบบอินเวอร์ชันเป็นการเปลี่ยนแปลงจากโครงสร้างที่เสถียรที่อุณหภูมิต่ำ (Low-temperature form,  $\alpha$ -form) ไปเป็นโครงสร้างที่เสถียรที่อุณหภูมิสูง (High-temperature form,  $\beta$ -form) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างแบบอินเวอร์ชันเป็นกระบวนการที่อะตอมมีการเคลื่อนที่น้อย ส่วนใหญ่เป็นการหมุนเปลี่ยนมุมของอะตอมในโครงสร้างทำให้ระบบสมมาตร (Symmetries) ของโครงสร้างผลึกเปลี่ยนไป การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลต่อการเผาผลิภัณฑ์เป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและส่งผลให้เกิดความเค้นขึ้นในเนื้อผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการเผาผลึก รูปที่ 2.10 แสดงปริมาณของซิลิกาที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการเปลี่ยนโครงสร้าง ณ อุณหภูมิต่างๆ จากภาพพบว่าที่อุณหภูมิประมาณ  $573^{\circ}\text{C}$  ควอตซ์เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างจากแอลฟาควอตซ์ ( $\alpha$ -quartz) ไปเป็นเบตาควอตซ์ ( $\beta$ -quartz) ทำให้ปริมาตรของควอตซ์เปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน ส่งผลให้เกิดความเค้นขึ้นในชิ้นงาน ความเค้นที่เกิดขึ้นนี้มักเป็นสาเหตุของการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเย็นตัว (Cooling) รูปที่ 2.10 ยังแสดงให้เห็นว่านอกจากควอตซ์แล้วยังมีคริสโตบาไลท์ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างรวดเร็วที่

อุณหภูมิประมาณ 220°C แต่ผลึกของคริสโตบาไลต์มีขนาดเล็กและมักจะถูกผลึกไว้ในวัฏภาคของเหลวซึ่งเกิดจากการหลอมตัวของวัตถุดิบในกลุ่มฟลักซ์ จึงทำให้คริสโตบาไลต์มีผลต่อการแตกของชิ้นงานน้อยมากเมื่อเทียบกับควอตซ์



รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของซิลิกา ณ อุณหภูมิต่างๆ แนวนอนแสดงการเปลี่ยนแปลงแบบคอนเวอชัน แนวตั้งแสดงการเปลี่ยนแปลงแบบอินเวอชัน [19]



รูปที่ 2.10 ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของซิลิกา [19]

เนื่องจากซิลิกามีโครงสร้างผลึกที่สมบูรณ์ส่งผลให้มีสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ เช่น สามารถทนการกัดกร่อนทางเคมีได้ดี ยกเว้นกรดกัดแก้วหรือกรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric, HF) ซึ่งเป็นกรดไม่กี่ชนิดที่สามารถกัดกร่อนซิลิกาได้ นอกจากนี้สมบัติอีกอย่างหนึ่งที่น่าสนใจคือ เมื่อซิลิกา

ถูกให้อุณหภูมิที่สูงมากจนหน่วยย่อยเกิดการแยกออกจากกัน และหากถูกทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว อะตอมจะเรียงตัวกลับไปอยู่ในรูปผลึกที่มีระเบียบได้ยาก ทำให้เกิดโครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบส่งผลให้ซิลิกาที่ได้โปร่งใสเรียกว่า “แก้ว (Glass)” แก้วที่ผลิตจากการหลอมควอตซ์บริสุทธิ์เรียกว่า ฟิวส์ควอตซ์ (Fused quartz) เป็นแก้วชนิดพิเศษที่มีการขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำมากประมาณ  $0.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  และทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ดีมาก นิยมนำไปใช้ผลิตเป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ในห้องปฏิบัติการและชิ้นส่วนเครื่องมือต่างๆ

ด้วยเหตุผลที่ซิลิกามีสมบัติที่โดดเด่นหลายด้าน เช่น มีจุดหลอมเหลวสูง มีความแข็งแรงสูง เป็นสารทำให้เกิดแก้ว (Glass former) มีสมบัติเป็นสารไพโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) ทนต่อการกัดกร่อนทางเคมีได้ดี จึงทำให้ซิลิกาถูกนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เช่น ใช้ผลิตกระจกและผลิตภัณฑ์แก้วต่างๆ เป็นแหล่งของโลหะซิลิคอนซึ่งถูกนำไปใช้ผลิตเป็นสารกึ่งตัวนำ นำไปผลิตเป็นวัสดุขัดถู (Abrasive) นำไปผลิตเป็นวัสดุไพโซอิเล็กทริก อย่างไรก็ตามการใช้ซิลิกาต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากเศษฝุ่นผงของซิลิกาหากเข้าไปสะสมอยู่ในร่างกายจะเป็นสาเหตุของโรคซิลิโคซิส (Silicosis) ซึ่งเป็นอันตรายถึงชีวิต

โรคซิลิโคซิส คือ โรคปอดฝุ่นหินทรายที่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นละอองเล็กๆ ของผลึกซิลิกาบริสุทธิ์เข้าไปในปอดและเกิดการสะสมของฝุ่นดังกล่าว ทำให้เนื้อเยื่อปอดเกิดปฏิกิริยาตอบสนอง เกิดเป็นเนื้อเยื่อพังผืดในปอดทั้ง 2 ข้าง ส่งผลให้มีอาการหายใจหอบ เหนื่อยง่าย การตรวจเอกซเรย์จะช่วยให้เห็นลักษณะเฉพาะของโรคนี้ ผู้ที่เป็นโรคนี้นักจะป่วยเป็นวัณโรคปอดได้ง่ายกว่าคนทั่วไป ระยะเวลาในการก่อตัวจนเกิดอาการของโรคอยู่ในช่วงเวลาน้อยกว่า 3-5 ปี

### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หมู่บ้านด่านเกวียน ประสบปัญหาสินค้าราคาตกต่ำมาช้านาน ที่ผ่านมามีนักวิจัยหลายกลุ่มทำการศึกษาเพื่อพัฒนาและปรับปรุงเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนให้มีรูปแบบแตกต่างไปจากเดิม อนุรัตน์ ภูวานคำ ได้ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาดินด่านเกวียนให้เหมาะสมกับการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์กระเบื้องปูพื้นและกระเบื้องบุผนัง จากการทดลองพบว่าด้วยการเติมเฟลด์สปาร์ (Feldspar) เข้าไปในดินด่านเกวียนเพียงอย่างเดียว สมบัติหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 °C ของดินด่านเกวียนเหมาะกับการนำไปผลิตเป็นกระเบื้องปูพื้น และเมื่อเติมเฟลด์สปาร์ร่วมกับควอตซ์ (Quartz) สมบัติหลังเผาของดินด่านเกวียน เหมาะกับการนำไปผลิตเป็นกระเบื้องบุผนัง [20] S. Rattanachan ได้พยายามปรับปรุงดินด่านเกวียนให้มีสมบัติที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบ (Slip casting) พบว่าด้วยการเติมดินขาวระนองและควอตซ์ในดินด่านเกวียน สามารถปรับปรุงสมบัติของดินด่านเกวียนให้เหมาะสมกับการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบได้ [21] เต็น รักษ์อ่อนและคณะ ได้พัฒนาเนื้อดินปั้นด่านเกวียนโดยการเติมบอแรกซ์ พบว่าดินด่านเกวียนหลังเผามีลักษณะพิเศษคือมีเนื้อดินที่ขาวขึ้นและเนื้อดินมีความเงางาม

ในตัว นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมดินเชื้อเข้าไปในดินดานเกวียนส่งผลให้การแตกร้าวเนื่องจากการอบแห้งและการเผาผลาญ และการเติมโดโลไมต์ร่วมกับดินเชื้อส่งผลให้ดินดานเกวียนมีความขวมมากขึ้น [22] สุธรรม ศรีหล่มสักและคณะ ได้พัฒนาส่วนผสมและเคลือบอุณหภูมิสำหรับพัฒนาเครื่องปั้นดินเผาดานเกวียนเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมสโตนแวร์ โดยการเติมวัตถุดิบที่หลอมตัวได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำเช่น โซดาแอช ฟрит และซีเถ้า เป็นต้น ลงไปในดินดานเกวียน ผลการทดลองพบว่าเคลือบที่ได้สุกตัวที่อุณหภูมิ 1000 °C และมีลักษณะที่หลากหลายเช่น เคลือบใส เคลือบทึบ เคลือบสีขาวขุ่น เคลือบสีเหลือง เคลือบมัน และ เคลือบด้าน เป็นต้น [23] นอกจากนี้ สุธรรม ศรีหล่มสักและคณะ ยังได้พัฒนาเนื้อดินปั้นดานเกวียนให้มีเคลือบในตัว โดยการเติมโซดาแอช ฟрит และ ทัลคัม ลงไปในดินดานเกวียน พบว่าหลังการเผาชิ้นงาน ผิวของดินดานเกวียนมีความมันวาวคล้ายกับมีเคลือบมาปกปิดที่ผิว [24] สุธรรม ศรีหล่มสักและคณะ ยังได้พัฒนาเคลือบซีเถ้าไม้อายุคาลิปต์สำหรับเคลือบลงบนผลิตภัณฑ์ดานเกวียน ผลการทดลองพบว่าเคลือบดังกล่าวสามารถใช้งานได้ดีกับผลิตภัณฑ์ดานเกวียน [25] นอกจากนี้การพัฒนาเคลือบซีเถ้าสำหรับผลิตภัณฑ์ดานเกวียนแล้ว สุธรรม ศรีหล่มสักและคณะ ยังได้ทดลองนำเคลือบสีลาดซึ่งเป็นเคลือบที่มีลักษณะเฉพาะของจังหวัดเชียงใหม่ มาทดลองเคลือบลงบนผลิตภัณฑ์ดานเกวียน พบว่าภายหลังจากเผา จากเดิมที่เคลือบควรมีสีเขียวแต่กลับได้มีลักษณะที่พิเศษที่แตกต่างออกไปจากเคลือบสีลาดปกติ ซึ่งลักษณะเคลือบที่ได้มีสีดำลายน้ำตาลซึ่งมีความสวยงามสะดุดตาเป็นพิเศษ [26] เเด่น รักซ้อน และ วุชรินทร์ แซ่เตย ได้ทดลองนำเคลือบอุณหภูมิต่ำซึ่งมีส่วนผสมของ ฟрит บอแรกซ์ ควอตซ์ โซดาแอช และดินขาว พร้อมทั้งผสมสารให้สีที่อยู่ในรูปของออกไซด์และสีสำเร็จรูป เคลือบลงบนผลิตภัณฑ์ดานเกวียน ผลการทดลองพบว่าเคลือบที่ได้สามารถยึดติดกับดินดานเกวียนได้ดีไม่หลุดร่วงขณะเผา สามารถเคลือบลงบนผลิตภัณฑ์ดานเกวียนโดยการทาหรือชุบเคลือบได้เป็นอย่างดี หลังเผาเคลือบให้ความเงางาม ปกปิดผิวได้ดี และให้สีสันทที่สวยงาม [27]

แม้จะมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาของชุมชนดานเกวียนหลายชิ้น แต่งานวิจัยเกือบทั้งหมดเน้นการปรับปรุงเนื้อดินและเคลือบเพื่อการผลิตเครื่องปั้นดินเผาเพียงอย่างเดียว ทำให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์ดานเกวียนที่ผ่านมาไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร เนื่องจากตลาดกระจายสินค้ายังคงเป็นตลาดเดิม จึงไม่สามารถเพิ่มการกระจายสินค้าและมูลค่าของผลิตภัณฑ์

งานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาดินดานเกวียนเพื่อนำไปใช้ผลิตเป็นเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร เพื่อเป็นการขยายตลาดกระจายสินค้า เพื่อเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ดานเกวียน และ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันให้กับชุมชนดานเกวียน

### บทที่ 3

## วัสดุและวิธีการทดลอง

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์การทดลอง

เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการวิจัยแสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

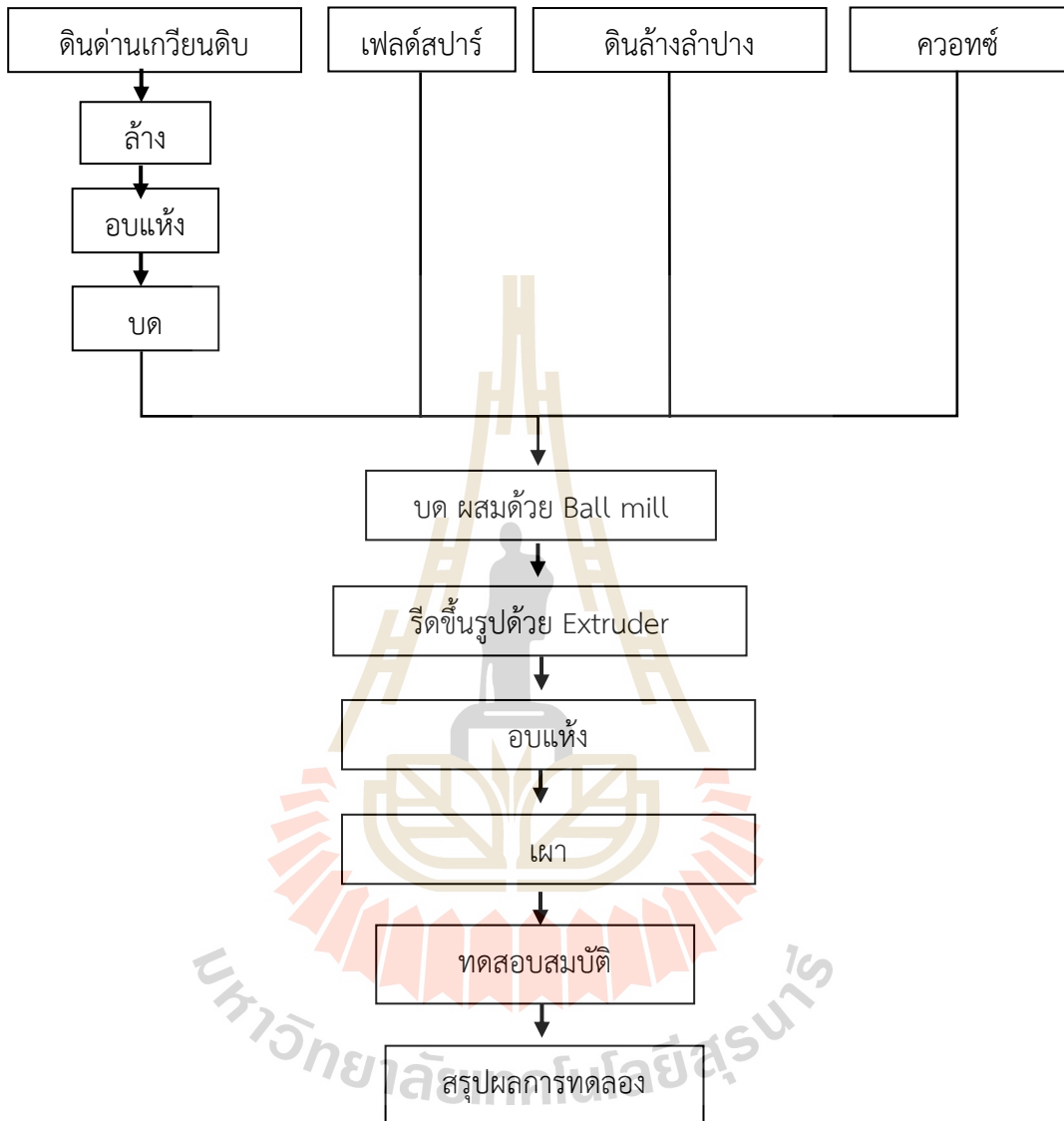
อุปกรณ์	ผู้ผลิต	แบบ/รุ่น
High Temperature Furnace (1600°C)	Labquip	Vecstar/VF2
Universal Testing Machine	Instron	5565
X-Ray Diffractometer (XRD)	Bruker	D5005
Electronic Balance	Denver Instrument	TC-254
X-ray fluorescence (XRF)	Horiba	XGT-5200

ตารางที่ 3.2 แสดงวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุ	แหล่งวัสดุ	รายละเอียดวัสดุ
ดินด่านเกวียน	หมู่บ้านด่านเกวียน จังหวัดนครราชสีมา	เป็นดินปั้นด่านเกวียนที่ผู้ประกอบการ ใช้สำหรับปั้นผลิตภัณฑ์ทั่วไป วัสดุนี้จะ ถูกอบแห้ง บด และนำไปร่อนผ่าน ตะแกรงเบอร์ 60 mesh ก่อนนำไปใช้ งาน
เฟลด์สปาร์ (K-feldspar)	บริษัท Sibelco mineral (Thailand) จำกัด	เป็นโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ วัสดุนี้จะ ถูกนำไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 120 mesh ก่อนนำไปใช้งาน
ทราย (Quartz)	บริษัท Sibelco mineral (Thailand) จำกัด	วัสดุนี้จะถูกนำไปร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ 120 mesh ก่อนนำไปใช้งาน
ดินล้าลำปาง	-	-

### 3.2 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองแสดงในภาพที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

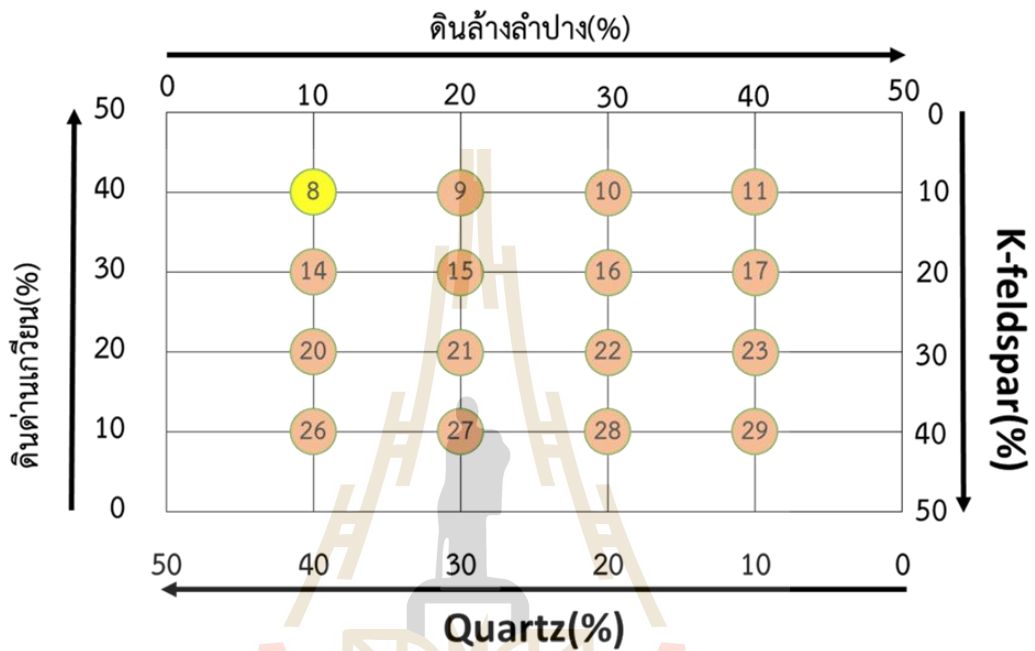


ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนดำเนินงานวิจัย



### 3.2.1 การออกแบบการทดลอง

ส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองนี้ถูกออกแบบจากแผนภูมิสี่เหลี่ยม ดังแสดงในภาพที่ 3.2 และส่วนผสมที่ได้จากการอ่านค่าในภาพที่ 3.2 ทั้งหมดถูกแสดงไว้ในตารางที่ 3.3



ภาพที่ 3.2 แสดงส่วนผสมตามตารางสี่เหลี่ยมที่ประกอบด้วยดินดานเกวียน เฟลด์สปาร์ ดินล้างลำปาง และ ควอทซ์

ตารางที่ 3.3 แสดงส่วนผสมทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง

ตำแหน่งหมายเลข	ปริมาณวัตถุดิบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	ดินดานเกวียน	ดินล้างลำปาง	เฟลด์สปาร์	ควอทซ์
8	40	10	10	40
9	40	20	10	30
10	40	30	10	20
11	40	40	10	10
14	30	10	20	40
15	30	20	20	30
16	30	30	20	20
17	30	40	20	10

ตารางที่ 3.3 ต่อ

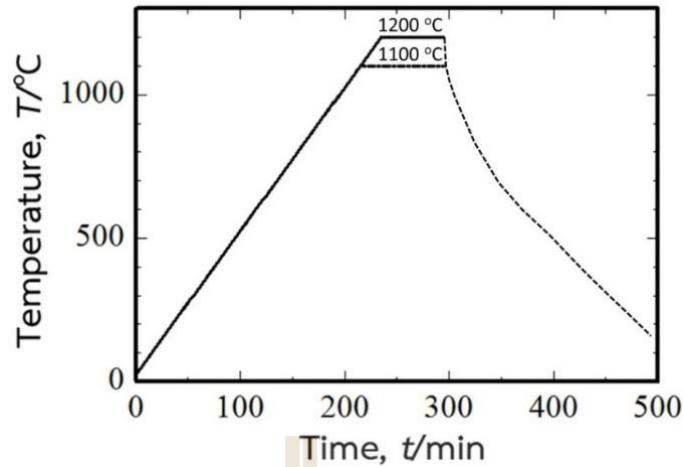
ตำแหน่งหมายเลข	ปริมาณวัตถุดิบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	ดินด้านเกวียน	ดินล้าปาง	เฟลด์สปาร์	ควอทซ์
20	20	10	30	40
21	20	20	30	30
22	20	30	30	20
23	20	40	30	10
26	10	10	40	40
27	10	20	40	30
28	10	30	40	20
29	10	40	40	10

### 3.2.2 การเตรียมและการผสมวัตถุดิบ

1. ผสมดินด้านเกวียน 2 กิโลกรัม กับน้ำเปล่า 2 ลิตรให้เข้ากันก่อนนำไปผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เมช
2. นำน้ำดินด้านเกวียนที่ผ่านการล้างแล้ว เข้าอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท
3. นำดินที่แห้งสนิทก่อนไปบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 60 เมช
4. บดผสมส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 3.3 ด้วยบอลมิลล์ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อบดเสร็จแล้วนำน้ำดินที่ได้ ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 120 เมช
5. นำดินที่ได้ไปอบแห้งจนสามารถนวดได้ ทำการนวดด้วยมือเพื่อไล่ฟองอากาศได้ก่อนนำไปขึ้นรูปด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน

### 3.2.3 การเผาชิ้นงาน

ชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปจากข้อที่ 3.2.2 จะถูกนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1200 °C หรือ 1100 °C ด้วยเตาไฟฟ้า โดยมีอัตราการให้ความร้อน 5 °C ต่อนาที และเผาแช่ 2 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 3.3 แสดงโปรแกรมการเผาเนื้อดินด้านเกวียนที่ 1200 °C และ 1100 °C

### 3.2.4 การวัดการหดตัวหลังเผา และการตัดชิ้นงานเพื่อทดสอบความแข็งแรง การดูดซึมน้ำหลังเผา และ ปริมาณรูพรุน

ชิ้นงานที่ผ่านการเผาจากข้อ 3.2.3 แล้วจะถูกนำไปวัดขนาดหลังเผาเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังเผา ( $L_{fs}$  (%)) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$L_{fs} (\%) = \frac{L_d - L_f}{L_f} \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ  $L_d$  และ  $L_f$  คือ ขนาดก่อนเผา และ ขนาดหลังเผาตามลำดับ

### 3.2.5 การทดสอบเพื่อหาปริมาณรูพรุนและการดูดซึมน้ำหลังเผา

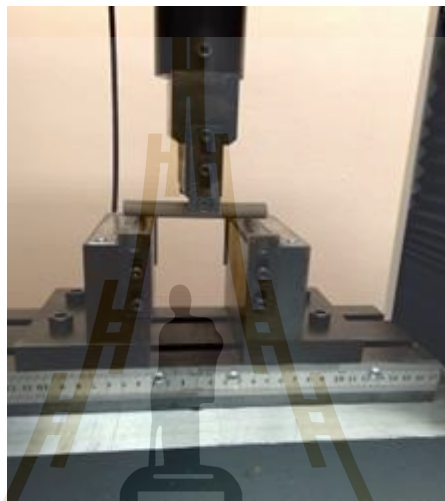
การทดสอบการดูดซึมน้ำ และ ปริมาณรูพรุนหลังเผาจะดำเนินการตามมาตรฐาน ISO 10545-3 โดยนำชิ้นงานที่ได้จากข้อที่ 3.2.4 ไปใส่ภาชนะที่บรรจุน้ำอยู่ โดยห้ามให้ชิ้นงานสัมผัสกับภาชนะ และ ชิ้นงานต้องจมอยู่ในน้ำอย่างน้อย 5 เซนติเมตรจากระดับผิวน้ำตลอดเวลาที่ทำการทดสอบ เปิดเครื่องทดสอบสุญญากาศจนได้แรงดูด  $100 \pm 1$  กิโลปาสคาลทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นปรับความดัน เป็นปกติ และแช่กระเบื้องอยู่ในน้ำในเครื่องทดสอบอีก 15 นาทีก่อนนำไปหาน้ำหนักอิ่มตัวด้วยน้ำ ( $W_{sat}$ ) น้ำหนักแขวนลอยในน้ำ ( $W_{sus}$ ) จากนั้นนำชิ้นงานไปอบที่อุณหภูมิ  $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  ซึ่งน้ำหนักจนกระทั่งน้ำหนักไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง บันทึกเป็นน้ำหนักแห้ง ( $W_d$ ) นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณรูพรุน ( $P$  (%)) และการดูดซึมน้ำหลังเผา ( $W_o$  (%)) ดังสมการที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

$$P (\%) = \frac{W_{sat} - W_d}{W_{sat} - W_{sus}} \times 100 \quad (3.2)$$

$$w_a(\%) = \frac{w_{sat} - w_d}{w_d} \times 100 \quad (3.3)$$

### 3.2.6 การทดสอบเพื่อหาความแข็งแรง (Flexural strength, MOR) หลังเผา

การทดสอบความแข็งแรงของเนื้อผลิตภัณฑ์จะดำเนินการทดสอบตามวิธีที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ISO10545-4 โดยนำชิ้นงานที่ได้จากข้อที่ 3.2.4 ไปทำความสะอาดแล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ  $110 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  นำชิ้นงานไปวางบนเครื่องทดสอบโดยมีลักษณะการวางชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 แสดงการจัดวางชิ้นงานก่อนการทดสอบความแข็งแรง

ให้แรงกดบนชิ้นงานด้วยอัตราเร็วที่ทำให้ความเค้นของของชิ้นงานเพิ่มขึ้นในอัตรา  $1 \pm 0.2$  นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที จนชิ้นงานหัก ค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน ( $\sigma$ ) คำนวณได้จากสมการที่ 3.4

$$\sigma = \frac{8FL}{\pi d^3} \quad (3.4)$$

เมื่อ

F คือแรงกดที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหัก (นิวตัน)

L คือ ระยะห่างของแท่งรอง การทดลองนี้ทุกตัวอย่างถูกตั้งค้ำระยะห่างเท่ากับ 20 มิลลิเมตร

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

### 3.2.7 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินดำนเกวียน

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี อาศัยหลักการที่รังสีเอ็กซ์ไปกระทบ ทำให้ตัวอย่างเกิดการปล่อยโฟตอน ที่ความยาวคลื่นเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด

เครื่องมือ : X-ray fluorescence (XRF) ดังแสดงในรูปที่ 3.5

ผู้ผลิต : HORIBA

รุ่น : XGT-5200



รูปที่ 3.5 แสดงเครื่อง X-ray fluorescence (XRF)

วิธีการทดสอบ

1. เติมน้ำตัวอย่างลงในอุปกรณ์ใส่ผงตัวอย่าง (Sample holder) ให้เต็มช่อง
2. นำอุปกรณ์ใส่ผงตัวอย่างใส่เข้าที่วางในเครื่อง XRF
3. ควบคุมการทดสอบโดยคอมพิวเตอร์
4. บันทึกผลการทดลอง แล้วนำไปวิเคราะห์ต่อไป

### 3.2.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเฟสของดินดำนเกวียน

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเฟส อาศัยหลักการการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD) โดยรังสีเอ็กซ์เกิดการเลี้ยวเบนเมื่อกระทบกับผลึก การเลี้ยวเบนในช่วงมุมตกกระทบ จะเป็นรูปแบบเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิด

เครื่องมือ : X-ray diffractometer (XRD) ดังแสดงในรูปที่ 3.6

ผู้ผลิต : BRUKER

รุ่น : D2



รูปที่ 3.6 แสดงเครื่อง X-ray diffractometer (XRD)

#### วิธีการทดสอบ

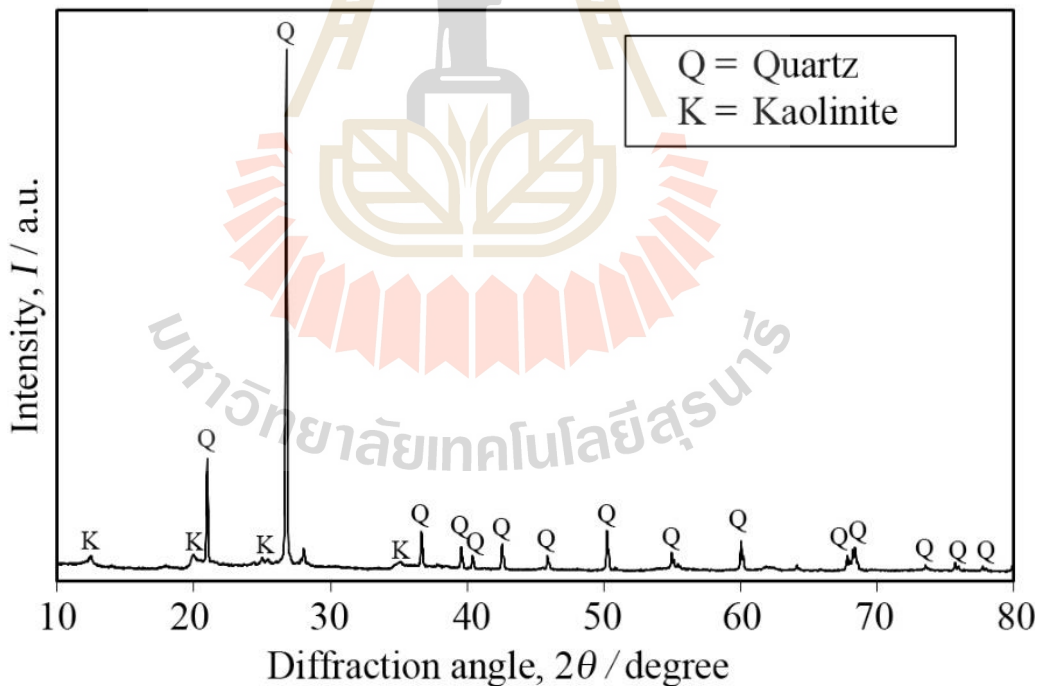
1. เติมนมตัวอย่างลงในช่องว่างของอุปกรณ์ใส่ผงตัวอย่างให้เต็มช่อง
2. ใช้แผ่นกระจกกดค้ำผงตัวอย่างในอุปกรณ์ใส่ตัวอย่างให้แน่นและเรียบ
3. นำอุปกรณ์ใส่ตัวอย่างประกอบเข้าชุดแล้วนำเข้าเครื่องตรวจวิเคราะห์
4. ทำการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบทางเฟส โดยมีรายละเอียดสภาวะที่ใช้ในการทดสอบดังนี้ Generator tension= 30 KV, Generator current= 10 mA, Start angle = 5 degree, End angle = 80 degree, Time per step = 0.2 s, Step size = 0.01 degree

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินด่านเกวียน

XRD แพทเทิร์นของดินด่านเกวียนแสดงในภาพที่ 4.1 พบว่าพีค (peak) หลักเป็นพีคของทราย และมีพีคขนาดเล็กของแร่เคโอลิไนท์ปรากฏอยู่ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินด่านเกวียนด้วยเครื่อง XRF แสดงในตารางที่ 4.1 สารประกอบหลักในดินด่านเกวียนประกอบด้วยซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) อะลูมินา ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) และ เหล็ก ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ในปริมาณร้อยละ 72.95, 18.76 และ 4.72 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD และ XRF แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่ของดินด่านเกวียนประกอบไปด้วยทรายเป็นหลัก และมีแร่เคโอลิไนท์ปนอยู่ในปริมาณเล็กน้อย



ภาพที่ 4.1 แสดง XRD แพทเทิร์นของดินด่านเกวียน มีพีคของทรายเป็นพีคหลัก และมีพีคขนาดเล็กของเคโอลิไนท์ปนอยู่

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินด่านเกวียนด้วยเครื่อง XRF

สารประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
SiO <sub>2</sub>	72.95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.76
K <sub>2</sub> O	1.02
CaO	0.38
MgO	1.19
TiO <sub>2</sub>	0.84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.72
อื่นๆ (ได้แก่ MnO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> และ CuO)	0.14

#### 4.2 ผลการทดสอบการหลอมละลายของดินด่านเกวียน เฟลด์สปาร์ ดินขาว และควอตซ์ หลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °C





ผลการทดสอบการหลอมละลายของวัตถุดิบหลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °C แสดงในตารางที่ 4.2 เฟลด์สปาร์เกิดการหลอมตัวเมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1200 °C ความสูงของกรวยเฟลด์สปาร์และดินด่านเกวียนลดลง ในขณะที่วัตถุดิบอื่น ความสูงของกรวยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4.2 แสดงการหลอมละลายของวัตถุดิบหลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

วัตถุดิบ	ลักษณะก่อนเผา	ลักษณะหลังเผา
ดินด่านเกวียน		
โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์		



ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

วัตถุดิบ	ลักษณะก่อนเผา	ลักษณะหลังเผา
ดินล้า ลำปาง		
ควอทซ์		

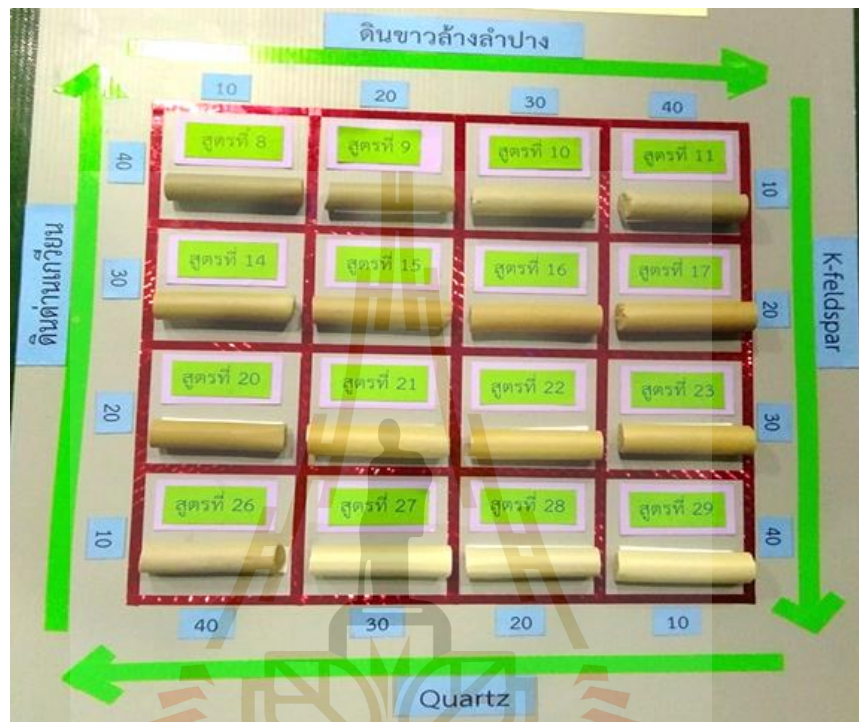
#### 4.3 ผลของเฟลด์สปาร์ ควอทซ์ และดินขาวลำปางต่อสีหลังเผาของดินด่านเกวียน

ภายหลังการเผาสีของวัตถุดิบต่างๆ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงภาพที่ 4.2 แสดงสีของวัตถุดิบแต่ละชนิดหลังผ่านการเผาที่ 1200 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง วัตถุดิบทั้งหมดให้สีขาวยกเว้นดินด่านเกวียน และดินล้าลำปางที่หลังเผาแล้วได้สีส้มและสีคล้ำตามลำดับ



ภาพที่ 4.2 แสดงสีของวัตถุดิบหลังเผาที่ 1200 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เมื่อผสมวัตถุดิบกับดินด้านเกวียนในสัดส่วนต่างๆ พบว่าภายหลังการเผาเนื้อดินมีสีขาวย สีคล้ำ และสีเทา ดังแสดงในภาพที่ 4.3 โดยดินขาวลำปางและเฟลด์สปาร์มีอิทธิพลต่อสีของดินด้านเกวียนหลังเผาอย่างมีนัยยะ เมื่อปริมาณดินลำปางและเฟลด์สปาร์เพิ่มขึ้นส่งผลให้สีของเนื้อดินมีความขาวมากขึ้น

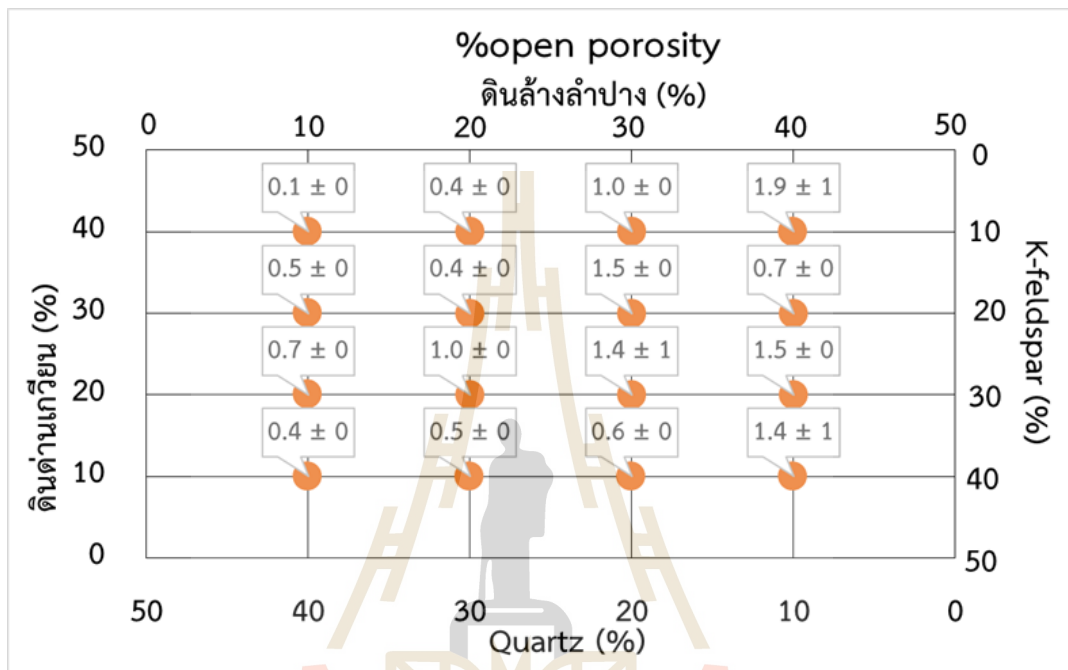


ภาพที่ 4.3 แสดงสีหลังเผาของเนื้อดินด้านเกวียนที่ผสมกับวัตถุดิบอื่น ในสัดส่วนต่างๆ

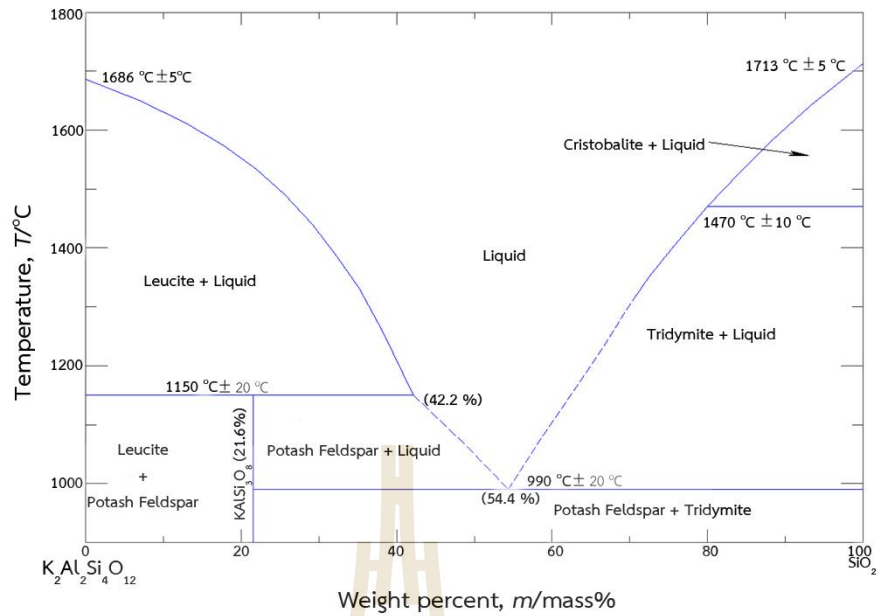
#### 4.4 ผลของเฟลด์สปาร์ ดินขาวและทรายต่อปริมาณรูพรุนและการดูดซึมน้ำของเนื้อดินด้านเกวียน

การดูดซึมน้ำเป็นสมบัติพื้นฐานที่ต้องพิจารณาสำหรับเนื้อดินที่จะนำไปใช้ในการผลิตเป็นเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร โดยการดูดซึมน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณรูพรุนเปิด (Open pore) ในชิ้นงานหลังเผา และยังส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของชิ้นงานหลังเผาด้วย ภาพที่ 4.4 แสดงปริมาณรูพรุนของชิ้นงานหลังผ่านการเผาที่ 1200 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณรูพรุนของทุกตัวอย่างมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 2 เฟลด์สปาร์มีผลในการลดปริมาณรูพรุนของชิ้นงาน ในขณะที่ดินขาวส่งผลให้รูพรุนในชิ้นงานมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณควอทซ์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณรูพรุนของดินด้านเกวียนลดลง แม้โดยทั่วไปแล้วควอทซ์จัดเป็นวัสดุทนไฟและมีผลให้จุดสุกตัวของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามภาพที่ 4.5 ซึ่งแสดงเฟสไดอะแกรมระหว่าง

ควอทซ์และโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์แสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณควอทซ์เพิ่มขึ้นปฏิกิริยาระหว่างควอทซ์และเฟลด์สปาร์มีแนวโน้มเข้าใกล้จุดยูเทกติก (Eutectic) มากขึ้น ทำให้จุดหลอมตัวของวัสดุลดลงและส่งผลกระทบต่อวัฏภาคแก้ว (Glassy Phase) มีปริมาณเพิ่มขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้ปริมาณรูพรุนของชิ้นงานหลังเผามีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณควอทซ์เพิ่มขึ้น

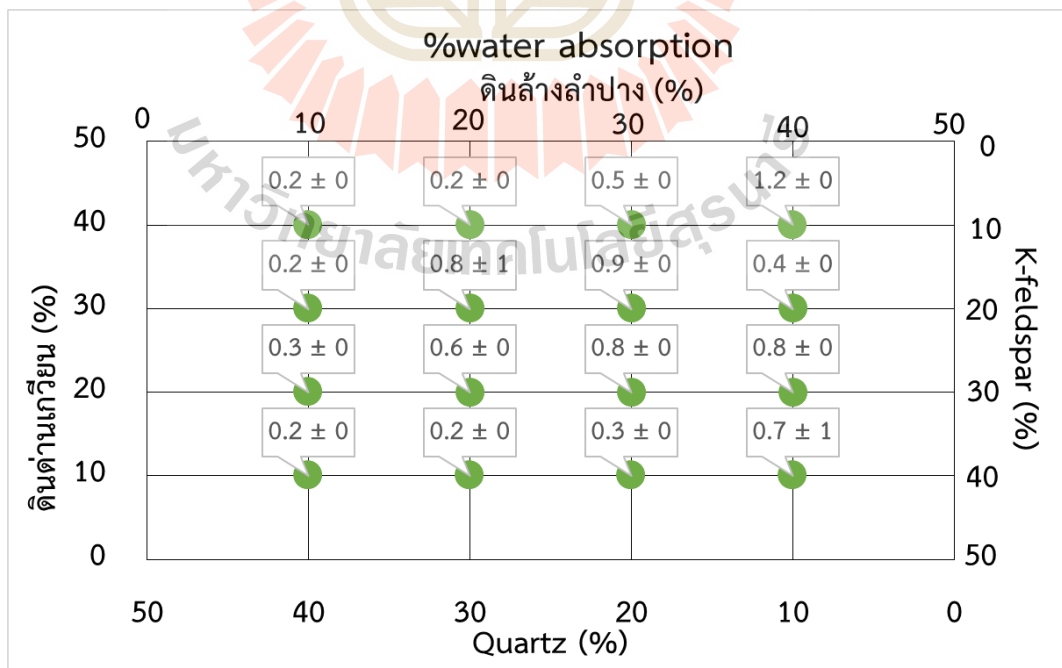


ภาพที่ 4.4 แสดงผลของเฟลด์สปาร์ ควอทซ์ และดินขาวต่อปริมาณรูพรุนของเนื้อดินด้านเกวียนหลังเผาที่ 1200 °C



ภาพที่ 4.5 แสดงแผนภูมิวิภูภาคระหว่างเฟลด์สปาร์และควอทซ์ [28]

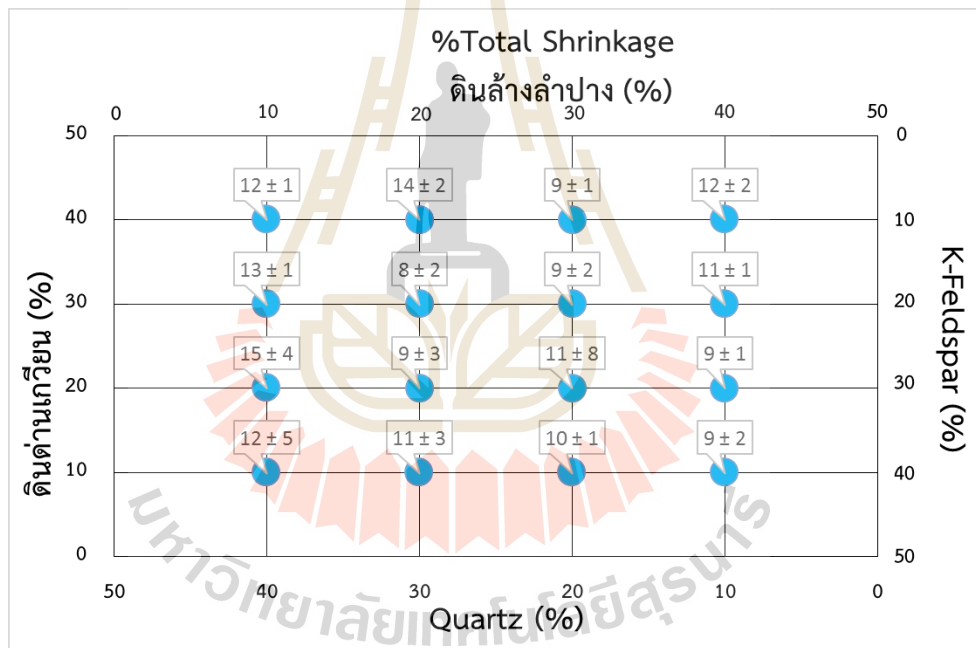
ปริมาณรูพรุนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการดูดซึมน้ำของชิ้นงาน เมื่อปริมาณรูพรุนเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้การดูดซึมน้ำของชิ้นงานเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองพบว่า นอกจากดินขาวจะส่งผลให้ปริมาณรูพรุนในชิ้นงานเพิ่มมากขึ้นแล้วยังมีผลให้การดูดซึมน้ำของชิ้นงานเพิ่มขึ้นตามด้วย ดังแสดงในภาพที่ 4.6 ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มปริมาณควอทซ์ในส่วนผสมกลับมีผลให้การดูดซึมน้ำหลังเผาของชิ้นงานมีแนวโน้มลดลง



ภาพที่ 4.6 แสดงผลของเฟลด์สปาร์ ควอตซ์ และดินขาวต่อการดูดซึมน้ำของเนื้อดินด้าน เภยีนหลังเผาที่ 1200 °C

#### 4.5 ผลของเฟลด์สปาร์ ดินขาวและทรายต่อการหดตัวหลังเผาของเนื้อดินด้าน เภยีน

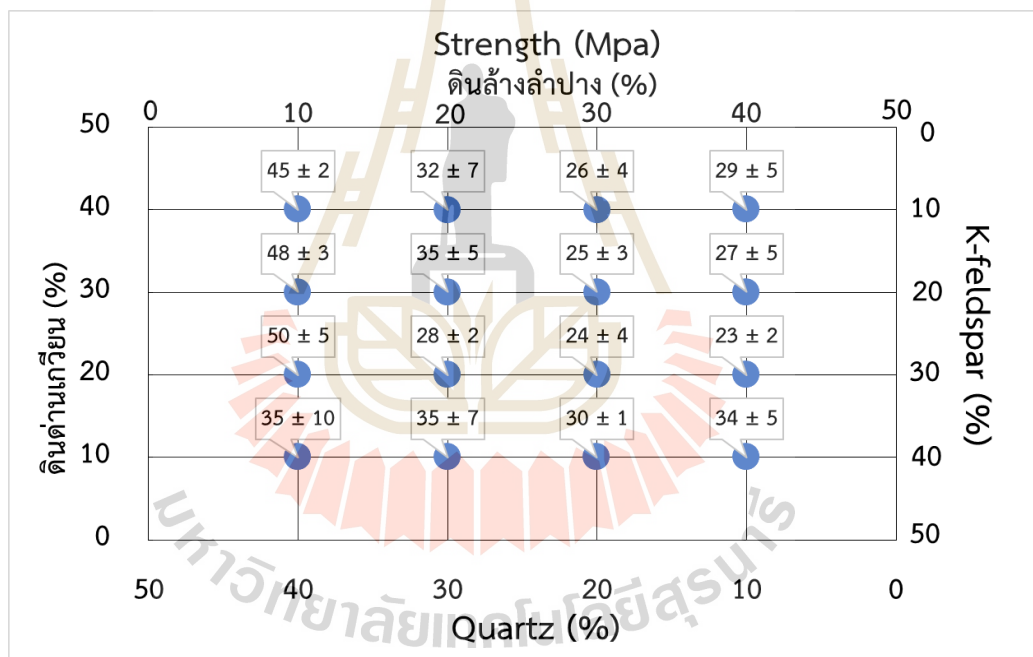
การหดตัวของชิ้นงานหลังเผาเป็นข้อมูลที่สำคัญในการออกแบบและกำหนดขนาดของผลิตภัณฑ์ก่อนอบเพื่อให้ได้ขนาดผลิตภัณฑ์หลังเผาตามที่ต้องการหรือตามความต้องการของผู้ซื้อ ภาพที่ 4.7 แสดง การหดตัวรวมของชิ้นงานหลังเผา พบว่าเมื่อพิจารณาจากปริมาณดินด้าน เภยีนที่แตกต่างกันการหดตัวรวมของแต่ละส่วนผสมมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าการหดตัวรวมอยู่ระหว่างร้อยละ 9 ถึงร้อยละ 15



ภาพที่ 4.7 แสดงการหดตัวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 °C ของเนื้อดินด้าน เภยีนหลังผสมกับวัตถุดิบ ชนิดอื่นในสัดส่วนต่างๆ

#### 4.6 ผลของเฟลด์สปาร์ ดินขาวและทรายต่อความแข็งแรงหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 °C ของเนื้อดินด่านเกวียน

ความแข็งแรงหลังเผาเป็นหนึ่งในสมบัติที่สำคัญในการพิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำเนื้อดินด่านเกวียนที่พัฒนาได้ไปใช้ผลิตเป็นเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ภาพที่ 4.8 แสดงค่าความแข็งแรงหลังเผาของดินด่านเกวียนเมื่อผสมกับวัสดุดิบชนิดอื่นในสัดส่วนต่างๆ พบว่าการเพิ่มปริมาณดินด่านเกวียน เฟลสปาร์และควอทซ์มีผลในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับเนื้อผลิตภัณฑ์ ในขณะที่ดินขาวส่งผลให้ความแข็งแรงหลังเผาของเนื้อผลิตภัณฑ์ลดลง พฤติกรรมดังกล่าวสอดคล้องกับปริมาณรูพรุนเปิดหลังเผาของเนื้อผลิตภัณฑ์ดังได้อภิปรายไว้ในหัวข้อ 4.4



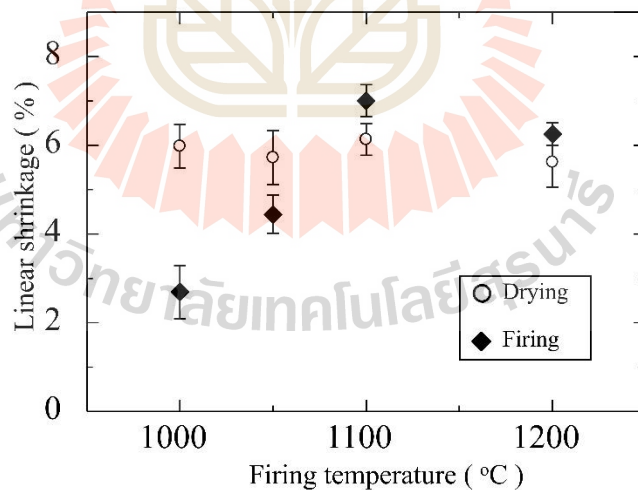
ภาพที่ 4.8 แสดงความแข็งแรงหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 °C ของเนื้อดินด่านเกวียนหลังผสมกับวัสดุดิบชนิดอื่นในสัดส่วนต่างๆ

#### 4.7 ผลของอุณหภูมิการเผาต่อสมบัติของเนื้อดินด่านเกวียน

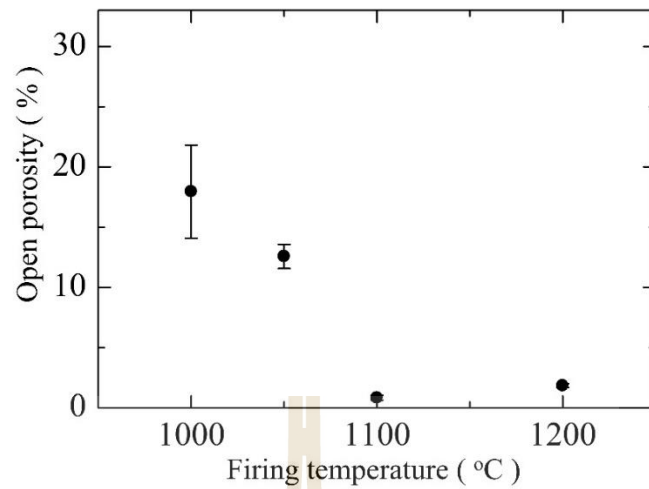
จากการพิจารณาสมบัติด้านความแข็งแรง การดูดซึมน้ำ สีหลังเผา และปริมาณดินด่านเกวียนที่อยู่ในส่วนผสมพบว่า ส่วนผสมที่ประกอบด้วยดินด่านเกวียน ดินล้างลำปาง เฟลด์สปาร์ และทราย ในปริมาณร้อยละ 40, 10, 10, และ 40 ตามลำดับ เป็นส่วนผสมที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดในการพัฒนาดินด่านเกวียนให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ผลิตเป็นเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ดังนั้นส่วนผสมดังกล่าวจึงถูกเลือกมาศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเผา โดยมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

##### 4.7.1 ผลของอุณหภูมิการเผาต่อการหดตัวของเนื้อดินด่านเกวียน

การหดตัวเชิงเส้นหลังเผาและหลังอบของดินด่านเกวียนถูกแสดงในภาพที่ 4.9 จากภาพพบว่าการหดตัวหลังอบของทุกตัวอย่างมีค่าไม่ต่างกันเนื่องจากทุกตัวอย่างถูกเตรียมโดยการใช้อัตราส่วนน้ำต่อผงแห้งที่เท่ากัน ในขณะที่การหดตัวหลังเผาของชิ้นงานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผา การหดตัวหลังเผาของชิ้นงานจะสัมพันธ์กับการสุกตัวและปริมาณรูพรุน การหดตัวหลังเผาที่สูงขึ้นแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานมีการสุกตัวมากขึ้นและมีปริมาณรูพรุนที่ลดลงซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่แสดงในภาพที่ 4.10 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณรูพรุนของชิ้นงานมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิการเผาเพิ่มขึ้น



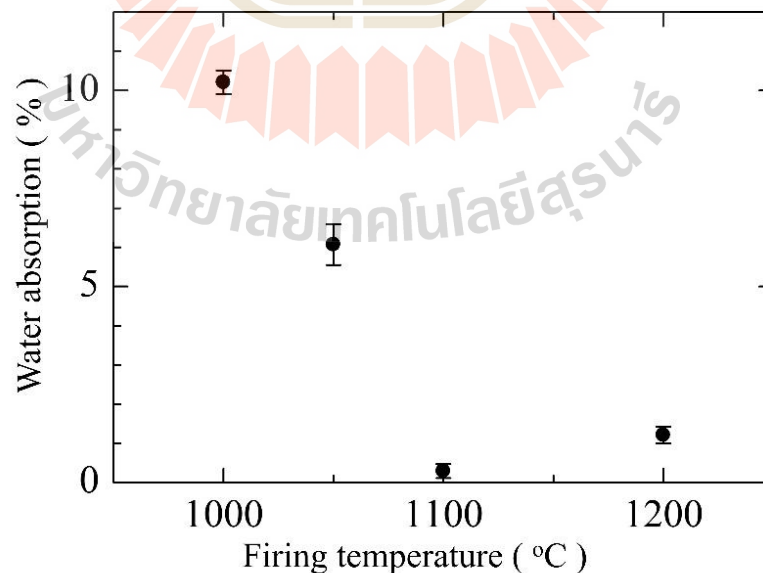
ภาพที่ 4.9 แสดงผลของอุณหภูมิการเผาต่อการหดตัวของเนื้อดินด่านเกวียน เมื่ออุณหภูมิการเผาเพิ่มขึ้นเนื้อดินด่านเกวียนมีการหดตัวหลังเผามากขึ้น



ภาพที่ 4.10 แสดงผลของอุณหภูมิการเผาต่อรูพรุนเปิดของเนื้อดินด่านเกวียน เมื่ออุณหภูมิการเผาเพิ่มขึ้นเนื้อดินด่านเกวียนมีปริมาณรูพรุนเปิดน้อยลง

#### 4.7.2 ผลของอุณหภูมิการเผาต่อการดูดซึมน้ำของเนื้อดินด่านเกวียน

การดูดซึมน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณรูพรุนเปิดของเนื้อดินด่านเกวียน จากภาพที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิการเผาเพิ่มขึ้นการดูดซึมน้ำของเนื้อดินด่านเกวียนมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองดังอภิปรายไว้ในหัวข้อ 4.7.1

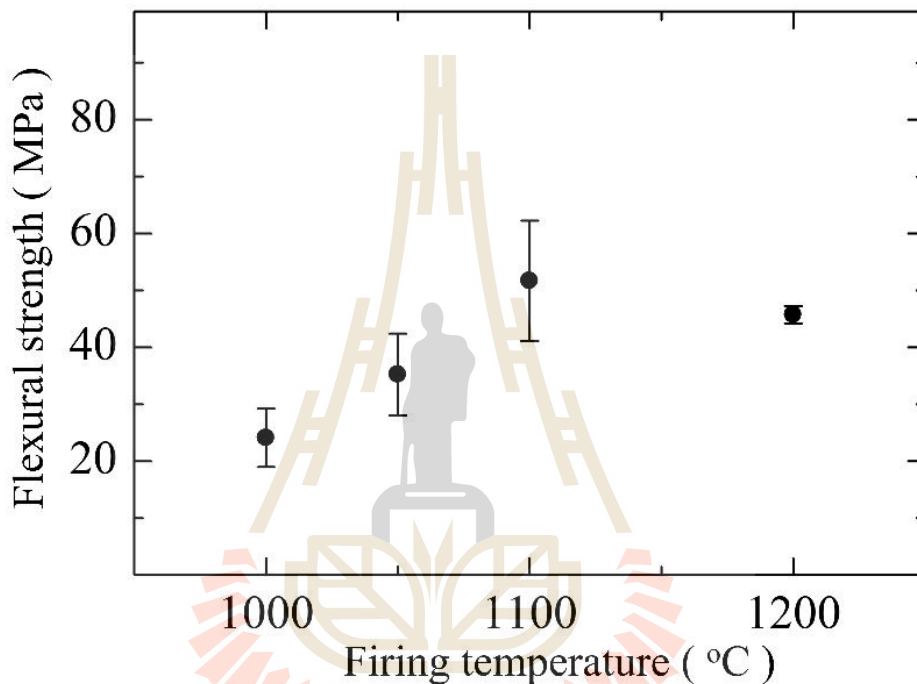


ภาพที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิการเผาต่อการดูดซึมน้ำของเนื้อดินด่านเกวียน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผา การดูดซึมน้ำของเนื้อดินด่านเกวียนมีแนวโน้มลดลง



#### 4.7.3 ผลของอุณหภูมิการเผาต่อความแข็งแรงของเนื้อดินด้านเกวียน

ความแข็งแรงเป็นสมบัติพื้นฐานที่สำคัญในการพิจารณาถึงการนำเนื้อดินด้านเกวียนไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ ภาพที่ 4.12 แสดงผลของอุณหภูมิการเผาต่อความแข็งแรงของเนื้อดินด้านเกวียน จากภาพแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาความแข็งแรงของเนื้อดินด้านเกวียนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเนื้อดินด้านเกวียนมีการสัตุตัวมากขึ้น (ดังอภิปรายไว้ในหัวข้อที่ 4.7.1) และมีปริมาณรูพรุนที่ลดลง



ภาพที่ 4.12 แสดงผลของอุณหภูมิการเผาต่อความแข็งแรงของเนื้อดินด้านเกวียน

#### 4.8 ความเป็นไปได้ในการนำดินด้านเกวียนไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร

ในการพัฒนาดินด้านเกวียนให้เหมาะสมกับการนำไปผลิตเป็นเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ได้พิจารณาจากสมบัติพื้นฐานที่จำเป็นอันได้แก่ความแข็งแรงหลังเผาและการดูดซึมน้ำ โดยสมบัติของดินด้านเกวียนที่พัฒนาได้จะถูกเทียบกับดินสำเร็จรูปที่ใช้สำหรับผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารประเภทสโตนแวร์ซึ่งมีความแข็งแรงและการดูดซึมน้ำดังแสดงในตารางที่ 4.3 จากตารางพบว่า หากพิจารณาจากความแข็งแรงและการดูดซึมน้ำหลังเผา ดินด้านเกวียนที่พัฒนาได้สามารถนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารชนิดสโตนแวร์ได้ โดยอุณหภูมิการเผาที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 1100 ถึง 1200 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.3 แสดงเปรียบเทียบสมบัติของดินด้านเกรียนที่พัฒนาได้กับดินสำเร็จรูปสำหรับผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารชนิดสโตนแวร์

ชนิดของดิน	ความแข็งแรงหลังเผา (MPa)		การดูดซึมน้ำหลังเผา (%)	
	1100 °C	1200 °C	1100 °C	1200 °C
สำเร็จรูป	-	28±3.35	-	0.25±0.13
ด้านเกรียน	55±18	46±1.5	0.29±0.18	1.21±0.21



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาดินดานเกวียนให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ผลิตเป็นเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร โดยส่วนประกอบที่เหมาะสมประกอบด้วยดินดานเกวียน ดินล้างล้างปาง เฟสปาร์ และทราย ในปริมาณร้อยละ 40, 10, 10, และ 40 ตามลำดับ และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาอยู่ในช่วง 1100 ถึง 1200 องศาเซลเซียส หลังผ่านการเผาที่ 1100 องศาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ความแข็งแรงของเนื้อดินดานเกวียนที่พัฒนาได้มีค่า  $55 \pm 18$  MPa ซึ่งมีค่าสูงกว่าเนื้อดินสำเร็จรูปที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารชนิดสโตนแวร์ที่วางขายทั่วไปตามท้องตลาดซึ่งมีความแข็งแรงเท่ากับ  $28 \pm 3$  MPa ในขณะที่ค่าการดูดซึมน้ำหลังเผาของดินดานเกวียนที่พัฒนาได้มีค่า  $0.29 \pm 0.18$  % ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับดินสำเร็จรูปสำหรับผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารประเภทสโตนแวร์ซึ่งมีค่า  $0.25 \pm 0.13$  %

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

แม้การทดลองนี้จะประสบความสำเร็จในการพัฒนาเนื้อดินดานเกวียนอันเป็นดินในท้องถิ่นเพื่อใช้ในการผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารในเชิงอุตสาหกรรมได้เป็นผลสำเร็จ แต่ยังคงมีการพัฒนาต่อยอดถึงองค์ประกอบส่วนอื่นเช่น เคลือบและเอนโกบที่เหมาะสมกับเนื้อดินที่พัฒนาได้ รวมถึงรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่ดึงดูดความต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้งานวิจัยในอนาคตต้องทดสอบหาเทคนิคการขึ้นรูปที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารโดยการนำอัตราส่วนผสมที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปต่อยอดผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานได้จริง อันจะเป็นการสร้างผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ให้กับชุมชนด้านเกวียน

## รายการอ้างอิง

- [1] The Ceramic Society of Japan, “Advanced Ceramic Technologies and Products,” Springer, Japan (2012).
- [2] C. Barry Carter and M. Grant Norton, “Ceramic Materials Science and Engineering,” Springer, New York (2007).
- [3] A. E. Dodd, “Dictionary of Ceramics,” 3<sup>rd</sup> ed., The Institute of Materials, London (1994).
- [4] J. T. Jones and M. F. Berard, “Ceramics industrial Processing and Testing,” 2<sup>nd</sup> ed., Iowa State Press, United States of American (1993).
- [5] M. Schwartz, “Encyclopedia of Materials Parts and Finishes,” 2<sup>nd</sup> ed., CRC Press, United States of America (2002).
- [6] E. El-Meliegy and R. V.Noort, “Glasses and Glass Ceramics for Medical Applications,” Springer, New York (2012).
- [7] G. Bye, “Portland Cement,” 3<sup>rd</sup> ed., ICE Publishing, London (2011).
- [8] ASTM Standard C242 – 14, 2014, “Standard Terminology of Ceramic Whitewares and Related Products,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, DOI: 10.1520/C0242-14, [www.astm.org](http://www.astm.org).
- [9] W. D. Callister, “Materials Science and Engineering,” 7<sup>th</sup> ed., John Wiley & Sons, United States of America (2007).
- [10] D. W. Richerson, “The Magic of Ceramics,” 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley & Sons, Singapore (2012).
- [11] J. S. Reed, “Principles of Ceramics Processing,” 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley & Sons, United States of America (1995).
- [12] H. Cheng, Z. Zhang, Q. Liu, and J. Leung, “A new method for determining platy particle aspect ratio: A kaolinite case study,” *Applied Clay Science*, **97-98**, 125–131 (2014).

- [13] M. S. Zbik, N. A. Raftery, R. S. C. Smart, and R. L. Frost, "Kaolinite platelet orientation for XRD and AFM applications, *Applied Clay Science*, **50**, 299–304 (2010).
- [14] D. L. Guerra, V. L. Leidens, R. R. Viana, and C. Airoidi, "Amazon kaolinite functionalized with diethylenetriamine moieties for U(VI) removal: Thermodynamic of cation-basic interactions," *Journal of Hazardous Materials*, **180**, 683–692 (2010).
- [15] F. A. Andrade, H. A. Al-Qureshi, and D. Hotza, "Measuring the plasticity of clays: A review," *Applied Clay Science*, **51**, 1–7 (2011).
- [16] W. E. Worrall, "Clays and Ceramic Raw Materials," 2<sup>nd</sup> ed., Elsevier Applied Science Publishers, England (1986).
- [17] B. Meng and J. Peng, "Effects of in situ synthesized mullite whiskers on flexural strength and fracture toughness of corundum-mullite refractory materials," *Ceramics International*, **39**, 1525–1531 (2013).
- [18] Ö. I. Ece, B. Ekinçi, P. A. Schroeder, D. Crowe, and F. Esenli, "Origin of the Düvertepe kaolin–alunite deposits in Simav Graben, Turkey: Timing and styles of hydrothermal mineralization," *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **255**, 57–78 (2013).
- [19] P. Boch and J. C. Niepce, "Ceramic Materials," John Wiley & Sons, Great Britain (2007).
- [20] A. Poowancum, "Development of Dan Kwian Clay for Use in Ceramic Tile Industry," *Suranaree Journal of Science and Technology*, **22** [1], 15-20 (2015).
- [21] S. Rattanachan, "Dan Kwian Clays for Slip Casting," *Science Asia*, **33**, 239-43 (2007).
- [22] เด่น รักซ้อน, ณัฐนันต์ สลิปภากุล และ วัชรินทร์ แซ่เตีย, "การพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีเนื้อดินและการเคลือบ เครื่องปั้นดินเผาต้านเกวียน แก่ผู้ประกอบการอาชีพเครื่องปั้นดินเผาชุมชนด้านเกวียนจังหวัดนครราชสีมา," รายงานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, นครราชสีมา (2553).

- [23] สุธรรม ศรีหล่มสัก, อ่อนลมี กมลอินทร์ และ จิตติ รินเสนา, “การวิจัยและพัฒนาส่วนผสมและเคลือบอุณหภูมิต่ำสำหรับอุตสาหกรรมสโตนแวร์ (เนื้อดินปั้นสำหรับเครื่องปั้นดินเผาต่างเกวียน),” รายงานวิจัย พัฒนาและวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์, สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา (2550).
- [24] สุธรรม ศรีหล่มสัก, จิตติ รินเสนา, วิษณุ จำปาศรี, กัลยา อิมสุข และ กรวรรณ สมทอง, “ส่วนผสมเนื้อดินปั้นพิเศษและเคลือบสำหรับเครื่องปั้นดินเผาต่างเกวียน,” รายงานวิจัย โครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก, สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา (2554).
- [25] สุธรรม ศรีหล่มสัก, “การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำซีเมนต์ยุคใหม่มาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก,” รายงานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา (2543).
- [26] S. Srilomsak, M. Wonginjun, M. Kanjanasin, R. Ahosi, R. Sittisue, R. Thongkan, L. Udon, and W. Thaitong, “Celadon Glaze on Dan Kwian Pottery,”(in Thai) Suranaree Journal of Science and Technology, 13 [2] 197-205 (2006).
- [27] เต๋น รักซ้อน และ วัชรินทร์ แซ่เตี๋ย, “การพัฒนาเนื้อดินและการเคลือบเครื่องปั้นดินเผาต่างเกวียน จังหวัดนครราชสีมา,” วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5, (2556).
- [28] E. M. Levin, C. R. Robbins and H. F. Mccurdie, Fig. 412; p. 158, “Phase Diagrams for Ceramists” 5<sup>th</sup> ed., Vol. 1, The American Ceramic Society, Columbus, Ohio (1985).



## ประวัติผู้วิจัย

### ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุรัตน์ ภูวานคำ

- การศึกษา/คุณวุฒิ : ปริญญาเอก : Doctor of Engineering  
(Material Science and Engineering)  
Nagaoka University of Technology, Japan  
ปีที่สำเร็จการศึกษา : 2011
- ปริญญาโท : Master of Engineering (Ceramic Engineering),  
Suranaree University of Technology, Thailand  
ปีที่สำเร็จการศึกษา : 2006
- ปริญญาตรี : Bachelor of Engineering (Ceramic Engineering),  
Suranaree University of Technology, Thailand  
ปีที่สำเร็จการศึกษา : 2002
- ตำแหน่งปัจจุบัน : อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก
- ประวัติการทำงาน : 2002-2003 Assistant Chief, Research and Development Division  
Standard Insulator Co., Ltd., Thailand  
2006-2011 Lecturer, Faculty of Industrial Technology, Valaya  
Alongkorn Rajabhat University, Thailand  
2011-Present Lecturer, School of Ceramic Engineering, Institute of  
Engineering, Suranaree University of Technology

ผลงานทางวิชาการ / ผลงานวิจัย :

- Anurat Poowancum, Koji Matsumaru, and Kozo Ishizaki, “Development of Low-Thermal-Expansion Silicon Carbide / Zirconium Tungstate Porous Ceramics”, Journal of American Ceramic Society, **93**[10], 2978-2980,(2010)
- Anurat Poowancum, Koji Matsumaru, Isaias Juarez Ramirez, Leticia M. Torres Martines, Zhengyi Fu, Soo Wohn Lee and Kozo Ishizaki, “Fabrication of Low Thermal Expansion SiC / ZrW<sub>2</sub>O<sub>8</sub> Porous Ceramics”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, **20**, 012010, (2010)
- Anurat Poowancum, Koji Matsumaru, and Kozo Ishizaki, “Low-Temperature Glass Bonding for Development of Silicon Carbide / Zirconium Tungsten Oxide Porous Ceramics with Near Zero Thermal Expansion Coefficient”, Journal of American Ceramic Society, **94**[5], 1354-1356, (2011).
- Anurat Poowancum and Sukasem Watcharamaisakul, “Effect of Nano-oxide Addition on Mechanical Properties of Alumina-Mullite-Zirconia Composites” Advanced Materials Research Vol. 1102 (2015) pp 87-90
- Anurat Poowancum, Ekkasit Nimwinya and Suksun Horpibulsuk, “Development of Room Temperature Curing Geopolymer from Calcined Water-Treatment-Sludge and Rice Husk Ash”, Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Calcined Clays for Sustainable Concrete, Springer, London, (2015).
- Anurat Poowancum and Suksun Horpibulsuk, “Development of Low Cost Geopolymer from Calcined Sedimentary Clay”, Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Calcined Clays for Sustainable Concrete, Springer, London, (2015).
- Anurat Poowancum, Development of Dan Kwian Clay for Use in Ceramic Tile Industry”, Suranaree Journal of Science and Technology, **22** [1], 15-20, (2015).
- Ekkasit Nimwinya, Weerachai Arjharn, Suksun Horpibulsuk, Tanakorn Phoo-ngernkham and Anurat Poowancum, “A sustainable calcined water treatment sludge and rice husk ash geopolymer”, Journal of Cleaner Production, **119**, 128-134, (2016).
- Jakrapong Kumsap, Anurat Poowancum and Anucha Wannagon, “Redox Effects of Erbium Oxide Doped Industrial Soda-Lime Glasses by UV-VIS-NIR Study”, Key Engineering Materials, **702**, 121-124 (2016).



- Nuttapon Phachan, Siriwan Chokkha and Anurat Poowancum, “A sustainable cement replacement material from a coal-fired power plant waste”, Proceedings of The Asian Conference on Sustainability, Energy & the Environment, Japan, (2017).

#### International Conferences:

- Anurat Poowancum, Koji Matsumaru, and Kozo Ishizaki, “*Effects of Sintering Methods on Thermal Expansivity of SiC/ZrW<sub>2</sub>O<sub>8</sub> Porous Materials*”, The CJK2009 Seminar and Summer Workshop, Jeju Island, Korea, 2009 (June 28 - July 3).
- Anurat Poowancum, Koji Matsumaru, and Kozo Ishizaki, “*Fabrication of low thermal expansion SiC/ZrW<sub>2</sub>O<sub>8</sub> porous ceramics*”, International Symposium on Multifunctional Ceramic Materials Based on Nanotechnology, Tokyo, Japan, 2010 (March 6-8).
- Anurat Poowancum, Koji Matsumaru, and Kozo Ishizaki, “*Fabrication of Ultra Low Thermal Expansion SiC/ZrW<sub>2</sub>O<sub>8</sub> Porous Ceramics*”, The Symposium on Hybrid Nano Materials Toward Future Industries, Nagaoka, Japan, 2010 (November 19-20).
- Anurat Poowancum, Koji Matsumaru, and Kozo Ishizaki, “*Low-Temperature Vitrified Bonding for Near Zero Thermal Expanding SiC/ZrW<sub>2</sub>O<sub>8</sub> Porous Ceramics*”, The CJK2011 Meeting, Niigata, Japan, 2011 (June 3–5).
- Anurat Poowancum, Ekkasit Nimwinya and Suksun Horpibulsuk, “*Development of Room Temperature Curing Geopolymer from Calcined Water-Treatment-Sludge and Rice Husk Ash*”, The 1<sup>st</sup> International Conference on Calcined Clays for Sustainable Concrete, Lausanne, Switzerland, 2015 (June 23<sup>rd</sup> - 25<sup>th</sup>).
- Anurat Poowancum and Suksun Horpibulsuk, “*Development of Low Cost Geopolymer from Calcined Sedimentary Clay*”, The 1<sup>st</sup> International Conference on Calcined Clays for Sustainable Concrete, Lausanne, Switzerland, 2015 (June 23<sup>rd</sup> - 25<sup>th</sup>).
- Nuttapon Phachan, Siriwan Chokkha and Anurat Poowancum, “*A sustainable cement replacement material from a coal-fired power plant waste*”, The Asian Conference on Sustainability, Energy & the Environment, Kobe, Japan, 2017 (June 8<sup>th</sup> -11<sup>th</sup>)