

## บทที่ 5

### อภิปรายผล สรุป และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ เพื่อนำซีเถ้ากลับมาใช้แทนซิลิกาสำหรับการผลิตเซรามิกส์ โดยการทดลองหาอัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นจากซีเถ้า แกลบ ดินขาวระนอง หินฟันม้าและหินเขี้ยวหนุมาน โดยการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจากตารางสี่เหลี่ยม จำนวน 16 อัตราส่วนผสมและทดลองหาอัตราส่วนผสมของเคลือบจากซีเถ้า แกลบ ดินขาวระนอง และหินฟันม้า โดยการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจากตารางสามเหลี่ยมอย่างมีระบบจำนวน 36 สูตรส่วนผสม การทดลองครั้งนี้เป็นระเบียบวิธีวิจัยประเภทการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาเนื้อดินปั้น และเคลือบ โดยมุ่งเน้นการใช้วัตถุดิบในท้องถิ่น สำหรับลดต้นทุนการผลิต ลดปัญหาผลิตภัณฑ์แตกร้าวและสามารถนำไปผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่มีคุณภาพได้ โดยเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเดชันสำหรับเนื้อดินปั้น และทั้งสองบรรยากาศสำหรับเคลือบ

#### 5.1 อภิปรายผล

จากการวิจัยเพื่อนำซีเถ้ากลับมาใช้แทนซิลิกาสำหรับการผลิตเซรามิกส์สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. ลักษณะของวัตถุดิบ คือ ความละเอียดของวัตถุดิบ ได้แก่ ซีเถ้า แกลบ มีความละเอียดเฉลี่ยอยู่ที่ 106 ไมครอน ดินขาวระนอง หินเขี้ยวหนุมาน และหินฟันม้า มีความละเอียดเฉลี่ยอยู่ที่ 45 ไมครอน หรือสูงกว่า จึงสอดคล้องกับ ไพจิตร อังศิริวัฒน์ (2541 : 22) ได้กล่าววว่าวัตถุดิบที่ความละเอียดเหมาะสมสำหรับนำไปผสมกับเนื้อดินปั้น หรือใช้งานในขั้นตอนการผลิตเซรามิกส์ต้องมีความละเอียดมากสามารถผ่านตะแกรง 100 เมช (150 ไมครอน) ได้ ซึ่งวัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการวิจัยนี้ทุกชนิดมีขนาดไม่น้อยกว่า ร้อยละ 95 ที่สามารถผ่านตะแกรงขนาด 120 เมช (125 ไมครอน) ได้ หากนำไปบดด้วยหม้อบดจะช่วยลดขนาดของวัตถุดิบลงได้อีก

2. ลักษณะของเคลือบ ด้านระดับความมันแวววาวของเคลือบ เคลือบที่มีส่วนประกอบของซีเถ้า แกลบในปริมาณสูงมากกว่าร้อยละ 40 จะไม่สุกตัว สอดคล้องกับ สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2534 : 33) ที่กล่าวว่า ถ้านำซีเถ้าแต่ละชนิดมาวิเคราะห์จะเห็นมีส่วนผสมไม่แตกต่างกันมากนัก มีตัวทำให้เกิดแก้ว คือ ซิลิกา ตัวช่วยหลอมละลาย และตัวช่วยทนไฟ คือ อลูมินา ในเถ้า แกลบมีซิลิกามากถึงร้อยละ 96 และเอ็ททลีโซะ คาโด แพลโดย สมบูรณ์ อรัณยภาค (2553 : 38) กล่าวว่า ซีเถ้า แกลบจะมีซิลิกาเป็นส่วนผสมหลัก ซึ่งซิลิกาในงานเซรามิกส์จัดเป็นวัตถุดิบในกลุ่มกรด เมื่อใช้ผสมในเคลือบจะช่วยเพิ่มจุดหลอมละลายของเคลือบให้สูงขึ้น ฉะนั้นถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไปจะทำให้เคลือบทนไฟสูง และในทาง

กลับกันหากมีปริมาณของ ดินขาวระนองพอเหมาะ และหินฟืนม้าที่มากพอ จะทำให้เกิดเคลือบกึ่งมันกึ่งด้าน และเคลือบด้าน เนื่องจากหินฟืนม้าจัดอยู่ในกลุ่มต่างที่มีหน้าที่ช่วยหลอมละลาย ด้านความสมบูรณ์ของเคลือบ เคลือบที่ไม่สุกตัวจะมีจุดสีดำและน้ำตาลผิวเคลือบไม่เรียบ ส่วนเคลือบที่สุกตัวจะมีลักษณะของผิวเคลือบที่ด้านจนถึงกึ่งมันกึ่งด้าน และด้านสีของเคลือบ ในกลุ่มเคลือบที่ไม่สุกตัวจะมีเคลือบเป็นสีเทาซึ่งเป็นลักษณะสีของซีเมนต์ก่อนการทดสอบ ส่วนเคลือบที่มีสีน้ำตาลอมเทา สีครีม และสีขาวครีม เนื่องจากซีเมนต์จะมีส่วนประกอบ ของเหล็ก และไททาเนียมปนอยู่ (สุรศักดิ์ โกสยพันธ์. 2534 : 34)

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกเอาอัตราส่วนผสมของเคลือบที่ดีที่สุด คือมีลักษณะผิวเคลือบกึ่งมันกึ่งด้าน มีผิวที่สมบูรณ์ และสีขาวครีม ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 32 ที่ผ่านการเผาในบรรยากาศออกซิเดชันมาเคลือบผลิตภัณฑ์

### 3. สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้น

ค่าการหดตัวของเนื้อดินปั้น อัตราส่วนผสมที่มีค่าการหดตัวมากที่สุด คือร้อยละ 9.80 ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 1 ส่วนอัตราส่วนผสมที่มีค่าการหดตัวน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 8.10 ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 12 และปรากฏว่า ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่มีซีเมนต์ ทราย ฟืนม้า และหินเขี้ยวหนุมาณ ส่วนผสมที่มีในปริมาณสูงจะมีค่าการหดตัวน้อย และส่วนผสมที่มีดินขาวระนองในปริมาณสูงจะมีค่าความหดตัวมาก ซึ่งสอดคล้องกับ आयुर्विद्धन स्वंगผล (2543 : 19) กล่าวว่า การหดตัวของดินมีความสำคัญต่อการผลิตเครื่องปั้นดินเผาเป็นอย่างยิ่ง เพราะถ้าดินหดตัวมากจะทำให้ผลิตภัณฑ์แตกร้าวได้ง่ายหรือทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ตรงตามความต้องการ สาเหตุสำคัญของการหดตัว เนื่องจากน้ำที่ผสมในเนื้อดินระเหยออกไปเนื้อดินจะหดตัวแทนที่การระเหยน้ำเร็ว การหดตัวของดินย่อมมากด้วย จากลักษณะการหดตัวมีความสำคัญต่อการผลิตเครื่องปั้นดินเผาเป็น อย่างยิ่ง เพราะถ้าดินหดตัวมากอาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แตกร้าวได้ง่ายหรือเกิดการบิดเบี้ยวได้ง่าย แต่ถ้าดินหดตัวน้อยหรือไม่มีการหดตัวแสดงให้เห็นว่าเนื้อดินนั้นไม่มีความเหนียวทำให้เกิดปัญหาสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เมื่อมีความเหนียวน้อยเกินไปหรือเหนียวมากเกินไปมีผลต่อความสามารถในการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่ออย่างแน่นอน ดังนั้นจึงต้องมีการปรุงแต่งเนื้อดิน ให้มีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมกับการผลิตเครื่องปั้นดินเผาแต่ละชนิด

จากข้อมูลข้างต้นที่กล่าวมาจะเห็นว่า ความหดตัวมีผลสอดคล้องต่อความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นด้วย ซึ่งอัตราส่วนผสมที่มีค่าความแข็งแรงมากที่สุด คือ 180.25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 1 ส่วนอัตราส่วนผสมที่มีค่าความแข็งแรงที่ต่ำสุด คือ 50.15 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 12 คือในอัตราส่วนผสมที่มีความหดตัวมากจะมีความแข็งแรงมากด้วยเช่นเดียวกับส่วนผสมที่มีความหดตัวน้อยความแข็งแรงก็น้อยเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าในส่วนผสมที่มีดินขาวระนองในปริมาณมากจะมีความแข็งแรงก่อนเผาไหม้ เนื่องจากเป็นดินที่มีความเหนียว เนื้อดินมีความละเอียดเมื่อแห้งยึดเกาะกันแน่นส่งผลให้เนื้อดินปั้นมาความแข็งแรงมาก ดังนั้นจากอัตราส่วนผสมทั้งหมด 16 อัตราส่วนผสม ในอัตราส่วนผสมที่ 1-4 มีปริมาณดินขาวระนองสูงที่สุดคือร้อยละ 40 สอดคล้องกับ (โกมล รัชวงศ์ (2531 : 9) กล่าวว่า ดินเหนียวเป็นวัตถุดิบที่ใช้มากในอุตสาหกรรมที่มีเม็ดละเอียดมีความเหนียว

ดีเหมาะกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ให้ความแข็งแรงต่อผลิตภัณฑ์เมื่อยังไม่เผา นอกจากนี้ (ปริดา พิมพ์ขาว ขำ (2539 : 53) กล่าวว่า ดินเหนียวมีลักษณะพิเศษคือ มีสารอินทรีย์ปนอยู่เสมอ สารอินทรีย์นี้มีส่วนประกอบคล้ายลิกไนท์มาก ดินเหนียวเมื่อแห้งมีความแข็งแรงสูงและมีความหดตัวสูงเช่นกัน เมื่อผสมเนื้อดินปั้นจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงสูงตามด้วย ส่วนอัตราส่วนผสมที่มีความแข็งแรงน้อยที่สุดจะมีส่วนผสมของควอซต์ และเฟลด์สปาสสูง ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียวส่งผลให้ความแข็งแรงลดลงด้วยเช่นกัน จากผลการทดลองขึ้นรูปแท่งทดลองพบว่าอัตราส่วนผสมที่มีควอซต์ และเฟลด์สปาร์มากขึ้นความเหนียวจะลดลง ในขณะที่เดียวกัน ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าอัตราส่วนผสมที่มีค่าความหนาแน่นมากที่สุดคือ 2.24 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 1 ส่วนอัตราส่วนผสมที่มีค่าการความหนาแน่นน้อยที่สุด คือ 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 12 นั้น เมื่อดูความสัมพันธ์ของตัวแปร ค่าความแข็งแรงสูงค่าความหนาแน่นก็จะสูงด้วย (โกมล รักขวงค์. 2531 : 174) อัตราส่วนผสมที่มีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด คือ ร้อยละ 3.15 ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 12 ส่วนอัตราส่วนผสมที่มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.79 ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 1 ซึ่งการดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผาเกิดจากรูพรุนที่อยู่ในเนื้อดิน สังเกตได้จากปริมาณน้ำที่อยู่ในช่องว่างหรือรูพรุนของเนื้อดินปั้นหลังจากการทดสอบ เนื้อดินมีการหลอมหรือเผาถึงจุดสุดตัวรูพรุนจะเล็กลงทำให้เกิดช่องว่างเล็กลง ปริมาณน้ำที่เข้าไปภายในมีน้อยทำให้ค่าการดูดซึมน้ำน้อยแต่ถ้ามีรูพรุนมากและมีช่องว่างที่ใหญ่จะส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำมากขึ้นเช่นกัน ดังที่ ประจักษ์ สาสีทิ (2541 : 96) กล่าวว่า ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์หลังจากการเผาแล้ววัตถุดิบจะหลอมตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างใหม่แต่โครงสร้างของเซรามิกส์มักมีส่วนที่เป็นฟองอากาศขนาดเล็กปะปนอยู่ในโครงสร้าง ซึ่งเรียกว่า รูพรุน นอกจากนี้ ดนัย อารยะพงษ์ (2538 : 17) กล่าวว่า รูพรุนบางชนิดจะอยู่ใกล้กับผิวผลิตภัณฑ์ เรียกว่า รูพรุนเปิด (Open Pores) และมีรูพรุนบางชนิดจะเหลืออยู่ในเนื้อดินหลังเผา เรียกว่า รูพรุนปิด (Closed Pores) ซึ่งรูพรุนที่เกิดขึ้นเหล่านี้เกิดจากการสลายตัวของวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่เกิดปฏิกิริยาในขณะที่ทำการเผา และ ปริดา พิมพ์ขาวขำ (2539 : 337) กล่าวไว้เช่นกันว่าความพรุนตัวของผลิตภัณฑ์มีน้อยที่สุดที่อุณหภูมิระหว่าง 1,100 – 1,200 องศาเซลเซียส และจะมีค่ามากขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของรูพรุน รูพรุนนี้เกิดจากก๊าซซึ่งอาจมาจากน้ำ คาร์บอนเนต และซัลเฟต หรือเกิดจากการเผาไหม้ของคาร์บอน รูพรุนที่กล่าวนี้ซ่อนตัวอยู่ในผลิตภัณฑ์ไม่เชื่อมต่อกับภายนอก ส่วนรูพรุนอีกชนิดหนึ่งจะเชื่อมต่อกับภายนอก รูพรุนชนิดนี้เกิดจากพวกฟองอากาศ ที่ถูกกักอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ปั้นเสร็จใหม่ และในระหว่างการเผาที่ไม่สามารถเชื่อมโยงรูพรุนเหล่านี้ให้ปิดสนิทได้ อย่างไรก็ตามเราสามารถลดรูพรุนชนิดนี้ลงได้ หรือทำให้หมดไปเลยโดยการควบคุมสถานะการเผาให้เหมาะสมแต่เราไม่สามารถลดรูพรุนที่ซ่อนอยู่ภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ลงได้หมดด้วยวิธีปกติ

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกเอาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่ดีที่สุด คือมีความแข็งแรงสูง ความหนาแน่นสูง และการดูดซึมน้ำต่ำ ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 1 มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์

## 5.2 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเพื่อนำซี้เก่ากลับมาใช้แทนซิลิกาสำหรับการผลิตเซรามิกส์สามารถสรุปผลโดยภาพรวม ดังนี้

### 1. ลักษณะของวัตถุดิบ คือ ความละเอียดของวัตถุดิบ

1.1 ซี้เก่ากลบ มีความละเอียดเฉลี่ยอยู่ที่ 106 ไมครอน มีปริมาณมากถึงร้อยละ 50.67 ส่วนความละเอียดที่มีปริมาณน้อยเพียงร้อยละ 1.68 คือ ขนาด 250 ไมครอน

1.2 ดินขาวระนอง มีความละเอียดเฉลี่ยอยู่ที่ 45 ไมครอนหรือสูงกว่า มีปริมาณมากถึงร้อยละ 42.11 ส่วนความละเอียดที่มีปริมาณน้อยเพียงร้อยละ 1.39 คือ ขนาด 250 ไมครอน

1.3 หินเขียวหนุมานมีความละเอียดเฉลี่ยอยู่ที่ 45 ไมครอนหรือสูงกว่า มีปริมาณมากถึงร้อยละ 33.78 ส่วนความละเอียดที่มีปริมาณน้อยเพียงร้อยละ 0.85 คือ ขนาด 250 ไมครอน

1.4 หินฟันม้า มีความละเอียดเฉลี่ยอยู่ที่ 45 ไมครอนหรือสูงกว่า มีปริมาณมากถึงร้อยละ 39.08 ส่วนความละเอียดที่มีปริมาณน้อยเพียงร้อยละ 1.47 คือ ขนาด 250 ไมครอน

### 2. ลักษณะของเคลือบ

การเผาเคลือบในบรรยากาศออกซิเดชั่น และรีดักชั่น ได้ผลที่มีลักษณะใกล้เคียงกันคือเคลือบที่มีอัตราส่วนผสมของซี้เก่ากลบในปริมาณมากเคลือบจะไม่สุกตัว ผิวเคลือบด้าน มีสีออกไปในโทนสีเทา เคลือบที่มีส่วนผสมของหินฟันม้า และดินขาวในอัตราส่วนที่เหมาะสมเคลือบจะมีลักษณะด้านหรือกึ่งมันกึ่งด้าน มีผิวไม่เรียบ และมีสีออกไปในโทนสีขาวจนถึงครีม

### 3. สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้น

#### 3.1 สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นก่อนเผา

พบว่าอัตราส่วนผสมที่สามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการการหล่อแบบ และสามารถนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 1-12

#### 3.2 สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นหลังเผา

3.2.1 ค่าการหดตัว จากการทดสอบ อัตราส่วนผสมที่มีค่าการหดตัวมากที่สุด คือ ร้อยละ 9.80 ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 1 ส่วนอัตราส่วนผสมที่มีค่าการหดตัวน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 8.10 ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 12

3.2.2 ค่าความแข็งแรง จากการทดสอบ อัตราส่วนผสมที่มีค่าความแข็งแรงมากที่สุด คือ 180.25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 1 ส่วนอัตราส่วนผสมที่มีค่าความแข็งแรงน้อยที่สุด คือ 50.15 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 12

3.2.3 ค่าการดูดซึมน้ำ จากการทดสอบ อัตราส่วนผสมที่มีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด คือ ร้อยละ 3.15 ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 12 ส่วนอัตราส่วนผสมที่มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.79 ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 1

3.2.4 ค่าความหนาแน่น จากการทดสอบ อัตราส่วนผสมที่มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด คือ 2.24 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 1 ส่วนอัตราส่วนผสมที่มีค่าการความหนาแน่นน้อยที่สุด คือ 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 12

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะจากการวิจัย
  - 1.1 การนำผลการวิจัยนี้ไปใช้ การนำผลการทดลองไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการทดลองอัตราส่วนผสมใหม่อีกครั้ง เนื่องจากวัตถุดิบแต่ละแหล่งมีสมบัติและส่วนประกอบของแร่ธาตุต่างๆ แตกต่างกัน โดยเฉพาะเคลือบหากจะนำไปใช้เนื้อดินปั้นชนิดอื่นเคลือบและเนื้อดินปั้นอาจจะไม่เหมาะสมกันได้
  - 1.2 การนำวัตถุดิบมาใช้ในการวิจัยแต่ละครั้ง ควรมีการควบคุมความชื้นของวัตถุดิบให้อยู่ในระดับที่สามารถรับได้ในการวิจัย
2. ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป
  - 2.1 การวิจัยด้านเคลือบ ควรมีการปรับปรุงส่วนผสมเพื่อให้เกิดสี และผิวที่แตกต่างกันออกไป หรือเพิ่มเติมสีเงาชนิดต่างๆ เข้าไป
  - 2.2 ควรมีการศึกษาอัตราส่วนผสมของเคลือบ และเนื้อดินปั้นในอุณหภูมิที่สูงขึ้นหรือต่ำลง
  - 2.3 เนื้อดินที่ได้จากการวิจัยนี้มีการแห้งตัวเร็วจะเกิดการแตกร้าวบิดรูป เสียทรงในการทดลองครั้งต่อไปควรควบคุมการแห้งตัวของชิ้นงานให้แห้งตัวอย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันการแตกร้าว บิดเบี้ยวเสียรูปทรงของชิ้นงาน