



การพัฒนาเครื่องเคลือบดินเผาเวียงบัวโดยใช้วัตถุดิบในท้องถิ่น

DEVELOPMENT OF VIENG BUA POTTERY USING
LOCAL RAW MATERIALS

พัชรพรรณ ด่านไธสง

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิก

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2552

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

การพัฒนาเครื่องเคลือบดินเผาเวียงบัวโดยใช้วัตถุดิบในท้องถิ่น

**DEVELOPMENT OF VIENG BUA POTTERY USING
LOCAL RAW MATERIALS**

พัชรพรรณ ด่านไธสง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิก

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2552

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

การพัฒนาเครื่องเคลือบดินเผาเวียงบัวโดยใช้วัตถุดิบในท้องถิ่น

DEVELOPMENT OF VIENG BUA POTTERY USING

LOCAL RAW MATERIALS

พัชรพรรณ ด่านไธสง

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิก
2552

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธาน

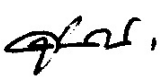
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภินันท์ นันทียา)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธี วัฒนศิริเวช)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดรุณี วัฒนศิริเวช)

..... กรรมการ

(ดร. อุไรวรรณ อินตะสา)

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธี วัฒนศิริเวช และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ครุณี วัฒนศิริเวช สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิก สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาและกรุณาถ่ายทอดวิชาความรู้รวมถึงให้คำปรึกษาแนะนำตั้งแต่เริ่มต้นงานวิจัยจนกระทั่งสำเร็จสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์การวิเคราะห์ และทดสอบตัวอย่างงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนด้านกำลังใจ และคอยให้กำลังใจตลอดมา และขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิก และ วัสดุศาสตร์ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและคอยเคียงข้างตลอดมา ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

พัชรพรรณ ด่านไธสง

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องเคลือบดินเผาเวียงบัวโดยใช้วัตถุดิบในท้องถิ่น
ชื่อผู้เขียน	พัชรพรรณ คำนโธสง
หลักสูตร	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิก)
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธี วัฒนศิริเวช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ครุณี วัฒนศิริเวช

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษากระบวนการผลิตเครื่องเคลือบโบราณที่พบในแหล่งเตาเวียงบัว จังหวัดพะเยา ซึ่งบนผลิตภัณฑ์เคลือบด้วยเคลือบสีลาด และมีการตกแต่งที่เป็นเอกลักษณ์ มีลวดลายคมชัดอันเกิดจากการตกแต่งด้วยวิธีกดประทับหลังการเอนโกบ บนเนื้อดินที่มีสีดำ ข้อสันนิษฐานในเบื้องต้น คือ ช่างโบราณน่าจะใช้น้ำดินในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งเตาที่พบ และน่าจะทำการตกแต่งบนเนื้อดิน และเอนโกบในขณะที่มีสภาพพลาสติกแล้วจึงเคลือบด้วยเคลือบสีเขียวใส หรือเคลือบสีลาด ในการทดลองได้เตรียมเนื้อดินพื้นบ้านจากแหล่งดิน 2 แหล่ง ศึกษาองค์ประกอบ และลักษณะทางจุลภาคของดิน ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRF และองค์ประกอบทางแร่ด้วยเทคนิค XRD หาขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค และศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การหาสภาพพลาสติก การหาค่าการหดตัว การดูดซึมน้ำ ความทนไฟ จำลองวิธีตกแต่งแบบโบราณโดยเตรียมชิ้นทดสอบเป็น 3 ลักษณะ คือ ดินขึ้น ดินที่อบแห้ง และดินที่ผ่านการเผาบิสกิต แล้วเคลือบด้วยเอนโกบสีขาวก่อนนำมาเคลือบด้วยตราประทับ และเผาที่อุณหภูมิ 800°C จากภาพตัดขวางของชิ้นทดสอบ พบว่า ตัวอย่างดินขึ้นปรากฏลายคมชัดมากกว่าตัวอย่างดินที่อบแห้งและดินที่ผ่านการเผาบิสกิต และมีความคล้ายคลึงกับลักษณะของเครื่องเคลือบโบราณ หลังการเผาขึ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 1230°C เอนโกบที่มีความหนาประมาณ 150 μm สามารถปิดสีของเนื้อดินได้สมบูรณ์ การเคลือบด้วยเคลือบที่ผสมจากวัตถุดิบสองชนิด ได้แก่ ดินพื้นบ้าน ร้อยละ 40 และเถ้าไม้ลำไย ร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก เเผาในบรรยากาศรีดักชัน ที่อุณหภูมิ 1230°C ให้สีเขียว รานตัว และมีลักษณะคล้ายคลึงกับเครื่องเคลือบโบราณ

คำสำคัญ: เครื่องเคลือบดินเผาเวียงบัว / เอนโกบ / การกดประทับลาย / เคลือบสีลาด

Thesis Title	Development of Vieng Bua Pottery using Local Raw Materials
Author	Patchareepan Danthaisong
Degree	Master of Science (Ceramic Industrial Technology)
Supervisory Committee	Assist. Prof. Dr. Suthee Wattanasiriwech Assist. Prof. Dr. Darunee Wattanasiriwech

ABSTRACT

This research was aimed to study the processing techniques of ancient pottery derived from Vieng Bua kiln site, Payao. The unique characteristic of ancient pieces are their green celadon glaze decoration with impression of well-defined sharp patterns on white engobe layer covering dark clay body. It was postulated that the ancient potters used plastic clay from a surrounding area of kiln site and the decoration was made on engobe and body while they were sufficiently plastic prior to glazing with celadon. To verify the hypothesis, two Vieng Bua clay resources were subjected to a series of analysis including X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD) and particle size distribution. Physical properties such as plasticity, drying shrinkage, firing shrinkage, water absorption, and refractoriness were also evaluated. Engobe layer was applied on three stages of clay body preparation (leather hard, dry and biscuit) followed by imprinting. After firing at 800°C, the cross sectional parts of the samples were examined by light microscope. It was found that leather hard stage gave well-defined patterns and it was most similar to ancient potteries. The engobe with the thickness of about 150µm could conceal the colour of dark clay body after firing at 1230°C. Green celadon glaze was similar to that of the ancient pieces by applying a glaze slip with 40wt% of Vieng Bua clay and 60wt% of Longan wood ash cover the prefired engobe layer and firing at 1230°C in reduction atmosphere.

Keywords: Vieng Bua Pottery / Engobe / Imprinting / Celadon glaze

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(3)
บทคัดย่อภาษาไทย	(4)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(5)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพ	(10)
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา	4
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 เครื่องเคลือบดินเผา	6
2.2 เอนโกบ	11
2.3 เคลือบแก้วไม้	14
2.4 การเผา	18
2.5 การขยายตัวเนื่องจากความร้อน	20
2.6 การวัดสี	23
2.7 การศึกษาและพัฒนาเครื่องเคลือบดินเผา	23
3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	28
3.1 การทดลองเนื้อดินปั้น	28
3.2 การศึกษาการเตรียมเอนโกบ	33

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.3 การศึกษาวิธีการหุบเอนโกบและการเผา	35
3.4 การศึกษาการเตรียมเคลือบถ้ำไม้	36
4 ผลการทดลอง	38
4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบและลักษณะทางจุลภาคของดิน	38
4.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้น	43
4.3 การเตรียมชิ้นทดสอบสำหรับการทดสอบเอนโกบและเคลือบ	51
4.4 การวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน	52
4.5 การเตรียมเอนโกบ	54
4.6 การทดลองเคลือบ	78
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	96
5.1 การทดลองเนื้อดินปั้น	96
5.2 การเอนโกบ	96
5.3 การทดลองเคลือบถ้ำไม้	97
5.4 ข้อเสนอแนะ	97
รายการอ้างอิง	98
ภาคผนวก	102
ภาคผนวก ก ผลวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของดิน RC ดิน YC และถ้ำไม้ลำไย	103
ภาคผนวก ข การเกิดตำหนิบนเนื้อดิน YC หลังการเผาเอนโกบ อุณหภูมิ 1200 1230 และ 1250 องศาเซลเซียส	115
ประวัติผู้เขียน	117

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงชนิดของเฟลด์สปาร์และสูตรทางเคมี	9
2.2 แสดงสูตรเอนโกบสีขาวที่ใช้กับเนื้อดินปั้นลักษณะต่างๆ	14
2.3 แสดงอุณหภูมิการเผาและสิ่งที่เกิดขึ้นระหว่างการเผา	20
3.1 แสดงการปรับส่วนผสมของเคลือบจากวัตถุดิบสองชนิด	37
4.1 แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินจากแหล่งดินที่ใช้ในการวิจัย	38
4.2 แสดงขนาดอนุภาคของดินที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องวัดขนาดอนุภาค	42
4.3 แสดงผลการทดลองของการทดสอบสภาพพลาสติกของดินโดยใช้น้ำเป็นส่วนผสม	43
4.4 แสดงค่าการหดตัวของเนื้อดินหลังอบแห้งและหลังเผา	47
4.5 แสดงค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของเนื้อดินหลังการเผา	48
4.6 แสดงค่าความโค้งงอของเนื้อดินหลังเผา	49
4.7 แสดงค่าความแข็งของตัวอย่างเนื้อดินขึ้นและร้อยละของความชื้นที่เวลาต่างๆ	51
4.8 แสดงร้อยละการขยายตัวของเนื้อดิน RC เอนโกบ และเคลือบ	54
4.9 แสดงปริมาณวัตถุดิบกับปริมาณน้ำโดยน้ำหนักและค่าความถ่วงจำเพาะของสลิป	54
4.10 แสดงลักษณะเอนโกบบนเนื้อดินบิสกิตหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1230°C	55
4.11 แสดงลักษณะเอนโกบบนเนื้อดินอบแห้งหลังการเผาที่ อุณหภูมิ 1230°C	57
4.12 แสดงลักษณะเอนโกบบนเนื้อดินขึ้นหลังการเผาที่ อุณหภูมิ 1230°C	59
4.13 แสดงค่าความขาวตามเวลาการชุบและค่าความถ่วงจำเพาะของเอนโกบบนเนื้อดินลักษณะต่างๆ หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1230°C	61
4.14 แสดงความหนาของเอนโกบบนเนื้อดินลักษณะต่างๆ ที่ชุบเวลา และค่าความถ่วงจำเพาะต่างกัน	63
4.15 แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าไม้ล่าย	78
4.16 แสดงร้อยละของน้ำโดยน้ำหนักในส่วนผสมเคลือบแต่ละสูตร	81
4.17 แสดงลักษณะเคลือบบนเนื้อดินที่เอนโกบแล้วไม่เผาบิสกิต หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C บรรยายกาออกซิเดชัน	83

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.18 แสดงลักษณะเคลือบหลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C ที่บดเวลาต่างๆ โดยไม่กรองเคลือบ	86
4.19 แสดงร้อยละการค้ำตะแกรงของเคลือบที่กรองหลังการบด ณ เวลาต่างๆ	89
4.20 แสดงลักษณะเคลือบหลัง เผาที่อุณหภูมิ 1230°C ที่บดเวลาต่างๆ โดยกรองเคลือบผ่านตะแกรง 100 เมช	90
4.21 แสดงอุณหภูมิการเผาเคลือบและร้อยละของออกซิเจนในบรรยากาศรีดักชัน	93

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1.1 พิพิธภัณฑสถานและเครื่องเคลือบโบราณภายในแหล่งเรียนรู้เวียงบัว	2
1.2 การเก็บตัวอย่างจากแหล่งดินสาธารณะในหมู่บ้านบัว	3
1.3 ตัวอย่างดินที่ผ่านการบดเป็นผงด้วยเครื่องบดย่อยดิน	3
2.1 ลักษณะการเกิดตำหนิรานตัวของเคลือบและเอนโกบที่มีการขยายตัวต่างกัน	21
2.2 ลักษณะการเกิดตำหนิรานตัวของเคลือบบนเอนโกบที่มีการขยายตัวต่างกัน	22
2.3 ลักษณะการเกิดตำหนิรานตัวของเอนโกบได้ชั้นเคลือบที่มีการขยายตัวต่างกัน	22
2.4 ลักษณะการเกิดตำหนิหลุ่ร่อนของเคลือบและเอนโกบที่มีการขยายตัวต่างกัน	23
3.1 ลักษณะตัวอย่างที่นำไปคำนวณหาร้อยละการหดตัวหลังอบแห้ง	30
3.2 วิธีการจัดวางตัวอย่างสำหรับการทดสอบความทนไฟ	32
3.3 ลักษณะและขนาดของตัวอย่างขึ้นทดสอบสำหรับทดสอบเอนโกบและเคลือบ	33
4.1 พิกของแร่ที่เป็นองค์ประกอบของดิน RC ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	40
4.2 พิกของแร่ที่เป็นองค์ประกอบของดิน YC ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	41
4.3 กราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคดินที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค	42
4.4 สภาพพลาสติกของเส้นดิน RC หลังการม้วนเป็นครึ่งวงกลม	45
4.5 สภาพพลาสติกของเส้นดิน YC หลังการม้วนเป็นครึ่งวงกลม	46
4.6 กราฟแสดงร้อยละการหดตัวของเนื้อดินหลังอบแห้งและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ	47
4.7 กราฟแสดงร้อยละการดูดซึมน้ำของเนื้อดินหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ	48
4.8 กราฟแสดงค่าความโค้งงอของเนื้อดินที่อุณหภูมิต่างๆ	49
4.9 ลักษณะของดิน RC และดิน YC หลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ	50
4.10 กราฟแสดงความแข็งของตัวอย่างดินเมื่อตั้งทิ้งไว้ ณ อุณหภูมิห้อง	52
4.11 กราฟแสดงการขยายตัวของเนื้อดิน RC เอนโกบ และเคลือบ	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.12 แสดงลักษณะเอนโกบนบนเนื้อดินบิสกิตหลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C	56
4.13 แสดงลักษณะเอนโกบนบนเนื้อดินที่อบแห้งหลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C	58
4.14 แสดงลักษณะเอนโกบนบนเนื้อดินชื้นหลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C	60
4.15 กราฟแสดงความยาวตามเวลาชุบและความถ่วงจำเพาะของเอนโกบนบนเนื้อดินบิสกิต	62
4.16 กราฟแสดงความยาวตามเวลาชุบและความถ่วงจำเพาะของเอนโกบนบนเนื้อดินอบแห้ง	62
4.17 กราฟแสดงความยาวตามเวลาชุบและความถ่วงจำเพาะของเอนโกบนบนเนื้อดินชื้น	62
4.18 กราฟแสดงความหนาของเอนโกบนบนเนื้อดินบิสกิต	64
4.19 กราฟแสดงความหนาของเอนโกบนบนเนื้อดินแห้ง	64
4.20 กราฟแสดงความหนาของเอนโกบนบนเนื้อดินชื้น	64
4.21 แสดงความหนาของชั้นเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.3 บนเนื้อดินบิสกิต หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C	66
4.22 แสดงความหนาของชั้นเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.4 บนเนื้อดินบิสกิต หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C	67
4.23 แสดงความหนาของชั้นเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.5 บนเนื้อดินบิสกิต หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C	68
4.24 แสดงความหนาของชั้นเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.3 บนเนื้อดินอบแห้ง หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C	69
4.25 แสดงความหนาของชั้นเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.4 บนเนื้อดินอบแห้ง หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C	70
4.26 แสดงความหนาของชั้นเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.5 บนเนื้อดินอบแห้ง หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C	71
4.27 แสดงความหนาของชั้นเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.3 บนเนื้อดินชื้น หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C	72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.28 แสดงความหนาของชั้นเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.4 บนเนื้อดินชั้น หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C	73
4.29 แสดงความหนาของชั้นเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.5 บนเนื้อดินชั้น หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C	74
4.30 ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์โบราณที่มีการเอนโกบและตกแต่งลวดลายด้วยวิธีกดประทับ	75
4.31 ภาพถ่ายผลิตภัณฑ์โบราณที่มีลวดลายการกดประทับโดยใช้กล้องจุลทรรศน์เชิงแสง	76
4.32 ภาพถ่ายผลิตภัณฑ์เลียนแบบวิธีกดประทับจากผลิตภัณฑ์โบราณโดยใช้กล้อง จุลทรรศน์เชิงแสง	77
4.33 พิเศษของแร่ที่เป็นองค์ประกอบของแก้วไม้ลำไย ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบน ของรังสีเอ็กซ์	80
4.34 ชิ้นทดสอบที่เอนโกบแล้วไม่เผาปัสกิตกับเผาปัสกิตหลังการชุบเคลือบในแต่ละสูตร	82
4.35 ชิ้นทดสอบที่เอนโกบแล้วไม่เผาปัสกิตกับเผาปัสกิต หลังการเผาเคลือบ อุณหภูมิ 1230°C บรรยากาศออกซิเดชัน	84
4.36 ดำหนิผิวขรุขระในเคลือบและกราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX	85
4.37 ชิ้นทดสอบเคลือบสูตร 1 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 1230°C	87
4.38 ชิ้นทดสอบเคลือบสูตร 2 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 1230°C	87
4.39 ชิ้นทดสอบเคลือบสูตร 3 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 1230°C	87
4.40 ชิ้นทดสอบเคลือบสูตร 4 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 1230°C	88
4.41 ชิ้นทดสอบเคลือบสูตร 5 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 1230°C	88
4.42 กราฟแสดงร้อยละการหักเหของแสงของเคลือบที่บด ณ เวลาต่างๆ	89
4.43 ชิ้นทดสอบเคลือบสูตร 1 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง โดยกรองเคลือบผ่านตะแกรง 100 เมช เผาที่อุณหภูมิ 1230°C	91
4.44 ชิ้นทดสอบเคลือบสูตร 2 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง โดยกรองเคลือบผ่านตะแกรง 100 เมช เผาที่อุณหภูมิ 1230°C	91

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.45 ชั้นทดสอบเคลือบสูตร 3 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง โดยกรองเคลือบผ่านตะแกรง 100 เมช เเผาที่อุณหภูมิ 1230°C	91
4.46 ชั้นทดสอบเคลือบสูตร 4 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง โดยกรองเคลือบผ่านตะแกรง 100 เมช เเผาที่อุณหภูมิ 1230°C	92
4.47 ชั้นทดสอบเคลือบสูตร 5 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง โดยกรองเคลือบผ่านตะแกรง 100 เมช เเผาที่อุณหภูมิ 1230°C	92
4.48 อุณหภูมิการเผาเคลือบและร้อยละของออกซิเจนในบรรยากาศรีดักชัน	94
4.49 ผลิตภัณฑ์ที่เลียนแบบเครื่องเคลือบโบราณเวียงบัว	95

บทที่ 1

บทนำ

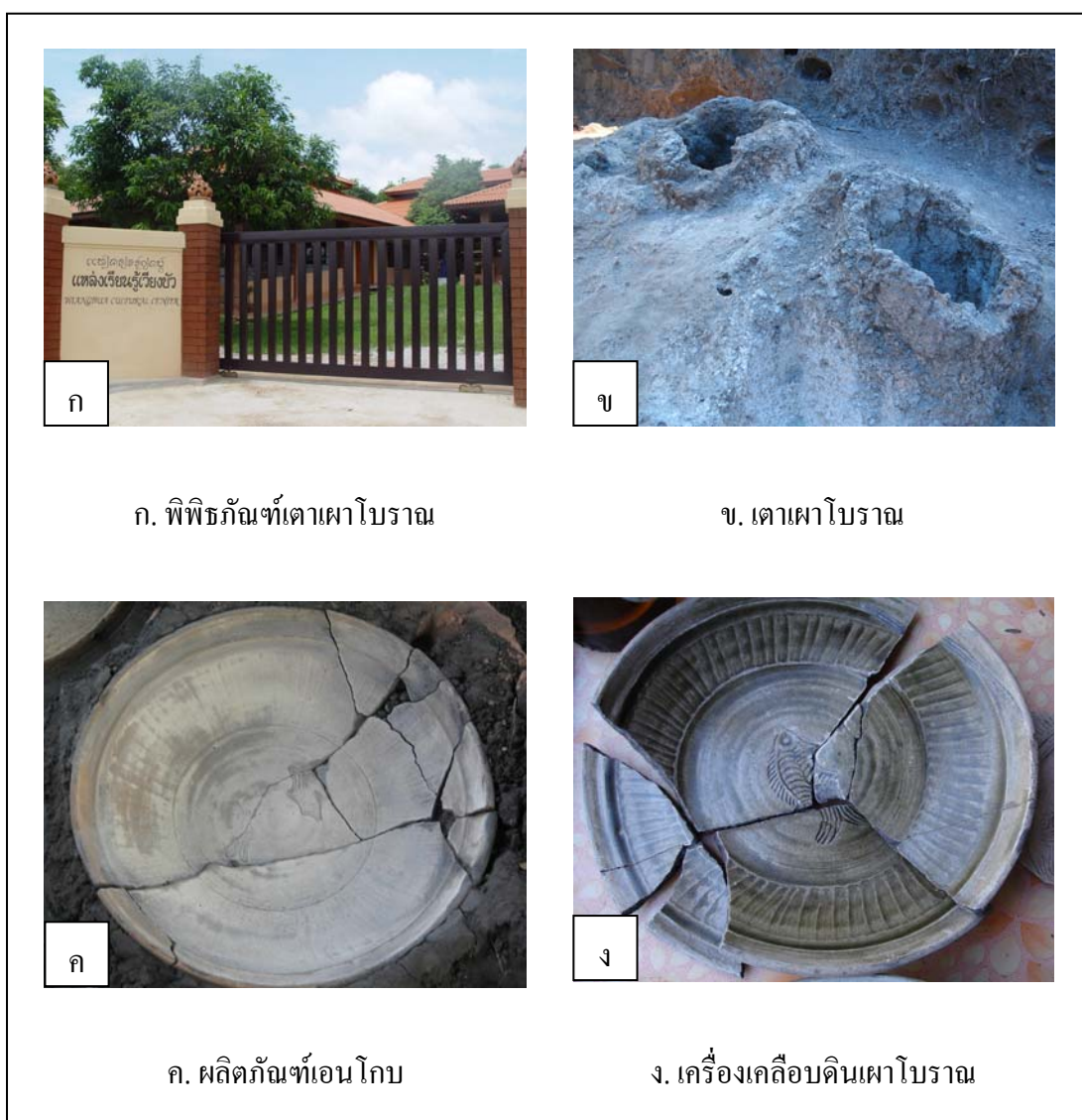
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากที่ได้มีการขุดพบเตาเผาโบราณที่หมู่บ้านบัว ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ซึ่งเป็นหลักฐานทางประวัติศาสตร์ของชุมชนและเป็นมรดกจากในอดีต (เบญจวรรณ วงศ์คำ, 2550) นักโบราณคดีได้สันนิษฐานว่าผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาเหล่านี้จะมีอายุราว 800 ปี นับตั้งแต่สมัยพุทธศตวรรษที่ 17 – 18 บริเวณเตาเผาและพื้นดินโดยรอบได้มีการค้นพบชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาเป็นจำนวนมาก ดังภาพที่ 1.1

ผลิตภัณฑ์ที่พบบริเวณเตาเผาโบราณ ส่วนใหญ่เป็นภาชนะประเภทจานและชาม บนผลิตภัณฑ์มีการตกแต่งที่เป็นเอกลักษณ์ คือ การขีดเขียนลวดลายผสมผสานกับการใช้แม่พิมพ์กดประทับ ลวดลายที่พบส่วนใหญ่จะเป็นรูปสัตว์ซึ่งได้แก่ ลายปลา ลายสิงห์ และลายนกยูง เป็นต้น นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ยังมีการเอน โอบเพื่อปรับผิวของเนื้อดินปั้นให้มีสีขาวและทำการเคลือบผลิตภัณฑ์ทับอีกชั้นด้วยเคลือบสีเขียวใส ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้คิดค้นขึ้นโดยช่างโบราณอันแสดงถึงความชำนาญที่สามารถประยุกต์ศาสตร์และศิลป์ได้อย่างลงตัว

วิธีการผลิตเครื่องเคลือบดินเผาสมัยโบราณ ในปัจจุบันนี้ยังไม่สามารถค้นพบหลักฐานที่ชัดเจนที่เป็นลายลักษณ์อักษรไว้อย่างแน่ชัด และไม่มีการถ่ายทอดความรู้จากรุ่นหลังมาอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้กระบวนการผลิตเครื่องเคลือบดินเผารูปแบบดั้งเดิมนั้นไม่ได้รับการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น ประกอบกับการเลือกใช้วัตถุดิบภายในท้องถิ่นที่ต้องนำมาทำการปรับปรุงใหม่ให้มีคุณภาพเหมาะสมกับการผลิตของกลุ่มอุตสาหกรรมเตาเผาเวียงบัว ซึ่งในปัจจุบันได้จัดสร้างพิพิธภัณฑ์แหล่งเตาเผาโบราณขึ้นเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญแห่งหนึ่งของ จ.พะเยา อีกทั้งยังสามารถสร้างรายได้จากการจำหน่ายของที่ระลึกประเภทเครื่องเคลือบดินเผาที่ยังคงไว้ซึ่งรูปแบบผลิตภัณฑ์ดั้งเดิม แต่เนื่องจากกลุ่มชาวบ้านที่จะทำการผลิตเครื่องเคลือบดินเผายังขาดความรู้ความเข้าใจในกระบวนการผลิต ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของปัญหาดังกล่าว จึงได้เข้าไปเป็นส่วนร่วมในการพัฒนาเครื่องเคลือบดินเผาเวียงบัวโดยใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นมาเป็นวัตถุดิบหลัก และเพื่อเป็น

แนวทางในการลดต้นทุนการผลิต ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำวัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นมาศึกษา และปรับปรุงคุณภาพให้สามารถนำไปผลิตเครื่องเคลือบดินเผาให้มีความเป็นมาตรฐานยิ่งขึ้น และจากการสำรวจแหล่งดินสาธารณะที่สามารถนำมาใช้ในระยะยาวมี 2 แหล่ง ได้แก่ ดินจากบริเวณตลิ่งลูง จูซึ่งมีพื้นที่เป็นเนินดินและดินจากบริเวณบ่อน้ำจำซึ่งมีพื้นที่เป็นบ่อน้ำ ดังภาพที่ 1.2

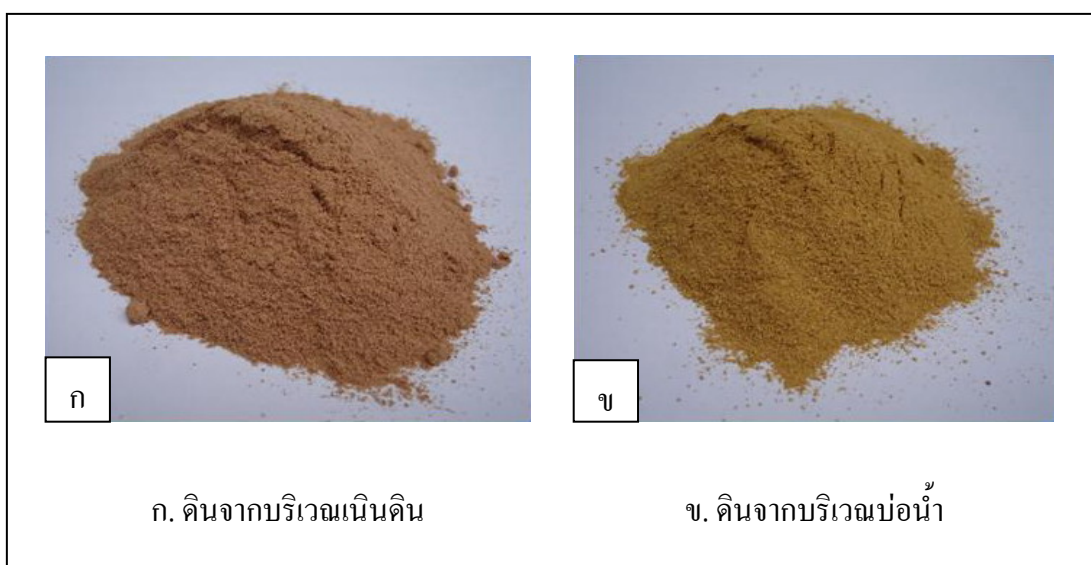


ภาพที่ 1.1 พืชภัณฑ์และเครื่องเคลือบโบราณภายในแหล่งเรียนรู้เวียงบัว



ภาพที่ 1.2 การเก็บตัวอย่างจากแหล่งดินสาธารณะในหมู่บ้านบัว

จากภาพที่ 1.2 เมื่อทำการเก็บตัวอย่างดินจากทั้งสองแหล่งโดยสุ่มเลือกตัวอย่างที่จุดลึกจากผิวดินประมาณ 50 เซนติเมตร จากนั้นนำตัวอย่างดินมาทำการบดเป็นผงด้วยเครื่องบดย่อยดินก่อน พบว่าสีของเนื้อดินจะต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า คือ ดินจากบริเวณเนินดินจะมีสีแดงอิฐส่วนดินจากบริเวณบ่อน้ำจะมีสีเหลือง ดังภาพที่ 1.3



ภาพที่ 1.3 ตัวอย่างดินที่ผ่านการบดเป็นผงด้วยเครื่องบดย่อยดิน

ในเบื้องต้นสันนิษฐานว่าดินทั้งสองแหล่งน่าจะมีแร่เหล็กปะปน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เนื้อดินหลังการเผามีสีดำและอาจส่งผลต่อสีของเคลือบให้ผิดเพี้ยนไป ดังนั้นจึงต้องมีการเอนโกบเพื่อเป็นการปิดสีเนื้อดินขึ้นก่อนทำการเคลือบจึงจะได้สีเคลือบที่มีความสวยงามให้สีเขียวใสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์โบราณ โดยสีเขียวของเคลือบบนผลิตภัณฑ์โบราณน่าจะเกิดจากการนำเถ้าไม้มาเป็นส่วนประกอบร่วมกับวัตถุดิบอื่นๆ และเผาในบรรยากาศที่เหมาะสมจนทำให้เกิดสีเขียวที่คล้ายคลึงกับการผลิตเคลือบสีตาลในปัจจุบัน

การลดต้นทุนการผลิตเครื่องเคลือบดินเผาของกลุ่มอุตสาหกรรมเตาเผาเวียงบัว มีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากยังอยู่ในระดับเริ่มต้นของการลงทุน ดังนั้น ผู้ทดลองจึงมีแนวคิดที่จะนำวัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นมาศึกษาซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาง่ายและมีในปริมาณมาก ได้แก่ ดินพื้นบ้าน และเถ้าไม้ลำไย ให้สามารถนำไปผลิตเครื่องเคลือบดินเผาที่มีมาตรฐานยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ เพื่อคัดเลือกเนื้อดินเวียงบัวที่เหมาะสมในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์
- 1.2 ศึกษาการเตรียมเอนโกบสีขาว วิธีการเอนโกบ วิธีการตกแต่งลวดลายบนเอนโกบที่เหมาะสมกับเนื้อดินเวียงบัว
- 1.3 ศึกษาการเตรียมเคลือบเถ้าไม้ลำไย วิธีการเคลือบ วิธีการเผา และบรรยากาศในการเผาที่มีผลให้เกิดเคลือบสีเขียวใส

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา

ผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาที่ใช้วัตถุดิบจากเวียงบัว โดยมีการเอนโกบสีขาวและเคลือบสีเขียวใสที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์โบราณ และสามารถเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์โดยใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นเพื่อให้เป็นที่ต้องการของตลาดมากยิ่งขึ้น

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

ในการศึกษานี้ผู้วิจัยต้องการศึกษาดินพื้นบ้านเพื่อพัฒนาเครื่องเคลือบดินเผา โดยใช้ตัวอย่างดินจากหมู่บ้านบัว ต.แม่กา อ.เมือง จ.พะเยา คือ

1.1 แหล่งดินบริเวณเนินดิน กำหนดรหัสให้เป็น RC หรือ Red clay เนื่องจากเป็นดินที่มีสีแดง

1.2 แหล่งดินบริเวณบ่อน้ำ กำหนดรหัสให้เป็น YC หรือ Yellow clay เนื่องจากเป็นดินที่มีสีเหลือง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องเคลือบดินเผา

เครื่องเคลือบดินเผาที่มีมาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์จนถึงปัจจุบัน ได้พัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการด้านประโยชน์ใช้สอยในชีวิตประจำวัน เช่น กระเบื้อง สุขภัณฑ์ เครื่องใช้ในครัวเรือน และเครื่องประดับตกแต่ง ปัจจุบันได้พัฒนาขึ้นอย่างหลากหลาย เช่น วัสดุทนไฟ ฉนวนไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ที่ใช้ในวงการแพทย์ เป็นต้น

เครื่องเคลือบดินเผา หมายถึง สิ่งที่ทำจากดิน แร่ หิน ผ่านการเผา เพื่อให้มีความแข็งแรงและสามารถนำไปใช้งานได้โดยสามารถทนต่อความร้อน การขีดข่วนและการกัดกร่อนจากสารเคมี

2.1.1 ประเภทของเครื่องเคลือบดินเผา

การแบ่งประเภทของเครื่องเคลือบดินเผาโดยทั่วไปจะแบ่งตามลักษณะของเนื้อดิน และอุณหภูมิที่ใช้เผา โดยแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ เอิร์ทเทินแวร์ (Earthenware) สโตนแวร์ (Stoneware) และพอร์ซเลน (Porcelain) (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541)

2.1.1.1 เอิร์ทเทินแวร์ (Earthenware)

ผลิตภัณฑ์เอิร์ทเทินแวร์เป็นผลิตภัณฑ์ที่เผาในอุณหภูมิ 800–1150°C โดยใช้ดินธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลัก ลักษณะของผลิตภัณฑ์ค่อนข้างหนาและมีความพรุนตัวสูง หลังเผาให้สีแดง น้ำตาล ดูดซึมน้ำประมาณร้อยละ 15 เคลือบที่ใช้กับเนื้อดินชนิดนี้ ได้แก่ เคลือบตะกั่ว (Lead glaze) เคลือบโบรอน (Boron glaze) และเคลือบฟริต (Fritted glaze) นิยมใช้ทำเป็นโอ่งน้ำ และกระถาง เป็นต้น

2.1.1.2 สโตนแวร์ (Stoneware)

สโตนแวร์เป็นผลิตภัณฑ์ที่เผาในอุณหภูมิ 1250–1300°C ลักษณะของผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงและทนทานมากกว่าเนื้อดินประเภทเอิร์ทเทินแวร์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อละเอียด หรือหยาบก็ได้ การดูดซึมน้ำหลังเผาแกร่งแล้วไม่เกินร้อยละ หลังเผาให้สีขาวขุ่น แดง น้ำตาล ดำ สามารถใช้เคลือบที่

เผาในอุณหภูมิสูงได้ทุกชนิด ขึ้นอยู่กับเนื้อดินปั้นที่นำมาใช้ผลิต ส่วนมากนิยมใช้ทำผลิตภัณฑ์เพื่อประโยชน์ใช้สอย เครื่องประดับ งานประติมากรรม และเครื่องใช้ในครัวเรือน

ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์สามารถเตรียมได้ 2 ลักษณะ คือ เนื้อดินสโตนแวร์สำเร็จรูป และลักษณะที่สอง คือ เนื้อดินสโตนแวร์จากธรรมชาติที่สามารถนำมาขึ้นรูปได้โดยไม่ต้องผสมกับแร่อื่นๆ เนื้อดินชนิดนี้มีตัวช่วยหลอมปะปนในปริมาณมากซึ่งมีส่วนช่วยให้ผลิตภัณฑ์หลังเผามีความแข็งแกร่งดี ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ได้ถูกค้นพบ และได้มีการพัฒนาต่อเนื่องกันมาเป็นเวลานาน ได้แก่ ผลิตภัณฑ์โอ่งราชบุรี ผลิตภัณฑ์ด้านเกวียน ผลิตภัณฑ์สังคโลก ผลิตภัณฑ์ศิลาดล และผลิตภัณฑ์ที่พบในแหล่งเตาโบราณ เช่น แหล่งเตาเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงใหม่ แหล่งเตาเวียงกาหลง จังหวัดเชียงราย และแหล่งเตาเวียงบัว จังหวัดพะเยา เป็นต้น

การนำดินธรรมชาติจาก หมู่บ้านบัว ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา มาพัฒนาเป็นเนื้อดินสโตนแวร์จึงค่อนข้างมีความเป็นไปได้สูง เนื่องจากเนื้อดินที่นำมาใช้ในการทดลองเบื้องต้นสันนิษฐานว่าน่าจะมีตัวช่วยหลอมปะปน ซึ่งได้แก่ เหล็ก (Ferric oxide) และน่าจะเผาได้ถึงอุณหภูมิ 1250°C เนื่องจากมีการเคลือบด้วยเคลือบแก้วไม่ซึ่งอุณหภูมิการเผาเคลือบที่ใช้กับเนื้อดินปั้นสโตนแวร์โดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ $1250\text{--}1300^{\circ}\text{C}$ (ไพจิตร อิงศิริวัฒน์, 2537) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เลือกพัฒนาดินบ้านบัวเพื่อให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ ดังนี้

คุณสมบัติของเนื้อดินสโตนแวร์

1. มีความเหนียวเหมาะสมสำหรับขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนได้หลากหลายขนาด โดยไม่บิดเบี้ยวเสียรูปทรง
2. การหดตัวก่อนเผา ไม่เกินร้อยละ 10 และหลังเผาไม่เกินร้อยละ 15
3. ไม่มีอัลคาไลน์ (alkaline) และอินทรีย์สารเจือปน
4. การดูดซึมน้ำ (water absorption) ไม่เกินร้อยละ 5
5. สีของเนื้อผลิตภัณฑ์หลังเผาในบรรยากาศออกซิเดชันเป็นสีเหลืองอ่อน แต่เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะมีสีส้มถึงน้ำตาล

2.1.1.3 พอร์ซเลน (Porcelain)

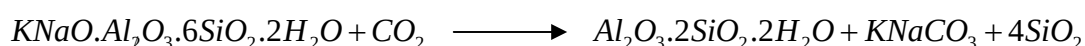
พอร์ซเลนเป็นผลิตภัณฑ์ที่เผาในอุณหภูมิ $1250\text{--}1400^{\circ}\text{C}$ เนื้อดินสีขาวละเอียด โปร่งแสง มีความแข็งแกร่งมาก มีการดูดซึมน้ำน้อย เคลือบที่ใช้กับเนื้อดินชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นเคลือบใสเพื่อเน้นความโปร่งแสงของเนื้อดิน นิยมใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทภาชนะใส่อาหาร งานศิลปะ จนวนไฟฟ้า หัวเทียนรถยนต์ และถ้วยครุชเบิล (Crusible) เป็นต้น

2.1.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเครื่องเคลือบดินเผา

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเครื่องเคลือบดินเผามี 2 ประเภท ได้แก่ วัตถุดิบที่มีความเหนียว (Plastic raw materials) เช่น ดิน และวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว (Non-plastic raw material) เช่น เฟลด์สปาร์ ควอตซ์ เป็นต้น

2.1.2.1 วัตถุดิบที่มีความเหนียว

ดิน คือ สารประกอบไฮดรอส อลูมิโน ซิลิเกต (Hydrous aluminosilicate) ที่เกิดจากการสลายตัวของหินแกรนิต (Granite) หินฟีนมา (Feldspar) และเพกมาไทต์ (Pegmatite) โดยสภาวะแวดล้อมที่ทำให้เกิดการผุพังสักร่อน ได้แก่ น้ำ ลม อากาศ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามธรรมชาติ ดังสมการ



การจำแนกชนิดของดินตามแหล่งกำเนิดแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ ดินปฐมภูมิ (Primary clay or residual clay) เป็นดินที่อยู่ในแหล่งกำเนิดเดิม มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาว และมีความเหนียวน้อย ตัวอย่างดินชนิดนี้ ได้แก่ ดินขาว หรือ ดินเกาลิน (Kaolin) เป็นต้น จากนั้น เมื่อดินปฐมภูมิได้ถูกพัดพา มาทับถมจนเกิดเป็นแหล่งดินทุติยภูมิ (Secondary clay or sedimentary clay) ซึ่งมีความละเอียดและมีความเหนียวกว่าดินปฐมภูมิ และตกตะกอนสะสมในบริเวณที่ราบลุ่ม ตัวอย่างดินชนิดนี้ เช่น ดินดำ ดินแดง (Hamer F.&J., 1975) ดินในแต่ละชนิดเมื่อนำมาผสมกับน้ำจะทำให้เกิดความเหนียวขึ้นและสามารถปั้น หรือ ขึ้นรูปทรงต่างๆ ได้ เมื่อแห้งจะยังคงรักษารูปทรงเดิมไว้และมีความแข็งแรงดีขึ้นแต่ค่อนข้างเปราะ ถ้าผ่านการเผาแล้วจะทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น

ดินขาว (Kaolin, China clay) หมายถึง ดินที่มีสีขาว หรือ สีซีดจาง เป็นดินที่เกิดอยู่ในแหล่งผุพังของหินเดิมจึงมีความบริสุทธิ์สูง มีความเหนียวน้อย ให้สีขาวหลังการเผา นิยมใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความขาว เช่น ถ้วยชาม สุขภัณฑ์ ฉนวนไฟฟ้า เป็นต้น

ดินเหนียว (Ball clay) หมายถึง ดินที่มีสีดำ เม็ดละเอียด มีความเหนียว เหมาะสำหรับผสมกับดินขาวเพื่อเป็นเนื้อดินปั้นในการทำเครื่องเคลือบดินเผา ช่วยให้การขึ้นรูปเป็นไปได้อย่างดีขึ้น ถ้าใช้น้ำสลิปสำหรับการหล่อขึ้นรูปจะช่วยให้มีการไหลตัวดีขึ้น แต่ถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไปจะส่งผลทำให้ความขาวลดลงและทำให้ความโปร่งแสงของผลิตภัณฑ์ลดลง

ดินขาวเหนียว คือ ดินขาวที่เกิดจากการผุกร่อนของหินแล้วเกิดการทับถมเป็นแหล่งดิน ซึ่งแหล่งดินขาวชนิดนี้มักเกิดใกล้ชายทะเล มีความละเอียดและเหนียว

ดินทนไฟ (Fire clay) เป็นดินที่ทนความร้อนสูงประมาณ 1500°C มีความเหนียวมาก นิยมทำอิฐทนไฟ และนิยมผสมเป็นเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์สโตนแวร์

ดินเบนโทไนท์ (Bentonite) เป็นดินที่มีความเหนียวมากและมีการหดตัวมาก นิยมใช้ในปริมาณน้อยเมื่อนำไปผสมกับเนื้อดินปั้นและในน้ำเคลือบเพื่อปรับปรุงความเหนียวและช่วยในการยึดเกาะได้ดีขึ้น

2.1.2.2 วัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว

วัตถุดิบประเภทที่ไม่มีความเหนียว ได้แก่ หินชนิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หินที่ใช้ในการผลิตเซรามิก ซึ่งวัตถุดิบประเภทที่ไม่มีความเหนียว ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้แก่ เฟลด์สปาร์ (Feldspar) และควอตซ์ (Quartz)

เฟลด์สปาร์ (Feldspar)

เฟลด์สปาร์ เป็นสารประกอบของแอลคาไลน์อะลูมิเนียมซิลิเกต (Alkaline Aluminium silicate) และแอลคาไลน์เอิร์ทของสารประกอบโซเดียม โพแทสเซียม และแคลเซียม เฟลด์สปาร์เป็นตัวช่วยหลอม (Flux) ทั้งในเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ โดยธรรมชาติของเฟลด์สปาร์จะเป็นสารประกอบแอลคาไลน์และแอลคาไลน์เอิร์ทเจือปนอยู่หลายชนิด จึงปรากฏชื่อเรียกแตกต่างกันตามเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบที่เจือปนนั้น ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของเฟลด์สปาร์และสูตรทางเคมี

ชนิด	สูตรทางเคมี
โพแทชเฟลด์สปาร์ (Potash feldspar)	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$
โซดาเฟลด์สปาร์ (Soda feldspar)	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$
แคลเซียมเฟลด์สปาร์ (Calcium feldspar)	$CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$
แบเรียมเฟลด์สปาร์ (Barium feldspar)	$BaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$
ลิเทียมเฟลด์สปาร์ (Lithium feldspar)	$Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$

เฟลด์สปาร์ที่นิยมใช้ในการผลิตเครื่องเคลือบดินเผา คือ โพแทชเฟลด์สปาร์ โซดาเฟลด์สปาร์ และแคลเซียมเฟลด์สปาร์ เฟลด์สปาร์ทั้ง 3 ชนิดนี้จะมีสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันตามลักษณะของส่วนประกอบทางเคมี คือ

โพแทชเฟลด์สปาร์ มี 2 ชนิด คือ ออโธเคลส (Orthoclase) และ ไมโครไคลน์ (Microcline) มีจุดหลอมประมาณ 1200–1250°C

โซดาเฟลด์สปาร์ หรือ อัลไบต์ (Albite) มีจุดหลอมและความหนืดต่ำกว่าโพแทชเฟลด์สปาร์ คือ มีจุดหลอมประมาณ 1100°C นิยมใช้ผสมในน้ำเคลือบ และในเนื้อดินปั้นที่ต้องการความโปร่งแสง

แคลเซียมเฟลด์สปาร์ หรือ อนอร์ไทต์ (Anorthite) ส่วนมากจะเกิดบริเวณที่หินแปรสัมผัสกับหินปูน

ประโยชน์ของเฟลด์สปาร์สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา มีดังนี้

1. ช่วยเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์เป็นเนื้อแก้วขึ้นระหว่างเผา
2. ช่วยลดจุดสุกตัวให้กับผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถเผาเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบที่

อุณหภูมิต่ำลงได้

3. ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความโปร่งแสงได้ดีขึ้น

ควอตซ์ (Quartz)

ควอตซ์ หรือ หินเขี้ยวหนุมาน เป็นวัตถุดิบที่ทำหน้าที่เสมือนโครงสร้างกระดูกของผลิตภัณฑ์ทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งแรงไม่โค้งงอ ทั้งยังช่วยลดการขยายตัวก่อนเผา และหลังเผาของผลิตภัณฑ์ให้น้อยลง

ควอตซ์ เป็นสารประกอบของซิลิกาที่เกิดในธรรมชาติมีความบริสุทธิ์ แข็งแรง และคมมาก ควอตซ์ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของหินอัคนี ชนิดที่มีซิลิกามาก เช่น หินแกรนิต ไรโอไลต์ มัสโคไวต์ ไบโอไทต์ แอมฟิโบล ไพรอกซีน ทัลก์ โอลิวีน แมกนีไทต์ การ์เนต เซอร์เพนทีน ฮอร์นเบลนด์ และเพกมาไทต์ เป็นต้น

ควอตซ์ เมื่อโดนเผาผ่านความร้อนจะเปลี่ยนโครงสร้างเป็นรูปผลึกอยู่หลายช่วงอุณหภูมิของการเผา โดยอะตอมของรูปผลึกจะจัดเรียงตัวใหม่จากรูปแบบหนึ่งเป็นอีกรูปแบบหนึ่งแต่ละแบบจะสามารถคงรูปอยู่ได้ในช่วงอุณหภูมิหนึ่งการเปลี่ยนแปลงรูปผลึกนี้เราเรียกว่า ควอตซ์อินเวอร์ชัน (Quartz inversion) ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเมื่อถูกเผาผ่านความร้อน แต่เมื่อสิ้นสุดการเผาและจะเย็นตัวลง ผลึกต่างๆ ก็จะกลับคืนสู่รูปเดิมเมื่อเย็นตัวลง

ประโยชน์ของควอตซ์ ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมมีดังนี้

1. ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในการทำผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาโดยใช้ประมาณร้อยละ 10 – 30
2. ใช้เป็นส่วนผสมของเคลือบประมาณร้อยละ 15–30
3. ใช้ในอุตสาหกรรมแก้วและก่อสร้าง

2.2 เอนโกบ (Engobe)

เอนโกบ คือ น้ำดินสีที่ใช้สำหรับฉาบบนผิวเนื้อดินปั้นเพื่อปิดสีและตำหนิที่เกิดจากเนื้อดิน โดยปกติเอนโกบมีสีขาวแต่สามารถทำเป็นสีอื่นได้ด้วยการเติมสารให้สีลงไป ซึ่งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความสวยงามและมีรูปแบบที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น

การนำเอนโกบไปใช้ในการตกแต่งผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาสามารถทำได้ทั้งในขณะที่เนื้อดินปั้นมีความชื้น หรือ เนื้อดินปั้นที่อบแห้ง หรือ เนื้อดินที่ผ่านการเผาเบาสกิด แต่ต้องควบคุมเกี่ยวกับการปรับส่วนผสมให้เหมาะสมกับวิธีการเอนโกบ ซึ่งวิธีการเอนโกบจะเหมือนกับวิธีการเคลือบ คือ การพ่น การชุบ การทา และ การเทราด

เทคนิคการตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ด้วยวิธีเอนโกบ เป็นการการตกแต่งผลิตภัณฑ์ให้ดูสวยงามและเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์มากยิ่งขึ้น ด้วยการฉาบหรือการตกแต่งด้วยส่วนผสมของเนื้อดิน ตัวช่วยหลอมละลาย ตัวให้สีเซรามิกส์ และวัสดุที่ไม่มีความเหนียว เช่น ควอตซ์ เป็นต้น เอนโกบส่วนมากมักมีสีจากเนื้อดินที่ใช้เป็นส่วนผสมหรือจากส่วนผสมที่ทำให้เกิดสีก็ได้ ถ้าทำการเคลือบทับเอนโกบอีกครั้ง เอนโกบนั้นจะถูกเรียกว่า “อันเดอร์สลิป” (Underslips) อันเดอร์สลิปมักใช้กับดินที่เมื่อเผาแล้วมีสีขาวเพื่อเป็นพื้นรองรับเคลือบสีที่สวยงาม อันเดอร์สลิปสีขาวจะช่วยทำให้เคลือบที่มาเคลือบทับไม่ถูกรบกวนโดยสีที่แท้จริงของเนื้อผลิตภัณฑ์ (ปริดา พิมพ์ขาวขำ, 2547) การตกแต่งด้วยเอนโกบเป็นวิธีที่ง่ายทำได้หลายวิธี เช่น การตกแต่งบนผิวดินขณะที่ยังมีความชื้น และตกแต่งผลิตภัณฑ์หลังการเผา อีกวิธีหนึ่งก็เพื่อปกปิดเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีรอยตำหนิ หรือมีผิวที่หยาบหลังผ่านการเผาดิบมาแล้ว เป็นต้น

สมบัติที่สำคัญของเอนโกบ (ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก, ม.ป.ป)

1. สามารถปิดผิวเนื้อดินปั้นได้อย่างเรียบเนียนสม่ำเสมอ
2. ยึดเกาะเนื้อดินปั้นได้ดีโดยไม่เกิดการรạnตัว และไม่เกิดการหลุดร่อนเป็นแผ่นทั้งเมื่อแห้งและหลังการเผา
3. มีการหดตัวใกล้เคียงกับเนื้อดินปั้นทั้งเมื่อแห้งและหลังการเผา
4. ไม่ส่งผลกระทบต่อเคลือบจนทำให้เคลือบมีสีที่ผิดเพี้ยนไป หรือเกิดการหลุดร่อนออกไปพร้อมกันทั้งก่อน และหลังการเผาเคลือบ

2.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ทำเอนโกบ

การทำเอนโกบมีวัตถุดิบที่เหมือนกับการเตรียมเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตเครื่องเคลือบดินเผา โดยแบ่งเป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ ดิน ตัวช่วยหลอม ตัวทนไฟ ตัวช่วยประสาน ตัวเพิ่มความทึบ และตัวให้สี ดังนี้

2.2.1.1 ดิน

การเลือกตัวอย่างดินจากแหล่งดินธรรมชาติ สามารถนำมาปรับใช้และเตรียมเป็นสลิปเอนโกบได้ แต่ดินจากแหล่งดินธรรมชาติมักจะไม่บริสุทธิ์ ดังนั้น ก่อนใช้งานควรคัดแยกสิ่งปะปน เช่น วัชพืช กรวดที่มีขนาดใหญ่ออกก่อนนำไปผสมกับวัตถุดิบอื่น ส่วนการเลือกชนิดและปริมาณดินจากแหล่งดินธรรมชาติที่มีความขาวน้อยอาจมีผลต่อคุณสมบัติของเอนโกบให้เปลี่ยนไป เช่น สี การไหลตัว และความสามารถในการยึดเกาะเนื้อดินปั้น เป็นต้น ในอุตสาหกรรมการผลิตกระเบื้องดินเผาที่มีการเอนโกบ นิยมใช้ดินขาวและดินดำเป็นส่วนผสมเพราะดินทั้งสองชนิดนี้จะให้ความขาวหลังการเผาและไม่ทำให้เอนโกบเกิดสีที่ผิดเพี้ยนไป ประโยชน์ของดินดำที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ ดินดำมีความเหนียว จึงมีส่วนช่วยในการยึดเกาะกับผิวเนื้อดินปั้นได้ดี

2.2.1.2 ตัวช่วยหลอม (Flux)

การลดจุดสุกตัวของเอนโกบ ส่วนใหญ่ใช้เฟลด์สปาร์ ฟรีด (Frit) และบอแรกซ์ (Borax) เป็นต้น ในขณะที่เผาผลิตภัณฑ์วัตถุดิบที่เป็นตัวช่วยหลอมจะเกิดการหลอมตัวก่อนวัตถุดิบทนไฟอื่นๆ จึงสามารถดึงอนุภาคของวัตถุดิบทนไฟหลอมเข้าหากันส่งผลให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคลดลงทำให้เกิดการหลอมตัวรวมกันและมีเนื้อแก้วภายหลังที่เย็นตัวลง

2.2.1.3 ตัวทนไฟ (Filler)

ตัวทนไฟ เป็นวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียวใช้เติมลงในเนื้อดินปั้นเพื่อช่วยลดการหดตัวหลังอบแห้ง ส่วนใหญ่จะใช้ควอตซ์ (Quartz) เพราะมีความทนไฟสูงช่วยลดการหดตัวและเพิ่มความแข็งแรงแก่ผลิตภัณฑ์

2.2.1.4 ตัวช่วยประสาน (Binder)

ตัวช่วยประสาน มีคุณสมบัติที่สามารถช่วยให้เอนโกบยึดเกาะกับเนื้อดินปั้นได้ดีขึ้น ซึ่งสารจำพวกนี้จะเพิ่มเข้าไปในส่วนผสมของเอนโกบ ตัวช่วยประสานที่นิยมในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องเคลือบดินเผา ได้แก่ CMC (Carboxymethyl cellulose)

2.2.1.5 ตัวเพิ่มความทึบ (Opacifier)

การเพิ่มความทึบให้กับเอนโกบในกรณีที่ต้องการสีขาวทึบ ควรคำนึงถึงปริมาณที่เติมลงในส่วนผสมซึ่งจะต้องไม่ส่งผลต่อเอนโกบให้เกิดตำหนิเสียหายมาก ตัวเพิ่มความทึบที่นิยมใช้ ได้แก่ เซอร์โคเนียมซิลิเกต (Zirconium silicate) เป็นต้น

2.2.1.6 ตัวให้สี

เครื่องเคลือบดินเผาที่มีการตกแต่งด้วยเอนโกบส่วนมากใช้เอนโกบสีขาว แต่เพื่อความหลากหลายก็สามารถเปลี่ยนเป็นสีต่างๆ ได้โดยการเติมสารให้สี เช่น สีน้ำเงิน จากโคบอลต์ออกไซด์ (Cobalt oxide), สีเขียว จากโครเมียมออกไซด์ (Chromium oxide) และสีน้ำตาลจากแมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese dioxide) เป็นต้น (Bengisu M., 2001) ตัวให้สีที่เติมลงในสูตรเอนโกบจะต้องไม่ทำให้เอนโกบเกิดการหลอมตัวมากขึ้น เพื่อป้องกันเคลือบกับเนื้อดินปั้นสัมผัสกันในช่วงที่เคลือบหลอม

2.2.2 คำหยาที่เกิดขึ้นจากเอนโกบ

2.2.2.1 การหลุดร่อน (Peeling)

การหลุดร่อนของเอนโกบ เกิดจากการหดตัวไม่เท่ากันระหว่างเอนโกบกับเนื้อดิน เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในส่วนผสมรวมถึงความหนาแน่นของเอนโกบ (Fraser H., 1986) วิธีแก้ไข คือ ในกรณีที่เอนโกบมีการหดตัวสูง แก้ไขโดยการเพิ่มดินเชื้อ (Grog) ควอตซ์ หรือ เดิมอลูมินาลงในส่วนผสมเอนโกบประมาณร้อยละ 10–20 แต่ในกรณีที่เอนโกบมีการหดตัวน้อยแก้ไขโดยการเอนโกบบางๆ บนเนื้อดินปั้นที่อบแห้ง หรือเพิ่มดินเบนโทไนท์ (Bentonite) ร้อยละ 1–5 ดินดำ ร้อยละ 5–15 หรือทำการบดย่อยวัตถุดิบเพื่อลดขนาดอนุภาค และใช้ตัวช่วยประสานผสมลงในสูตรเอนโกบ

2.2.2.2 การแตก (Cracking)

ปัญหาจากการแตกของเอนโกบ โดยทั่วไปเกิดจากการเอนโกบให้มีความหนาแน่นมาก และวัตถุดิบในการเตรียมเอนโกบถูกบดละเอียดเกินไป ทำให้อนุภาคของวัตถุดิบมีขนาดเล็กเกินไปเรื่อยๆ เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของให้มากขึ้นจึงสามารถดูดซับน้ำไว้ได้มาก ดังนั้น เอนโกบจึงมีการหดตัวมากขึ้นทั้งหลังการอบแห้งและหลังการเผา ดังนั้น จึงควรทำการเตรียมเอนโกบโดยวิธีกวนผสมมากกว่าวิธีบดผสม

การเอนโกบสีขาวบนเนื้อดินที่ให้สีดำหลังการเผา เพื่อต้องการปกปิดสีและคำหยาที่เกิดขึ้นบนผิวเนื้อดินให้มีความเรียบเนียน ช่วยให้สีของเคลือบเด่นชัดขึ้น หลังการเผาจะต้องไม่หลอมเป็นเนื้อเดียวกันและไม่ทำให้สีของเคลือบผิดเพี้ยนไป

ปัจจุบันสูตรเอนโกบได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างหลากหลายและมีวัตถุดิบแตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมกับเนื้อดินปั้นแต่ละชนิด ดังตารางที่ 2.2 (Chappell J., 1991)

ตารางที่ 2.2 แสดงสูตรเอนโกบสีขาวที่ใช้กับเนื้อดินปั้นลักษณะต่างๆ

ลักษณะ เนื้อดินปั้น	ร้อยละของวัตถุดิบ				
	ดิน	ตัวช่วยหลอม	ตัวทนไฟ	ตัวเพิ่มความ แข็งแรง	ตัวเพิ่ม ความทึบ
เนื้อดินเปือก	ดินขาว 19 ดินดำ 75	-	ควอตซ์ 6	-	-
เนื้อดินชั้น	ดินขาว 10 ดินทนไฟ 49	เฟลด์สปาร์ 10	ควอตซ์ 6	บอแรกซ์ 2	เซอร์โคเนียม ซิลิเกต 2
เนื้อดินอบแห้ง	ดินขาว 22 ดินดำ 28	เฟลด์สปาร์ 20	ควอตซ์ 20	บอแรกซ์ 5	เซอร์โคเนียม ซิลิเกต 5
เนื้อดินบิสกิต	ดินขาว 72.8	เฟลด์สปาร์ 26	-	บอแรกซ์ 1.2	-

จากตารางที่ 2.2 สูตรเอนโกบพื้นฐานที่คิดกันขึ้นโดย James Chappell ซึ่งเป็นสูตรเอนโกบสีขาวที่สามารถเผาได้ในอุณหภูมิ 1150–1280°C และสามารถใช้กับเนื้อดินได้หลากหลายลักษณะ ไม่ว่าจะเป็นดินชั้น ดินที่อบแห้ง และดินที่ผ่านการเผาบิสกิต

2.3 เคลือบเถ้าไม้ (Wood Ash Glaze)

เคลือบเถ้าไม้ เป็นเคลือบที่เตรียมขึ้นโดยใช้วัตถุดิบที่มีเถ้าพืชเป็นส่วนประกอบหลัก ผสมวัตถุดิบชนิดอื่น เช่น ดินที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบทำหน้าที่เป็นตัวให้สีและเป็นตัวช่วยหลอม และลดอุณหภูมิการเผา ลักษณะของเคลือบเถ้าจะมีความเป็นเอกลักษณ์ คือ มีการรานตัวและให้สีของเคลือบหลังการเผาเป็นสีเขียว เช่น สีเขียวหยก หรือ สีเขียวไข่กา และสีเขียวสีลาด เป็นต้น

เครื่องเคลือบสีลาด เป็นการเคลือบด้วยเถ้าไม้ผสมกับดินและเผาในอุณหภูมิสูงด้วยวิธีลดออกซิเจน (Reduction firing) โดยใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ ได้แก่ เถ้าไม้และดินทำให้เคลือบเป็นสีเขียวใสรานตัว หรือ แตกหลายา ซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวของเครื่องเคลือบสีลาด

การเกิดตำหนิเคลือบรานของเคลือบสีลาด มีสาเหตุจากการที่เคลือบหดตัวมากกว่าเนื้อดินในระหว่างการเย็นตัวหลังจากผ่านการเผาเคลือบ โดยทั่วไปเคลือบและเนื้อดินจะขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนและจะหดตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง การรานตัวจึงสามารถเกิดได้ขณะเย็นตัวในเตาเผาหรือหลังการเผา ลักษณะที่เกิดขึ้นเป็นรอยแตกหลายา ร้างแห ตาข่าย หรือ ใยแมงมุม เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่พบภายใน

เตาเผาโบราณเวียงบัว ซึ่งมีเคลือบสีเขียวคล้ายกับเคลือบศิลาดล และคล้ายคลึงกับเครื่องเคลือบดินเผาที่พบในแหล่งเตาของภาคเหนือระหว่างพุทธศตวรรษที่ 19–20 (สมศักดิ์ ธรรมาปริชากร, ม.ป.ป) ได้รับอิทธิพลต่อเนื่องกันมาในเขตอาณาจักรล้านนาซึ่งปัจจุบัน ได้แก่ เชียงราย เชียงใหม่ พะเยา ลำพูน ลำปาง สุโขทัย และ อุรุษยา ลักษณะของผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มีการตกแต่งที่คล้ายกัน คือ ผลิตภัณฑ์ที่มีการเคลือบสองครั้ง ได้แก่ การเคลือบด้วยเอนโกบสีขาว และเคลือบสีเขียวเตกราน หรือ เคลือบศิลาดล (ไพจิตร อิงศิริวัฒน์, 2537) เครื่องเคลือบศิลาดลที่พบในประเทศไทยส่วนใหญ่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ในสูตรเคลือบประมาณ ร้อยละ 50 หลังจากการเผาเคลือบในบรรยากาศรีดักชัน เหล็กแดงออกไซด์ในเคลือบจะถูกเปลี่ยนเป็นเหล็กดำ แต่ในสูตรเคลือบมีปริมาณเหล็กประมาณ ร้อยละ 1–2 ดังนั้นเคลือบที่ได้จึงมีสีเขียวอ่อน หรือ สีฟ้าอ่อน

เคลือบศิลาดลที่มีมาแต่ดั้งเดิมนั้นจะใช้เถ้าพืชเป็นตัวช่วยหลอมในส่วนผสม และเผาที่อุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิการเผาเนื้อดินสโตนแวร์ในบรรยากาศรีดักชันเท่านั้น สีเขียวของเคลือบศิลาดลที่ปรากฏ เป็นสีเขียวที่ได้จากเหล็กออกไซด์ในเถ้าพืชและดินที่เป็นส่วนผสม

2.3.1 วัตถุประสงค์ของการเคลือบ

1. เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความสวยงามน่าใช้
2. เพื่อป้องกันการซึมผ่านของแก๊สและของเหลว
3. เพื่อสะดวกแก่การทำความสะอาดหลังการใช้งานแล้ว
4. เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ทนต่อการกัดกร่อนของกรดและด่าง
5. เพื่อให้มีความคงทนแข็งแรงทนต่อการกระทบกระแทกได้ดี

2.3.2 การเตรียมน้ำเคลือบ และการเคลือบผลิตภัณฑ์

เริ่มจากชั่งส่วนผสมของเคลือบ การบดผสมเคลือบ และถ้าเคลือบมีจำนวนมาก ควรใช้หม้อบด เพื่อให้มีความสม่ำเสมอดีกว่าการใช้โถรงบด การบดน้ำเคลือบควรใส่น้ำไม่เกินร้อยละ 55 ของน้ำหนักส่วนผสม ถ้าใช้น้ำมากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพในการบดคลนน้อยลง หรืออาจจะทำให้อนุภาคของวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมเคลือบนี้ และอาจทำให้วัสดุภายในหม้อบดเกิดการสึกหรอ แต่ถ้าปริมาณของน้ำน้อยไปก็จะทำให้เคลือบหนืดสูงทำให้ประสิทธิภาพในการบดต่ำลงเช่นกัน เนื่องจากลูกบดมีการเคลื่อนตัวลำบาก ดังนั้น เวลาบดเคลือบควรใส่น้ำให้พอดี เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการบดสูงสุด ทั้งนี้ปริมาณของน้ำที่ใช้ขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำเคลือบด้วย เมื่อน้ำเคลือบที่ผ่านการบดผสมเรียบร้อยแล้วจะต้องผ่านการกรองด้วยตะแกรง (Sieve) เบอร์ 80-100 เมช (Mesh) ในการกรองน้ำ

เคลือบควรมีตะแกรงสำหรับการกรอง 2 อัน สำหรับใช้กับเคลือบขาว และเคลือบสี เพื่อป้องกันเคลือบขาวเกิดตำหนิจุดสีต่างๆ ได้ (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2537)

วิธีการการเคลือบผลิตภัณฑ์ ควรเลือกวิธีที่เหมาะสม ทำให้รวดเร็ว สะดวก และให้ได้ผลดี เหมาะกับขนาดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการเคลือบสามารถแบ่งได้ 4 วิธี ดังนี้

1. การทา (Painting) วิธีนี้ใช้แปรงจุ่มเคลือบแล้วทาลงบนชิ้นงาน เหมาะสำหรับงานที่มีขนาดเล็ก
2. การจุ่ม (Dipping) การเคลือบผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีนี้ควรมีน้ำเคลือบในปริมาณมากพอสำหรับชุบผลิตภัณฑ์ทั้งใบ และควรกวนน้ำเคลือบตลอดเวลาเพื่อป้องกันการตกตะกอนของน้ำเคลือบ
3. การเทราด (Pouring) วิธีนี้เหมาะสำหรับเคลือบที่มีปริมาณน้อย โดยนำผลิตภัณฑ์ที่จะเคลือบไปวางบนภาชนะรองรับผลิตภัณฑ์ แล้วนำน้ำเคลือบมาเทราดให้ทั่วผลิตภัณฑ์
4. การพ่น (Spraying) การเคลือบด้วยวิธีนี้ทำให้เคลือบได้สีที่สม่ำเสมอเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ และจำนวนมาก โดยใช้น้ำเคลือบที่ค่อนข้างเหลวเพื่อความสะดวกในการพ่น และควรพ่นในตู้พ่น (Spray Booth) เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของเคลือบได้

2.3.3 ตำหนิที่เกิดขึ้นกับเคลือบ

1. การเกิดรูเข็มบนผิวเคลือบ (Pinholes) มีลักษณะเป็นรอยรูตามคลิกไปถึงผิวเนื้อดินป็นสาเหตุเกิดจากการคายแก๊สของวัตถุดิบที่เป็นองค์ประกอบในส่วนผสมของเคลือบจำพวกคาร์บอนเนต เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต แบเรียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น นอกจากนี้สาเหตุของการเกิดรูเข็มอาจมาจากโพรงอากาศที่อยู่ในเนื้อดินป็นจากการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อน้ำดินก็ได้
2. เคลือบตกผลึก (Devitrification) เป็นตำหนิที่เคลือบเกิดการด้านหรือเคลือบมีลักษณะขาวขุ่น โดยอาจเกิดระหว่างการเย็นตัวของเคลือบมีการตกผลึกขึ้น ซึ่งจะพบผลึกขนาดเล็กบริเวณผิวเคลือบ ผลึกที่เกิดขึ้นนี้ คือ แคลเซียมซิงค์ซิลิเกต หรือแคลเซียมบอเรต (Fraser H., 1986)
3. เคลือบคืบตัว (Crawling) เป็นลักษณะตำหนิที่เคลือบรวมตัวกันเป็นกระจุกทำให้เกิดช่องว่างเห็นเนื้อผลิตภัณฑ์ สาเหตุเกิดจากมีสิ่งสกปรกบนผิวผลิตภัณฑ์ เช่น ฝุ่น คราบน้ำมัน บางครั้งลักษณะของเคลือบคืบตัวอาจเกิดจากการบดเคลือบละเอียดเกินไป หรือชุบเคลือบหนาไปจึงทำให้เคลือบเกิดการคืบตัวเป็นหย่อมๆ หลังการเผาได้ (Daniel R., 2000)
4. จุดสี (Specks) เกิดจากสิ่งปนเปื้อนที่ปรากฏหลังการเผา ซึ่งสามารถปะปนเข้ามาได้จากขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการผลิตชิ้นงานก็ได้ เพราะฉะนั้น การตรวจสอบที่มาของจุดสี ควรจะกระทำโดยการตรวจสอบว่าจุดสีนั้นคือสารประกอบอะไร และปรากฏอยู่ในส่วนใดของชิ้นงานบ้าง ซึ่งบางครั้งอาจปรากฏทั้งในเนื้อดิน และผิวเคลือบ หรืออาจปรากฏแค่ส่วนใดส่วนหนึ่ง ตัวอย่างจุดสีที่มักพบบ่อย คือ สีน้ำตาล หรือสีดำที่เกิดจากเกลือซัลไฟด์ หรือเกลือคาร์บอเนตของ

เหล็ก (FeS หรือ FeCO_3) ที่ปนเปื้อนอยู่ในเนื้อดิน หรืออาจเกิดจากสนิมเหล็กที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต เป็นต้น (สุธี วัฒนศิริเวช และคณะ, 2543)

5. เคลือบไหลตัวระหว่างการเผา (Running Glaze) เคลือบไหลตัวระหว่างการเผาเป็นผลทำให้เกิดความเสียหายกับแผ่นรองผลิตภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์ สาเหตุของเคลือบไหลตัวนั้นเกิดจากในส่วนผสมของเคลือบมีวัตถุดิบจำพวกตัวหลอมละลายมีมากเกินไป หรือเผาเคลือบเกินจุดหลอมละลาย และมีการชุบเคลือบหนาเกินไป (โกมล รักษ์วงศ์, 2538)

6. เคลือบราน (Crazing) เป็นตำหนิที่เคลือบเกิดเป็นรอยทั่วในผิวเคลือบ เนื่องจากเคลือบมีแก้วเป็นองค์ประกอบจึงมีความทนทานต่อการหดตัวได้ดีกว่าการขยายตัว ถ้าหากเคลือบมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อน (Thermal Expansion Coefficient) สูงกว่าเนื้อดิน เมื่อนำไปเผาแล้วปล่อยให้เย็นตัวลงจะเกิดรอยแตกที่เชื่อมต่อกันเป็นร่างแหที่เรียกว่าการแตกราน และชิ้นงานนี้จะอยู่ภายใต้สภาวะที่มีความเค้นอัด ซึ่งมีโอกาสที่เคลือบจะหลุดร่อนออกจากเนื้อเซรามิก มักจะพบได้เสมอบริเวณมุม หรือขอบของชิ้นงานในบางครั้งถึงแม้ว่าเคลือบ และเนื้อดินเซรามิกติดกันดีแล้วการแตกรานก็สามารถเกิดขึ้นได้ถ้าหากว่าผลิตภัณฑ์ถูกทิ้งให้สัมผัสกับความชื้น เนื่องจากตัวชิ้นงานจะดูดซับน้ำเข้ามา และทำให้เคลือบอยู่ภายใต้แรงดึงการแตกรานเกิดได้ง่ายหากชิ้นงานมีความพรุนตัวสูง (สุธี วัฒนศิริเวช และคณะ, 2543)

เคลือบราน (Crazing)เคลือบราน คือ เคลือบที่แตกเป็นลักษณะรอยร้าวเล็กๆ ทั่วผิวเคลือบ หรือ เรียกว่า แตกลายงา ถ้าเป็นเคลือบทั่วไปถือว่าลักษณะการแตกของเคลือบเป็นตำหนิแต่ถ้าใช้ในเคลือบสีลาดและเคลือบแก้ว จะถือว่าเป็นเอกลักษณ์ที่สวยงาม

สาเหตุการเกิดเคลือบราน

1. ในส่วนผสมของเคลือบมีวัตถุดิบที่เป็นค่าหรือตัวช่วยหลอมในปริมาณมาก เช่น เฟลด์สปาร์ ซึ่งหลังจากการเผามีค่าการขยายตัวมากกว่าดินจึงทำให้ผิวเคลือบดันกันแตกเป็นรอยร้าวเล็กทั่วผลิตภัณฑ์
2. เนื่องจากเนื้อดินกับเคลือบมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่างกันมาก ซึ่งเคลือบมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว (COE) มากกว่าดิน
3. เคลือบมีความทนไฟน้อยเกินไป แต่ถ้าต้องการลดการรานตัวของเคลือบ อาจแก้ไขโดยเพิ่มซิลิกาหรือควอตซ์ในเคลือบ เพราะช่วยลดการหดตัวในเนื้อเคลือบได้

เคลือบแก้วฟิช เป็นเคลือบที่มีราคาถูก เนื่องจากการพัฒนาหรือนำสิ่งที่ไม่มียประโยชน์แล้วมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ได้แก่ แก้วเกลบจากโรงสี ฟางข้าว หญ้าคา เศษใบไม้ หรือผักตบชวา เป็นต้น แก้วของฟิชเหล่านี้ล้วนแล้วแต่นำมาใช้ผสมทำน้ำเคลือบได้ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์, 2534) แก้วจากฟิช

ทุกชนิดมีส่วนประกอบของไฮโดรเจนและคาร์บอน เมื่อถูกเผาไหม้หมดไปจะเหลือเถ้าปริมาณเพียงเล็กน้อยซึ่งเป็นส่วนที่คงเหลือในกองเถ้าพืช แตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ซึ่งความแตกต่างจากเถ้าพืชในแต่ละชนิดอาจมีผลทำให้สีและลักษณะผิวเคลือบแตกต่างกันไป

การทดลองเคลือบเถ้าพืชสามารถใช้วัตถุดิบสองชนิด คือ เถ้าพืช กับ ดิน โดยปรับอัตราส่วนของวัตถุดิบเพิ่มและลดเป็นช่วง (แสดงดัง ตารางที่ 3.1) เเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1250°C ในบรรยากาศแบบรีดักชัน เพื่อให้เคลือบมีการหลอมตัวที่สมบูรณ์ ให้สีเขียว มีการแตกราน สำหรับการผสมเคลือบที่ใช้ในงานเครื่องเคลือบดินเผาหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นวิธีกวนผสม วิธีบดผสม แต่ที่นิยมใช้กันมากคือวิธีบดผสม โดยอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการบด คือ หม้อบด และ โกร่งบด

2.4 การเผา (Firing)

การเผาผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา เป็นการเพิ่มอุณหภูมิเข้าไปในเนื้อผลิตภัณฑ์อย่างน้อยหนึ่งครั้งเพื่อเปลี่ยนสภาพให้ผลิตภัณฑ์มีความแกร่งและทนทานยิ่งขึ้น การผลิตเครื่องเคลือบดินเผามีขั้นตอนการเผา 3 ขั้นตอน คือ การเผาบิสกิต การเผาเคลือบ และการเผาตกแต่ง

2.4.1 ขั้นตอนการเผาผลิตภัณฑ์

2.4.1.1 การเผาบิสกิต (Biscuit firing)

การเผาบิสกิต หรือ การเผาดิบ คือ การเผาครั้งแรกเมื่อผลิตภัณฑ์แห้งสนิทเพื่อไล่ความชื้นและอินทรีย์สารออกไป ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาดิบแล้วจะมีความทนทานมากขึ้นแต่ยังมีความพรุนตัวอยู่ สำหรับอุณหภูมิการเผาจะอยู่ที่ประมาณ $700-900^{\circ}\text{C}$ เมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านการเผาบิสกิตแล้วจะมีความแข็งแรงมากขึ้นไม่เปราะหรือแตกหักง่าย และสะดวกในการเคลื่อนย้าย การตกแต่งด้วยการ เขียนลาย และการเคลือบ

2.4.1.2 การเผาเคลือบ (Glost firing)

การเผาเคลือบ เป็นการเผาเพื่อให้เคลือบหลอมเป็นเนื้อแก้วติดแน่นบนผิวเนื้อดินอุณหภูมิการเผาขึ้นอยู่กับเนื้อดินและเคลือบที่ใช้ซึ่งจะมีจุดสุกตัวไม่เท่ากัน โดยทั่วไปการเผาเคลือบแบ่งตามอุณหภูมิการเผาออกเป็น 3 อุณหภูมิ คือ เคลือบอุณหภูมิต่ำ $800-1100^{\circ}\text{C}$ เคลือบอุณหภูมิปานกลาง $1100-1200^{\circ}\text{C}$ และเคลือบอุณหภูมิสูง $1200-1300^{\circ}\text{C}$ และบรรยากาศการเผาอาจเป็นแบบออกซิเดชัน (Oxidation firing) หรือ แบบรีดักชัน (Reduction firing) ส่วนใหญ่ในการเผาเคลือบสีลาดจะนิยมใช้บรรยากาศการเผาแบบออกซิเดชันตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง อุณหภูมิ 970°C จึงเปลี่ยนเป็นการเผาแบบบรรยากาศรีดักชันจนถึงจุดสุกตัวของน้ำเคลือบ โดยทั่วไปการเผาเคลือบจะใช้เวลาในการเผาเป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง ปัจจัยที่มีส่วนทำให้การเผาเคลือบใช้เวลาในการเผามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับบรรจุ

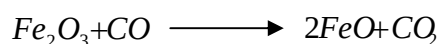
ผลิตภัณฑ์เข้าเตา ดังนั้น ในการเผาเคลือบแต่ละครั้งควรจัดให้มีระยะช่องว่างที่เหมาะสม และการบรรจุผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผาจะต้องให้มีความสม่ำเสมอ จึงจะทำให้การเผาเป็นไปอย่างสะดวก สามารถควบคุมบรรยากาศ และเวลาในการเผาเคลือบได้ (ทวี พรหมพุกษ์, 2523)

2.4.2 บรรยากาศการเผาผลิตภัณฑ์

2.4.2.1 บรรยากาศออกซิเดชัน (Oxidation firing) เป็นการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ และใช้ออกซิเจนมากซึ่งควบคุมโดยให้อากาศผ่านเข้าเตาเผาได้มากพอที่จะเกิดการเผาไหม้เพื่อไล่แก๊สที่เกิดจากอินทรีย์สาร เมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วจะมีออกซิเจนเหลืออยู่

2.4.2.2 บรรยากาศรีดักชัน (Reduction firing) เป็นการเผาที่มีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในเตาเผา เมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วจะมีคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เหลืออยู่ การเผาในบรรยากาศแบบรีดักชันจะส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป เช่น กรณีของการเผาเนื้อดินสโตนแวร์ที่มีปริมาณของแร่เหล็กมากกว่าร้อยละ 3 ภายหลังการเผาแบบรีดักชันจะให้สีน้ำตาล ส่วนเคลือบที่มีปริมาณแร่เหล็กอยู่ร้อยละ 1-2 เมื่อเผาแบบรีดักชันจะทำให้เคลือบมีสีเขียวซีด

บรรยากาศการเผาเคลือบแบบรีดักชัน เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ในเคลือบจะถูกเปลี่ยนให้เป็นเหล็กดำ หรือ เฟอร์รัสออกไซด์ (FeO) ดังปฏิกิริยา



ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับเฟอร์ริกออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นขณะที่เกิดการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ เมื่อเฟอร์รัสออกไซด์ อยู่ในเคลือบจะทำหน้าที่เหมือนกับตัวช่วยหลอม ทำปฏิกิริยากับซิลิกากลายเป็นเหล็กซิลิเกตในเคลือบ

FeO ร้อยละ 1-3 สีเขียว

FeO ร้อยละ 4-6 สีเขียวอมน้ำตาล

FeO ร้อยละ 8 ดำ

เหล็กออกไซด์จะง่ายต่อการรีดักชัน และมีการตอบสนองทันทีต่อก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และพร้อมที่จะปล่อยออกซิเจนให้กลายเป็นเหล็กออกไซด์สีดำ หรือ เฟอร์รัสออกไซด์ เหล็กแดงและเหล็กดำในเคลือบมีการหลอมละลายออกซิเจนอะตอม เหล็กออกไซด์จะถูกหลอมรวมกับอะตอมของธาตุอื่น เช่น ซิลิกอน อลูมิเนียม หรือ โพแทสเซียม เนื่องจากอะตอมเหล่านี้ไม่ต้องการที่จะสูญเสียอะตอมของออกซิเจนและเปลี่ยนแปลงโครงสร้างใหม่ การรีดักชันหรือบรรยากาศแบบออกซิไดซ์มีผลต่อออกไซด์เฉพาะบริเวณผิวเคลือบเท่านั้น ในการที่จะลดออกซิเจนของเหล็กออกไซด์ในเคลือบนั้นต้องมีการรีดักชันอย่างรุนแรง (Strong reduction) ซึ่งทำให้เกิดการกระจายของก๊าซอิสระที่ให้เคลือบมีฟองอากาศมากอาจทำให้ผิวไม่เรียบ แต่แก้ไข

โดยการทำรีดักชันอย่างอ่อน (Slightly reduction) ตลอดช่วงการเผาและทำการเผาออกซิเดชันในช่วงสุดท้ายของการเผาและในระหว่างการเย็นตัว

2.4.2.3 บรรยากาศนิวทรัล (Neutral Firing) เป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มีออกซิเจนที่พอดี ไม่มีออกซิเจนเหลืออยู่หลังการเผา

สิ่งที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการเผาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เริ่มให้ความร้อนจนกระทั่งลดอุณหภูมิลงได้สรุปไว้ดัง ตารางที่ 2.3 (Fraser H., 1986)

ตารางที่ 2.3 แสดงอุณหภูมิการเผาและสิ่งที่เกิดขึ้นระหว่างการเผา

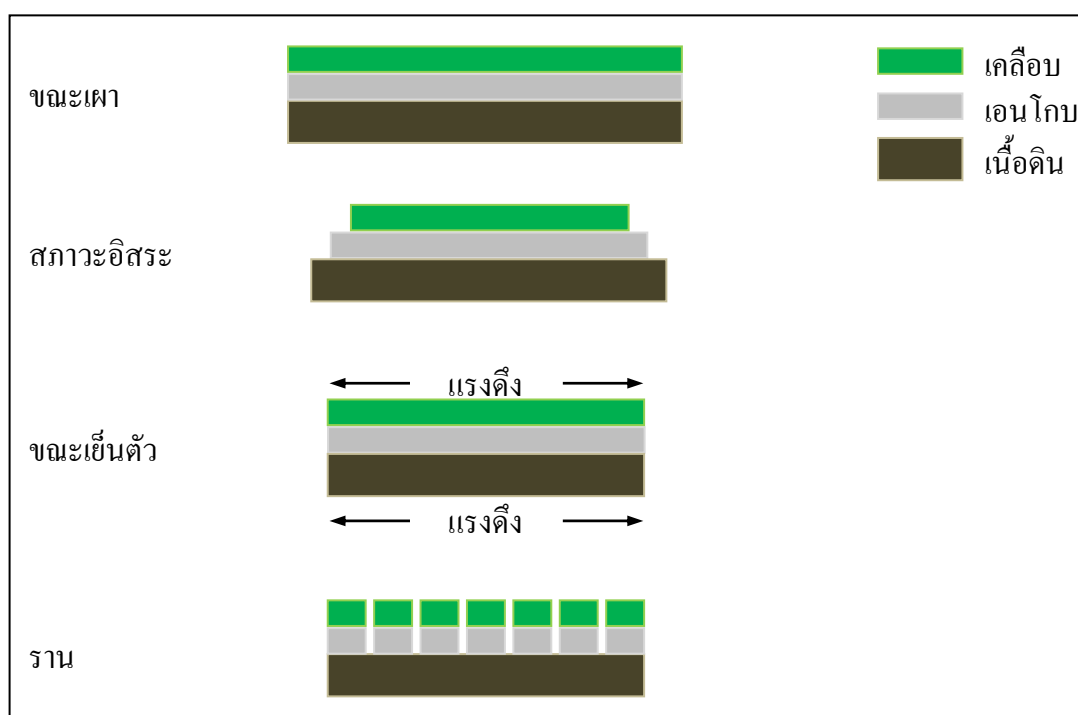
อุณหภูมิ (°C)	สิ่งที่เกิดขึ้น
20 – 200	ความชื้นที่เหลืออยู่ในรูปของน้ำจะระเหยออกไป
200 – 500	ในช่วงอุณหภูมินี้สามารถทำการเผาเร็วแต่ควรมีการระบายอากาศไปด้วย
470 – 700	น้ำที่แทรกอยู่ระหว่างผลึกของแร่ดินจะเริ่มสลายไป สารประกอบคาร์บอนเริ่มแตกตัว แก๊สที่เกิดขึ้นจะแทรกออกมาตามรูพรุน
	เกิดการเปลี่ยนรูปของควอตซ์ จาก แอลฟาควอตซ์ (Alpha quartz) เป็นบีตาควอตซ์ (Beta quartz) ที่อุณหภูมิ 573 °C
650 – 1000	คาร์บอนเริ่มเผาไหม้หมดไป เคลือบเริ่มมีการหลอมตัว
880 – 1100	เนื้อดินมีการหดตัว และเกิดการสลายตัวของสารประกอบซิลเฟตในเนื้อดิน
1030 – 1170	เนื้อดินและเคลือบมีการเชื่อมต่อกัน และเกิดผลึกของมัลไลต์
1100 – อุณหภูมิเป้าหมาย	เนื้อดินมีเนื้อแก้วเพิ่มมากขึ้น อาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์บิดเบี้ยวเสียรูปทรง
อุณหภูมิเป้าหมาย – 750	เคลือบที่ถูกหลอมจะเย็นตัวลงไปเป็นของแข็ง
750 – 600	เนื้อดินจะเริ่มเย็นตัวและเคลือบจะเป็นของแข็งเกาะติดเนื้อดิน
500 – 150	ปล่อยให้มีการเย็นตัวที่ช้าลงเพื่อหลีกเลี่ยงการแตกร้าวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของ Cristobalite ที่อุณหภูมิ 225 °C

2.5 การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficient of Expansion)

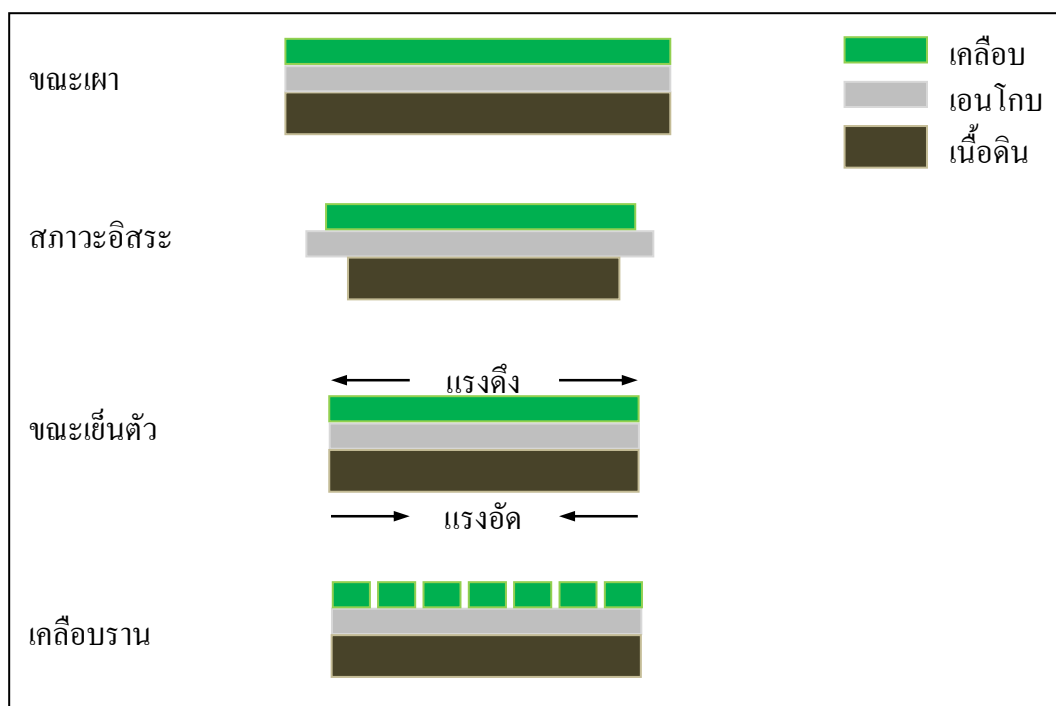
การขยายตัวเนื่องจากความร้อน หรือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (COE) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความยาว หรือ ปริมาตรของวัตถุต่ออุณหภูมิการเปลี่ยนแปลง โดยสามารถวัดได้จากเครื่อง Dilatometer ซึ่งแสดงผลในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัว

กับอุณหภูมิ ซึ่งสามารถบอกได้ว่าเคลือบกับเนื้อดินยึดติดกันได้ดีหรือไม่ คือ ถ้าค่าการขยายตัวของเคลือบมากกว่าเนื้อดินโอกาสที่เคลือบจะเกิดการแตกรานจะมีสูง

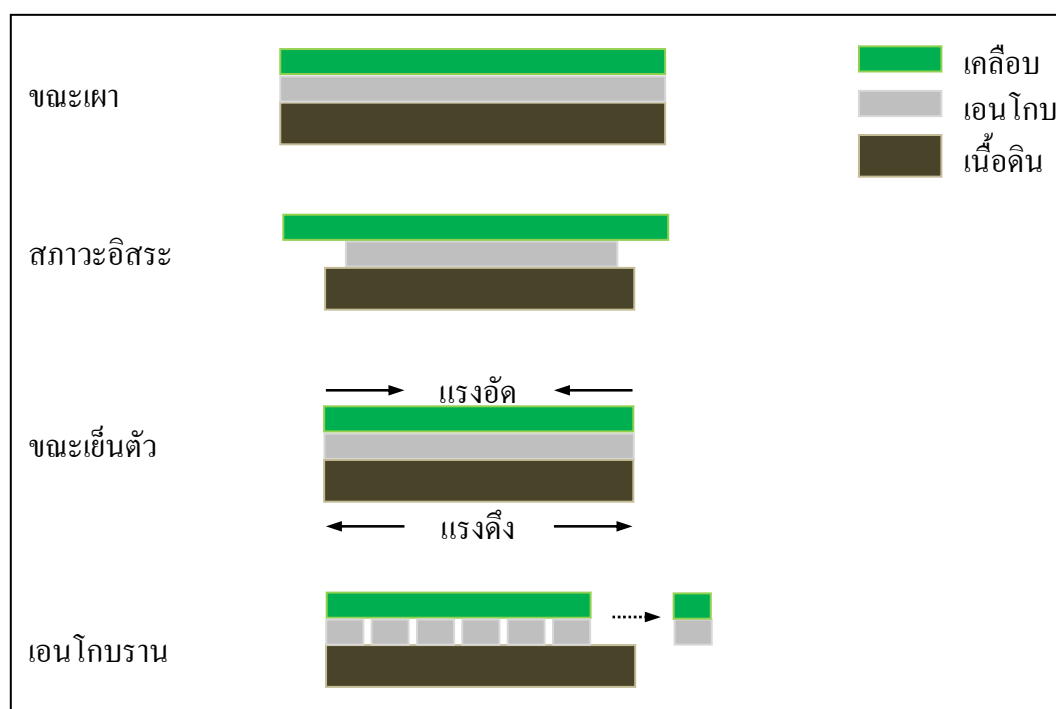
ผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาที่มีชั้นเคลือบนั้น ควรมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของเนื้อดินสูงกว่าเคลือบเพื่อให้ชั้นเคลือบอยู่ในสภาพของแรงอัด (Compressive) และไม่ควรให้สูงเกินไปเพราะจะทำให้เกิดปัญหาเคลือบร่อน (Peeling) หลังการเผาได้ แต่ถ้าเคลือบมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนสูงกว่าเนื้อดิน ชั้นเคลือบจะอยู่ในสภาพของแรงดึง (Tension) ซึ่งจะทำให้ผิวเคลือบเกิดการร้าวที่เรียกว่า เคลือบราน (Crazing) (Appler R., 2000) ซึ่งลักษณะการเกิดตำหนิร้าวหลังการเผามีสาเหตุจากค่าการขยายตัวที่แตกต่างกันของเนื้อดิน เอนโกบ และเคลือบ แสดงดังภาพที่ 2.1 ภาพที่ 2.2 ภาพที่ 2.3 และภาพที่ 2.4



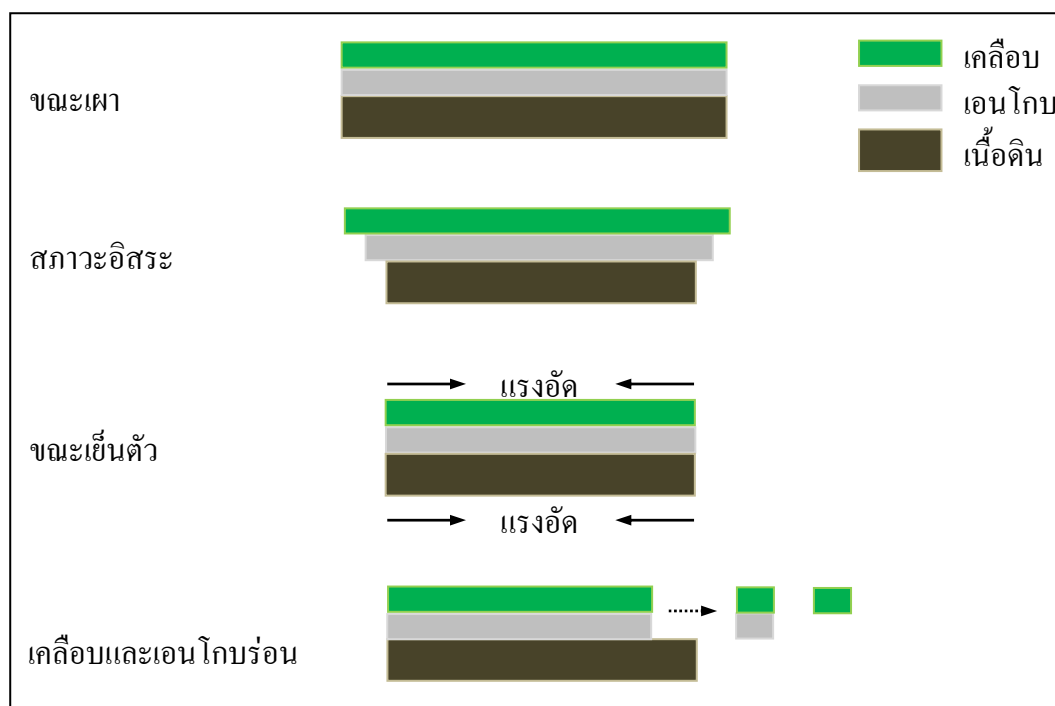
ภาพที่ 2.1 ลักษณะการเกิดตำหนิร้าวของเคลือบและเอนโกบที่มีการขยายตัวต่างกัน



ภาพที่ 2.2 ลักษณะการเกิดตำหนิร้าวของเคลือบบนเอนโกบที่มีการขยายตัวต่างกัน



ภาพที่ 2.3 ลักษณะการเกิดตำหนิร้าวของเอนโกบใต้ชั้นเคลือบที่มีการขยายตัวต่างกัน



ภาพที่ 2.4 ลักษณะการเกิดตำหนิหลุมร้อนของเคลือบและเอนโกบที่มีการขยายตัวต่างกัน

2.6 การวัดสี

วิธีการวัดสีระบบ CIE มาตรฐานของต้นกำเนิดแสงนี้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก ได้แก่ ค่า L^* a^* b^* โดยค่า a^* เป็นตัวแทนของสีแดงและชมพู a^+ เป็นตัวแทนของสีเขียว b^+ เป็นตัวแทนของสีเหลือง และ b^- เป็นตัวแทนของสีน้ำเงิน ส่วนค่า L^* เป็นตัวแทนของค่าความสว่าง ซึ่งสีที่ให้ความสว่าง ได้แก่ สีขาว ดังนั้น ค่า L^* จึงเป็นตัวแทนของสีขาว ซึ่งระบบนี้ เรียกรวมว่า ระบบ Hunter Lab เครื่องมือที่ใช้ในการวัดสี คือ เครื่องวัดค่าสี (Colorimeters or Spectrophotometer)

2.7 การศึกษาและพัฒนาเครื่องเคลือบดินเผา

Das และคณะ (2005) ได้ศึกษาผลของควอตซ์และเคโอลิไนท์ในเนื้อกระเบื้องบุผนังที่มีผลต่อค่าการหดตัวและค่าความแข็งแรงจากแหล่งดิน 5 แหล่งในอินเดีย พบว่า ในดินที่มีควอตซ์อยู่ปริมาณมากจะทำให้ค่าการหดตัวหลังเผาที่อุณหภูมิ $1050-1150^{\circ}\text{C}$ น้อยกว่าร้อยละ 1 ส่วนในเนื้อดินที่มีปริมาณของเคโอลิไนท์สูงจะเพิ่มความแข็งแรงและมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำ

Das (2003) ได้ศึกษาความแตกต่างระหว่างโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์และโซเดียมเฟลด์สปาร์ของการกลายเป็นแก้วในเนื้อดินพอร์ซเลน โดยใช้ DTA และ TGA พบว่า ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000°C ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของเนื้อดินทั้งสององค์ประกอบไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อศึกษาในอุณหภูมิ 1171°C ด้วยไดลาโตมิเตอร์ พบว่า เนื้อดินที่มีโซเดียมเฟลด์สปาร์เป็นองค์ประกอบจะเริ่มมีการหลอมตัวในอุณหภูมิต่ำกว่าเนื้อดินที่มีโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์เป็นองค์ประกอบ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ $1160-1200^{\circ}\text{C}$ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นไปในทางเดียวกันแต่ในเนื้อดินที่มีโซเดียมเฟลด์สปาร์เป็นองค์ประกอบจะมีการดูดซึมน้ำต่ำและมีความแข็งแรงสูงกว่า

Iqbal และ Lee (2000) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกทางจุลภาคของเนื้อดินพอร์ซเลนด้วยเทคนิค XRD SEM และ TEM พบว่า ในแต่ละช่วงอุณหภูมิการเผา มีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างต่างกัน โดยที่อุณหภูมิประมาณ 550°C ดินจะเปลี่ยนจากเคโอลิไนต์เป็นเมตะเคโอลินและที่อุณหภูมิ 1000°C จะเกิดเป็นสปิเนล (Spinel) และมัลไลต์ปฐมภูมิ ส่วนไมโครไคลน์ไม่พบการเปลี่ยนแปลงในอุณหภูมิ $700-900^{\circ}\text{C}$ แต่จะหลอมละลายอย่างสมบูรณ์เมื่อถูกเผาสู่อุณหภูมิประมาณ 1100°C และมีมัลไลต์ทุติยภูมิและตติยภูมิที่เกิดจากดิน เฟลด์สปาร์ และควอตซ์ เมื่อเผาในอุณหภูมิที่สูงกว่า 1300°C พบว่า ความหนาแน่นและความแข็งแรงลดลงและพบฟองอากาศเพิ่มขึ้น

Aras (2004) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเฟสของเคโอลิไนต์และอิลไลต์ที่ใช้ในเนื้อดินเซรามิก โดยมีวัตถุประสงค์หลัก ได้แก่ เคโอลิไนต์ อิลไลต์ ควอตซ์ และเฟลด์สปาร์ ศึกษาการเปลี่ยนเฟสหลังการเผาด้วยเทคนิค XRD พบว่า เฟสที่เป็นโครงสร้างผลึก ได้แก่ คริสโตบาไลต์ มัลไลต์ ควอตซ์ ซิมาไทต์ และอนาเทส ในเนื้อดินจะพบผลึกของควอตซ์ มัลไลต์ และคริสโตบาไลต์ ซึ่งผลึกของมัลไลต์ที่พบจะมีลักษณะเป็นแท่งคล้ายตะปู ส่วนในอิลไลต์ที่มีโพแทสเซียมสูงจะหลอมปิดทับผลึกมัลไลต์ และพบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้พฤติกรรมของโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ แคลเซียมเฟลด์สปาร์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ต่างกัน คือ ในเนื้อดินที่มีเคโอลิไนต์สูงพีคของโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์จะหายไปเร็วกว่าในเนื้อดินที่มีอิลไลต์และควอตซ์สูง และไม่พบพีคที่อุณหภูมิสูงกว่า 1150°C แต่พีคของแคลเซียมเฟลด์สปาร์และโซเดียมเฟลด์สปาร์จะลดลงและคงที่ที่อุณหภูมิ $1150-1250^{\circ}\text{C}$

Milheiro (2004) ได้ศึกษาการทำให้เกิดความหนาแน่น (Densification) ของดินขาวบราซิลหลังการเผาที่อุณหภูมิ $750-1150^{\circ}\text{C}$ โดยใช้ XRD และ SEM ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเฟส ร่วมกับการทดสอบพื้นที่ผิวจำเพาะ การหดตัว การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่นและความแข็งแรง พบว่า อุณหภูมิการเผามีผลต่อการทำให้เกิดความหนาแน่นของเนื้อดิน คือ เมื่ออุณหภูมิในการเผาดำกว่า 950°C การผกผันของเนื้อดินจะขึ้นอยู่กับกลไกการแพร่เข้าหากันของอนุภาคดินแต่ละอนุภาค แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่า 950°C การผกผันของเนื้อดินจะขึ้นอยู่กับตัวช่วยหลอมซึ่งจะช่วยเพิ่มความหนาแน่นของเนื้อดินมากขึ้นด้วย

อกินนท์ นันทิยา (2549) พัฒนาวิธทดสอบอย่างง่ายสำหรับการตรวจสอบคุณภาพเนื้อดินปั้นพื้นบ้านเพื่อลดตำหนิที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ จากโรงเก็บวัตถุดิบของผู้ประกอบการเซรามิกบ้านเหมืองกง ได้แก่ ดินที่ไ้แล้วไม่เกิดตำหนิและดินที่ไ้แล้วเกิดตำหนิ โดยตรวจสอบลักษณะเฉพาะ องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ พบว่า เนื้อดินที่มีขนาดอนุภาคใหญ่จะมีองค์ประกอบทางเคมีและทางแร่ใกล้เคียงกัน มีเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ปะปน ทำให้สีของเนื้อดินหลังเผามีสีส้ม ตัวอย่างดินที่มีความละเอียดสูงจะไ้ปริมาณน้ำเพื่อทำให้เนื้อดินมีความเหนียวประมาณ ร้อยละ 10 ส่วนตัวอย่างดินที่หยาบกว่าประมาณ จะไ้ปริมาณน้ำ ร้อยละ 4 การหดตัวหลังเผาประมาณ ร้อยละ 5 และร้อยละ 4 การดูดซึมน้ำหลังเผาประมาณ ร้อยละ 16 และร้อยละ 15 ตามลำดับ

สมชาย พุ่มอิม (2524) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะการเกิดแร่ประกอบของดินขาวในอำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง และในอำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและชนิดของแร่โดยใช้เทคนิค XRF และ XRD พบว่า ดินขาวทั้งสองแหล่งมีสภาพการเกิดเหมือนกันและมีแร่โอลิไคต์มากกว่าแร่อื่นๆ ประมาณร้อยละ 50

สมบูรณ์ สารสิทธิ์ (2539) ได้ศึกษาสมบัติของดินแดง จังหวัดนครราชสีมา เพื่อใช้ในการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ โดยใช้ดินขาว หินฟันม้า และทรายขาว เป็นส่วนผสม จากวิธีการคำนวณอัตราส่วนผสมด้วยตารางสี่เหลี่ยม พบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ ประกอบด้วยดินแดงร้อยละ 40 ดินขาวร้อยละ 15 หินฟันม้าร้อยละ 10 และทรายขาวร้อยละ 35 ปริมาณน้ำที่ไ้ผสมในเนื้อสลิปร้อยละ 37.5 ความถ่วงจำเพาะ 1.69 สารช่วยกระจายลอยตัว 0.22 พบว่า หลังการเผาเนื้อดินมีการหดตัวน้อย และทนไฟได้ที่อุณหภูมิ 1200°C

พิมพ์วัลค์ วัฒนภาส และสุมาลี ลิขิตวนิชกุล (2546) ได้พัฒนาเนื้อดินปั้นราชบุรี โดยการปรับปรุงวิธีการเตรียมเนื้อดินปั้นโอ่งราชบุรี เพื่อลดตำหนิจุดขาวและตำหนิสีน้ำตาลในเนื้อดินโดยใช้วิธีการบดด้วยเครื่องบดจอร์ครัชเชอร์ (Jaw crusher) โรลเลอร์ครัชเชอร์ (Roller crusher) กรองผ่านตะแกรง 6 เมช และใช้ทรายที่กรองผ่านตะแกรง 16 เมช ความชื้นร้อยละ 30 ผสมกันในอัตราส่วนของดิน 9 ต่อ 1 ส่วน โดยน้ำหนัก พบว่า เนื้อดินที่ได้สามารถไ้เป็นเนื้อดินปั้นโอ่งได้ดี ผลิตภัณฑ์หลังเผาพบตำหนิและการแตกร้าวน้อยลง

ประนอม มานะกิจ (2536) ได้ทำการศึกษาปรับปรุงดินเหนียวท้องถิ่นจังหวัดนครสวรรค์ ให้เป็นเนื้อดินปั้นประเภทสโตนแวร์ โดยใช้ทรายแม่น้ำ 5 แหล่ง เป็นส่วนผสมซึ่งกำหนดให้ทรายที่ไ้ไม่เกินร้อยละ 30 พบว่า เนื้อดินที่ได้มีสมบัติที่อยู่ในเกณฑ์ของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ทั้งการหดตัว การดูดซึมน้ำ และอุณหภูมิในการเผา

อรพิน สมมิตร (2538) ได้ปรับปรุงองค์ประกอบของดินแดงบ้านสันจกปก จังหวัดพะเยา เพื่อพัฒนาคุณภาพเครื่องปั้นดินเผาโดยใช้ ดินโคลนไมท์ ดินคอมปาวด์ และดินโรงงานศรีวรรณ เป็น

ส่วนผสม พบว่า การใช้ดินบ้านสันจกปกร้อยละ 80 ผสมกับดินโคลไทม์ ร้อยละ 20 เผาที่อุณหภูมิ 1150°C มีผลให้สีดินเป็นสีแดงอิฐ และใช้ดินดิบบ้านสันจกปกร้อยละ 30 ดินคอมพาวด์ร้อยละ 40 และดินโรงงานศรีวรรณร้อยละ 30 พบว่า ดินมีความทนไฟสูงขึ้นและมีเนื้อแกร่ง

เขียวชาญ แสงทอง (2548) ได้ศึกษาลักษณะเฉพาะและสมบัติของดินเวียงกาหลง จังหวัดเชียงราย จากแหล่งดิน 3 แหล่ง ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและองค์ประกอบทางแร่โดยใช้เทคนิค XRF ร่วมกับเทคนิค XRD ศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (LM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ศึกษาตำหนิที่เกิดขึ้นหลังการเผาโดยใช้เทคนิค EDX และศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินทั้งก่อนและหลังเผา พบว่า ดินที่มีสีดำมีกรวดปะปนจำนวนมาก มีปริมาณของซิลิกาอิสระน้อยและมีปริมาณของแร่ไมโครไคลน์และมัสโคไวท์สูง จะทำให้เนื้อดินมีความเหนียวและการหดตัวสูง เกิดตำหนิผุดพอง และมีความแข็งแรงต่ำกว่าดินที่ขนาดอนุภาคใหญ่

Nestertsov (2004) ได้พัฒนาสูตรเอนโกบสีขาวที่มีส่วนผสมของวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตฟอร์ซเลน เพื่อใช้กับเนื้อกระเบื้องบุผนัง ส่วนผสมประกอบด้วย วัสดุเหลือทิ้งร้อยละ 70–80 และ ดินขาวร้อยละ 10–20 เศษแก้วร้อยละ 20–30 ตัวช่วยประสานร้อยละ 0.2 มีค่าความหนาแน่นที่ 1.50–1.60 มีค่าความชื้นที่ เผาที่ $1000\text{--}1150^{\circ}\text{C}$ พบว่า เอนโกบสีขาวสามารถปิดสีของเนื้อกระเบื้องและการขยายตัวเนื่องจากความร้อนของเอนโกบกับเนื้อกระเบื้องมีความเหมาะสมกัน ไม่เกิดตำหนิการร้าว มีการดูดซึมน้ำน้อยลง และมีความแกร่งเพิ่มขึ้น

สมบุญ อรัญภาค (2548) ได้พัฒนาสูตรเอนโกบสีขาวสำหรับเนื้อดินปั้นราชบุรีให้สามารถชุบเคลือบหินฟันม้าให้มีความสวยงามหลากหลายได้ โดยกำหนดใช้วัตถุดิบหลักที่ให้สีขาว ได้แก่ ดินดิบลำปางร้อยละ 40 ดินขาวเหนียว บริษัท ชีรยุทธ์ ร้อยละ 40 และ หินลำปางร้อยละ 20 ปั่นผสมกับน้ำร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เดิมโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 0.30 มีค่าความหนาแน่นที่ 1.5–1.6 เผาที่อุณหภูมิ 1200°C พบว่า เอนโกบให้สีขาว สามารถปิดผิวเนื้อดินปั้นได้ดี เนื้อดินปั้นกับเอนโกบมีการขยายตัวที่ใกล้เคียงกัน หลังการเผาไม่เกิดการหลุดร่อนทั้งเอนโกบและเคลือบ

นพวรรณ เชนบุญ (2549) ได้ศึกษาสูตรน้ำดินสี (Engobe) เพื่อใช้กับเทคนิคการตกแต่งที่หลากหลายและสามารถใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์สีลาดที่มีเนื้อดินปั้นสีดำและเนื้อดินคอมพาวด์ กำหนดให้มีเนื้อดินปั้นที่ยังไม่เผาปัสกิตและเผาปัสกิตแล้ว โดยส่วนผสมที่ใช้ คือ ดินขาวระนองร้อยละ 30 ดินระนองเผาแล้วร้อยละ 60 และโพแทสเซิลด์สปาร์ร้อยละ 10 สารช่วยกระจายลอยตัวร้อยละ 0.2 บดผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 0.8 กิโลกรัม เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วชุบเคลือบสีลาดเผาที่อุณหภูมิ 1250°C บรรยากาศรีดักชัน พบว่า เอนโกบให้สีขาวที่บเหมาะสมกับเนื้อดินปั้นสีดำที่ผ่านการเผาปัสกิตแล้ว เนื่องจากไม่พบตำหนิการแตกและหลุดร่อนในระหว่างที่ทิ้งให้เอนโกบแห้งและหลังการเผาเคลือบ

เสริมศักดิ์ นาคบัว (2536) ได้ศึกษาเคลือบแก้วโดยใช้วัตถุดิบสองชนิด คือ แก้วมะขามกับดินแดงปากเกร็ด โดยกำหนดช่วงการใช้วัตถุดิบเพิ่มและลดเป็นช่วงละ 10 ด้วยวิธีการปรับวัตถุดิบสองชนิดเข้าหากัน (Line blend) ซึ่งสูตรเคลือบที่เหมาะสม คือ แก้วมะขามร้อยละ 30 ผสมกับ ดินแดงปากเกร็ดร้อยละ 70 เเผาที่ $1263-1305^{\circ}\text{C}$ ในบรรยากาศแบบรีดักชัน พบว่าเคลือบมีการหลอมตัวที่สมบูรณ์ ผิวมัน ให้สีน้ำตาลอมเขียว

อรรณ วรรณพัฒน์ (2547) ได้ศึกษาผลของแก้วไม่ล่าใยและแก้วเกลบทำเคลือบสีลาดแทนการใช้แก้วไม่ก่อนและแก้วไม่รูกฟ้า เเผาที่อุณหภูมิ 1280°C ในบรรยากาศรีดักชัน พบว่า หลังการเผาเคลือบมีสีฟ้าเขียว ไม่ไหลตัว มีการแตกรานสม่ำเสมอโดยส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด คือ โฟแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ร้อยละ 27 แก้วไม่ล่าใย ร้อยละ 27 ดินขาวลำปาง ร้อยละ 36 และแก้วเกลบ ร้อยละ 10

จากการทบทวนเอกสาร การพัฒนาและปรับปรุงคุณสมบัติของเนื้อดินให้เหมาะสมกับวิธีการขึ้นรูป ลดการหดตัว ลดตำหนิหลังการเผา ซึ่งการเอนโกบสีขาวเป็นอีกวิธีที่ช่วยลดตำหนิหลังการเผาได้ โดยมีหน้าที่ปกปิดพื้นผิวของเนื้อดินปั้นสีดำให้มีชั้นสีขาวก่อนการเคลือบด้วยเคลือบใส ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาวัตถุดิบในท้องถิ่น เพื่อพัฒนาการผลิตเครื่องเคลือบดินเผาให้มีความใกล้เคียงกับเครื่องเคลือบโบราณมากที่สุด

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การทดลอง มี 4 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการทดลองดินพื้นบ้านเพื่อคัดเลือกเนื้อดินที่เหมาะสมสำหรับวิธีการขึ้นรูปโดยอาศัยความเหนียว ขั้นตอนที่สอง คือ การทดลองเอนโกบสีขาวที่เหมาะสมกับเนื้อดินปั้นที่คัดเลือกจากการทดลองในขั้นตอนแรก ขั้นตอนที่สาม คือ การทดลองเคลือบสีเขียวโดยใช้เถ้าไม้ผสมกับดินเป็นองค์ประกอบหลัก และขั้นตอนสุดท้าย คือ การศึกษาวิธีการตกแต่งลวดลาย เพื่อวางแผนกระบวนการผลิตตลอดจนการพัฒนาเครื่องเคลือบดินเผาให้มีความคล้ายคลึงกับเครื่องเคลือบโบราณเวียงบัว

3.1 การทดลองเนื้อดินปั้น

วัตถุดิบที่นำมาทำการทดลองได้นำมาจากแหล่งดินที่อยู่ในเขตหมู่บ้านบัว ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา มี 2 แหล่ง คือ บริเวณเนินดินและบริเวณบ่อน้ำ เตรียมวัตถุดิบสำหรับการทดลองเช่นเดียวกัน คือ นำวัตถุดิบที่ผ่านการตรวจสอบและคัดแยกเศษวัสดุที่ปะปนแล้ว อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น บดย่อยเป็นผงด้วยเครื่องตีดินแล้วนำมาผ่านตะแกรงร่อนขนาด 35 เมช และอบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเตรียมสำหรับการทดลองขั้นตอนต่อไป

3.1.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยเทคนิค X-ray fluorescence (XRF)

เตรียมตัวอย่างโดยนำวัตถุดิบมาทำการบดด้วยโม่โรงบดให้เป็นผงละเอียดแล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทำการอัดขึ้นรูปให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก กำลังอัด 75 MPa แล้วนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยเทคนิค X-ray fluorescence (X-ray fluorescence :XRF บริษัท Horiba รุ่น 500W ประเทศญี่ปุ่น) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุในตัวอย่างและแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปของสารประกอบออกไซด์

3.1.2 การศึกษาโครงสร้างผลึกและแร่โดยเทคนิค X-ray diffraction (XRD)

วิเคราะห์โครงสร้างทางผลึกและแร่ที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่าง โดยนำวัตถุดิบที่กรองผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช มาบดด้วยโม่บดให้เป็นผงละเอียดจากนั้นนำไปวิเคราะห์ ซึ่งได้กำหนดช่วงของการวิเคราะห์เริ่มจากมุม 5 องศา และสิ้นสุดที่มุม 50 องศา ความละเอียดของการเพิ่มมุม (Step size) เป็น 0.0167 องศา เวลาในการรับสัญญาณในแต่ละมุม (Time/step) เป็น 10 วินาที ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffractometer :XRD ของบริษัท PANalytical รุ่น X'Pert PRO MPD ประเทศเนเธอร์แลนด์)

3.1.3 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle size distribution)

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle size analyser บริษัท Malvern รุ่น Mastersizer 2000 ประเทศอังกฤษ) เพื่อหาปริมาณขนาดอนุภาคของวัตถุดิบโดยเฉลี่ย ตัวอย่างที่ใช้ในการวัดด้วยเครื่องนี้ได้จากวัตถุดิบที่กรองผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช ปริมาณ 5 กรัม ผสมกับน้ำ 20 มิลลิลิตร คนให้วัตถุดิบแตกตัวแช่ไว้ 30 นาที แล้วทำการวัดโดยใช้หลอดหยด หยดลงไปในช่องใส่ตัวอย่างตามปริมาณที่เครื่องกำหนด เพื่อหาค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคในตัวอย่าง

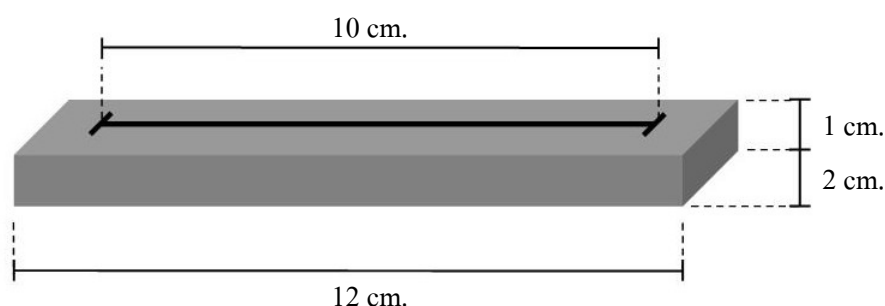
3.1.4 การทดสอบทางกายภาพของเนื้อดินปั้น

3.1.4.1 การหาสภาพพลาสติก (Plasticity)

การหาสภาพพลาสติกของเนื้อดินปั้น เพื่อหาปริมาณน้ำที่ทำให้ดินเกิดความเหนียวและควบคุมปริมาณน้ำที่ทำให้เนื้อดินอยู่ในสภาพพลาสติกและสามารถทำการขึ้นรูปอย่างต่อเนื่องไม่เกิดการขาดตัวขณะขึ้นรูป โดยเตรียมดินแห้งปริมาณ 100 กรัม กับ น้ำ 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาณน้ำจากอัตราส่วนระยะกว้างช่วงละ 10 จากนั้นปรับอัตราส่วนระยะแคบ ช่วงละ 2 ขึ้นรูปตัวอย่างดินเป็นแท่งกลม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร นำตัวอย่างที่เตรียมได้ม้วนให้มีลักษณะครึ่งวงกลม สังเกตด้วยตาเปล่าที่ตัวอย่างถ้าไม่ปรากฏรอยร้าว แสดงว่าเนื้อดินปั้นมีความเหนียวที่เหมาะสม แต่ถ้าเนื้อดินปั้นมีการใช้น้ำผสมในปริมาณมากเกินไปอาจจะทำให้เนื้อดินเหลวเป็นสลิปซึ่งไม่สามารถขึ้นรูปโดยอาศัยความเหนียวได้ จากนั้นนำเนื้อดินปั้นที่ได้จากการทดลองนี้ไปทำการเตรียมตัวอย่างสำหรับทดลองในขั้นตอนต่อไป

3.1.4.2 การหาค่าการหดตัวหลังอบแห้ง (Drying shrinkage)

การทดลองในขั้นตอนนี้ใช้วิธีวัดค่าการหดตัวตามความยาว (Linear shrinkage) สำหรับการหาค่าการหดตัวหลังอบแห้งอ้างอิงจากมาตรฐาน (ASTM STANDARDS, 1997) เตรียมตัวอย่างโดยขึ้นรูปด้วยวิธีอัดลงในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ที่มีขนาดและลักษณะ ดังภาพที่ 3.1 จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และคำนวณหาร้อยละการหดตัว ดังสมการที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ลักษณะตัวอย่างที่นำไปคำนวณหาร้อยละการหดตัวหลังอบแห้ง

$$S_d = \frac{L_p - L_d}{L_p} \times 100 \quad \dots(3.1)$$

เมื่อ S_d คือ ร้อยละการหดตัวหลังอบแห้ง
 L_p คือ ความยาวเปียก (cm)
 L_d คือ ความยาวหลังอบแห้ง (cm)

3.1.4.3 การหาค่าการหดตัวหลังเผา (Firing shrinkage)

การหาค่าการหดตัวหลังเผาสามารถคำนวณหาขนาดของผลิตภัณฑ์ภายหลังการเผาได้ถูกต้อง การทดลองในขั้นตอนนี้ใช้วิธีวัดค่าการหดตัวตามความยาว อ้างอิงจากมาตรฐาน (ASTM STANDARDS, 1997) เตรียมตัวอย่างโดยขึ้นรูปด้วยวิธีอัดลงในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ที่มีขนาดและลักษณะ ดังภาพที่ 3.1 ซึ่งมีวิธีการเตรียมตัวอย่าง ดังภาพที่ 3.1 เผาในอุณหภูมิ 800, 1000, 1200 และ 1250°C คำนวณหาค่าการหดตัวหลังเผา ดังสมการที่ 3.2

$$S_t = \frac{L_d - L_f}{L_d} \times 100 \quad \dots(3.2)$$

เมื่อ S_t คือ ร้อยละการหดตัวหลังเผา
 L_d คือ ความยาวหลังอบแห้ง (cm)
 L_f คือ ความยาวหลังเผา (cm)

3.1.4.4 การหาค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorption)

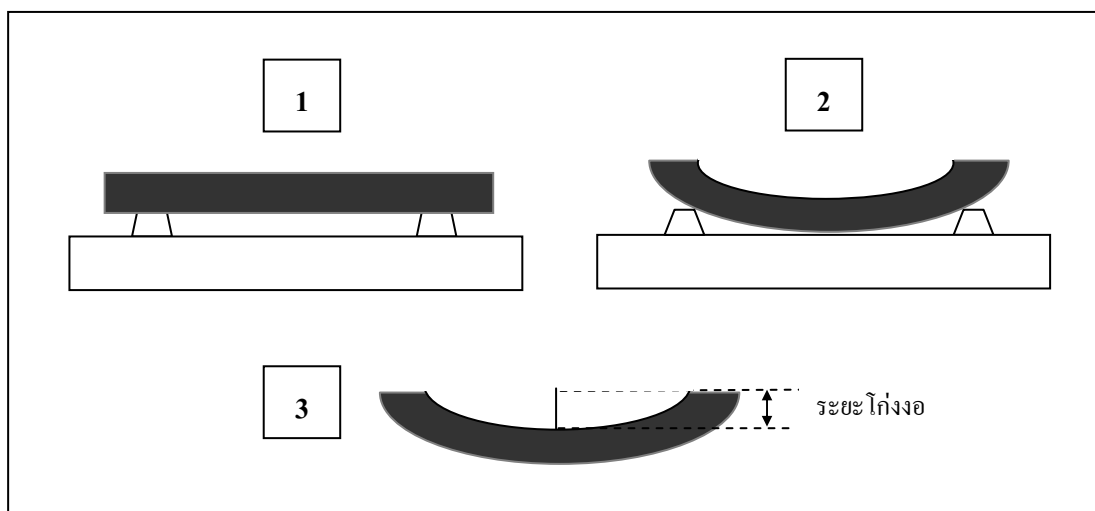
การทดลองในขั้นตอนนี้อ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM STANDARDS, 1999 เตรียมตัวอย่างโดยการขึ้นรูปให้มีขนาดและลักษณะ ดังภาพที่ 3.1 เเผาที่อุณหภูมิ 800, 1000, 1200 และ 1250°C จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังการเผา บันทึกผลเป็นน้ำหนักแห้ง แล้วนำตัวอย่างต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง เพื่อไล่ฟองอากาศที่อยู่ในรูพรุนของตัวอย่าง แล้วแช่ไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ น้ำเข้าแทรกในรูพรุน จากนั้น ชั่งน้ำหนักตัวอย่างโดยชั่งน้ำที่ติดอยู่บริเวณพื้นผิวของตัวอย่างออกแล้ว ชั่งน้ำหนัก บันทึกผลเป็นน้ำหนักเปียก และคำนวณหาร้อยละการดูดซึมน้ำ ดังสมการที่ 3.3

$$A = [(M - D) / D] \times 100 \quad \dots(3.3)$$

เมื่อ A คือ ร้อยละการดูดซึมน้ำ
 M คือ น้ำหนักเปียก
 D คือ น้ำหนักแห้ง

3.1.4.5 การทดสอบความทนไฟ (Softening point)

การทดลองในขั้นตอนนี้อ้างอิงจากวิธีการทดสอบความทนไฟของเนื้อดินหลังเผา (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541) เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการทนระดับอุณหภูมิในการเผา มีวิธีการเตรียมตัวอย่างโดยนำตัวอย่างที่แห้งสนิทวางบนบารอง ดังภาพที่ 3.2 ทำการเผาที่อุณหภูมิ 900, 1000, 1100, 1200, 1250 และ 1300°C ภายหลังจากการเผาจึงนำตัวอย่างมาวัดระยะ โกงงเฉพาะจุดที่ตัวอย่างเกิดการโก่งงอมากที่สุดแล้วรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยเพื่อเปรียบเทียบความโก่งงอของตัวอย่างในแต่ละอุณหภูมิการเผา รวมทั้งพิจารณารูปทรงของแท่งทดสอบว่ามีการบิดเบี้ยวเสียรูป เกิดดำหนิ ปูดพอง หรือบวมตัว และหลอมละลายหรือไม่



ภาพที่ 3.2 วิธีการจัดวางตัวอย่างสำหรับการทดสอบความทนไฟ

3.1.5 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบเอนโกบและเคลือบ

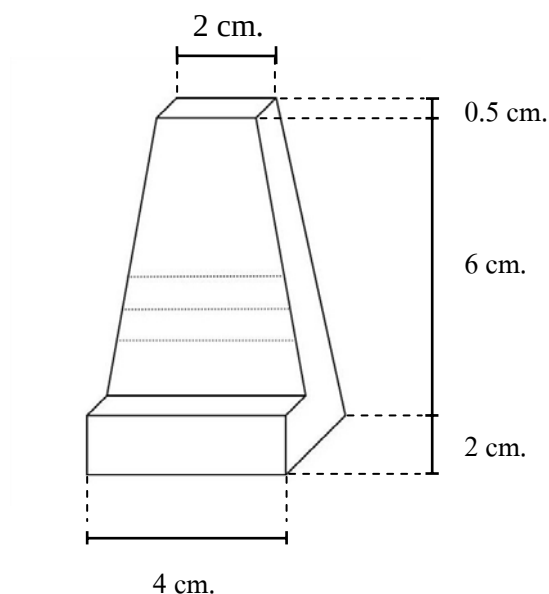
การเตรียมชิ้นทดสอบโดยนำดินมาอัดขึ้นรูปในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ ซึ่งมีลักษณะและขนาด ดังภาพที่ 3.3 แบ่งตัวอย่างเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 เนื้อดินขึ้น (Leather-hard clay) เตรียมชิ้นทดสอบที่ถอดจากแบบพิมพ์แล้วทำการวัดความแข็งของตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือวัดค่าความแข็ง (Hand hardness testing) สุ่มการบันทึกค่าความแข็งเมื่อเวลาผ่านไป 1 2 และ 3 ชั่วโมง บันทึกค่าความแข็งควบคู่กับการวัดค่าความชื้นของตัวอย่าง โดยทำการสุ่มเลือกตัวอย่างในแต่ละจุดมาชั่งน้ำหนักและอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นคำนวณค่าความชื้น (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541) ดังสมการที่ 3.4

$$\text{ค่าความชื้น} = [(\text{น้ำหนักขึ้น} - \text{น้ำหนักแห้ง}) / \text{น้ำหนักแห้ง}] \times 100 \quad \dots(3.4)$$

กลุ่มที่ 2 เนื้อดินที่อบแห้ง (Dry clay) หลังจากขึ้นรูปในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์เมื่อตัวอย่างมีความแข็งแรงพอที่จะถอดจากแบบพิมพ์นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

กลุ่มที่ 3 เนื้อดินที่ผ่านการเผาบิสกิต (Biscuit clay) หลังจากขึ้นรูปในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์เมื่อตัวอย่างมีความแข็งแรงพอที่จะถอดจากแบบพิมพ์นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเผาบิสกิตที่อุณหภูมิ 800°C



ภาพที่ 3.3 ลักษณะและขนาดของตัวอย่างชิ้นทดสอบสำหรับทดสอบเอนโกบและเคลือบ

3.2 การศึกษาการเตรียมเอนโกบ

การศึกษาการเตรียมเอนโกบสีขาว โดยเตรียมขึ้นจากสูตรเอนโกบพื้นฐาน ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้ (Chappell J., 1991)

ดินขาว (Kaolin)	ร้อยละ 25
ดินดำ (Ball clay)	ร้อยละ 25
เฟลด์สปาร์โพแทช (Potash feldspar)	ร้อยละ 20
ฟลินท์ (Flint)	ร้อยละ 20
เซอร์โคแพกซ์ (Zircopax)	ร้อยละ 5
บอแรกซ์ (Borax)	ร้อยละ 5

จากส่วนผสมของเอนโกบสีขาวที่กล่าวข้างต้นมีวัตถุดิบบางชนิดที่ไม่จำเป็นสำหรับการนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องเคลือบดินเผาของบ้านบัว คือ เซอร์โคแพกซ์ และ บอแรกซ์ เซอร์โคแพกซ์จะทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มความทึบในสูตรเอนโกบสีขาวและเป็นวัตถุดิบในวงการผลิตเครื่องเคลือบดินเผาที่จัดอยู่ในรูปของฟริต ประกอบด้วย ชิงค์ (Zinc) ดีบุก (Tin) และซิลิกา (Silica) ซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง ส่วนบอแรกซ์ เป็นตัวช่วยหลอมที่ดีแต่มีพิษสูง จึงควรหลีกเลี่ยงในการนำมาใช้งาน ดังนั้น ผู้ทดลองจึงได้ลดชนิดของวัตถุดิบให้เหลือเฉพาะ ดินขาว ดินดำ เฟลด์สปาร์ และ ซิลิกา

โดยคัดเลือกวัตถุดิบที่มีจำหน่ายภายในประเทศ และจากการทดลองในเบื้องต้น พบว่า เป็นเอนโกบสีขาวยุติที่เหมาะสมกับเนื้อดินปั้น เนื่องจากสามารถปิดผิวเนื้อดินปั้นได้อย่างเรียบเนียนไม่เกิดตำหนิการร้าว ไม่หลุดร่อน ซึ่งสูตรเอนโกบสีขาวยุติที่จะนำมาใช้ในการทดลองนี้ คือ

ดินขาวลำปาง	ร้อยละ 30
ดินดำสุราษฎร์ธานี	ร้อยละ 30
เฟลด์สปาร์	ร้อยละ 20
ซิลิกา	ร้อยละ 20

3.2.1 การผสมสลิปเอนโกบ

การเตรียมสลิปเอนโกบจะทำการบดผสมวัตถุดิบกับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยนำหนักในหม้อบดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อเตรียมสลิปสำหรับทดสอบในขั้นตอนต่อไป

3.2.2 การวัดความหนาแน่นของสลิปเอนโกบโดยใช้ขวดพิคโนมิเตอร์ (Pycnometer)

การทดลองนี้ต้องการค่าความหนาแน่นที่เหมาะสมกับเนื้อดินหลายลักษณะ คือ ดินชั้น ดินที่อบแห้ง และ ดินที่ผ่านการเผาปิ้งสุก ดังนั้น สลิปเอนโกบที่เหมาะสมกับเนื้อดินปั้นในแต่ละลักษณะย่อมมีค่าความถ่วงจำเพาะต่างกัน ซึ่งในการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะจะทำการปรับความหนาแน่นโดยเพิ่มหรือลดวัตถุดิบ หรือ ปรับปริมาณน้ำในส่วนผสม จากนั้นวัดค่าความหนาแน่นของสลิปเอนโกบโดยใช้ขวดพิคโนมิเตอร์ (Pycnometer) คำนวณตามสมการที่ 3.5

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \dots(3.5)$$

เมื่อ ρ คือ ค่าความหนาแน่น

m คือ มวลน้ำหนัก (g)

V คือ ปริมาตร (cm³)

3.2.3 การชุบเอนโกบ

เพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้กับกระบวนการผลิตของกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องเคลือบดินเผาของบ้านบัว ผู้ทดลองจึงทำการเอนโกบด้วยวิธีชุบ เนื่องจากมีความสะดวกรวดเร็วต่อการผลิตผลิตภัณฑ์จำนวนมาก ทำการทดลองโดยนำตัวอย่างที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.1.5 มาชุบเอนโกบโดยแต่ละตัวอย่างจะกำหนดเวลาการชุบเป็น 2 4 6 8 และ 10 วินาที ทิ้งให้แห้ง ตรวจสอบด้วยตาเปล่าเพื่อ

เลือกชิ้นทดสอบที่สมบูรณ์ไม่มีตำหนิหลุมร่อน หรือ แตกราน จากนั้น นำชิ้นงานเผาที่อุณหภูมิ 1200 1230 และ 1250°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ในบรรยากาศออกซิเดชัน

3.2.4 การวัดความหนาของชั้นเอนโกบ

การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope) เพื่อวัดความหนาของชั้นเอนโกบหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 1230 และ 1250°C และเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะและเวลาการชุบเอนโกบที่มีผลต่อความหนา มีวิธีการเตรียมตัวอย่างโดยทำการตัดตัวอย่างในแนวตั้งฉากกับชั้นเอนโกบและขัดเงาด้วยเครื่องขัดตัวอย่างด้วยระบบไฟฟ้าแบบจานหมุน ถ่ายภาพบริเวณรอยตัดแล้ววัดความหนาของชั้นเอนโกบ

3.2.5 การวัดความขาว

การทดลองในขั้นตอนนี้จะนำตัวอย่างที่ทำการเอนโกบในหัวข้อ 3.2.3 ไปวัดความขาวด้วยเครื่องวัดสี (Color Quest XE Spectrophotometer ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Quest XE บริษัท โกลบอล จำกัด) เพื่อวัดค่าความขาวของเอนโกบหลังเผา เปรียบเทียบค่าความขาวตามเวลาการชุบ และค่าความถ่วงจำเพาะของสลิปเอนโกบ โดยวัดค่าความขาวเฉพาะผิวหน้าของเอนโกบ ซึ่งใช้สเกลในการวัดสีเป็นแบบมาตรฐาน CIE L* a* b* color scale

3.2.6 การวัดสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficient of thermal expansion)

การวัดสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ (Dilatometer ยี่ห้อ NETZSCH รุ่น DIL 402 C ประเทศเยอรมัน) เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อถูกเผาผ่านความร้อนของเนื้อดินปั้นได้คัดเลือกไว้จากขั้นตอนการทดลองที่ 3.1.4 กับเอนโกบ มีวิธีการเตรียมตัวอย่างโดยนำตัวอย่างดิน และเอนโกบ ทำการขึ้นรูปโดยการอัดเป็นแท่งยาว 2 เซนติเมตร สูง 0.5 เซนติเมตร และหนา 0.5 เซนติเมตร ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก กำลังอัด 75 MPa โดยขึ้นรูปบริเวณส่วนปลายทั้งสองข้างจากนั้นอบแห้งที่ 110°C เวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างไปวัดสัมประสิทธิ์การขยายตัว

3.3 การศึกษาวิธีการชุบเอนโกบและการเผา

การผลิตเครื่องเคลือบเวียงบัวให้คล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์โบราณเวียงบัว ซึ่งมีการแตงลาวคลายด้วยวิธีการกดประทับ ดังนั้น จึงศึกษาเพิ่มเติมในส่วนองวิธีการตกแต่งเครื่องเคลือบ โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการแตงลาวคลายแบบต่างๆ กับลักษณะของลายที่ตกแต่งบนผลิตภัณฑ์โบราณ

3.3.1 การตรวจสอบวิธีการแต่งลดลายบนเครื่องเคลือบโบราณ

จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์โบราณจากแหล่งเตาเวียงบัว ได้นำตัวอย่างมาทำความสะอาดเพื่อกำจัดฝุ่นผงที่เกาะติดอยู่บนผิวผลิตภัณฑ์ จากนั้นทำการตัดชิ้นงานผ่านบริเวณที่มีลายปรากฏอยู่และจัดให้ได้ระนาบ ถ่ายภาพตัดขวางบริเวณที่จัดระนาบด้วยกล้องจุลทรรศน์เชิงแสงวิเคราะห์และตรวจสอบภาพที่ได้ว่ามีวิธีการตกแต่งในขั้นตอนใด

3.3.2 การจำลองวิธีการแต่งลดลาย

การเตรียมตัวอย่างเนื้อดินปั้น แบ่งตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มดินขึ้น, กลุ่มดินอบแห้ง และกลุ่มดินที่ผ่านการเผาบิสกิต ดังหัวข้อที่ 3.1.5 และคัดเลือกเฉพาะตัวอย่างที่ใช้เวลาในการชุบที่มีผลทำให้ตัวอย่างดินทั้งสามลักษณะมีชั้นเอนโกบนหนาใกล้เคียงกัน ดังหัวข้อที่ 3.2.4 นำตัวอย่างดินทั้ง 3 กลุ่ม ทำการชุบเอนโกบแล้วปล่อยให้แห้งโดยสังเกตด้วยตาเปล่า กดลวดด้วยตราประทับอันเดียวกัน และควบคุมน้ำหนักในการกดให้เท่ากัน อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เเผาที่อุณหภูมิ 1230°C บรรยากาศออกซิเดชัน จากนั้น นำตัวอย่างหลังเผามาทำการตัดผ่านบริเวณที่มีลายปรากฏอยู่และจัดให้ได้ระนาบแล้วถ่ายภาพตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์เชิงแสง

3.4 การศึกษาการเตรียมเคลือบแก้ว

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองเคลือบ ได้แก่ แก้วไม่ล่าไยกับดินจากแหล่งเดียวกันที่ทำการคัดเลือกขั้นตอนที่ 3.1 ส่วนแก้วไม่ล่าไยได้จากการเผาเศษแก้วไม่ล่าไยที่หาได้ภายในท้องถิ่น นามาล้างน้ำ 1 ครั้ง อบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช อบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเตรียมสำหรับการทดลองในขั้นตอนต่อไป จากนั้นนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ซึ่งมีวิธีการเตรียมตัวอย่างดังหัวข้อที่ 3.1.1 และวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ซึ่งมีวิธีการเตรียมตัวอย่างดังหัวข้อที่ 3.1.2

3.4.1 การปรับส่วนผสม

การปรับส่วนผสมจากวัตถุดิบสองชนิด (Line blend) ได้แก่ แก้วไม่ล่าไย และดิน เพื่อเปรียบเทียบผลหลังการเผาเคลือบ ได้แก่ การหลอมตัว สี และการร้าว จำนวน 5 สูตรตัวอย่าง ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการปรับส่วนผสมของเคลือบจากวัตถุดิบสองชนิด

วัตถุดิบ	สูตร				
	1	2	3	4	5
เถ้าไม้ลำไย (กรัม)	80	60	50	40	20
ดิน (กรัม)	20	40	50	60	80
รวม (กรัม)	100	100	100	100	100

จากตารางที่ 3.1 ทำการผสมเคลือบทั้ง 5 สูตร ด้วยวิธีการบดผสมแบบเปียกเป็นเวลา 24 และ 8 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนของผงกับน้ำ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ปรับค่าความถ่วงจำเพาะให้เท่ากับ 1.4 และทำการกรองน้ำเคลือบก่อนนำตัวอย่างไปชุบเคลือบ เพื่อลดปริมาณของฟองอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างการบดผสม

3.4.2 การชุบเคลือบ

เตรียมตัวอย่างที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนที่ 3.2.3 นำมาชุบเคลือบที่เตรียมได้จาก หัวข้อ 3.4.1 จับเวลาในการชุบเป็น 5 วินาที เท่ากันทุกชิ้นงาน โดยใช้ตัวอย่างจำนวน 3 ชิ้น ต่อการชุบเคลือบหนึ่งครั้งในแต่ละสูตรตัวอย่าง

3.4.3 การเผาเคลือบภายใต้บรรยากาศออกซิเดชัน (Oxidation firing)

นำตัวอย่างที่เตรียมได้จากขั้นตอนการทดลองที่ 3.4.2 บรรจุในเตาเผาแล้วเผาที่อุณหภูมิ 1200 1230 และ 1250 °C จากนั้นตรวจสอบลักษณะของเคลือบหลังการเผาโดยสังเกตด้วยตาเปล่า ได้แก่ การหลอมตัว การรานตัว ไม่มีดำหนิรูพรุนหรือฟองอากาศอยู่บนผิวเคลือบ ไม่มีการไหลตัวหลังการเผา และไม่เกิดการหลุดร่อน

3.4.4 การเผาภายใต้บรรยากาศรีดักชัน (Reduction firing)

การเผาผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเคลือบในบรรยากาศรีดักชันเพื่อต้องการให้เคลือบเป็นสีเขียวโดยนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ในหัวข้อ 3.4.2 เผาในบรรยากาศรีดักชัน โดยใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง แบ่งขั้นตอนการเผาเป็น 3 ช่วง ดังนี้

ช่วงที่ 1 ทำการเผาแบบออกซิเดชันโดยเริ่มตั้งแต่อุณหภูมิ 26–950 °C

ช่วงที่ 2 เริ่มการเผาแบบรีดักชันที่อุณหภูมิ 950 °C

ช่วงที่ 3 ควบคุมการเผาภายใต้บรรยากาศแบบรีดักชัน ที่อุณหภูมิ 950–1230 °C

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบและลักษณะทางจุลภาคของดิน

4.1.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยเทคนิค X-ray fluorescence (XRF)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของธาตุโดยใช้เครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของออกไซด์ในดิน ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินจากแหล่งดินที่ใช้ในการวิจัย

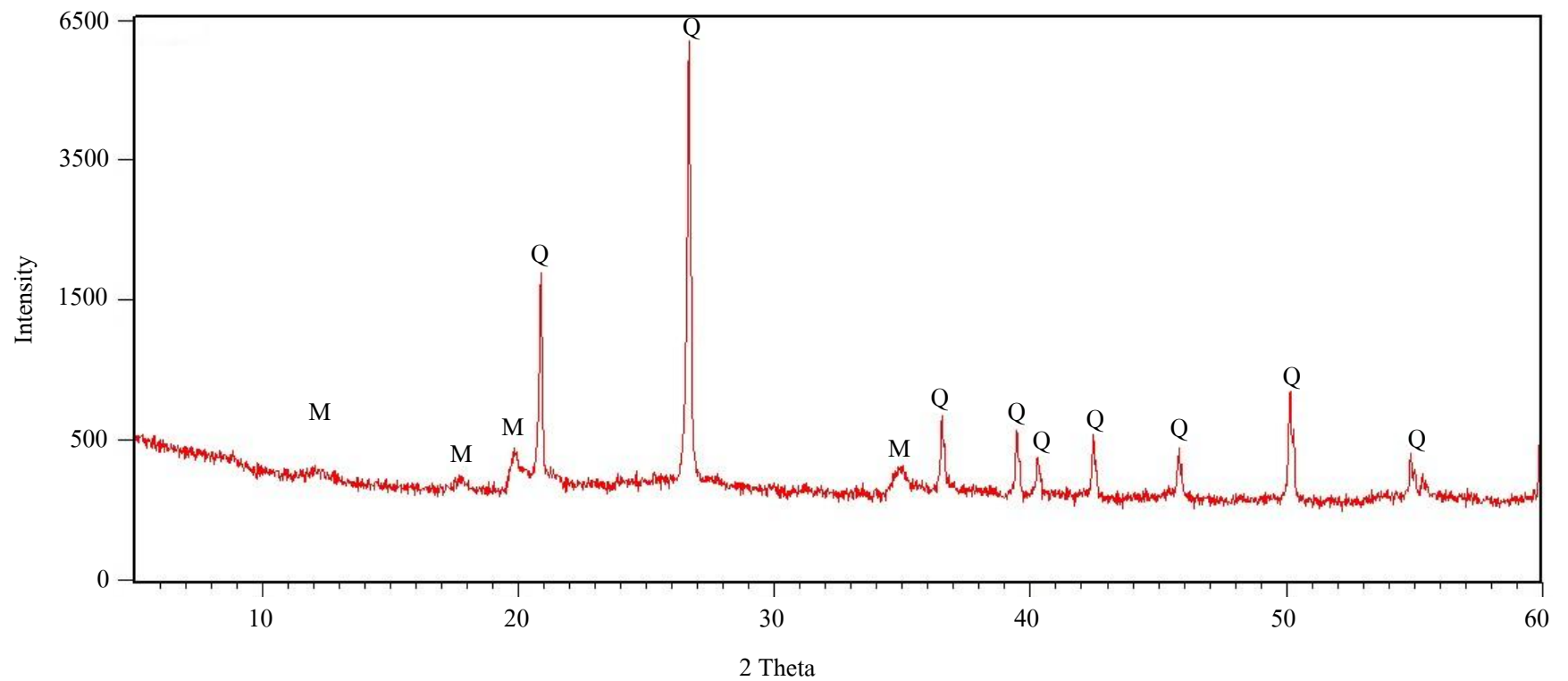
ตัวอย่างดิน	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
RC	72.46	17.10	2.40	0.36	1.01	-	5.72	1.00
YC	60.40	21.00	2.75	1.62	1.47	0.33	11.60	0.83

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ดินทั้งสองตัวอย่างมีปริมาณออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบหลักในดิน คือ ซิลิกาและอลูมินา ส่วนองค์ประกอบอื่น ได้แก่ เพอร์ร็อกไซด์ โพแทสเซียมออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ อีกประมาณร้อยละ 1-2 ซึ่งปริมาณของออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่างดินจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ซิลิกาและอลูมินาที่พบน่าจะเป็นดินซึ่งปริมาณขององค์ประกอบทั้งสองนี้ส่งผลต่อคุณสมบัติความแข็งแรงและความทนไฟ ในดิน RC มีปริมาณของซิลิกามากกว่า YC แต่กลับมีปริมาณของอลูมินาน้อยกว่าเป็นไปได้ว่า RC น่าจะมีปริมาณของควอตซ์อิสระมากกว่าดิน YC สำหรับเพอร์ร็อกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นตัวให้สีในเนื้อดินเมื่อมีปริมาณมากก็ส่งผลให้สีของเนื้อดินมีสีดำ โพแทสเซียมออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ จัดอยู่กลุ่มวัตถุดิบที่เป็นตัวช่วยหลอมช่วยให้ดินเกิดการหลอมตัวเร็ว โดยจากผลการวิเคราะห์ พบว่า ดินทั้งสองชนิดมี

ออกไซด์ที่เป็นตัวช่วยหลอมในปริมาณใกล้เคียงกันยกเว้นตัวอย่างดิน RC ที่มีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์น้อยกว่าดิน YC ดังนั้น ดิน RC จึงน่าจะมีความทนไฟและจุดหลอมตัวที่สูงกว่าดิน YC ส่วนซัลเฟอร์ไตรออกไซด์จะพบเฉพาะในตัวอย่างดิน YC ซัลเฟอร์มักเกิดในดินดำใกล้กับชั้นถ่านหินซึ่งมีทั้งอินทรียสารและอนินทรียสารที่เกิดจากการสลายตัวของออกไซด์ของโลหะบางชนิด เช่น ไพไรต์ (FeS_2) แคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) เป็นค่าที่สามารถละลายในน้ำได้ ถ้ามีอยู่ในปริมาณมากจะส่งผลให้ดินเกิดการบวมตัวและยุบตัวในกระบวนการเผา (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541) แต่เนื่องจากผลการทดลองในขั้นตอนนี้ยังไม่สามารถระบุได้ว่าในเนื้อดินทั้งสองชนิดมีแร่ชนิดใดเป็นองค์ประกอบ ดังนั้น จึงศึกษาองค์ประกอบทางแร่ร่วมด้วย

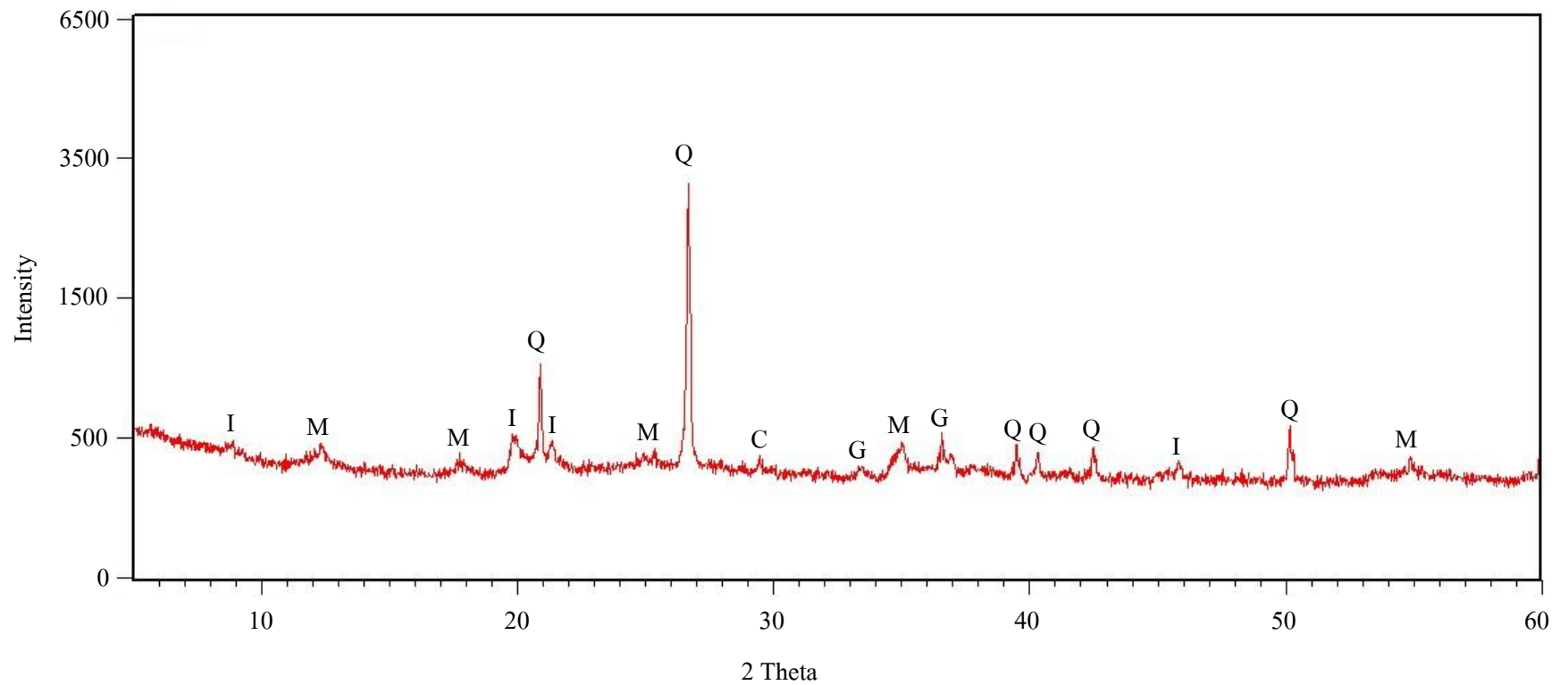
4.1.2 การศึกษาองค์ประกอบทางแร่ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction (XRD))

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของดินทั้งสองชนิดสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยแร่ที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อดินทั้งสองชนิด ประกอบด้วยควอตซ์ มอนต์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite) และอีลไลต์ (Illite) (ดังภาพที่ 4.1) ซึ่งควอตซ์เป็นองค์ประกอบทางแร่อยู่ในรูปของควอตซ์อิสระที่ทำให้เนื้อดินมีความเหนียวน้อย เมื่อมีปริมาณมากและขนาดอนุภาคใหญ่จึงทำให้เนื้อดินมีความแข็งแรงลดลงแต่ช่วยลดการหดตัวได้ดี และช่วยให้เนื้อดินมีความทนไฟเพิ่มขึ้น พบในเนื้อดิน RC มากกว่าดิน YC แร่อีลไลต์ และมอนต์มอริลโลไนท์เป็นแร่ที่ให้ความเหนียวและมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้สูง พบในเนื้อดิน YC มากกว่าเนื้อดิน RC จึงน่าจะส่งผลให้ดิน YC มีความเหนียวมากกว่าดิน RC ส่วนโกอีไทต์ (Goethite) จะพบเฉพาะในเนื้อดิน YC ซึ่งเป็นแร่เหล็ก ดังนั้น อาจส่งผลให้สีของเนื้อดินหลังการเผาเป็นสีดำมากกว่าเนื้อดิน RC



ภาพที่ 4.1 พิกของแร่ที่เป็นองค์ประกอบของดิน RC ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

Q = Quartz M = Montmorillonite



ภาพที่ 4.2 พีคของแร่ที่เป็นองค์ประกอบของดิน YC ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

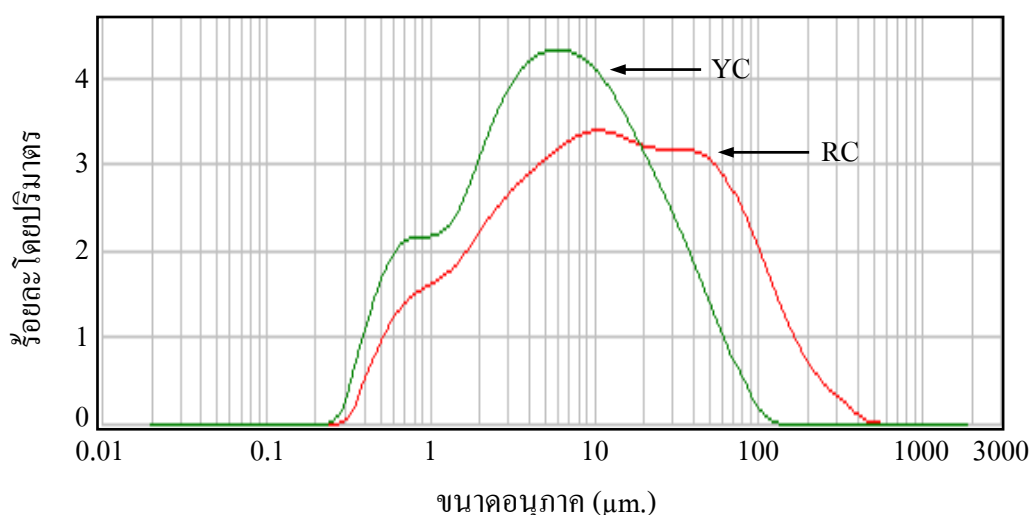
Q = Quartz I = Illite M = Montmorillonite G = Goethite C = Calcite

4.1.3 การหาขนาดอนุภาคของดิน (Particle size)

ผลการหาขนาดอนุภาคของดิน RC และ ดิน YC ที่กรองผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช แสดงดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 แสดงขนาดอนุภาคของดินที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องวัดขนาดอนุภาค

ตัวอย่างดิน	ร้อยละ 10	ร้อยละ 50	ร้อยละ 90	อนุภาคเฉลี่ย D(4, 3)
RC	<1.26 μm	11.74 μm	<85.56 μm	31 μm
YC	<0.79 μm	5.58 μm	<32.13 μm	12 μm



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคดินที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

จากผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาค พบว่า ตัวอย่างดิน RC มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเป็น 3 ช่วง ช่วงแรกมีการกระจายตัวอยู่ที่ 0.1 ถึง 1 ไมโครเมตร ซึ่งน่าจะเป็นอนุภาคของดิน ช่วงที่สองมีการกระจายตัวอยู่ที่ 2 ถึง 10 ไมโครเมตร และช่วงที่สามมีการกระจายตัวอยู่ที่ 11 ถึง 500 ไมโครเมตร ซึ่งน่าจะเป็นอนุภาคของควอตซ์ ดิน RC มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 31 ไมโครเมตร ส่วนดิน YC มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกมีการกระจายตัวอยู่ที่ 0.1 ถึง 1 ไมโครเมตร และช่วงที่สองมีการกระจายตัวอยู่ที่ 2 ถึง 100 ไมโครเมตร ซึ่งการกระจายตัวใน

ช่วงแรกน่าจะเป็นอนุภาคของดิน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 12 ไมโครเมตร จะเห็นว่า YC มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กกว่าดิน RC ดังนั้น น่าจะส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ คือ การหดตัวของดิน YC มากกว่าดิน RC ความทนไฟน้อยกว่าดิน RC เป็นต้น

4.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้น

4.2.1 การหาสภาพพลาสติก (Plasticity)

การหาสภาพพลาสติกของเนื้อดินโดยปรับช่วงของการใช้น้ำแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพของเนื้อดิน การรานตัวของเส้นดินหลังการม้วนเป็นครึ่งวงกลมและร้อยละโดยมวลของการใช้น้ำ ดังภาพที่ 4.4 และภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองของการทดสอบสภาพพลาสติกของดิน โดยใช้น้ำเป็นส่วนผสม

วัตถุดิบ	ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำที่ใช้ผสม	ผลการทดลอง
RC	1	10	ดินเป็นผง ไม่เกาะกัน
	2	20	เส้นดินขาดไม่สามารถโค้งเป็นรูปวงกลมได้
	3	22	เส้นดินขาดไม่สามารถโค้งเป็นรูปวงกลมได้
	4	24	เส้นดินขาดไม่สามารถโค้งเป็นรูปวงกลมได้
	5	26	โค้งเป็นรูปวงกลมได้ไม่ราน
	6	28	โค้งเป็นรูปวงกลมได้แต่ดินแฉะ
	7	30	โค้งเป็นรูปวงกลมได้แต่ดินแฉะมาก
YC	1	10	ดินเป็นผง ไม่เกาะกัน
	2	20	ดินเป็นผง ไม่เกาะกัน
	3	30	เส้นดินขาดไม่สามารถโค้งเป็นรูปวงกลมได้
	4	32	เส้นดินขาดไม่สามารถโค้งเป็นรูปวงกลมได้
	5	34	โค้งเป็นรูปวงกลมได้และมีการรานมาก
	6	36	โค้งเป็นรูปวงกลมได้และมีการรานมาก
	7	38	โค้งเป็นรูปวงกลมได้มีการรานน้อย
	8	40	โค้งเป็นรูปวงกลมได้ไม่มีการราน

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

วัตถุดิบ	ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำที่ใช้ผสม	ผลการทดลอง
YC	9	42	โคงเป็นรูปวงกลมได้มีการรานน้อย
	10	44	ดินเหลวไม่สามารถรีดเป็นเส้นได้

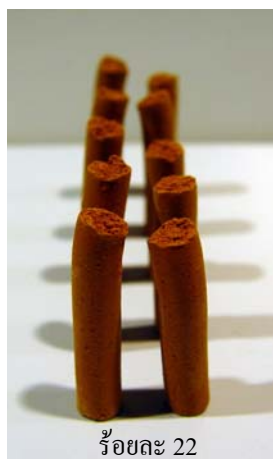
จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่า ผลของการใช้น้ำเพื่อเพิ่มความเหนียวของตัวอย่างดินจะใช้น้ำในปริมาณที่ต่างกัน โดย ดิน RC มีการใช้น้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 20-30 และตัวอย่างดิน YC มีการใช้น้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 30-42 การใช้น้ำเพื่อเพิ่มความเหนียวในปริมาณที่ต่างกันของดินทั้งสองชนิด อาจเกิดจากส่วนประกอบในเนื้อดินที่ต่างกัน เช่น แร่ควอตซ์ซึ่งเป็นแร่ที่ไม่มีความเหนียวปะปนอยู่ในเนื้อดิน RC มีปริมาณมากกว่าเนื้อดิน YC ตามผลการทดลองในหัวข้อ 4.1 ดังนั้น ในการใช้น้ำเพื่อให้เนื้อดินเกิดความเหนียวของดิน RC จึงมีปริมาณการใช้น้ำน้อยกว่าดิน YC



ร้อยละ 10



ร้อยละ 20



ร้อยละ 22



ร้อยละ 24



ร้อยละ 26



ร้อยละ 28



ร้อยละ 30

ภาพที่ 4.4 สภาพพลาสติกของเส้นดิน RC หลังการม้วนเป็นครึ่งวงกลม



ภาพที่ 4.5 สภาพพลาสติกของเส้นดิน YC หลังการม้วนเป็นครึ่งวงกลม

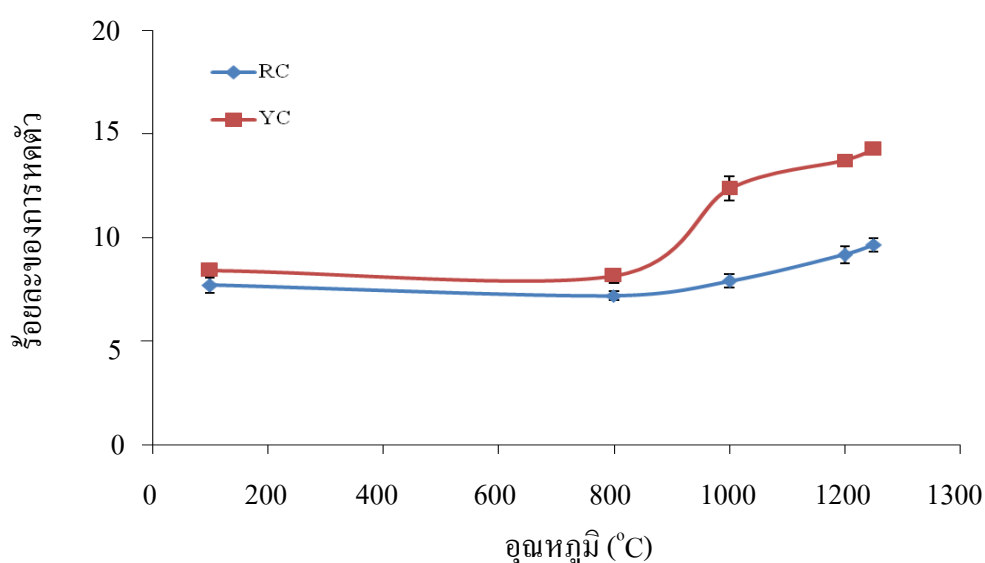
4.2.2 การหาค่าหดตัวก่อนและหลังเผา (Drying and Firing shrinkage)

ผลการทดสอบการหดตัวของเนื้อดินหลังการอบแห้งและหลังการเผาแสดงใน ตารางที่ 4.4 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับการหดตัวของเนื้อดิน ดังภาพที่ 4.6

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการหดตัวของเนื้อดินหลังอบแห้งและหลังเผา

ตัวอย่างดิน	ร้อยละของการหดตัว				
	100°C	800°C	1000°C	1200°C	1250°C
RC	7.69±0.37	7.18±0.21	7.89±0.32	9.16±0.42	9.64±0.34
YC	8.41±0.21	8.15±0.35	12.36±0.60	13.72±0.18	14.25±0.28

จากตารางที่ 4.4 พบว่า ตัวอย่างดิน RC จะมีการหดตัวน้อยกว่าเนื้อดิน YC ทั้งก่อนและหลังเผา การหดตัวของเนื้อดินทั้งสองชนิดจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การหดตัวหลังการอบแห้งและหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800°C ไม่แตกต่างกันมากเนื่องจากการสูญเสียน้ำที่ใช้ในการหาสภาพพลาสติกซึ่งจะระเหยไปตั้งแต่อุณหภูมิ 100-200°C ส่วนน้ำที่อยู่ในโครงสร้างผลึกจะสลายไปในช่วง 450-550°C และการหดตัวที่อุณหภูมิ 1200-1250°C อาจเนื่องมาจากการหลอมของวัตถุดิบที่เป็นตัวช่วยหลอมบางชนิดในเนื้อดินปั้น เช่น โปแทสเซียมเฟลด์สปาร์ แคลเซียมเฟลด์สปาร์ ซึ่งในระหว่างการเผาตัวช่วยหลอมจะช่วยลดช่องว่างระหว่างอนุภาคให้เล็กลงจนเกิดการหดตัวของเนื้อดินแน่นมากขึ้น



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงร้อยละการหดตัวของเนื้อดินหลังอบแห้งและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

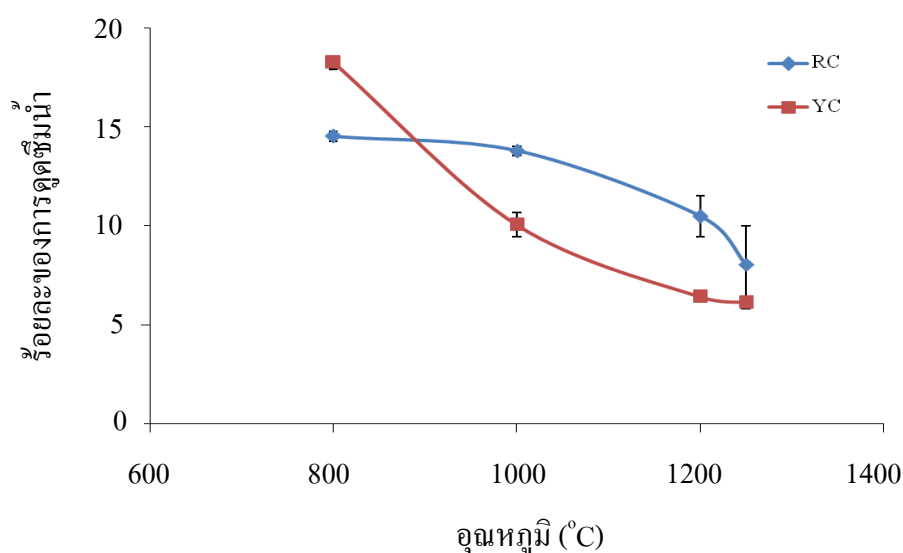
4.2.3 การหาค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorption)

การดูดซึมน้ำของเนื้อดินวัดจากร้อยละของน้ำที่แท่งทดสอบดูดซับไว้ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.7

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของเนื้อดินหลังการเผา

ตัวอย่างดิน	ร้อยละของการดูดซึมน้ำ			
	800°C	1000°C	1200°C	1250°C
RC	14.52±0.25	13.77±0.23	10.48±1.03	8.03±1.95
YC	18.23±0.09	10.05±0.58	6.41±0.77	6.10±0.26

จากตารางที่ 4.5 พบว่า เมื่ออุณหภูมิการเผาเพิ่มขึ้น การดูดซึมน้ำของเนื้อดินทั้งสองชนิดจะลดลงไปเรื่อยๆ โดยที่ ดิน RC มีการเปลี่ยนแปลงของร้อยละการดูดซึมน้ำในช่วงอุณหภูมิ 800-1000°C ไม่มาก แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 1200-1250°C จะมีการเปลี่ยนแปลงของร้อยละการดูดซึมน้ำอย่างเห็นได้ชัด คือ ประมาณร้อยละ 8 สำหรับดิน YC ก่อนข้างมีการเปลี่ยนแปลงของร้อยละการดูดซึมน้ำที่ชัดเจนตั้งแต่อุณหภูมิ 800-1250°C ซึ่งในตัวอย่างดิน YC มีค่าการดูดซึมน้ำประมาณร้อยละ 6



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงร้อยละการดูดซึมน้ำของเนื้อดินหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

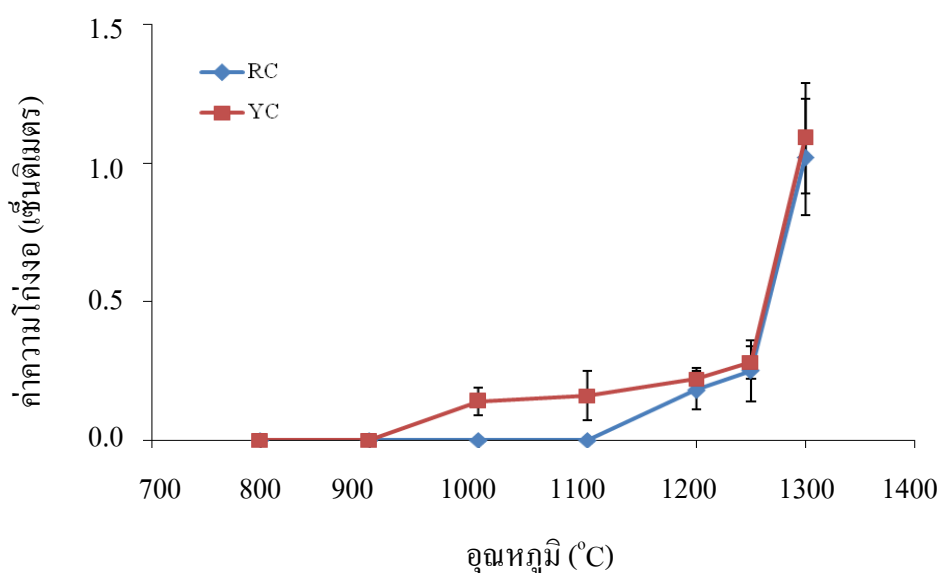
4.2.4 การทดสอบความทนไฟ (Softening point)

การทดสอบความทนไฟของเนื้อดินรายงานผลเป็นค่าความโก่งงอของเนื้อดินหลังการเผาแสดงในตารางที่ 4.6 ภาพที่ 4.8 และภาพที่ 4.9

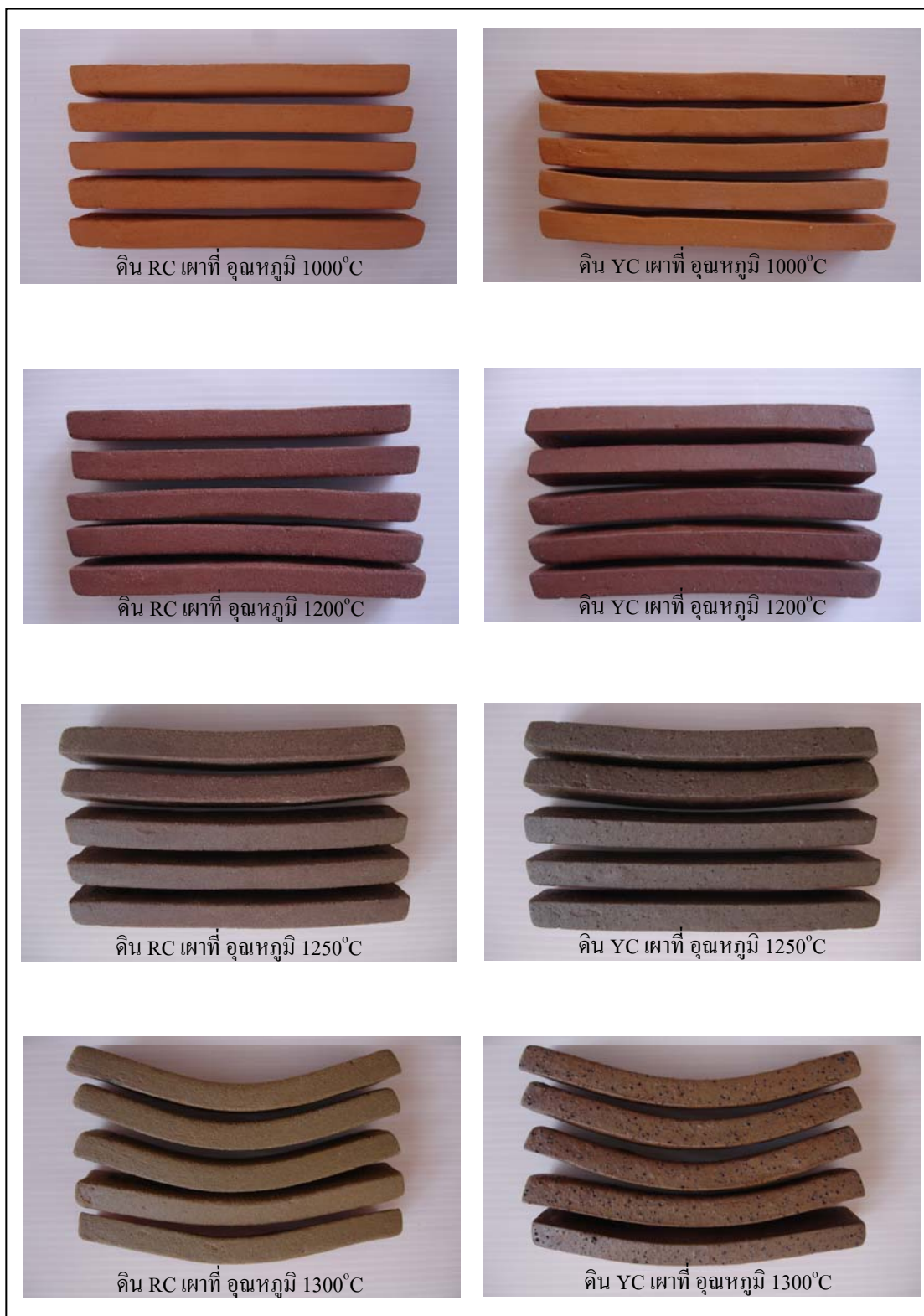
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความโก่งงอของเนื้อดินหลังเผา

ตัวอย่างดิน	ค่าความโก่งงอ (เซนติเมตร)				
	1000 °C	1100 °C	1200 °C	1250 °C	1300 °C
RC	0.00±0.00	0.00±0.00	0.18±0.07	0.25±0.11	1.02±0.20
YC	0.14±0.05	0.16±0.09	0.22±0.04	0.28±0.06	1.09±0.20

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าค่าการโก่งงอของเนื้อดินหลังการเผาจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาให้สูงขึ้น ดังภาพที่ 4.7 โดยที่อุณหภูมิ 1000 °C ตัวอย่างดิน YC เริ่มมีการโก่งงอเล็กน้อย ส่วนตัวอย่างดิน RC ยังไม่มีการโก่งงอ แต่ดิน RC เริ่มมีการโก่งงอที่อุณหภูมิ 1200 °C และทั้งสองตัวอย่างจะมีการโก่งงอเพิ่มมากขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1300 °C ซึ่งให้ค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันแต่ค่าความโก่งงอของดิน RC น้อยกว่า YC แสดงว่าดิน RC มีความทนไฟสูงกว่า ไม่เกิดการบวมตัว และดำเนินจุดค่าเหมือนกับเนื้อดิน YC ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความโก่งงอของเนื้อดินที่อุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 4.9 ลักษณะของดิน RC และดิน YC หลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

การศึกษาเพื่อพัฒนาเครื่องเคลือบดินเผาเวียงบัว โดยใช้วัตถุดิบหลักในท้องถิ่นในการทำเนื้อดินปั้น ได้แก่ ดินพื้นบ้านในหมู่บ้านเวียงบัว จากการศึกษาพบว่าดินทั้ง 2 ชนิด มีคุณสมบัติที่คล้ายกัน คือ องค์ประกอบทางเคมี องค์ประกอบทางแร่ และสมบัติทางกายภาพ เช่น ขนาดอนุภาค สีหลังเผา การหดตัว การดูดซึมน้ำ และความทนไฟ ซึ่งจากการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาค พบว่าดิน RC มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ $31\ \mu\text{m}$ ดิน YC มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ $12\ \mu\text{m}$ ซึ่งดิน YC มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กกว่าอนุภาคดิน RC

ดิน RC เป็นดินที่มีควอตซ์ปะปนอยู่ในปริมาณมาก แต่ดินมีความเป็นพลาสติก สามารถขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนได้ สีหลังการเผาเป็นสีดำ สามารถเผาได้ถึง 1250°C โดยไม่เกิดการ โกงงอหรือบิดเบี้ยวเสียรูปทรง มีการหดตัวน้อยกว่า ดิน YC ซึ่งดิน YC เป็นดินที่มีควอตซ์ปะปนอยู่ในปริมาณมาก เช่นเดียวกัน แต่เนื้อดินมีความละเอียดสูงจึงมีการหดตัวสูง และเกิดตำหนิจุดดำและการบวมตัวเมื่อถูกเผาตั้งแต่อุณหภูมิ 1200°C ซึ่งหมายถึงว่ามีความทนไฟน้อยกว่าดิน RC ดังนั้น ผู้ทดลองจึงเลือกเฉพาะดิน RC เป็นเนื้อดินปั้นสำหรับใช้เป็นตัวอย่างการทดลองในขั้นตอนต่อไป และโดยทั่วไปเนื้อดินที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปควรจะเป็นเนื้อดินที่ไม่ละเอียดมากเพราะป้องกันการหดตัวเนื่องจากเนื้อดินที่มีการหดตัวสูงอาจส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ให้บิดเบี้ยวเสียรูปทรงหลังการเผาได้

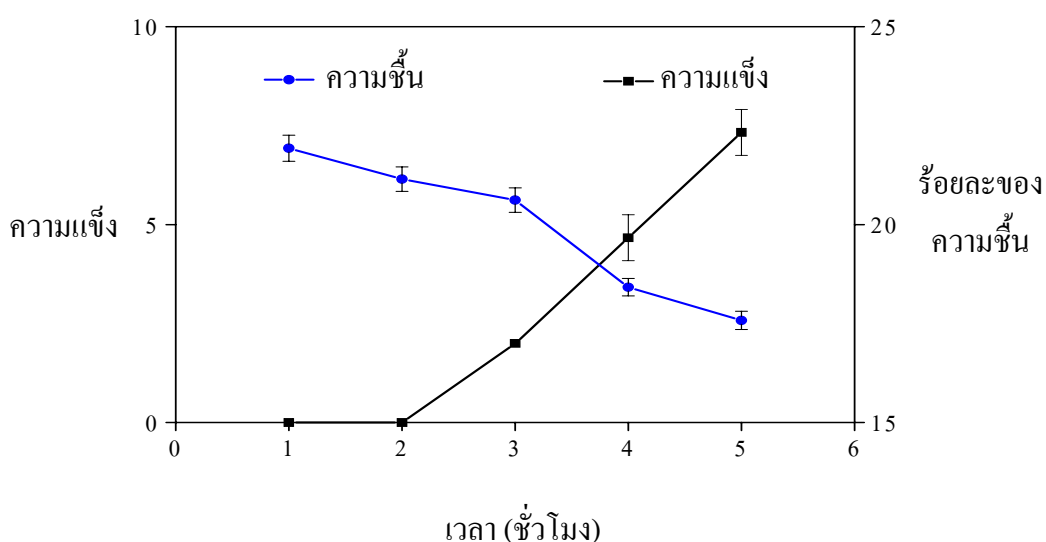
4.3 การเตรียมชิ้นทดสอบสำหรับการทดสอบเอนโกบและเคลือบ

การเตรียมชิ้นทดสอบโดยอัดขึ้นรูปในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ แบ่งตัวอย่างเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ เนื้อดินชั้น เนื้อดินอบแห้ง และเนื้อดินบิสกิต หลังจากนำชิ้นทดสอบอบแห้ง และเผาบิสกิตพบว่า อยู่ในสภาพสมบูรณ์พร้อมนำไปทดลองในขั้นตอนอื่น ส่วนผลการวัดค่าความแข็ง และร้อยละของความชื้นของชิ้นทดสอบเนื้อดินชั้น แสดงดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.10

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความแข็งของตัวอย่างเนื้อดินชั้นและร้อยละของความชื้นที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าความแข็ง	ร้อยละของความชื้น
1	0.00 ± 0.00	21.93 ± 0.33
2	0.00 ± 0.00	21.15 ± 0.31
3	2.00 ± 0.00	20.62 ± 0.31
4	4.67 ± 0.58	18.42 ± 0.22
5	7.33 ± 0.58	17.58 ± 0.22

จากตารางที่ 4.7 การวัดค่าความแข็งของขึ้นทดสอบที่ตั้งทิ้งไว้ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ยังไม่สามารถวัดค่าความแข็งได้ เนื่องจากสภาพเนื้อดินยังมีความชื้นสูง โดยมีร้อยละค่าความชื้นเท่ากับ 21.93 และ 21.15 ตามลำดับ หลังจากตั้งขึ้นทดสอบทิ้งไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ขึ้นทดสอบมีสภาพที่ทรงตัวได้ดีและสามารถวัดค่าความแข็งได้เท่ากับ 2 ร้อยละค่าความชื้นเท่ากับ 20.62 และค่าความแข็งของตัวอย่างเนื้อดินจะเพิ่มมากขึ้นในขณะที่ความชื้นลดลง แต่เมื่อตั้งขึ้นทดสอบทิ้งไว้เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ขึ้นทดสอบจะมีสภาพที่แห้งตัวเป็นอีกหนึ่งลักษณะ คือ เนื้อดินอบแห้ง แต่กรณีที่ต้องการผลิตเนื้อดินขึ้นในสภาพอากาศตามธรรมชาติที่ไม่เหมือนกัน วิธีการควบคุมให้เนื้อดินมีสภาพที่เท่ากันตามระยะเวลาในตารางที่ 4.7 จึงเป็นไปได้ยาก ดังนั้น เพื่อความเหมาะสมจึงควรควบคุมกระบวนการผลิตเนื้อดินขึ้นด้วยวิธีหาร้อยละค่าความชื้น



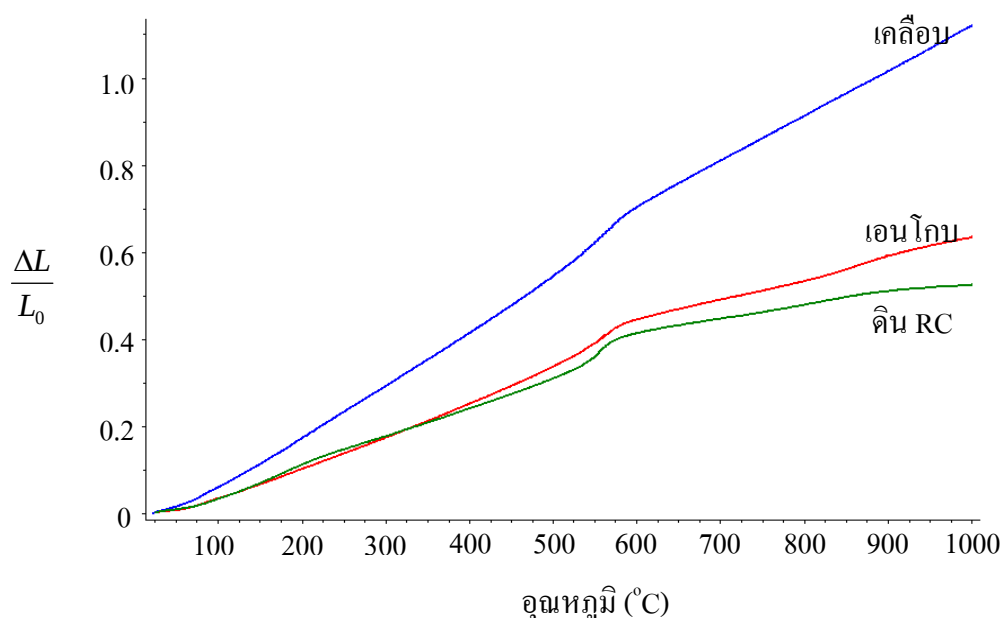
ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงแนวโน้มของค่าความแข็งของตัวอย่างดินเมื่อตั้งทิ้งไว้ ณ อุณหภูมิห้อง

4.4 การวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน

การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของดิน RC เอนโกบที่มีส่วนประกอบของ ดินขาวลำปาง ร้อยละ 30 ดินดำสุราษฎร์ ร้อยละ 30 เฟลด์สปาร์ ร้อยละ 20 ควอตซ์ ร้อยละ 20 และเคลือบแก้วไม้ สูตรที่ 2 ลักษณะของเคลือบหลังเผาที่ 1230°C มีการหลอมตัวดี มีความมันวาว ใส ราน โดยส่วนผสมของเคลือบได้แสดงไว้ ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งในการหาค่าการขยายตัวเชิงความร้อนของตัวอย่างที่เปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ได้แสดงผลการทดลอง ดังภาพที่ 4.11 พบว่า สัมประสิทธิ์การ

ขยายตัวของเนื้อดิน RC และเอนโกบ มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวในช่วงอุณหภูมิ 30–550°C ใกล้เคียงกัน ส่วนตัวอย่างเคลือบมีการขยายตัวมากกว่าเนื้อดิน และเอนโกบ อาจเนื่องมาจาก มีปริมาณของตัวช่วยหลอมในสัดส่วนที่เหมาะสม ซึ่งปัจจัยที่ทำให้สัมประสิทธิ์การขยายตัวของตัวอย่างแตกต่างกันอาจขึ้นอยู่กับสัดส่วนของผลึกและแก้ว หรือปริมาณของตัวช่วยหลอมที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่าง (Lawrance W.E., 1972)

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนน่าจะอยู่ในช่วง 30–550°C เพราะเป็นช่วงที่มีการขยายตัวมากที่สุดและไม่เกินอุณหภูมิของ Quartz inversion ซึ่งอาจจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของชิ้นงานแตกต่างกัน ผลการวิเคราะห์ (ตารางที่ 4.8) ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของเนื้อดิน RC และเอนโกบ ที่อุณหภูมิ 30–550°C พบว่า ค่าการขยายตัวของเนื้อดิน RC เป็น 7.65×10^{-6} และค่าการขยายตัวของเอนโกบเป็น 6.99×10^{-6} เอนโกบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้จึงน่าจะมีความเหมาะสมกับเนื้อดิน RC สำหรับการขยายตัวของเคลือบที่อุณหภูมิ 30–550°C มีค่าการขยายตัวเป็น 12.10×10^{-6} ซึ่งมากกว่าเนื้อดินและเอนโกบ เกิดจากการหลอมละลายเป็นแก้วได้มากกว่าจึงทำให้มีการขยายตัวมากและร้าวในขณะที่ยื่นตัวลง



ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงการขยายตัวของเนื้อดิน RC เอนโกบ และเคลือบ

ตารางที่ 4.8 แสดงร้อยละการขยายตัวของเนื้อดิน RC เอนโกบ และเคลือบ

ตัวอย่าง	สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน วัดช่วงอุณหภูมิ 30 – 550 °C (10^{-6} mm/mm °C)
ดิน RC	7.65
เอนโกบ	6.99
เคลือบ	12.10

4.5 การเตรียมเอนโกบ

4.5.1 การเตรียมสลิปเอนโกบ

การเตรียมสลิปเอนโกบโดยวิธีการบดผสม เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลการปรับค่าค่าความถ่วงจำเพาะ เพื่อให้เหมาะสมกับเนื้อดินปั้นในแต่ละลักษณะ แสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณวัตถุดิบกับปริมาณน้ำโดยน้ำหนักและค่าความถ่วงจำเพาะของสลิป

ตัวอย่าง	ปริมาณวัตถุดิบ (กรัม)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)	ความถ่วงจำเพาะ
1	100	150	1.3
2	100	120	1.4
3	100	100	1.5

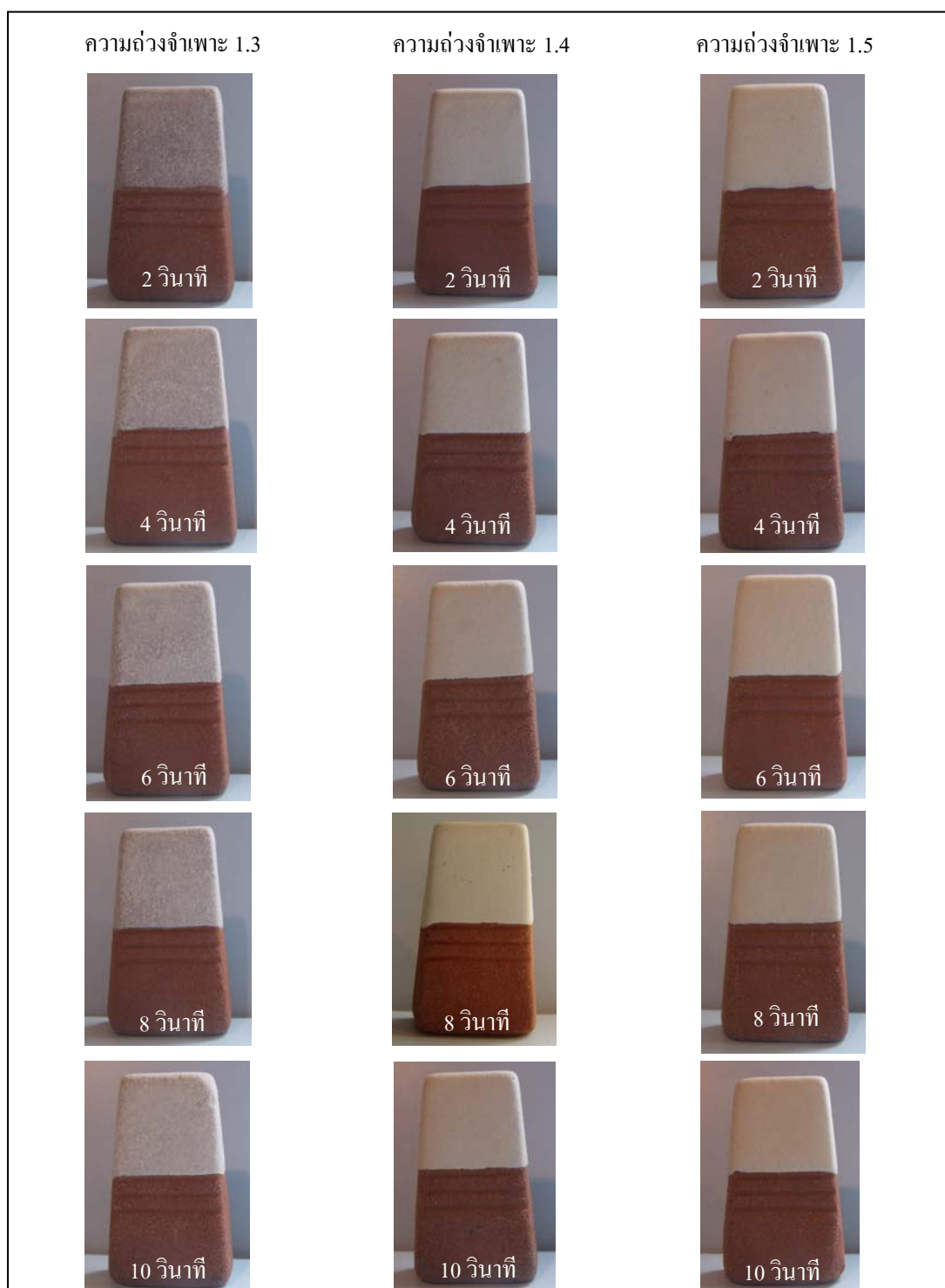
จากตารางที่ 4.9 พบว่า สลิปเอนโกบผสมเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ค่าความถ่วงจำเพาะจะแตกต่างกันตามปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสม คือ ค่าความถ่วงจำเพาะจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณน้ำในส่วนผสมลดลง และก่อนการนำไปใช้กับเนื้อดินปั้นที่คัดเลือกไว้ ซึ่งได้แก่ ดิน RC โดยต้องทำการเอนโกบบนชั้นทดสอบที่เนื้อดินมีสภาพหลายลักษณะ ได้แก่ เนื้อดินบิสกิต เนื้อดินอบแห้ง และเนื้อดินชื้น โดยใช้สลิปเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของเนื้อดินปั้น ผลการเอนโกบบนเนื้อดินบิสกิตแสดงดังตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.12 ผลการเอนโกบบนเนื้อดินอบแห้งแสดงดังตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.13 ผลการเอนโกบบนเนื้อดินชื้นแสดงดังตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.14

ตารางที่ 4.10 แสดงลักษณะเอนโกบบนเนื้อดินบิสกิตหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1230°C

ความถ่วงจำเพาะ	เวลาการชุบ (วินาที)	การปิดผิวเนื้อดินปั้น	ตำหนิรุเข็มบนผิวเอนโกบ
1.3	2	ไม่สมบูรณ์	-
	4	ไม่สมบูรณ์	-
	6	ไม่สมบูรณ์	-
	8	ไม่สมบูรณ์	-
	10	ไม่สมบูรณ์	-
1.4	2	ค่อนข้างสมบูรณ์	-
	4	ค่อนข้างสมบูรณ์	-
	6	สมบูรณ์	-
	8	สมบูรณ์	-
	10	สมบูรณ์	-
1.5	2	สมบูรณ์	-
	4	สมบูรณ์	-
	6	สมบูรณ์	-
	8	สมบูรณ์	-
	10	สมบูรณ์	-

จากตารางที่ 4.10 พบว่า ชื่นทดสอบเอนโกบที่ผ่านการเผาบิสกิต เมื่อนำมาชุบเอนโกบโดยใช้สลิปที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่างกันจะทำให้การปิดผิวเนื้อดินปั้นต่างกัน คือ สลิปที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.3 จะมีลักษณะเหลวมาก เมื่อชุบในช่วงเวลา 2 4 6 8 และ 10 วินาที ทำให้การปิดผิวเนื้อดินปั้นไม่สมบูรณ์ เพราะชั้นเอนโกบบางมากจนมองเห็นเนื้อดินปั้นและผิวเอนโกบที่ค่อนข้างเป็นรอยขรุขระตามเนื้อดินปั้น แต่เมื่อนำเนื้อดินบิสกิตทำการชุบเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.4 ซึ่งมีความเข้มข้นปานกลาง เมื่อชุบเอนโกบด้วยเวลาที่เท่ากัน ทำให้ชั้นเอนโกบสามารถปิดผิวเนื้อดินได้สมบูรณ์ขึ้นแต่สลิปเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.4 เมื่อชุบเอนโกบด้วยเวลา 2–4 วินาที ชั้นเอนโกบยังค่อนข้างบางและพบรอยขรุขระจากผิวเนื้อดินปั้น แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการชุบเป็น 6–10 วินาที เอนโกบสามารถปิดผิวเนื้อดินได้สมบูรณ์ ส่วนสลิปเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.5 ซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่า เมื่อชุบเอนโกบในเวลา 2–10 วินาที ชั้นเอนโกบปิดผิวเนื้อดินปั้นได้สมบูรณ์ ดังนั้น ถ้าต้องการ

สลิปเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.4 โดยใช้เนื้อดินปั้นเป็นเนื้อดินบิสกิตควรใช้เวลาในการชุบเป็น 6-10 วินาที และสลิปเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.5 ควรใช้เวลาในการชุบเป็น 2-10 วินาที

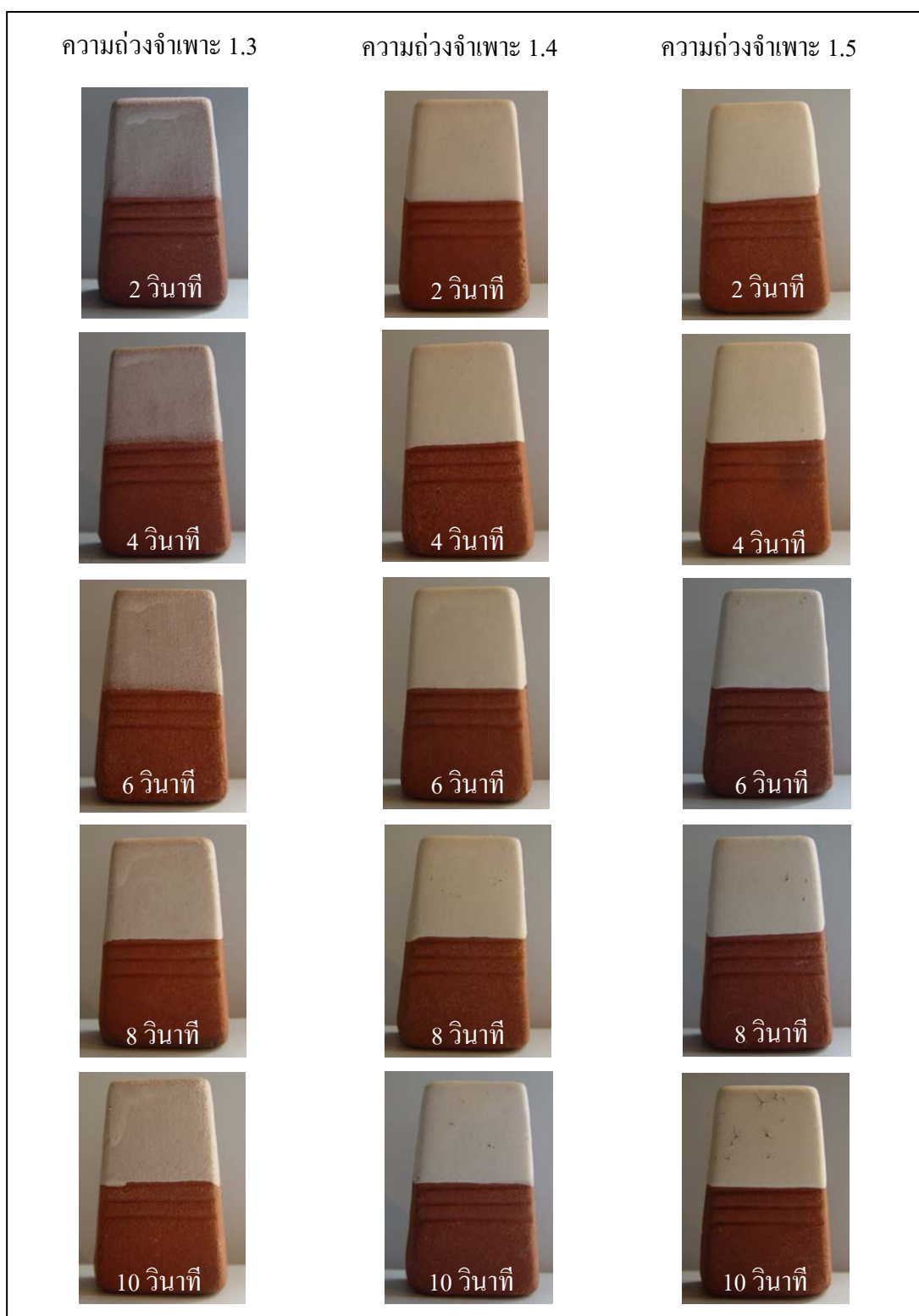


ภาพที่ 4.12 แสดงลักษณะเอนโกบบนเนื้อดินบิสกิตหลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C

ตารางที่ 4.11 แสดงลักษณะเอนโกบบนเนื้อดินอบแห้งหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1230°C

ความถ่วงจำเพาะ	เวลาการชุบ (วินาที)	การปิดผิวเนื้อดินปั้น	ตำหนิรุเข็มบนผิวเอนโกบ
1.3	2	ไม่สมบูรณ์	-
	4	ไม่สมบูรณ์	-
	6	ไม่สมบูรณ์	-
	8	ไม่สมบูรณ์	-
	10	ไม่สมบูรณ์	-
1.4	2	ค่อนข้างสมบูรณ์	-
	4	ค่อนข้างสมบูรณ์	-
	6	ค่อนข้างสมบูรณ์	-
	8	ค่อนข้างสมบูรณ์	✓
	10	ค่อนข้างสมบูรณ์	✓
1.5	2	สมบูรณ์	-
	4	สมบูรณ์	-
	6	สมบูรณ์	✓
	8	สมบูรณ์	✓
	10	สมบูรณ์	✓

จากตารางที่ 4.11 พบว่า ชื้นทดสอบเอนโกบที่อบแห้ง เมื่อนำมาชุบเอนโกบโดยใช้สลีปที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่างกัน จะให้การปิดผิวเนื้อดินปั้นต่างกัน เช่นเดียวกับเนื้อดินบิสกิต คือ เมื่อชุบเอนโกบด้วยสลีปที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.3 ในช่วงเวลา 2 4 6 8 และ 10 วินาที ชื้นเอนโกบปิดผิวเนื้อดินปั้นไม่สมบูรณ์เพราะมองเห็นเนื้อดินปั้นและรอยขรุขระบนเนื้อดิน เมื่อนำชื้นทดสอบชุบเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.4 ในช่วงเวลา 2 4 6 8 และ 10 วินาที ชื้นเอนโกบปิดผิวเนื้อดินปั้นค่อนข้างสมบูรณ์แต่เกิดตำหนิรุเข็มขึ้นเมื่อชุบเป็นเวลา 8-10 วินาที ส่วนชื้นทดสอบที่ชุบเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.5 เมื่อชุบเอนโกบในช่วงเวลา 2 4 6 8 และ 10 วินาที ชื้นเอนโกบปิดผิวเนื้อดินปั้นได้สมบูรณ์ แต่พบว่เกิดตำหนิรุเข็มบนชื้นทดสอบที่ชุบในเวลา 6-10 วินาที ดังนั้น ถ้าต้องการนำสลีปเอนโกบใช้กับเนื้อดินปั้นที่อบแห้ง ควรเลือกเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.5 ใช้เวลาในการชุบเป็น 2-4 วินาที

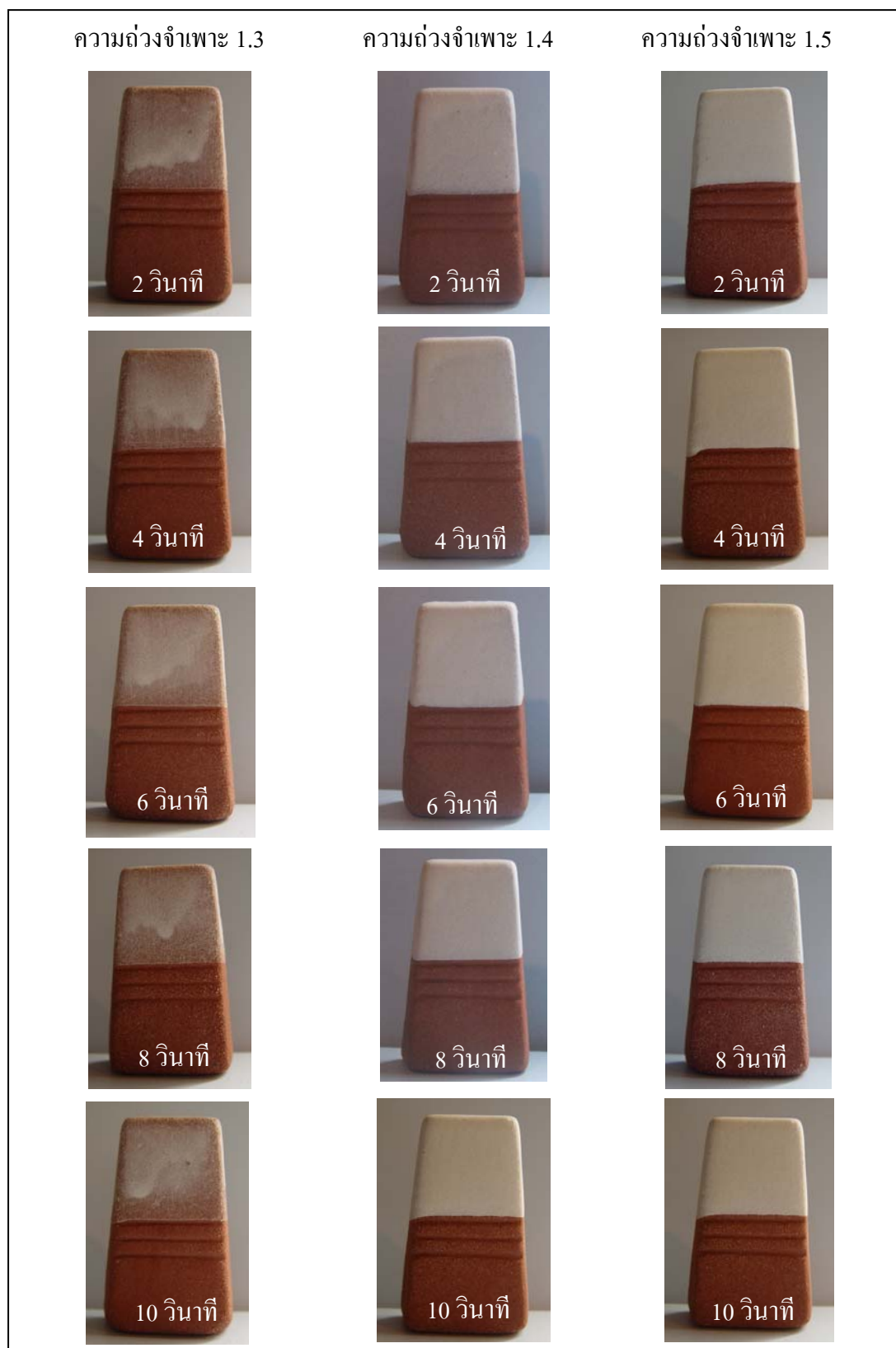


ภาพที่ 4.13 แสดงลักษณะเอนโกบบนเนื้อดินอบแห้งหลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C

ตารางที่ 4.12 แสดงลักษณะเอนโกบบนเนื้อดินชั้นหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1230°C

ความถ่วงจำเพาะ	เวลาการชุบ (วินาที)	การปิดผิวเนื้อดินปั้น	ตำหนิรุเข็มบนผิวเอนโกบ
1.3	2	ไม่สมบูรณ์	-
	4	ไม่สมบูรณ์	-
	6	ไม่สมบูรณ์	-
	8	ไม่สมบูรณ์	-
	10	ไม่สมบูรณ์	-
1.4	2	ค่อนข้างสมบูรณ์	-
	4	ค่อนข้างสมบูรณ์	-
	6	ค่อนข้างสมบูรณ์	-
	8	ค่อนข้างสมบูรณ์	-
	10	ค่อนข้างสมบูรณ์	-
1.5	2	ค่อนข้างสมบูรณ์	-
	4	สมบูรณ์	-
	6	สมบูรณ์	-
	8	สมบูรณ์	-
	10	สมบูรณ์	-

จากตารางที่ 4.12 พบว่า ชินทดสอบเอนโกบที่เป็นเนื้อดินชั้น เมื่อนำมาชุบเอนโกบโดยใช้ สลิปที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่างกันจะให้การปิดผิวเนื้อดินปั้นต่างกัน เช่นเดียวกับเนื้อดินบิสกิตและ เนื้อดินอบแห้ง คือ สลิปที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.3 ในช่วงเวลา 2 4 6 8 และ 10 วินาที ชินเอนโกบปิด ผิวเนื้อดินปั้นไม่สมบูรณ์เพราะมองเห็นเนื้อดินปั้นและรอยขรุขระบนเนื้อดิน ชินทดสอบชุบเอนโกบ ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.4 ในช่วงเวลา 2 4 6 8 และ 10 วินาที และชินทดสอบที่ชุบเอนโกบที่มีค่า ความถ่วงจำเพาะ 1.5 ในช่วงเวลา 2 วินาที ชินเอนโกบปิดผิวเนื้อดินปั้นค่อนข้างสมบูรณ์ แต่เมื่อเพิ่ม เวลาในการชุบสลิปเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.5 เป็นเวลา 4–10 วินาที ชินเอนโกบปิดผิวเนื้อดิน ปั้นได้สมบูรณ์ และไม่พบตำหนิ ดังนั้น ถ้าต้องการนำสลิปเอนโกบใช้กับเนื้อดินชั้น ควรเลือกเอนโกบ ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.5 โดยใช้เวลาในการชุบเป็น 4–10 วินาที



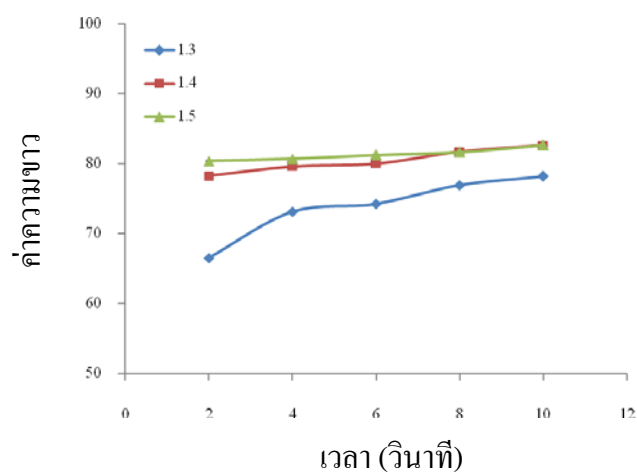
ภาพที่ 4.14 แสดงลักษณะเอนโกบบนเนื้อดินชั้นหลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C

4.5.2 การวัดความขาวด้วยเครื่องวัดสี

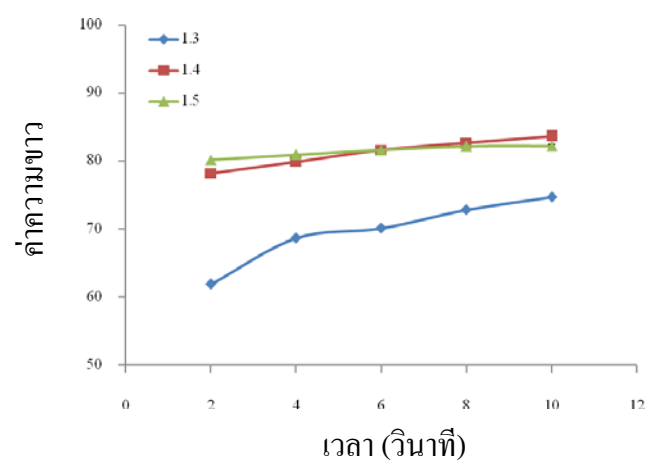
วัดความขาวด้วยเครื่องวัดสี ค่าความขาวของเอนโกบหลังเผา ค่าความขาวตามเวลาการชุบ และค่าความถ่วงจำเพาะของสลิปเอนโกบ ซึ่งสเกลในการวัดสีเป็นแบบมาตรฐาน CIE L^* a^* b^* color scale โดยค่า L^* เป็นค่าความขาวที่ได้จากเครื่องวัดสี แสดงดังตารางที่ 4.13 ภาพที่ 4.15 ภาพที่ 4.16 และภาพที่ 4.17

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าความขาวตามเวลาการชุบและค่าความถ่วงจำเพาะของเอนโกบบนเนื้อดิน
ลักษณะต่างๆ หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1230°C

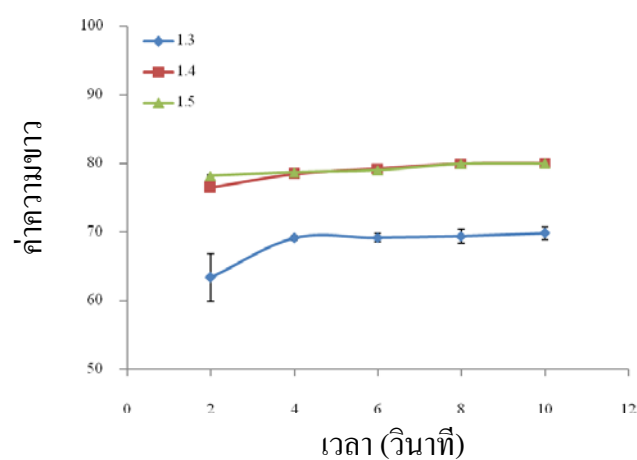
ความถ่วงจำเพาะ	เวลาการชุบ (วินาที)	ค่าความขาว (L^*) บนเนื้อดินลักษณะต่างๆ		
		ดินบิสกิต	ดินอบแห้ง	ดินชั้น
1.3	2	66.51 ± 0.02	61.89 ± 0.04	63.34 ± 3.44
	4	73.14 ± 0.09	68.70 ± 0.06	69.13 ± 0.33
	6	74.26 ± 0.01	70.11 ± 0.03	69.16 ± 0.61
	8	76.95 ± 0.01	72.82 ± 0.02	69.39 ± 1.06
	10	78.23 ± 0.12	74.69 ± 0.03	69.83 ± 0.94
1.4	2	78.26 ± 0.01	78.22 ± 0.11	76.52 ± 0.22
	4	79.65 ± 0.01	79.91 ± 0.04	78.45 ± 0.37
	6	80.06 ± 0.05	81.63 ± 0.18	79.22 ± 0.09
	8	81.73 ± 0.02	82.69 ± 0.01	79.94 ± 0.08
	10	82.64 ± 0.07	83.65 ± 0.07	80.05 ± 0.06
1.5	2	80.41 ± 0.04	80.17 ± 0.02	78.20 ± 0.12
	4	80.70 ± 0.03	80.94 ± 0.03	78.73 ± 0.16
	6	81.25 ± 0.05	81.63 ± 0.18	79.00 ± 0.16
	8	81.69 ± 0.06	82.19 ± 0.01	79.95 ± 0.17
	10	82.69 ± 0.02	82.24 ± 0.20	79.99 ± 0.15



ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงความขาวตามเวลาชุบและความถ่วงจำเพาะของเอนโกบบนเนื้อดินบิสกิต



ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงความขาวตามเวลาชุบและความถ่วงจำเพาะของเอนโกบบนเนื้อดินแห้ง



ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงความขาวตามเวลาชุบและความถ่วงจำเพาะของเอนโกบบนเนื้อขึ้น

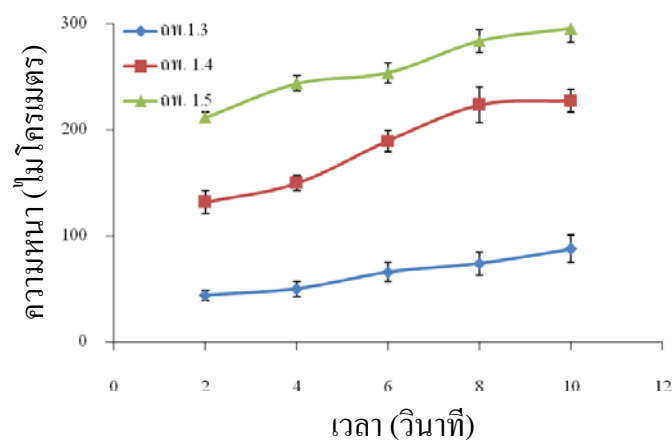
จากผลการทดลอง พบว่า ชั้นทดสอบเอนโกบที่เป็นเนื้อดินบิสกิต เนื้อดินอบแห้ง และเนื้อดินขึ้น เมื่อทำการชุบเอนโกบโดยใช้สลิปเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่างกัน มีผลให้ค่าความขาวที่แตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อใช้เวลาในการชุบเท่ากัน

4.5.3 การวัดความหนาของชั้นเอนโกบ

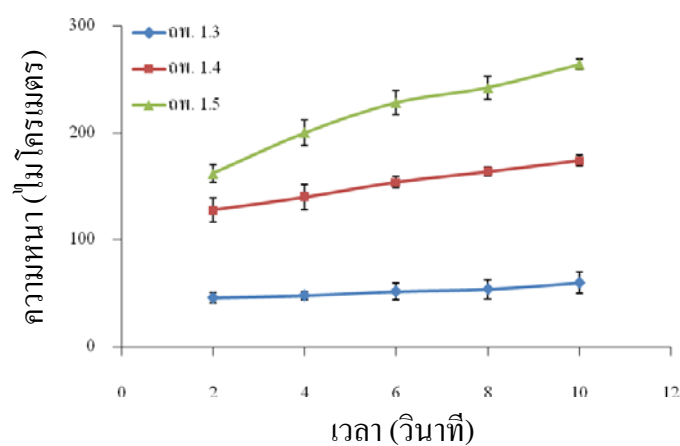
ความถ่วงจำเพาะและเวลาในการชุบที่มีผลต่อค่าความหนาของเอนโกบบนเนื้อดินลักษณะต่างๆ ได้แก่ เนื้อดินบิสกิต เนื้อดินที่อบแห้ง และเนื้อดินขึ้น หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1230°C ดังนี้

ตารางที่ 4.14 แสดงความหนาของเอนโกบบนเนื้อดินลักษณะต่างๆ ที่ชุบเวลาและค่าความถ่วงจำเพาะต่างกัน

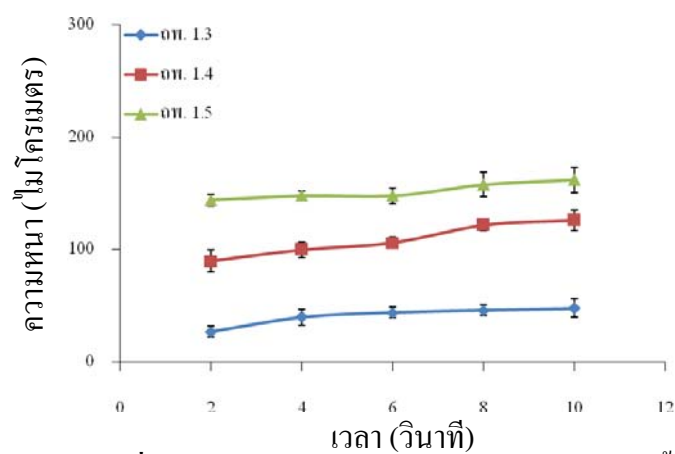
ความถ่วงจำเพาะ	เวลาการชุบ (วินาที)	ความหนา (ไมโครเมตร) บนเนื้อดินลักษณะต่างๆ		
		ดินบิสกิต	ดินอบแห้ง	ดินขึ้น
1.3	2	44 ± 5	46 ± 5	26 ± 5
	4	50 ± 7	48 ± 4	40 ± 7
	6	66 ± 9	52 ± 8	44 ± 5
	8	74 ± 11	54 ± 9	46 ± 5
	10	88 ± 13	60 ± 10	48 ± 8
1.4	2	132 ± 11	128 ± 11	90 ± 10
	4	130 ± 7	140 ± 12	100 ± 7
	6	190 ± 10	154 ± 5	106 ± 5
	8	224 ± 17	164 ± 5	122 ± 4
	10	228 ± 11	174 ± 5	126 ± 9
1.5	2	212 ± 11	162 ± 8	144 ± 5
	4	244 ± 5	200 ± 12	148 ± 4
	6	254 ± 5	228 ± 11	150 ± 7
	8	284 ± 5	242 ± 4	158 ± 11
	10	296 ± 5	264 ± 5	162 ± 11



ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงความหนาของเอนโกบบนเนื้อดินบิสกิต



ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงความหนาของเอนโกบบนเนื้อดินอบแห้ง



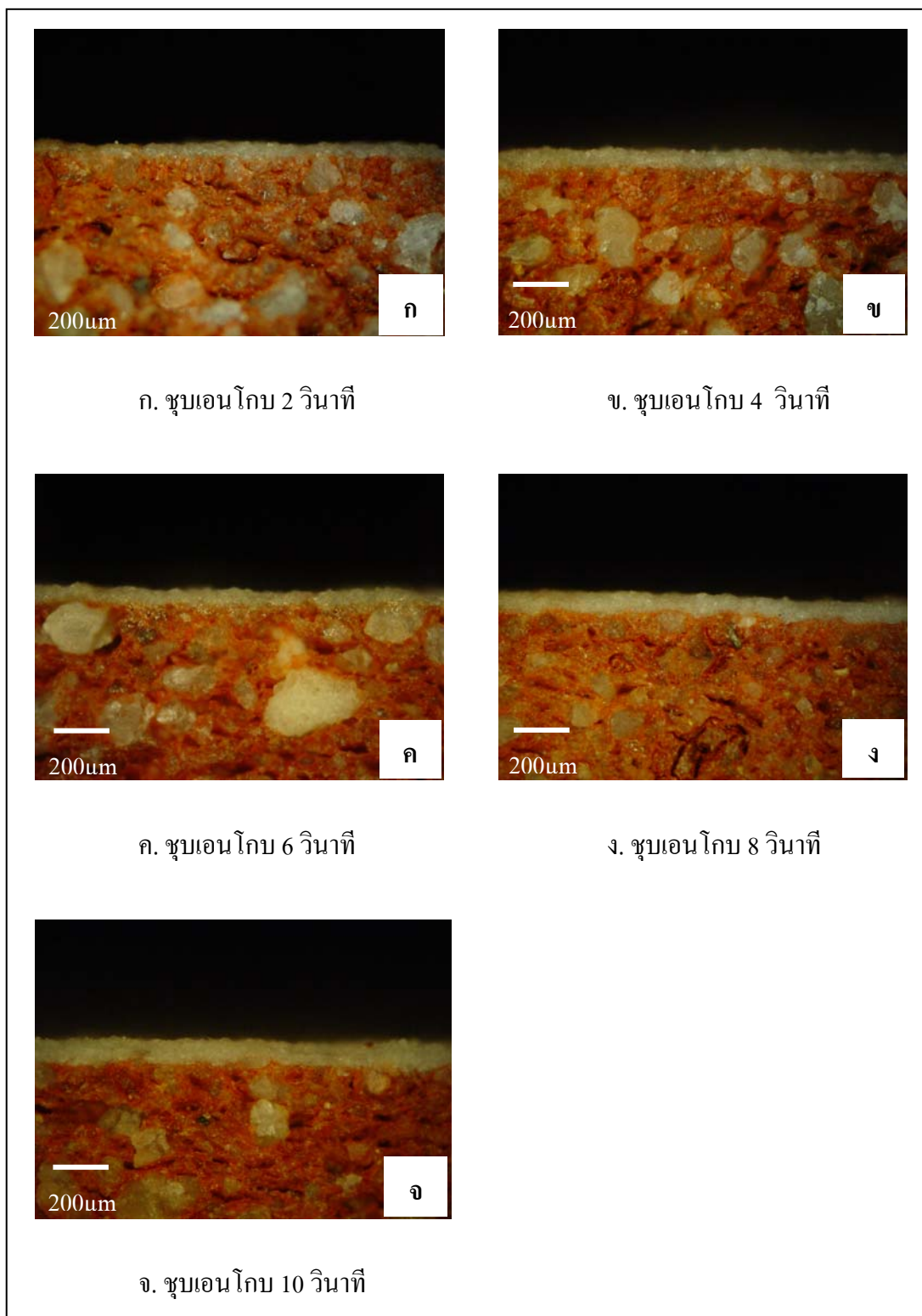
ภาพที่ 4.20 กราฟแสดงความหนาของเอนโกบบนเนื้อดินชื้น

จากผลการทดลอง พบว่า ชันทดสอบเอนโกบที่ผ่านการเผาปัสกิด ชันทดสอบเอนโกบที่อบแห้ง และชันทดสอบเอนโกบที่มีความชื้น เมื่อทำการชุบเอนโกบโดยใช้สลิปเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่างกัน มีผลต่อการทำให้เกิดความหนาที่ต่างกันเมื่อใช้เวลาในการชุบเท่ากัน เมื่อเอนโกบมีความหนามากก็อาจเกิดตำหนิขึ้นได้ เช่น ตำหนิรุ้เข็มจนทำให้มีรอยฉีกเล็กน้อยบนผิวเอนโกบ การเกิดตำหนิรอยฉีกบนพื้นผิวตัวอย่างนั้นอาจมีสาเหตุมาจากการเกิดฟองอากาศในเนื้อดินที่ดันตัวออกมาหรือเกิดจากฝุ่นละอองที่เกาะติดบนผิวเนื้อดิน แล้วดันตัวออกมาในระหว่างการเผา (Eppler R.&D., 2000) เมื่อตำหนิที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้มีจำนวนมากจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์หลังการเผาเคลือบเสียหายได้ เนื่องจากในระหว่างการเผาเคลือบ ในขณะที่เคลือบเป็นของเหลวอาจจะไหลแทรกเข้าไประหว่างรอยฉีกและฝังตัวอยู่ระหว่างชันเอนโกบกับเนื้อดินและเมื่อเย็นตัวลงเคลือบจะเกาะติดอยู่ที่ผิวเนื้อดินเกิดเป็นตำหนิเสียหายได้

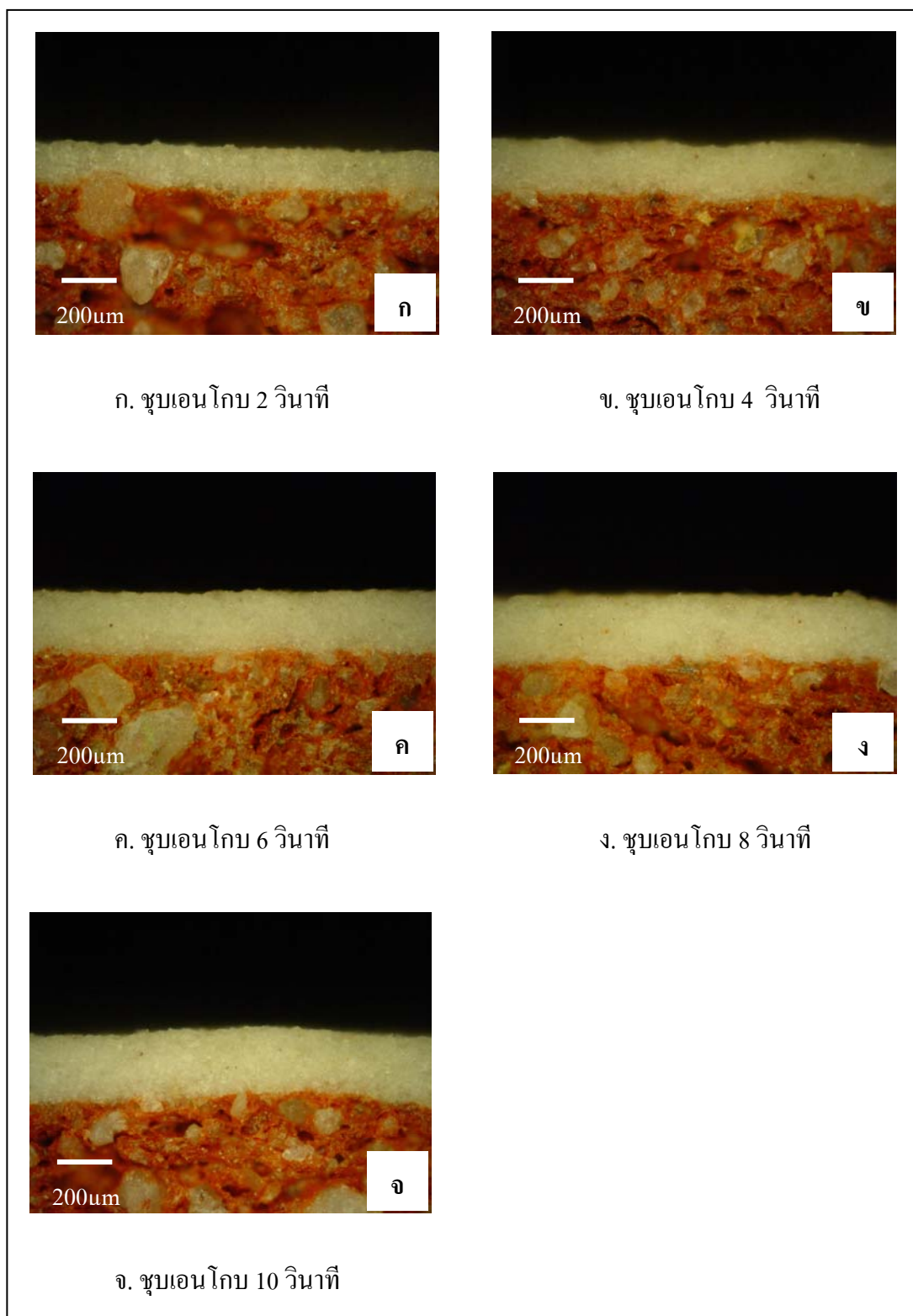
การชุบเอนโกบโดยใช้สลิปที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.3 ในช่วงเวลา 2 4 6 8 และ 10 วินาที จะให้สีหลังการเผาเป็นสีขาว ผิวด้าน ชันเอนโกบบางมาก ไม่สามารถปิดผิวเนื้อดินป่นได้ สามารถมองเห็นสีของชันดินได้

การชุบเอนโกบโดยใช้สลิปที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.4 ในช่วงเวลา 2 4 6 8 และ 10 วินาที จะให้สีหลังการเผาเป็นสีขาว ผิวด้าน เอนโกบสามารถปิดผิวเนื้อดินป่นได้ แต่เอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.4 มีการไหลตัวเร็วกว่าสลิปเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.5 ดังนั้นในการชุบเอนโกบให้มีความหนาเท่ากันจึงใช้เวลาค่อนข้างมากกว่า

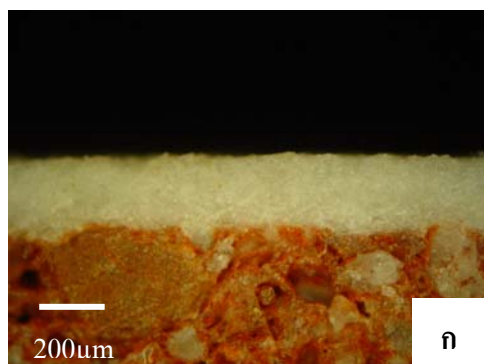
การชุบเอนโกบโดยใช้สลิปที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.5 ในช่วงเวลา 2 4 6 8 และ 10 วินาที จะให้สีหลังการเผาเป็นสีขาว ผิวด้าน สามารถปิดผิวเนื้อดินป่นได้ เอนโกบมีความหนามาก ซึ่งสลิปเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.5 จะมีการไหลตัวช้าเมื่อเทียบกับสลิปเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.3 และ 1.4 เมื่อใช้ระยะเวลาในการชุบเท่ากันจึงเกิดชันเอนโกบที่มีความหนามากกว่า



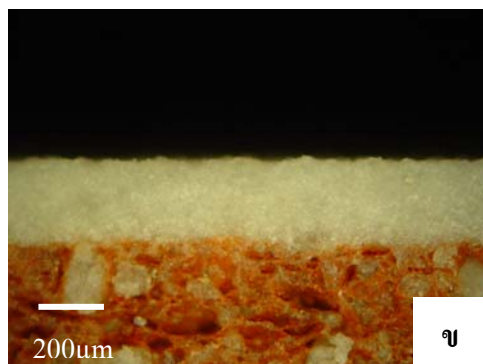
ภาพที่ 4.21 แสดงความหนาของชั้นเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.3 บนเนื้อดินปิสกิต
หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C



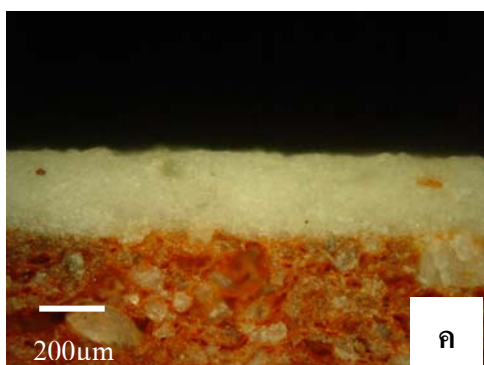
ภาพที่ 4.22 แสดงความหนาของชั้นเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.4 บนเนื้อดินบิสกิต
หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C



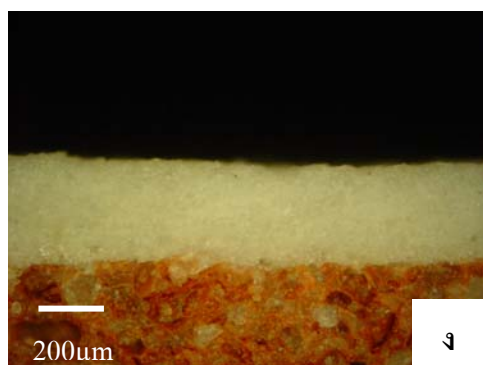
ก. ชุบเอน โกบ 2 วินาที



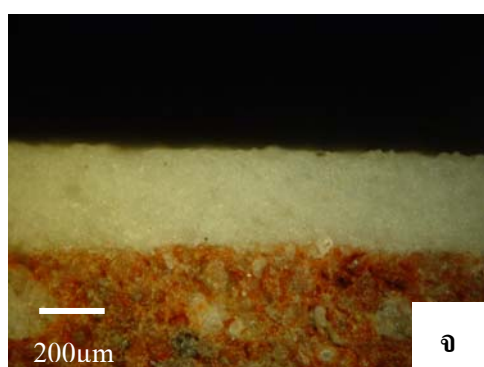
ข. ชุบเอน โกบ 4 วินาที



ค. ชุบเอน โกบ 6 วินาที

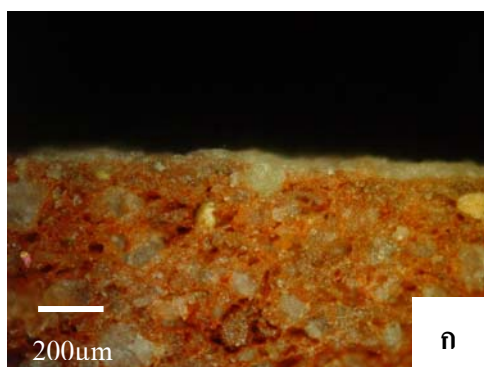


ง. ชุบเอน โกบ 8 วินาที

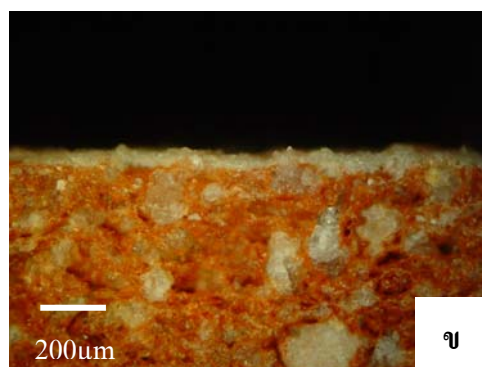


จ. ชุบเอน โกบ 10 วินาที

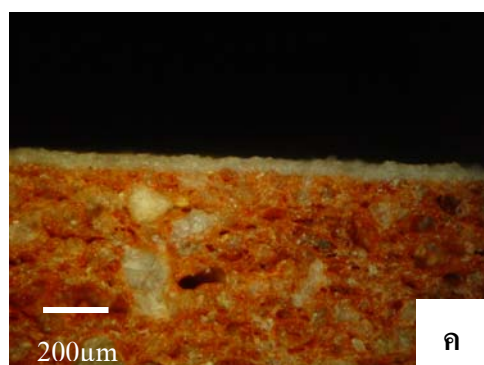
ภาพที่ 4.23 แสดงความหนาของชั้นเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.5 บนเนื้อดินบิสกิต
หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C



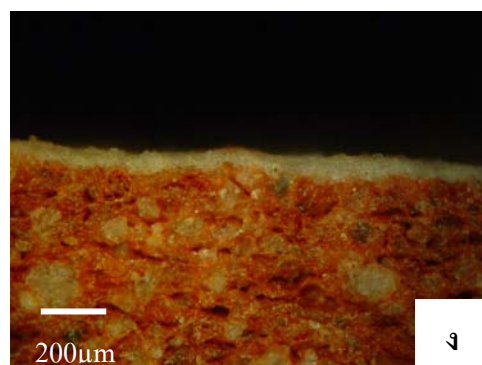
ก. ชุบเอนโกบ 2 วินาที



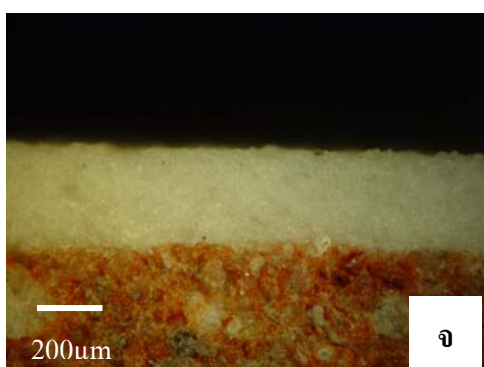
ข. ชุบเอนโกบ 4 วินาที



ค. ชุบเอนโกบ 6 วินาที

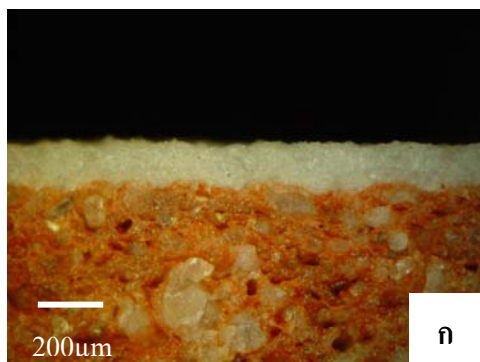


ง. ชุบเอนโกบ 8 วินาที

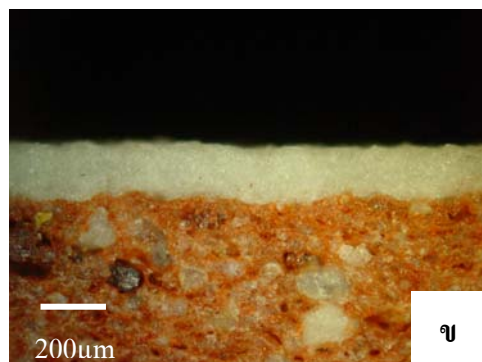


จ. ชุบเอนโกบ 10 วินาที

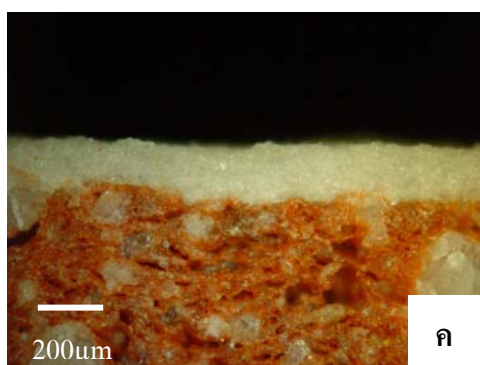
ภาพที่ 4.24 แสดงความหนาของชั้นเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.3 บนเนื้อดินอบแห้ง
หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C



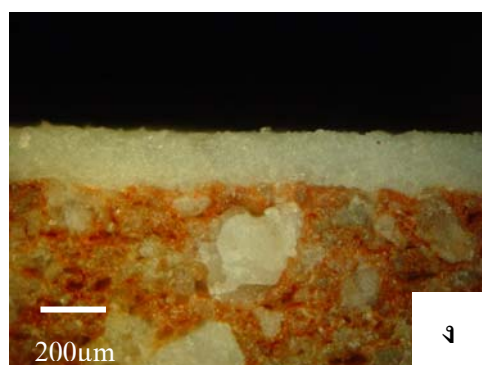
ก. ชุบเอนโกบ 2 วินาที



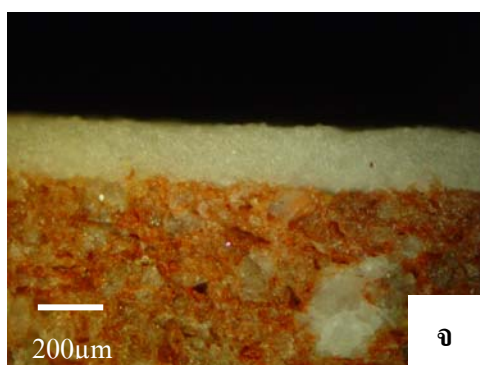
ข. ชุบเอนโกบ 4 วินาที



ค. ชุบเอนโกบ 6 วินาที

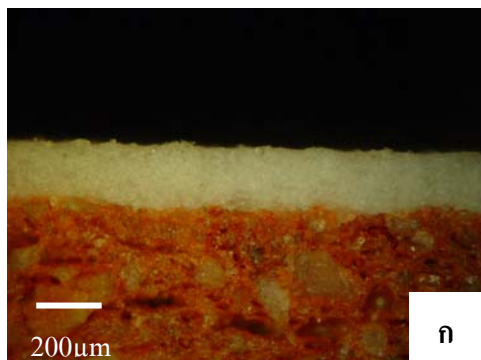


ง. ชุบเอนโกบ 8 วินาที

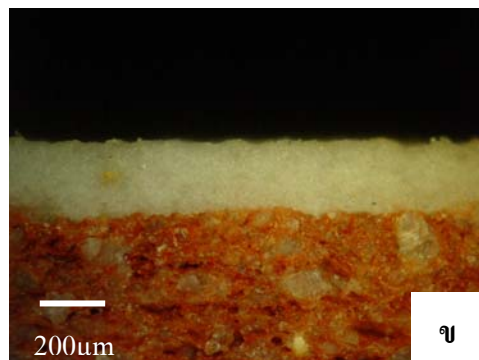


จ. ชุบเอนโกบ 10 วินาที

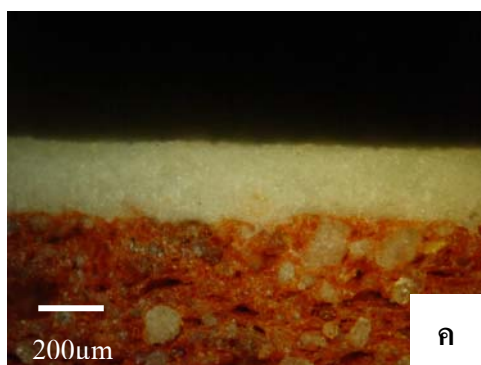
ภาพที่ 4.25 แสดงความหนาของชั้นเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.4 บนเนื้อดินอบแห้ง
หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C



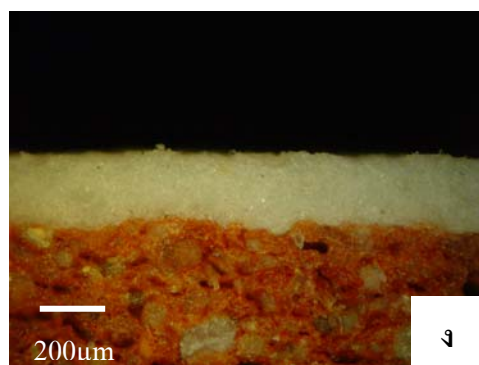
ก. ชุบเอนโกบ 2 วินาที



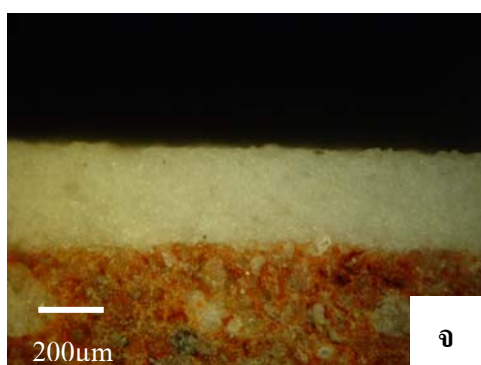
ข. ชุบเอนโกบ 4 วินาที



ค. ชุบเอนโกบ 6 วินาที

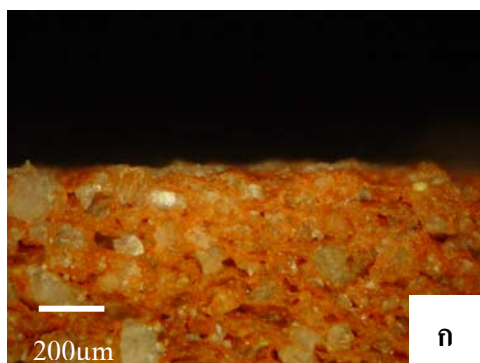


ง. ชุบเอนโกบ 8 วินาที

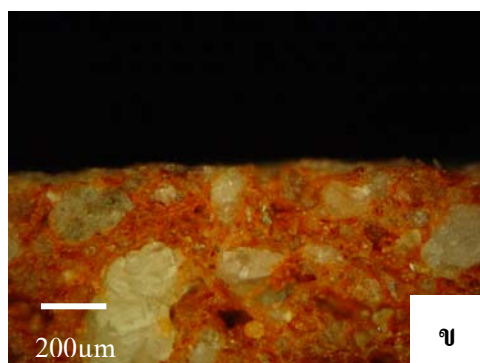


จ. ชุบเอนโกบ 10 วินาที

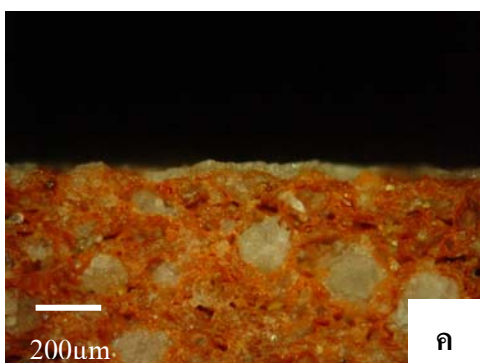
ภาพที่ 4.26 แสดงความหนาของชั้นเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.5 บนเนื้อดินอบแห้ง
หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C



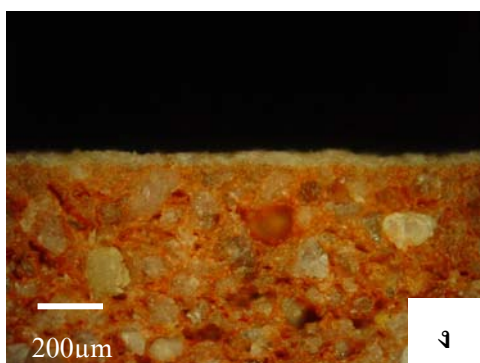
ก. ซุบเอนโคบ 2 วินาที



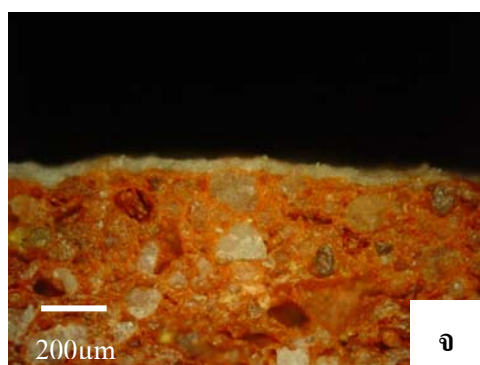
ข. ซุบเอนโคบ 4 วินาที



ค. ซุบเอนโคบ 6 วินาที

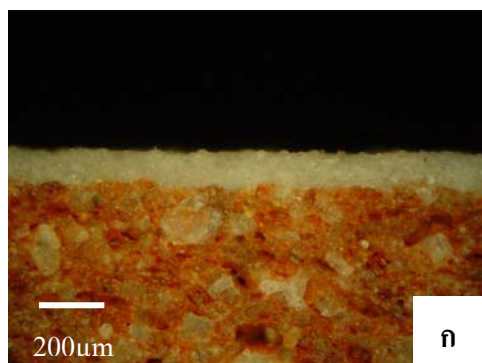


ง. ซุบเอนโคบ 8 วินาที

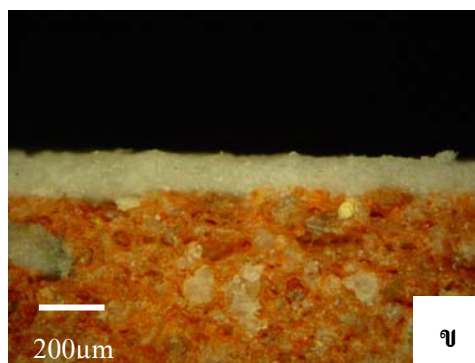


จ. ซุบเอนโคบ 10 วินาที

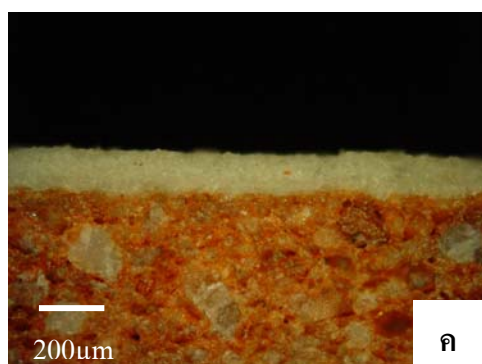
ภาพที่ 4.27 แสดงความหนาของชั้นเอนโคบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.3 บนเนื้อดินชั้น
หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C



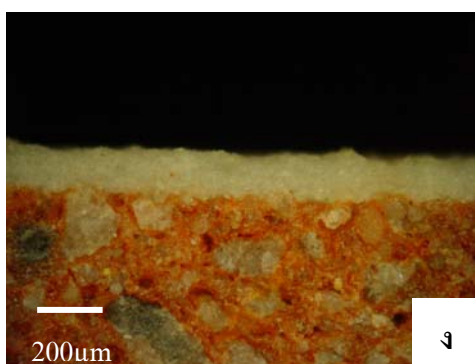
ก. ชุบเอนโกบ 2 วินาที



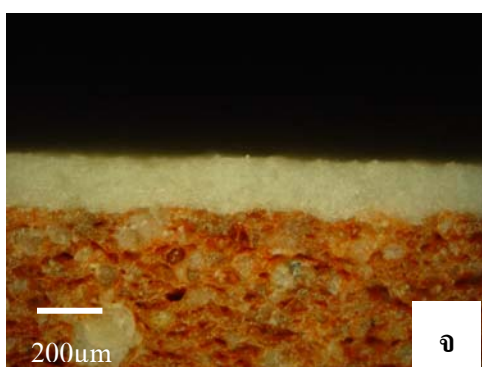
ข. ชุบเอนโกบ 4 วินาที



ค. ชุบเอนโกบ 6 วินาที

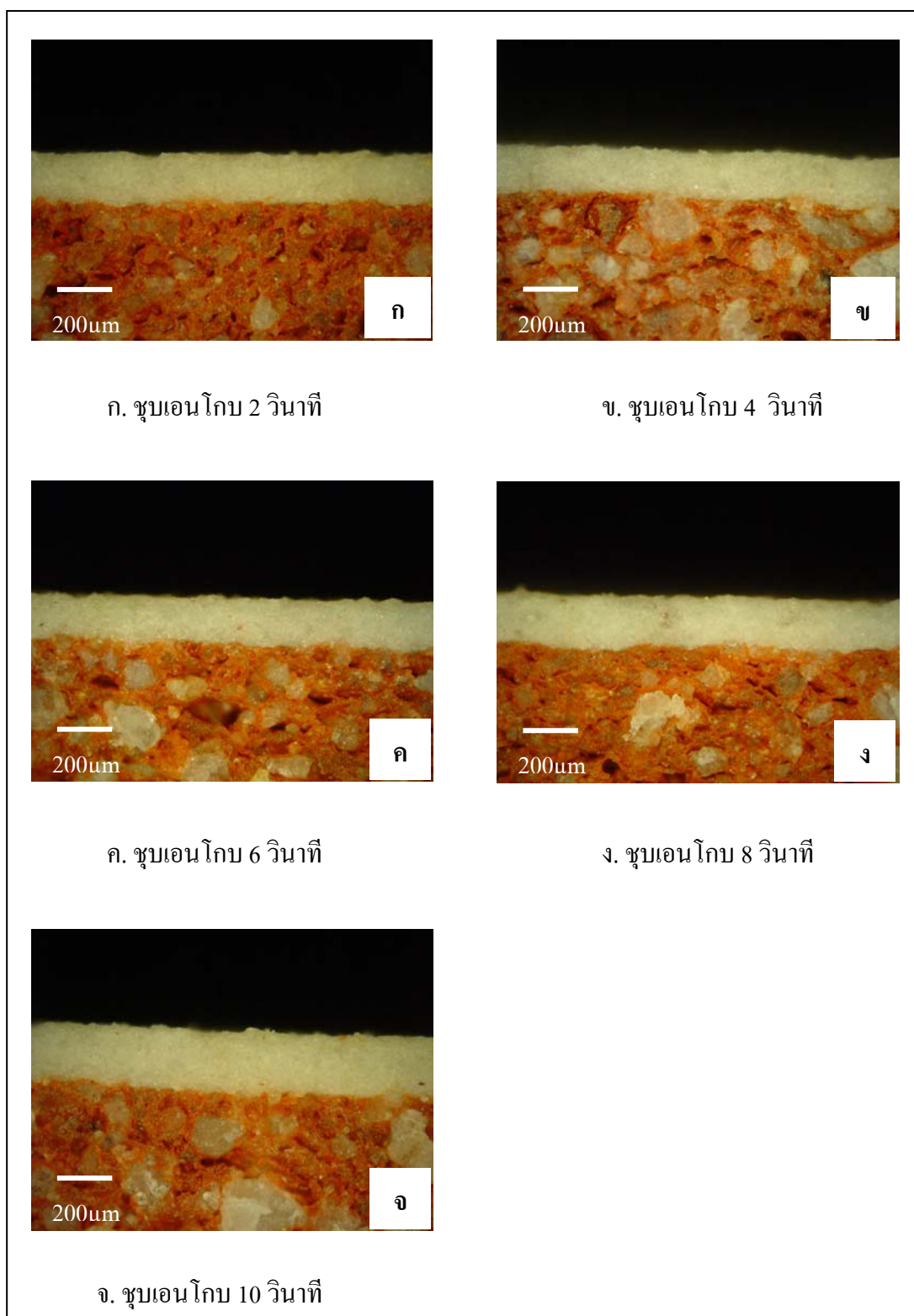


ง. ชุบเอนโกบ 8 วินาที



จ. ชุบเอนโกบ 10 วินาที

ภาพที่ 4.28 แสดงความหนาของชั้นเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.4 บนเนื้อดินชั้น
หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C



ภาพที่ 4.29 แสดงความหนาของชั้นเอนโกบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.5 บนเนื้อดินชั้น
หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C

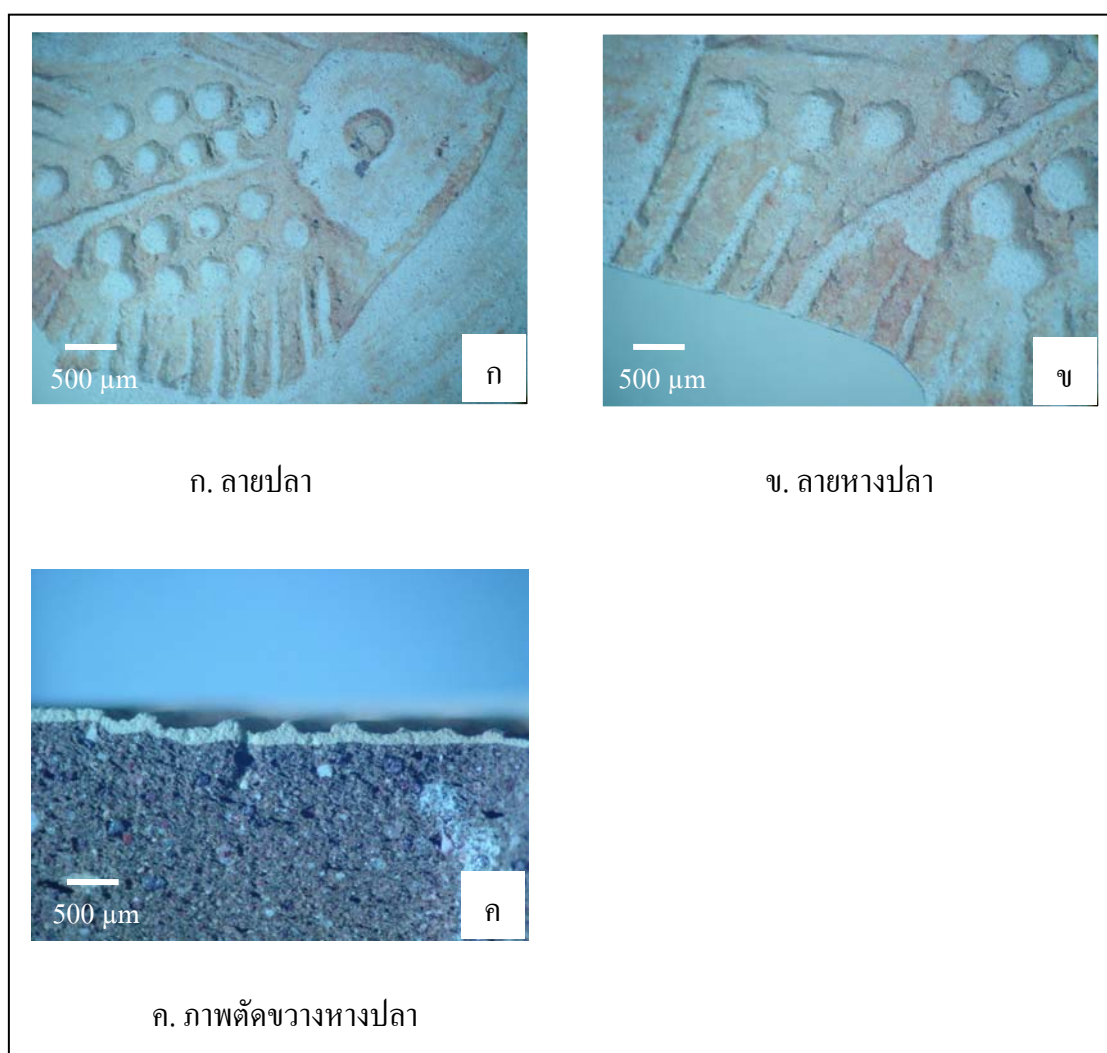
4.5.4 การเลือกวิธีชุบเอนโกบและการเผา

เนื่องจากต้องการเลียนแบบผลิตภัณฑ์โบราณที่มีการกดประทับในขณะที่เนื้อดินยังมีความชื้นอยู่ ดังนั้น สันนิษฐานว่าผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบโบราณที่ได้มีการขุดค้นพบในแหล่งเตาเวียงบัว ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา บนผลิตภัณฑ์มีการตกแต่งด้วยการขีดเขียน ลวดลายผสมผสานกับการใช้ตราประทับหลังจากการเอนโกบ ลวดลายที่พบจึงมีความคมชัดมาก การตกแต่งในลักษณะนี้สามารถทำได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการกดประทับบนเนื้อดินขึ้นหรือบนเนื้อดินที่อบแห้ง หรือบนเนื้อดินที่ผ่านการเผาบางส่วน ดังนั้น ผู้ทดลองจึงต้องการศึกษาและจำลองวิธีการตกแต่งลวดลายจากตัวอย่างผลิตภัณฑ์โบราณ ดังภาพที่ 4.30



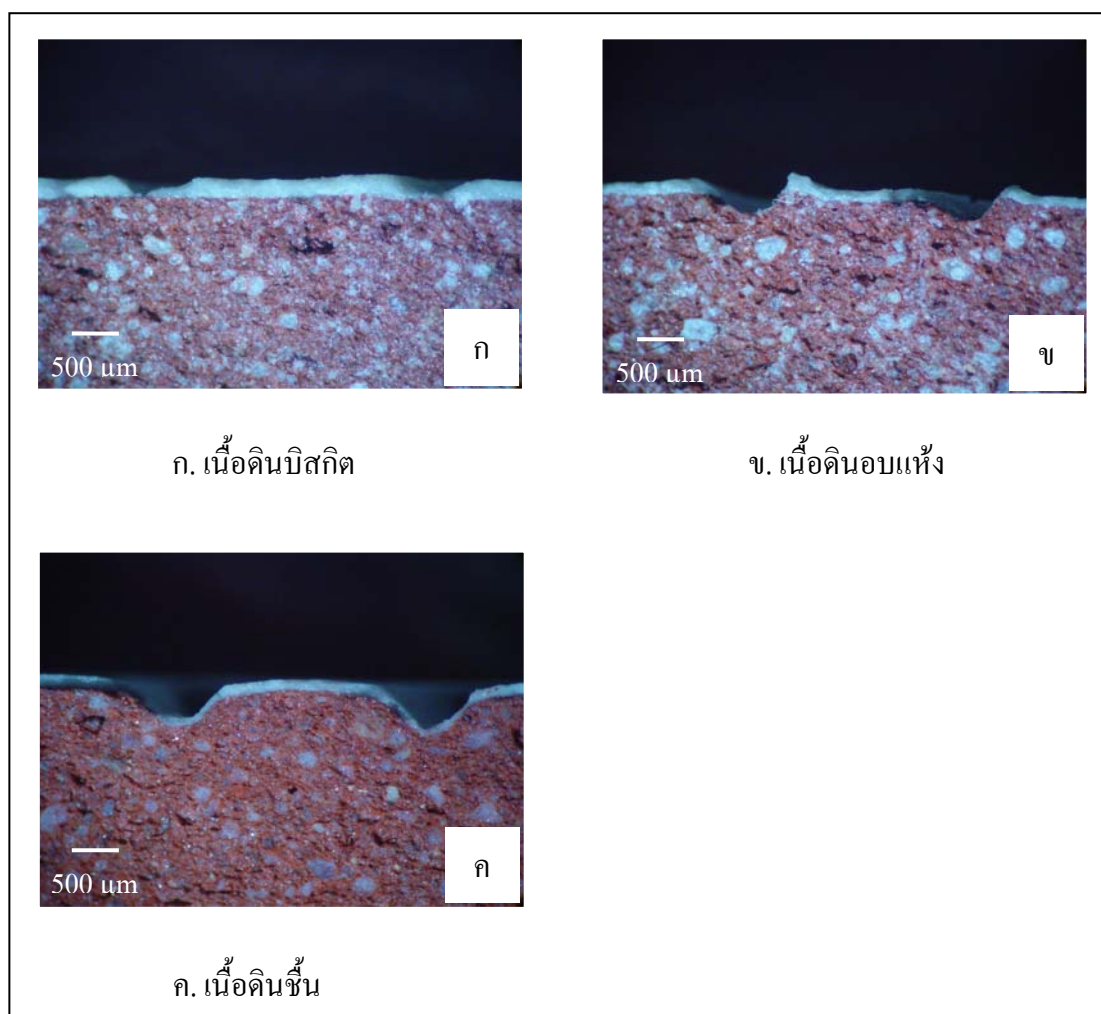
ภาพที่ 4.30 ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์โบราณที่มีการเอนโกบและตกแต่งลวดลายด้วยวิธีการกดประทับ

จากภาพที่ 4.30 ลวดลายที่ปรากฏอยู่บนเศษชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์โบราณค่อนข้างมีความคมชัด ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ดีในการอ้างอิงและเปรียบเทียบกับวิธีการตกแต่งที่จะทำการทดลองขึ้นใหม่ โดยศึกษาจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์เชิงแสง (light microscope) เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาเวียงบัวที่ยังคงไว้ซึ่งรูปแบบดั้งเดิม เมื่อตรวจสอบภาพถ่ายจากผิวและภาพถ่ายของผลิตภัณฑ์โบราณด้วยกล้องจุลทรรศน์เชิงแสง พบว่ามีลักษณะของการกดประทับหลังการเอนโกบ ดังภาพที่ 4.31



ภาพที่ 4.31 ภาพถ่ายผลิตภัณฑ์โบราณที่มีลวดลายการกดประทับโดยใช้กล้องจุลทรรศน์เชิงแสง

จากภาพที่ 4.31 พบว่าลวดลายที่เกิดจากรอยกดประทับบนผลิตภัณฑ์โบราณมีความคมชัดมาก ไม่มีตำหนิการแตกหรือหลุดร่อนระหว่างรอยต่อของลายและรอยต่อของชั้นเอนโกกับเนื้อดิน เพื่อเป็นการพิสูจน์จึงทำการจำลองวิธีการตกแต่งแบบโบราณด้วยวิธีการกดประทับบนเนื้อดินที่ผ่านการเผา บิสกิต ดินที่อบแห้ง และดินขึ้น ดังภาพที่ 4.32



ภาพที่ 4.32 ภาพถ่ายผลิตภัณฑ์เลียนแบบวิธีกดประทับจากผลิตภัณฑ์โบราณโดยใช้กล้องจุลทรรศน์เชิงแสง

จากภาพที่ 4.32 การตกแต่งด้วยวิธีกดประทับบนเนื้อดินทั้ง 3 ลักษณะ มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อทำการถ่ายภาพด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์เชิงแสง พบว่า การกดประทับลายบนเนื้อดินบิสกิตและเนื้อดินที่อบแห้งจะไม่เกิดลวดลายที่คมชัดและมีผลให้เอนโกบเกิดตำหนิหลุดร่อน เมื่อเทียบกับผลของการกดประทับลายบนเนื้อดินชื้นที่ให้ลวดลายคมชัดมากและไม่ทำให้เอนโกบเกิดตำหนิหลุดร่อน

การกดประทับลายหลังการเอนโกบบนเนื้อดินที่ถูกเผาแล้วและบนเนื้อดินที่แห้งสนิท จะมีผลให้ลวดลายที่เกิดขึ้นไม่มีความคมชัด เนื่องจากลักษณะของเนื้อดินค่อนข้างแข็ง ดังนั้น ในการกดประทับลายจึงเป็นไปได้ค่อนข้างยากกว่าเนื้อดินที่มีความชื้น เมื่อทำการกดประทับบนเนื้อดินชื้นจะมีผล

ให้เกิดผลลบลายที่คมชัดกว่าเนื้อดินที่ผ่านการเผาปัสกิตและเนื้อดินที่อบแห้ง ซึ่งเป็นไปได้ว่าเนื้อดินชั้นมีความเหนียวที่เหมาะสมในการรองรับแรงกดที่เกิดขึ้นระหว่างทำการกดประทับ ทำให้เนื้อดินถูกผลักไปตามแรงกดได้ง่ายจึงให้ลวดลายคมชัดมาก ดังนั้น การตกแต่งลวดลายด้วยวิธีกดประทับจึงควรทำในขณะที่เนื้อดินยังมีความชื้นอยู่ เนื่องจากเป็นวิธีการเดียวที่ให้ผลิตภัณฑ์คล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์โบราณมากที่สุด

4.6 การทดลองเคลือบ

4.6.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยเทคนิค X-ray fluorescence (XRF)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณธาตุของแก้วไม้ลำไย ในรูปของออกไซด์ ในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแก้วไม้ลำไย

ตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂
แก้วไม้ลำไย	7.25	3.60	11.62	63.17	4.78	0.70	1.48	6.98	0.40

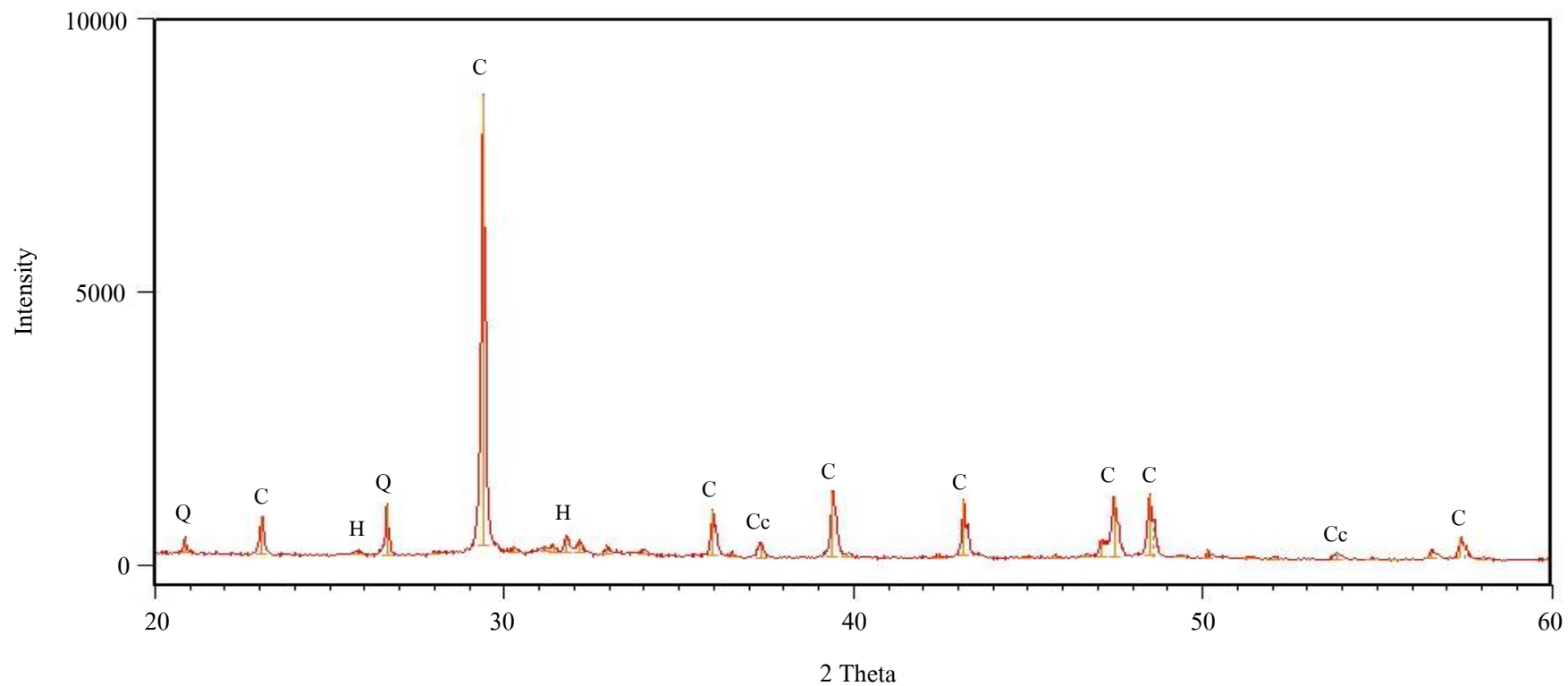
จากตารางที่ 4.15 พบว่า แก้วไม้มีออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบ 9 ชนิด คือ ซิลิกอน อลูมิเนียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส เหล็ก และไทเทเนียม

พบว่า ในตัวอย่างมีปริมาณออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ แคลเซียมออกไซด์ ส่วนองค์ประกอบอื่น ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ โพแทสเซียมออกไซด์ ซิลิกา ฟอสฟอรัส แมกนีเซียมออกไซด์ อลูมินา เฟอร์ริกออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งปริมาณของออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบมีผลต่อคุณสมบัติบางประการของเคลือบ เช่น การหลอมตัวของเคลือบ แคลเซียมออกไซด์ โพแทสเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ จัดอยู่กลุ่มวัตถุดิบที่เป็นตัวช่วยหลอม ทำให้เคลือบเกิดการหลอมตัวเร็ว เฟอร์ริกออกไซด์และไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวให้สีเมื่อรวมกับวัตถุดิบชนิดอื่น เช่น ดินที่มีปริมาณของตัวให้สีชนิดดังกล่าวมากเพียงพอและเผาในบรรยากาศที่เหมาะสมจึงน่าจะได้เคลือบที่มีสีเขียว ส่วนซัลเฟอร์ไดรอกไซด์และฟอสฟอรัสน่าจะมาจากปุ๋ยเคมีที่

ชาวไร่ใช้บำรุงต้นไม้ลำไย เนื่องจากผลการทดลองในขั้นตอนนี้ยังไม่สามารถระบุได้ว่าในถ้ำไม้ลำไย มีแร่ชนิดใดเป็นองค์ประกอบ ดังนั้น จึงศึกษาองค์ประกอบทางแร่ร่วมด้วย

4.6.2 องค์ประกอบทางแร่โดยเทคนิค X-ray diffraction (XRD)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction :XRD) พบว่าแร่ที่เป็นองค์ประกอบในถ้ำไม้ลำไย ประกอบด้วยแคลไซต์ ควอตซ์ ไฮดรอกซิลอะพาไทต์ และแคลเซียม ซึ่งพีคของแคลไซต์พบสูงกว่าแร่ชนิดอื่นและเป็นตัวช่วยหลอมที่ดีให้กับเคลือบได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 1168°C (ปริดา พิมพ์ขาวขำ, 2539) ส่วนควอตซ์เป็นตัวช่วยเพิ่มความแข็งแรงและลดการไหลตัวได้ ผลการวิเคราะห์ แสดงดังภาพที่ 4.33



ภาพที่ 4.33 พีคของแร่ที่เป็นองค์ประกอบของแก้วไม์ล่าโยซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

C = Calcite Q = Quartz H = Hydroxylapatite Cc = Calcia

4.6.3 การผสมเคลือบ

ผลการบดผสมเคลือบเข้าจากการบดผสมทั้ง 5 สูตรตัวอย่าง ในหม้อบด (Ball mill) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปรับค่าความถี่เฉพาะให้เท่ากับ 1.4 ทั้ง 5 สูตร ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงร้อยละของน้ำโดยน้ำหนักในส่วนผสมเคลือบแต่ละสูตร

ตัวอย่าง	ปริมาณวัตถุดิบ (กรัม)			ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
	เถ้าไม้อัลไม	ดิน RC	รวม	
สูตร 1	80	20	100	80
สูตร 2	60	40	100	90
สูตร 3	50	50	100	80
สูตร 4	40	60	100	86
สูตร 5	20	80	100	86

จากตารางที่ 4.16 การบดผสมเคลือบในแต่ละสูตรตัวอย่างได้ค่าความถี่เฉพาะเท่ากับ 1.4 แต่ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมในแต่ละสูตรจะไม่เท่ากัน เนื่องจาก ในแต่ละสูตรตัวอย่างมีปริมาณของวัตถุดิบต่างกัน

4.6.4 การชุบเคลือบ

ผลการทดลองการชุบเคลือบโดยนำชิ้นทดสอบที่เอนโกบแล้วเผาบิสกิตกับไม่เผาบิสกิต แล้วนำมาชุบเคลือบ เพื่อให้ทราบว่าจะสามารถเผาได้ในแบบครั้งเดียวหรือต้องเผาบิสกิตก่อนการเคลือบ เมื่อนำชิ้นทดสอบที่เอนโกบแล้วเผาบิสกิตกับไม่เผาบิสกิตชุบเคลือบแล้วทิ้งให้แห้ง ดูด้วยตาเปล่า พบว่าเคลือบบนชิ้นทดสอบไม่เกิดการหลุดร่อนเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำชิ้นทดสอบไปเผาที่อุณหภูมิ 1230°C บรรยากาศออกซิเดชัน แสดงดัง ภาพที่ 4.34

\



สูตร 1



สูตร 2



สูตร 3



สูตร 4



สูตร 5

ภาพที่ 4.34 ชั้นทดสอบที่เอนโกบแล้วไม่เผาบิสกิตกับเผาบิสกิต หลังการชุบเคลือบ
ในแต่ละสูตรตัวอย่าง

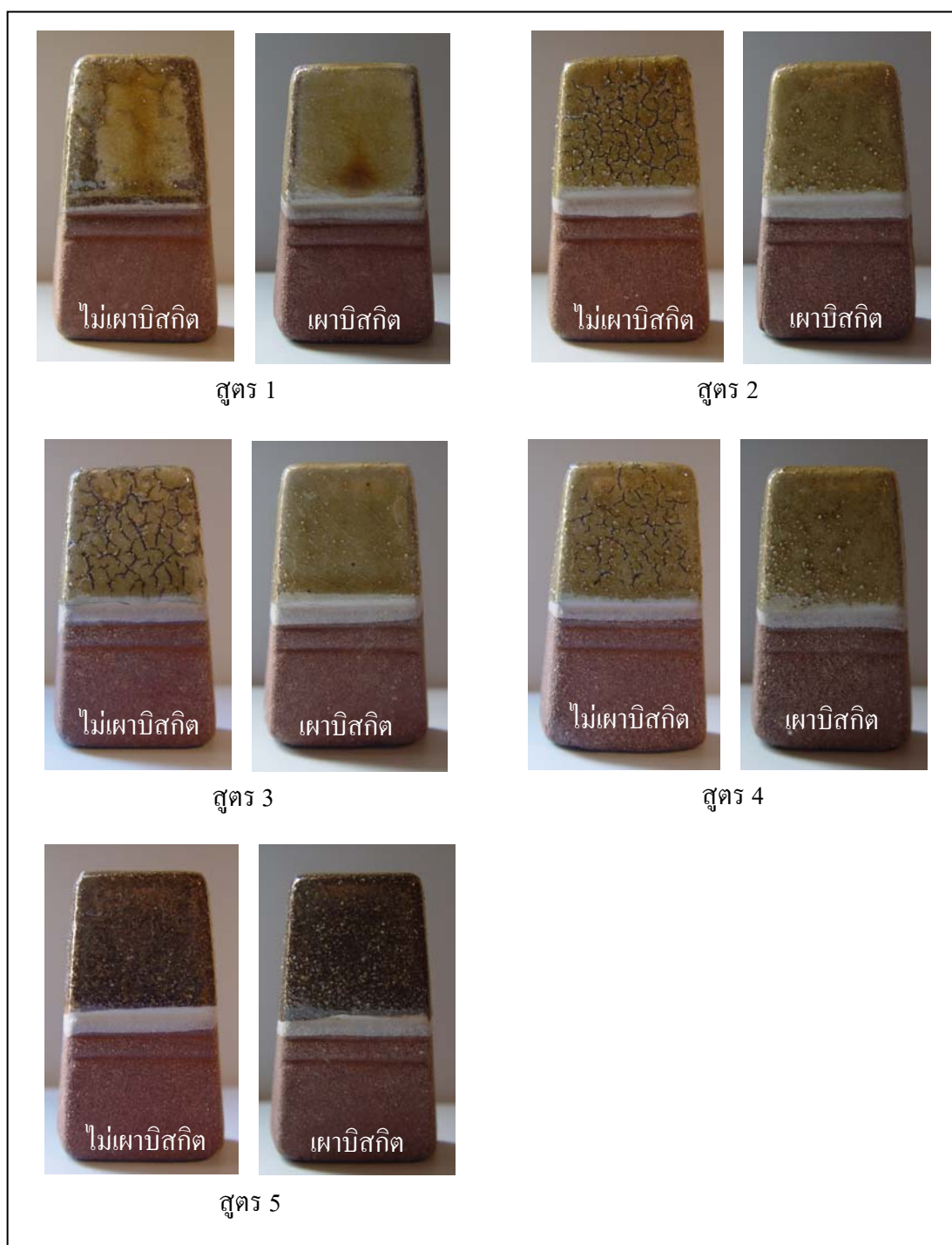
4.6.5 การเผาเคลือบภายใต้บรรยากาศออกซิเดชัน

การหลอมตัวของเคลือบ และลักษณะที่ปรากฏบนชิ้นทดสอบที่เอนโกบแล้วไม่เผาบิสกิตกับเผาบิสกิต หลังการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1230°C แสดงดัง ตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ลักษณะเคลือบบนเนื้อดินที่เอนโกบแล้วไม่เผาบิสกิต หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C
บรรยากาศออกซิเดชัน

ชิ้นทดสอบ	สูตร	สี	ลักษณะของเคลือบ				ตำหนิ	
			ใส	มัน	ด้าน	ราน	รูเข็ม	ขรุขระ
ไม่เผา บิสกิต	1	เขียวจี้ม้	✓	-	✓	✓	-	✓
	2	เขียวจี้ม้	✓	✓	-	✓	-	✓
	3	เขียวจี้ม้	✓	✓	-	✓	-	✓
	4	เขียวจี้ม้	✓	-	✓	✓	-	✓
	5	น้ำตาล	-	-	✓	-	-	✓
เผาบิสกิต	1	เขียวจี้ม้	✓	-	✓	✓	-	✓
	2	เขียวจี้ม้	✓	✓	-	✓	-	✓
	3	เขียวจี้ม้	✓	✓	-	✓	-	✓
	4	เขียวจี้ม้	✓	-	✓	✓	-	✓
	5	น้ำตาล	-	-	✓	-	-	✓

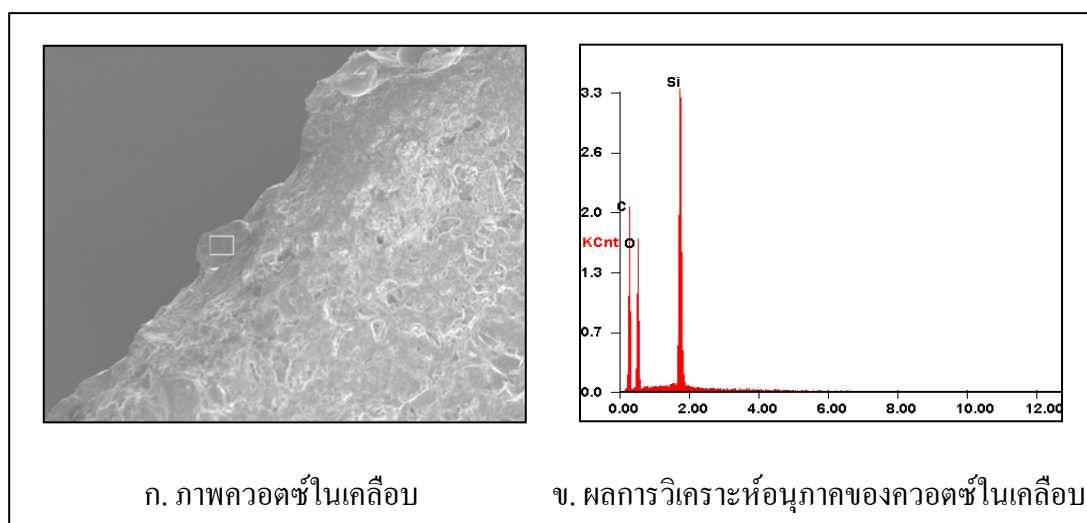
จากตารางที่ 4.17 เนื้อดินที่มีการเอนโกบแล้วไม่เผาบิสกิต หลังการเผาเคลือบ พบว่า มีรอยแตกของชั้นเอนโกบกระจายอยู่ทั่วบริเวณผิวตัวอย่าง แต่ไม่ทำให้เคลือบหลุดร่อน การเกิดตำหนิลักษณะนี้จะมีสาเหตุจากฟองอากาศในเนื้อดิน หรือ เกิดจากฝุ่นละอองที่เกาะติดบนผิวเนื้อดินแล้วดันตัวออกมาในระหว่างการเผา หรือ การขยายตัวของเนื้อดินกับเอนโกบไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นไปได้ว่าเนื้อดินปั้นของชิ้นทดสอบที่ไม่เผาบิสกิต ยังมีน้ำในโครงสร้างเหลืออยู่ ดังนั้น เมื่อนำมาเผาครั้งเดียวจนถึงอุณหภูมิที่เคลือบหลอม จึงทำให้เนื้อดินปั้นหดตัวมากกว่าเอนโกบ รวมทั้ง เอนโกบมีวัตถุติดที่ให้ความเหนียวผสมอยู่ในปริมาณน้อยจึงมีการหดตัวน้อยกว่าเนื้อดินปั้นเมื่อเย็นตัวลงจึงเกิดรอยแตกขึ้น ส่วนชิ้นทดสอบที่มีการเอนโกบแล้วเผาบิสกิตไม่พบตำหนิรอยแตก ดังนั้น การเตรียมชิ้นทดสอบที่เอนโกบแล้วเผาบิสกิตก่อนนำมาชุบเคลือบ จึงน่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสม เมื่อตรวจสอบพื้นผิวชิ้นทดสอบด้วยตาเปล่า พบตำหนิที่เกิดขึ้น คือ ตำหนิผิวขรุขระ ซึ่งมีลักษณะดัง ภาพที่ 4.35



ภาพที่ 4.35 ชิ้นทดสอบที่เอนโกบแล้วไม่เผาบิสกิตกับเผาบิสกิต หลังการเผาเคลือบ
อุณหภูมิ 1230°C บรรยากาศออกซิเดชัน

จากภาพที่ 4.35 เคลือบที่ได้ทำการบดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อทำการชุบเคลือบและเผาที่
อุณหภูมิ 1230°C พบว่ามีตำหนิเกิดเป็นรอยขรุขระบนผิวตัวอย่างจนมองเห็นได้ชัดด้วยตาเปล่า เมื่อ

ศึกษาจากภาพตัดขวาง (Cross section) พบว่าลักษณะของตำหนิเกิดเฉพาะในชั้นเคลือบ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX (Energy dispersive X-ray spectroscopy) ดังภาพที่ 4.36 พบว่ามีปริมาณของ Si สูง ซึ่งน่าจะเป็นควอตซ์ที่อยู่ในเนื้อดิน เนื่องจากสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ซึ่งแร่ที่พบในตัวอย่างดิน RC พบพิคของควอตซ์สูง ดังนั้น เมื่อนำดิน RC มาผสมในเคลือบก็就会有ควอตซ์ปะปนอยู่ในปริมาณสูงเช่นเดียวกัน ซึ่งสาเหตุดังกล่าวน่าจะมาจากขนาดของวัตถุดิบที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ เนื่องจากการเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองถูกกรองผ่านตะแกรง 35 เมช ซึ่งวัตถุดิบที่ผ่านน่าจะมีขนาดอนุภาคประมาณ 0.1-500 ไมโครเมตร ประกอบกับควอตซ์มีขนาดอนุภาคใหญ่จึงมีการหลอมตัวได้ไม่สมบูรณ์จึงเกิดเป็นตำหนิผิวขรุขระขึ้นบริเวณผิวเคลือบ



ภาพที่ 4.36 ตำหนิผิวขรุขระในเคลือบและกราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX

ตำหนิที่พบบนชิ้นทดสอบ น่าจะเกิดจากวัตถุดิบที่นำมาใช้มีขนาดอนุภาคหยาบ จึงต้องการลดขนาดอนุภาคของวัตถุดิบลงด้วยการเพิ่มเวลาบดผสมให้นานขึ้น ดังนั้น ผู้ทดลองจึงศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการบดผสมเคลือบเป็น 4 และ 8 ชั่วโมง

เมื่อเพิ่มเวลาในการบดให้นานขึ้นและนำชิ้นทดสอบมาชุบเคลือบ หลังการเผาเคลือบ พบว่าชิ้นทดสอบส่วนใหญ่มีการหลอมตัวดีแต่ยังมีตำหนิที่เกิดจากควอตซ์ปะปนอยู่ทุกสูตรตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4.18 และภาพที่ 4.37 ถึงภาพที่ 4.40 เมื่อวัดขนาดอนุภาคของควอตซ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์เชิงแสง พบว่า ควอตซ์มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยประมาณ 150–200 ไมโครเมตร ผู้ทดลองจึงใช้ตะแกรงขนาด 100 เมช มากรองเคลือบเนื่องจากตะแกรงขนาด 100 เมช สามารถกรองอนุภาคที่เล็กกว่า 150

ไมโครเมตร เมื่อกรองเคลือบแล้วชั่งน้ำหนักกากข้างตะแกรงจากนั้นชุบเคลือบ และเผาที่อุณหภูมิ 1230°C ลักษณะเคลือบหลังการเผาแสดงดังตารางที่ 4.19 และภาพที่ 4.41 ถึงภาพที่ 4.

ตารางที่ 4.18 ลักษณะเคลือบหลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C ที่บดในเวลาต่างๆ โดยไม่กรองเคลือบ

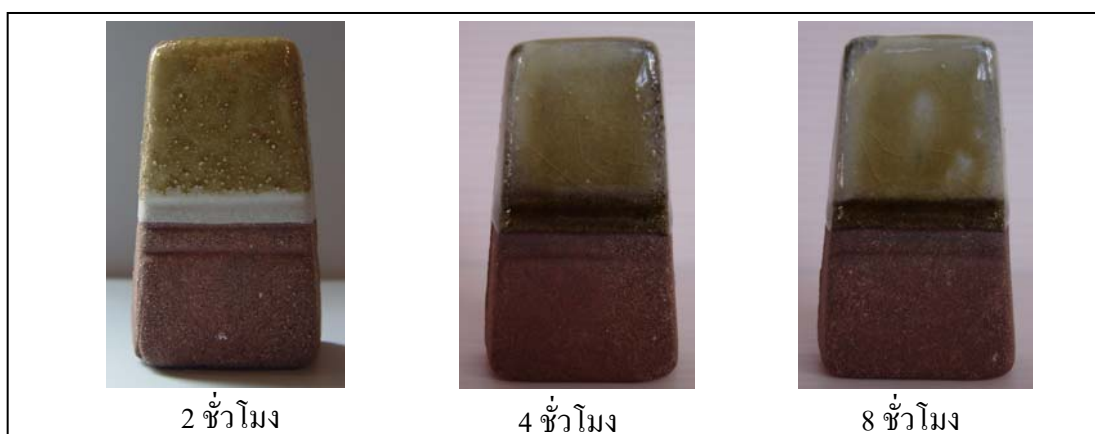
เวลา (ชั่วโมง)	สูตร	สี	ลักษณะของเคลือบ					ตำหนิ	
			ใส	มัน	ด้าน	ราน	ไหล	รูเข็ม	ขรุขระ
2	1	เขียวจี้ม้า	✓	-	✓	✓	✓	-	✓
	2	เขียวเข้ม	✓	-	-	✓	-	-	✓
	3	เขียวจี้ม้า	✓	-	-	✓	✓	-	✓
	4	เขียวจี้ม้า	✓	-	-	✓	-	-	✓
	5	น้ำตาล	-	✓	-	-	-	-	✓
4	1	เขียวจี้ม้า	✓	-	-	✓	-	-	✓
	2	เขียวจี้ม้า	✓	-	-	✓	-	-	✓
	3	เขียวจี้ม้า	✓	-	-	✓	-	-	✓
	4	เขียวจี้ม้า	✓	-	-	-	-	-	✓
	5	น้ำตาล	-	✓	-	-	-	-	✓
8	1	เขียวจี้ม้า	✓	-	-	✓	-	✓	-
	2	เขียวจี้ม้า	✓	-	-	✓	-	✓	-
	3	เขียวจี้ม้า	✓	-	-	✓	-	✓	-
	4	เขียวจี้ม้า	✓	-	-	-	-	-	✓
	5	น้ำตาล	-	✓	-	-	-	-	✓

จากตารางที่ 4.18 ผลการเพิ่มเวลาในการบดผสมเคลือบเพื่อลดขนาดอนุภาค พบว่า เมื่อใช้เวลาดบผสมให้นานขึ้น หลังการเผาเคลือบ พบลักษณะของเคลือบที่ปรากฏบนผิวชิ้นทดสอบแตกต่างกันไปตามแต่ละสูตรตัวอย่าง ซึ่งน่าจะมีสาเหตุจากปริมาณของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน ส่วนใหญ่ค่อนข้างหลอมตัวได้สมบูรณ์ ให้สีเขียวจี้ม้า และสีน้ำตาล รานตัว และไหลตัวเล็กน้อย แต่ยังพบตำหนิจากควอตซ์ในบางชิ้นทดสอบ ได้แก่ ชิ้นทดสอบเคลือบที่บดเป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง สูตรที่ 1-5

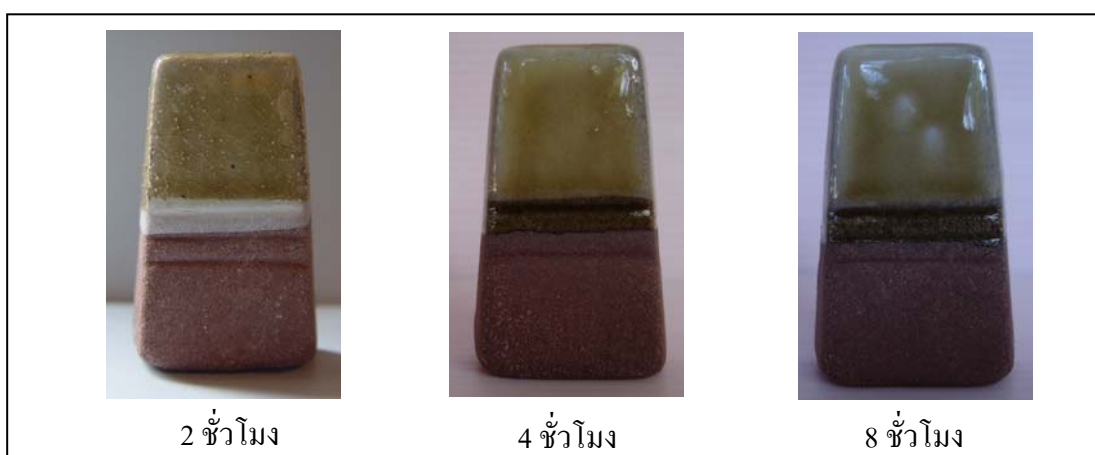
สูตร 1 2 3 และ 4 เป็นเคลือบสีสีเขียวจี้ม้า แต่หลอมตัวไม่สมบูรณ์คล้ายเคลือบด้าน มีการรานตัวและไหลตัวเล็กน้อย ตำหนิที่พบ คือ ผิวขรุขระที่เกิดจากควอตซ์



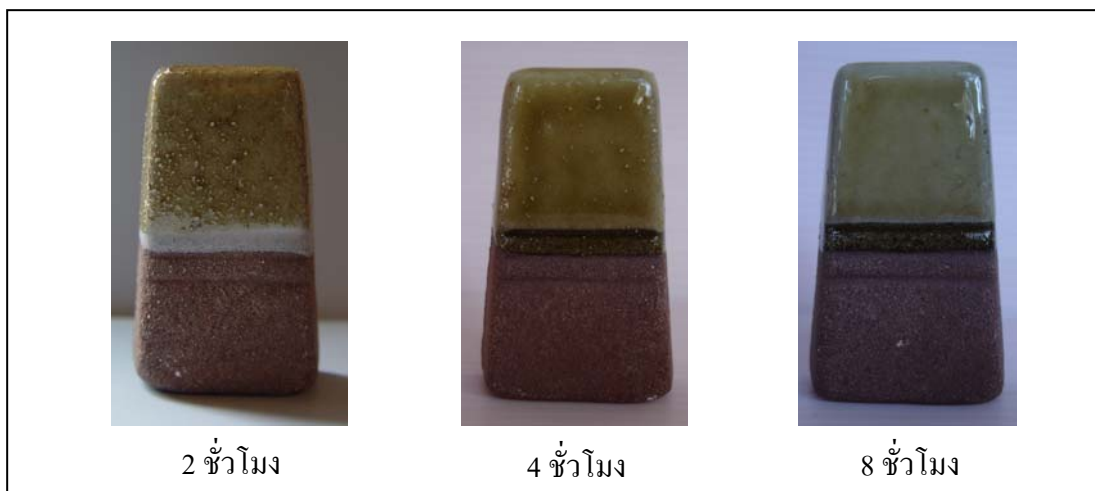
ภาพที่ 4.37 ชั้นทดสอบเคลือบสูตร 1 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง เเผาที่อุณหภูมิ 1230°C



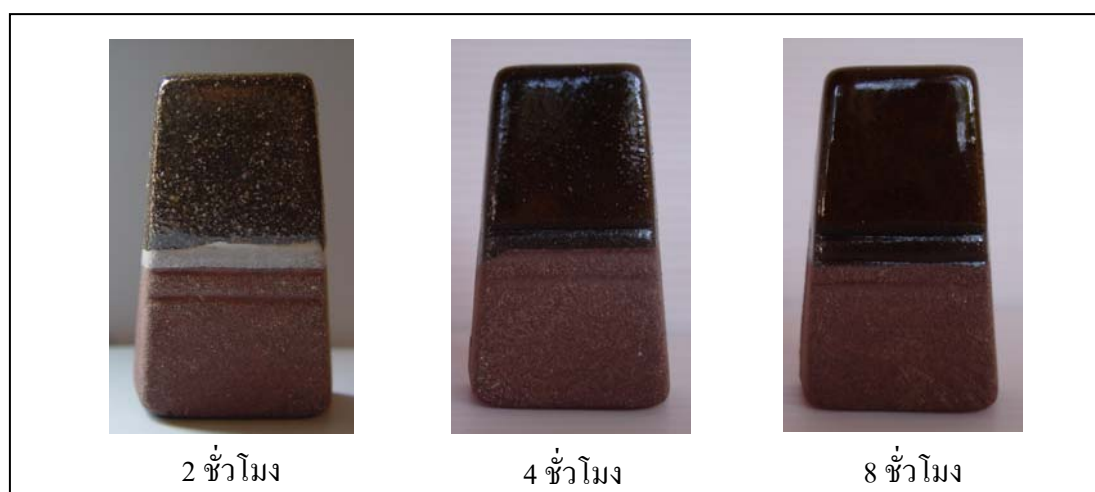
ภาพที่ 4.38 ชั้นทดสอบเคลือบสูตร 2 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง เเผาที่อุณหภูมิ 1230°C



ภาพที่ 4.39 ชั้นทดสอบเคลือบสูตร 3 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง เเผาที่อุณหภูมิ 1230°C



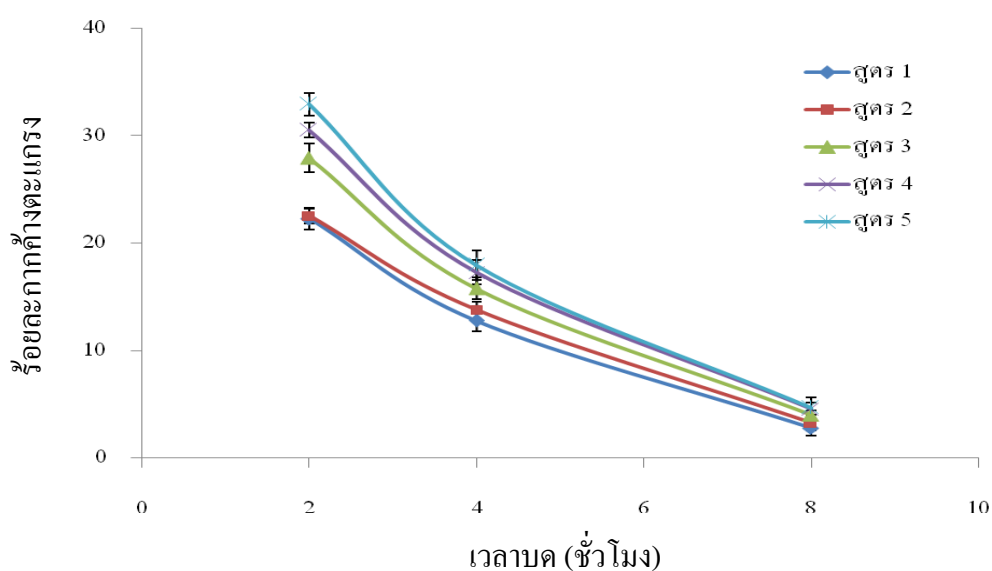
ภาพที่ 4.40 ชิ้นทดสอบเคลือบสูตร 4 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมงเผาที่อุณหภูมิ 1230°C



ภาพที่ 4.41 ชิ้นทดสอบเคลือบสูตร 5 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมงเผาที่อุณหภูมิ 1230°C

ตารางที่ 4.19 แสดงร้อยละการค้ำตะแกรงของเคลือบที่กรองหลังการบด ณ เวลาต่างๆ

เวลาบด	การค้ำตะแกรง				
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5
2 ชั่วโมง	22.28 ± 1.02	22.54 ± 0.70	27.91 ± 1.34	30.51 ± 0.69	32.93 ± 1.03
4 ชั่วโมง	12.80 ± 1.00	13.79 ± 0.74	15.80 ± 1.03	17.29 ± 1.12	17.95 ± 1.34
8 ชั่วโมง	2.79 ± 0.72	3.28 ± 0.74	3.99 ± 0.41	4.58 ± 0.59	4.68 ± 0.96



ภาพที่ 4.42 กราฟแสดงร้อยละการค้ำตะแกรงของเคลือบที่บด ณ เวลาต่างๆ

จากภาพที่ 4.42 พบว่า เมื่อเพิ่มเวลาบดให้นานขึ้นเป็น 2 4 และ 8 ชั่วโมง ปริมาณการค้ำตะแกรง 100 เมช ลดลงตามเวลาในการบดที่นานขึ้น หลังจากกรองเคลือบแล้วนำขึ้นทดสอบหุบเคลือบที่ผ่านการกรองเป็นเวลา 5 วินาที ทุกสูตร เสาที่อุณหภูมิ 1230°C พบว่า ไม่มีตำหนิบนผิวขึ้นทดสอบ เคลือบส่วนใหญ่มีการหลอมและรานตัว ผลการทดลองแสดงดัง ตารางที่ 4.20 และภาพที่ 4.43 ถึงภาพที่ 4.46

ตารางที่ 4.20 แสดงลักษณะเคลือบหลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C ที่บดเวลาต่างๆ โดยกรองเคลือบผ่านตะแกรง 100 เมช

เวลา (ชั่วโมง)	สูตร	สี	ลักษณะของเคลือบ					ตำหนิ	
			ใส	มัน	ด้าน	ราน	ไหล	รูเข็ม	ขรุขระ
2	1	เขียวจี้มัว	✓	-	-	✓	✓	-	-
	2	เขียวเข้ม	✓	-	-	✓	-	✓	-
	3	เขียวจี้มัว	-	-	✓	-	-	-	-
	4	เขียวจี้มัว	-	-	✓	-	-	-	-
	5	เทา	-	-	✓	-	-	-	-
4	1	เขียวจี้มัว	✓	-	-	✓	✓	-	-
	2	เขียวจี้มัว	✓	-	-	✓	-	-	-
	3	เขียวจี้มัว	✓	-	-	✓	-	-	-
	4	เขียวจี้มัว	-	✓	-	-	-	-	-
	5	น้ำตาล	-	✓	-	-	-	-	-
8	1	เขียวจี้มัว	✓	-	-	✓	-	-	-
	2	เขียวจี้มัว	✓	-	-	✓	-	✓	-
	3	เขียวจี้มัว	✓	-	-	✓	-	-	-
	4	เขียวจี้มัว	✓	-	-	-	-	-	-
	5	ดำ	-	✓	-	-	-	-	-



ภาพที่ 4.43 ชิ้นทดสอบเคลือบสูตร 1 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง โดยกรองเคลือบ
ผ่านตะแกรง 100 เมช เผาที่อุณหภูมิ 1230°C



ภาพที่ 4.44 ชิ้นทดสอบเคลือบสูตร 2 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง โดยกรองเคลือบ
ผ่านตะแกรง 100 เมช เผาที่อุณหภูมิ 1230°C



ภาพที่ 4.45 ชิ้นทดสอบเคลือบสูตร 3 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง โดยกรองเคลือบ
ผ่านตะแกรง 100 เมช เผาที่อุณหภูมิ 1230°C



ภาพที่ 4.46 ชิ้นทดสอบเคลือบสูตร 4 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง โดยกรองเคลือบ
ผ่านตะแกรง 100 เมช เผาที่อุณหภูมิ 1230°C



ภาพที่ 4.47 ชิ้นทดสอบเคลือบสูตร 5 บดเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง โดยกรองเคลือบ
ผ่านตะแกรง 100 เมช เผาที่อุณหภูมิ 1230°C

4.6.6 การเผาภายใต้บรรยากาศรีดักชัน (Reduction firing)

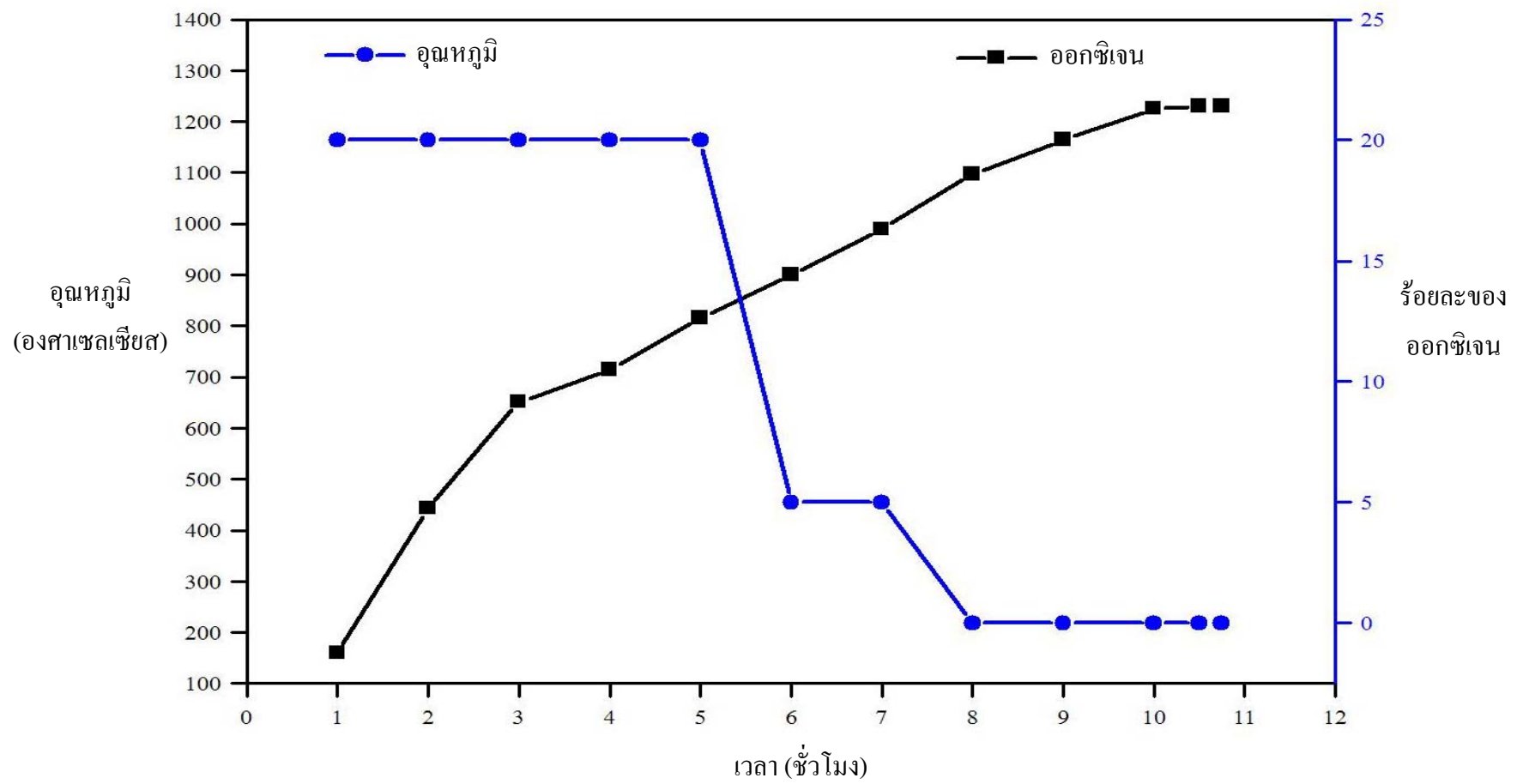
ผลิตภัณฑ์ที่เผาภายใต้บรรยากาศรีดักชัน เป็นผลิตภัณฑ์สีเขียว แตกต่างจาก มีความเงามัน คล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์โบราณ (ภาพที่ 4.48) แสดงว่าบรรยากาศการเผาเป็นแบบรีดักชันโดยสมบูรณ์ ผลการทดลองการเผาภายใต้บรรยากาศรีดักชันเพื่อให้เคลือบเป็นสีเขียว และผลการวัดค่าออกซิเจน ภายในเตาเผาที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง แสดงดัง ตารางที่ 4.21 และภาพที่ 4.47

ตารางที่ 4.21 อุณหภูมิการเผาเคลือบและร้อยละของออกซิเจนในบรรยากาศรีดักชัน

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละของออกซิเจน
1	160	20
2	443	20
3	651	20
4	714	20
5	816	20
6	900	5
7	989	5
8	1097	1×10^{-5}
9	1164	5×10^{-7}
10	1225	5×10^{-7}
10.50	1230	5×10^{-7}
10.75	1230	5×10^{-7}

*หมายเหตุ ยืนไฟ 15 นาที

จากตารางที่ 4.21 การเผาเคลือบในบรรยากาศรีดักชัน โดยเริ่มการเผาไหม้แบบออกซิเดชันจากอุณหภูมิห้องซึ่งมีปริมาณของออกซิเจนปกติ คือ ร้อยละ 20 เพิ่มอุณหภูมิการเผาไปจนถึง 900°C ปรับบรรยากาศการเผาเป็นรีดักชัน ซึ่งในช่วงอุณหภูมิ 900–1097°C แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีความเข้มข้นมากขึ้นเรื่อยๆ โดยควบคุมให้ช่วงแรก เป็นการเผารีดักชันแบบกลาง (Medium reduction) ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้จะลดลงเป็นร้อยละ 1×10^{-5} ถึง ร้อยละ 5 และจากอุณหภูมิ 1097–1230°C ปรับบรรยากาศการเผาเป็นรีดักชันแบบหนัก (Heavy reduction) และยืนไฟ 15 นาที วัดปริมาณของออกซิเจนได้ 5×10^{-7} แสดงว่าเป็นบรรยากาศการเผาแบบรีดักชันสมบูรณ์



ภาพที่ 4.48 อุณหภูมิการเผาเคลือบและร้อยละของออกซิเจนในบรรยากาศรีดักชัน



ภาพที่ 4.48 ผลิตภัณฑ์ที่เลียนแบบเครื่องเคลือบโบราณเวียงบัว

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 การทดลองเนื้อดินปั้น

การทดลองเนื้อดินปั้นที่นำมาจากแหล่งดินเวียงบัว ซึ่งเป็นดินบริเวณเนินดิน (RC) และดินบริเวณบ่อน้ำ (YC) พบว่า ดิน RC เป็นดินที่มีควอตซ์ปะปนอยู่ในปริมาณมาก แต่ดินมีความเป็นพลาสติก สามารถขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนได้ สีหลังการเผาเป็นสีดำ มีการหดตัวหลังเผาดำ สามารถเผาได้ถึง 1250°C โดยไม่เกิดการโก่งงอหรือบิดเบี้ยวเสียรูปทรง ส่วนดิน YC เนื้อดินมีมวลละเอียดสูง หดตัวสูง เกิดตำหนิจุดดำและการบวมตัวเมื่อถูกเผาดังแต่อุณหภูมิ 1200°C ดังนั้น ผู้ทดลองจึงเลือกเฉพาะดิน RC เป็นเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตเครื่องเคลือบเวียงบัว

การเตรียมชิ้นทดสอบทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ เนื้อดินขึ้น เนื้อดินอบแห้ง และเนื้อดินบิสกิต ซึ่งขึ้นทดสอบอบแห้งและเผาบิสกิตจะมีสภาพสมบูรณ์พร้อมนำไปทดลองในขั้นตอนอื่น ส่วนเนื้อดินขึ้นควรมีความชื้นร้อยละ 20.63 แต่เมื่อต้องการเตรียมเนื้อดินขึ้นขึ้นในสภาพอากาศตามธรรมชาติที่ต่างกันตามแต่ละพื้นที่ ดังนั้น จึงควรควบคุมความชื้นด้วยวิธีหาร้อยละค่าความชื้น ดังสมการที่ 3.4

5.2 การเอนโกบ

การนำเอนโกบสีขาวเคลือบผิวเนื้อดินปั้นที่มีความชื้น ควรเป็นเอนโกบที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.5 และใช้เวลาในการชุบ 4 – 6 วินาที หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C จะได้ความหนาประมาณ 150 ไมโครเมตร และเหมาะสมสำหรับการกดประทับลาย เนื่องจากการกดประทับบนเนื้อดินขึ้นจะเกิดรอยแตกที่คมชัดกว่าเนื้อดินที่ผ่านการเผาบิสกิตและเนื้อดินที่อบแห้ง นอกจากนั้นยังพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเนื้อดิน RC เป็น 8.62×10^{-6} และ เอนโกบ 5.36×10^{-6} ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น หลังการเผาจึงไม่พบตำหนิการแตกและการหลุดร่อน สามารถกดปิดพื้นผิวเนื้อดินปั้นได้สมบูรณ์ และควรเลือกเฉพาะชิ้นทดสอบเอนโกบแล้วเผาบิสกิต 1 ครั้งก่อนนำไปชุบเคลือบ เพื่อลดตำหนิการแตกของเอนโกบหลังการเผาเคลือบ

5.3 การทดลองเคลือบเถ้าไม้

การเคลือบด้วยเคลือบที่ผสมจากวัตถุดิบสองชนิด ได้แก่ ดิน RC ร้อยละ 40 และเถ้าไม้ลำไย ร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก หลังเผาที่อุณหภูมิ 1230°C บรรยากาศออกซิเดชัน พบว่ามีการหลอมและ รานตัว แต่ยังพบตำหนิบนผิวเคลือบ ตำหนิที่พบมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยประมาณ 150 – 200 ไมโครเมตร ซึ่งเกิดจากควอตซ์ในดิน RC ที่เป็นส่วนผสมของเคลือบ เมื่อเพิ่มเวลาบด ผสมมากขึ้นแต่ไม่สามารถลดขนาดของควอตซ์ลงได้ ดังนั้น วิธีการกรองเคลือบด้วยตะแกรงขนาด 100 เมช จึงเป็นการช่วยลดตำหนิที่เกิดจากควอตซ์ได้เนื่องจากหลังการเผาไม่พบตำหนิดังกล่าว หลังการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1230°C บรรยากาศรีดักชัน ในเตาเผาที่ใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง โดย ปรับบรรยากาศการเผาจากออกซิเดชันเป็นรีดักชัน ที่อุณหภูมิ 900°C ควบคุมให้ช่วงแรกเป็นการเผา รีดักชันแบบกลาง ตั้งแต่อุณหภูมิ $900 - 1096^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีปริมาณออกซิเจนร้อยละ 1×10^{-5} ถึง ร้อยละ 5 และจากอุณหภูมิ $1097 - 1230^{\circ}\text{C}$ เป็นการเผารีดักชันแบบหนัก จะให้สีเคลือบเป็นสีเขียว รานตัว คล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์โบราณ

5.4 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาการเตรียมเนื้อดินปั้น YC พัฒนาและปรับปรุงขึ้นเพื่อทดแทนเนื้อดินปั้น RC โดย แก้ไขคุณสมบัติที่ทำให้เนื้อดิน YC เกิดตำหนิจุดดำ ที่เกิดจากเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ด้วยวิธีการผ่าน เครื่องแยกเหล็ก (Magnetic Separation) หรือ อาจนำไปผสมกับเนื้อดิน RC เพื่อปรับคุณสมบัติทาง กายภาพ เช่น ความเหนียว ที่ปรับปรุงลักษณะของเนื้อดินปั้นให้เป็นแบบสลิปเพื่อใช้ในการขึ้นรูป โดยวิธีการหล่อแบบ

ศึกษาการเตรียมเคลือบเถ้าไม้ โดยเปลี่ยนชนิดของเถ้าเป็นชนิดใหม่ เช่น ไม้ลิ้นจี่ และ ไม้ มะขาม เนื่องจากใน หมู่บ้านบัว มีอาชีพการเกษตร โดยปลูกมะขามและลิ้นจี่ เป็นจำนวนมาก จึงน่าจะ นำมาพัฒนาเป็นเคลือบสีเขียวใสเช่นเดียวกับไม้ลำไยได้

รายการอ้างอิง

รายการอ้างอิง

- เจี๋ยชาญ แสงทอง. (2548). การศึกษาลักษณะเฉพาะและสมบัติของดินเวียงกาหลง. วิทยานิพนธ์
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิก. มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง,
เชียงราย.
- ทวี พรหมพฤกษ์. (2523). เครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- นพวรรณ เดชบุญ. (2549). การตกแต่งสีลาดด้วยเทคนิคเอนโกบ. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (พายัพ).
- เบญจวรรณ วงศ์คำ. (2550). ย้อนคุณค่าอดีตปรับใช้ปัจจุบันภูมิคุ้มกันอนาคตคนเวียงบัว.
เชียงใหม่: วนิตการพิมพ์.
- ประนอม มานะกิจ. (2536). การทดลองเนื้อดินปั้นจังหวัดนครสวรรค์เพื่อใช้ในการงาน
เครื่องปั้นดินเผาประเภทสโตนแวร์. การศึกษามหาบัณฑิต สาขาอุตสาหกรรม.
มหาวิทยาลัยธนเรศวร, พิษณุโลก.
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2539). เซรามิกส์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- พิมพ์วัลค์ วัฒนภาส, และสุมาลี ลิขิตวนิชกุล. (2546). การวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงเนื้อดิน
ปั้นราชบุรี. กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา กรมวิทยาศาสตร์
บริการ.
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2537). รวมสูตรเคลือบเซรามิกส์. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2541). เนื้อดินเซรามิก. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก. (ม.ป.ป.). เอนโกบ. ม.ป.ท: ม.ป.พ.
- สมชาย พุ่มอิม. (2524). การเปรียบเทียบลักษณะการเกิดแร่ประกอบของดินขาวบางแหล่งใน
ภาคเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาธรณีวิทยา.
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

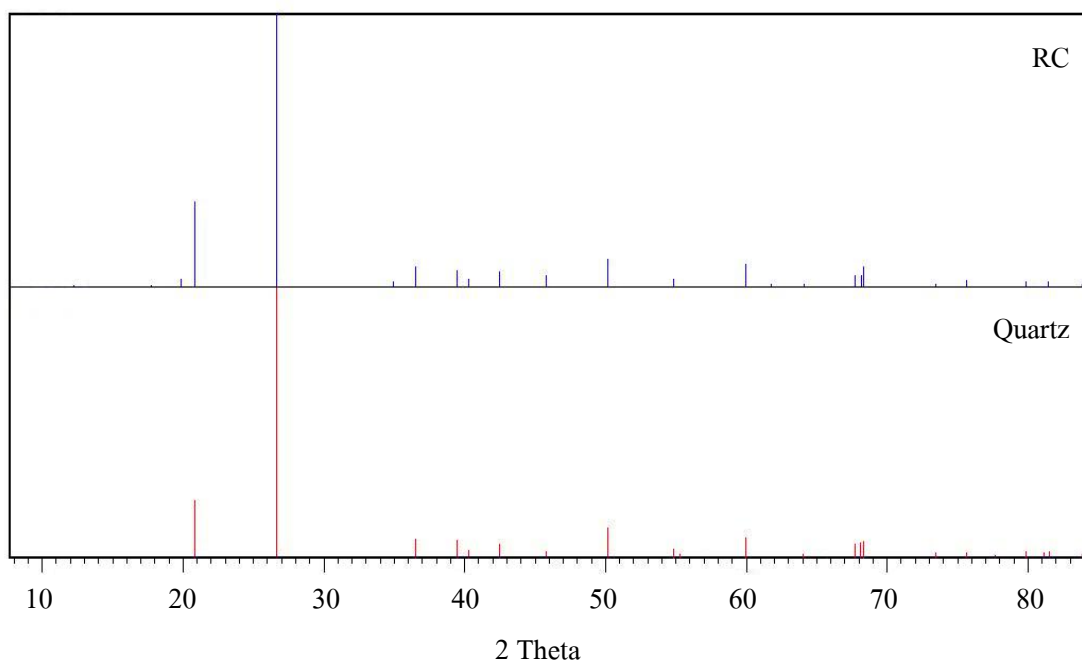
- สมบุญ สารสิทธิ์. (2539). การทดลองเนื้อดินปั้นจากดินแดงจังหวัดนครศรีธรรมราชเพื่อ
การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบและน้ำเคลือบที่เหมาะสม. การศึกษามหาบัณฑิต
สาขาอุตสาหกรรมศึกษา. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- สมบุญ อรัณยภาค. (2545). เซรามิกจากดินแดง. เชียงใหม่: โชตนาพรินท์.
- สมศักดิ์ ธรรมาปริชากร. (ม.ป.ป). เครื่องถ้วยในเอเชียอาคเนย์ ระหว่างพุทธศตวรรษที่ 15 – 22.
กรุงเทพฯ: โอสธสภา (เต็กเฮงหยู).
- สุธี วัฒนศิริเวช, ครุณี วัฒนศิริเวช, และศรัณย์ โปษยะจินดา. (2543). รายงานการวิจัยการสำรวจ
ด้านการจัดการและดำเนินในผลิตภัณฑ์ของโรงงานเซรามิกในจังหวัดลำปางและเชียงใหม่.
มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.
- สุรศักดิ์ โกสยพันธ์. (2534). น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา. กรุงเทพฯ: วิทยาลัยครูพระนคร.
- เสริมศักดิ์ นาคบัว. (2536). เคลือบขี้เถ้าฟุ้ง. กรุงเทพฯ: เจ.ฟิล์ม โปรเซส.
- อภินันท์ นันทิยา, และสุธี วัฒนศิริเวช. (2549). รายงานการวิจัยโครงการการพัฒนาวิธีทดสอบ
อย่างง่ายสำหรับการตรวจสอบเนื้อดินปั้นพื้นบ้าน. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุน
สนับสนุนงานวิจัย.
- อรพิน สมมิตร. (2538). การปรับปรุงองค์ประกอบของดินแดงบ้านสันจกปกจังหวัดพะเยาเพื่อ
พัฒนาคุณภาพเครื่องปั้นดินเผา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอน
เคมี. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- อรรวรรณ วรรณพัฒน์. (2548). ผลของขี้เถ้าไม้ลำไยและขี้เถ้าเกลบที่มีผลต่อเคลือบสีลาดล.
เชียงใหม่: ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Aydin, A. (2004, February). The change of phase compositions in kaolinite-and illite-rich clay-
based ceramic bodies. **Applied Clay Science**, 24(3-4), 257-269.
- Bengisu, M. (2001). **Engineering ceramics**. New York: Sprinkler.
- Chappell, J. (1991). **The potter's complete book of Clay and glazes**. New York: Watson and
guptill publications.

- Das, S.K. (2003, November 28). Differences in densification behavior of K- Nafeldspar-containing porcelain bodies. **Thermochimica Acta**, **406**(1-2), 199-206.
- Das, S.K. (2005, April). Shrinkage and strength behaviour of quartzitic and kaolinitic clays in wall tile compositions. **Applied Clay Science**, **29**(2), 137-143.
- Fraser, H. (1986). **Ceramic faults and their remedies**. London: A&C Black.
- Hamer, F.& Hamer, J. (1975). **The pottery's dictionary of material and technique**. London: Ritman.
- Iqbal, Y. & Lee, W. E. (2000, December). Microstructure evolution in triaxial porcelain. **J.Am Ceram. Soc**, **83**, 3121-3127.
- Lawrence, W.G. (1972). **Ceramic science for the potter**. Philadelphia: Chilton Book Co.
- Milheiro, F.A.C. (2004, June). Densification behaviour of a red firing Brazilian kaolinitic clay. **Ceramics International**, **31**(5), 757-763.
- Nestertsov, A. I. (2004). Underglaze engobe for ceramic facing tiles. **Glass and Ceramics**, **61**, 413-414.
- Rhodes, D. (2000). **Clay and glazes for the potter**. Iola, WI: Krause Publications.
- Richard, A.E. & Douglas, R.E. (2000). **Glaze and glass coating**. Westerville: America ceramic society.
- Standard test method for linear thermal expansion of porcelain enamel and glaze frits and fired ceramic whiteware products by the dilatometer method. (2002). In **Annual book of ASTM standards** (pp.115-118). Baltimore: ASTM international.
- Tichane, R. (1998). **Ash glaze**. Iola,Wis: Krause Publications.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

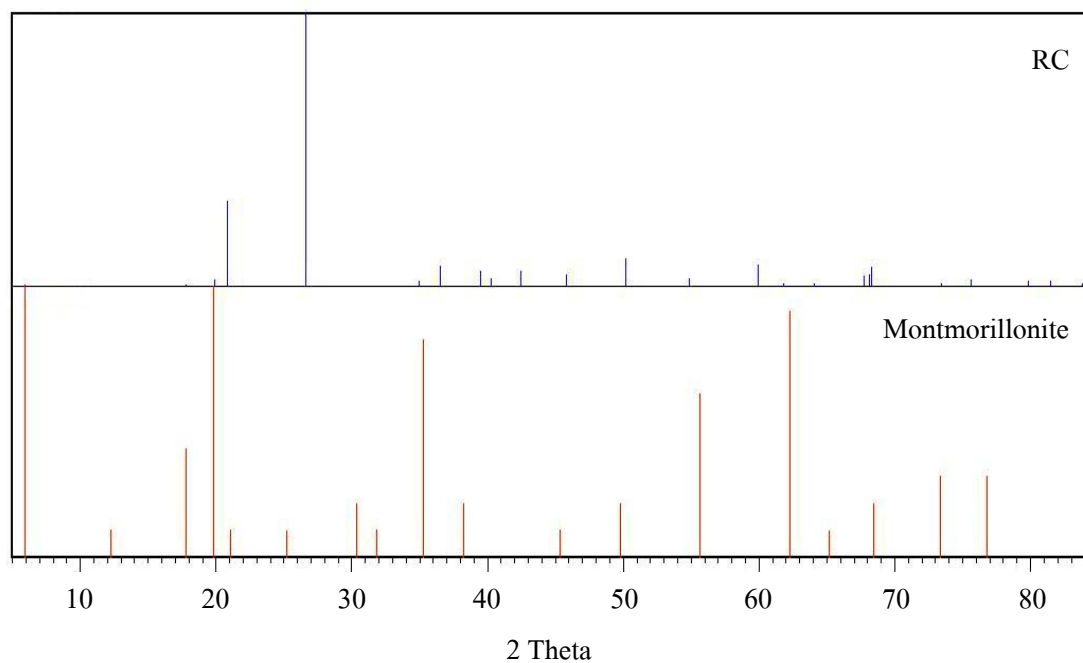
ผลวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของดิน RC ดิน YC
และถ่านไม้ดำไย



ภาพที่ ก1 พิกของดิน RC และแร่ควอตซ์

ตารางที่ ก1 แสดงรูปแบบของแร่ควอตซ์จากโปรแกรม X'Pert High Score Plus

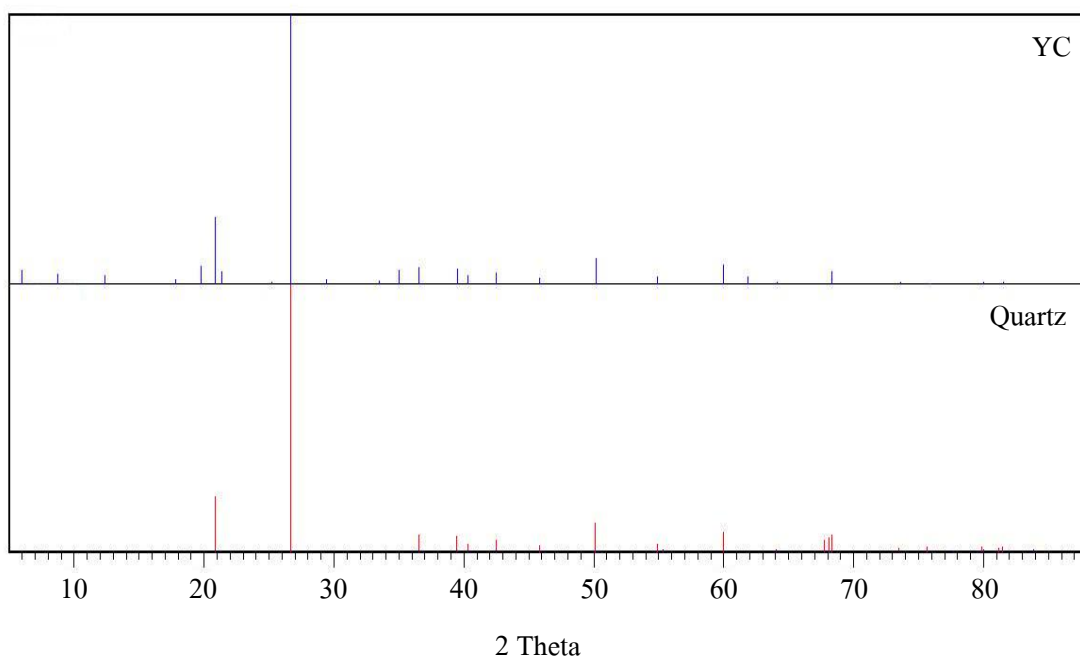
No.	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score
1	01-079-1910	Quartz	SiO ₂	95



ภาพที่ ก2 ฟิตของดิน RC และแร่มอนทมอริลโลไนท์

ตารางที่ ก2 แสดงรูปแบบของแร่มอนทมอริลโลไนท์จากโปรแกรม X'Pert High Score Plus

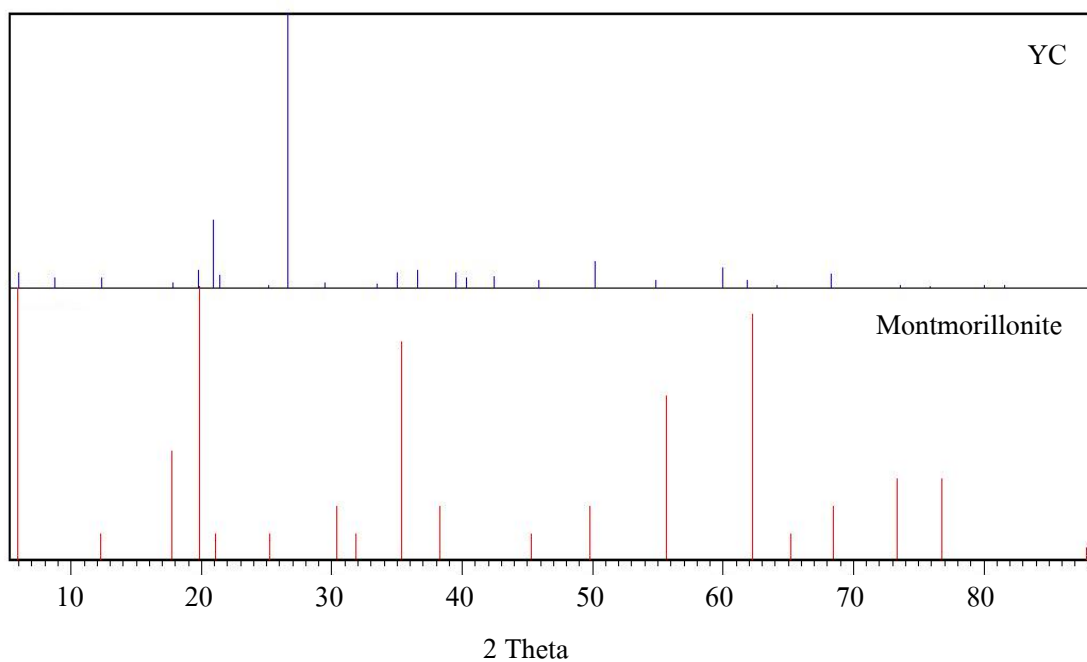
No.	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score
1	00-003-0014	Montmorillonite	$\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Un



ภาพที่ ก3 ฟิตของดิน YC และแร่ควอตซ์

ตารางที่ ก3 แสดงรูปแบบของแร่ควอตซ์จากโปรแกรม X'Pert High Score Plus

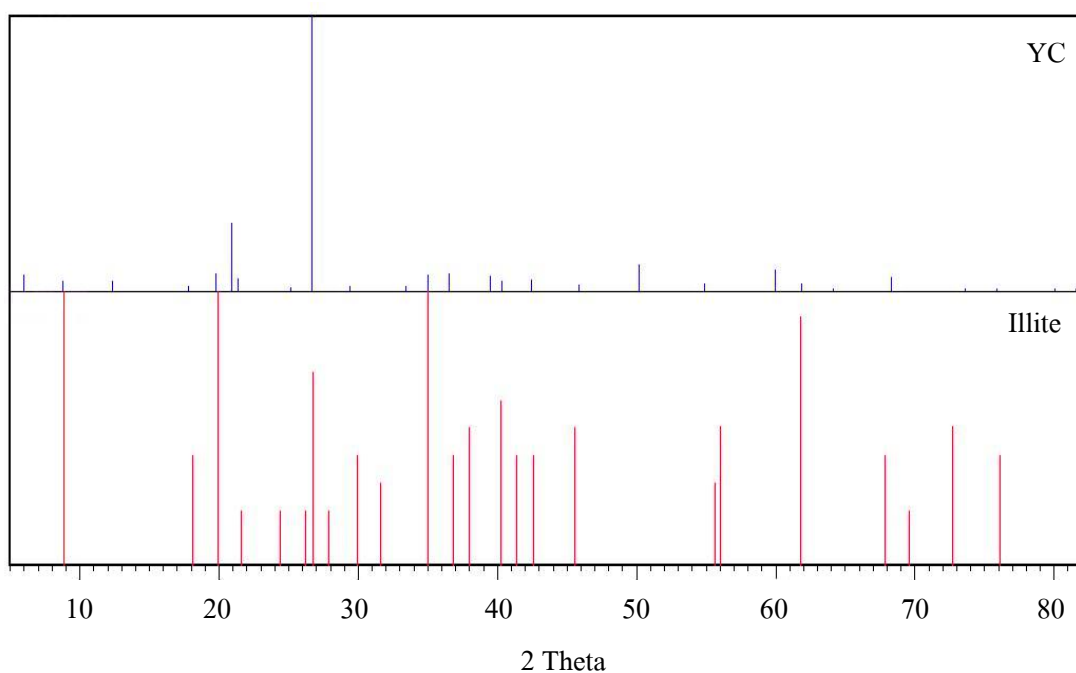
No.	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score
1	01-086-1630	Quartz	SiO ₂	84



ภาพที่ ก4 พีคของดิน YC และแร่มอนท์มอริลโลไนท์

ตารางที่ ก4 แสดงรูปแบบของแร่มอนท์มอริลโลไนท์จากโปรแกรม X'Pert High Score Plus

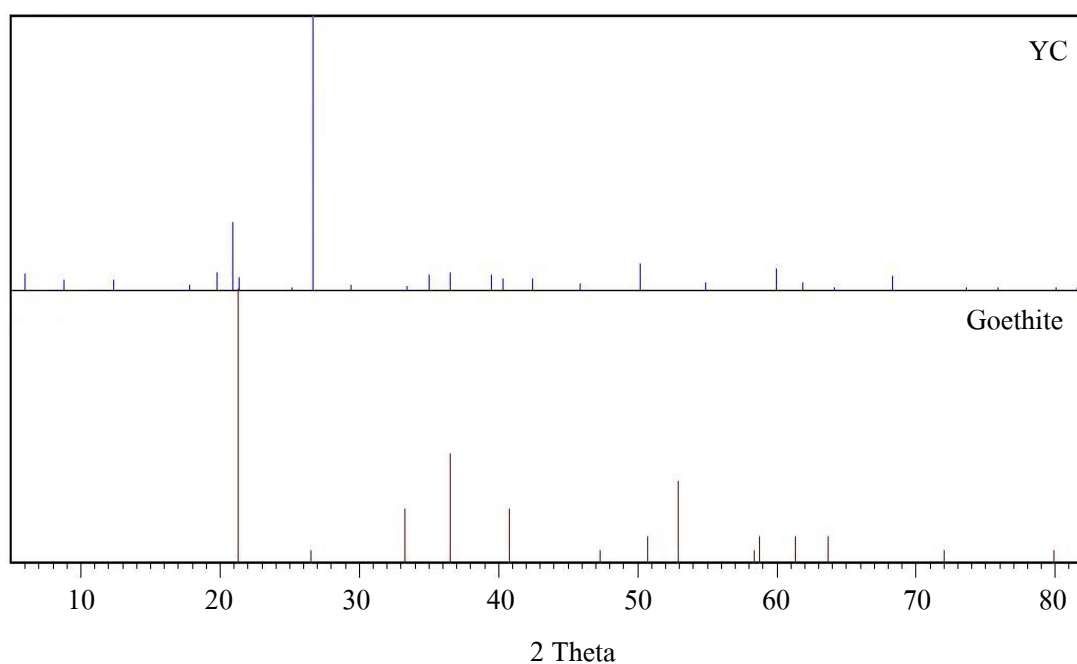
No.	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score
1	00-003-0014	Montmorillonite	$\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	19



ภาพที่ ก5 พีคของดิน YC และแร่อิลไลต์

ตารางที่ ก5 แสดงรูปแบบของแร่อิลไลต์จากโปรแกรม X'Pert High Score Plus

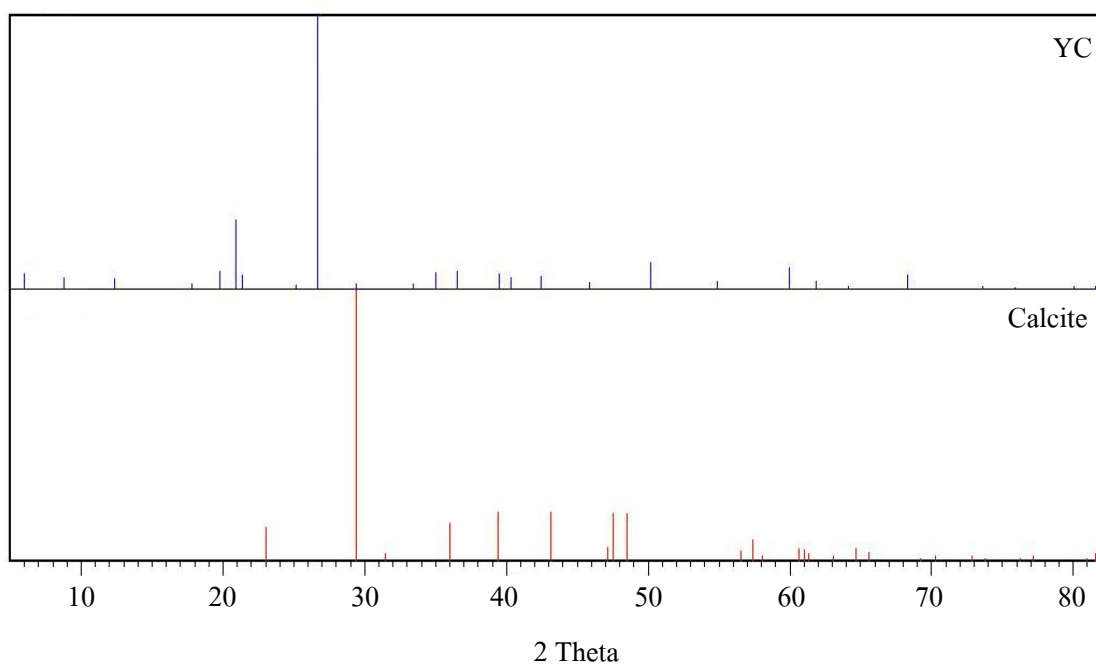
No.	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score
1	00-002-0050	Illite	$2K_2O \cdot 3MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 24SiO_2 \cdot 12H_2O$	33



ภาพที่ ก6 พีคของดิน YC และแร่โกอิไทท์

ตารางที่ ก6 แสดงรูปแบบของแร่โกอิไทท์จากโปรแกรม X'Pert High Score Plus

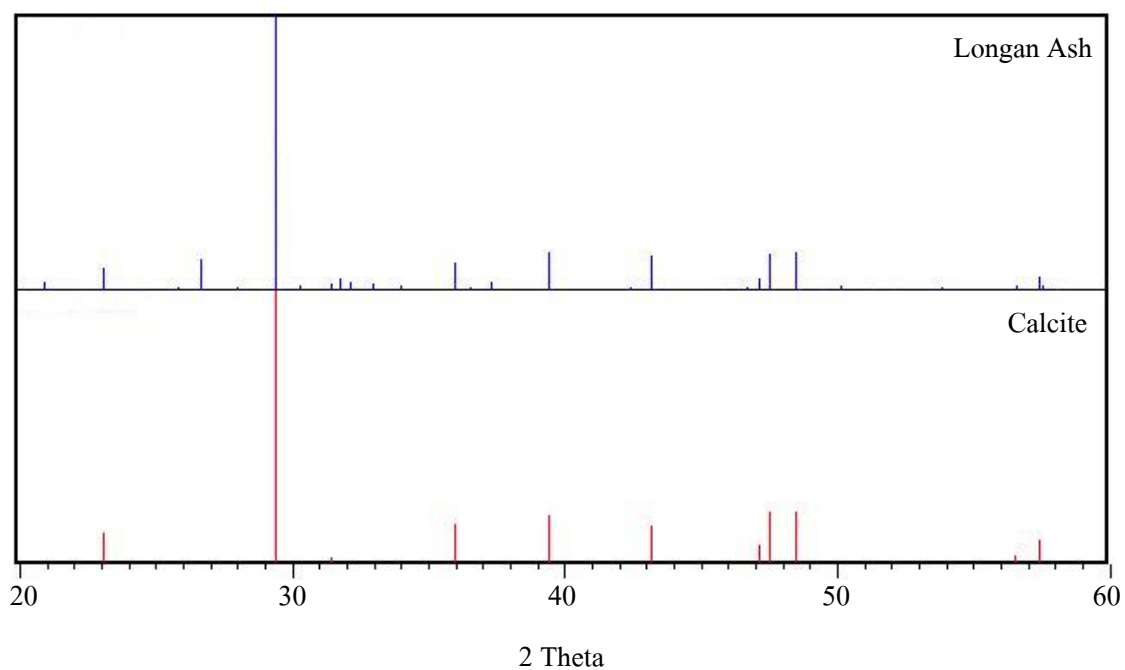
No.	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score
1	00-003-0251	Goethite	Fe+3O(OH)	31



ภาพที่ ก7 พีคของดิน YC และแร่แคลไซต์

ตารางที่ ก7 แสดงรูปแบบของแร่แคลไซต์จากโปรแกรม X'Pert High Score Plus

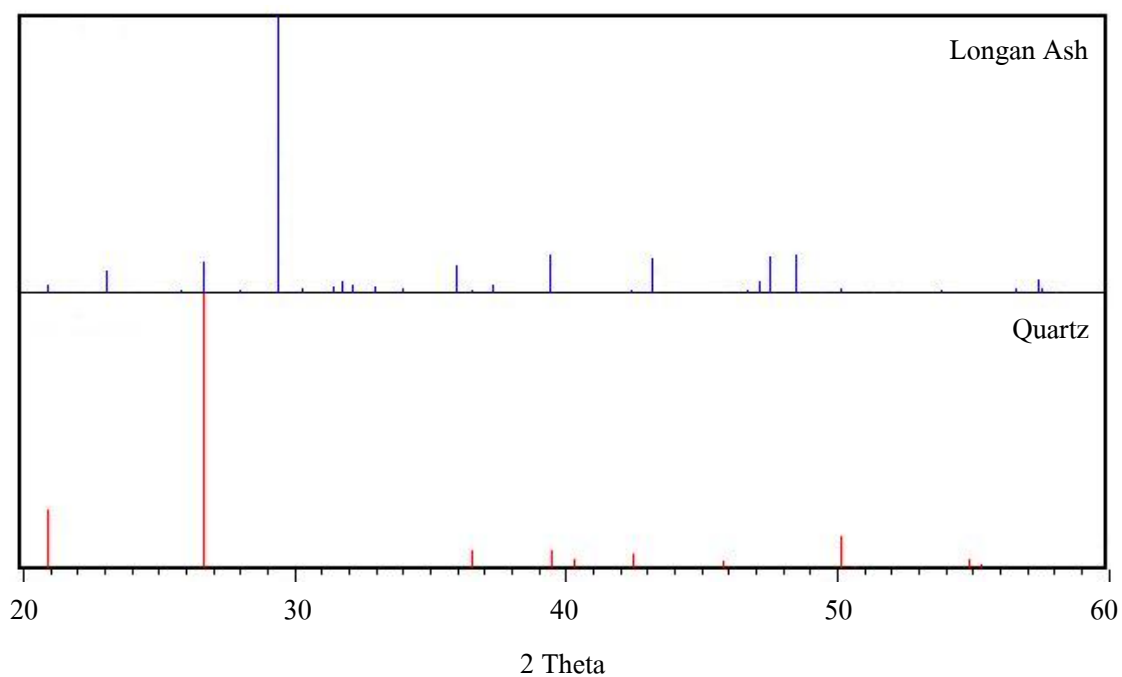
No.	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score
1	00-005-0586	Calcite	CaCO ₃	17



ภาพที่ ก8 พิกของถ้ำไม้ดำไล และแร่แคลไซต์

ตารางที่ ก8 แสดงรูปแบบของแร่แคลไซต์จากโปรแกรม X'Pert High Score Plus

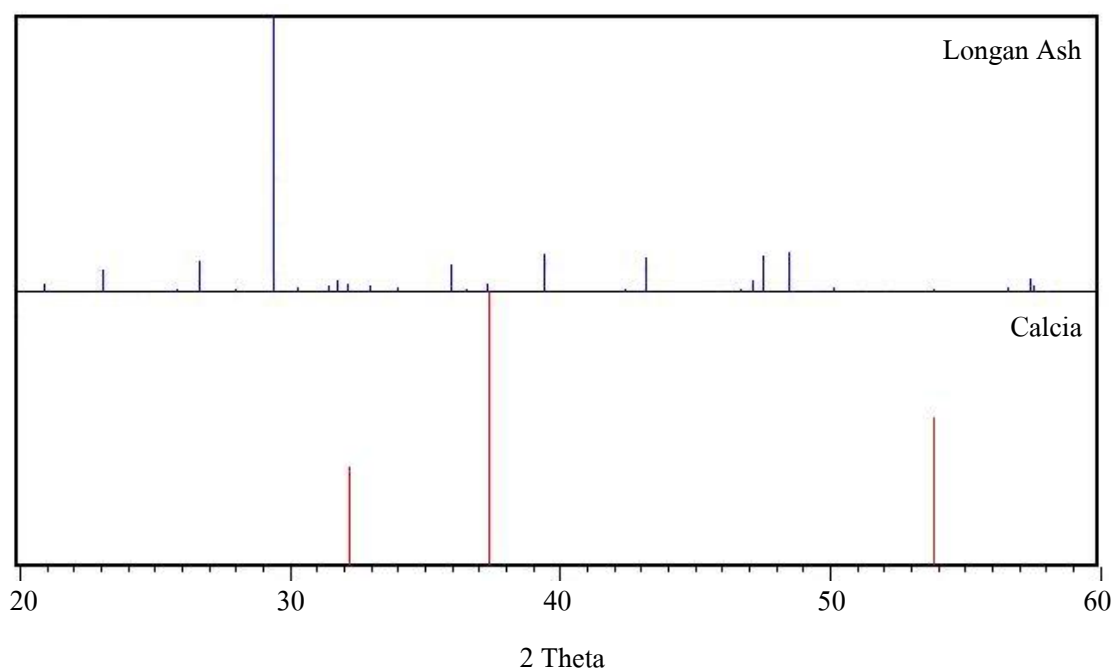
No.	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score
1	01-081-2027	Calcite	Ca(CO ₃)	81



ภาพที่ ก9 พิกซ์ของแก้วไม้ดำใย และแร่ควอตซ์

ตารางที่ ก9 แสดงรูปแบบของแร่ควอตซ์จากโปรแกรม X'Pert High Score Plus

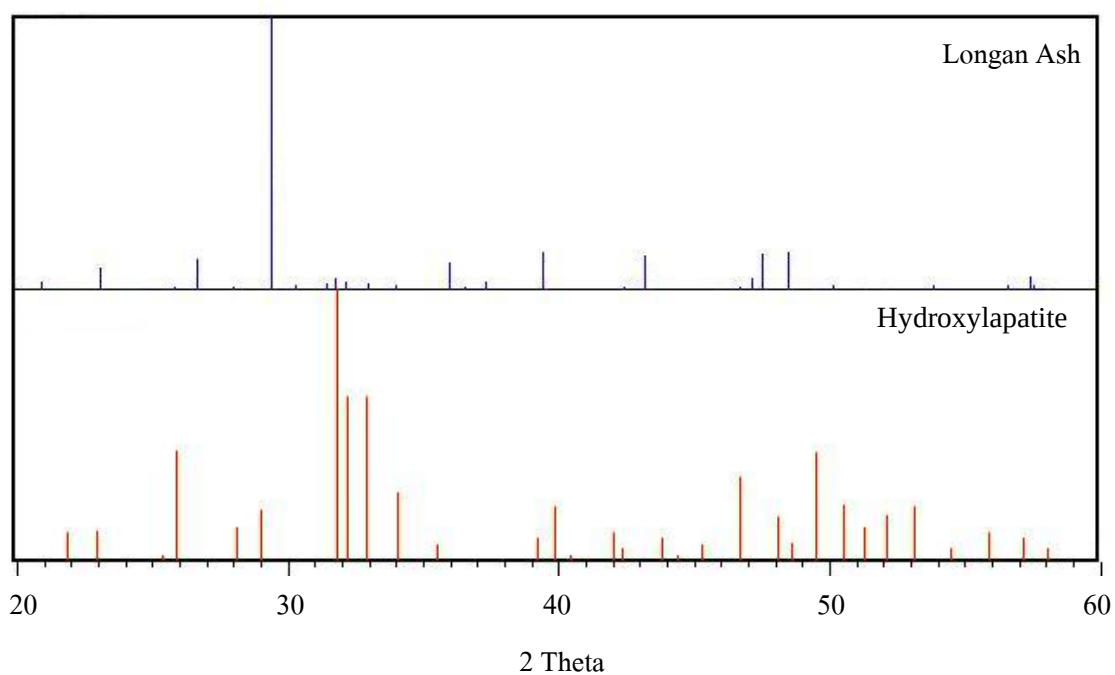
No.	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score
1	00-085-1054	Quartz	SiO_2	60



ภาพที่ ก10 พิกของถ้ำไม้ดำไย และแร่แคลเซียม

ตารางที่ ก10 แสดงรูปแบบของแร่แคลเซียมจากโปรแกรม X'Pert High Score Plus

No.	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score
1	00-037-1497	Calcia	CaO	45



ภาพที่ ก11 พิกของถ้ำไม้ลำไย และแร่ไฮดรอกซีอะพาไทท์

ตารางที่ ก11 แสดงรูปแบบของแร่ควอตซ์จากโปรแกรม X'Pert High Score Plus

No.	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score
1	00-009-0432	Hydroxylapatite	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$	43

ภาคผนวก ข

การเกิดตำหนิบนเนื้อดิน YC หลังการเผาเอนโกบ
อุณหภูมิ 1200 1230 และ 1250 องศาเซลเซียส

อุณภูมิ

ชั้นทดสอบหลังเผา

1200



1230



1250



ภาพที่ ข1 แสดงตำหนิที่เกิดขึ้นบนเนื้อดิน YC หลังการเผาเอนโกบที่อุณภูมิ 1200 1230 และ 1250 องศาเซลเซียส

ประวัติผู้เขียน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวพัชรพรรณ ด้านไธสง
วัน เดือน ปี เกิด	13 สิงหาคม 2524
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง 333 หมู่ 1 ต.ท่าสูด อ.เมือง จ.เชียงราย
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต วิทยาศาสตร์ สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก สถาบันราชภัฏบุรีรัมย์
2546	