รายงานการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์

รหัสโครงการ MT-B-51-CER-19-209-G

การวิจัยและพัฒนาส่วนผสมและเคลือบอุณหภูมิต่ำสำหรับอุตสาหกรรมสโตนแวร์ (เคลือบสำหรับเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน)

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

คณะผู้วิจัย

ผศ. ดร. สุธรรม ศรีหล่มสัก

นายอ่อนลมี กมลอินทร์

นายจิตติ รินเสนา

สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สนับสนุนทุนวิจัยโดย

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

ประจำปีงบประมาณ 2550

กิตติกรรมประกาศ

แรกสุดขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่กรุณาให้งบประมาณสนับสนุนงานวิจัยนี้ และขอบคุณ ดร. สมนึก ศิริสุนทร และคณะกรรมการฯ ตรวจสอบความก้าวหน้าของทุนทุกท่านที่กรุณาให้ข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์ทำให้การวิจัยนี้ดำเนินไปในทิศทางที่ถูกต้องและเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการ

ขอขอบคุณ นายกเทศมนตรีเทศบาลด่านเกวียน (คุณชรินทร์ เปลี่ยนกระโทก) และคณะเจ้าหน้าที่เทศบาลตำบลด่านเกวียนที่ช่วยแนะนำโรงงานเครื่องปั้นดินด่านเกวียนที่ร่วมมือทำวิจัยและให้การสนับสนุนอำนวยความสะดวก ติดต่อประสานงานกับทางโรงงาน และเอื้อเฟื้อสถานที่ในการอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่ผู้ประกอบการด่านเกวียน

ขอขอบคุณ อาจารย์พิศและคุณจรรยา ป้อมสินทรัพย์ ร้านดินเผา, คุณเทียน ด่านกระโทก, คุณเมี้ยน สิงห์ทะเล, คุณสมาน ปั้งกระโทก และคุณสมกับคุณสิริ เป้ากระโทก ที่ให้ข้อมูล, มอบวัตถุดิบเช่นเนื้อดินปั้นด่านเกวียนและขี้เถ้ารวมด่านเกวียน และช่วยเผาชิ้นงานให้ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

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

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่และผู้ช่วยสอนอาคารเครื่องมือ 6/1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การเอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย

สุดท้ายแต่สำคัญที่สุดขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ที่ให้โอกาสและให้การสนับสนุนในการวิจัยหลักตลอดมาเป็นอย่างดี

คณะผู้วิจัย

มิถุนายน 2553

บทคัดย่อ

เครื่องปั้นดินเผาเป็นผลิตภัณฑ์เป็นที่ต้องผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงหากสามารถลดอุณหภูมิในการเผาของเครื่องปั้นดินเผาลงได้นอกจากจะช่วยลดค่าเชื้อเพลิงแล้วยังเป็นการลดปัญหามลพิษและช่วยลดโลกร้อนอีกด้วย งานวิจัยนี้ได้ค้นคว้าและพัฒนาเคลือบสำหรับเนื้อดินปั้นของเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนขึ้นมา 25 สูตรที่สามารถสุกตัวที่อุณหภูมิ 1000°C เคลือบที่พัฒนาขึ้นมามีลักษณะหลากหลาย ทั้งที่เป็นเคลือบใสหรือเคลือบทึบ, เคลือบสีขาวขุ่นหรือเคลือบสีเหลือง, เคลือบมันหรือเคลือบด้าน, เคลือบมีผิวเรียบหรือเคลือบที่มีผิวเป็น texture อย่างไรก็ตามเคลือบที่พัฒนาได้ในงานวิจัยนี้ใช้ได้ดีกับการเผาในเตาไฟฟ้า หากจะนำไปใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ที่เผาในเตาซึ่งใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงที่ด่านเกวียนจะต้องมีการปรับปรุงต่อไปอีก เนื่องจากบรรยากาศภายในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียนเป็นบรรยากาศแบบกึ่งรีดักชันขณะที่บรรยากาศในเตาไฟฟ้าเป็นบรรยากาศแบบออกซิเดชัน นอกจากนี้อุณหภูมิภายในเตาเผาที่ด่านเกวียนยังไม่สม่ำเสมอเท่าๆ กันทั่วทั้งเตาด้วย

Abstract

Pottery is a product which is fired at high temperatures. Not only fuels but also pollution and global warming problems can be decreased if the firing temperatures of potteries are reduced. This work investigated and developed 25 glaze formulas for Dan Kwian pottery clay content which can be matured when fired at 1000°C. Various glaze appearances are obtained among discovered glazes, i.e., either transparent or opaque, milky white or yellow color, luster or matt, smooth or texture surface. However, the discovered glazes are appropriate for firing in electric kiln only. Some improvements are needed if they are to be fired in a firewood kiln at Dan Kwian factories. Because the atmosphere inside Dan Kwian kiln is semi-reduction while inside electric kiln is oxidation. Moreover, the temperatures inside Dan Kwain kiln are not well distributed.

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

กิตติกรรมประกาศ.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญรูป.....ซ
บทที่ 1 ทบนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....1
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....6
บทที่ 2 การพัฒนาเคลือบ.....7
2.1 การทดลองที่ 1.....7
2.1.1 จุดประสงค์.....7
2.1.2 ความเป็นมา.....7
2.1.3 วิธีการทดลอง.....7
2.1.4 ผลการทดลอง.....8
2.2 การทดลองที่ 2.....9
2.2.1 จุดประสงค์.....9
2.2.2 ความเป็นมา.....9
2.2.3 วิธีการทดลอง.....9
2.2.4 ผลการทดลอง.....10
2.3 การทดลองที่ 3.....12
2.3.1 จุดประสงค์.....12

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

2.8.2 ความเป็นมา.....58
2.8.3 วิธีการทดลอง.....58
2.8.4 ผลการทดลอง.....59
บทที่ 3 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....62
เอกสารอ้างอิง.....63
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ.....65
ภาคผนวก ข. ราคาของวัตถุดิบ.....77
ภาคผนวก ค. คำนวณต้นทุนของเคลือบแต่ละสูตร.....78
ภาคผนวก ง. คำขอจดอนุสิทธิบัตรเคลือบ.....79
ภาคผนวก จ. การเผยแพร่ผลงาน.....80
ภาคผนวก ฉ. บทความที่ส่งให้วารสารเซรามิกส์พิจารณาตีพิมพ์.....81

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สูตรส่วนผสมเคลือบสูตรที่ 1-4.....7
2.2 สูตรส่วนผสมเคลือบสูตรที่ 5-8.....10
2.3 สูตรส่วนผสมเคลือบสูตรที่ 9-12.....13
2.4 สูตรส่วนผสมเคลือบสูตรที่ 21-40.....24
2.5 เปอร์เซ็นต์กากที่ค้างตะแกรงของสูตรเคลือบที่ผ่านการบดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง.....38
2.6 ส่วนผสมของสูตรเคลือบ.....44
2.7 ส่วนผสมของเคลือบสูตรที่เปลี่ยน TOP-BOR เป็นบอแรกซ์.....50
2.8 ส่วนผสมของสูตรเคลือบที่เติมสีย้อม.....58

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 สภาวะการเผา Biscuit ชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบ....3

1.2 การผสมวัตถุดิบลงในโกร่งบดสาร....3

1.3 หม้อบดพลาสติกที่ใส่ลูกบดอะลูมินาและวัตถุดิบ....4

1.4 การบดผสมเคลือบด้วยเครื่องบดยี่ห้อ CONTROLS Model D439/A เป็นเวลา 24 ชั่วโมง....4

1.5 การชุบเคลือบบนชิ้นตัวอย่างขนาด 2.5 x 4.5 x 1 เซนติเมตร^3....5

1.6 เตาไฟฟ้าสีเทา Carbolite....5

1.7 สภาวะการเผาเคลือบ....6

2.1 สูตรเคลือบด่านเกวียน 1-4 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบ แล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า....8

2.2 สูตรเคลือบด่านเกวียน 1-4 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า....9

2.3 สูตรเคลือบด่านเกวียน 5-8 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบ แล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า....11

2.4 สูตรเคลือบด่านเกวียน 5-8 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า....12

2.5 ลักษณะรอยแตกของเคลือบหลังการชุบเคลือบ 2 ชั่วโมง....16

2.6 สูตรเคลือบด่านเกวียน 9-12 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบ แล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า....17

2.7 สูตรเคลือบด่านเกวียน 13-16 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบ แล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า....18

2.8 สูตรเคลือบด่านเกวียน 17-20 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบ แล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า....19

2.9 สูตรเคลือบด่านเกวียน 9-12 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า....20

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.10	สูตรเคลือบด่านเกวียน 13-16 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า	21
2.11	สูตรเคลือบด่านเกวียน 17-20 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า	22
2.12	สูตรเคลือบด่านเกวียน 21-24 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบ แล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า	26
2.13	สูตรเคลือบด่านเกวียน 25-28 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบ แล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า	27
2.14	สูตรเคลือบด่านเกวียน 29-32 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบ แล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า	28
2.15	สูตรเคลือบด่านเกวียน 33-36 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบ แล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า	29
2.16	สูตรเคลือบด่านเกวียน 37-40 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบ แล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า	30
2.17	สูตรเคลือบด่านเกวียน 21-24 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า	31
2.18	สูตรเคลือบด่านเกวียน 25-28 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า	32
2.19	สูตรเคลือบด่านเกวียน 29-32 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า	33
2.20	สูตรเคลือบด่านเกวียน 33-36 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า	34
2.21	สูตรเคลือบด่านเกวียน 37-40 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.22	สูตรเคลือบด่านเกวียน 21-24 บดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ร่อนผ่านตะแกรง 200 เมช บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้ว เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า	39
2.23	สูตรเคลือบด่านเกวียน 25-28 บดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ร่อนผ่านตะแกรง 200 เมช บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้ว เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า	40
2.24	สูตรเคลือบด่านเกวียน 29-32 บดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ร่อนผ่านตะแกรง 200 เมช บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้ว เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า	41
2.25	สูตรเคลือบด่านเกวียน 33-36 บดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ร่อนผ่านตะแกรง 200 เมช บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้ว เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า	42
2.26	สูตรเคลือบด่านเกวียน 37-40 บดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ร่อนผ่านตะแกรง 200 เมช บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้ว เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า	43
2.27	เตาเผาชิ้นงานสำหรับเผา biscuit	44
2.28	เตาเผาไฟฟ้าที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	45
2.29	จุดการวางเผาเคลือบในเตาเผาฟืนที่ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา จุดที่ 1 ไฟอ่อน เป็นบริเวณที่อุณหภูมิต่ำสุด จุดที่ 2 ไฟกลาง เป็นบริเวณที่อุณหภูมิปานกลาง จุดที่ 3 ไฟแรง เป็นบริเวณที่อุณหภูมิสูงสุด	46
2.30	ชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบและหลังจากชุบเคลือบ แล้วนำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง	47
2.31	ชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบและหลังจากชุบเคลือบ แล้วนำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.32	ชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบและหลังจากชุบเคลือบแล้ว นำไปเผาในเตาฟืนที่ตำบลด่านเกวียน	48
2.33	ชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบและหลังจากชุบเคลือบแล้ว นำไปเผาในเตาฟืนที่ตำบลด่านเกวียน	48
2.34	แผนผังการวางเผาชิ้นตัวอย่างเคลือบในเตาฟืน	50
2.35	ชิ้นตัวอย่างเคลือบสูตรที่ 8, 11, 14, 15, 17 และ 19 ซึ่งผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง	52
2.36	ชิ้นตัวอย่างเคลือบสูตรที่ 8B, 11B, 14B, 15B, 17B และ 19B ซึ่งผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง	53
2.37	ชิ้นตัวอย่างเคลือบสูตรที่ 8, 11, 14, 15, 17 และ 19 ซึ่งไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง	54
2.38	ชิ้นตัวอย่างเคลือบสูตรที่ 8B, 11B, 14B, 15B, 17B และ 19B ซึ่งไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง	55
2.39	ชิ้นตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่บริเวณไฟอ่อนในเตาฟืน ก) สูตรเคลือบที่ใช้บอแรกซ์เป็นส่วนผสม ข) สูตรเคลือบที่ใช้ TOP-BOR เป็นส่วนผสม	56
2.40	ชิ้นตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่บริเวณไฟกลางในเตาฟืน ก) สูตรเคลือบที่ใช้บอแรกซ์เป็นส่วนผสม ข) สูตรเคลือบที่ใช้ TOP-BOR เป็นส่วนผสม	56
2.41	ชิ้นตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่บริเวณไฟแรงในเตาฟืน ก) สูตรเคลือบที่ใช้บอแรกซ์เป็นส่วนผสม ข) สูตรเคลือบที่ใช้ TOP-BOR เป็นส่วนผสม	57
2.42	การจัดเรียงแบบคอนโดของส่วนที่ 2 ในเตาฟืน	59
2.43	ชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบที่ผ่านการเผาเคลือบในเตาไฟฟ้า	60
2.44	ชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบที่ผ่านการเผาเคลือบในเตาฟืนซึ่งวางเผาตรงบริเวณไฟแรง	61

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผลิตภัณฑ์เซรามิกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านกระบวนการเผาเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง ทนทาน สามารถนำไปใช้งานได้ และกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกนั้นจะต้องเผาที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเชื่อมตัวกัน มีความหนาแน่นมากขึ้น ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์เซรามิกบางชนิดจะไม่มีชั้นเคลือบปกคลุมผิวแต่เซรามิกส่วนใหญ่มักจะมีชั้นเคลือบที่เป็นแก้วปกคลุมเพื่อทำให้มีสีสันสวยงามทำความสะอาดง่ายและคงทนต่อการใช้งาน เคลือบที่ดีจะต้องเข้ากันได้ดีกับเนื้อดินปั้น (body) และสุกตัวพร้อม ๆ กับเนื้อผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนเป็นผลิตภัณฑ์ที่สร้างชื่อเสียงให้กับจังหวัดนครราชสีมามาหลายชั่วอายุคน ถึงแม้ว่าในปัจจุบันเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนส่วนใหญ่ไม่มีชั้นเคลือบเป็นแก้ว และมีผู้ประกอบการหลายรายที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีชั้นเคลือบที่เป็นแก้วเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์และเพิ่มทางเลือกให้กับลูกค้าแต่ก็ไม่สามารถทำได้ เนื่องจากไม่มีบุคลากร เครื่องมือและเงินทุนในการวิจัยและพัฒนาสูตรเคลือบ

งานวิจัยนี้จึงพัฒนาสูตรเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน และเนื่องจากภาวการณ์แข่งขันของอุตสาหกรรมเซรามิกทั้งในและต่างประเทศสูงขึ้นเพื่อลดต้นทุนค่าพลังงานให้ผู้ประกอบการ ผู้วิจัยจึงพัฒนาสูตรเคลือบสำหรับเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 1000 องศาเซลเซียส ซึ่งจะช่วยประหยัดเชื้อเพลิงในการเผาให้ผู้ประกอบการ และเพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค งานวิจัยนี้จึงไม่ใช้วัตถุดิบที่มีพิษเช่นตะกั่วเป็นองค์ประกอบของสูตรเคลือบ

สูตรส่วนผสมของเคลือบที่วิจัยและพัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยนี้เมื่อเผาที่อุณหภูมิต่ำคือประมาณ 1000 องศาเซลเซียส แล้วจะได้เคลือบที่มีความหลากหลายทั้งที่เป็นเคลือบใส เคลือบทึบ และมีทั้งแบบที่มีผิวเรียบเนียนและมีลักษณะ (texture) แบบพิเศษต่าง ๆ

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาสูตรเคลือบสำหรับเคลือบผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 1000 องศาเซลเซียส

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

พัฒนาสูตรเคลือบสำหรับเคลือบผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 1000 องศาเซลเซียส และไม่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับกระบวนการการดำเนินการวิจัยนั้นคณะผู้วิจัยจะอธิบายถึงเฉพาะขั้นตอนโดยรวมเท่านั้น แต่จะอธิบายอีกครั้งโดยละเอียดในบทที่ 2 สามารถแบ่งวิธีดำเนินการวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1.4.1 การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับชุบเคลือบ

1. นำดินด่านเกวียนไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบด Discusher ให้ละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช

3. นำดินที่ผ่านการร่อนแล้วไปชั่งและผสมกับน้ำในอัตราส่วน 5:2 (โดยน้ำหนัก)

4. ผสมดินให้เข้ากันในกะละมังแล้วหมักดินเอาไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5. จากนั้นนำดินเข้าเครื่องรีดดิน (Extruder) รีดดินเป็นจำนวน 3-4 รอบเพื่อให้ดินเกิดความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน

6. รีดดินให้มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 2.5 x 4.5 x 1 ซม^3. แล้วอบให้แห้ง ได้ชิ้นตัวอย่างสำหรับชุบเคลือบชนิดที่ยังไม่ผ่านการเผา biscuit

7. นำชิ้นงานที่ได้จากข้อ 6 ไปเผาในเตาไฟฟ้า Carbolite รูปที่ 1.6 อุณหภูมิ 800°C ในบรรยากาศปกติ ใช้อัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิ 5°C/นาที และยืนไฟ 2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงด้วยอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิ 10°C/นาที จนถึงอุณหภูมิห้อง ได้ชิ้นตัวอย่างสำหรับชุบเคลือบชนิดที่ผ่านการเผา biscuit มาแล้ว รูปที่ 1.1 แสดงสภาวะการเผา biscuit กระเบื้องทดสอบเคลือบ

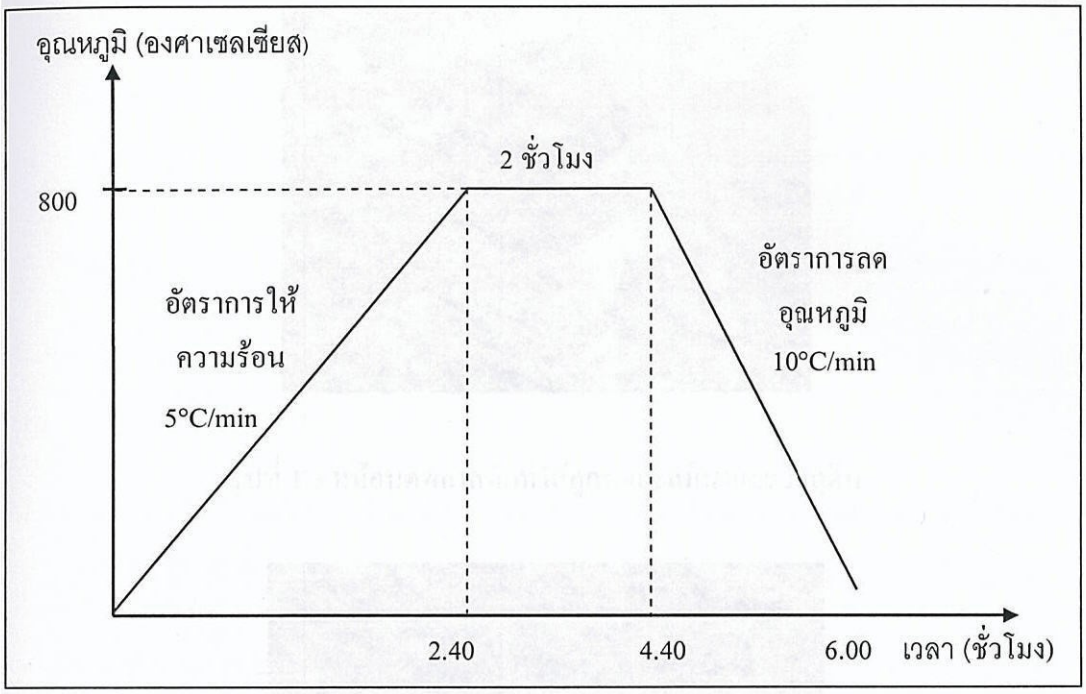
จากข้อ 6 และ 7 จะเห็นได้ว่าชิ้นตัวอย่างสำหรับชุบเคลือบแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ 1) ชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ผ่านการเผา biscuit 2) ชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการเผา biscuit ที่อุณหภูมิ 800°C แล้ว

1.4.2 การเตรียมน้ำเคลือบ

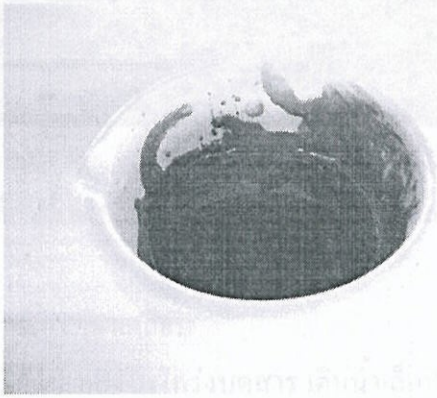
1. ชั่งสูตรส่วนผสมตามที่กำหนดไว้ (สูตรละ 100 กรัม) แล้วนำมาผสมกับน้ำ 100 มิลลิลิตร ในโกร่งบดสารบดผสมให้เข้ากัน ดังแสดงในรูป 1.2

2. เทส่วนผสมทั้งหมดลงในหม้อบดพลาสติกที่ใส่ลูกบดอะลูมินาเอาไว้ครึ่งหม้อ โดยใส่ลูกบดหลายขนาดด้วยกัน เช่น เล็ก กลาง ใหญ่ เป็นต้น แล้วปิดฝาให้สนิท ดังแสดงในรูป 1.3

3. จากนั้นนำหม้อบดไปใส่ในเครื่องบด ดังแสดงในรูป 1.4 บดเคลือบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

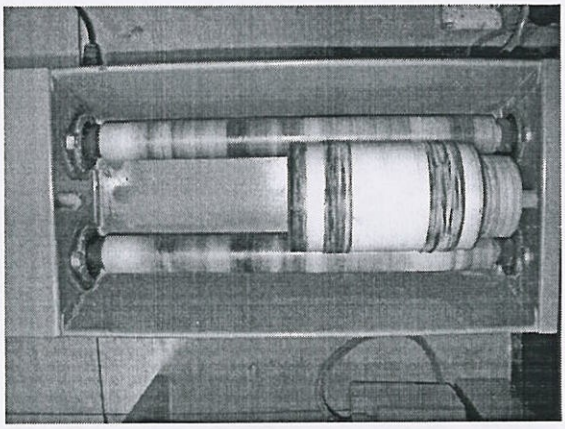


รูปที่ 1.1 สภาวะการเผา biscuit ชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบ



รูปที่ 1.2 การผสมวัตถุดิบลงในโกร่งบดสาร

รูปที่ 1.3 หม้อบดพลาสติกที่ใส่ลูกบดอะลูมินาและวัตถุดิบ



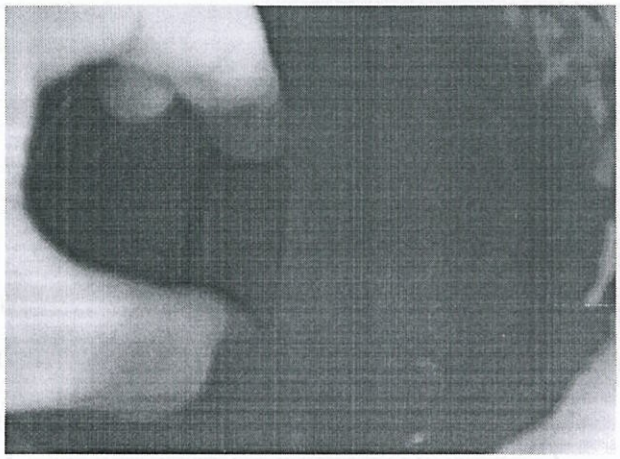
รูปที่ 1.4 การบดผสมเคลือบด้วยเครื่องบดยี่ห้อ CONTROLS Model D439/A เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.4.3 การชุบเคลือบและการเผาเคลือบ

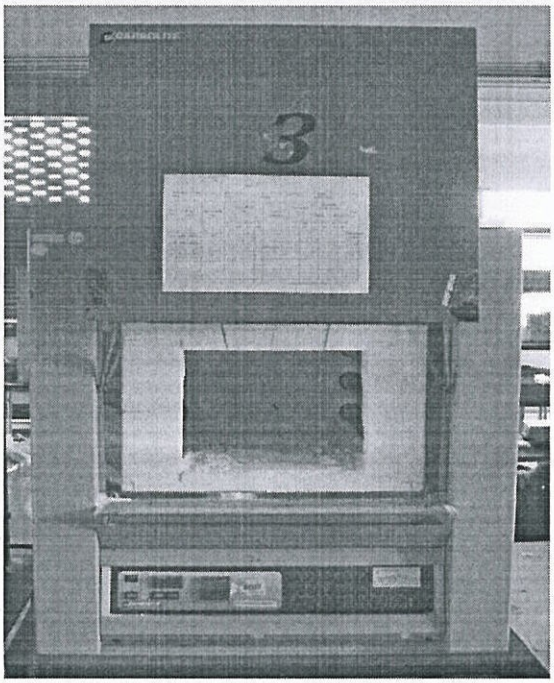
1. นำเคลือบที่ได้ไปเทลงในโกร่งบดสาร เติมน้ำเล็กน้อยบดผสมให้เข้ากันแล้วชุบเคลือบ ดังแสดงในรูป 1.5

2. นำชิ้นตัวอย่างทั้ง 2 แบบ ไปชุบเคลือบเป็นเวลา 10 วินาที แล้วปล่อยให้แห้ง

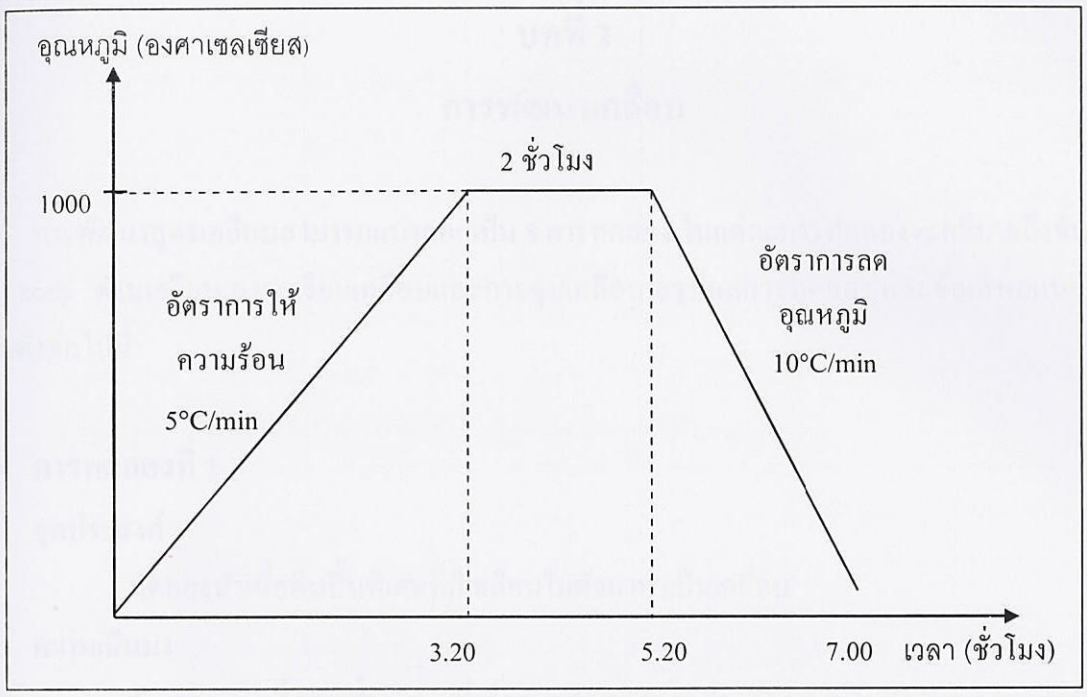
3. นำเคลือบที่ได้ในข้อ 2 ไปเผาที่เตาไฟฟ้าสีเทา Carbolite แสดงในรูป 1.6 อุณหภูมิ 1000°C ในบรรยากาศปกติ ใช้อัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิ 5°C/นาที และยืนไฟเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงด้วยอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิ 10°C/นาที จนถึงอุณหภูมิห้อง รูปที่ 1.7 แสดงสภาวะการเผาเคลือบ



รูปที่ 1.5 การชุบเคลือบบนชิ้นตัวอย่างขนาด 2.5 x 4.5 x 1 เซนติเมตร^3



รูปที่ 1.6 เตาไฟฟ้าสีเทา Carbolite



รูปที่ 1.7 สภาวะการเผาเคลือบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ได้สูตรเคลือบสำหรับเคลือบผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 1000 องศาเซลเซียส

บทที่ 2
การพัฒนาเคลือบ

การพัฒนาสูตรเคลือบสามารถแบ่งออกเป็น 8 การทดลอง ในแต่ละการทดลองจะอธิบายถึงขั้นตอนการเตรียม body ด่านเกวียน การเตรียมเคลือบและการชุบเคลือบ สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ สามารถอธิบายดังต่อไปนี้

2.1 การทดลองที่ 1

จุดประสงค์

ทดลองนำเนื้อดินปั้นพิเศษที่มีเคลือบในตัวมาทำเป็นเคลือบ

ความเป็นมา

ด้วยพบว่ามีเนื้อดินปั้นพิเศษที่เมื่อเผาแล้วสุกตัวเหมือนมีเคลือบในตัว จึงทดลองว่าเนื้อดินปั้นดังกล่าวจะใช้เป็นเคลือบได้หรือไม่

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับชุบเคลือบ

เหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.1

2. การเตรียมน้ำเคลือบ

เหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.2 โดยใช้ส่วนผสมของเคลือบ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

3. การชุบเคลือบและการเผาเคลือบ

เหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.3

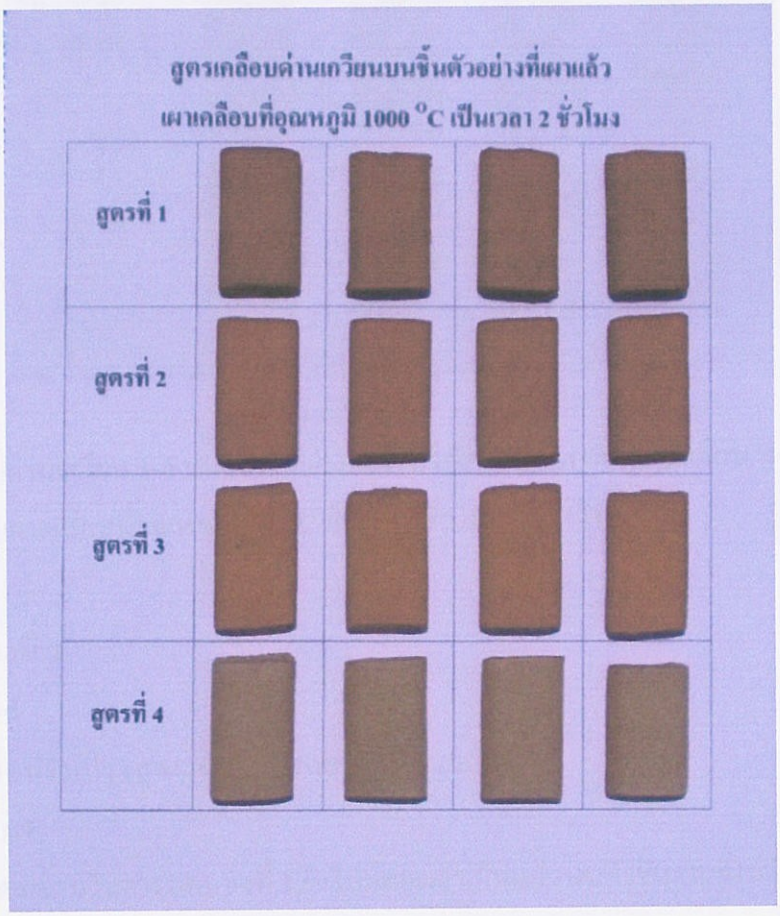
ตารางที่ 2.1 สูตรส่วนผสมเคลือบสูตรที่ 1-4 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

วัตถุดิบ / สูตรที่	ดินด่านเกวียน* (DK)	โซดาแอช (Na_2CO_3)	ทัลคัม (Talcum)	ฟริต CG466
1	70	10	10	10
2	65	10	15	10
3	60	10	20	10
4	55	10	25	10

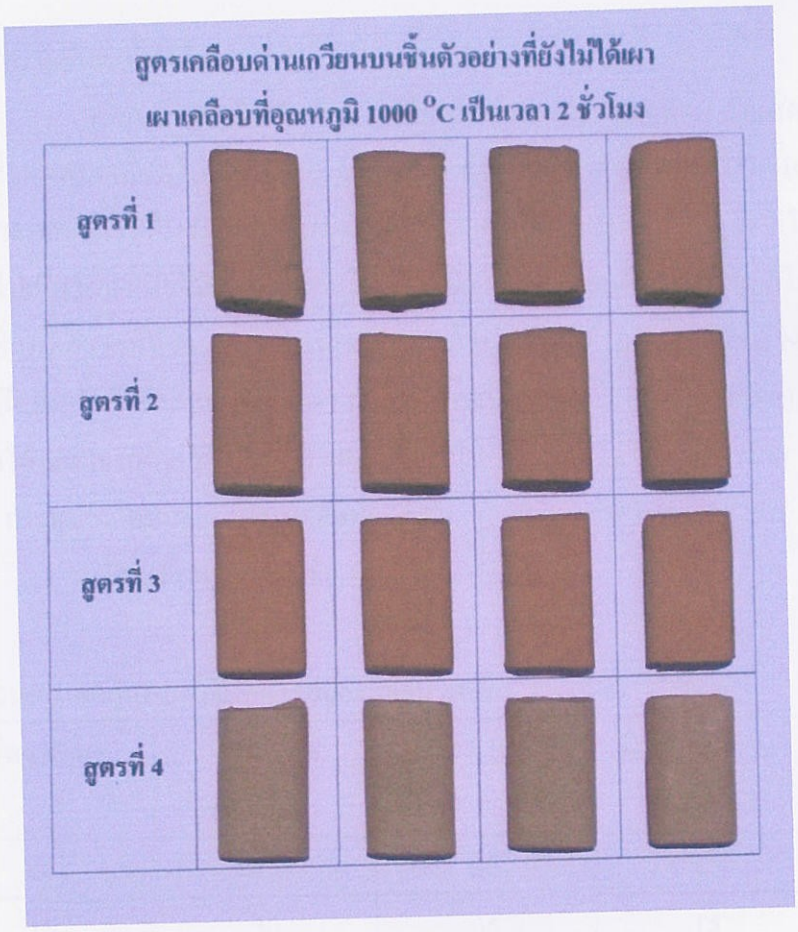
หมายเหตุ : * คือเนื้อดินปั้นด่านเกวียนอบแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช

ผลการทดลอง

รูปที่ 2.1 และ 2.2 แสดงเคลือบสูตรที่ 1-4 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit และยังไม่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบตามลำดับ จากรูปจะเห็นได้ว่าไม่เกิดเคลือบที่ผิวของชิ้นตัวอย่างทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าตอนที่ใช้สูตรผสมนี้ทำเนื้อดินปั้นพิเศษที่มีผิวเป็นเคลือบในตัวนั้น เวลาชิ้นตัวอย่างแห้งส่วนผสมของฟริตและโซดาแอชจำนวนมากซึมมาสู่ที่ผิวของชิ้นตัวอย่าง จึงทำให้เวลาเผาชิ้นตัวอย่างเกิดเคลือบขึ้น แต่เวลานำมาผสมเป็นเคลือบนั้นมีฟริตและโซดาแอชซึมออกมาสู่ผิวของชิ้นตัวอย่างน้อยเกินไปจึงไม่เกิดผิวเคลือบบนชิ้นตัวอย่าง ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเพิ่มวัตถุดิบที่จะหลอมตัวให้เกิดเนื้อเป็นแก้วเข้าไปในสูตรส่วนผสมของเคลือบ อนึ่งอาจจะนำเคลือบสูตรที่ 1-4 ไปใช้ทำเป็นเอ็นโกรบ (engobe) ได้



รูปที่ 2.1 สูตรเคลือบด่านเกวียน 1-4 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า



รูปที่ 2.2 สูตรเคลือบด่านเกวียน 1-4 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000˚C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

2.2 การทดลองที่ 2

จุดประสงค์

เพื่อปรับปรุงสูตรผสมให้หลอมตัวเป็นแก้ว

ความเป็นมา

สูตรผสมในการทดลองที่ 1 ยังไม่หลอมตัวเป็นแก้วบนผิวชิ้นงานจึงปรับปรุงสูตรส่วนผสมเคลือบเพื่อให้สุกตัวเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1000˚C

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับชุบเคลือบ

เหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.1

2. การเตรียมน้ำเคลือบ

เหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.2 โดยใช้ส่วนผสมของเคลือบ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 จากตารางจะเห็นได้ว่าส่วนผสมเคลือบในการทดลองนี้ประกอบด้วยวัตถุดิบตัวใหม่คือ TOP-BOR ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักเป็น B_2O_3 ดังแสดงในภาคผนวก TOP-BOR เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมไม้ยางพารา ใช้เติมลงไปเพื่อรักษาเนื้อไม้ ซื้อมาจากบริษัท อัพบิว เคมีคอล อินดัสทรี จำกัด กิโลกรัมละ 38 บาท (ยังไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม) วิเคราะห์ด้วย X-ray fluorescence แล้วประกอบด้วย B_2O_3 80 %; Na_2O 14 % และอื่น ๆ อีก 6 % โดยมีสมบัติเป็นทั้งตัวช่วยหลอม (Flux) และมีความเป็นเนื้อแก้ว (Glass former) สามารถนำไปใช้กับเคลือบที่อุณหภูมิต่ำได้ นอกจากนี้เคลือบในการทดลองนี้ยังประกอบด้วยโดโลไมท์อีกด้วย

3. การชุบเคลือบและการเผาเคลือบ

เหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.3

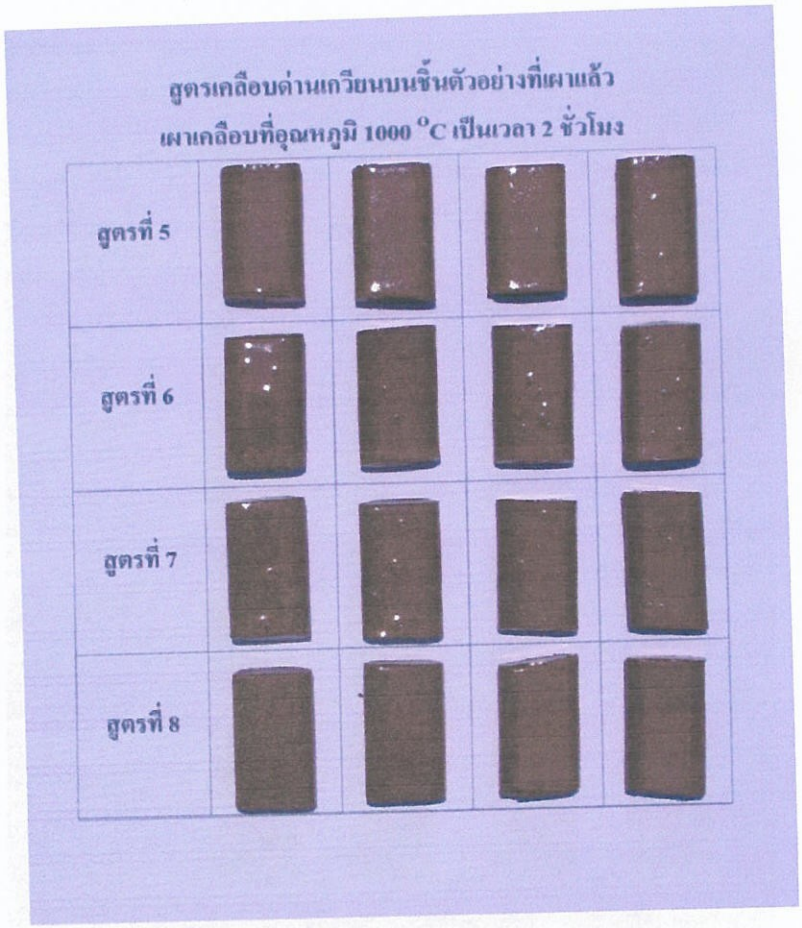
ตารางที่ 2.2 สูตรส่วนผสมเคลือบสูตรที่ 5-8 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

วัตถุดิบ / สูตรที่	ฟริต CG466	โซดาแอช (Na_2CO_3)	TOP-BOR	ดินด่านเกวียน* (DK)	โดโลไมท์ (Dolomite)
5	20	30	30	15	5
6	15	30	35	15	5
7	10	30	40	15	5
8	5	30	45	15	5

หมายเหตุ : * คือเนื้อดินปั้นด่านเกวียนอบแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช

ผลการทดลอง

รูปที่ 2.3 และ 2.4 แสดงเคลือบสูตรที่ 5-8 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit และยังไม่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่าเคลือบสูตรที่มี TOP-BOR มีความเป็นแก้วมากขึ้นตามปริมาณของ TOP-BOR ที่ใส่เข้าไปในส่วนผสม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นตัวอย่างที่เผากับไม่เผา biscuit จะเห็นว่าเคลือบบนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบบางส่วนขาดหายไปลักษณะเหมือนเคลือบไม่ติดอาจจะเป็นเพราะว่าน้ำเคลือบบางส่วนถูกชิ้นตัวอย่างดูดซับเข้าไป ทำให้เมื่อนำไปเผาจึงไม่มีเคลือบติดอยู่



รูปที่ 2.3 สูตรเคลือบด่านเกวียน 5-8 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.4 สูตรเคลือบด่านเกวียน 5-8 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000˚C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

2.3 การทดลองที่ 3

จุดประสงค์

เพื่อปรับปรุงสูตรเคลือบและลดการรานตัว

ความเป็นมา

เคลือบที่ได้จากการทดลองที่ 2 ยังมีไม่มากพอ นอกจากนี้ต้องการแก้ไขรอยรานของเคลือบด้วย จึงปรับปรุงส่วนผสมเคลือบในการทดลองที่ 2 ด้วยการเติมทรายบด (Quartz) และเพิ่มขี้เถ้ารวมด่านเกวียน (DK Ash) เผาที่เตาไฟฟ้าสีเทา Carbolite อุณหภูมิ 1000˚C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับชุบเคลือบ

เหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.1

2. การเตรียมน้ำเคลือบ

เหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.2 โดยใช้ส่วนผสมของเคลือบ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 จากตารางจะเห็นว่าในการทดลองนี้มีการเติมทรายบด ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นซิลิกา (SiO_2) เข้าไปด้วย ทั้งนี้เพราะว่าซิลิกามีสมบัติในการเป็นเนื้อแก้วและลดการรานตัวของเคลือบได้ นอกจากนี้มีการเติมขี้เถ้ารวมซึ่งเป็นขี้เถ้ารวมที่ได้จากโรงงานผู้ประกอบการที่ด่านเกวียนเข้าไปด้วย เพราะขี้เถ้ารวมเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นและราคาถูก

ตารางที่ 2.3 สูตรส่วนผสมเคลือบสูตรที่ 9-20 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

วัตถุดิบ / สูตรที่	TOP-BOR	โซดาแอช (Na_2CO_3)	ฟริต CG466	ทรายบด (Quartz)	ขี้เถ้ารวม (DK Ash)	ดินด่านเกวียน (DK)*	โดโลไมท์
9	45	25	5	5	5	15	-
10	45	20	5	5	10	15	-
11	45	15	5	5	15	15	-
12	45	10	5	5	20	15	-
13	45	5	5	5	20	20	-
14	45	-	5	5	20	25	-
15	45	5	-	5	20	25	-
16	45	5	5	-	20	25	-
17	45	10	-	-	20	25	-
18	45	-	10	-	20	25	-
19	45	-	-	10	20	25	-
20	45	-	-	-	20	25	10

หมายเหตุ : * คือเนื้อดินปั้นด่านเกวียนอบแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช

3. การชุบเคลือบและการเผาเคลือบ

เหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.3

ผลการทดลอง

รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะชิ้นตัวอย่างที่ชุบเคลือบสูตร 9-20 เสร็จ ที่ปล่อยให้แห้งแล้วประมาณ 2 ชั่วโมง และยังไม่ได้นำไปเผา สังเกตว่าเกิดรอยแตกระแหงบนผิวของชิ้นตัวอย่าง ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าวัตถุดิบที่ใช้ทำส่วนผสมเคลือบมีส่วนผสมที่มีความเหนียวน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อนำชิ้นตัวอย่างเหล่านี้ไปเผาที่

1000°C พบว่าถ้าชิ้นตัวอย่างที่นำมาชุบเคลือบเป็นชิ้นตัวอย่างประเภทที่เผา biscuit ก่อนนำไปชุบเคลือบ รอยแตกเหล่านี้จะผสานกันและหายไป เมื่อนำชิ้นตัวอย่างที่ชุบเคลือบแล้วไปเผาที่ 1000°C ดังรูปที่ 2.6-2.8 แต่สำหรับชิ้นตัวอย่างประเภทที่ไม่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ รอยแตกนี้ยังคงติดอยู่ ถึงแม้นจะนำชิ้นตัวอย่างไปเผาที่ 1000°C แล้วก็ตาม ดังรูปที่ 2.9-2.11

หลังจากนำเคลือบไปเผาที่ 1000°C แบ่งผลการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ 1) ผลการทดลองบนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ 2) ผลการทดลองบนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ

ส่วนที่ 1 ผลการทดลองบนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ แสดงดังรูปที่ 2.6-2.8 จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อนำชิ้นตัวอย่างไปเผาที่ 1000°C แล้วชิ้นงานส่วนใหญ่มีเคลือบเป็นแก้วสุกตัวผิวมัน ซึ่งเมื่อพิจารณาในรายละเอียด จะกล่าวได้ดังนี้

1.1 สำหรับสูตรที่ 9-12 ซึ่งเป็นการเติมทรายบด 5 % และขี้เถ้ารวม 5-20 % เข้าไปแทนที่โซดาแอช 5-20 % และโดโลไมท์ 5 % ในเคลือบสูตรที่ 8 จะเห็นได้ว่าสูตรที่ 9-12 มีลักษณะใสสุกตัวและรานตัวเหมือนกับสูตรที่ 8 แสดงว่าสามารถแทนที่โซดาแอชและโดโลไมท์ของเคลือบในสูตรที่ 8 ได้ โดยที่ยังคงได้เคลือบที่สุกตัวเป็นแก้วอยู่ อย่างไรก็ดีจะเห็นว่าสูตรที่ 11 และ 12 บางชิ้นเริ่มมีฝ้าขาว ๆ ที่ผิวแต่ไม่มากนักแสดงว่าการแทนที่โซดาแอชและโดโลไมท์ด้วยขี้เถ้ารวมและทรายบดในปริมาณมากเกินไปจะทำให้วัตถุดิบบางตัวหลอมตัวไม่หมดดีจึงปรากฏเป็นฝ้าขาว ๆ ให้เห็น

1.2 สูตรที่ 13 เป็นการเติมทรายบด 5 % ขี้เถ้ารวม 20 % และดินด่านเกวียนบด 5 % เข้าไปแทนที่โซดาแอช 25 % และโดโลไมท์ 5 % ในเคลือบสูตรที่ 8 จะเห็นว่าชิ้นงานสูตร 13 มีผิวเป็นเคลือบใสที่มีฝ้าขุ่น ๆ อยู่บนผิวอย่างเห็นได้ชัด

1.3 สูตรที่ 14 เป็นการแทนที่โซดาแอช 5% ในสูตรที่ 13 ด้วยดินด่านเกวียนที่อบและบดแล้ว จะเห็นว่าสูตรที่ 14 เป็นเคลือบทึบสีขาวขุ่น มีบางบริเวณเป็นจุด ๆ ที่เคลือบไม่ติดซึ่งไม่แน่ชัดว่าเกิดจากการหดตัวของเคลือบหรือฟองอากาศ สาเหตุที่สูตรนี้มีสีขาวขุ่นทึบแสงอาจจะเป็นเพราะว่าสูตรนี้ไม่มีโซดาแอชอยู่เลย จึงไม่มีตัวช่วยลดอุณหภูมิ (Flux) ชนิดที่แรงๆ ไปช่วยกัดหรือละลายผลึกของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ในเคลือบ

1.4 สูตรที่ 15 เกิดจากการแทนที่ฟริต CG466 5 % ในสูตรที่ 13 ด้วยดินด่านเกวียนที่อบและบดแล้ว 5 % และสูตรที่ 16 เป็นการแทนที่ทรายบด 5 % ในสูตรที่ 13 ด้วยดินด่านเกวียนที่อบและบดแล้ว 5 % จะเห็นว่าเคลือบสูตรที่ 15 และ 16 มีลักษณะไม่แตกต่างจากสูตรที่ 13 มากนัก ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะทั้งสองสูตรมีส่วนผสมแตกต่างจากสูตร 13 ไม่มาก

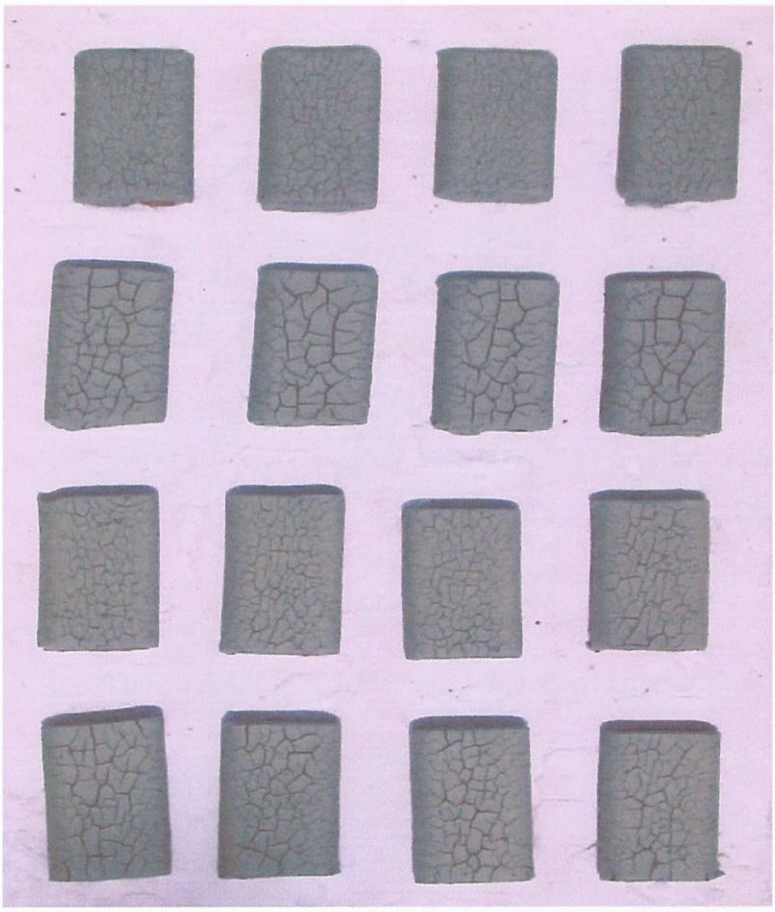
1.5 เคลือบสูตรที่ 13-16 มีการรานตัวน้อยทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะเคลือบกลุ่มนี้มีโซดาแอชในส่วนผสมน้อย การมีโซดาแอชอยู่ในเคลือบจะทำให้เคลือบมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวมากขึ้นจึงเป็นเหตุให้เคลือบรานได้

1.6 สูตรที่ 17 เป็นการแทนที่ฟริต CG466 5 % และทรายบด 5 % ในสูตรที่ 12 ด้วยดินด่านเกวียนที่อบและบดแล้ว 10 % จะเห็นได้ว่าเคลือบสูตรนี้มีลักษณะสุกตัว ใส ผิวเป็นมันและแตกรานคล้ายกับเคลือบสูตรที่ 8-12 เคลือบสูตรที่ 17 น่าจะมีราคาถูกกว่าเคลือบสูตรอื่น ที่ใสสุกตัวแบบเดียวกันเพราะเคลือบสูตรนี้เป็นสูตรที่มีการลดวัตถุดิบที่มีราคาแพงออกไปมากที่สุด

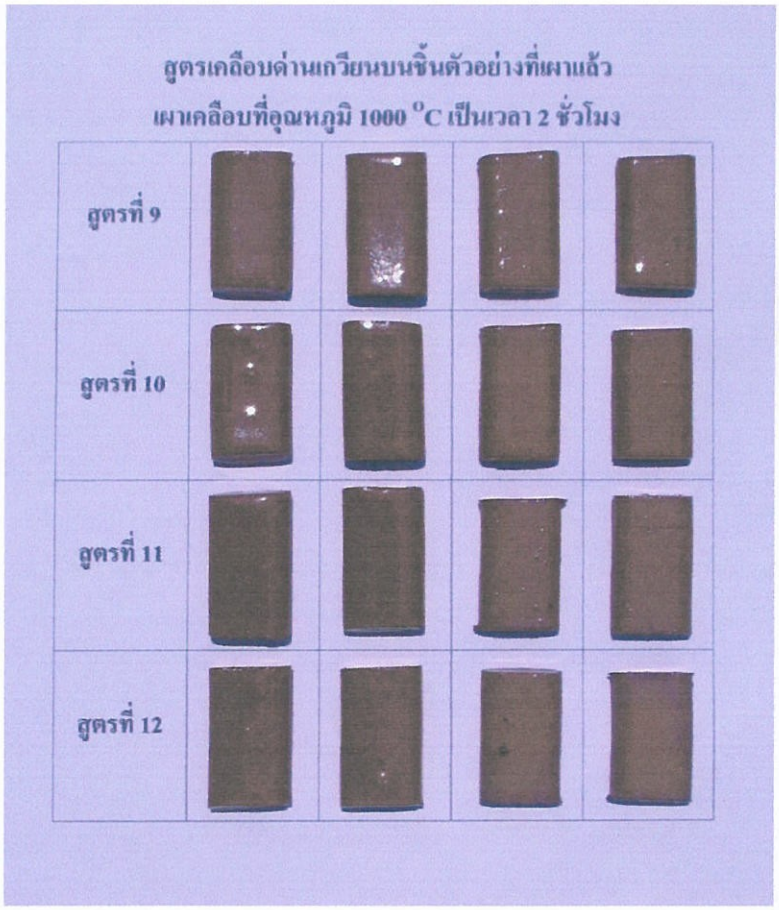
1.7 สูตรที่ 18-20 เป็นสูตรที่มีส่วนผสมคล้ายๆ กับสูตรที่ 17 กล่าวคือ สูตรที่ 18, 19 และ 20 เป็นการแทนที่โซดาแอช 10 % ในสูตรที่ 17 ด้วยฟริต CG466 10 %, ทรายบด 10 % และโดโลไมท์ 10 % ตามลำดับ จะเห็นว่าได้เคลือบสูตรที่ 18-20 เป็นเคลือบทึบสีขาวขุ่น โดยที่เคลือบสูตรที่ 19 เป็นเคลือบมีผิวเรียบ ส่วนสูตรที่ 18 และ 20 เป็นเคลือบที่มีบางบริเวณเป็นจุด ๆ ที่เคลือบไม่ติดเหมือนกับเคลือบสูตรที่ 14 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ 14 แล้วจะเห็นว่าทั้ง 4 สูตรเป็นเคลือบที่ไม่มีโซดาแอชเป็นส่วนผสมอยู่เลย แสดงว่าโซดาแอชน่าจะมีส่วนสำคัญที่เป็นตัวทำละลายผลึกในเคลือบทำให้เคลือบใส เมื่อไม่มีโซดาแอชเคลือบเหล่านี้จึงทึบแสง

1.8 เคลือบสูตรที่ 9-12 และ 17 เกิดการรานตัว (crazing) ขณะที่เคลือบสูตรที่ 13-16 และ 18-20 ไม่เกิดการรานตัวเลย ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าเคลือบสูตรที่ 13-16 และ 18-20 มีโซดาแอชเป็นส่วนผสมไม่ถึง 5 % เป็นที่ทราบดีว่าโซดาแอชเป็นส่วนผสมที่ทำให้เคลือบมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเคลือบสูง การมีโซดาแอชเป็นส่วนผสมมากๆ จะทำให้เกิดความเค้นดึง (tensile stress) ในเคลือบมากจึงทำให้เคลือบเกิดการราน

ส่วนที่ 2 ผลการทดลองบนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ แสดงดังรูปที่ 2.9-2.11 จะเห็นว่าเคลือบส่วนใหญ่จะแตกระแหง บางสูตรปริแตกหลุดร่อนออกไปจากผิวชิ้นตัวอย่าง และบางสูตรถึงกับทำให้ชิ้นตัวอย่างแตกร้าว จนไม่น่าจะนำมาใช้ได้ สันนิฐานว่าตำหนิเหล่านี้น่าจะเกิดจากการที่ชิ้นตัวอย่างยังไม่ผ่านการเผา biscuit มีความสามารถในการดูดซึมน้ำมาก เมื่อนำชิ้นตัวอย่างเหล่านี้มาชุบเคลือบชิ้นตัวอย่างก็จะดูดซึมเอาน้ำเคลือบซึ่งมีตัวช่วยในการหลอม (flux) ที่ละลายน้ำปนอยู่จำนวนมากเข้าไป ทำให้ผิวชิ้นตัวอย่างมีส่วนผสมแตกต่างจากเนื้อข้างในมาก ซึ่งจะส่งผลให้สัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ผิวชิ้นตัวอย่างกับข้างในแตกต่างกันมาก เมื่อนำไปเผาชิ้นตัวอย่างจึงแตกและเสียหายจนไม่น่าจะนำไปใช้ได้



รูปที่ 2.5 ลักษณะรอยแตกของเคลือบหลังการชุบเคลือบ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 2.6 สูตรเคลือบด่านเกวียน 9-12 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.7 สูตรเคลือบด่านเกวียน 13-16 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้ว เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.8 สูตรเคลือบด่านเกวียน 17-20 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้ว เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000˚C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.9 สูตรเคลือบด่านเกวียน 9-12 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.10 สูตรเคลือบด่านเกวียน 13-16 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000˚C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.11 สูตรเคลือบด่านเกวียน 17-20 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

2.4 การทดลองที่ 4

จุดประสงค์

เพื่อหาสูตรเคลือบที่ใหม่ ๆ เพิ่มขึ้นอีก

ความเป็นมา

จากการทดลองที่ผ่านมาได้เคลือบที่เผาสุกตัวที่ 1000°C แล้วอย่างไรก็ตามต้องการหาสูตรใหม่ ๆ เพิ่มขึ้นอีกเพื่อเป็นทางเลือกให้แก่ผู้นำไปใช้มากขึ้น

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับชุบเคลือบ

เหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.1

2. การเตรียมน้ำเคลือบ

เหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.2 โดยใช้ส่วนผสมของเคลือบ ดังแสดงในตารางที่ 2.4 จาก

ตารางจะเห็นว่า

1. สูตรที่ 21-24 ได้จากการแทนที่ขี้เถ้ารวมในสูตรที่ 14 ด้วยฟริต CG466
2. สูตรที่ 25-26 ได้จากการแทนที่ดินด่านเกวียนที่อบและบดแล้วบางส่วนในสูตรที่ 14 ด้วย

ทรายบดและฟริต CG466

3. สูตรที่ 27-28 ได้จากการแทนที่ดินด่านเกวียนที่อบและบดแล้วบางส่วนในสูตรที่ 18 ด้วย

ฟริต CG466

4. สูตรที่ 29-30 ได้จากการแทนที่ดินด่านเกวียนที่อบและบดแล้วบางส่วนในสูตรที่ 19 ด้วย

ทรายบด

5. สูตรที่ 31-32 ได้จากการแทนที่ดินด่านเกวียนที่อบและบดแล้วบางส่วนในสูตรที่ 20 ด้วย

โดโลไมท์

6. สูตรที่ 33 ได้จากการแทนที่ขี้เถ้ารวมบางส่วนในสูตรที่ 25 ด้วยทรายบด
7. สูตรที่ 34 ได้จากการแทนที่ขี้เถ้ารวมบางส่วนในสูตรที่ 26 ด้วยทรายบด
8. สูตรที่ 35, 37 และ 39 ได้จากการแทนที่ขี้เถ้ารวมบางส่วนในสูตรที่ 25 ด้วยทรายบดและฟริต

CG 466

9. สูตรที่ 36, 38 และ 40 ได้จากการแทนที่ขี้เถ้ารวมบางส่วนในสูตรที่ 26 ด้วยทรายบดและฟริต

CG 466

3. การชุบเคลือบและการเผาเคลือบ

เหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.3

ตารางที่ 2.4 สูตรส่วนผสมเคลือบสูตรที่ 21-40 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

วัตถุดิบ / สูตรที่	TOP-BOR	ฟริต CG466	ทรายบด (Quartz)	โดโลไมท์ (Dolomite)	ขี้เถ้ารวม (DK Ash)	ดินด่านเกวียน* (DK)
21	45	10	5	-	15	25
22	45	15	5	-	10	25
23	45	20	5	-	5	25
24	45	25	5	-	-	25
25	45	10	10	-	20	15
26	45	10	15	-	20	10
27	45	20	-	-	20	15
28	45	25	-	-	20	10
29	45	-	20	-	20	15
30	45	-	25	-	20	10
31	45	-	-	20	20	15
32	45	-	-	25	20	10
33	45	10	15	-	15	15
34	45	10	20	-	15	10
35	45	15	15	-	10	15
36	45	15	20	-	10	10
37	45	20	15	-	5	15
38	45	20	20	-	5	10
39	45	25	15	-	-	15
40	45	25	20	-	-	10

หมายเหตุ : * คือเนื้อดินปั้นด่านเกวียนอบแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช

ผลการทดลอง

แบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ผลการทดลองบนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ 2) ผลการทดลองบนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ

ส่วนที่ 1 ผลการทดลองบนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ แสดงดังรูปที่ 2.12-2.16 จากรูปอาจจะกล่าวได้ดังนี้

1.1 เคลือบสูตรที่ 21-24 จะเห็นว่าสีของเคลือบค่อย ๆ เปลี่ยนตามปริมาณของขี้เถ้ารวมที่ลดลงและฟริต CG466 ที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือเคลือบค่อย ๆ เปลี่ยนจากที่เป็นฟอง ๆ สีขาวอมฟ้าไปจนเป็นเคลือบใสผิวเรียบเป็นมันติดบนผิวกระเบื้องทดสอบเคลือบได้ดี ดังรูปที่ 2.12 ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าฟริต CG466 เป็นตัวช่วยหลอมที่ดีกว่าขี้เถ้ารวม อนึ่งจะเห็นได้ว่า <u>เคลือบที่เหมาะกับการนำไปใช้งานน่าจะเป็นเคลือบสูตรที่ 24</u> ซึ่งเป็นเคลือบที่มีผิวมันไม่มีฟองอากาศ ส่วนเคลือบสูตรที่ 21-23 เป็นเคลือบที่มีฟองหรือหดตัวมากจนไม่น่าจะนำไปใช้ได้

1.2 เคลือบสูตรที่ 25-26 จะเห็นว่าสีของเคลือบค่อย ๆ เปลี่ยนตามปริมาณของดินด่านเกวียนที่อบและบดแล้วที่ลดลงและทรายบดที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือเคลือบจะค่อย ๆ เปลี่ยนจากสีขาวขุ่นเปลี่ยนเป็นสีขาวทึบและเรียบเนียนกว่าเดิม ดังรูปที่ 2.13 ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะทรายบดที่เติมเข้าไปทำให้เคลือบมีความเป็นเนื้อแก้วมากขึ้น จึงทำให้เคลือบมีลักษณะเรียบเนียน อย่างไรก็ตามเคลือบทั้ง 2 สูตร ไม่ติดบนชิ้นตัวอย่างอยู่เล็กน้อย

1.3 เคลือบสูตรที่ 27-28 จะเห็นว่าเคลือบสูตรนี้มีสีขาวหม่นผิวเรียบเนียน แสดงว่าการลดดินด่านเกวียนพร้อม ๆ กับการเพิ่มฟริต CG466 ทำให้เคลือบผิวเนียนและติดผิวชิ้นตัวอย่างได้ดีขึ้น ดังรูปที่ 2.13 อนึ่งจะเห็นว่า<u>เคลือบสูตรที่ 28 มีลักษณะดีพอที่จะนำไปใช้ได้</u>

1.4 เคลือบสูตรที่ 39-30 พบว่าเคลือบสูตรนี้มีลักษณะสีขาวทึบผิวเรียบแต่มีฟองเล็กน้อย ดังรูปที่ 2.14 แสดงว่าการลดดินด่านเกวียนพร้อม ๆ กับการเพิ่มทรายบด จะทำให้เคลือบที่ได้มีฟองน้อยลงผิวเรียบเนียนขึ้น อนึ่ง<u>เคลือบสูตรที่ 30 มีลักษณะดีน่าจะนำไปใช้ได้</u>

1.5 เคลือบสูตรที่ 31-32 เคลือบสองสูตรนี้มีผิวเรียบสีเหลืองเข้มผิวด้านไม่เป็นมัน ดังรูปที่ 2.14 คาดว่าสีเหลืองน่าจะมาจากโดโลไมท์ที่เติมลงไปในสูตรนี้ หากเติมตัวช่วยหลอมลงไป อาจจะทำให้เคลือบหลอมเป็นแก้วติดผิวกระเบื้องทดสอบเคลือบได้ดีกว่านี้

1.6 เคลือบสูตรที่ 33-34 พบว่าเคลือบทั้งสองสูตรนี้มีลักษณะเป็นสีขาวทึบ ดังรูปที่ 2.15 คล้าย ๆ กับเคลือบสูตรที่ 25-26 และ 29-30 อนึ่งเคลือบสูตรที่ 34 มีผิวเรียบกว่าสูตรที่ 33 เล็กน้อย สันนิฐานว่าอาจจะเป็นเพราะสูตรที่ 34 มีดินด่านเกวียนน้อยกว่าและมีทรายบดมากกว่า

1.7 เคลือบสูตรที่ 35-36 จะเห็นว่าเคลือบสูตรที่ 35 เป็นเคลือบหดสีฟ้าอมขาวไม่แผติดเต็มชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบ <u>ส่วนเคลือบสูตรที่ 36 มีผิวสีขาวแตกราน ผิวด้าน เหมาะนำไปใช้ทำเคลือบที่มี Texture</u>

พิเศษได้ เคลือบทั้งสองสูตรแตกต่างกันตรงที่เคลือบสูตรที่ 36 มีดินด่านเกวียนน้อยกว่าและมีทรายบดมากกว่าเคลือบสูตรที่ 35

1.8 เคลือบสูตรที่ 37-40 พบว่าเคลือบสูตรที่ 37 มีลักษณะหดตัว (Crawling) เป็นลวดลายที่สวยงาม สีเหลืองทึบน่าจะนำไปใช้ทำเคลือบที่มี Texture สวย ๆ ได้ ส่วนสูตรที่ 38-40 เป็นเคลือบที่ผิวเรียบเนียนเป็นมัน สีแตกต่างกันโดยที่สูตร 38 มีผิวสีขาวขุ่น ขณะที่สูตร 39 และ 40 มีผิวโปร่งแสงมากกว่า ทั้งนี้อาจจะเป็นผลจากการลดขี้เถ้ารวมและเพิ่มฟริต CG466 จึงช่วยในการหลอมตัวของวัตถุดิบในเคลือบมากขึ้น เคลือบทั้ง 4 สูตรในกลุ่มนี้น่าจะนำไปใช้งานได้

ส่วนที่ 2 ผลการทดลองบนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ แสดงดังรูปที่ 2.17-2.21 จากรูปจะเห็นได้ว่าเคลือบทุกสูตร (ยกเว้นสูตรที่ 24 สูตรเดียว) มีตำหนิต่าง ๆ มาก บางสูตรก็เป็นฟองมาก บางสูตรก็ลอกหลุด แตกร้าว ไม่ติดบนผิวชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบจนไม่น่าจะนำไปใช้ได้เลย มีเคลือบสูตรที่ 24 เพียงสูตรเดียวที่น่าจะนำไปใช้ได้จริง

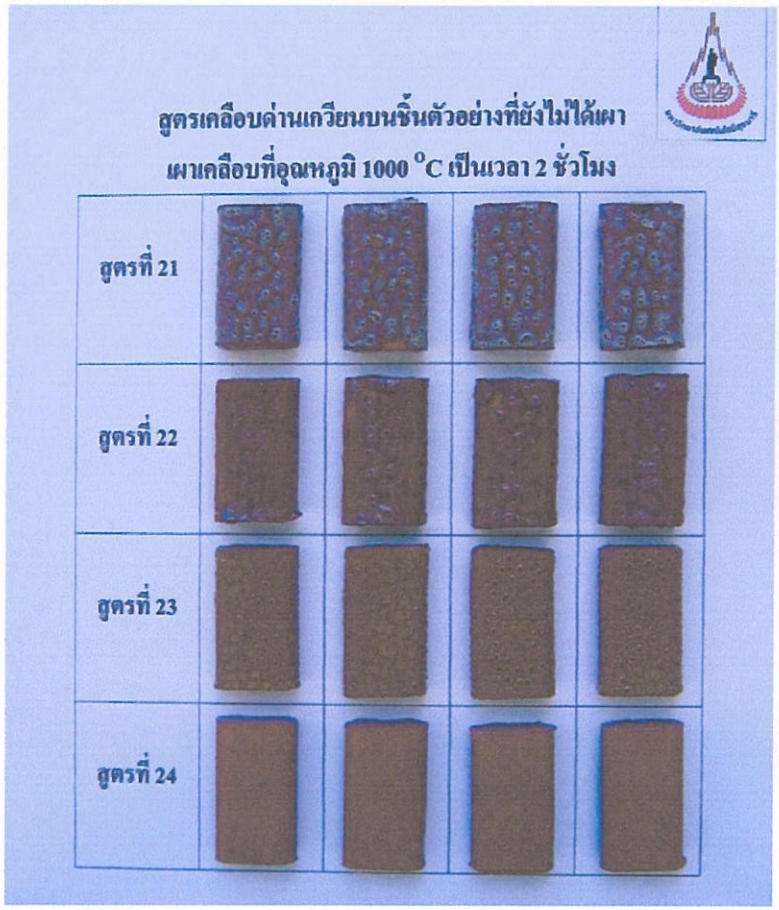
รูปที่ 2.12 สูตรเคลือบด่านเกวียน 21-24 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.13 สูตรเคลือบด่านเกวียน 25-28 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000˚C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.14 สูตรเคลือบด่านเกวียน 29-32 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.15 สูตรเคลือบด่านเกวียน 33-36 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000˚C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.16 สูตรเคลือบด่านเกวียน 37-40 บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า



รูปที่ 2.17 สูตรเคลือบด่านเกวียน 21-24 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.18 สูตรเคลือบด่านเกวียน 25-28 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.19 สูตรเคลือบด่านเกวียน 29-32 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.20 สูตรเคลือบด่านเกวียน 33-36 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.21 สูตรเคลือบด่านเกวียน 37-40 บนชิ้นตัวอย่างที่ยังไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

2.5 การทดลองที่ 5

จุดประสงค์

ลดเวลาในการบดเคลือบลงจากเดิม 24 ชั่วโมง เหลือเพียง 3 ชั่วโมง และลองกรองเคลือบก่อนนำไปใช้

ความเป็นมา

1. การบด 24 ชั่วโมง ใช้เวลานานมากจึงทดลองลดเวลาบดให้เหลือน้อยลง
2. ได้รับคำแนะนำจากนักวิจัยที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ ให้กรองน้ำเคลือบหลังจากบดแล้วก่อนนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับชุบเคลือบ

เหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.1 แต่จากผลการทดลองที่ 4 จะเห็นว่าชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบที่ไม่ผ่านการเผา biscuit ไม่ได้ผลดี การทดลองนี้จึงไม่ใช้ชิ้นตัวอย่างประเภทนี้

2. การเตรียมน้ำเคลือบ

เตรียมเคลือบสูตรที่ 21-40 ใหม่อีกครั้งด้วยกรรมวิธีเหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.2 แต่ลดเวลาในการบดจาก 24 ชั่วโมง เหลือเพียง 3 ชั่วโมง และร่อนเคลือบที่บดแล้วผ่านตะแกรง 200 เมช แยกกากค้างตะแกรงไปอบให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนักไว้และนำน้ำเคลือบที่ผ่านการกรองมาเทลงในโกร่งบดสาร บดผสมให้เข้ากัน

3. การชุบเคลือบและการเผาเคลือบ

เหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.3 แต่ครั้งนี้เปลี่ยนเป็นชุบเคลือบ 2 ครั้ง ครั้งแรกชุบ 10 วินาที แล้วปล่อยให้แห้ง 5 วินาที แล้วชุบเคลือบครั้งที่สอง 20 วินาที

ผลการทดลอง

ตารางที่ 2.5 แสดงน้ำหนักของกากค้างตะแกรงของน้ำเคลือบแต่ละสูตรจากตารางจะเห็นว่า % กากค้างตะแกรง ของสูตรเคลือบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.03 % ซึ่งน้อยมากแสดงว่าวัตถุดิบที่นำมาใช้ทำเคลือบมีความละเอียดดีพออยู่แล้วไม่จำเป็นต้องบด 24 ชั่วโมง สามารถลดเวลาบดให้เหลือ 3 ชั่วโมงได้

รูปที่ 2.22-2.26 แสดงเคลือบสูตรที่ 21-40 ที่บดผสม 3 ชั่วโมง และร่อนผ่านตะแกรง 200 เมช ก่อนนำไปเคลือบ เมื่อเทียบกับรูปที่ 2.12-2.16 จะเห็นว่าเคลือบทุกสูตรที่เตรียมโดยบดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีลักษณะแตกต่างจากที่บดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง อย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือโดยทั่วไปแล้วเคลือบที่บด 3 ชั่วโมง มีผิวเรียบและติดผิวกระเบื้องดีกว่า ไม่มี texture มากเท่าเคลือบที่บด 24 ชั่วโมง ที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดที่สุด คือ เคลือบสูตร 35-37 จะเห็นได้ว่าเคลือบที่บด 24 ชั่วโมง มี texture แปลก ๆ เช่น หดตัว ไม่ติดบนชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบ ฯลฯ แต่พอเปลี่ยนมาบด 3 ชั่วโมง กลับเป็นเคลือบผิวเรียบ ผิวมัน เคลือบติดบนชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบสวยงาม อาจจะกล่าวในรายละเอียดของเคลือบต่าง ๆ ในการทดลองนี้ได้ดังนี้

1. เคลือบสูตรที่ 21-24 จากรูปที่ 2.22 จะเห็นได้ว่าสีของเคลือบมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของขี้เถ้ารวมที่ลดลงและฟริต CG466 ที่เพิ่มขึ้น โดยที่เคลือบสูตรที่มีปริมาณขี้เถ้ารวมมากจะมีสีขาวแต่สูตรที่มีปริมาณขี้เถ้ารวมน้อยจะมีสีแดงปนขาว และสูตรที่ไม่มีขี้เถ้ารวมเลยจะมีสีแดงเข้มเหมือนสีของเนื้อดินด้านเกวียนที่ไม่มีเคลือบ <u>เคลือบทั้ง 4 สูตรนี้มีลักษณะน่าจะนำไปใช้งานได้</u>

2. เคลือบสูตรที่ 25-26 จากรูปที่ 2.23 จะเห็นว่าเคลือบทั้ง 2 สูตร มีสีขาวขุ่น โดยที่เคลือบสูตรที่ 26 มีจุดสีขาวบนเคลือบและมีบางส่วนไม่ติดบนชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบ

3. เคลือบสูตรที่ 27-28 มีสีขาวขุ่นและมีจุดสีขาวบนเนื้อเคลือบ ดังแสดงในรูปที่ 2.23

4. เคลือบสูตรที่ 29-30 จากรูปที่ 2.24 จะเห็นได้ว่าเคลือบทั้ง 2 สูตรนี้ มีสีขาวขุ่นผิวเรียบเนียนสวยงามกว่าเคลือบสูตรที่ 25-28 ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากการลดฟริต CG466 และเพิ่มทรายบดเข้าไปในสูตรที่

29-30 ทำให้ได้เคลือบที่มีลักษณะเคลือบเรียบเนียน มันวาว เหมาะกับการนำไปใช้งานได้ เคลือบทั้งสองสูตรนี้มีลักษณะดีน่าจะนำไปใช้งานได้

5. เคลือบสูตรที่ 31-32 จากรูปที่ 2.24 จะเห็นได้ว่าเคลือบทั้ง 2 สูตรนี้ มีสีเหลืองทองผิวเรียบ แต่ไม่มีความมันวาว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเคลือบทั้ง 2 สูตรนี้มีโดโลไมท์ เคลือบสูตรที่ 31 บางส่วนไม่ติดบนชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบและเคลือบสูตรที่ 32 มีลักษณะดีน่าจะนำไปใช้งานได้

6. เคลือบสูตรที่ 33-34 จากรูปที่ 2.25 จะเห็นได้ว่าเคลือบทั้ง 2 สูตรนี้ เป็นเคลือบสีขาวขุ่นผิวเรียบเป็นมันคล้ายกับสูตรที่ 25-26 ทั้งนี้เพราะว่าเคลือบสูตรนี้ได้จากการลดขี้เถ้ารวมในเคลือบสูตรที่ 25-26 แล้วเพิ่มทรายบดแทน ทำให้ได้สีเคลือบเป็นสีขาวทึบและสีขาวด้าน เนื่องจากปริมาณของซิลิกาที่เพิ่มขึ้น เคลือบทั้ง 2 สูตรนี้มีลักษณะดีเหมาะกับการนำไปใช้งานได้

7. เคลือบสูตรที่ 35-36 เคลือบทั้ง 2 สูตรนี้ เป็นเคลือบที่มีผิวเรียบมันสีขาวขุ่นมีลักษณะดีสามารถนำไปใช้งานได้ สาเหตุที่เคลือบทั้ง 2 สูตรนี้ มีผิวโปร่งแสงกว่าเคลือบสูตรที่ 33-34 อาจจะเป็นเพราะเคลือบสูตรนี้เกิดจากการแทนที่ขี้เถ้ารวมในเคลือบสูตรที่ 33-34 ด้วยฟริต CG466

8. เคลือบสูตรที่ 37-40 จากรูปที่ 2.26 จะเห็นว่าเคลือบทั้ง 4 สูตร เป็นเคลือบมันผิวเรียบใสทำให้เห็นเป็นสีของเนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่อยู่ข้างล่าง เคลือบชุดนี้เกิดจากการแทนที่ขี้เถ้ารวมในเคลือบสูตรที่ 35-36 ด้วยฟริต CG466 ซึ่งเป็นตัวช่วยหลอมที่ดี จึงทำให้เคลือบชุดนี้มีผิวที่เรียบเนียน มันวาว เหมาะกับการนำไปใช้งานอย่างยิ่ง

โดยสรุปแล้วจะเห็นว่าการลดเวลาในการบดเคลือบ การร่อนน้ำเคลือบผ่านตะแกรงและการเพิ่มการจุ่มเคลือบเป็น 2 ครั้ง มีผลทำให้เคลือบที่ได้มีลักษณะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เคลือบสูตรที่ 21-40 ที่ได้จากการทดลองที่ 4 และ 5 ที่ผ่านมามีหลายสูตรที่มีลักษณะดีสามารถสุกตัวได้ที่อุณหภูมิ 1000°C จึงนำสูตรเคลือบที่ 21-40 ไปจดอนุสิทธิบัตร ตามคำขอรับอนุสิทธิบัตร ดังแสดงในภาคผนวก ง.

ตารางที่ 2.5 เปอร์เซ็นต์กากที่ค้างตะแกรงของสูตรเคลือบที่ผ่านการบดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สูตร	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
นน.วัตถุดิบแห้ง (g)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
นน. ค้างตะแกรง (g)	0.018	0.026	0.008	0.007	0.022	0.064	0.010	0.001	0.129	0.102	0.001	0.003	0.085	0.102	0.068	0.088	0.069	0.041	0.100	0.268
นน. เคลือบ (g)	199	198	198	200	200	200	199	198	199	199	199	200	198	200	200	199	200	200	198	200
% กากค้างตะแกรง	0.009	0.013	0.004	0.004	0.011	0.032	0.005	0.001	0.065	0.051	0.001	0.002	0.043	0.051	0.034	0.044	0.035	0.021	0.051	0.134

เฉลี่ยเท่ากับ 0.03%

รูปที่ 2.22 สูตรเคลือบด่านเกวียน 21-24 บดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ร่อนผ่านตะแกรง 200 เมช บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.23 สูตรเคลือบด่านเกวียน 25-28 บดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ร่อนผ่านตะแกรง 200 เมช บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.24 สูตรเคลือบด่านเกวียน 29-32 บดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ร่อนผ่านตะแกรง 200 เมช บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000˚C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.25 สูตรเคลือบด่านเกวียน 33-36 บดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ร่อนผ่านตะแกรง 200 เมช บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.26 สูตรเคลือบด่านเกวียน 37-40 บดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ร่อนผ่านตะแกรง 200 เมช บนชิ้นตัวอย่างที่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้า

2.6 การทดลองที่ 6

จุดประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบการเผาเคลือบในเตาไฟฟ้าและการเผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน

ความเป็นมา

เพื่อทดสอบการนำเคลือบที่คิดค้นจากงานวิจัยนี้ไปใช้จริงจึงลองนำเคลือบที่ได้ไปเผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน โดยเลือกเคลือบที่มีลักษณะดีจากการทดลองที่ 2 และ 3 มาใช้

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับชุบเคลือบ

เหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.1 แต่ครั้งนี้เผาในเตาไฟฟ้า Nabertherm ดังในรูปที่ 2.27

รูปที่ 2.27 เตาเผาชิ้นงานสำหรับเผา biscuit

2. การเตรียมน้ำเคลือบ

ผสมเคลือบสูตรที่ 8, 11, 14, 15, 17 และ 19 ที่ได้จากการทดลองที่ 2 และ 3 ดังแสดงในตารางที่ 2.6 ด้วยวิธีเหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.2 สังเกตุว่าไม่ร่อนน้ำเคลือบผ่านตะแกรงหลังจากบดเคลือบ

ตารางที่ 2.6 ส่วนผสมของสูตรเคลือบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

วัตถุดิบ / สูตรที่	TOP-BOR	โซดาแอช (Na_2CO_3)	ฟริต CG466	ทรายบด (Quartz)	ขี้เถ้ารวม (DK Ash)	ดินด่านเกวียน (DK)*	โดโลไมท์
8	45	30	5	-	-	15	5
11	45	15	5	5	15	15	-
14	45	-	5	5	20	25	-
15	45	5	-	5	20	25	-
17	45	10	-	-	20	25	-
19	45	-	-	10	20	25	-

หมายเหตุ : * คือเนื้อดินปั้นด่านเกวียนอบแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช

3. การชุบเคลือบและการเผาเคลือบ

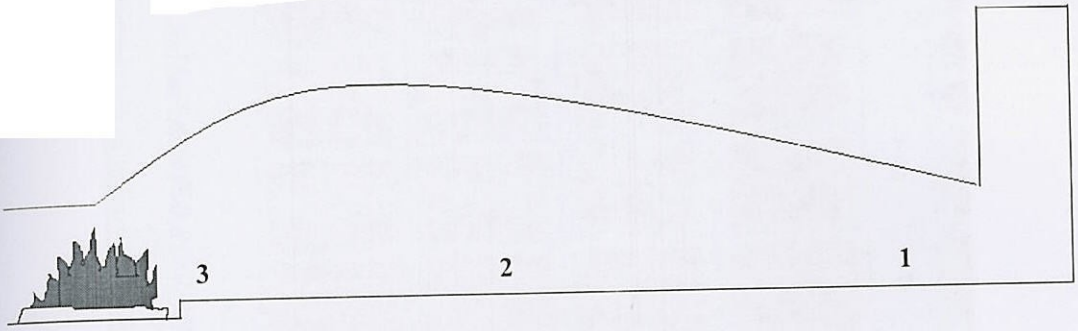
1. นำน้ำเคลือบที่ได้เทลงในโกร่งบดสารและเติมน้ำลงไปเพียงเล็กน้อยแล้วกวนผสมเพื่อให้ส่วนผสมและน้ำที่เติมลงไปเพียงเล็กน้อยเกิดการเข้ากันยิ่งขึ้น

2. นำชิ้นตัวอย่างสำหรับชุบเคลือบทั้งที่ผ่านการเผา biscuit และไม่ผ่านการเผา biscuit มาจุ่มเคลือบในน้ำเคลือบ

3. ปล่อยให้ชิ้นงานที่ชุบแล้วแห้งแล้วนำไปเผาโดยแบ่งไปเผาในเตาไฟฟ้าที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน

การเผาในเตาไฟฟ้าใช้สภาวะการเผาเหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.3 แต่ครั้งนี้เผาในเตาไฟฟ้าคนละลูก กล่าวคือครั้งนี้ใช้เตาไฟฟ้า Nabertherm ดังแสดงในรูปที่ 2.28 ส่วนที่เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียนเผาที่เตาของโรงงานคุณเมี้ยน ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา โดยแบ่งชิ้นตัวอย่างไปวางไว้ 3 จุด คือ จุดที่ 1 ไฟอ่อน หมายถึง ภายในเตาฟืนบริเวณอุณหภูมิต่ำที่สุด จุดที่ 2 ไฟกลาง หมายถึง ภายในเตาฟืนบริเวณอุณหภูมิปานกลาง จุดที่ 3 ไฟแรง หมายถึง ภายในเตาฟืนบริเวณอุณหภูมิสูงที่สุด แสดงดังรูปที่ 2.29

รูปที่ 2.28 เตาเผาไฟฟ้าที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



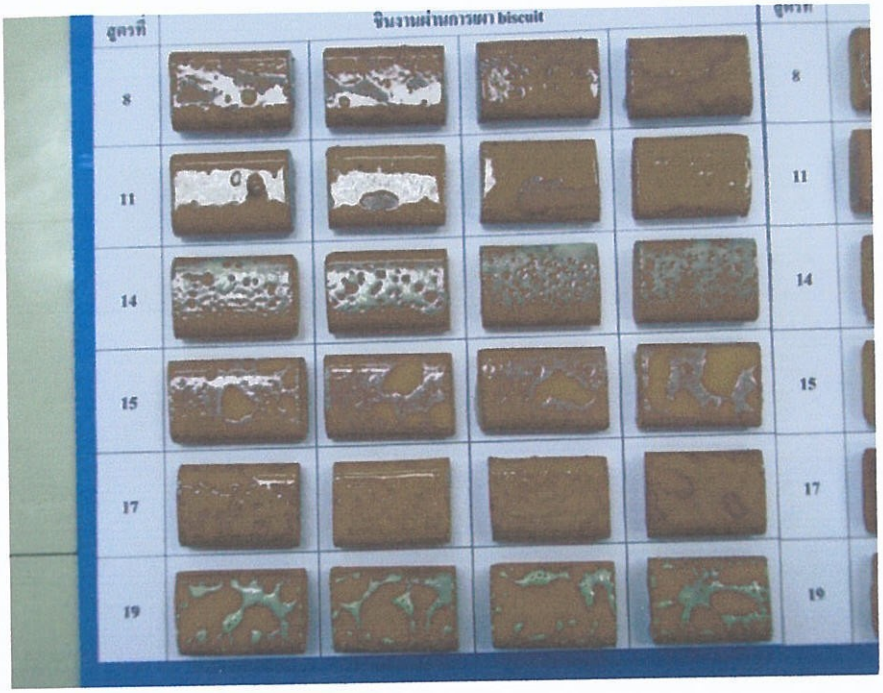
รูปที่ 2.29 จุดการวางเผาเคลือบในเตาเผาฟืนที่ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา จุดที่ 1 ไฟอ่อน เป็นบริเวณที่อุณหภูมิต่ำสุด จุดที่ 2 ไฟกลาง เป็นบริเวณที่อุณหภูมิปานกลาง จุดที่ 3 ไฟแรง เป็นบริเวณที่อุณหภูมิสูงสุด

ผลการทดลอง

1. รูปที่ 2.30 -2.31 แสดงเคลือบบนชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบที่ผ่านและไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนนำไปชุบเคลือบซึ่งเผาในเตาไฟฟ้า เมื่อเทียบกับเคลือบสูตรเดียวกันในการทดลองที่ 2 และ 3 จะเห็นว่ามีลักษณะแตกต่างกันมาก กล่าวคือเคลือบที่เผาในการทดลองนี้มีตำหนิมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจจะเกิดจากการทดลองนี้ใช้เตาไฟฟ้าคนละลูกกับที่ใช้ในการทดลองก่อน

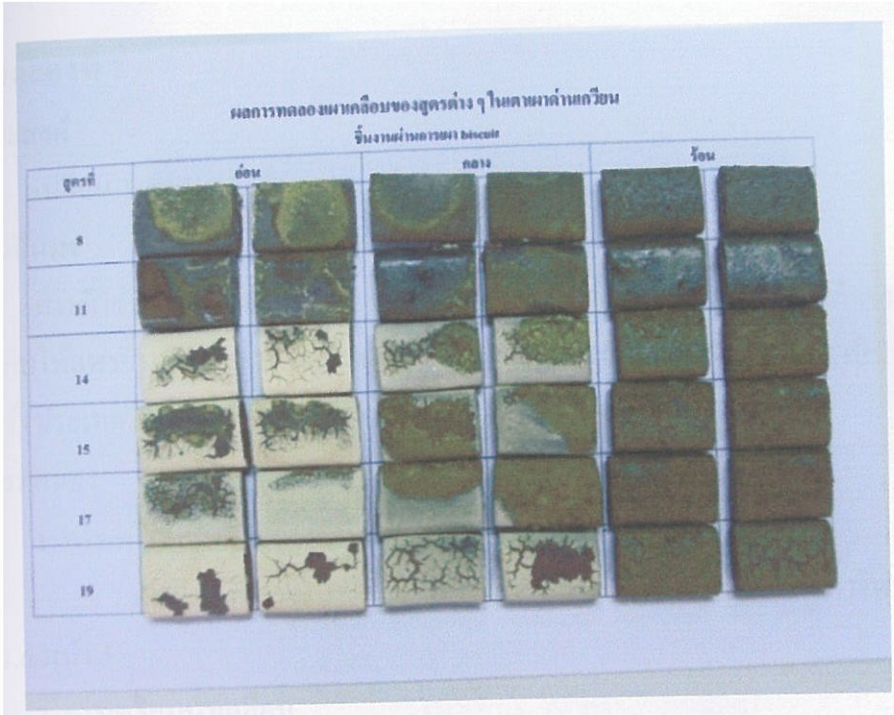
สังเกตุว่าเคลือบบนชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนนำไปชุบเคลือบ มีตำหนิต่าง ๆ มาก เช่น หดตัว ร่อนหลุด และไม่ติด จนไม่น่าจะนำไปใช้ได้

2. รูปที่ 2.32-2.33 แสดงเคลือบบนชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบที่ผ่านและไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนนำไปชุบเคลือบซึ่งเผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน จะเห็นว่าชิ้นตัวอย่างที่วางไว้ในบริเวณไฟอ่อนไม่สุกตัว ส่วนชิ้นตัวอย่างที่วางไว้ในบริเวณไฟกลางบางชิ้นมีผิวเป็นมันคล้ายกับว่าสุกตัว และชิ้นตัวอย่างที่วางไว้บริเวณไฟแรงเกือบทุกชิ้นมีผิวคล้าย ๆ ว่าสุกตัว อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าเคลือบทุกสูตรจะมีผิวหยาบ ซึ่งคาดว่าอาจจะเกิดจากฝุ่นหรือควันจากการเผาไหม้ของไม้ฟืนมาเกาะที่ผิวหน้า



รูปที่ 2.30 ชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบและหลังจากชุบเคลือบแล้วนำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 2.31 ชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบและหลังจากชุบเคลือบแล้วนำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 2.32 ชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบและหลังจากชุบเคลือบแล้วนำไปเผาในเตาฟืนที่ตำบลด่านเกวียน

รูปที่ 2.33 ชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบและหลังจากชุบเคลือบแล้วนำไปเผาในเตาฟืนที่ตำบลด่านเกวียน

2.7 การทดลองที่ 7

จุดประสงค์

เปลี่ยน TOP-BOR เป็นบอแรกซ์ (Borax)

ความเป็นมา

การที่ใช้วัตถุดิบตัวเดียวอาจจะเกิดปัญหาเมื่อนำเคลือบไปใช้ ซึ่งอาจจะเกิดจากตัวแทนจำหน่ายปรับราคาวัตถุดิบให้แพงขึ้นหรือของขาดตลาดได้ การทดลองนี้จึงลองเปลี่ยน TOP-BOR เป็นบอแรกซ์ที่ซื้อจากบริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับชุบเคลือบ

เหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.1 สังเกตุว่าครั้งนี้เผา biscuit ในเตาไฟฟ้าสีเทา Carbolite แสดงดังรูปที่ 1.6 หน้า 5

2. การเตรียมน้ำเคลือบ

เตรียมน้ำเคลือบสูตรที่ 8, 11, 14, 15, 17 และ 19 ขึ้นมา 2 ชุด ชุดแรกมีส่วนผสมเดียวกับที่แสดงในตารางที่ 2.6 ในการทดลองที่ 6 ชุดที่สองเปลี่ยน TOP-BOR เป็นบอแรกซ์ เรียกชื่อสูตรใหม่ลงท้ายด้วย B ตามส่วนผสมที่แสดงในตารางที่ 2.7 กระบวนการเตรียมน้ำเคลือบใช้ตามวิธีการทดลองที่ 6

3. การชุบเคลือบและการเผาเคลือบ

นำชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบทั้งแบบที่ผ่านและไม่ผ่านการเผา biscuit ไปชุบเคลือบ หลังจากนั้นนำไปเผาด้วยวิธีเดียวกันกับที่กล่าวแล้วในการทดลองที่ 6 แต่ครั้งนี้สำหรับชิ้นตัวอย่างที่เผาในเตาไฟฟ้าใช้เตาไฟฟ้าเตาเดียวกันกับที่ใช้ในการทดลองที่ 1-5 (ใช้เตาไฟฟ้าตามรูปที่ 1.6) และสำหรับที่เผาในเตาไม้ฟืนเตรียมชิ้นตัวอย่างไว้เป็นสูตรที่ใช้ TOB-BOR และที่ใช้บอแรกซ์อย่างละ 3 จ้อ จัดเรียงชิ้นตัวอย่างในแต่ละจ้อตามผังในรูปที่ 2.34 และครั้งนี้ได้ปิดฝาจ้อด้วยเพื่อป้องกันไม่ให้ขี้เถ้าจากเตาไม้ฟืนไปเปื้อนบนชิ้นตัวอย่าง ด้วย นำจ้อที่ใส่ชิ้นตัวอย่างไปวางในไว้ในเตาไม้ฟืนบริเวณไฟอ่อน ไฟกลาง และไฟแรงอย่างละหนึ่งจ้อในเตาไม้ฟืน โรงงานคุณเมี้ยน ตำบลด่านเกวียน

ตารางที่ 2.7 ส่วนผสมของเคลือบสูตรที่เปลี่ยน TOP-BOR เป็นบอแรกซ์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

วัตถุดิบ / สูตรที่	บอแรกซ์ (Borax)	โซดาแอช (Na_2CO_3)	ฟริต CG466	ทรายบด (Quartz)	ขี้เถ้ารวม (DK Ash)	ดินด่านเกวียน (DK)*	โดโลไมท์
8B	45	30	5	-	-	15	5
11B	45	15	5	5	15	15	-
14B	45	-	5	5	20	25	-
15B	45	5	-	5	20	25	-
17B	45	10	-	-	20	25	-
19B	45	-	-	10	20	25	-

หมายเหตุ : * คือเนื้อดินปั้นด่านเกวียนอบแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช

Borax ที่ใช้ในที่นี้ซื้อจากบริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด มี Specification ระบุว่า Technical Granular; Sodium Tetra borate Decahydrate; Decahydrate Borax, 10 Mol Borax; $Na_2B_4O_7.10H_2O$

8	11	14
8	11	14
8 เผา biscuit	11 เผา biscuit	14 เผา biscuit
8 เผา biscuit	11 เผา biscuit	14 เผา biscuit
15	17	19
15	17	19
15 เผา biscuit	17 เผา biscuit	19 เผา biscuit
15 เผา biscuit	17 เผา biscuit	19 เผา biscuit

หมายเหตุ : เผา biscuit คือ ชิ้นงานที่ผ่านการเผา biscuit ก่อนการชุบเคลือบ ที่ไม่ได้ระบุว่าอะไรคือไม่ได้เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ

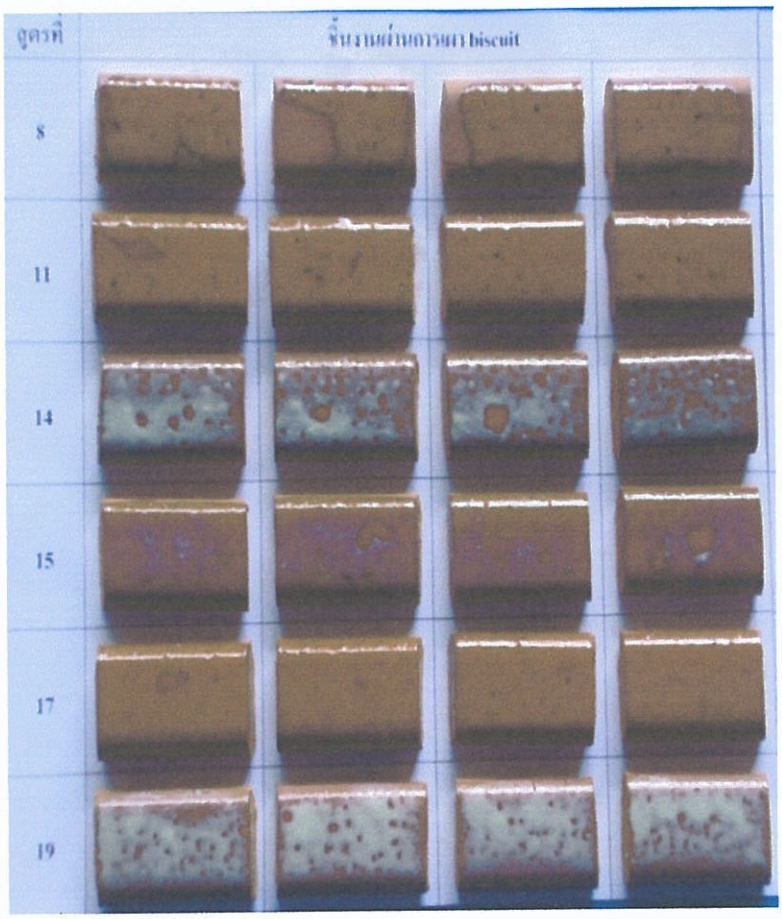
รูปที่ 2.34 แผนผังการวางเผาชิ้นตัวอย่างเคลือบในเตาฟืน

ผลการทดลอง

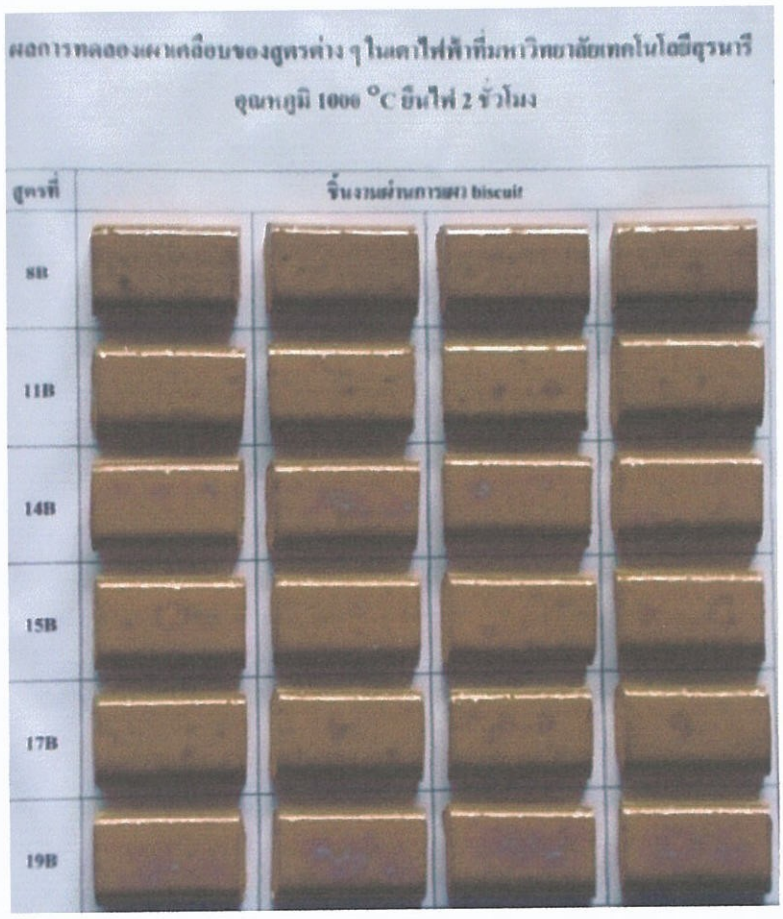
1. สำหรับชิ้นตัวอย่างที่เผาในเตาไฟฟ้า

รูปที่ 2.35 แสดงเคลือบสูตรที่ 8, 11, 14, 15, 17 และ 19 บนชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบที่ผ่านการเผา biscuit ก่อนนำไปชุบเคลือบ รูปที่ 2.36 แสดงเคลือบสูตรที่ 8B, 11B, 14B, 15B, 17B และ 19B บนชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบที่ผ่านการเผา biscuit รูปที่ 2.37 แสดงเคลือบสูตรที่ 8, 11, 14, 15, 17 และ 19 บนชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบที่ไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนนำไปชุบเคลือบ และรูปที่ 2.38 แสดงเคลือบสูตรที่ 8B, 11B, 14B, 15B, 17B และ 19B บนชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบที่ไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนนำไปชุบเคลือบ

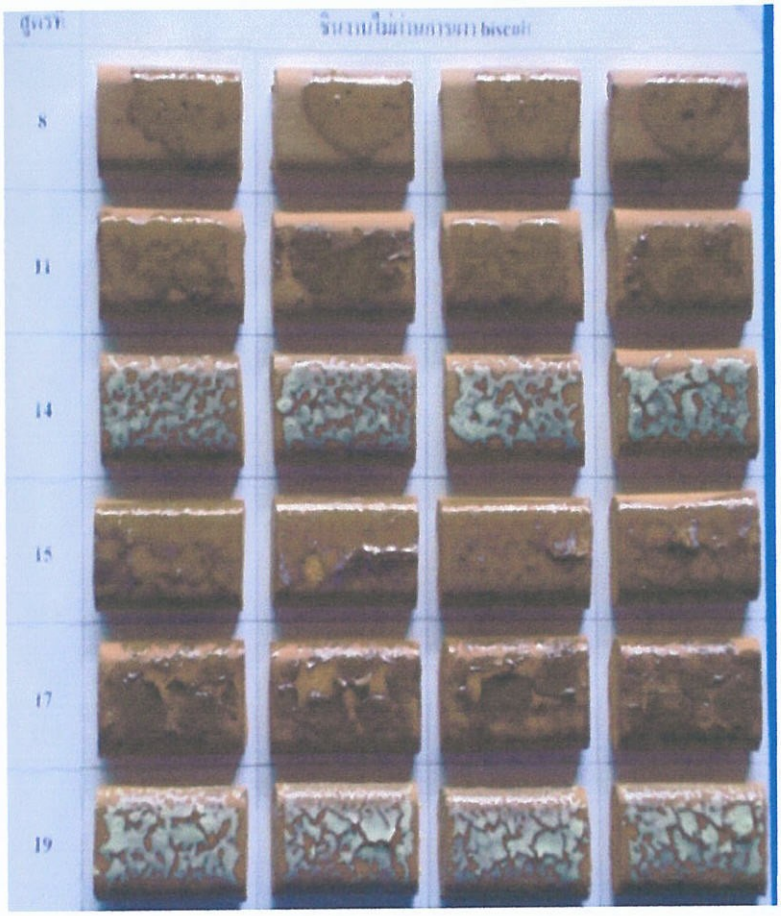
จะเห็นว่าชิ้นตัวอย่างในรูปที่ 2.35 มีลักษณะสวยงามกว่าในรูปที่ 2.30 ซึ่งเป็นเคลือบสูตรเดียวกันแต่เผาในเตาไฟฟ้าคนละลูก แสดงว่าเตาทั้ง 2 อาจจะมีอุณหภูมิที่ต่างกันเล็กน้อยทั้ง ๆ ที่ตั้งไว้ที่อุณหภูมิเดียวกันก็ยังได้ผลที่ต่างกัน อย่างไรก็ตามชิ้นตัวอย่างในรูปที่ 2.35 ยังแตกต่างจากชิ้นตัวอย่างสูตรเดียวกันที่เผาในเตาเดียวกับในการทดลองที่ 2 และ 3 ยังไม่แน่ชัดว่าความแตกต่างนี้เกิดจากสาเหตุใดแต่ก็เป็นไปได้ที่จะเกิดจากผู้ช่วยวิจัยที่ทำการทดลองนี้กับที่ทำการทดลองที่ 2 และ 3 เป็นคนละคน ทั้ง 2 คนอาจจะมีการทำงานที่แตกต่างกันในรายละเอียดบ้างเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 2.35 กับ 2.36 จะเห็นว่าเคลือบสูตรที่ใช้บอแรกซ์มีการสุกตัวผิวเป็นมันวาวและใสกว่าสูตรเคลือบที่ใช้ TOP-BOR แสดงว่าเราสามารถแทนที่ TOP-BOR ในสูตรเคลือบด้วยบอแรกซ์ได้ สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ไม่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ แสดงดังรูปที่ 2.37-2.38 จะเห็นว่าเคลือบที่ใช้บอแรกซ์ (รูปที่ 2.38) และที่ใช้ TOP-BOR (รูปที่ 2.37) มีความแตกต่างกันไม่มากนักโดยที่ส่วนใหญ่แล้วเคลือบทั้งสองสูตรจะลอกหลุดออกจากผิวชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบจึงไม่เหมาะต่อการนำไปใช้



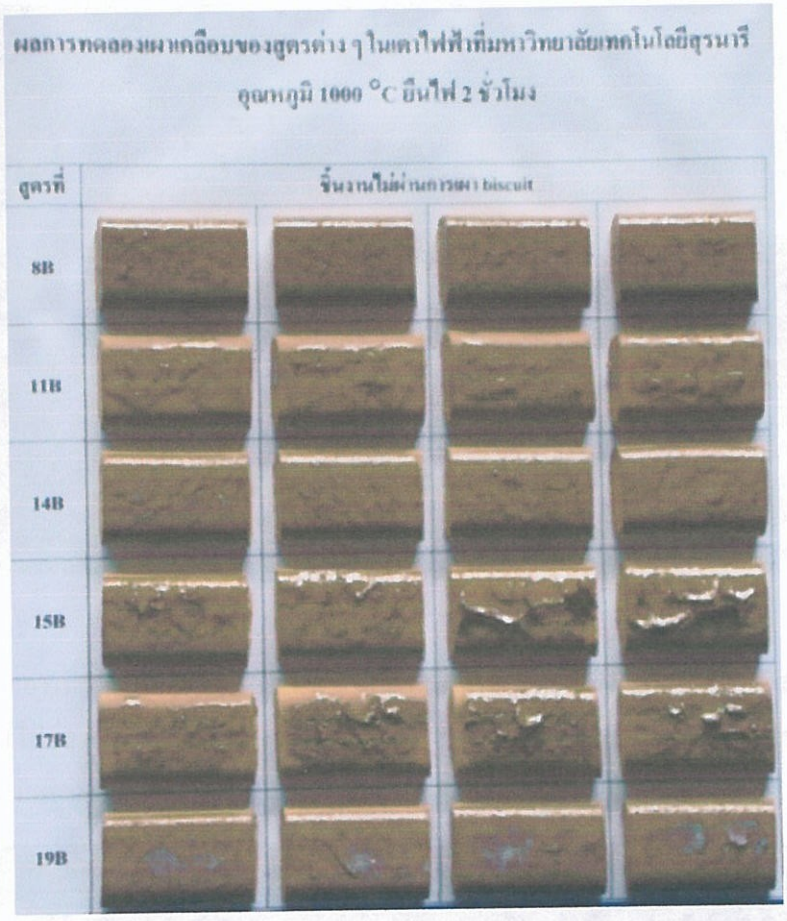
รูปที่ 2.35 ชิ้นตัวอย่างเคลือบสูตรที่ 8, 11, 14, 15, 17 และ 19 ซึ่งผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 2.36 ชิ้นตัวอย่างเคลือบสูตรที่ 8B, 11B, 14B, 15B, 17B และ 19B ซึ่งผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 2.37 ชิ้นตัวอย่างเคลือบสูตรที่ 8, 11, 14, 15, 17 และ 19 ซึ่งไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

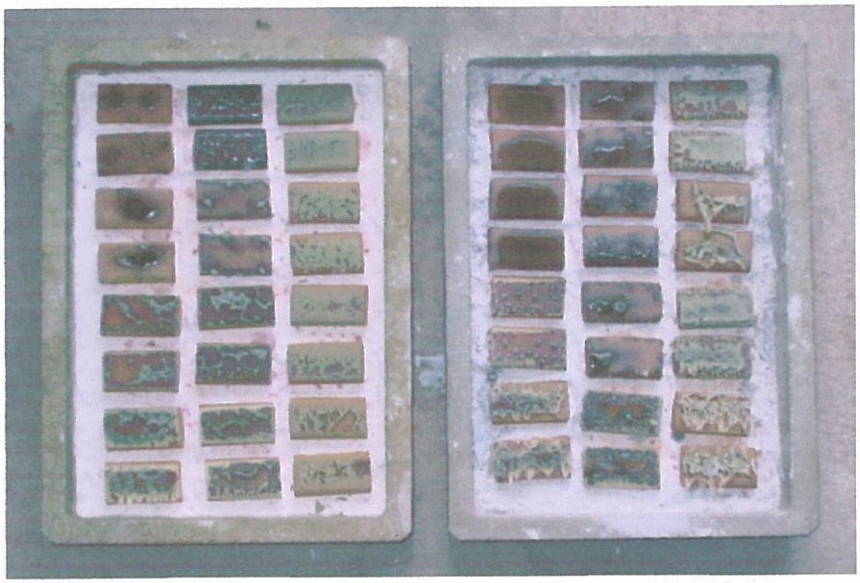


รูปที่ 2.38 ชิ้นตัวอย่างเคลือบสูตรที่ 8B, 11B, 14B, 15B, 17B และ 19B ซึ่งไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000˚C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

2. สำหรับชิ้นตัวอย่างที่เผาในเตาไม้ฟืน

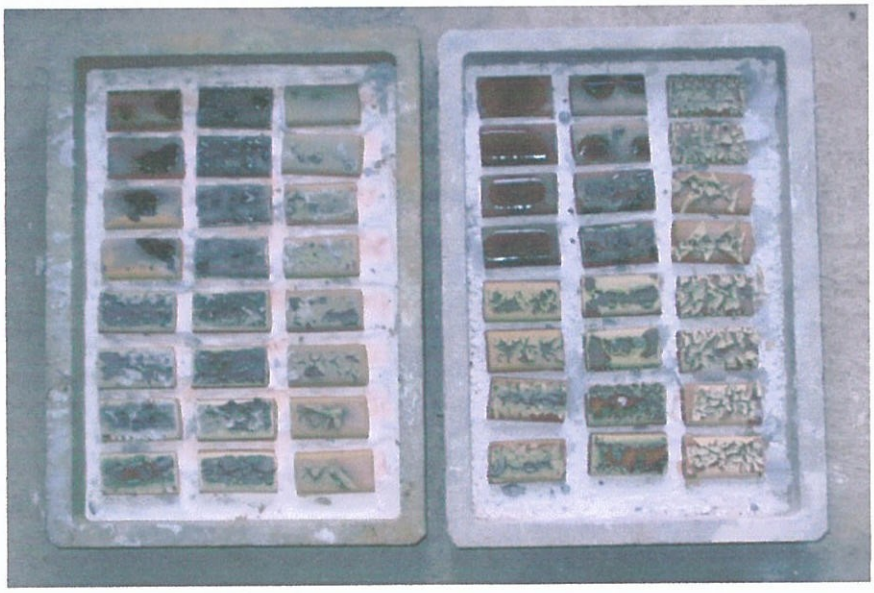
รูปที่ 2.39 2.41 แสดงเคลือบสูตรที่ 8, 11, 14, 15, 17, 19 และ 8B, 11B, 14B, 15B, 17B, 19B บนชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบที่ผ่านและไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนนำไปชุบเคลือบ แล้วนำไปเผาบริเวณไฟอ่อน ไฟกลางและไฟแรงในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน

จากรูปจะเห็นว่าไม่มีสูตรใดที่เหมาะสำหรับเผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียนเลย ไม่ว่าจะเผาที่ไฟอ่อน ไฟกลาง หรือ ไฟแรง ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าบรรยากาศภายในเตาเผาที่เตาด่านเกวียนเป็นแบบที่มีออกซิเจนน้อยกว่าที่เผาในเตาไฟฟ้า เป็นบรรยากาศแบบกึ่งรีดิวซ์ และการเผาในเตาไม้ฟืนครั้งนี้อาจจะเป็นการเผาดำซึ่งปกติแล้วจะมีอุณหภูมิสูงราว ๆ 1250˚C ซึ่งสูงกว่าจุดสุกตัวของเคลือบเหล่านี้มาก หากนำไปเผาในเตาที่เผาแบบเผาแดงซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 1000˚C น่าจะได้เคลือบที่ดีกว่านี้



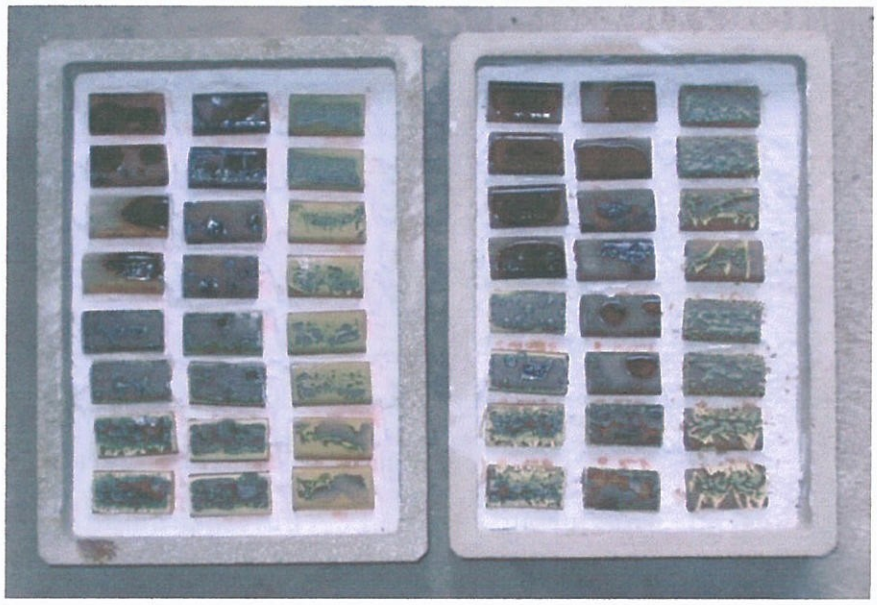
ก) ข)

รูปที่ 2.39 ชิ้นตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่บริเวณไฟอ่อนในเตาฟืน ก) สูตรเคลือบที่ใช้บอแรกซ์เป็นส่วนผสม ข) สูตรเคลือบที่ใช้ TOP-BOR เป็นส่วนผสม



ก) ข)

รูปที่ 2.40 ชิ้นตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่บริเวณไฟกลางในเตาฟืน ก) สูตรเคลือบที่ใช้บอแรกซ์เป็นส่วนผสม ข) สูตรเคลือบที่ใช้ TOP-BOR เป็นส่วนผสม



ก) ข)

รูปที่ 2.41 ชิ้นตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ หลังจากชุบเคลือบแล้วเผาเคลือบที่บริเวณไฟแรงในเตาฟืน ก) สูตรเคลือบที่ใช้บอแรกซ์เป็นส่วนผสม ข) สูตรเคลือบที่ใช้ TOP-BOR เป็นส่วนผสม

ดังนั้นสามารสรุปได้ดังนี้

1. สามารถแทนที่ส่วนผสมที่เป็น TOP-BOR ในเคลือบด้วยบอแรกซ์ ได้

2. เคลือบบนชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบที่ไม่เผา biscuit ก่อนชุบเคลือบมีตำหนิมากจนไม่น่าจะนำไปใช้ได้เลย

3. ควรเผาชิ้นตัวอย่างในเตาไม้ฟืนที่เผาแบบเผาแดง เพราะอุณหภูมิในทุกส่วนของเตาไม้ฟืนที่เผาแบบเผาดำสุกเกินจุดสุกตัวของเคลือบมากเกินไป

2.8 การทดลองที่ 8

จุดประสงค์

เพื่อทดลองการเติมสีเข้าไปในเคลือบ

ความเป็นมา

เคลือบในการทดลองที่ผ่านมาเป็นเคลือบที่ธรรมชาติไม่ได้เติมสีเข้าไปในสูตรเคลือบ การทดลองนี้จึงทดลองเติมสีเซรามิก (stain) เข้าไปในส่วนผสมของเคลือบ

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับชุบเคลือบ

เหมือนที่กล่าวในหัวข้อ 1.4.1 แต่ครั้งนี้เตรียมเฉพาะชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบที่ผ่านการเผา biscuit เท่านั้น

2. การเตรียมน้ำเคลือบ

เตรียมน้ำเคลือบสูตรที่ 8B, 11B, 14B, 15B, 17B และ 19B ขึ้นมาใหม่แต่ครั้งนี้เติมสีเซรามิกเข้าไปร้อยละ 2.91 โดยน้ำหนัก ได้เคลือบสูตรใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 2.8 วิธีการเตรียมน้ำเคลือบเหมือนกับการทดลองที่ 6

3. การชุบเคลือบและการเผาเคลือบ

เหมือนที่กล่าวในการทดลองที่ 7 ชุบเคลือบแล้วแบ่งชิ้นตัวอย่างเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งเผาในเตาไฟฟ้า ส่วนที่สองเผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน การทดลองนี้จัดชิ้นตัวอย่างไว้ 3 จ้อ แล้วนำตัวอย่างทั้ง 3 จ้อวางซ้อนทับกัน 3 ชั้น ดังรูปที่ 2.42 และนำไปเผาในเตาลุงเทียน ตำบลด่านเกวียน โดยวางไว้เฉพาะบริเวณไฟแรงเท่านั้น

ตารางที่ 2.8 ส่วนผสมของสูตรเคลือบที่เติมสีย้อม (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

วัตถุดิบ / สูตรที่	บอแรกซ์ (Borax)	โซดาแอช (Na_2CO_3)	ฟริต CG466	ทรายบด (Quartz)	ขี้เถ้ารวม (DK Ash)	(DK)*	โดโลไมท์ (Dolomite)	สีเสตรน (Stain)
8Bs	43.69	29.13	4.85	-	-	14.56	4.85	2.91
11Bs	43.69	14.56	4.85	4.85	14.56	14.56	-	2.91
14Bs	43.69	-	4.85	4.85	19.42	24.27	-	2.91
15Bs	43.69	4.85	-	4.85	19.42	24.27	-	2.91
17Bs	43.69	9.71	-	-	19.42	24.27	-	2.91
19Bs	43.69	-	-	9.71	19.42	24.27	-	2.91

หมายเหตุ : * คือเนื้อดินปั้นด่านเกวียนอบแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช

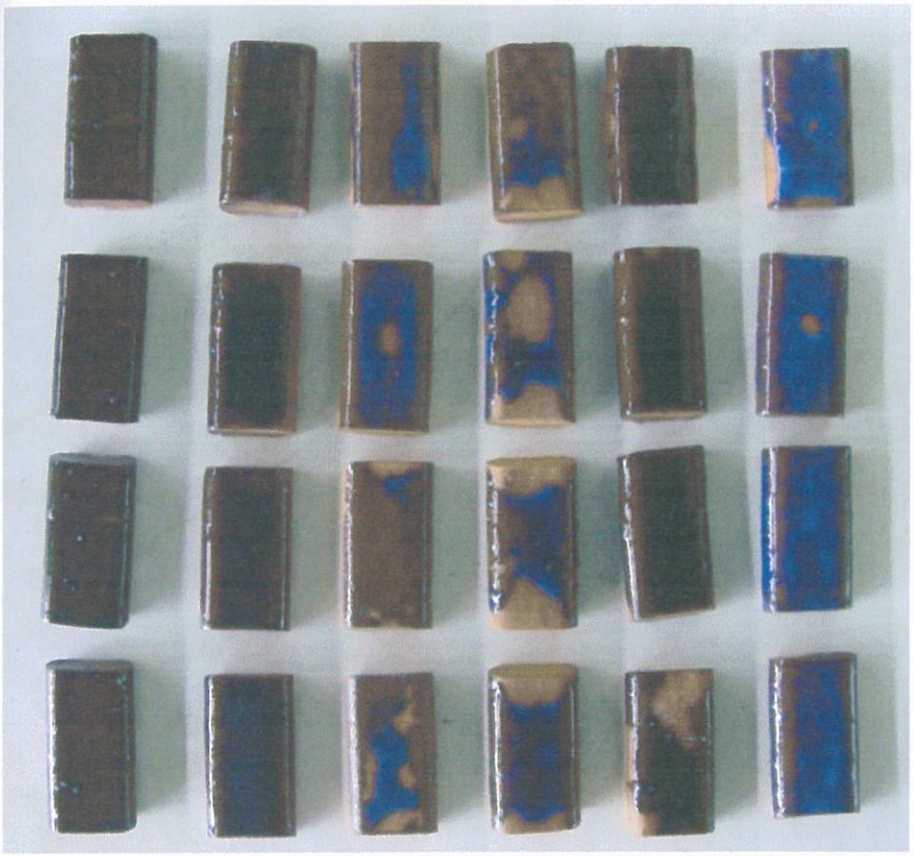
ชั้นที่ 3
ชั้นที่ 2
ชั้นที่ 1

รูปที่ 2.42 การจัดเรียงแบบคอนโดของส่วนที่ 2 ในเตาฟืน

ผลการทดลอง

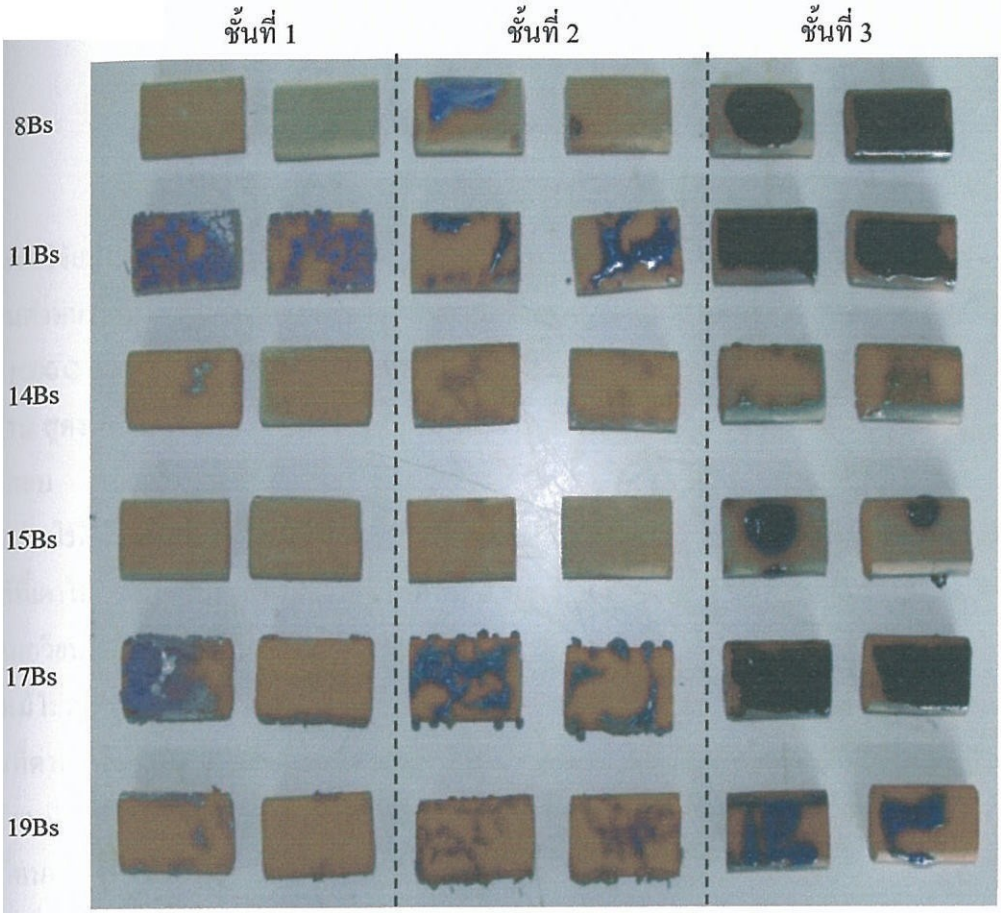
รูปที่ 2.43 แสดงเคลือบสูตรที่ 8Bs, 11Bs, 14Bs, 15B, 17Bs และ 19Bs บนชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบที่ผ่านการเผา biscuit ก่อนนำไปชุบเคลือบและหลังจากชุบเคลือบแล้วเผาในเตาไฟฟ้า ส่วนรูปที่ 2.44 แสดงเคลือบสูตรเดียวกันที่เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน จะเห็นได้ว่าจากรูปที่ 2.43 จะเห็นว่าสำหรับเคลือบที่เผาในเตาไฟฟ้าเคลือบสูตร 14Bs, 15Bs และ 19Bs มีสีฟ้า ส่วนเคลือบสูตรที่ 8Bs, 11Bs และ 17Bs มีสีน้ำเงินเข้ม ทั้งนี้เนื่องจากเคลือบสูตรที่ 14, 15 และ 19 เป็นเคลือบที่มีลักษณะเป็นเคลือบทึบสีขาวอยู่แล้วดังรูปที่ 2.35 และ 2.36 เมื่อเติมสีน้ำเงินจึงให้สีฟ้าออกมา ส่วนเคลือบสูตรที่ 8, 11 และ 17 มีลักษณะเป็นเคลือบใสเคลือบบนเนื้อดินด่านเกวียนที่มีสีน้ำตาลปนแดงเมื่อเติมสีน้ำเงินลงไปจึงผสมกันออกมาเป็นสีม่วงเข้มๆ จนคล้ายๆ จะเป็นสีดำ

จากรูปที่ 2.44 จะเห็นว่าชิ้นตัวอย่างที่เผาในเตาฟืนในจ้อทั้ง 3 ชั้นมีลักษณะแตกต่างกันมาก โดยที่ชิ้นตัวอย่างในจ้อชั้นที่ 1-2 เคลือบหลุดร่อนออกไปจนเกือบหมดบางสูตรดูเหมือนไม่สุก ขณะที่ชิ้นตัวอย่างเคลือบสูตรที่ 8Bs 11Bs 17Bs และ 19Bs ในจ้อชั้นที่ 3 สุกตัวเป็นแก้ว ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะชิ้นตัวอย่างที่อยู่ในจ้อชั้นที่ 3 ซึ่งอยู่บนสุดได้รับอุณหภูมิสูงกว่าชิ้นตัวอย่างในจ้อที่อยู่ชั้นล่างลงมา เพื่อให้ทราบแน่ชัดขึ้นอาจจะต้องใส่เม็ดทดสอบอุณหภูมิ (Buller ring) หรือปักโคน (Pyrometric cone) วัดอุณหภูมิไว้ในจ้อทุกครั้งที่นำไปเผา



8Bs 11Bs 14Bs 15Bs 17Bs 19Bs

รูปที่ 2.43 ชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบที่ผ่านการเผาเคลือบในเตาไฟฟ้า



รูปที่ 2.44 ชิ้นตัวอย่างทดสอบเคลือบที่ผ่านการเผาเคลือบในเตาฟืนซึ่งวางเผาตรงบริเวณไฟแรง

บทที่ 3
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการวิจัยและพัฒนาสูตรเคลือบหลายสูตรสำหรับเครื่องปั้นดินเผาที่ใช้เนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ และหลังจากชุบเคลือบแล้วนำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง สูตรเคลือบเหล่านี้มีทั้งเป็นเคลือบใส สีขาวขุ่น สีเหลือง ผิวเรียบเป็นมันวาวหรือผิวด้าน สูตรเคลือบเหล่านี้ทำขึ้นจากวัตถุดิบที่หาง่าย ราคาถูกและที่สำคัญคือไม่มีสารมีพิษ เช่น ตะกั่วเป็นส่วนประกอบ

อย่างไรก็ตามยังต้องมีการค้นคว้าและพัฒนาต่อไปอีกหากจะนำสูตรเคลือบที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปเคลือบผลิตภัณฑ์ที่เผาในเตาที่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงที่ตำบลด่านเกวียน ทั้งนี้เพราะว่าบรรยากาศและอุณหภูมิในการเผาในเตาด่านเกวียนแตกต่างจากในเตาไฟฟ้ามาก กล่าวคือบรรยากาศในเตาไม้ฟืนเป็นแบบกึ่ง ๆ รีดักชั่น ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของไม้ฟืนขณะที่บรรยากาศในเตาไฟฟ้าเป็นบรรยากาศแบบออกซิเดชั่น นอกจากนี้ในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียนยังมีฝุ่นและควันที่ลอยมาเปื้อนผิวของผลิตภัณฑ์ได้ด้วย ที่สำคัญคืออุณหภูมิในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียนมีความแตกต่างกันมากไม่แต่เฉพาะจุดที่วางชิ้นงานต่างกันจะมีอุณหภูมิต่างกันเท่านั้นแม้แต่ที่จุดเดียวกันที่คนละระดับความสูงก็ยังมีอุณหภูมิแตกต่างกันอีกด้วย คงต้องมีการทำวิจัยอีกระยะหนึ่งจึงจะพัฒนาสูตรเคลือบที่เหมาะสมในการนำไปเผาที่เตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียนได้

สูตรเคลือบที่คิดค้นจากงานวิจัยนี้จะประหยัดเชื้อเพลิงในการเผาผลิตภัณฑ์ได้ประมาณ 50 % เพราะว่าจะสามารถลดอุณหภูมิการเผาจากเดิมที่ใช้ทั่ว ๆ ไปที่ 1200°C เหลือเพียงเผาที่ 1000°C และในอนาคตหากสามารถพัฒนาสูตรเคลือบที่สามารถนำไปใช้กับเนื้อดินปั้นที่ไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนนำไปชุบเคลือบได้ก็จะดียิ่งขึ้น ช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการเผาให้แก่ผู้ประกอบการได้อีกเกือบ 30 % และช่วยลดปัญหาฝุ่นควันจากการเผาและแก้ปัญหาโลกร้อนได้อีกต่อหนึ่งด้วย

เอกสารอ้างอิง

ครุณี-สุธี วัฒนศิริเวช. (2552). **การวิเคราะห์แร่ดิน เคลือบและตำหนิในผลิตภัณฑ์.** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

วรรณา ต.แสงจันทร์. (2551). การพัฒนาเคลือบไฟต่ำ. **พลังงานทางรอด ? ทางเลือก ? ของอุตสาหกรรมเซรามิก.** กรุงเทพฯ: โรงแรมเจ้าพระยาปาร์ค.

สมนึก ศิริสุนทร. (2552). **ต้นทุนพลังงานและสร้างนวัตกรรมใหม่ทางรอด ทางเลือก ของอุสาหกรรมเซรามิกไทย.** ลำปาง: โรงแรมเวียงลคอร.

Kingery, W.D., Bowen, H.K. and Uhlmann, D.R. (1991). **Introduction to ceramics.** Singapore: John Wiley & Sons

Singer, F and German, W. L. (1978) **Ceramic glazes.** Borax consolidated limited, London.

ภาคผนวก

ก. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

เนื้อดินปั้นด่านเกวียนจากโรงงานตัวแทนที่ 1

ลักษณะตัวอย่างเบื้องต้น เป็นผงสีน้ำตาล
ลักษณะตัวอย่างเมื่อผ่านการเผา จะเปลี่ยนเป็นสีส้ม

ผลการวิเคราะห์

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

ส่วนประกอบทางเคมี

Silica (SiO_2), ร้อยละ	63.20
Alumina (Al_2O_3), ร้อยละ	20.60
Iron oxide (Fe_2O_3), ร้อยละ	5.70
Potassium oxide (K_2O), ร้อยละ	1.29
Titanium oxide (TiO_2), ร้อยละ	1.04
Magnesium oxide (MgO), ร้อยละ	0.82
Calcium oxide (CaO), ร้อยละ	0.42
Sodium oxide (Na_2O), ร้อยละ	0.39
Sulphur trioxide (SO_3), ร้อยละ	0.08
Manganese oxide (MnO), ร้อยละ	0.06
Phosphorus pentaoxide (P_2O_5), ร้อยละ	0.06
Loss on ignition (1000 องศา), ร้อยละ	6.20

เนื้อดินปั้นด่านเกวียนจากโรงงานตัวแทนที่ 2

ลักษณะตัวอย่างเบื้องต้น เป็นผงสีน้ำตาล
ลักษณะตัวอย่างเมื่อผ่านการเผา จะเปลี่ยนเป็นสีส้ม

ผลการวิเคราะห์

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

ส่วนประกอบทางเคมี

Silica (SiO_2), ร้อยละ	59.80
Alumina (Al_2O_3), ร้อยละ	21.50
Iron oxide (Fe_2O_3), ร้อยละ	6.70
Potassium oxide (K_2O), ร้อยละ	1.38
Titanium oxide (TiO_2), ร้อยละ	1.06
Magnesium oxide (MgO), ร้อยละ	0.88
Calcium oxide (CaO), ร้อยละ	0.41
Sodium oxide (Na_2O), ร้อยละ	0.43
Sulphur trioxide (SO_3), ร้อยละ	0.15
Manganese oxide (MnO), ร้อยละ	0.10
Phosphorus pentaoxide (P_2O_5), ร้อยละ	0.05
Loss on ignition (1000 องศา), ร้อยละ	7.40

เนื้อดินปั้นด่านเกวียนจากโรงงานตัวแทนที่ 3

ลักษณะตัวอย่างเบื้องต้น เป็นผงสีน้ำตาล
ลักษณะตัวอย่างเมื่อผ่านการเผา จะเปลี่ยนเป็นสีส้ม

ผลการวิเคราะห์

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

ส่วนประกอบทางเคมี

Silica (SiO_2), ร้อยละ	59.70
Alumina (Al_2O_3), ร้อยละ	21.80
Iron oxide (Fe_2O_3), ร้อยละ	6.30
Potassium oxide (K_2O), ร้อยละ	1.44
Titanium oxide (TiO_2), ร้อยละ	1.06
Magnesium oxide (MgO), ร้อยละ	0.89
Calcium oxide (CaO), ร้อยละ	0.38
Sodium oxide (Na_2O), ร้อยละ	0.58
Sulphur trioxide (SO_3), ร้อยละ	0.23
Manganese oxide (MnO), ร้อยละ	0.11
Phosphorus pentaoxide (P_2O_5), ร้อยละ	0.04
Loss on ignition (1000 องศา), ร้อยละ	7.20

ขี้เถ้าไม้ยูคาลิปตัส

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

ส่วนประกอบทางเคมี

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

ขี้เถ้าไม้รวมจากด่านเกวียน

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

ส่วนประกอบทางเคมี

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

ฟริต CG466

ส่วนประกอบทางเคมี

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

ฟริต ST8014

ส่วนประกอบทางเคมี

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

TOP-BOR

ส่วนประกอบทางเคมี

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

ทรายบด (Silica, SiO_2)

ส่วนประกอบทางเคมี

Silica (SiO_2), ร้อยละ	99.18
Alumina (Al_2O_3), ร้อยละ	0.56
Titanium oxide (TiO_2), ร้อยละ	0.03
Calcium oxide (CaO), ร้อยละ	0.01
Sodium oxide (Na_2O), ร้อยละ	0.01
Potassium oxide (K_2O), ร้อยละ	0.07
Magnesium oxide (MgO), ร้อยละ	0.01
Ferric oxide (Fe_2O_3), ร้อยละ	0.07
Loss on ignition, ร้อยละ	0.06

โซดาแอช (Na_2CO_3)

ส่วนประกอบทางเคมี

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

โดโลไมท์ (Dolomite)

ส่วนประกอบทางเคมี

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

ทัลคัม (Talcum)

ส่วนประกอบทางเคมี

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

ข. ราคาของวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้	ราคา (บาท/กก.) ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม	ที่มาของวัตถุดิบ
เนื้อดินปั้นด่านเกวียน (DK)	1.4	โรงงานตัวแทนที่ด่านเกวียน
โซดาแอช (Na_2CO_3)	45	บริษัท เซรามิคส์ อาร์อัส จำกัด
โดโลไมท์ (Dolomite)	7	บริษัท เซรามิคส์ อาร์อัส จำกัด
ทัลคัม (Talcum)	15	บริษัท เซรามิคส์ อาร์อัส จำกัด
ท๊อบบอร์ (TOP-BOR)	38	บริษัท อัพบิว เคมีคอล อินดัสทรี จำกัด
ขี้เถ้าไม้ยูคา (Euca Ash)	0	เผาไม้ยูคาลิปตัสเอง
ขี้เถ้าไม้รวม (DK Ash)	0	โรงงานตัวแทนที่ด่านเกวียน
ทรายบด (Sand)	10	บริษัท อัมรินทร์เซรามิคส์คอร์ปอเรชั่น จำกัด
ฟริต CG466	60	บริษัท อัมรินทร์เซรามิคส์คอร์ปอเรชั่น จำกัด
ฟริต ST8014	20	บริษัท สยามฟริท จำกัด
บอแรกซ์ (Borax)	48	บริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด

ค. คำนวณต้นทุนของเคลือบแต่ละสูตร

สูตรที่	ราคา (บาท/กก.)	สูตรที่	ราคา (บาท/กก.)	สูตรที่	ราคา (บาท/กก.)
1	12.98	17	21.95	33	24.81
2	13.66	18	23.45	34	25.24
3	14.34	19	18.45	35	27.81
4	15.02	20	18.15	36	28.24
5	37.46	21	23.95	37	30.81
6	36.36	22	26.95	38	31.24
7	35.26	23	29.95	39	33.81
8	34.16	24	32.95	40	34.24
9	32.06	25	24.31	8B	38.66
10	29.81	26	24.74	11B	32.06
11	27.56	27	29.31	14B	25.45
12	25.31	28	32.24	15B	24.7
13	23.13	29	19.31	17B	26.45
14	20.95	30	19.74	19B	22.95
15	20.20	31	18.71		
16	22.70	32	18.99		

ดินด่านเกวียน	ราคา 1.4 บาท/กก.
ฟริต CG466	ราคา 60 บาท/กก.
ทัลคัม (Talcum)	ราคา 15 บาท/กก.
ทรายบด (Quartz)	ราคา 10 บาท/กก.
โซดาแอช (Na_2CO_3)	ราคา 45 บาท/กก.
โดโลไมท์ (Dolomite)	ราคา 7 บาท/กก.
บอแรกซ์ (Borax)	ราคา 48 บาท/กก.
TOP-BOR	ราคา 38 บาท/กก.

ง. คำขอจดอนุสิทธิบัตรเคลือบ

แบบสป/รม/อนุ/001-ก

หน้า 1 ของจำนวน 3 หน้า

คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

☐ การประดิษฐ์
☐ การออกแบบผลิตภัณฑ์
☑ อนุสิทธิบัตร

ข้าพเจ้าผู้ลงลายมือชื่อในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตามพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2535 และพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2542

สำหรับเจ้าหน้าที่	
วันรับคำขอ - 7 มี.ค. 2557	เลขที่คำขอ 0903001165
วันยื่นคำขอ	
สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	
ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์	
ประเภทผลิตภัณฑ์	
วันประกาศโฆษณา	เลขที่ประกาศโฆษณา
วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
ลายมือชื่อเจ้าหน้าที่	

1.ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์

"สูตรเคลือบสำหรับเครื่องปั้นดินเผา"

2.คำขอรับสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์นี้เป็นคำขอสำหรับแบบผลิตภัณฑ์อย่างเดียวกันและเป็นคำขอลำดับที่

ในจำนวน คำขอ ที่ยื่นในคราวเดียวกัน

3. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ)

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 **และ มหาวิทยาลัยสุรนารี**

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

4.สิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

☐ ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ ☑ ผู้รับโอน ☐ ผู้ขอรับสิทธิโดยเหตุอื่น

5. ตัวแทน (ถ้ามี) ที่อยู่ (เลขที่ ถนน จังหวัด รหัสไปรษณีย์)

น.ส.อรุณศรี ศรีธนะอิทธิพล และ/หรือ นายชาญชัย นิรพัฒนกุล และ/หรือ น.ส.อรกมล พรรณรักษา อยู่ที่ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 111อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลาง จ.ปทุมธานี 12120

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

6.ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ)

1.นายสุธรรม ศรีหล่มสัก 2.นายอ่อนลมี ณมลอินทร์ อยู่ที่ สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

7.คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิม

ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้ถือว่าได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ในวันเดียวกับคำขอรับสิทธิบัตร

เลขที่ วันยื่น เพราะคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิมเพราะ

☐ คำขอเดิมมีการประดิษฐ์หลายอย่าง ☐ ถูกคัดค้านเนื่องจากผู้ขอไม่มีสิทธิ ☐ ขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ

หมายเหตุ ในกรณีที่ไม่อาจระบุรายละเอียดได้ครบถ้วน ให้จัดทำเป็นเอกสารแนบท้ายแบบพิมพ์นี้โดยระบุหมายเลขกำกับข้อและหัวข้อที่แสดงรายละเอียดเพิ่มเติมดังกล่าวด้วย

จ. การเผยแพร่ผลงาน

1. บรรยายในการประชุมเรื่อง "พลังงาน??? ทางรอด ทางเลือกของอุตสาหกรรมเซรามิก" ที่โรงแรมเจ้าพระยาปาร์ค กรุงเทพมหานคร วันที่ 28 พ.ย. 2551 ให้แก่ตัวแทนจากโรงงานเซรามิกทางภาคกลางประมาณ 100 โรงงาน

2. บรรยายในการประชุมเรื่อง "ต้นทุนพลังงานและสร้างนวัตกรรมใหม่ทางรอด ทางเลือกของอุตสาหกรรมเซรามิกไทย" ที่โรงแรมเวียงลคอร จังหวัดลำปาง วันที่ 19 พ.ค. 2552 ให้แก่ตัวแทนจากโรงงานเซรามิกทางภาคเหนือประมาณ 100 โรงงาน

3. ขอรับอนุสิทธิบัตร "เนื้อดินปั้นเผาไฟต่ำที่เกิดการเคลือบในตัว" เลขที่คำขอ 0903000649 ลงวันที่ 26 มิ.ย. 2552

4. เสนอผลงานในการนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ Thai Research Expo 2009 ณ ศูนย์ประชุมบางกอกคอนเวนชั่นเซ็นเตอร์ ระหว่างวันที่ 26-30 ส.ค. 2552

5. ถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่ผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผา ต.ด่านเกวียน ณ ห้องประชุมเทศบาลตำบลด่านเกวียน วันที่ 15 ก.ย. 2552

6. บรรยายในการประชุมเรื่อง "การพัฒนากระบวนการผลิตเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดราชบุรี" ณ วิทยาลัยเทคนิค จังหวัดราชบุรี วันที่ 24 พ.ย. 2552

7. เสนอผลงานในการประชุมวิชาการประจำปี 2553 สวทช. "วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อสังคมโลก" ณ อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย จังหวัดปทุมธานี วันที่ 29-31 มี.ค. 2553

ฉ. บทความที่ส่งไปให้วารสารเวรามิกส์ตีพิมพ์

เคลือบอุณหภูมิต่ำสำหรับเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน

Low Temperature Glaze for Dan Kwian Pottery

สุธรรม ศรีหล่มสัก, อ่อนลมี กมลอินทร์ และจิตติ รินเสนา

Sutham Srilomsak, Onlamee Kamon-in and Jitti Rinseana

สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี School of Ceramic Engineering, Suranaree University of Technology

บทนำ

เซรามิกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องเผาที่อุณหภูมิสูง ผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทสโตนแวร์มักจะผ่านการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1250°C เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อแกร่ง การดูดซึมน้ำไม่เกิน 3-5 % ใช้ทำภาชนะบนโต๊ะอาหาร (table ware) แจกันและเครื่องประดับได้ เนื่องจากการแข่งขันในทางอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเซรามิกจึงพยายามลดต้นทุนของตนทุก ๆ วิธีทางโดยที่ยังรักษามาตรฐานของสินค้าไว้ตามเดิม การลดต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งคือการลดอุณหภูมิในการเผาเพราะนอกจากจะประหยัดเชื้อเพลิงแล้วยังช่วยลดปัญหามลภาวะจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและแก้ปัญหาโลกร้อนได้อีกด้วย มีงานวิจัยพบว่า “เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิเตาจากอุณหภูมิห้องไปที่ 1000°C มีปริมาณเท่ากับเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจาก 1000°C เป็น 1200°C” (สมนึก ศิริสุนทร, 2552) ดังนั้นผู้ประกอบการสามารถลดต้นทุนเชื้อเพลิงได้มากกว่า 50 % หากสามารถลดอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์ของเขาจาก 1250°C เหลือเพียง 1000°C

ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนเป็นผลิตภัณฑ์ที่สร้างชื่อเสียงให้กับจังหวัดนครราชสีมาถึงแม้นว่าปัจจุบันนี้ผู้ประกอบการส่วนใหญ่เคลือบผลิตภัณฑ์ของเขาโดยการทาสีน้ำมันหรือสีน้ำแล้วเคลือบด้วยเชลแล็ก (Shellac) แต่ก็มีผู้ประกอบการด่านเกวียนหลายรายที่ต้องการเคลือบผลิตภัณฑ์ของเขาด้วยเซรามิก แต่ก็ไม่สามารถทำได้เพราะไม่มีทุนและไม่มีบุคลากร สำหรับผู้ประกอบการส่วนน้อยที่สามารถทำเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนชนิดที่มีเคลือบเป็นเซรามิกได้นั้นก็ต้องการลดอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์ของตัวเองลงให้ต่ำลงไปกว่าที่ใช้ในปัจจุบันคือประมาณ 1250°C งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะวิจัยหาสูตรเคลือบที่สุกตัวได้ที่อุณหภูมิ 1000°C ให้แก่ผู้ประกอบการด่านเกวียน วิธีการลดจุดสุกตัวของเคลือบที่นิยมทำกันคือ การเติมสารลดจุดสุกตัว (flux) เข้าไปในส่วนผสม flux มีหลายชนิด (ดรุณี-สุธี วัฒนศิริเวช, 2552), (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539), (วรรณา ต.แสงจันทร์, 2551), (Kingery, Bowen and Uhlmann, 1991) ที่สำคัญได้แก่ ตะกั่วออกไซด์ (PbO) โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) โบรอนออกไซด์ (B_2O_3) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) อย่างไรก็ตาม flux บางชนิด เช่น PbO เป็นสารมีพิษปัจจุบันจึงไม่นิยมใช้ งานวิจัยนี้พัฒนาสูตรเคลือบที่สุกตัวที่อุณหภูมิ 1000°C โดยใช้วัตถุดิบที่ไม่มีพิษซึ่งประกอบด้วย 1) เนื้อดินปั้นด่านเกวียนอบและบด (DK) 2) ขี้เถ้ารวมจากเตาเผาที่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงที่ด่านเกวียน 3) ทรายบด 4) โดโลไมท์ 5) ทัลคัม 6) โซดาแอช 7) ฟริต CG466 8) TOP-BOR 9) บอแรกซ์ โดยนำ

วัตถุดิบข้างต้นมาผสมในสัดส่วนต่าง ๆ กันเป็นสูตรเคลือบประมาณ 50 สูตร แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1000°C ปรากฏว่าได้เคลือบที่มีลักษณะดีที่น่าจะนำไปใช้เคลือบบนผลิตภัณฑ์ได้ประมาณ 25 สูตร ซึ่งเมื่อนำไปเผาแล้วจะมีลักษณะต่างๆ กัน มีทั้งที่เป็นเคลือบใส, เคลือบทึบ, เคลือบสีขาว, เคลือบสีเหลือง, เคลือบผิวมัน, เคลือบผิวด้าน, เคลือบที่มีผิวเรียบ และเคลือบที่มีการหดตัวหรือแตกเป็นลายที่มี texture ต่างๆ

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับชุบเคลือบ

1.1 นำดินด่านเกวียนไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.2 นำดินที่อบแล้วไปบดด้วยเครื่องบด Discusher ให้ละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรง 80 เมช

1.3 นำดินที่ผ่านการร่อนแล้วไปชั่งและผสมกับน้ำในอัตราส่วน 5:2 (โดยน้ำหนัก)

1.4 ผสมดินให้เข้ากันในกะละมังแล้วหมักดินเอาไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.5 จากนั้นนำดินเข้าเครื่องรีดดิน (Extruder) รีดดินเป็นจำนวน 3-4 รอบเพื่อให้ดินเกิดความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน

1.6 รีดดินให้มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 2.5 x 4.5 x 1 ซม^3. แล้วอบให้แห้ง หลังจากนั้นนำไปเผาในเตาไฟฟ้าอุณหภูมิ 800°C ในบรรยากาศปกติ ใช้อัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิ 5°C/นาที และยืนไฟเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงด้วยอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิ 10°C/นาที จนถึงอุณหภูมิห้อง จะได้ชิ้นตัวอย่างสำหรับชุบเคลือบ

2. การเตรียมน้ำเคลือบ

2.1 ชั่งสูตรส่วนผสมตามที่กำหนดในตารางที่ 1 สูตรละ 100 กรัม ผสมกับน้ำ 100 มิลลิลิตร

2.2 เทส่วนผสมทั้งหมดลงในหม้อบดพลาสติกที่ใส่ลูกบดอะลูมินาเอาไว้ครึ่งหม้อแล้วปิดฝาให้สนิทจากนั้นนำหม้อบดไปใส่ในเครื่องบดแล้วบดเคลือบชั่วโมงที่แสดงในตารางที่ 1 ได้น้ำเคลือบ

3. การชุบเคลือบและการเผาเคลือบ

นำน้ำเคลือบที่ได้มาชุบเคลือบแล้วนำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง โดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5°C/นาที และอัตราการลดอุณหภูมิ 10°C/นาที

ผลการทดลอง

รูปที่ 1-4 แสดงเคลือบที่มีลักษณะแตกต่างกัน 3 ลักษณะคือ 1) เคลือบใส 2) เคลือบสีขาวขุ่น และ 3) เคลือบมี texture ที่เตรียมขึ้นโดยบดผสม 24 ชั่วโมง ส่วนรูปที่ 5-8 แสดงเคลือบ 1) เคลือบใส 2) เคลือบสีขาวขุ่น และ 3) เคลือบสีเหลือง ที่เตรียมขึ้นโดยบดผสม 3 ชั่วโมง

วิเคราะห์ผลการทดลอง

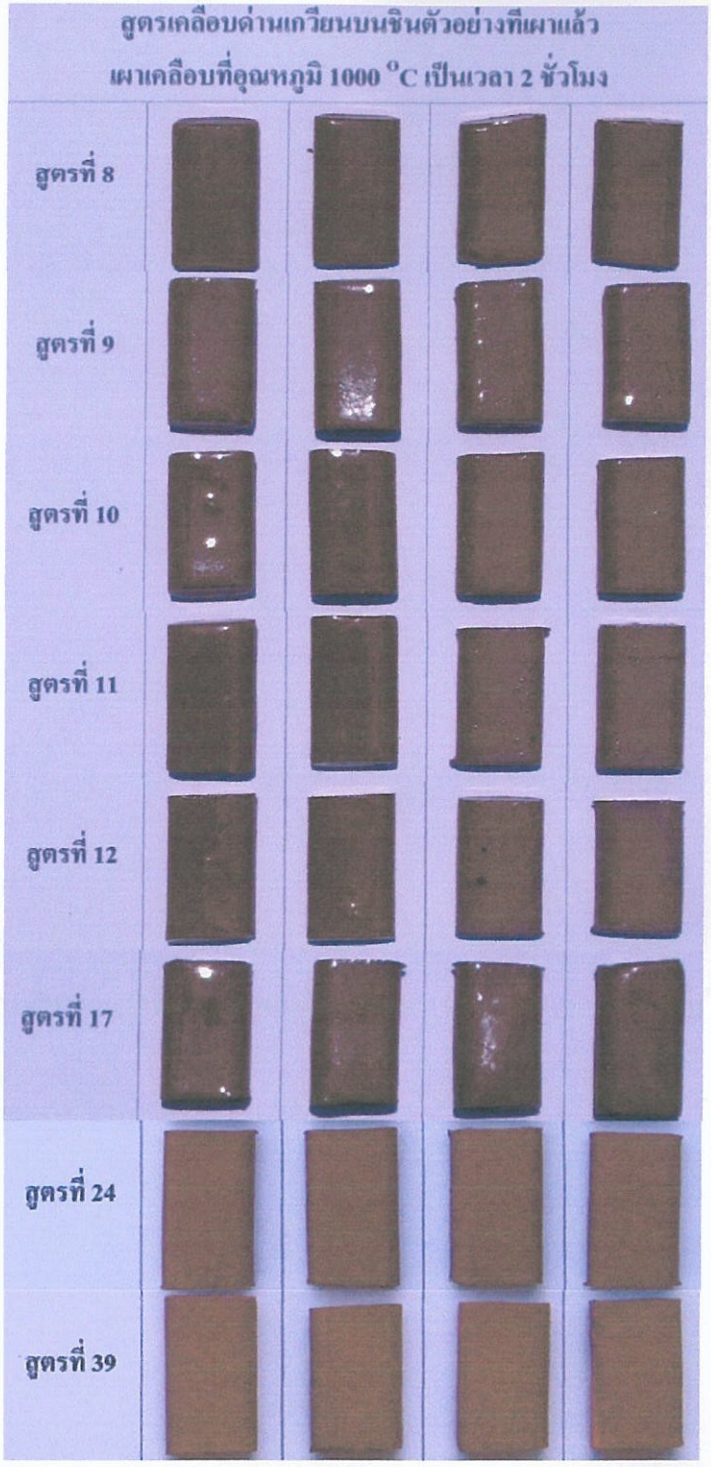
เคลือบที่ได้มีจุดสุกตัวที่อุณหภูมิ 1000°C เพราะว่าประกอบด้วยตัวลดจุดหลอมตัวหลายๆ ตัว เช่น ฟริต CG466, โซดาแอช, TOP-BOR, ขี้เถ้า, โดโลไมท์ รวมทั้งดินด่านเกวียนเอง การใส่วัตถุดิบหลายๆ ชนิดในสัดส่วนแตกต่างกันทำให้ได้เคลือบที่มีลักษณะแตกต่างกับหลายๆ แบบ นอกจากนี้การบดเคลือบที่ระยะเวลาแต่

ต่างกันจะทำให้ได้เคลือบที่มีลักษณะแตกต่างกันด้วย ตามทฤษฎีแล้วการบดเคลือบนานๆ จะทำให้วัตถุดิบในน้ำเคลือบมีขนาดเล็กๆ เคลือบจึงมักจะหดตัว ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 3 และ 4 ก็จะเห็นว่าผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎี

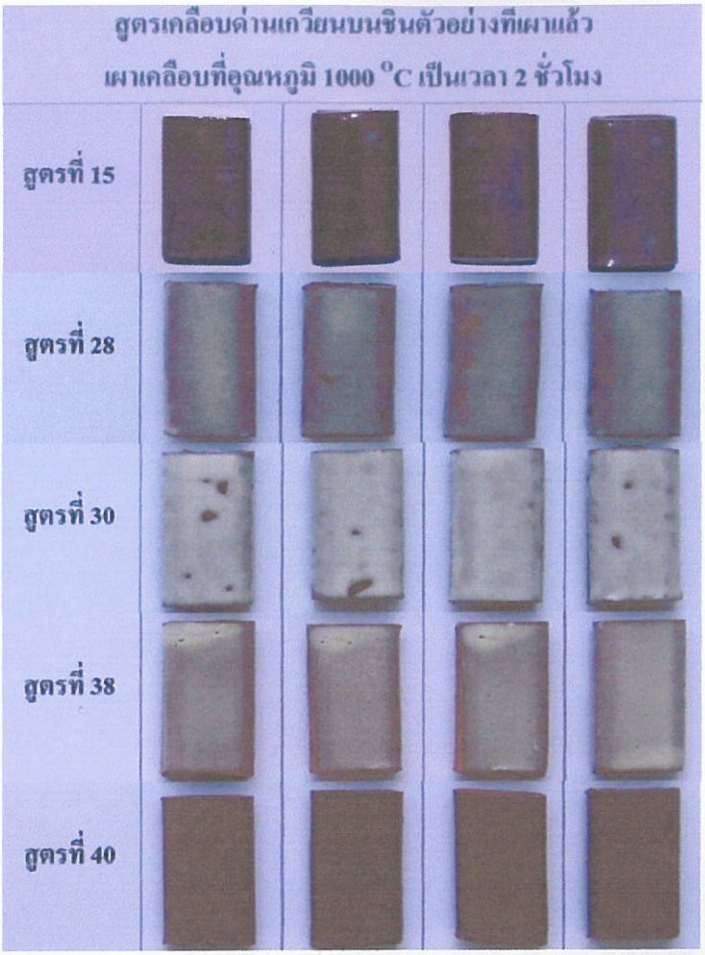
ตารางที่ 1 ส่วนผสมเคลือบทั้งหมด 25 สูตร (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

วัตถุดิบ / สูตรที่	ฟริต CG466	โซดาแอช (Na_2CO_3)	TOP-BOR	DK*	ทรายบด (Quartz)	ขี้เถ้ารวม (DK Ash)	โดโลไมท์ (Dolomite)	เวลาบดผสม (ชม.)
8	5	30	45	15	-	-	5	24
9	5	25	45	15	5	5	-	24
10	5	20	45	15	5	10	-	24
11	5	15	45	15	5	15	-	24
12	5	10	45	15	5	20	-	24
15	-	5	45	25	5	20	-	24
17	-	10	45	25	-	20	-	24
21	10	-	45	25	5	15	-	3
22	15	-	45	25	5	10	-	3
23	20	-	45	25	5	5	-	3, 24
24	25	-	45	25	5	-	-	3, 24
25	10	-	45	15	10	20	-	3
28	25	-	45	10	-	20	-	24
29	-	-	45	15	20	20	-	3
30	-	-	45	10	25	20	-	3, 24
31	-	-	45	15	-	20	20	24
32	-	-	45	10	-	20	25	3, 24
33	10	-	45	15	15	15	-	3
34	10	-	45	10	20	15	-	3
35	15	-	45	15	15	10	-	3, 24
36	15	-	45	10	20	10	-	3, 24
37	20	-	45	15	15	5	-	3, 24
38	20	-	45	10	20	5	-	3, 24
39	25	-	45	15	15	-	-	3, 24
40	25	-	45	10	20	-	-	3, 24

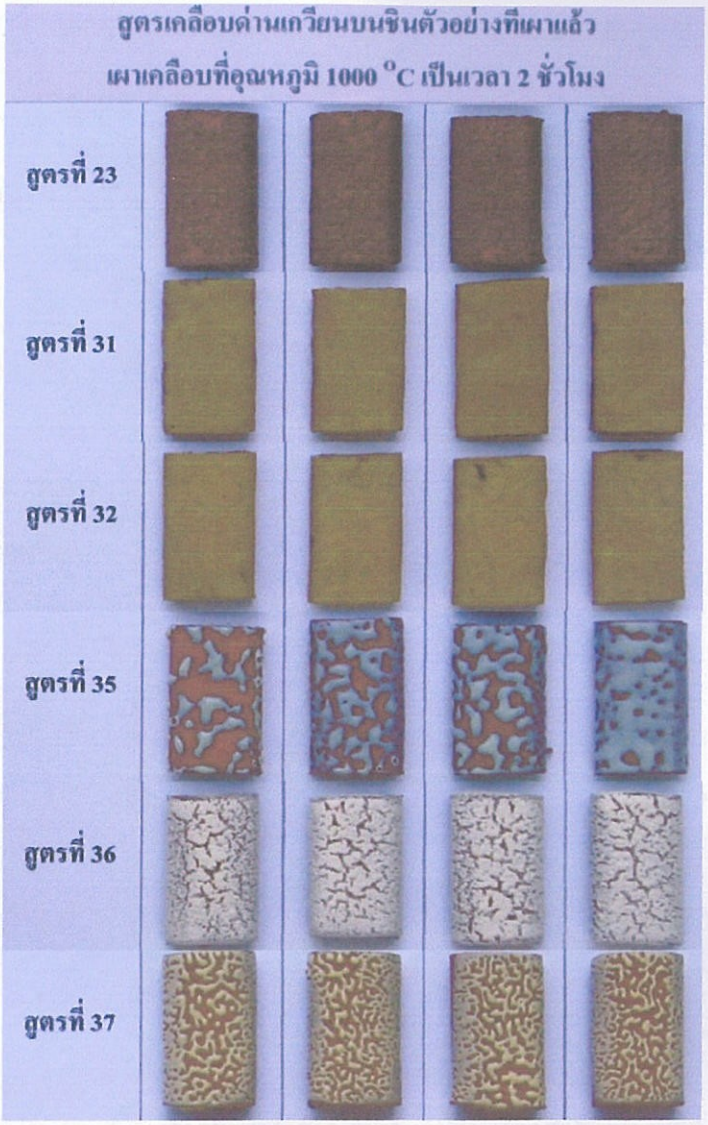
หมายเหตุ : * คือเนื้อดินปั้นด่านเกวียนอบแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช



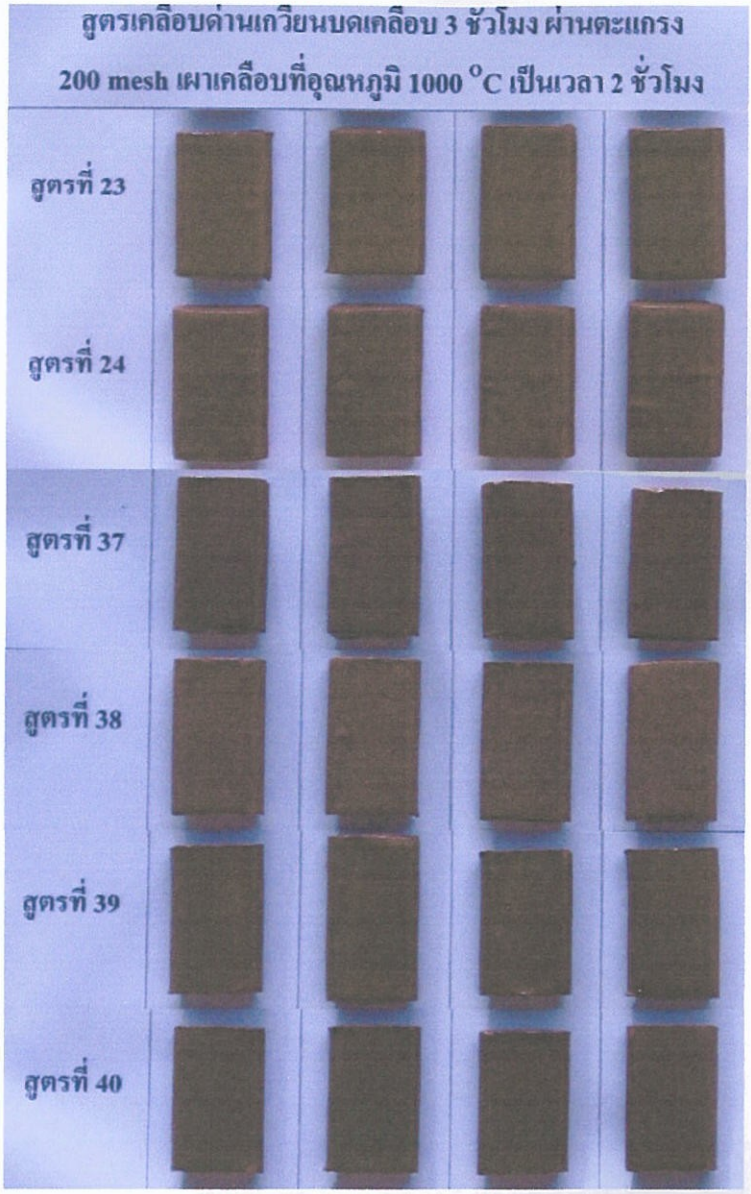
รูปที่ 1 เคลือบใส เตรียมโดยบดผสม 24 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง



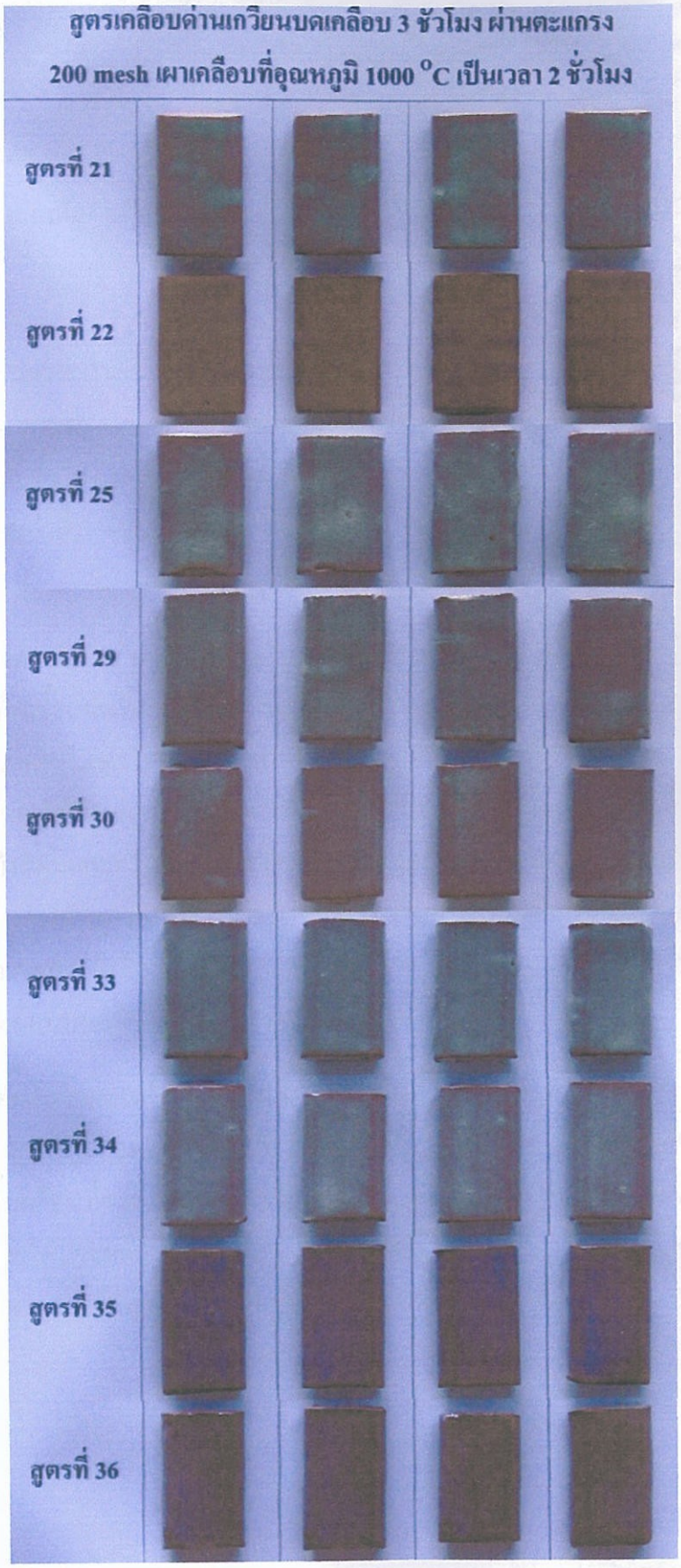
รูปที่ 2 เคลือบสีขาวขุ่น เตรียมโดยบดผสม 24 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง



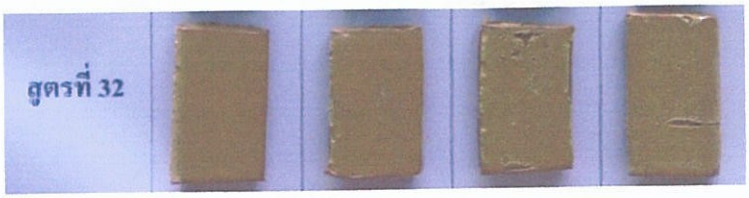
รูปที่ 3 เคลือบที่มี texture เตรียมโดยบดผสม 24 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4 เคลือบใส เตรียมโดยบดผสม 3 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 5 เคลือบสีขาวขุ่น เตรียมโดยบดผสม 3 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 6 เคลือบสีเหลือง เตรียมโดยบดผสม 3 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

สรุป

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการวิจัยและพัฒนาสูตรเคลือบ 25 สูตรสำหรับเครื่องปั้นดินเผาที่ใช้เนื้อดินปั้นด่านเกวียนที่ผ่านการเผา biscuit ก่อนชุบเคลือบ และหลังจากชุบเคลือบแล้วนำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000°C ยืนไฟ 2 ชั่วโมง สูตรเคลือบเหล่านี้มีทั้งเป็นเคลือบใส สีขาวขุ่น สีเหลือง ผิวเรียบเป็นมันวาวหรือผิวด้าน สูตรเคลือบเหล่านี้ทำขึ้นจากวัตถุดิบที่หาง่าย ราคาถูกและที่สำคัญคือไม่มีสารมีพิษ เช่น ตะกั่วเป็นส่วนประกอบ

อย่างไรก็ตามยังต้องมีการค้นคว้าและพัฒนาต่อไปอีกหากจะนำสูตรเคลือบที่ได้ไปเคลือบบนผลิตภัณฑ์ที่เผาในเตาที่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงที่ตำบลด่านเกวียน ทั้งนี้เพราะว่าบรรยากาศและอุณหภูมิในการเผาในเตาด่านเกวียนแตกต่างจากบรรยากาศในเตาไฟฟ้ามาก กล่าวคือบรรยากาศในเตาไม้ฟืนเป็นแบบกึ่งๆ รีดักชัน ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของไม้ฟืนขณะที่บรรยากาศในเตาไฟฟ้าเป็นบรรยากาศแบบออกซิเดชัน นอกจากนี้ในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียนยังมีฝุ่นและควันที่ลอยมาเปื้อนผิวของผลิตภัณฑ์ได้ด้วย ที่สำคัญคืออุณหภูมิในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียนมีความแตกต่างกันมากไม่แต่เฉพาะจุดที่วางชิ้นงานต่างกันจะมีอุณหภูมิต่างกันเท่านั้นแม้แต่ที่จุดเดียวกันที่คนละระดับความสูงก็ยังมีอุณหภูมิแตกต่างกันอีกด้วย จะต้องมีการทำวิจัยเพิ่มอีกหน่อยระยะหากจะนำสูตรเคลือบที่ได้ไปเคลือบบนผลิตภัณฑ์ที่เผาในเตาไม้ฟืนที่ด่านเกวียน

สูตรเคลือบที่คิดค้นจากงานวิจัยนี้จะช่วยให้ประหยัดเชื้อเพลิงในการเผาผลิตภัณฑ์ได้ประมาณ 50 % เพราะว่าจะสามารถลดอุณหภูมิการเผาจากเดิมที่ใช้ทั่ว ๆ ไปที่ 1200°C เหลือเพียงเผาที่ 1000°C และในอนาคตหากสามารถพัฒนาสูตรเคลือบที่สามารถนำไปใช้กับเนื้อดินปั้นที่ไม่ผ่านการเผา biscuit ก่อนนำไปชุบเคลือบได้ก็จะดียิ่งขึ้น เพราะจะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการเผาให้แก่ผู้ประกอบการได้อีกเกือบ 30 % และยังจะช่วยลดปัญหาฝุ่นควันจากการเผาและแก้ปัญหาโลกร้อนเป็นผลพลอยได้อีกต่อหนึ่งด้วย