การนำน้ำเคลือบกระเบื้องดินเผาประเภทปูพื้นที่สูญเสียในกระบวนการผลิตมาใช้เคลือบกระเบื้องดินเผาประเภทปูพื้นใหม่

ปริญญานิพนธ์

ของ

ธานินทร์ พุทธรัตน์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา

พฤษภาคม 2542

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการสอบได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการควบคุม

..... ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โกมล รักษ์วงศ์)

..... กรรมการ

(ดร.บรรชา รัตนวัย)

คณะกรรมการสอบ

..... ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โกมล รักษ์วงศ์)

..... กรรมการ

(ดร.บรรชา รัตนวัย)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ถนอมสิน ดิสถาพร)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(รองศาสตราจารย์ ทวี พรหมพฤกษ์)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

วันที่ 14 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2542

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาช่วยเหลือแนะนำตลอดจน ให้คำปรึกษาเป็นอย่างดียิ่งจาก ผศ.โกมล รักษ์วงศ์ ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ดร.บรรชา รัตนวัย กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ รศ.ทวี พรหมพฤกษ์ได้กรุณาร่วมเป็นกรรมการสอบ พร้อมกับให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์มากขึ้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล ดร.ละเอียด รักษ์เผ่า ดร.ไพรัช วงค์ยุทธไกร ผศ.ถนอมสิน ดิสถาพร ที่เสียสละเวลาร่วมเป็นคณะกรรมการสอบ ตลอดจนให้คำแนะนำต่าง ๆ จนงานวิจัย มีความสมบูรณ์

ความสำเร็จส่วนหนึ่งเกิดจากผู้วิจัย ได้รับกำลังใจจาก มารดา-พี่-ภรรยา และบุตร-ธิดา ตลอดจนเพื่อน ๆ ผู้วิจัยขอขอบคุณมาไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอมอบความดีของงานวิจัยแด่ ครู-อาจารย์ ที่มีพระคุณต่อผู้วิจัยตลอดมา และขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่าน รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ที่นี้ ที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนจนกระทั่งปริญญานิพนธ์ สำเร็จได้ด้วยดี

ธานินทร์ พุทธรัตน์

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	ภูมิหลัง	1
	จุดมุ่งหมายของการวิจัย	4
	ความสำคัญของการวิจัย	4
	ขอบเขตของการวิจัย	4
	นิยามศัพท์เฉพาะ	8
	สมมุติฐานการวิจัย	10
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
	กระบวนการผลิตกระเบื้องดินเผาในระบบอุตสาหกรรม	11
	ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเนื้อกระเบื้องปูพื้น	16
	ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำเคลือบและเอ็นโกบ	17
	วัตถุดิบที่ใช้ทำน้ำเคลือบ	21
	การคำนวณหาอัตราส่วนผสมของน้ำเคลือบกระเบื้องปูพื้น	22
	การเตรียมน้ำเคลือบและการเคลือบ	23
	กระบวนการนำน้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสียมาใช้ใหม่	27
	เตาเผาและการเผา	35
	อิทธิพลความร้อนที่มีต่อน้ำเคลือบ	37
	การวัดอุณหภูมิภายในเตาและเครื่องมือวัดอุณหภูมิ	38
	การทดสอบคุณสมบัติของน้ำเคลือบที่เหมาะสมกับเนื้อกระเบื้องปูพื้น	39
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและเอกสารมาตรฐานอุตสาหกรรม	39
3	วิธีการดำเนินการทดลอง	49
	วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	49
	เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	49
	ตัวแปรที่ศึกษา	50

บทที่ หน้า

การดำเนินการทดลอง 51
การวิเคราะห์ข้อมูล 75
สถานที่และระยะเวลาทำการทดลอง 77

4 ผลการทดลอง 78
ผลการทดลองตอนที่ 1 78
ผลการทดลองตอนที่ 2 95

5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ 98
จุดมุ่งหมายการทดลอง 98
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 99
วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง 99
การดำเนินการทดลอง 100
ผลการทดลอง 102
สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล 104
การอภิปรายผล 104
ข้อเสนอแนะเพื่อการทำวิจัยต่อไป 108

บรรณานุกรม 109

ภาคผนวก 111

ประวัติย่อของผู้วิจัย 127

บัญชีตาราง

ตาราง หน้า

1 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน 42

2 พื้นที่ของรอยบิ่น 43

3 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาดและคุณลักษณะที่ต้องการ 44

4 รายการทดสอบ 45

5 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน 46

6 แสดงอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย) 53

7 แสดงอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย) 58

8 แสดงอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย) 63

9 แสดงอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย) 68

10 ผลการทดลองส่วนผสมน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย 79

11 ผลการทดลองส่วนของน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย 83

12 ผลการทดลองส่วนผสมน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย 87

13 ผลการทดลองส่วนผสมน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย 91

14 ผลการทดสอบ การทนต่อการรานตัว การทนต่อการขัดถู การทนต่อสารเคมี (ส่วนผสมเคลือบมันและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย) 95

15 ผลการทดสอบ การทนต่อการรานตัว การทนต่อการขัดถู การทนต่อสารเคมี (ส่วนผสมเคลือบมันและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย) 96

16 ผลการทดสอบ การทนต่อการรานตัว การทนต่อการขัดถู การทนต่อสารเคมี (ส่วนผสมเคลือบด้านและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย) 96

ตาราง หน้า

17 ผลการทดสอบ การทนต่อการรานตัว การทนต่อการขัดถู การทนต่อสารเคมี (ส่วนผสมเคลือบด้านและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย) 97
18 อัตราส่วนที่เหมาะสมของเคลือบมันและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย 106
19 อัตราส่วนที่เหมาะสมของเคลือบมันและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย 106
20 อัตราส่วนที่เหมาะสมของเคลือบด้านและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย 107
21 อัตราส่วนที่เหมาะสมของเคลือบด้านและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย 107
22 การรายงานผล การรานตัว 122
23 การรายงานผล การทดสอบการขัดถู 124
24 การรายงานผล การทดสอบการทนต่อสารเคมี 126

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ หน้า

1 แสดงแผนภูมิกระบวนการผลิตกระเบื้องในระบบอุตสาหกรรม 12
2 หน่วยงานเตรียมน้ำเคลือบเอ็นโกบและสีพิมพ์ 28
3 หม้อบด 29
4 ตะแกรงสั่นกรองน้ำเคลือบมีแม่เหล็ก 29
5 หน่วยงานเคลือบและตกแต่งลวดลาย 30
6 ตู้เคลือบแบบใช้จานสลัดน้ำเคลือบ 30
7 จานสลัดน้ำเคลือบ 31
8 การเคลือบแบบใช้น้ำตก 31
9 ถังกวนน้ำเคลือบ 32
10 เครื่องสูบน้ำเคลือบและเอ็นโกบผ่านเครื่องแยกน้ำออกจากดิน 33
11 เครื่องแยกน้ำออกจากดิน 34
12 แสดงแผนภูมิการนำน้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสียมาใช้ใหม่ 35
13 การราน 40
14 รูเข็ม 40
15 รอยพอง 40
16 หลุม 41
17 การหดตัวของเคลือบ 41
18 ภาพตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสแสดงส่วนผสม (น้ำเคลือบมันและเอ็บโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย) 52
19 ภาพตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสแสดงส่วนผสม (น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย) 57
20 ภาพตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสแสดงส่วนผสม (น้ำเคลือบด้านและเอ็บโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย) 62
21 ภาพตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสแสดงส่วนผสม (น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย) 67
22 แสดงแผนภูมิขั้นตอนการทดลองเตรียมน้ำเคลือบ 74
23 แสดงแผนภูมิการทดสอบคุณสมบัติของเคลือบหลังเผา 77

ภาพประกอบ หน้า

24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผา 113
25 เตาเผาลูกกลิ้ง 114
26 แสดงลักษณะเคลือบจุดต่าง ๆ ในตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีส่วนผสม
เคลือบมันและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย 115
27 แสดงลักษณะเคลือบจุดต่าง ๆ ในตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีส่วนผสม
เคลือบมันและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย 116
28 แสดงลักษณะเคลือบจุดต่าง ๆ ในตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีส่วนผสม
เคลือบด้านและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย 117
29 แสดงลักษณะเคลือบจุดต่าง ๆ ในตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีส่วนผสม
เคลือบด้านและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย 118
30 ชิ้นทดลอง ตอนที่ 1 119
31 ชิ้นทดลอง ตอนที่ 2 119
32 การทดสอบ การรานตัว 121
33 การทดสอบ การขัดถู 123
34 การทดสอบ การทนต่อสารเคมี 125

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

การศึกษาในแนวทางวิทยาศาสตร์ของเซรามิค (Ceramic Science) จะเน้นหนักในการค้นคว้าสำรวจ วิจัย วิเคราะห์หาข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับวัตถุดิบแหล่งวัตถุดิบ ปริมาณของวัตถุดิบ และคุณสมบัติต่าง ๆ ตลอดจนกรรมวิธีเทคนิคต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ในการผลิตให้ได้ปริมาณที่มากขึ้น คุณภาพดีและมีต้นทุนการผลิตต่ำ

งานอุตสาหกรรมเซรามิคได้พัฒนารูปแบบ และเทคนิควิธีการต่างๆ เรื่อยมา จนกระทั่งปี พ.ศ. 2513 ได้มีการตื่นตัวด้านอุตสาหกรรมเซรามิคโดยเฉพาะกระเบื้องปูพื้นและบุผนัง เริ่มมีโรงงานผลิตกระเบื้องโมเสก กระเบื้องปูพื้นและบุผนังอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เป็นผลจากการที่รัฐบาลได้ให้การสนับสนุนและส่งเสริมด้านการลงทุนเพื่อลดการนำเข้า และยังสามารถส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้ ในปี พ.ศ. 2536 อุตสาหกรรมเซรามิคสามารถนำเงินเข้าประเทศได้มากกว่า 6,000 ล้านบาท (ข้อมูลการตลาด จังหวัดสระบุรี. 2537 : 141)

ในปี 2537 ตลาดกระเบื้องปูพื้น-บุผนัง มีมูลค่ารวมประมาณ 8,500-9,000 ล้านบาท (สรุปสภาวะอุตสาหกรรมก่อสร้างและแนวโน้ม บริษัท ไทย-เยอรมันเซรามิค. 2537 : 21) มูลค่าตลาดโดยรวมจะเป็นตลาดภายในประเทศ ซึ่งภาวะการตลาดจะมีการเติบโตต่อเนื่องควบคู่ไปกับการขยายตัวของภาคของการก่อสร้าง และการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ โดยเฉพาะการก่อสร้างที่อยู่อาศัยทั้งบ้านจัดสรรคอนโดมิเนียมและอาคารสำนักงาน อุตสาหกรรมกระเบื้องปูพื้น-บุผนัง มีผู้ผลิตรวมกว่า 20 ราย (ไม่รวมผู้ผลิตรายย่อยลักษณะผลิตในครัวเรือนไม่ได้จดทะเบียนที่กระทรวงอุตสาหกรรม) แต่เป็นผู้ผลิตรายใหญ่เพียงประมาณ 10 ราย กำลังการผลิตรวมประมาณ 1,300,000 ตันปี แบ่งเป็นกระเบื้องโมเสก 78,500 ตัน กระเบื้องปูพื้น-บุผนัง 1,200,000 ตัน หรือมีกำลังการผลิตรวม 233,000 ตารางเมตรต่อวัน ในปี 2536 ซึ่งเป็นการขยายตัวเพิ่มขึ้นประมาณเท่าตัว หรือ เฉลี่ยประมาณร้อยละ 40 ต่อปี ทั้งนี้ เป็นผลจากการขยายกำลังการผลิตของผู้ผลิตรายเดิมรวมทั้งมีผู้ผลิตรายใหม่เพิ่มขึ้นอีก (ข้อมูลการตลาด จังหวัดสระบุรี. 2537 : 141)

เนื่องจากการชะลอตัวของภาวะการก่อสร้างอสังหาริมทรัพย์ ตั้งแต่ช่วงปี 2534 ต่อเนื่องปี 2536 ทำให้ปริมาณความต้องการกระเบื้องปูพื้น-บุผนัง ในระยะเวลาดังกล่าวขยายตัวในอัตราที่ลดลงเมื่อเทียบกับระยะที่ผ่านมา สำหรับปี 2536 คาดว่าปริมาณความต้องการใช้ภายในประเทศ

จะขยายตัวใกล้เคียงกับปี 2535 คือเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 25 เป็น 744,100 ตัน แต่ขณะเดียวกันการขยายกำลังการผลิตที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นลำดับ กระทั่งทำให้การผลิตของอุตสาหกรรมนี้นับได้ว่าเกิดภาวะอุปทานส่วนเกิน (Over Supply) และเกิดการแข่งขันทางการตลาดที่รุนแรงนับตั้งแต่ปี 2535 เป็นต้นมา จากการเข้ามาของผู้ผลิตรายใหม่ซึ่งต้องมีการตัดราคา เพื่อแนะนำสินค้าเข้าสู่ตลาดและมีผลให้ผู้ผลิตรายใหญ่เดิมต้องปรับราคาลดลงเช่นกันเพื่อรักษาส่วนแบ่งตลาดเดิมไว้ ราคาจำหน่ายกระเบื้องปูพื้น-บุผนัง ภายในประเทศจึงมีแนวโน้มต่ำลงโดยตลอด โดยเฉพาะปี 2536 ราคาได้ปรับตัวลดลงจากปี 2535 ประมาณร้อยละ 20-30 ตลาดต่างประ เทศจึงเป็นอีกทางออกหนึ่งทั้งผู้ผลิตต้องหันไปให้ความสนใจมากขึ้น เพื่อเป็นการระบายสินค้าในคลัง (Stock) ให้ลดน้อยลง แม้ว่าราคาส่งออกจะต่ำกว่าราคาจำหน่ายภายในประเทศปริมาณส่งออกในระยะ 10 เดือนของปี 2536 ประมาณ 40,982 ตัน สูงกว่าปริมาณส่งออกของ ปี 2535 ทั้งปีเกือบร้อยละ 70 (รายงานประจำปี 2535:18) การแข่งขันจะปรับเปลี่ยนมาเป็นทางด้านการพัฒนาด้านคุณภาพและรูปแบบผลิตภัณฑ์มากขึ้น พร้อมกับการใช้กลยุทธ์ในการส่งเสริมการขายทั้งการโฆษณาและเน้นบริการที่รวดเร็วขึ้นและเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการแข่งขันทางด้านราคาภายในประเทศผู้ผลิตหลายรายต่างพยายามกระจายตลาดไปสู่ตลาดส่งออกมากขึ้น โดยเฉพาะตลาด สหรัฐ ออสเตรเลีย และฮ่องกง ซึ่งเป็นประเทศผู้นำเข้ากระเบื้องดินเผาที่สำคัญของโลกซึ่งประเทศไทยยังมีส่วนแบ่งตลาดในกลุ่มประเทศเหล่านี้น้อยมาก เนื่องจากอยู่ในช่วงของการพัฒนาประเทศและยังมีความต้องการในการลงทุนและก่อสร้างอสังหาริมทรัพย์ประเภทที่อยู่อาศัยอีกมาก

ในอุตสาหกรรมผลิตกระเบื้องเคลือบดินเผาจะมีวัตถุดิบและสารเคมีบางตัว เป็นสารมีพิษ เช่น ดีบุก ตะกั่ว ปรอท ซึ่งถ้าปล่อยออกนอกโรงงานอาจจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทั้งมนุษย์และสัตว์ได้ เพราะสารมลพิษ (Pollutant) ดังกล่าว ที่ถูกปล่อยออกนอกโรงงานอุตสาหกรรมมาจะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมจนก่อให้เกิดภาวะมลพิษ (Pollution) ทั้งทางน้ำ อากาศ และเป็นขยะซึ่งทำให้สิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนทั่วไป

จากสภาพการณ์ดังกล่าวของอุตสาหกรรมกระเบื้องเคลือบดินเผาที่เติบโตอย่างรวดเร็วตลอดจนสภาพการแข่งขันทางด้านการตลาดที่รุนแรงทำให้แต่ละผู้ประกอบการ ใช้วิธีลดราคาสินค้า และเพิ่มผลประโยชน์ให้ตัวแทนจำหน่ายสูง มีการโฆษณาประชาสัมพันธ์เพื่อให้สินค้าของตนเอง มีส่วนแบ่งการตลาดมาก ทำให้ต้นทุนผลิตกระเบื้องสูง ผลประโยชน์กำไรต้องลดลง ผลการดำเนินทางธุรกิจต้องกระทบกระเทือนในสภาพการณ์เช่นนี้

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะหาแนวทางการลดต้นทุนการผลิตกระเบื้องเคลือบดินเผาปูพื้น ซึ่งปัจจัยส่วนหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนการผลิตกระเบื้องปูพื้น-บุผนังสูง ก็เนื่องจากวัตถุดิบที่ทำน้ำเคลือบประมาณร้อยละ90 ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น ประเทศอิตาลี สเปน สาธารณรัฐเยอรมัน เป็นต้น ซึ่งประเทศเหล่านี้เป็นประเทศที่มีการเจริญเติบโตและมีเทคโนโลยีทางด้านอุตสาหกรรมประเภทนี้สูง และเมื่อรัฐบาลประกาศค่าเงินบาทลอยตัวเมื่อเดือน กรกฎาคม 2540

จากอัตราแลกเปลี่ยน 26 บาทต่อดอลล่าร์ เป็นประมาณ 40 บาทต่อดอลล่าร์ ส่งผลให้ผู้ประกอบการที่นำเข้าวัตถุดิบและสารเคมีจากต่างประเทศต้องรับภาระต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นอีกมากจากการนำเข้าของวัตถุดิบดังกล่าว

ในการผลิตกระเบื้องดินเผาน้ำเคลือบที่จะสูญเสียในการผลิตมีอยู่ 2 จุดใหญ่ ๆ คือ

1. ที่หน่วยงานเตรียมน้ำเคลือบและเอ็นโกบ (Glaze & Engobe Preparation Section)
2. ที่หน่วยงานเคลือบและตกแต่งลวดลายกระเบื้อง (Glazing & Decorating Line Section)

พบว่ามีการสูญเสียเคลือบและเอ็นโกบ (Glaze & Engobe Waste) รวมทั้ง 2 จุด ประมาณร้อยละ 8-10 การสูญเสียที่หน่วยงานเตรียมน้ำเคลือบและเอ็นโกบเกิดขึ้นจากการล้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมน้ำเคลือบและเอ็นโกบ เช่น การล้างทำความสะอาดอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ หม้อบด (Ball Mill) ตะแกรงกรองน้ำเคลือบ (Vibration Sieve) ปั๊มสูบน้ำเคลือบ (High Pressure Pump) และภาชนะที่ใส่น้ำเคลือบ (Rake Stirrer) การสูญเสียที่หน่วยงานเคลือบและตกแต่งลวดลายกระเบื้อง เกิดจากการทำความสะอาดอุปกรณ์ในการเคลือบ เช่น ตู้สลัดน้ำเคลือบและเอ็นโกบ อุปกรณ์การเคลือบแบบน้ำตกที่เป็นระฆังคว่ำ (Bell Application) เป็นต้นอัตราการใช้น้ำเคลือบและเอ็นโกบต่อการเคลือบกระเบื้อง 1 ตารางเมตร จะใช้น้ำเคลือบและเอ็นโกบประมาณ 1 กิโลกรัม ตามข้อกำหนดในการผลิต ถ้าต้องการผลิตกระเบื้อง 30,000 ตารางเมตรต่อวัน จะต้องเตรียมน้ำเคลือบและเอ็นโกบ 30,000 กิโลกรัมต่อวัน ถ้าสูญเสียคิดเป็นร้อยละ 8-10 จะต้องสูญเสียน้ำเคลือบและเอ็นโกบ 2,400-3,000 กิโลกรัมต่อวัน

ผู้วิจัยสนใจจะทำการวิจัยโดยนำน้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสียระหว่างการผลิตดังกล่าวกลับมาใช้ โดยให้น้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสียจาก 2 จุดใหญ่จากหน่วยงานเตรียมน้ำเคลือบและหน่วยงานเคลือบและตกแต่งลวดลายกระเบื้องไหลลงมารวมกันที่บ่อกวนใต้ดิน (บ่อปูนซีเมนต์) เพราะไม่สามารถนำภาชนะไปรองน้ำเคลือบกับอุปกรณ์ที่ใช้งานแต่ละอย่างได้ เพราะอุปกรณ์ที่ใช้ในการเคลือบกระเบื้องดังกล่าวมีขนาดใหญ่ ถ้าใช้ภาชนะรองรับต้องมีขนาดใหญ่มากลงทุนสูงจึงใช้รางปูนที่อยู่ตามสายการผลิตแล้วต่อให้ไหลมารวมกันในบ่อกวนใต้ดิน จากนั้นนำน้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสียจากบ่อกวน โดยใช้ปั๊มแรงดันสูงสูบผ่านเครื่องแยกน้ำ (Filter Press) เพื่อแยกน้ำออก จะเหลือวัตถุดิบลักษณะคล้ายดินมีความชื้นประมาณร้อยละ 10-15 หลังจากนั้นนำเอาเคลือบส่วนที่สูญเสียมาปรับปรุงเพื่อนำไปใช้งานใหม่ นำวัตถุดิบดังกล่าวมาหาอัตราส่วนผสมต่าง ๆ เนื่องจากน้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสียแล้วมีลักษณะเคลือบไม่บริสุทธิ์ (Contaminate) จะต้องนำมาวิจัยหาอัตราส่วนผสมโดยใช้วัตถุดิบและสารเคมีบางตัวในน้ำเคลือบทีสูญเสียเหล่านี้องค์ประกอบต่าง ๆ ที่เป็นโครงสร้างของเคลือบยังนำมาใช้งานได้ แต่เนื่องจากระหว่างที่ใช้งานและสูญเสียออกมา จะมีส่วนผสมของน้ำในการล้างทำความสะอาดซึ่งอาจจะทำให้น้ำเคลือบเจือจางไม่เหมาะสมกับการเคลือบ จึงต้องนำมาหาอัตราส่วนผสมของ

วัตถุดิบหลัก ๆ ที่เป็นโครงสร้างในการทำน้ำเคลือบ ได้แก่ หินฟันม้า เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ ฟริต ทราย และกาว เพื่อนำมาปรับคุณภาพของน้ำเคลือบให้มีความเหมาะสมสำหรับใช้เคลือบกระเบื้องดินเผา ประเภทปูพื้นเคลือบและนำน้ำเคลือบที่ได้จากการทดลองไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ให้ได้ตามมาตรฐานของอุตสาหกรรมที่กำหนด ของ บริษัท อินดัสเทรียล พลานท์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่สูญเสียจากการผลิตผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส เพื่อนำเอามาใช้เคลือบกระเบื้องปูพื้น

2. ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่สูญเสียจากการผลิตผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส เพื่อนำเอามาใช้เคลือบกระเบื้องปูพื้น

3. ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่สูญเสียจากการผลิตผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส เพื่อนำเอามาใช้เคลือบกระเบื้องปูพื้น

4. ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่สูญเสียจากการผลิตผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส เพื่อนำเอามาใช้เคลือบกระเบื้องปูพื้น

5. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบเคลือบที่ปรับปรุงใหม่กับเคลือบกระเบื้องปูพื้นมาตรฐานของบริษัท อินดัสเทรียล พลานท์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด ทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

ความสำคัญของการวิจัย

1. เพื่อลดต้นทุนการผลิต โดยนำเอาน้ำเคลือบและ เอ็นโกบที่สูญเสียในการผลิตมาใช้
2. ลดมลภาวะเป็นพิษ

ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุตามจุดมุ่งหมาย ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตไว้ดังนี้

1. การรวบรวมน้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสียระหว่างการผลิต ซึ่งจะเป็นการขจัด

ของเสียเพื่อไม่ให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมของโรงงานจำพวกน้ำเคลือบและเอ็นโกบ โดยการให้น้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสียในการผลิตจาก 2 หน่วยงานคือ หน่วยงานเตรียมน้ำเคลือบและเอ็นโกบนั้น หน่วยงานเคลือบและตกแต่งลวดลายกระเบื้องให้ไหลลงไปรวมกันไปในบ่อกวนใต้ดิน ซึ่งมีใบพัดกวนไม่ให้ตกตะกอน แล้วใช้ปั๊มแรงดันสูงสูบผ่านเครื่องแยกน้ำออกเหลือวัตถุดิบที่ได้คล้ายกับดิน มีความชื้นร้อยละ 10-15 วัตถุดิบนี้จะเป็นวัตถุดิบที่มีส่วนผสมของน้ำเคลือบเอ็นโกบและสีที่ได้ตกแต่งรวมกันอยู่ หลังจากนั้นก็นำใส่ภาชนะไปทิ้งไว้ในสถานที่สำหรับทิ้งวัตถุดิบที่สูญเสีย

2. น้ำเคลือบที่ใช้เคลือบกระเบื้องเป็นน้ำเคลือบ 2 ชนิด คือน้ำเคลือบมันและน้ำเคลือบด้านซึ่งจะมีช่วงเวลาการผลิตต่างกัน ส่วนเอ็นโกบที่ใช้รองพื้นเป็นเอ็นโกบชนิดเดียวกัน ดังนั้นการทดลองปรับปรุงน้ำเคลือบมาใช้ใหม่ มีความจำเป็นต้องมีการทดลอง แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทน้ำเคลือบมัน และประเภทน้ำเคลือบด้าน

3. การเตรียมวัตถุดิบที่สูญเสียไปเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง

3.1 นำวัตถุดิบที่สูญเสียประเภทน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่ผ่านการขจัดของเสียแล้ว มีความชื้นร้อยละ 10-15 มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้วัตถุดิบแห้งสนิท

3.2 นำวัตถุที่สูญเสียประเภทน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่ผ่านกระบวนการขจัดของเสียแล้วมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้วัตถุดิบแห้งสนิท

4. การสุ่มตัวอย่างในการทดลอง

วัตถุดิบที่สูญเสียของน้ำเคลือบและเอ็นโกบที่ไหลไปรวมกันในบ่อกวนจะให้วัตถุดิบที่มีส่วนผสมใหม่เกิดขึ้น ซึ่งไม่สามารถที่จะนำไปทำเคลือบได้ ดังนั้นมีความจำเป็นที่ต้องใช้วัตถุดิบจำพวกที่เป็นสารที่ช่วยหลอมละลายตัว (Flux) เช่น หินฟันม้า เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ ฟริต เพื่อทำให้เกิดการหลอมละลายตัวในอุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส และใช้ทราย เป็นตัวให้ซิลิกา (Silica) เพื่อให้เคลือบมีคุณสมบัติเป็นแก้วที่ดีขึ้นและเพิ่มความแข็งโดยจะมีการสุ่มตัวอย่างดังนี้

4.1 ทำการสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่สูญเสียจากการผลิตผสมกับ ฟริต หินฟันม้า และทราย จำนวน 81 สูตร เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส

4.2 ทำการสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่สูญเสียจากการผลิต ผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย จำนวน 81 สูตร เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส

4.3 ทำการสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่สูญเสียจากการผลิต ผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย จำนวน 81 สูตร เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส

4.4 ทำการสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่สูญเสียจากการผลิต ผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย จำนวน 81 สูตร เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส

4.5 นำส่วนผสมที่ได้จากการทดลองไปทำการคัดเลือกและทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานของ บริษัท อินดัสเทรียล พลานท์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด

4.6 นำน้ำเคลือบที่ผ่านการทดสอบที่มีคุณสมบัติใกล้เคียง กับมาตรฐานของบริษัท อินดัสเทรียล พลาท์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัดไปใช้เคลือบกระเบื้องประเภทกระเบื้องปูพื้น

5. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองทำน้ำเคลือบ ได้แก่

5.1 วัตถุดิบที่ได้จากน้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสียจากกระบวนการผลิตผสมกวนรวมกัน แล้วนำไปผ่านการอัดแยกน้ำและอบแห้ง

5.2 หินฟันม้า (Feldspar)

5.3 ฟริต (Frit)

5.4 ทราย (Sand)

5.5 เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ (Nephelene Syenite)

5.6 เอ็นโกบ (Engobe)

5.7 กาว (Glue)

5.8 โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (Sodium Tripolyphosphate)

5.9 น้ำ

6. ตัวแปร

6.1 ตัวแปรต้น ได้แก่

6.1.1 อัตราส่วนผสม ซึ่งประกอบด้วยวัตถุดิบที่ได้จากน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่สูญเสียจากกระบวนการผลิต ผสมกับฟริต หินฟันม้าและทราย

6.1.2 อัตราส่วนผสม ซึ่งประกอบด้วยวัตถุดิบที่ได้จากน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่สูญเสียจากกระบวนการผลิต ผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย

6.1.3 อัตราส่วนผสม ซึ่งประกอบด้วยวัตถุดิบที่ได้จากน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่สูญเสียจากกระบวนการผลิต ผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย

6.1.4 อัตราส่วนผสม ซึ่งประกอบด้วยวัตถุดิบที่ได้จากน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่สูญเสียจากกระบวนการผลิต ผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย

6.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

ตัวแปรตามทางกายภาพ ได้แก่

6.2.1 ลักษณะทั่วไปของเคลือบ (General Appearance of Glaze) เช่น ความ

ด้านความมันของผิวเคลือบ

6.2.2 สีของเคลือบ (Glaze of Colour)

6.2.3 การเกิดรูเข็มของเคลือบ (Pin Hole)

6.2.4 รอยหลุม (Pitting)

6.2.5 รอยพอง (Blister)

6.2.6 การหลุดล่อนของเคลือบ (Peeling)

6.2.7 การดึงตัวของเคลือบ (Crawing)

6.2.8 การรานตัวของเคลือบ (Crazing)

6.2.9 การทนต่อการขัดถู (Abrasive Resistance)

ตัวแปรตามทางเคมี ได้แก่

6.2.10 การทนต่อสารเคมี (Chemical Resistance)

7. ชิ้นทดลองเป็นกระเบื้องดิบ (Green Tiles) ทำการขึ้นรูปโดยวิธีอัด เป็นเนื้อดินปั้นที่ใช้เผาในอุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส ขนาดของชิ้นทดลองเส้นผ่าศูนย์กลาง 45.5 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร และชิ้นทดลองสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 200 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร

8. เอ็นโกบ ใช้ปิดบังผิวเนื้อดินชิ้นทดลอง กำหนดตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ดังนี้

8.1 ความถ่วงจำเพาะ 1.55-1.56

8.2 ความหนืดของเอ็นโกบปริมาณ 100 C.C. ไหลตัวภายในเวลา 11.0-12.0 วินาที

8.3 ใช้เอ็นโกบเคลือบบนชิ้นทดลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45.5 มิลลิเมตร 5 กรัม และขนาด 200 มิลลิเมตร 15 กรัม

8.4 เอ็นโกบมีความละเอียดบนตะแกรงขนาด 100 เมช

9. น้ำเคลือบใช้เคลือบชิ้นทดลองและกระเบื้องกำหนดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมดังนี้

9.1 ความถ่วงจำเพาะ 1.64-1.65

9.2 ความหนืดน้ำเคลือบ 100 C.C. ไหลตัวได้ภายในเวลา 12.0-13.0 วินาที

9.3 ใช้น้ำหนักเคลือบบนชิ้นทดลอง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45.5 มิลลิเมตร 10 กรัม และขนาด 200 มิลลิเมตร 24 กรัม

9.4 ความละเอียดตะแกรงขนาด 100 เมช

9.5 การเคลือบใช้เคลือบโดยใช้วิธีพ่น (Spray) ซึ่งเหมาะสมกับชิ้นทดลองมีขนาดเล็ก

10. การทดสอบคุณสมบัติของเคลือบ

10.1 ทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ มีดังนี้

10.1.1 ทดสอบความด้านความมันของเคลือบ โดยเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของเคลือบ บริษัท อินดัสเทรียล พลานท์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด

10.1.2 สีของเคลือบ เปรียบเทียบกับสีมาตรฐาน ของ บริษัท อินดัสเทรียล พลานท์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด

10.1.3 ทดสอบการรานตัวของเคลือบ ทดสอบโดยใช้หม้อนึ่งอัดความดันใช้ความดัน 100 กิโลปาสกาล

10.1.4 ทดสอบการทนต่อการขัดถู ทดสอบโดยใช้เครื่องขัดเปรียบเทียบกับมาตรฐานของกระเบื้องของบริษัท อินดัสเทรียล พลานท์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด

10.2 การทดสอบคุณสมบัติของเคมี ได้แก่

10.2.1 ทดสอบการทนกรดแช่ในกรดโดยกรดไฮโดคลอริกเข้มข้นร้อยละ 3 ทำการแช่เป็นเวลา 7 วัน

10.2.2 ทดสอบการทนด่าง โดยแช่ในสารละลายโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 3 ทำการแช่เป็นเวลา 7 วัน เช่นเดียวกับการทดสอบการทนกรด

11. เตาและการเผา

11.1 เผาเคลือบทดลองที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส

11.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ใช้ได้แก่ ไพโรเมตริก เทอร์โมคอบเปิล (Pyrometric Thermocouple) ระบบตัวเลขดิจิตอล

11.3 เตาเผาที่ใช้ทดลอง เป็นเตาอุโมงค์ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงระบบเคลื่อนที่ด้วยลูกกลิ้ง (Roller)

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. น้ำเคลือบ หมายถึง สารประกอบของซิลิเกต (Silicate) ผสมกับสารประกอบอย่างอื่นที่เป็นตัวช่วยหลอมละลาย ซึ่งเรียกว่า ฟลักซ์ (Flux) อาจจะมีออกไซด์ของโลหะผสมลงไปด้วยเพื่อทำให้เกิดสีและทึบในเคลือบ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2534 : 1)

2. น้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสีย หมายถึง น้ำเคลือบและเอ็นโกบที่ได้จากการใช้ในสายการผลิต อันเนื่องมาจากล้างอุปกรณ์การเตรียมน้ำเคลือบและเอ็นโกบ เช่น การล้างหม้อบดล้างตะแกรงกรองและการทำความสะอาดอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ การล้างตู้สลัดเคลือบ ล้างถังกวนน้ำเคลือบ เป็นต้น

3. เครื่องอัดแยกน้ำ หมายถึง เครื่องที่ใช้แยกน้ำออกจากวัตถุดิบ โดยสูบน้ำเคลือบและเอ็นโกบที่ใช้แล้วผ่านเครื่องโดยมีผ้าใบกรอง อัดด้วยแรงอัดแยกน้ำออกจะเหลือแต่ส่วนที่เป็นวัตถุดิบลักษณะคล้ายดิน ที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 10-15

4. เครื่องอัดขึ้นรูปชนิดความดันสูง หมายถึง เครื่องขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยใช้แรงอัดจากระบบไฮดรอลิก แล้วนำผงฝุ่นที่ใช้ทำเป็นเนื้อกระเบื้องป้อนเข้าแบบ (Mould) เครื่องจะอัดลงได้เป็นแผ่นกระเบื้องดิบ

5. ชิ้นงานทดลอง หมายถึง กระเบื้องดิบจากการขึ้นรูปด้วยวิธีอัด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45.5 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร และขนาด สี่เหลี่ยมจตุรัส 200 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร

6. เอ็นโ กบ หมายถึง เนื้อดินผสมกับสีสำเร็จรูป หรือผสมวัตถุดิบอื่น ๆ เช่น ฟริต ดินเหนียว หินฟันม้า ดินขาว หินเขี้ยวหนุมาน เป็นต้น ใช้สำหรับเป็นเคลือบรองพื้นเพื่อปิดบังผิวเนื้อกระเบื้อง ก่อนทำการเคลือบด้วยน้ำเคลือบ

7. ความหนืด หมายถึง การวัดค่าการไหลตัวของน้ำเคลือบ มีหน่วยเป็นวินาทีต่อน้ำเคลือบ 100 C.C. โดยให้ไหลผ่านกรวยซึ่งมีรูเปิดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร

8. น้ำหนักของน้ำเคลือบบนชิ้นทดลอง (Weight Per Piece) หมายถึง ปริมาณน้ำเคลือบที่เคลือบบนผิวหน้าชิ้นทดลองมีหน่วยเป็นกรัม

9. เตาเผาแบบลูกกลิ้ง (Roller Kiln) หมายถึง เตาที่ใช้ในการเผากระเบื้องเซรามิคที่มีลูกกลิ้งผ่านความร้อนไปตามระบบการเผา เผาแบบออกซิเดชัน โดยใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้

10. เครื่องมือวัดอุณหภูมิชนิดไพโรเมตริก เทอร์โมคอปเปิล แบบดิจิตอล หมายถึง เครื่องมือที่ใช้โลหะต่างชนิดกันต่อเชื่อมเข้าด้วยกันใช้วัดอุณหภูมิในการเผา เป็นเครื่องมือที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นกระแสไฟฟ้าต่อเชื่อมกับเครื่องวัดระบบดิจิตอล แสดงเป็นตัวเลขบอกอุณหภูมิขณะที่เผาเป็นองศาเซลเซียส

11. เคลือบด้าน หมายถึง เคลือบมีลักษณะผิวหยาบเมื่อสัมผัสด้วยมือ

12. เคลือบมัน หมายถึง เคลือบลักษณะมันวาวแวววและสัมผัสด้วยมือแล้วลื่น

13. สีของเคลือบ หมายถึง ลักษณะสีของเคลือบหลังจากการเผา

14. รูเข็มของเคลือบ หมายถึง รูเล็ก ๆ ที่ปรากฏบนผิวเคลือบ

15. รอยหลุม หมายถึง การเกิดหลุมเล็ก ๆ ที่ผิวหน้ากระเบื้องซึ่งมีความลึกเท่ากันหรือน้อยกว่าความกว้างของหลุม

16. รอยพอง หมายถึง รอยนูนที่ผิวกระเบื้องซึ่งเกิดจากการขยายตัวของแก๊สหรือฟองอากาศภายใน

17. การหลุดล่อนของเคลือบ หมายถึง การแยกตัวระหว่างเคลือบกับเนื้อกระเบื้อง

18. การดึงตัวของเคลือบ หมายถึง การที่เคลือบหดตัวจนขอบกระเบื้องบางส่วนไม่มีเคลือบฉาบอยู่

19. การรานตัวของเคลือบ หมายถึง การนำกระเบื้องไปอบในหม้อนึ่งที่มีความดัน

100 กิโลปาสกาล แล้วไม่รานตัว

20. การทนต่อการขัดถู หมายถึง การทดสอบความต้านทานต่อการขัดสี

21. การทนต่อสารเคมี หมายถึง การทดสอบการกัดกร่อนด้วยกรดไฮโดรคลอริกและด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 ซึ่งภายหลังจากการทดลองจะต้องไม่เห็นความเปลี่ยนแปลงของชิ้นทดลอง

สมมุติฐานการวิจัย

ได้น้ำเคลือบที่ใช้เคลือบกระเบื้องปูพื้น เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส ที่เคลือบมาจากน้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสียจากกระบวนการผลิตผสมกับ ฟริต หินฟันม้า เนฟเฮลีนไซเยไนต์ และทราย มีคุณสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐานโรงงานอุตสาหกรรม

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

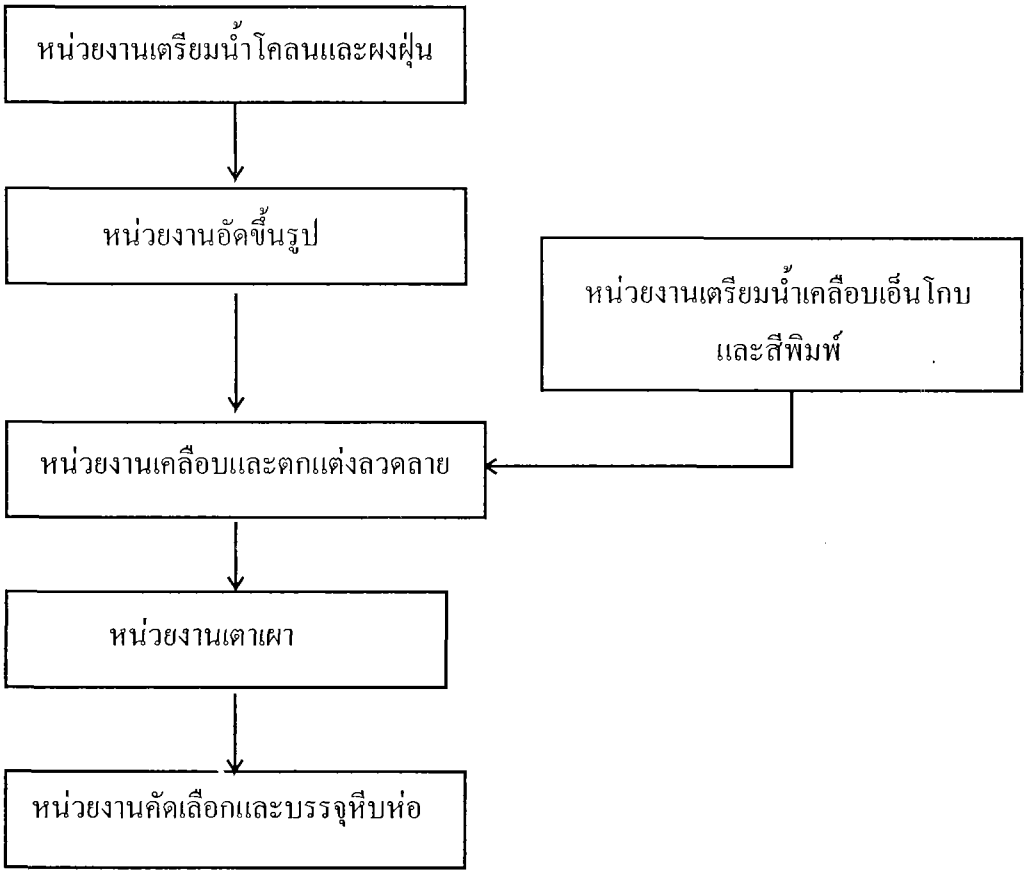
ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมานำเสนอ โดยแยกกล่าวเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

1. กระบวนการผลิตกระเบื้องดินเผาในระบบอุตสาหกรรม
2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเนื้อกระเบื้องปูพื้น
3. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำเคลือบและเอ็นโกบ
4. วัตถุดิบที่ใช้ทำน้ำเคลือบ
5. การคำนวณหาอัตราส่วนผสมของน้ำเคลือบ
6. การเตรียมน้ำเคลือบและการเคลือบ
7. กระบวนการนำน้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสียมาใช้ใหม่
8. เตาและการเผา
9. อิทธิพลความร้อนที่มีต่อน้ำเคลือบ
10. การวัดอุณหภูมิและเครื่องมือ
11. การทดสอบคุณสมบัติของน้ำเคลือบที่เหมาะสมกับเนื้อกระเบื้องปูพื้น ทางด้านกายภาพและเคมี ดังนี้
    - 11.1 ความด้าน ความมัน ของเคลือบหลังการเผา
    - 11.2 สีของเคลือบ
    - 11.3 การเกิดรูเข็มของเคลือบ
    - 11.4 รอยหลุม
    - 11.5 รอยพอง
    - 11.6 การหลุดล่อนของเคลือบ
    - 11.7 การดึงตัวของเคลือบ
    - 11.8 การรานตัวของเคลือบ
    - 11.9 การทนต่อการขัดถู
    - 11.10 การทนต่อสารเคมี
12. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและเอกสารมาตรฐานอุตสาหกรรม

1. กระบวนการผลิตกระเบื้องดินเผาในระบบอุตสาหกรรม

กระบวนการผลิตกระเบื้องดินเผาในระบบอุตสาหกรรม ประกอบด้วยหน่วยงานหลัก ๆ 6 หน่วยงานด้วยกัน คือ

1. หน่วยงานเตรียมน้ำโคลนและผงฝุ่น (Body Slip & Mass Preparation)
2. หน่วยงานเตรียมน้ำเคลือบเอ็นโกบและสีพิมพ์ (Glaze Engobe & Colour Printing Preparation)
3. หน่วยงานอัดขึ้นรูป (Press Section)
4. หน่วยงานเคลือบและตกแต่งลวดลาย (Glaze & Decorating Line Section)
5. หน่วยงานเตาเผา (Kiln Section)
6. หน่วยงานคัดเลือกและบรรจุหีบห่อ (Sorting & Packaging Section)



ภาพประกอบ 1 แสดงแผนภูมิกระบวนการผลิตกระเบื้องในระบบอุตสาหกรรม

1.1 หน่วยงานเตรียมน้ำโคลนและผงฝุ่น

เป็นหน่วยงานงานที่เตรียมน้ำโคลนและผงฝุ่น เพื่อนำมาใช้สำหรับขึ้นรูปกระเบื้อง ขั้นตอนปฏิบัติงาน

1.1.1 กำหนดส่วนผสมของสูตร (Body Composition) ซึ่งกำหนดให้โดยห้องทดลอง (Laboratory) ว่าจะใช้ส่วนผสมอะไรบ้าง

1.1.2 เตรียมวัตถุดิบตามใบกำหนดสูตรใส่เครื่องชั่งขนาดความจุ 30 ตัน (ใส่วัตถุดิบให้ครบทุกชนิดตามสูตรกำหนด)

1.1.3 ลำเลียงวัตถุดิบในเครื่องชั่งไปยังหม้อบด (Ball Mill) ขนาดใหญ่ซึ่งมีความจุประมาณ 30 ตัน

1.1.4 ใส่วัตถุดิบลงในหม้อบดทุกชนิดครบตามสูตรกำหนดเติมน้ำตามสูตรที่กำหนดแล้วตั้งเวลาบดตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำโคลนให้เป็นไปตามข้อกำหนด (Specification)

1.1.5 ถ่ายของผสมข้อ 1.1.4 ใส่บ่อกวนดินโดยภายในบ่อกวนมีมอเตอร์และใบพัดกวนเพื่อป้องกันน้ำโคลนตกตะกอน

1.1.6 กรองน้ำโคลนที่บ่อกวนใต้ดินผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช เพื่อแยกสิ่งเจือปน (Impurity) ที่ปนมากับวัตถุดิบออกและผ่านแม่เหล็ก (Magnetic Separator) เพื่อแยกเศษเหล็กที่ปนมากับวัตถุดิบ การกรองน้ำโคลนต้องการให้น้ำโคลนก็เพื่อต้องการมีความบริสุทธิ์ปราศจากสิ่งเจือปน มิเช่นนั้นเมื่อนำไปผลิตเป็นกระเบื้องแล้วจะมีตำหนิ (Defect) จากสิ่งต่าง ๆ ที่เจือปนมาได้

1.1.7 นำน้ำโคลนที่ผ่านการกรองไว้แล้วทำการสเปร์ยให้เป็นเม็ดฝุ่น โดยผ่านห้องสเปร์ยมีหลักการคือใช้เครื่องสูบน้ำโคลนที่กรองแล้วผ่านหัวฉีดให้เป็นฝอยผ่านความร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส เพื่อกลายเป็นผงฝุ่นควบคุมความชื้นให้อยู่ประมาณร้อยละ 5.0-6.0

1.1.8 นำผงฝุ่นที่ได้ที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 5.0-6.0 ใส่ถังเก็บไซโล (Silo) ที่มีความจุประมาณ 145 ตัน ใส่และบ่มไว้ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาใช้งานอัดขึ้นรูปกระเบื้อง เพราะขั้นตอนการสเปร์ยน้ำโคลนให้เป็นผงฝุ่นเป็นการแยกน้ำออกจากดินทำให้มีความชื้นไม่สม่ำเสมอ ถ้านำไปใช้ผลิตอัดขึ้นรูปทันทีกระเบื้องจะร้าวล่อนได้ จึงต้องทำการบ่ม (Aging) ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ให้ความชื้นสม่ำเสมอก่อนนำไปใช้ผลิตอัดขึ้นรูป

1.2 หน่วยงานเตรียมน้ำเคลือบเอ็นโกบและสีพิมพ์

เป็นหน่วยงานเตรียมน้ำเคลือบเอ็นโกบและสีพิมพ์สำหรับใช้เคลือบกระเบื้องและตกแต่งลวดลาย แบ่งออกเป็น 2 หน่วยงาน

1.2.1 เตรียมน้ำเคลือบและเอ็นโกบ

มีขั้นตอนการปฏิบัติงาน ดังนี้

1. ตรวจสอบโปรแกรมการผลิตว่าจะผลิตกระเบื้องลวดลายอะไรบ้างใน

โปรแกรมการผลิตจะบอกลวดลาย น้ำเคลือบและเอ็นโกบที่ใช้ สีพิมพ์ที่ใช้ ช่วงเวลาที่จะผลิต เมื่อทราบช่วงเวลาที่จะผลิตลวดลายอะไรแล้ว ก็เตรียมน้ำเคลือบและเอ็นโกบตามสูตรน้ำเคลือบ (Glaze & Engobe Composition) ที่กำหนดและออกให้โดยห้องทดลอง

2. นำสูตรน้ำเคลือบและเอ็นโกบมาคำนวณปริมาณที่จะใช้ แล้วนำมาเตรียมงานโดยเตรียมวัตถุดิบ สารเคมีที่จะใช้ให้พร้อมชั่งส่วนผสมแล้วใส่หม้อบดน้ำเคลือบ (Ball Glaze) ตั้งเวลาบด เมื่อครบเวลาบดแล้ว นำน้ำเคลือบมาหาคุณสมบัติต่าง ๆ ตามข้อกำหนด เมื่อได้คุณสมบัติตามข้อกำหนดแล้ว น้ำเคลือบมาเคลือบแผ่นตัวอย่าง นำเข้าเตาเผา เปรียบเทียบกับน้ำเคลือบมาตรฐาน (Standard) ถ้าเป็นไปตามข้อกำหนดถ่ายออกโดยผ่านตะแกรงและแม่เหล็กเพื่อแยกเศษเหล็กเก็บไว้ในบ่อกวน ซึ่งเป็นบ่อสแตนเลส (Stainless) รอหน่วยงานเคลือบและตกแต่งลวดลายมาเบิกไปใช้งานผลิตต่อไป

1.2.2 เตรียมสีพิมพ์

มีขั้นตอนการปฏิบัติงาน ดังนี้

1. ตรวจสอบจากโปรแกรมการผลิตว่า ลวดลายที่จะผลิตใช้สีพิมพ์เบอร์ใด ปริมาณที่จะผลิตเป็นเท่าใด คำนวณปริมาณที่จะต้องใช้ โดยคำนวณจากสูตรสีพิมพ์ (Colour Printing Composition) ที่ออกโดยห้องทดลอง เนื่องจากปริมาณการใช้สีพิมพ์น้อยกว่าน้ำเคลือบในการเตรียมแต่ละครั้ง (Batch) จะเตรียมประมาณ 100 กิโลกรัมเท่านั้น จากนั้นชั่งส่วนผสมนำเข้าเครื่องผสมเบื้องต้น (Pre-Mixing) เพื่อให้วัตถุดิบและสารเคมีเข้ากันก่อนบดละเอียด

2. นำสีพิมพ์ที่ผ่านเครื่องผสมเบื้องต้นแล้วไปเข้าเครื่องบดละเอียดที่ เรียกว่า ไมโครบอลล์ (Micro-Ball) เมื่อบดได้ตามต้องการหาคุณสมบัติ โดยนำสีพิมพ์ที่เตรียมเคลือบบนแผ่นตัวอย่างนำเข้าเตาเผา เปรียบเทียบกับสีพิมพ์มาตรฐานถ้าได้ตามเกณฑ์นำเก็บเข้าคลัง (Stock) เพื่อใช้ในงานเคลือบและตกแต่งลวดลายกระเบื้องมาเบิกไปใช้ในการผลิต

1.3 หน่วยงานอัดขึ้นรูป

เป็นหน่วยงานผลิตขึ้นรูปที่นำผงฝุ่นที่ผลิตแล้วมาเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้อง โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1.3.1 ลำเลียงฝุ่นที่เตรียมจากหน่วยงานเตรียมน้ำโคลนและผงฝุ่นตามสายพานนำมาเข้าเครื่องอัดขึ้นรูป (Press Hydraulic Machine) ที่มีความดันสูง อัดเป็นแผ่นกระเบื้องออกมาเป็นแผ่นเรียกว่ากระเบื้องดิบ (Green Tile)

1.3.2 ลำเลียงกระเบื้องดิบโดยสายพานเข้าอบตู้อบแนวตั้ง (Vertical Dryer) โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียส เพื่ออบไล่ความชื้นเนื่องจากผงฝุ่นที่นำมาขึ้นรูปจะมี

ความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 5.0-6.0 จำเป็นต้องไล่ความชื้นออกให้เหลือไม่เกินกว่าร้อยละ 0.5 ซึ่งจะทำให้กระเบื้องดูดซึมน้ำเคลือบและเอ็นโกบได้ดี ตลอดจนเพิ่มความแข็ง (Strength) ให้กระเบื้องเมื่อเข้าเครื่องพิมพ์ลายที่หน่วยงานเคลือบและตกแต่งลวดลายจะไม่ทำให้กระเบื้องแตกหักได้ง่าย

1.3.3 ลำเลียงกระเบื้องที่ผ่านการอบแล้ว (Dired Tile) ไปตามสายพานไปยังหน่วยงานเคลือบและตกแต่งลวดลายกระเบื้อง โดยมีการควบคุมอุณหภูมิกระเบื้องมีอุณหภูมิผิวหน้าก่อนเข้าตู้น้ำเคลือบตู้แรกไว้ไม่เกิน 75-85 องศาเซลเซียส

1.4 หน่วยงานเคลือบและตกแต่งลวดลาย

หน่วยงานนี้รับกระเบื้องขึ้นรูปเป็นแผ่นผ่านการอบและมีความชื้นประมาณร้อยละ 0.5 ที่มีความร้อนผิวหน้ากระเบื้องอยู่ในช่วง 75-85 องศาเซลเซียส เข้าสายการผลิต โดยผ่านตู้เคลือบเอ็นโกบรองพื้นและเคลือบน้ำเคลือบสีทับ แล้วเข้าเครื่องพิมพ์ลายด้วยสีสรรต่าง ๆ หรือเครื่องตกแต่งอย่างอื่นโดยมีขั้นตอนทำงานดังนี้

1.4.1 ตรวจสอบแต่ละสายการผลิตว่าจะทำการผลิตกระเบื้องลวดลายใดโดยดูจากโปรแกรมการผลิต

1.4.2 เตรียมงานการผลิตตามโปรแกรมการผลิตเคลือบ (Glazing Specification) ซึ่งจะเป็นการกำหนดลวดลาย เบอร์ของน้ำเคลือบ สีพิมพ์ และใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในการสกรีนในการผลิตลวดลายนั้น ๆ

1.4.3 เมื่อทุกอย่างพร้อมปล่อยกระเบื้องจากหน่วยงานอัดขึ้นรูปตามสายการผลิต เมื่อผ่านกระบวนการเคลือบและตกแต่งลวดลายแล้ว จะได้กระเบื้องที่เรียกว่ากระเบื้องเคลือบ (Glazed Tile) เก็บไว้เพื่อรอการเผาในขั้นตอนต่อไป

1.5 หน่วยงานเตาเผา

เป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่เผากระเบื้องที่ผ่านการผลิตเคลือบและตกแต่งลวดลายแล้ว โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.5.1 กระเบื้องที่ลำเลียงมาจากหน่วยงานเคลือบและตกแต่งลวดลายแล้วจะถูกนำเข้าตู้ก่อนเผาที่เรียกว่า ตู้อบก่อนเผา (Pre-Heating Chamber) เพื่อไล่ความชื้นก่อนเข้าเตาเผา เนื่องจากกระเบื้องที่ผ่านการเคลือบและตกแต่งลวดลาย จะมีความชื้นประมาณร้อยละ 1.8-2.0 เพราะกระเบื้องได้ดูดซึมน้ำเคลือบและเอ็นโกบ เมื่อผ่านการอบก่อนการเผาแล้วจะเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 0.3-0.5 ซึ่งเหมาะสมกับสภาวะการเผาโดยใช้เวลาประมาณ 35-40 นาที

1.5.2 นำกระเบื้องที่ผ่านการอบลำเลียงตามสายพานเข้าเผาที่เตาเผาแบบลูกกลิ้ง

ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการเผาอุณหภูมิในการเผากระเบื้องประมาณ 1165-1175 องศาเซลเซียส ควบคุมการเผาด้วยระบบคอมพิวเตอร์

1.5.3 ควบคุมลักษณะของกระเบื้องให้เป็นไปตามข้อกำหนด เพื่อให้ได้กระเบื้องมาตรฐาน กระเบื้องที่ผ่านการเผาแล้ว (Fried Tile) นำไปคัดแยกเกรดหรือชั้นและบรรจุหีบห่อในขั้นตอนต่อไป

1.6 หน่วยงานคัดเกรดและบรรจุหีบห่อ

เป็นหน่วยงานที่คัดแยกเกรดหรือชั้นคุณภาพตลอดจนบรรจุหีบห่อโดยนำกระเบื้องที่ผ่านกระบวนการเผาแล้ว มาแยกเกรดตามข้อกำหนดตามมาตรฐานโดยแยกออกเป็นลอทสี / ลอทขนาด ชั้นคุณภาพ ซึ่งแบ่งออกเป็นเกรด 1,2,3 และของเสียทิ้ง จากนั้นบรรจุหีบห่อส่งเข้าคลังสินค้าเพื่อรอการจำหน่ายในขั้นตอนต่อไป

2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเนื้อกระเบื้องปูพื้น

เนื้อผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาแยกได้เป็น 2 ประเภท คือ เนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีดินเป็นส่วนผสมและเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีดินเป็นส่วนผสม ซึ่งเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีดินเป็นส่วนผสมอยู่นั้นอาจประกอบด้วยดินล้วน ๆ จากการเตรียมขึ้น หรือดินจากแหล่งวัตถุดิบโดยตรง แต่ส่วนมากเนื้อผลิตภัณฑ์จะมีดินผสมกับวัตถุดิบอื่น ๆ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2532 : 83) ทั้งนี้เนื่องจากดินที่ขุดได้จากแหล่งวัตถุดิบจะมีความสม่ำเสมอของคุณสมบัติ อีกทั้งมีคุณสมบัติเฉพาะตัว ที่มีความเหมาะสมกับการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งชนิดใดเท่านั้น ดังนั้นจึงต้องมีการเตรียมเนื้อผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้เนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติสม่ำเสมอ มีคุณภาพดีตรงกับความต้องการในการใช้งานซึ่งการเตรียมเนื้อผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การผสมดินกับวัตถุดิบอื่นเข้าด้วยกันเพื่อความมุ่งหมายเฉพาะอย่างหรือมีเป้าหมายที่แน่นอนนั่นเอง (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 44 ; ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2530 : 64) โดยวัตถุประสงค์ของการเตรียมเนื้อผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาได้แก่ (Rhodes. 1973 : 27)

1. เพื่อเปลี่ยนแปลงความเหนียวของเนื้อดินของผลิตภัณฑ์ ให้มีความเหนียวเพิ่มมากขึ้นหรือลดน้อยลง

2. เพื่อลดการหดตัวของเนื้อดินของผลิตภัณฑ์ หรือพัฒนาให้เนื้อดินผลิตภัณฑ์มีการบิดงอแตกร้าวน้อยที่สุด

3. เพื่อเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิในการเผาของเนื้อดินของผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้นโดยการเพิ่มวัตถุดิบที่มีความทนไฟลงไปในเนื้อดินของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ดินขาว หินเขี้ยวหนุมาน (Quartz) และดินทนไฟ เป็นต้น

4. เพื่อให้ได้คุณสมบัติของเนื้อกระเบื้องเป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานความแข็งแกร่ง การดูดซึมน้ำ

ทั้งนี้สูตรเนื้อดินสำหรับทำเนื้อกระเบื้องปูพื้นที่ดี ต้องมีความเหมาะสมระหว่างเนื้อกระเบื้องกับน้ำเคลือบและเอ็นโกบ ให้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว (Coefficient Of Thermal Expansion C.O.E.) ที่สัมพันธ์และใกล้เคียงกันมากที่สุด

สูตรเนื้อกระเบื้องปูพื้นที่ใช้ในการผลิตในระบบอุตสาหกรรมโดยทั่วไปคือ

หินฟันม้า (Feldspar) ร้อยละ 17

หินผุ (Pottery Stone) ร้อยละ 34

ดินขาวไม่ล้าง (Unwashed Clay) ร้อยละ 11

ดินเหนียว (Ball Clay) ร้อยละ 38

3. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำเคลือบและเอ็นโกบ

3.1 ความหมายของน้ำเคลือบ หมายถึง วัสดุที่มีลักษณะเหมือนแก้วชนิดหนึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ฉาบอยู่บนผิวของผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา ซึ่งแก้วชนิดนี้มีส่วนผสมที่เป็นสารประกอบที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติและออกไซด์ของสารต่าง ๆ มาบดผสมให้เข้ากันในสัดส่วนที่เหมาะสม ต่อจากนั้นนำมาเคลือบผิวผลิตภัณฑ์เซรามิค แล้วเผาให้เคลือบนั้นหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน (โกมล รักษ์วงศ์. 2531 : 62)

3.2 เอ็นโกบ หมายถึง เนื้อดินผสมกับสีสำเร็จรูปหรือผสมวัตถุดิบอื่น ๆ เช่น ฟริต ดินขาว หินฟันม้า เป็นต้น สำหรับใช้เป็นเคลือบรองพื้นปิดบังผิวเนื้อกระเบื้องก่อนทำการเคลือบด้วยน้ำเคลือบ

3.3 วัตถุประสงค์ของการเคลือบ การเคลือบผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา มีวัตถุประสงค์ดังนี้ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2530 : 1)

3.3.1 ไม่ให้ของเหลวและแก๊สซึมผ่านผลิตภัณฑ์

3.3.2 ทำให้เกิดความสวยงาม

3.3.3 ทำความสะอาดผิวผลิตภัณฑ์ได้ง่าย

3.3.4 ทำหน้าที่ป้องกันผิวผลิตภัณฑ์จากการกระทบกระแทก

3.3.5 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น

3.3.6 ทำให้เกิดคุณสมบัติเฉพาะอย่าง เช่น คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้า

3.4 การจำแนกชนิดของเคลือบ น้ำเคลือบที่ใช้เคลือบผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผานั้นมีหลายชนิดด้วยกัน แบ่งตามเกณฑ์ต่าง ๆ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2531 : 27-28) ดังนี้

3.4.1 แบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ คือ

3.4.1.1 เคลือบตะกั่ว (Lead Glazes)

3.4.1.2 เคลือบเกลือ (Salt Glazes)

3.4.1.3 เคลือบบอแรกซ์ (Borax Glazes)

3.4.1.4 เคลือบขี้เถ้า (Ash Glazes)

3.4.1.5 เคลือบเฟลสปาร์ (Feldspar Glazes)

3.4.2 แบ่งตามลักษณะที่มองเห็น หรือตามลักษณะของผิวเคลือบได้แก่

3.4.2.1 เคลือบใส (Clear Glazes)

3.4.2.2 เคลือบทึบ (Opaque Glazes)

3.4.2.3 เคลือบผลึก (Crystalline Glazes)

3.4.2.4 เคลือบด้าน (Mat Glazes)

3.4.2.5 เคลือบราน (Crackle Glazes)

3.4.2.6 เคลือบสี (Color Glazes)

3.4.2.7 เคลือบมันหรือเคลือบมุก (Luster Glazes)

3.4.3 แบ่งตามชนิดของผลิตภัณฑ์ที่นำไปเคลือบ ได้แก่

3.4.3.1 เคลือบพอร์สเลน (Porcelain Glazes)

3.4.3.2 เคลือบโบนไชนา (Bonechina Glazes)

3.4.3.3 เคลือบเอิร์ทเทนแวร์ (Earthenware Glazes)

3.4.3.4 เคลือบสโตนแวร์ (Stoneware Glazes)

3.4.4 แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต ได้แก่

3.4.4.1 เคลือบดิบ (Raw Glazes)

3.4.4.2 เคลือบฟริต (Frit Glazes)

3.4.5 แบ่งตามความทนไฟ

3.4.5.1 เคลือบไฟสูง (Hight Temperature Glazes)

3.4.5.2 เคลือบไฟปานกลาง (Intermediate Temperature Glazes)

3.4.5.3 เคลือบไฟต่ำ (Low Temperature Glazes)

3.4.6 แบ่งตามสถานที่มาของน้ำเคลือบ หรือผู้ทำน้ำเคลือบนั้น ๆ

3.4.6.1 อัลบานี สลิบ เกลซ (Albany Slip Glaze)

3.4.6.2 เซเปอร์ พอร์สเลน เกลซ (Seper Porcelain Glaze)

3.4.7 แบ่งตามแนวคิดของนักวิชาการ 2 ท่าน คือ เคริล (Kerl) กับ แบรกเนอร์ท (Bragniart) ได้แก่

3.4.7.1 เคลือบตะกั่ว (Lead Glazes)

3.4.7.2 เคลือบไม่มีตะกั่ว (Lead Less Glazes Or Earth Glazes)

3.4.7.3 เคลือบเกลือ (Salt Glazes)

3.5 องค์ประกอบของเคลือบ เคลือบเป็นสารประกอบที่ได้จากการนำเอาวัตถุดิบธรรมชาติ และออกไซด์ของสารต่าง ๆ มาบดผสมให้เข้ากันแล้วนำไปเผา เพื่อให้สารประกอบเหล่านั้นหลอมละลาย วัตถุดิบเหล่านี้จะทำให้เคลือบเกิดคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปตามอัตราส่วนผสมองค์ประกอบของเคลือบโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยสารที่ทำให้เกิดแก้ว สารที่เป็นตัวช่วยในการหลอมละลาย และสารที่ทำให้เกิดสีในเคลือบ สารเหล่านี้จะมีอยู่ในวัตถุดิบธรรมชาติ ซึ่งสามารถเลือกนำมาใช้ได้ตามวัตถุประสงค์ในการทำเคลือบ วัตถุดิบธรรมชาติที่นำมาใช้ในการทำเคลือบนั้นมีเป็นจำนวนมาก และมักเป็นสารประกอบที่มีความซับซ้อน แต่แม้ว่าจะเป็นเช่นนั้นก็ยังสามารถแบ่งกลุ่มของวัตถุดิบออกตามคุณสมบัติทางเคมีได้ 3 กลุ่ม ดังนี้ คือ

3.5.1 กลุ่มวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นด่าง (Bases Group) ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยหลอมละลายสัญลักษณ์ทั่วไป คือ R_2O และ RO วัตถุดิบกลุ่มนี้มี 2 ประเภท คือ

3.5.1.1 แอลคาไลน์ (Alkaline) มีคุณสมบัติเป็นตัวช่วยหลอมละลายที่ดี (Strong Flux) เพิ่มการไหลตัวของเคลือบ (Fluidity) และความมันแวววาว (Luster) ในเคลือบส่วนมากละลายน้ำได้ ด่างพวกนี้ ได้แก่ โซเดียมออกไซด์ (Sodium Oxide, Na_2O) โพแทสเซียมออกไซด์(Potassium Oxide, K_2O) และลิเทียมออกไซด์(Lithium Oxide,Li_2O)

3.5.1.2 แอลคาไลน์เอิร์ท (Alkaline Earths) มีคุณสมบัติคล้ายพวกแอลคาไลน์แต่ไม่ละลายน้ำ ด่างพวกนี้ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide, CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide, MgO) สังกะสีออกไซด์ (Zinc Oxide, Zno) เป็นต้น

3.5.2 กลุ่มวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นกลาง (intermediates Group) สัญลักษณ์ทั่วไป คือ R_2O_3วัตถุดิบในกลุ่มนี้ทำหน้าที่เป็นสารทนไฟ และสารให้สี (colorant) วัตถุดิบในกลุ่มนี้ ได้แก่ อลูมิน่า (Alumina, Al_2O_3) เหล็กออกไซด์ (Iron Oxide, Fe_2O_3)

3.5.3 กลุ่มวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นกรด (Acids Group) สัญลักษณ์ทั่วไปคือ RO_2 ทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดแก้ว และทำให้ทึบในเคลือบ วัตถุดิบในกลุ่มนี้ ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์(Silicon Dioxide, SiO_2)ทิเทเนียมไดออกไซ (Titanium Dioxide, TiO_2) เป็นต้น

3.6 ความเหมาะสมในการนำเคลือบไปใช้งาน เคลือบมีลักษณะแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบในการผลิต เช่น วัตถุดิบที่นำมา ใช้อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ อุณหภูมิ และบรรยากาศในการเผา เป็นต้น ความแตกต่างของลักษณะเคลือบนี้ สามารถนำไปใช้งานได้ในลักษณะที่แตกต่างกันไป ซึ่งกล่าวได้ดังนี้ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2531 : 35-45)

3.6.1 เคลือบผลึก เป็นเคลือบที่มีผลึกเกิดขึ้นในเคลือบ หรือบนผิวเคลือบซึ่งอาจมีทั้งผลึกขนาดใหญ่และเล็ก ลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสม เช่น ถ้าใช้สังกะสีออกไซด์จะได้ผลึกรูปพัด ถ้าใช้ทิเทเนียมไดออกไซด์จะได้ผลึกรูปเข็ม เป็นต้น ความสวยงามของเคลือบผลึกจะแตกต่างไปจากเคลือบชนิดอื่น ตรงที่มีลวดลายเกิดขึ้น

ในเคลือบเป็นลักษณะเฉพาะ ส่วนใหญ่นิยมนำไปเคลือบผลิตภัณฑ์ประเภทงานศิลปะและเครื่องประดับ เช่น แจกัน โคมไฟ เป็นต้น

3.6.2 เคลือบทึบ เป็นเคลือบที่ไม่โปร่งแสงใช้เคลือบลงบนผิวผลิตภัณฑ์เพื่อบังเนื้อดินไว้ ความทึบของเคลือบเกิดจากออกไซด์ของดีบุก ออกไซด์ของพลวง ออกไซด์ของสังกะสีหรือส่วนผสมของสารที่ให้สีดำหรือสีมืดทึบส่วนมากเคลือบชนิดนี้มักใช้เคลือบผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ เพื่อบังผิวเนื้อดิน เนื่องจากเนื้อดินมีสีไม่ค่อยขาว เช่น กระเบื้องปูพื้น กระเบื้องฝาผนัง สุขภัณฑ์ เครื่องถ้วยชาม เป็นต้น

3.6.3 เคลือบประกายมุกหรือเคลือบมัน เป็นเคลือบที่มีผิวมันแวววาวสวยงามเป็นประกายคล้ายหอยมุก โดยเฉพาะเมื่อใช้สารให้สี เช่น นิเกิลออกไซด์ เหล็กออกไซด์จะให้สีที่สวยงามยิ่งขึ้นเหมาะสำหรับใช้ตกแต่งเพื่อเพิ่มความงามให้กับผลิตภัณฑ์ ประเภทเครื่องประดับ เช่น กระเบื้อง แจกัน เครื่องประดับ เป็นต้น แต่ไม่เหมาะกับการนำไปใช้เคลือบเครื่องถ้วยชามเพราะมีสารประกอบของตะกั่วปนอยู่

3.6.4 เคลือบใส เป็นเคลือบที่มีความโปร่งใส ผิวมัน เมื่อนำไปเคลือบผลิตภัณฑ์สามารถมองเห็นสีของเนื้อดินปั้นได้ จึงนิยมไปใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ที่มีการตกแต่งแบบใต้เคลือบ (Underglaze Decoration) และถ้าต้องการให้เคลือบใสมีสีก็สามารถใช้ออกไซด์ที่ให้สีอ่อนผสมลงไปได้ เช่น คอปเปอร์ออกไซด์ใช้ไม่เกินร้อยละ 3 จะให้สีเขียวอ่อน เหล็กออกไซด์ไม่เกินร้อยละ 3 จะให้สีน้ำตาลอ่อน เป็นต้น

3.6.5 เคลือบราน เป็นลักษณะของเคลือบชนิดหนึ่งซึ่งจะมีรอยรานอยู่บนผิวเคลือบเกิดจากการขยายตัวและหดตัวของผิวเคลือบ และเนื้อดินแตกต่างกัน เกิดขึ้นได้กับเคลือบทั้งผิวมันและด้าน เคลือบชนิดนี้สามารถควบคุมให้เกิดขึ้นได้ มักนิยมนำไปใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ประเภทศิลปะและเครื่องประดับ ไม่นิยมนำไปเคลือบผลิตภัณฑ์ที่เป็นภาชนะใส่อาหาร เนื่องจากร่องรานที่เกิดขึ้นนั้นจะทำให้เศษอาหารติดค้างและเกิดพิษได้ในภายหลัง

3.6.6 เคลือบด้าน มีลักษณะผิวเรียบแต่ด้าน บางครั้งผิวจะหยาบเล็กน้อยไม่เงามัน มีลักษณะคล้ายเปลือกไข่ เคลือบด้านที่เกิดจากการชุบเคลือบบางหรือเผาไม่ถึงจุดสุกตัวจะมีลักษณะผิวหยาบเมื่อสัมผัสจะรู้สึกระคายมือ เคลือบด้านมี 2 ลักษณะคือ เคลือบด้านที่มีลักษณะด้านสนิทไม่มีเงามัน และเคลือบกึ่งด้านกึ่งมันลักษณะผิวจะมีความมันเล็กน้อย เคลือบชนิดนี้สามารถนำไปใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ได้ทุกประเภท เช่น เครื่องถ้วยชาม สุขภัณฑ์ งานศิลปะ และเครื่องประดับงานกระเบื้อง เป็นต้น

3.6.7 เคลือบที่มีการไหลตัว จะไหลตัวดีบริเวณที่มีความลาดชัน จึงมีผลต่อการเผาโดยต้องระมัดระวังในการจัดวางผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผา เพราะการไหลตัวของเคลือบ จะทำให้เกิดความเสียหายขึ้นภายในเตาเผา คือ เคลือบมักจะไหลไปกองที่พื้นเตา ทำให้พื้นเตาและ

ผลิตภัณฑ์เสียหาย แต่การไหลตัวของเคลือบก็มีประโยชน์สำหรับเคลือบบางชนิด เช่น เคลือบผลึก ซึ่งอาศัยการไหลตัวของเคลือบในการเกิดผลึก นอกจากนั้นยังสามารถนำเคลือบที่มีการไหลตัวดีไปใช้ในการตกแต่งเคลือบ หรือผลิตภัณฑ์ที่มีความสูง เช่น นำไปเคลือบทับส่วนบนของผลิตภัณฑ์จะทำให้เคลือบไหลตัวลงมาเป็นลวดลายที่สวยงามได้ เคลือบที่มีการไหลตัวนี้ไม่ควรนำไปเคลือบผลิตภัณฑ์ที่มีการเขียนสีใต้เคลือบ และไม่นิยมนำไปเคลือบผลิตภัณฑ์ประเภทสุขภัณฑ์หรือเครื่องถ้วยชาม

ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทดลองหาคุณสมบัติเคลือบหลังเผา ลักษณะทั่วไปได้แก่ ความมัน ความด้าน การดึงตัวของเคลือบ การทน การราน การขัดสี การทนสารเคมี การเกิดรูเข็มและการจับผิวกระเบื้องต้องยึกเกาะแน่นกับผิวกระเบื้องไม่หลุดล่อนหลังจากการเผา

4. วัตถุดิบที่ใช้ทำน้ำเคลือบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ได้แก่

4.1 วัตถุดิบที่ได้จากการนำน้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสียจากหน่วยงานเตรียมน้ำเคลือบและเอ็นโกบกับหน่วยงานเคลือบและตกแต่งลวดลายกระเบื้องโดยให้ไหลมารวมในบ่อกวน จากนั้นนำมาผ่านเครื่องแยกน้ำ ได้เป็นวัตถุดิบคล้ายดิน มีความชื้นประมาณร้อยละ 10-15 นำมาเป็นโครงสร้างในการทำน้ำเคลือบทดลอง

4.2 หินฟันม้า ประเภทโซดาเฟลสปาร์ เป็นหินฟันม้าที่มีสารประกอบส่วนใหญ่เป็นโซเดียมอะลูมิเนียมซิลิเกตของแอลคาไล และแอนคาไลน์เอิร์ท โดยเฉพาะสารประกอบของโซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) พบมากและใช้มากในอุตสาหกรรมเซรามิค สารประกอบ Na,K,Ca หาได้ยาก ในหินฟันม้าจะมีทั้ง Na,K,Ca โดยจะมีอัตราส่วนที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากว่าสารประกอบทั้ง 3 ตัวนี้มีการละลายซึ่งกันและกันในขณะที่เป็นของแข็ง

การใส่หินฟันม้าในเคลือบเพื่อเป็นตัวเริ่มก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดเนื้อแก้วในผลิตภัณฑ์ และให้คุณสมบัติเคลือบโปร่งแสงดีขึ้น หินฟันม้าให้ความทนทานต่อแรงดึงตัวของเคลือบ ข้อดีที่ทำให้อุตสาหกรรมเซรามิคนำมาใช้ก็คือ หินฟันม้ามีราคาถูก และเป็นสารประกอบแอลคาไลน์ที่ไม่ละลายน้ำ แหล่งหินฟันม้าในประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดตาก อุทัยธานี ราชบุรี และ นครศรีธรรมราช

ส่วนประกอบของหินฟันม้า หินฟันม้าส่วนใหญ่มีส่วนประกอบคงที่พอสมควรเว้นแต่ปริมาณเป็นร้อยละของ Na และ K เท่านั้นที่เปลี่ยนไป หินฟันม้าที่มีร้อยละของ K สูง ใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้น (ปรีดา พิมพ์ขาวคำ. 2539 : 95)

4.3 ฟริต คือวัตถุดิบที่ใช้ทำน้ำเคลือบอุณหภูมิต่ำ ซึ่งทำจากวัตถุดิบที่เป็นพิษ เช่น ตะกั่วหรือวัตถุดิบที่ละลายน้ำได้นำมาเผาหลอมรวมกับซิลิกาซึ่งเป็นแก้ว ทำให้วัตถุดิบที่หลอมตัวเป็นแก้วมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ และไม่ดูดซึมเข้าทางผิวหน้า ลดความเป็นพิษลง ฟริตนิยม

นำมาใช้ผสมในน้ำเคลือบอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากฟริตมีส่วนผสมของซิลิกาและอลูมินาอยู่บ้าง แล้วจึงใช้เป็นเคลือบสำเร็จรูปในอุณหภูมิต่ำได้ เคลือบอุณหภูมิปานกลาง 1150-1200 องศาเซลเซียส ใช้ฟริตในปริมาณน้อยลงเพื่อลดอุณหภูมิการหลอมละลายของเคลือบ โดยใช้ปริมาณร้อยละ 20-40 ร่วมกับวัตถุดิบที่เป็นตัวหลอมละลายอื่น ๆ ในสูตรเคลือบ ส่วนในเคลือบอุณหภูมิสูงโดยปกติไม่ใช้ฟริตเป็นส่วนประกอบใช้วัตถุดิบทั้งหมด แต่ในเคลือบอุณหภูมิสูงบางชนิดที่ต้องการสีพิเศษหรือปฏิกิริยาแปลกจากธรรมดาจะใช้ฟริตในสูตรเคลือบไม่เกินร้อยละ 5 (ไพจิตร อิงศิริวัฒน์. 2537 : 17)

4.4 ทราย เป็นส่วนประกอบของซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูง รองลงมาจากหินเขี้ยวหนุมาน เป็นวัตถุดิบที่นำมาผสมเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ เพื่อให้เกิดเป็นแก้วที่ดีเพิ่มความแข็ง แหล่งทรายที่ดีในประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดระยอง และจังหวัดสงขลา

4.5 เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ เป็นวัตถุดิบที่ผสมน้ำเคลือบและเนื้อดินปั้นเป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิได้ดีและโปร่งแสง มีคุณสมบัติใกล้เคลียงกับหินฟันม้า

4.6 เอ็นโกบ ใช้เป็นเคลือบรองพื้นเพื่อปิดบังเนื้อกระเบื้อง

4.7 กาว หรือ Carboxy Methyl Cellulose (C.M.C.) ใช้ผสมในเคลือบให้เกาะติดผิวเนื้อกระเบื้องได้ดี และเคลือบไม่บูดเน่า

4.8 โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต เป็นสารที่เติมช่วยให้การไหลตัวของน้ำเคลือบได้ดีขณะใช้เคลือบผลิตภัณฑ์

5. การคำนวณหาอัตราส่วนผสมของน้ำเคลือบกระเบื้องปูพื้น

การคำนวนณหาส่วนผสมของเนื้อกระเบื้องปูพื้น และน้ำเคลือบนั้น แบ่งออกได้ 4 วิธี คือ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2532 : 84-85)

1. วิธีเขียนเป็นร้อยละของวัตถุดิบ เช่น

ดินขาว	ร้อยละ 35
ดินเหนียว	ร้อยละ 25
หินเขี้ยวหนุมาน	ร้อยละ 13
หินฟันม้า	ร้อยละ 27

2. วิธีเขียนเป็นร้อยละของออกไซด์ เช่น

LOI (Loss of Ignition)	ร้อยละ 5.7
SiO_2	ร้อยละ 66.7
Al_2O_3	ร้อยละ 21.6
Fe_2O_3	ร้อยละ 0.5
CaO	ร้อยละ 0.6

MgO	ร้อยละ 0.4
K_2O,Na_2O	ร้อยละ 4.5

3. วิธีเขียนในรูปร้อยละของแร่ เช่น

แร่ดิน	ร้อยละ 50
หินเขี้ยวหนุมาน	ร้อยละ 25
หินฟันม้า	ร้อยละ 25

4. วิธีเขียนเป็นสูตรเอมไพริคอล คือ

R_2O,RO	R_2O_3	RO_2
0.36	1	5.24

สำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้อัตราส่วนผสมของน้ำเคลือบตามวิธีที่ 1 คือ เขียนเป็นร้อยละของวัตถุดิบ เนื่องจากเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย อีกทั้งสามารถทำความเข้าใจได้ง่ายกว่าวิธีอื่น ๆ รวมทั้งสะดวกต่อการนำไปใช้ เพราะสามารถนำส่วนผสมดังกล่าวไปชั่งวัตถุดิบตามน้ำหนักของส่วนผสมได้เลย ซึ่งในการได้มาของค่าอัตราส่วนผสมสามารถหาได้จากการคำนวณสูตรทางเคมี โดยคำนวณจากตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า หรือคำนวณได้จากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า เป็นต้น ซึ่งผู้วิจัยจะนำเสนอเฉพาะวิธีการหาค่าอัตราส่วนผสม โดยใช้อัตราส่วนร้อยละของวัตถุดิบในการทำวิจัย

6. การเตรียมน้ำเคลือบและการเคลือบ

เมื่อกำหนดสูตรเคลือบและได้อัตราส่วนผสมแล้วจะต้องมีการเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ และวัตถุดิบ รวมทั้งข้อควรคำนึงต่าง ๆ ในการเตรียมน้ำเคลือบ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีประหยัดเวลา และแรงงาน (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2530 : 56) สิ่งที่ต้องคำนึงถึงดังกล่าวมีดังนี้

6.1 วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการเตรียมน้ำเคลือบ สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ แนะนำวัสดุอุปกรณ์ในการเตรียมน้ำเคลือบ ดังนี้ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2531 : 67-68)

6.1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผสมทำน้ำเคลือบ ส่วนมากจะเตรียมไว้ในลักษณะบดละเอียด ซึ่งทำให้สะดวกสามารถนำไปใช้ได้ทันที

6.1.2 เครื่องชั่ง มีหลายชนิด เช่น แบบลูกตุ้ม แบบ 2 แขน เป็นต้น เครื่องชั่งที่มีคุณภาพสามารถชั่งได้อย่างละเอียด คือ เครื่องชั่งไฟฟ้า บอกค่าน้ำหนักด้วยระบบตัวเลขดิจิตอล (Digital) ทำให้สะดวกในการใช้งาน ในการชั่งวัตถุดิบนั้นควรใช้เครื่องชั่งที่มีความไวสูง เพราะการชั่งต้องการความละเอียดมาก

6.1.3 เครื่องบด โดยทั่วไปแล้วแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

6.1.3.1 โกร่งบด (Mortar) เป็นเครื่องมือที่ค่อนข้างหาได้ง่ายและราคา

ไม่แพงนัก ใช้กำลังคนในการบดทำด้วยเนื้อพอร์สเลนซึ่งมีความแข็งแกร่งมาก มีขนาดปากกว้าง 6 นิ้ว 10 นิ้ว และ 12 นิ้ว ภายนอกนิยมเคลือบด้วยสีขาวทึบ ส่วนภายในไม่เคลือบเพื่อต้องการให้มีผิวหยาบและช่วยในการบดได้ดี

6.1.3.2 หม้อบด มีหลายขนาด เช่น ขนาดบรรจุ ครึ่งกิโลกรัม 5 กิโลกรัม หรือ 100 กิโลกรัม เป็นต้น

-หม้อบดขนาดเล็ก (Jar Mill) คือหม้อบดที่มีขนาดบรรจุตั้งแต่ 5 กิโลกรัมลงมา ทำจากเนื้อพอร์สเลนหนาประมาณ 1-1.5 นิ้ว เคลือบทั้งภายในและภายนอกเพื่อสะดวกในการทำความสะอาด

-หม้อบดขนาดใหญ่ (Ball Mill) เป็นหม้อบดที่มีขนาดบรรจุตั้งแต่ 50 กิโลกรัมขึ้นไป ลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ภายนอกเป็นโลหะ ภายในกรุด้วยวัสดุที่ทนต่อแรงกระแทกและแรงเสียดสีได้สูง เช่น ยางไซเล็กซ์ (Silex) พอร์สเลน เป็นต้น

ทั้งหม้อบดขนาดเล็ก และหม้อบดขนาดใหญ่หมุนโดยกำลังไฟฟ้า ภายในบรรจุด้วยลูกบด (Ball) ขนาดต่าง ๆ กัน การบดของหม้อบดเกิดขึ้นโดยการเสียดสีระหว่างวัตถุดิบกับลูกบด ซึ่งจะไถลและกลิ้งไปในขณะที่หม้อบดหมุนไป ลูกบดในขณะบดควรมี 3 ขนาด ซึ่งขนาดของลูกบดที่เล็กสุดกับใหญ่สุดไม่ควรแตกต่างกันมากนัก โดยทั่วไปจะใส่ลูกบดแต่ละขนาดในอัตราส่วนดังนี้ คือ

ลูกบดขนาดใหญ่ ประมาณ ร้อยละ 20-25

ลูกบดขนาดกลาง ประมาณ ร้อยละ 50-60

ลูกบดขนาดเล็ก ประมาณ ร้อยละ 20-25

6.1.4 เครื่องกรอง คือ อุปกรณ์ที่ใช้กรองวัตถุดิบเพื่อให้ได้ขนาดตามต้องการในการทำวิจัยครั้งนี้จะใช้ตะแกรงร่อน (Sieve) ทำด้วยทองเหลือง หรือสแตนเลสขนาดรูเปิด 100 เมช สำหรับกรองน้ำเคลือบ

6.2 ขั้นตอนในการเตรียมน้ำเคลือบ การเตรียมน้ำเคลือบมีขั้นตอนในการเตรียมดังนี้

6.2.1 การชั่งส่วนผสมให้ถูกต้องแน่นอนตรงตามสูตรกำหนด

6.2.2 การบดผสม การบดและการผสมจะปฏิบัติไปพร้อม ๆ กัน ถ้าเคลือบมีปริมาณมากควรใช้หม้อบด เพื่อให้เคลือบมีความสม่ำเสมอดีกว่าการใช้โกร่ง การบดน้ำเคลือบควรใส่น้ำไม่เกินร้อยละ 55 ของน้ำหนักส่วนผสม ถ้าใช้น้ำมากเกินไปจะทำให้ส่วนผสมเคลื่อนหนี และเกิดการสึกหรอของวัสดุที่กรุภายในหม้อบด แต่ถ้าใส่น้ำน้อยจะทำให้ส่วนผสมมีความหนืดสูง และมีการบดน้อย เพราะลูกบดโดยทั่วไปจะใช้น้ำประมาณร้อยละ 30-41 ของน้ำหนักส่วนผสม น้ำที่ใช้ในการผสมเคลือบจะต้องสะอาดปราศจากตะกอน และมีสภาพเป็นกลาง

6.2.3 การกรอง น้ำเคลือบที่ผ่านการบดผสมแล้วจะต้องผ่านการกรองด้วยตะแกรงร่อน เพื่อให้ได้ความละเอียดที่สม่ำเสมอตามต้องการ

6.3 สภาวะของผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปเคลือบ สภาวะของผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปเคลือบแบ่งออกได้ 2 สภาวะ คือ

6.3.1 ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสภาวะของดินดิบ การเคลือบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสภาพดินดิบนี้ต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษเนื่องจากผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเปราะหักง่ายโดยเฉพาะถ้าใช้วิธีเคลือบแบบจุ่มต้องใช้ความชำนาญเป็นพิเศษ เพราะถ้าจุ่มเคลือบไม่เป็น เนื้อผลิตภัณฑ์อาจยุ่ยเสียหายได้ ผลิตภัณฑ์ในสภาวะนี้ไม่ควรใช้กับช่างฝึกหัด ในโรงงานเซรามิคขนาดใหญ่นิยมเคลือบผลิตภัณฑ์ในสภาวะนี้เพราะทำให้ประหยัดเชื้อเพลิงและแรงงานมาก แต่มักเคลือบด้วยวิธีพ่น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องสุขภัณฑ์

6.3.2 ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสภาวะเผาดิบ (Biscuit Ware) ซึ่งนิยมเผากันที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ถึง 900 องศาเซลเซียส ดินจะแข็งตัวและหยิบยกได้สะดวก เนื้อผลิตภัณฑ์มีความพรุนตัวพอเหมาะที่จะดูดซึมน้ำเคลือบได้ดี ถ้าเผาในอุณหภูมิสูงเกินไปจะมีผลให้เคลือบไม่ค่อยติดผลิตภัณฑ์ เพราะเนื้อผลิตภัณฑ์มีความพรุ่นตัวน้อยเกินไปและถ้าเผาในอุณหภูมิต่ำเกินไปก็จะมีผลทำให้เกิดตำหนิที่ผิวเคลือบได้ เนื่องจากความพรุนตัวมีมากทำให้ดูดน้ำจากเคลือบมากเกินไปอาจทำให้ผิวเคลือบที่ได้ขรุขระหรือผลิตภัณฑ์อาจแตกได้ การเคลือบผลิตภัณฑ์ในสภาวะเผาดิบนี้นิยมทำกันในสถานศึกษาและสถานประกอบการเครื่องเคลือบดินเผา เพราะเคลื่อนย้ายสะดวก และสามารถเก็บไว้ได้ในกรณีที่ผลิตไว้มาก (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2531 : 70)

6.4 การเตรียมผลิตภัณฑ์ก่อนนำไปเคลือบ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2531 : 70) ผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะนำไปเคลือบต้องผ่านการขจัดฝุ่นละอองออกให้หมดเสียก่อน เพราะถ้าหากว่าที่ผิวผลิตภัณฑ์มีฝุ่นละอองเกาะอยู่ จะเป็นเหตุให้เคลือบร่อนหลุดจากผิวของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผิวเคลือบมีตำหนิได้ การทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ก่อนนำไปเคลือบนั้นอาจใช้ฟองน้ำจุ่มน้ำหมาด ๆ แล้วเช็ดหรือใช้ผ้าปัดฝุ่นออก

6.5 วิธีเคลือบผลิตภัณฑ์ การเคลือบผลิตภัณฑ์มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับขนาดและประเภทของผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาเคลือบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ (Kenny. 1949 : 200 -201)

6.5.1 การเคลือบด้วยวิธีชุบหรือจุ่ม (Dipping) การเคลือบด้วยวิธีนี้ส่วนใหญ่จะเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเผาดิบ เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กโดยนำผลิตภัณฑ์ที่เตรียมไว้จุ่มลงในถังน้ำเคลือบ เป็นวิธีที่นิยมกันมาก

6.5.2 การเทราด (Pouring) ในกรณีที่น้ำเคลือบมีปริมาณไม่มากพออาจเลือกวิธีเคลือบด้วยการเทราด โดยนำไม้ 2 อันวางพาดที่ปากถังวางผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเคลือบไว้บนไม้ทั้งสองแล้วใช้เคลือบเทราดลงไปบนผลิตภัณฑ์น้ำเคลือบส่วนที่เหลือจากการเกาะผลิตภัณฑ์จะ

ไหลลงสู่ถังที่รองรับไว้ การเคลือบวิธีนี้อาจใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ก็ได้ เช่น อ่างบัว โอ่ง มังกรได้ เป็นต้น

6.5.3 การใช้แปรงหรือพู่กันทา (Brushing Glaze) การใช้แปรงทาเคลือบลงบนผลิตภัณฑ์ต้องใช้แปรงหรือภู่กันที่อุ้มน้ำได้ดี ขนแปรงยาวขนาดประมาณ 1/2 นิ้ว หรือ 1 นิ้ว การทาต้องทาอย่างรวดเร็วและต้องอาศัยความชำนาญเป็นพิเศษ วิธีนี้เหมาะสำหรับงานขนาดเล็ก เช่น เครื่องประดับ หรืออาจใช้ซ่อมแซมเคลือบที่เคลือบไว้ไม่ทั่วถึงก็ได้

6.5.4 การพ่น (Spraying) การเคลือบด้วยวิธีการพ่นต้องใช้กาสำหรับพ่นเคลือบ (Spraying Gun) และต้องพ่นเคลือบในตู้พ่น (Spray Booth) เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของละอองเคลือบ และเคลือบจะต้องมีความละเอียดพอที่จะพ่นผ่านกาสำหรับพ่นเคลือบออกมาได้ เคลือบที่พ่นไปยังผลิตภัณฑ์จะต้องมีความสม่ำเสมอจะนับเป็นวิธีการเคลือบที่ดีที่สุด ผลิตภัณฑ์ที่นิยมเคลือบด้วยวิธีนี้ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่มาก เช่น เครื่องสุขภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ ในการเคลือบด้วย วิธีนี้ยังเหมาะสำหรับเคลือบผลิตภัณฑ์ประเภทดินดิบที่ต้องการเผาเพียงครั้งเดียว (One Firing) อีกด้วย

6.5.5 การเคลือบแบบน้ำตก (Waterfall Glazing) การเคลือบแบบน้ำตกบนกระเบื้องเป็นที่นิยมใช้กันมากในประเทศแถบ ๆ ยุโรป (Parmelee. 1947 : 149) โดยใช้เคลือบราดบนภาชนะรูประฆังคว่ำที่เรียกว่า Bell ทำด้วยวัสดุสแตนเลส ให้เคลือบราดลงสายพานกระเบื้องดิบจะเคลื่อนบนสายพานผ่านน้ำเคลือบที่ออกมาราดบนกระเบื้อง สายพานเคลื่อนตัวนำกระเบื้องเคลือบแล้วไปใส่รถเก็บเพื่อรอเผา

6.5.6 การเคลือบแบบใช้จานสลัดน้ำเคลือบ (Disc) การเคลือบชนิดนี้จะมีตู้ภายในมีจานสลัดสีลักษณะเป็นแผ่นพลาสติกบาง ๆ ซ้อนกันประมาณ 32 แผ่น จะมีมอเตอร์ปั๊มน้ำสีเคลือบขึ้นไปที่ตู้แล้วปล่อยไหลผ่านแผ่นพลาสติก ซึ่งจะมีมอเตอร์ขับให้หมุนแล้วสลัดสีเคลือบออกมาเหนือกระเบื้องที่ผ่าน ในตู้เคลือบกระเบื้องโดยสายพานลำเลียง

6.6 ค่าความถ่วงจำเพาะของเคลือบ หมายถึง ปริมาณความหนาแน่นของเคลือบซึ่งมีผลต่อการนำเคลือบไปเคลือบผลิตภัณฑ์ เช่น เมื่อนำผลิตภัณฑ์เผาดิบที่มีความพรุนตัวสูง คือมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดีจุ่มลงในน้ำเคลือบที่มีความหนาแน่นสูง จะทำให้เคลือบที่เกาะติดที่ผิวผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นมากเกินไป ตรงกันข้ามถ้านำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไปจุ่มลงในเคลือบที่มีความหนาแน่นน้อยเกินไป ผลิตภัณฑ์ก็จะดูดซึมน้ำไว้มากเกินไป ซึ่งเป็นผลเสียต่อผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก ฉะนั้นก่อนทำการเคลือบควรตรวจค่าความถ่วงจำเพาะของเคลือบเสียก่อน (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2530 : 90 ; Parmelee. 1951 : 65) ซึ่งมีเกณฑ์ดังนี้ คือ

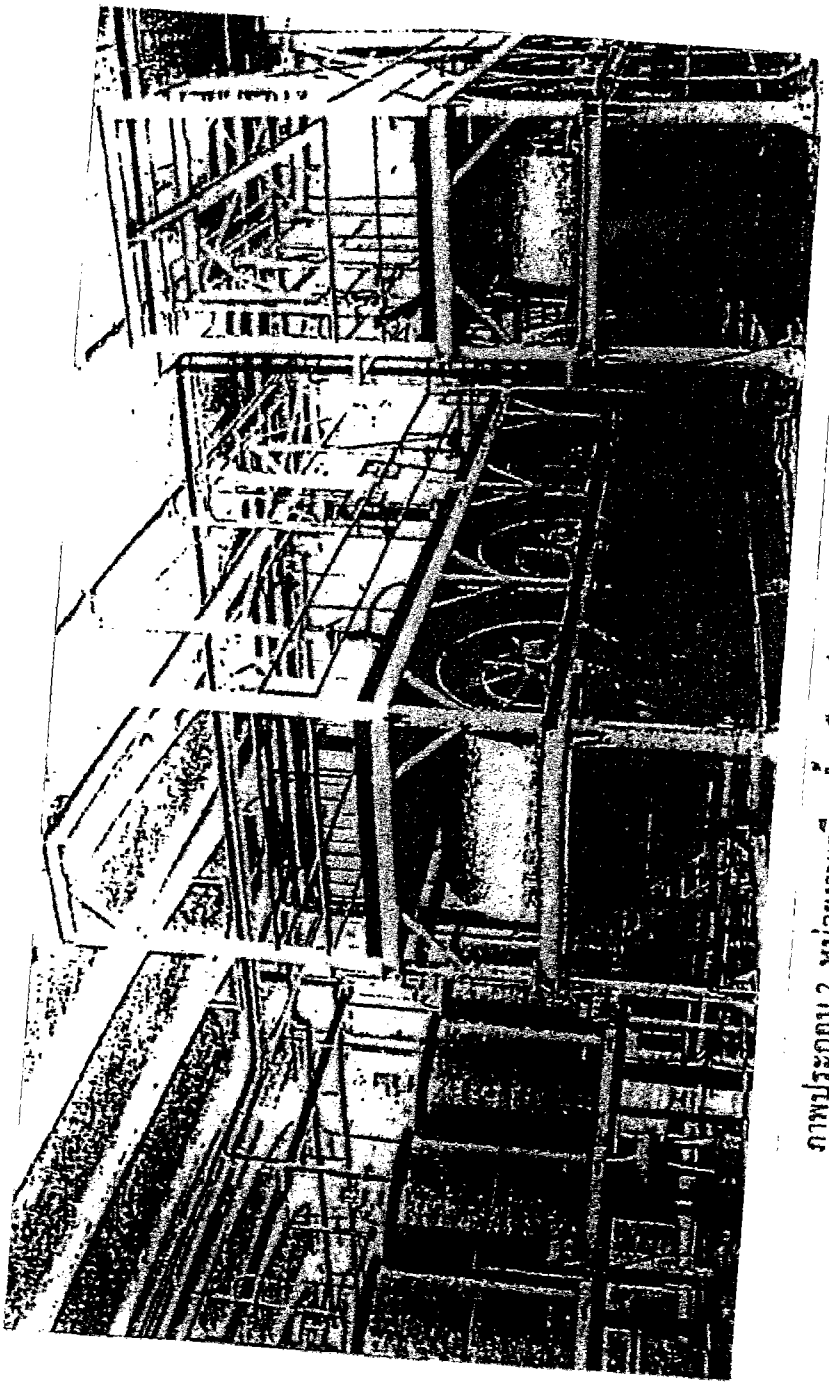
ชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเคลือบ	ค่าความถ่วงจำเพาะของเคลือบ
ดินดิบหรือเผาดิบไฟต่ำ	1.43-1.47

เผาดิบไฟปานกลาง	1.46-1.50
เผาดิบไฟค่อนข้างสูง	1.50-1.60
เผาดิบไฟสูง	1.60-1.70

7.กระบวนการนำน้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสียมาใช้ใหม่

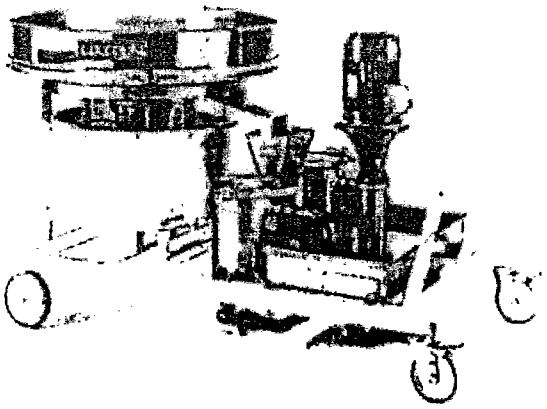
น้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสียในกระบวนการผลิตมีจุดใหญ่ ๆ อยู่ 2 จุด คือ

1. หน่วยงานเตรียมน้ำเคลือบและเอ็นโกบสูญเสียจากการล้างอุปกรณ์ในการเตรียมเคลือบ เช่น หม้อบด ตะแกรงกรองน้ำเคลือบ ล้างบ่อกวนน้ำเคลือบ และปั้มสูบน้ำเคลือบ



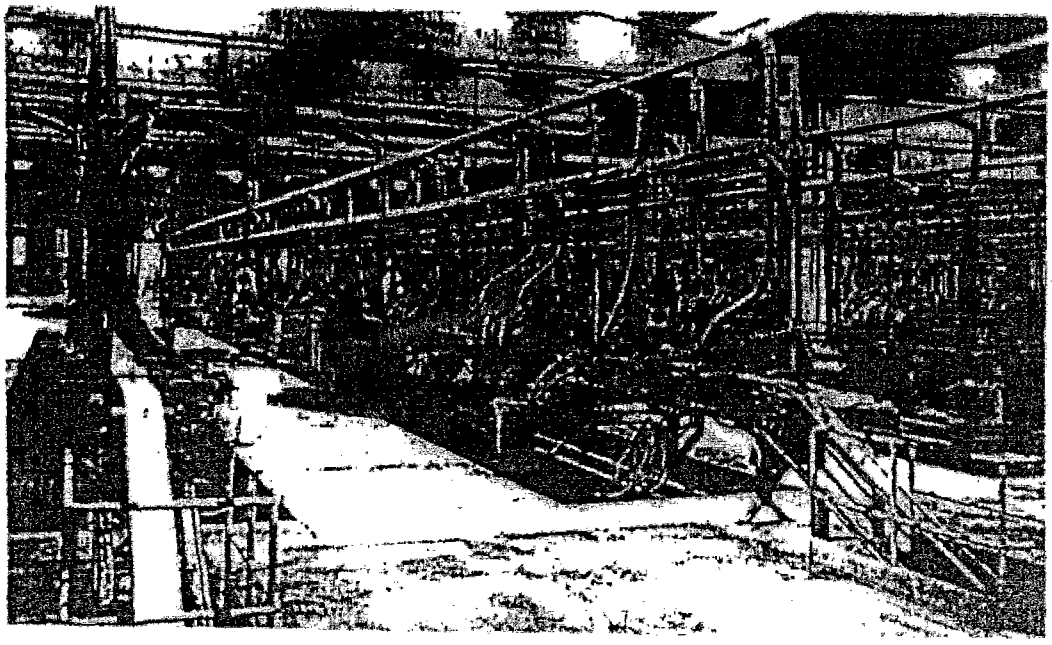
ภาพประกอบ 2 หน่วยงานเตรียมน้ำเคลือบเซ็นโกบและสีพิมพ์

ภาพประกอบ 3 หม้อบด

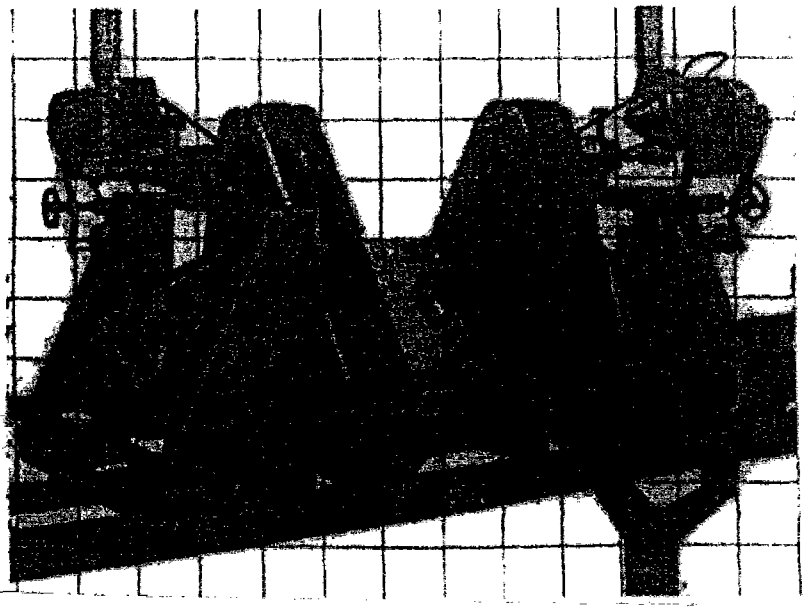


ภาพประกอบ 4 ตะแกรงสั่นกรองน้ำเคลือบมีแม่เหล็ก

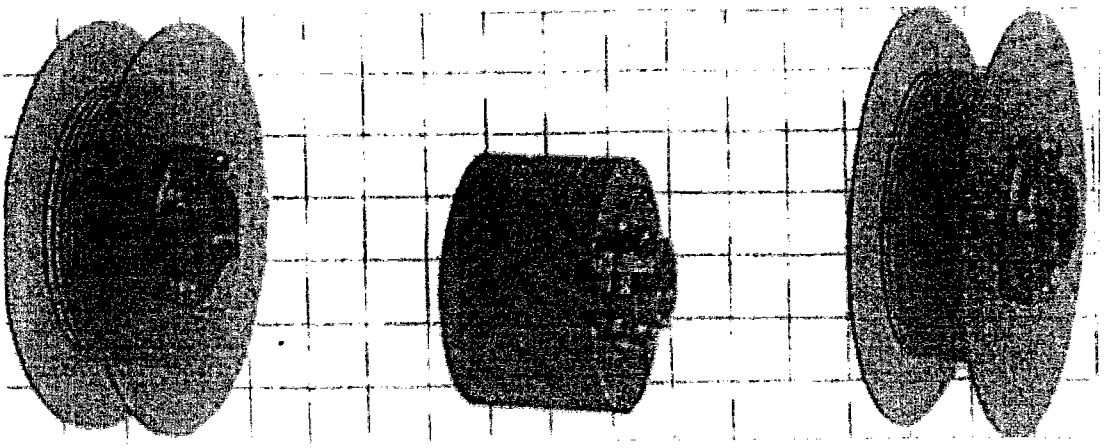
2.หน่วยงานเคลือบและตกแต่งลวดลาย สูญเสียจากการล้างอุปกรณ์การเคลือบ เช่น ตู้สลัดน้ำเคลือบ ระฆังสำหรับเคลือบ ถังกวนน้ำเคลือบ



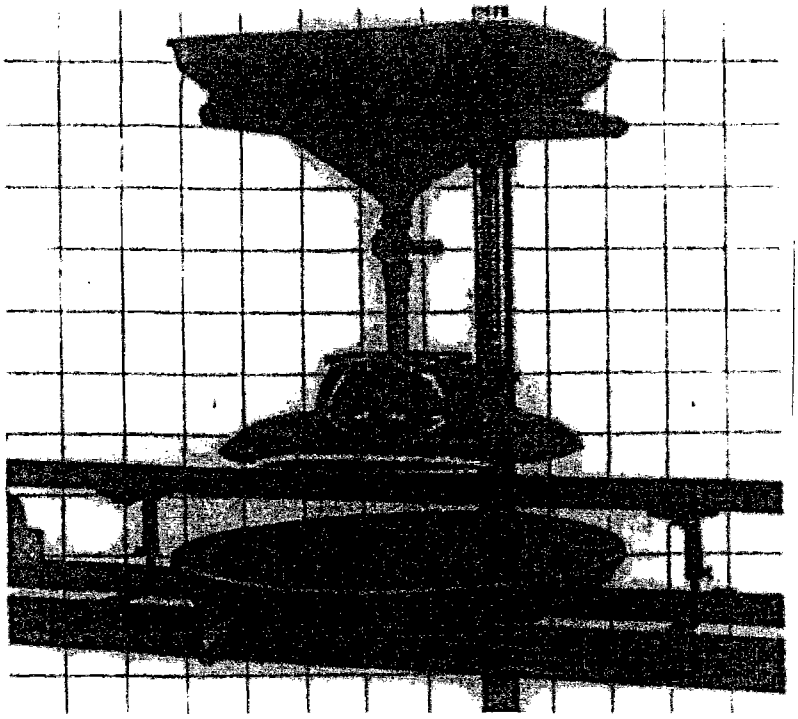
ภาพประกอบ 5 หน่วยงานเคลือบและตกแต่งลวดลาย



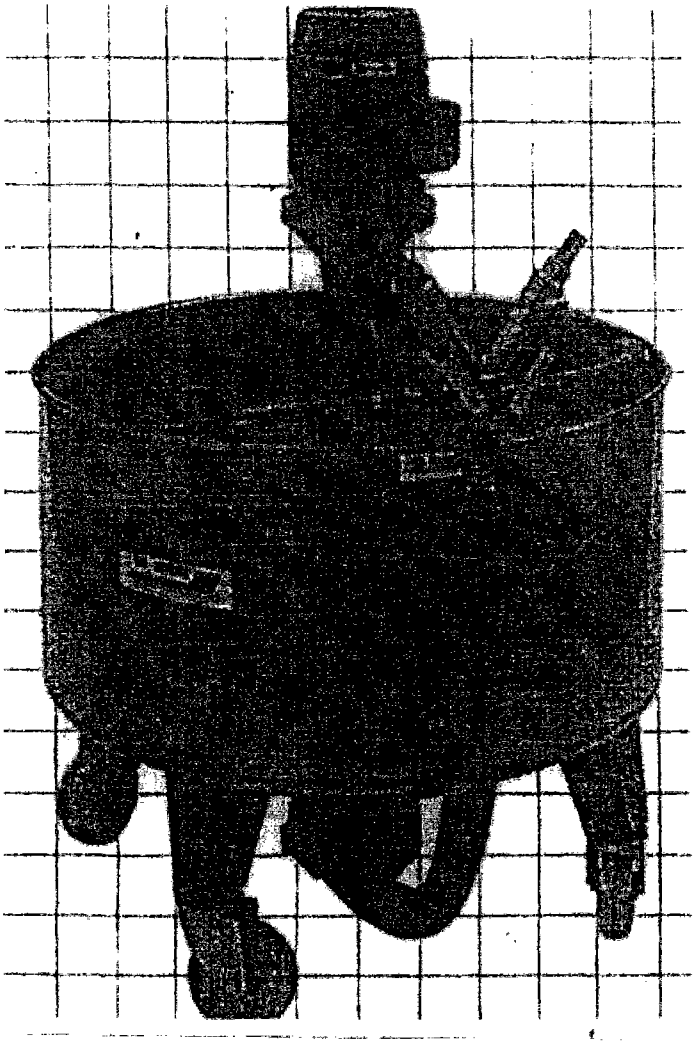
ภาพประกอบ 6 ตู้เคลือบแบบใช้จานสลัดน้ำเคลือบ



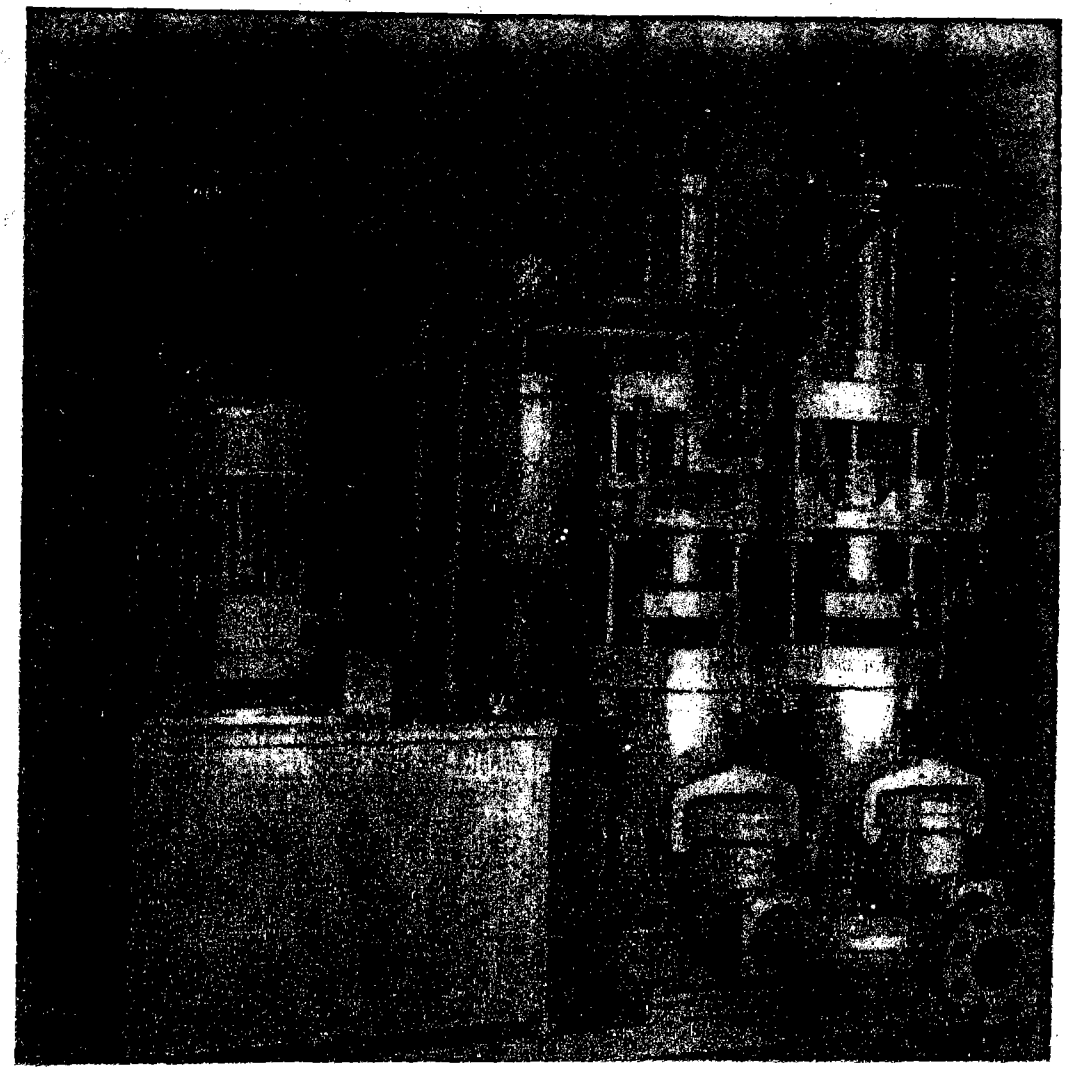
ภาพประกอบ 7 จานสลัดน้ำเคลือบ



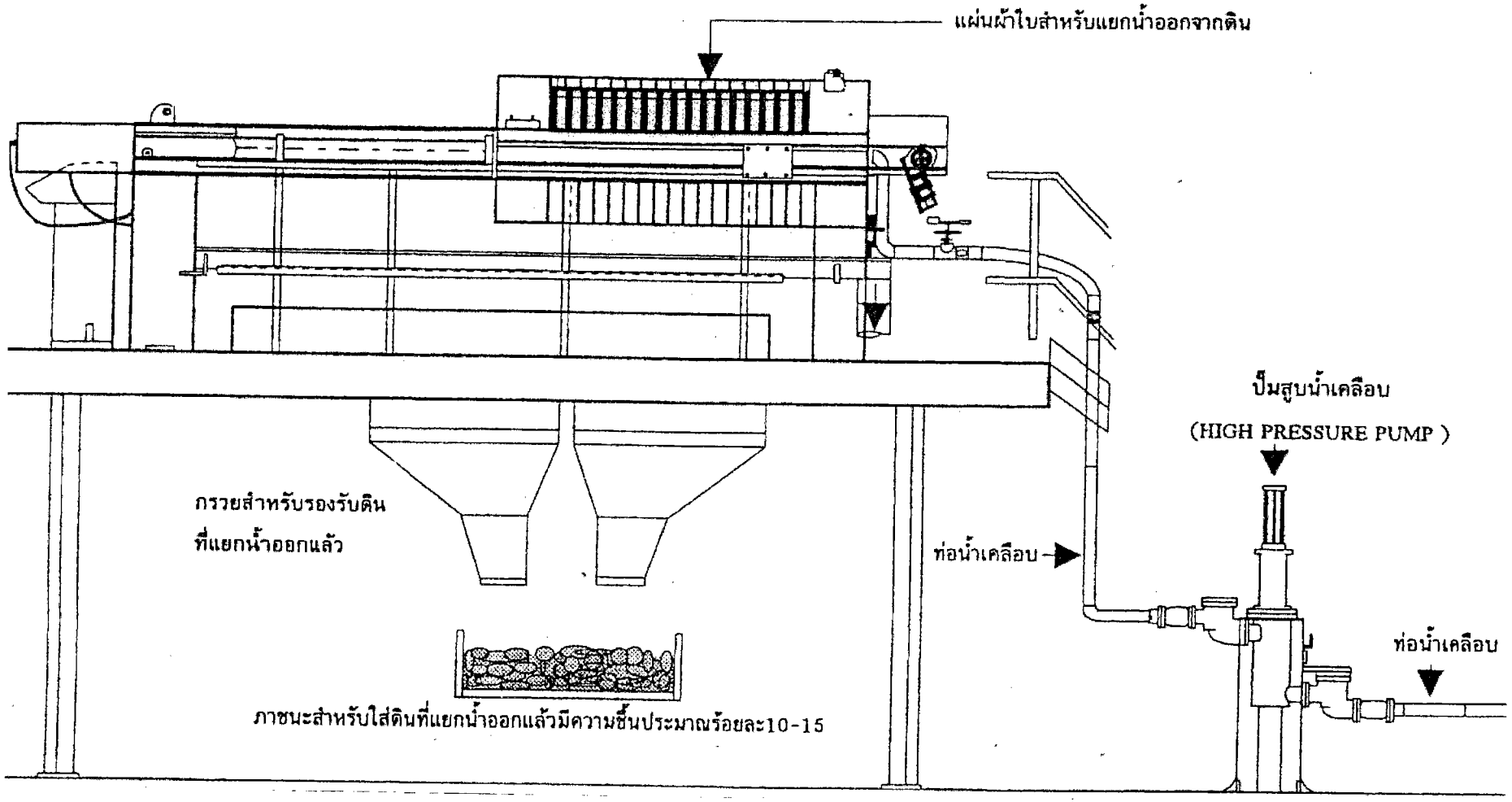
ภาพประกอบ 8 การเคลือบแบบใช้น้ำตก (บนระฆังคว่ำ)



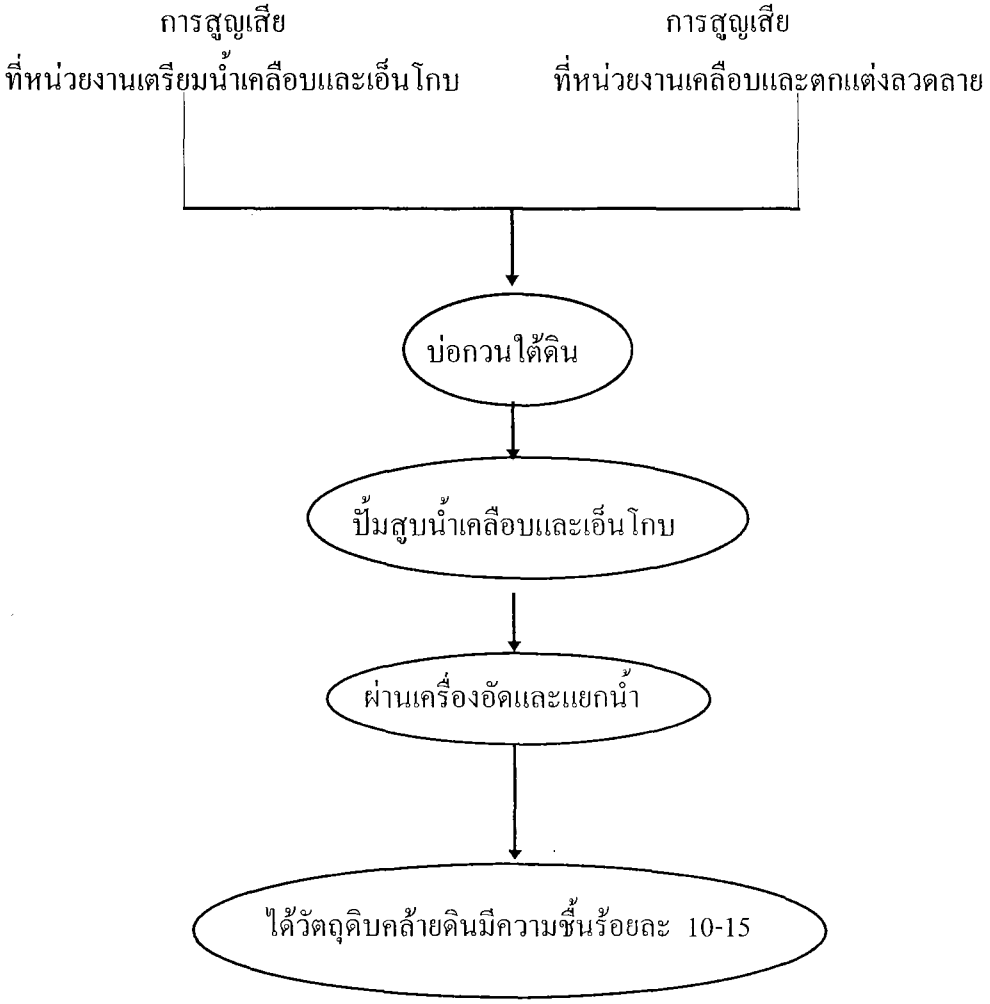
ภาพประกอบ 9 ถังกวนน้ำเคลือบ



ภาพประกอบ 10 เครื่องสูบน้ำเคลือบและเอ็นโกบผ่านเครื่องแยกน้ำออกจากดิน



ภาพประกอบ 11 เครื่องสูบน้ำเคลือบและเอ็นโกบผ่านเครื่องแยกน้ำออกจากดิน



ภาพประกอบ 12 แสดงแผนภูมิการนำน้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสียมาใช้ใหม่

8. เตาและการเผา

8.1 เตาเผาผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา (Kiln) เตาที่ใช้ในการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาโดยทั่วไปนั้นมีอยู่หลายแบบหลายชนิด สามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้ คือ (ทวี พรหมพฤกษ์. 2525 : 11)

8.1.1 แบ่งตามประเภทการใช้งานของเตา ได้แก่ เตาชนิดเผาครั้งเดียว (Perodic Kiln) เตาเผาแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi Continuous Kiln) และเตาเผาแบบต่อเนื่อง (Continuous Kiln)

8.1.2 แบ่งตามประเภททางเดินลมร้อน ได้แก่ เตาชนิดทางเดินลมร้อนตรง (Horizontal Draft Kiln) เตาชนิดทางเดินลมร้อนขึ้น (Up Draft Kiln) และเตาชนิดทางเดินลมร้อนลง (Down Draft Kiln)

8.1.3 แบ่งตามชนิดของเชื้อเพลิง ได้แก่ เตาแก๊ส เตาฟืน เตาน้ำมัน เตาไฟฟ้า เป็นต้น

8.1.4 แบ่งตามลักษณะของเตา เช่น เตากลม เตาเหลี่ยม เตาแมลงป่อง เตาจีน เป็นต้น

ในที่นี้นำเสนอเฉพาะเตาเผาผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาที่แบ่งตามชนิดของเชื้อเพลิง คือ เตาแก๊ส ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

เตาแก๊ส เป็นเตาที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา เพราะมีความสะดวกต่อการใช้งาน ประหยัดเชื้อเพลิง ปลอดภัย เผาได้ในอุณหภูมิ สูงและเป็นเตาที่ค่อนข้างสะอาด เตาแก๊สที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมี 2 ชนิด คือ ชนิดทางเดินลมร้อนขึ้นและชนิดทางเดินลมร้อนลง ซึ่งเตาแก๊สชนิดทางเดินลมร้อนขึ้นจะสามารถเผาได้อุณหภูมิต่ำกว่าเตาแก๊สชนิดทางเดินลมร้อนลง แต่เตาแก๊สทั้งสองชนิดสามารถเผาได้ทั้งบรรยากาศแบบออกซิเดชันและแบบรีดักชัน

บรรยากาศในการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา (Kiln Atmosphere)

(ทวี พรหมพฤกษ์. 2525 : 1-2)

การเผาผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผานั้น มีบรรยากาศการเผาอยู่ 2 แบบ คือ แบบรีดักชันและแบบออกซิเดชัน ซึ่งการเผาโดยใช้บรรยากาศที่แตกต่างกันจะมีผลทำให้สีของเนื้อดินและสีของน้ำเคลือบที่เกิดขึ้นแตกต่างกันด้วย การที่เผาจะมีบรรยากาศเป็นแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของเตาเผาและเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผารวมถึงลักษณะวิธีการเผา ซึ่งการเผาแต่ละแบบจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

1. การเผาแบบออกซิเดชัน เป็นการเผาที่การสันดาปเป็นไปอย่างสมบูรณ์ การเผาไหม้หมดจดไม่มีกลุ่มควันและเขม่าอยู่ในห้องเผาไหม้ของเตา (Fire Box) เพราะออกซิเจน (Oxigen) และเชื้อเพลิงที่ใช้มีความเหมาะสมกันดี เตาเผาที่สามารถเผาบรรยากาศออกซิเดชันได้ดีที่สุดคือ เตาไฟฟ้า

2. การเผาแบบรีดักชันเป็นการเผาไหม้ที่มีการสันดาปไม่สมบูรณ์ โดยมีออกซิเจนที่ใช้ในการเผาน้อยกว่าปกติ ทำให้การเผาไหม้ไม่หมด ซึ่งจะมีผลต่อการให้สีของสารให้สีบางตัว เช่น การเผาคอปเปอร์ออกไซด์ ถ้าเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชันจะให้สีเขียว แต่ถ้าเผาในบรรยากาศแบบรีดักชันจะให้สีแดง ส่วนเหล็กออกไซด์ถ้าเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นจะให้สีน้ำตาล หากเผาในบรรยากาศแบบรีดักชั่นจะให้สีเขียว เป็นต้น ดังนั้นบรรยากาศการเผาจึงมีผลต่อสีของเนื้อดินและน้ำเคลือบได้ การเผาบรรยากาศแบบรีดักชันจะกระทำได้โดยใช้เตาเผาชนิดที่ใช้น้ำมัน แก๊ส และฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้

8.2 เผา (Firing) กระบวนการเผา (Firing Process) เป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนหนึ่ง

ในการทำผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา ซึ่งการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา โดยทั่วไปจะมีการเผา 3 ขั้นตอน คือ การเผาดิบ (Biscuit Firing) การเผาเคลือบ (Glost Firing) และการเผาสีบนเคลือบ (Overglaze Firing)

8.2.1 การเผาดิบ การเผาดิบเป็นการเผาเพื่อให้เนื้อดินมีความแข็ง (Mechanical Strength) และคงรูป โดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิในการเผาดิบประมาณ 750-850 องศาเซลเซียส ซึ่งการใช้ความร้อนควรเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อนทีละน้อย ให้ระยะการเผาเป็นไปอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 152)

8.2.2 การเผาเคลือบ หมายถึง การเผาให้น้ำเคลือบที่เคลือบบนผลิตภัณฑ์หลอมเป็นเนื้อเดียวกัน มีความแข็งซึ่งผิวของเคลือบจะเป็นผิวเรียบ ผิวด้านหรือมันแวววาวขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเคลือบ การเผาเคลือบไม่ว่าจะเป็นเคลือบชนิดไฟต่ำหรือไฟสูงก็ตามจะต้องเผาให้ได้อุณหภูมิตามข้อกำหนดของน้ำเคลือบแต่ละชนิด มิฉะนั้นจะเกิดการเสียหายต่อเคลือบได้ เช่น การเผาเลยอุณหภูมิที่กำหนด (Overfire) จะทำให้น้ำเคลือบไหลมาก แต่ถ้าเผาไม่ถึงอุณหภูมิที่กำหนด (Underfire) เคลือบจะไม่มันเท่าที่ควร หรือเคลือบอาจล่อนหลุดได้ง่าย (ทวี พรหมพฤษ์. 2523 : 155-156)

8.2.3 การเผาสีบนเคลือบ เผาอุณหภูมิไม่เกิน 1000 องศาเซลเซียส เป็นการเผาเพื่อตกแต่งลวดลายให้สวยงาม นั่นคือ หลังจากเขียนลายด้วยสีบนเคลือบหรือพิมพ์ลาย อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาน้ำเคลือบจะใช้อุณหภูมิประมาณ 1160-1180 องศาเซลเซียส

9. อิทธิพลความร้อนที่มีต่อน้ำเคลือบ

ความร้อนขณะเผาเคลือบจะทำให้เคลือบเกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในแต่ละขั้นตอน ดังนี้ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2532 : 287-290)

9.1 ระยะการอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาดิบแล้วมื่อชุบเคลือบส่วนผสมของเคลือบจะเกาะบนผิวผลิตภัณฑ์เป็นชั้นบาง ๆ ส่วนผสมของเคลือบประกอบด้วยวัตถุดิบที่เป็นของเหลวและบางกรณีจะมีสารอินทรีย์ที่ช่วยทำให้เกิดความเหนียว เมื่อเริ่มเผา ความชื้นจะถูกขจัดออกไป ความหนาของชั้นเคลือบจะลดลงพร้อมกับมีการหดตัว ถ้าเคลือบมีคุณสมบัติยืดหยุ่นตัวดีเคลือบจะไม่แตกระแหงเนื่องจากความเครียด อย่างไรก็ตามถ้าเคลือบมีดินมากไปมีการบดละเอียดมากไปหรือชุบเคลือบหนาไปจะทำให้เกิดการแตกระแหงหลังการชุบเคลือบ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เคลือบเกิดการดึงตัวและเคลือบผิวผลิตภัณฑ์เป็นหย่อม ๆ

9.2 การเผาไหม้พวกสารอินทรีย์ ระหว่างอุณหภูมิ 500-600 องศาเซลเซียส อินทรีย์สารจำนวนหนึ่งจะถูกเผาไหม้ ทำให้ชั้นของเคลือบพรุนตัวมากขึ้นร้อยละ 30-50

9.3 การขจัดกลุ่ม OH ออกจากดินที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส กลุ่ม OH ในโครงสร้างของดินจะถูกขจัดออกไป ซึ่งจะทำให้ชั้นของเคลือบพรุนตัวมากขึ้น

9.4 จุดเริ่มต้นการเกิดแก้วที่อุณหภูมิประมาณ 700 องศาเซลเซียส เคลือบจะเริ่มอิ่มตัวและส่วนผสมเริ่มละลาย โดยจุดเริ่มต้นของการเกิดแก้วจะเกิดที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

9.5 การละลายของวัตถุดิบที่ใช้ในส่วนผสมของเคลือบเมื่อเริ่มเกิดแก้วขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณของเนื้อแก้วจะมีมากขึ้น เนื่องจากวัตถุดิบอื่น ๆ ละลายลงไปในเนื้อแก้ว มีแต่ทรายขาวหรือซิลิกาเท่านั้นคงทนอยู่ได้ และสามารถทนอยู่ได้จนเกือบถึงจุดสุกตัวของเคลือบ การละลายของทรายขาวหรือซิลิกาทำให้มีความหนืดสูงขึ้นซึ่งจะช่วยไม่ให้เคลือบไหลตัวได้ดีเกินไป

9.6 การกำจัดพวกฟองอากาศ ชั้นของส่วนผสมของเคลือบขณะชุบเคลือบใหม่ ๆ จะมีรูพรุนร้อยละ 40-50 ซึ่งจะมีอากาศอยู่เต็ม ขณะส่วนผสมของเคลือบหลอม ตัวฟองอากาศบางส่วนจะหนีออกไม่ได้ แต่ส่วนใหญ่จะถูกกักอยู่ในเนื้อเคลือบ นอกจากนี้ก็ยังมีฟองอากาศที่เกิดจากการสลายตัวของพวกคาร์บอเนตในวัตถุดิบที่ใช้ทาส่วนผสมของเคลือบที่จุดสุกตัวของเคลือบ ความหนืดของเคลือบจะลดลง ฟองอากาศส่วนใหญ่จะลอยตัวขึ้นมาที่ผิวเคลือบและหนีออกไป เหลือเป็นหลุมเล็ก ๆ บนผิวเคลือบและจะหายไปในที่สุด โดยปกติถ้าชั้นของเคลือบหนาการขจัดฟองอากาศจะเป็นไปได้ช้า แต่ถ้าเคลือบมีความหนืดต่ำการขจัดฟองอากาศก็จะเป็นไปได้เร็วปรากฏการณ์นี้จะหมดไปผิวเคลือบจะปรับระดับจนผิวเรียบ ถึงแม้ว่าเคลือบจะดีอย่างไรก็ตามจะพบฟองอากาศตรงรอยต่อระหว่างเคลือบกับเนื้อผลิตภัณฑ์เสมอ

9.7 ปฏิกิริยาระหว่างเคลือบกับเนื้อผลิตภัณฑ์ เคลือบจะช่วยให้เนื้อผลิตภัณฑ์ละลายตรงบริเวณที่สัมผัสกัน แต่การละลายจะไม่เท่ากันทุกจุด ดังนั้นจะทำให้เกิดผิวขรุขระและทำให้เคลือบติดกับเนื้อผลิตภัณฑ์ได้ดี

10. การวัดอุณหภูมิภายในเตาและเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิภายในเตาสามารถทำได้หลายวิธี คือ

10.1 การวัดอุณหภูมิด้วยตา โดยใช้วิธีดูสีของไฟโดยประมาณ

10.2 การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคับเพิล

10.3 การวัดอุณหภูมิด้วยออฟติคอลไพโรมิเตอร์

10.4 การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมอิเล็คทริกไพโรมิเตอร์

10.5 การวัดอุณหภูมิด้วยไพโรเมตริกโคน

ในครั้งนี้ผู้วิจัยใช้การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคับเพิล ซึ่งแสดงผลเป็นตัวเลขระบบดิจิตอล

11. การทดสอบคุณสมบัติของเคลือบที่เหมาะสมกับเนื้อกระเบื้องปูพื้น

สมบัติทางกายภาพ

11.1 ลักษณะทั่วไปของเคลือบ ได้แก่ ความด้าน ความมัน

11.2 สีของเคลือบ ดูลักษณะของสีของเคลือบที่เกิดภายหลังจากการเผาแล้ว

11.3 การเกิดรูเข็มของเคลือบ ดูผิวหน้าของเคลือบจะเกิดรูเล็ก

11.4 รอยหลุม ต้องไม่มีหลุมเล็ก ๆ ที่ผิวหน้ากระเบื้อง ซึ่งมีความลึกเท่ากับหรือน้อยกว่าความกว้าง

11.5 รอยพอง ต้องไม่มีรอยนูนที่ผิวกระเบื้อง ซึ่งเกิดจากการขยายตัวของแก๊สหรืออากาศภายใน

11.6 การหลุดล่อนของเคลือบ ที่แยกตัวระหว่างเคลือบกับกระเบื้อง

11.7 การดึงตัวของเคลือบ หรือการหดตัวของเคลือบ เคลือบต้องไม่หดตัวจนเนื้อของของกระเบื้องบางส่วนไม่มีเคลือบฉาบอยู่

11.8 การรานตัวของเคลือบ เมื่อเข้าหม้อนึ่งที่ความดัน 100 กิโลปาสกาล แล้วไม่ราน

11.9 การทนต่อการขัดถู เมื่อผ่านเครื่องขัดถู ต้องผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานยุโรป EN.154

สมบัติทางเคมี

11.10 ความทนทานต่อสารเคมี (มอก.613-2529)

10.10.1 สารละลายและวิธีเตรียม

10.10.1.1 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 3 โดยปริมาตร เตรียมโดยเจือจางกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (ความหนาแน่นสัมพัทธ์ 1.18) 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1,000 ลูกบาสก์เซนติเมตร

10.10.1.2 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก เตรียมโดยละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 30 กรัม ในน้ำกลั่นจำนวนเล็กน้อยแล้วเติมน้ำกลั่นอีก จนได้ปริมาตรเป็น 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

12. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

12.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น มอก. 37-2529

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ประเภท ชนิด และชั้นคุณภาพ ขนาดและคลาดเคลื่อน คุณลักษณะที่ต้องการ การบรรจุเครื่องหมายและฉลากการชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบกระเบื้องดินเผาปูพื้น และกระเบื้องเสริมประกอบ (Fitting)

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมประเภทมีดังต่อไปนี้

2.1 กระเบื้องดินเผาปูพื้น ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า "กระเบื้อง" หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอัด (Pressing) ดินและส่วนผสมอื่นอื่น เช่น หิน ทราย สี เป็นต้น แล้วเผาที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 1000 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นแผ่น แต่ละแผ่นมีพื้นที่ไม่น้อยกว่า 90 ตารางเซนติเมตร มีสีและรูปร่างใด ๆ ก็ได้ มีทั้งชนิดเคลือบและไม่เคลือบ ทั้งนี้รวมถึงกระเบื้องเสริมประกอบด้วย

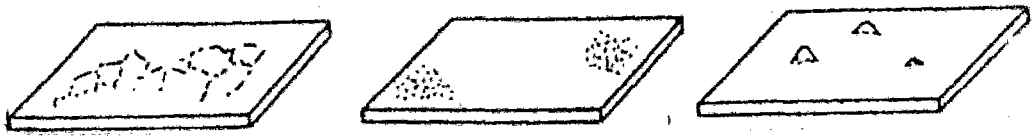
2.2 การล่อนตัว หมายถึง การแยกตัวระหว่างเคลือบกับเนื้อกระเบื้อง

2.3 การราน หมายถึง การเกิดรอยร้าวบนผิวเคลือบ (ดูภาพประกอบ 13)

2.4 รอยร้าว หมายถึง รอยแตกที่ลึกถึงเนื้อกระเบื้อง

2.5 รูเข็ม หมายถึง รูเล็ก ๆ ที่ปรากฏบนผิวเคลือบ (ดูภาพประกอบ 14)

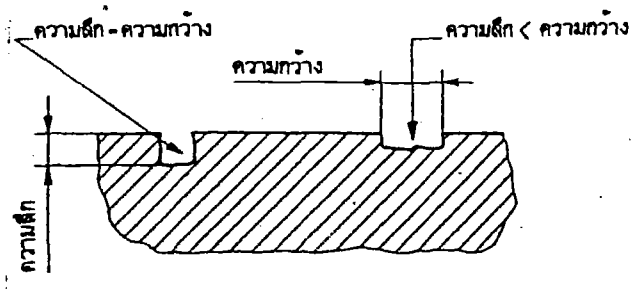
2.6 รอยพอง หมายถึง รอยนูนที่ผิวกระเบื้องซึ่งเกิดจากการขยายตัวของแก๊สหรือฟองอากาศที่อยู่ภายใน (ดูภาพประกอบ 15) เมื่อกระแทกแตกจะเกิดเป็นโพรงขึ้นที่ผิวของกระเบื้องนั้น



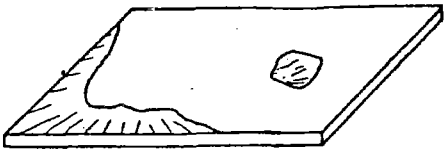
ภาพประกอบ 13 การราน ภาพประกอบ 14 รูเข็ม ภาพประกอบ 15 รอยพอง

2.7 หลุม หมายถึง การเกิดหลุมเล็ก ๆ ที่ผิวหน้ากระเบื้องซึ่งมีความลึกเท่ากับหรือน้อยกว่าความกว้าง (ดูภาพประกอบ 16)

2.8 การหดตัวของเคลือบ หมายถึง การที่เคลือบหดตัวจนเนื้อของกระเบื้องบางส่วนไม่มีเคลือบฉาบอยู่ (ดูภาพประกอบ 17)



ภาพประกอบ 16 หลุม



ภาพประกอบ 17 การหดตัวของเคลือบ

3. ประเภท ชนิด และชั้นคุณภาพ

3.1 กระเบื้อง แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

3.1.1 ประเภทดูดซึมน้ำต่ำ เหมาะสำหรับใช้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร

3.1.2 ประเภทดูดซึมน้ำปานกลางค่อนข้างต่ำ เหมาะสำหรับใช้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร

3.1.3 ประเภทดูดซึมน้ำปานกลาง เหมาะสำหรับใช้ภายในอาคาร

3.1.4 ประเภทดูดซึมน้ำสูง เหมาะสำหรับใช้ภายในอาคาร

3.2 กระเบื้อง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

3.2.1 ชนิดเคลือบ

3.2.2 ชนิดไม่เคลือบ

3.3 กระเบื้อง แบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ

3.3.1 ชั้นคุณภาพที่ 1

3.3.2 ชั้นคุณภาพที่ 2

4. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

4.1 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ให้เป็นไปตามตารางที่ 1 ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาบุผนังภายนอก มาตรฐานเลขที่ มอก.614-2519

ตาราง 1 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (ข้อ 4.1)

มิติ	ขนาด	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
ความกว้างและความยาวหรือมิติในแนวแกนหลักสองแกน	เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก ขนาดที่แนะนำแสดงไว้ใน	ไม่เกิน + ร้อยละ 0.6 ของค่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก ภาคผนวก ก.
ความหนา	เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก	ไม่เกิน + ร้อยละ 5 ของค่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

5. คุณลักษณะทั่วไป

5.1 ลักษณะทั่วไป

5.1.1 ชั้นคุณภาพที่ 1

5.1.1.1 ชนิดเคลือบ

กระเบื้องต้องไม่มีการล่อนตัว การแยกชั้นในเนื้อกระเบื้อง การรานและการแตกหัก และเมื่อตรวจสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายในมาตรฐานเลขที่ มอก.613 แล้วต้องไม่เห็นรอยร้าว รูเข็ม รอยพอง หลุม รอยบิ่น และการหดตัวของเคลือบ

5.1.1.2 ชนิดไม่เคลือบ

กระเบื้องต้องไม่มีการแยกชั้นในกระเบื้องหรือการแตกหักและเมื่อตรวจสอบตาม มอก.613 แล้ว ต้องไม่เห็นรอยร้าว รูเข็ม รอยพอง และรอยบิ่น

5.1.2 ชั้นคุณภาพที่ 2 ให้เป็นไปตามที่กำหนดในข้อ 5.1.1 โดยจะมี

1. จุดด่าง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ได้ไม่เกิน 3 จุด

2. ความบกพร่องของผิวเคลือบต่างๆรวมกันได้ไม่เกิน 5 ตารางมิลลิเมตร

3. พื้นที่ของรอยบิ่นที่มุมหรือขอบ เมื่อทดสอบตาม มอก.613 ได้ไม่เกินที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2 แต่ทั้งนี้ในกระเบื้องแผ่นเดียวกัน จะมีรอยบิ่นที่มุมและขอบรวมกันได้ไม่เกิน 3 จุด

ตาราง 2 พื้นที่ของรอยบิ่นต่อ 1 จุด (ข้อ 5.1.2 (3))

มิลลิเมตร	บิ่นที่มุมหรือขอบตารางมิลลิเมตรไม่เกิน
ไม่เกิน 100	2
เกิน 100 ถึง 200	3
เกิน 200 ถึง 300	4
เกิน 300	5

หมายเหตุ ในกรณีที่บิ่นตรงมุมพอดี ให้ถือมิติด้านที่สั้นกว่าเป็นเกณฑ์

5.2 ความทนสารเคมี

เมื่อทดสอบตาม มอก.613 แล้ว กระเบื้องต้องไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสารเคมี

5.3 ความทนการราน

เมื่อทดสอบตาม มอก.614 แล้ว ผิวเคลือบของกระเบื้องต้องไม่ราน

6. การบรรจุ

6.1 ให้บรรจุกระเบื้องในกล่อง หรือภาชนะบรรจุอื่นให้เรียบร้อยและแข็งแรง

7. เครื่องหมายและฉลาก

7.1 ที่กระเบื้องทุกแผ่น อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจนและถาวร

1. ประเภทหรือสัญลักษณ์ของประเภท
2. ชั้นคุณภาพ (โดยใช้สีดำขีดเป็นเส้นด้านหลังกระเบื้องสำหรับชั้นคุณภาพที่ 2)
3. ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำหรือเครื่องหมายการค้าหรือชื่อผู้จัดจำหน่าย

7.2 ที่กล่องหรือภาชนะบรรจุกระเบื้องทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษรหรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

1. คำว่า "กระเบื้องดินเผาปูพื้น"
2. ประเภท หรือ สัญลักษณ์ของประเภท
3. ชนิด
4. ชั้นคุณภาพ

5. สีหรือลวดลาย

6. รูปร่าง

7. ขนาดเป็นมิลลิเมตร และจำนวนแผ่น

8. วัน เดือน ปีที่ทำ

9. ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้า หรือชื่อผู้จัดจำหน่าย พร้อมสถานที่ตั้ง

10. ประเทศที่ทำ

หมายเหตุ ข้อ 3, 5 , 6 ให้ระบุเฉพาะเมื่อบรรจุในกล่องหรือภาชนะบรรจุที่มิดชิด

7.3 ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

7.4 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

8.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง กระเบื้องประเภท ชนิด ชั้นคุณภาพ ขนาดรูปร่างและสีเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

8.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

8.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาดและคุณลักษณะที่ต้องการ

8.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างกระเบื้องโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ 1 แต่ละชุดตัวอย่าง จากนั้นนำไปทดสอบตามตารางที่ 4 รายการที่ 1 ถึง 4 ก่อน แล้วจึงใช้ตัวอย่างในชุดเดียวกันนี้ไปทดสอบตามรายการที่ 5 ถึง 8

ตาราง 3 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาด และคุณลักษณะที่ต้องการ (ข้อ 8.2.1)

ขนาดรุ่น แผ่น	ขนาดตัวอย่างแผ่น
ไม่เกิน 10,000	25
10,001 ถึง 35,000	50
เกิน 35,000	75

หมายเหตุ กระเบื้องจำนวน 25 แผ่น ให้ถือเป็น 1 ชุดตัวอย่าง

8.2.1.2 จำนวนตัวอย่างกระเบื้องที่ไม่เป็นไปตามข้อ 1 และข้อ 2 รายการใดรายการหนึ่งในแต่ละชุดตัวอย่าง ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับในตารางที่ 5 จึงจะถือว่ากระเบื้องรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตาราง 4 รายการทดสอบ (ข้อ 8.2.1)

รายการทดสอบ	ทดสอบตาม	ขนาดตัวอย่าง แผ่น	เลขจำนวนที่ยอมรับของ จำนวนแผ่นที่เสีย
1. ลักษณะทั่วไป	มอก. 613	25	2
2. ขนาด	มอก. 614	10	0
3. ความบิดเบี้ยว	มอก. 614	10	0
4. การดูดซึมน้ำ	มอก. 613	3	0
5. ความทนสารเคมี	มอก. 613	6	0
6. ความทนการราน	มอก. 614	3	0
7. ความต้านแรงดัด	มอก. 614	10	0
8. ความทนการขัดสี	EN. 154	3	0

8.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างกระเบื้องต้องเป็นไปตามข้อ 8.2.1.2 จึงจะถือว่ากระเบื้องรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

12.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น มอก.613-2529

1. คุณลักษณะทั่วไป

1.1 ชั้นคุณภาพที่ 1

กระเบื้องต้องไม่มีการล่อนตัว การแยกชั้นในเนื้อกระเบื้อง การรานและการแตกหัก และเมื่อตรวจสอบต้องไม่เห็นรอยร้าว รูเข็ม รอยพอง หลุม รอยบิ่น การหดตัวของเคลือบและตำหนิอื่น ๆ เช่น สีไม่สม่ำเสมอหรือจุดด่าง เป็นต้น

1.2 ชั้นคุณภาพที่ 2

ให้เป็นไปตามที่กำหนดในข้อ 1.1 โดยจะมี

1. จุดด่าง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 1 มิลลิเมตรได้ไม่เกิน 3 จุด
2. ความบกพร่องของผิวเคลือบต่าง ๆ รวมกันได้ไม่เกิน 5 ตารางมิลลิเมตร
3. พื้นที่ของรอยบิ่นที่มุมหรือขอบเมื่อทดสอบตามข้อกำหนดได้ไม่เกินที่กำหนดไว้แต่ทั้งนี้ในกระเบื้องแผ่นเดียวกันจะมีรอยบิ่นที่มุมและที่ขอบรวมกันได้ไม่เกิน 3 จุด

2. ความทนสารเคมี

วิธีทดสอบ

2.1 ความทนกรด

เช็ดผิวกระเบื้องตัวอย่างจำนวน 5 แผ่นให้สะอาดแล้วแช่ตัวอย่างให้ 2 ใน 3 ของผิวเคลือบจมในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกนานเวลา 7 วันโดยใช้วิธีการที่เหมาะสมในการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายให้คงที่ตลอดระยะเวลาการทดสอบ เมื่อครบกำหนดแล้วยกตัวอย่างออกและตรวจพินิจความเปลี่ยนแปลงที่ผิวเคลือบ โดยเปรียบเทียบกับผิวเคลือบของกระเบื้องส่วนที่ไม่ได้แช่

2.2 ความทนด่าง

ทดสอบโดยวิธีเดียวกับข้อ 2.1 แต่แช่ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์แทน ตรวจพินิจ

12.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น มอก. 614-2529

1. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

1.1 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนให้เป็นไปตามตาราง 5 การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 1

ตาราง 5 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (ข้อ 1)

มิติ	ขนาด	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
ความกว้างและความยาว หรือมิติในแนวแกนหลักสองแกน	เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก ระบุไว้ที่ฉลาก	ไม่เกิน + ร้อยละ 2 ของค่าที่
ความหนา	ขนาดที่แนะนำแสดงไว้ในภาคผนวก ก.	ไม่เกิน + ร้อยละ 1.5 ของค่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

2. การทดสอบ

2.1. ขนาด

2.1.1 ความกว้าง ความยาว หรือมิติในแนวแกนหลักสองแกน และเส้นผ่าศูนย์กลาง ใช้เครื่องวัดที่เหมาะสมซึ่งวัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร วัดกระเบื้อง ณ แนวที่ขนานและห่างจากขอบของกระเบื้องประมาณ 5 มิลลิเมตร

2.2 ลักษณะทั่วไป

วางแผ่นกระเบื้อง ณ ที่มีความสว่างประมาณ 300 ลักซ์ โดยหันด้านหน้าออกแล้วมองในแนวตั้งฉากห่างจากกระเบื้องเป็นระยะ 1.5 เมตร สำหรับกระเบื้องชั้นคุณภาพที่ 1 และเป็นระยะ 3 เมตร สำหรับกระเบื้องชั้นคุณภาพที่ 2 ทั้งนี้ผู้ทดสอบต้องไม่มีโอกาสพิจารณากระเบื้องนั้นอย่างใกล้ชิดมาก่อน

2.3 ความทนการราน (เฉพาะกระเบื้องชนิดเคลือบที่ไม่ได้ระบุว่าเป็นแบบราน)

ใส่น้ำลงในหม้อนึ่งอัด (Autoclave) ให้มากพอที่จะใช้ตลอดการทดสอบนี้ วางกระเบื้องบนขาตั้ง (Supporter) ที่สูงพ้นระดับน้ำ ปิดฝาให้แน่นแล้วเริ่มต้มโดยเปิดลิ้นท่อไอน้ำออกจนกระทั่งน้ำเดือดเพื่อให้ไอน้ำไล่อากาศภายในหม้อนึ่งอัดออกหมดแล้วจึงปิด ปล่อยให้น้ำเดือดต่อไปให้ความดันไอค่อย ๆ เพิ่มขึ้นด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอจนมีความดันประมาณ 100 กิโลปาสกาล ในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ปรับความร้อนให้พอเพียงเพื่อรักษาความดันไอน้ำให้คงที่ที่ 102 $\pm$ กิโลปาสกาล รักษาความดันนี้ไว้เป็นเวลา 1ชั่วโมง แล้วจึงดับไฟ และค่อย ๆ ระบายความดันออกทีละน้อยจนหมดหลังจากทิ้งให้กระเบื้องเย็นในหม้อนึ่ง อัดจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วให้นำกระเบื้องออกมาย้อมด้วยสารละลายของสีย้อมอินทรีย์ เช่น เมทิลีนบลู ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักบนผิวเคลือบ สารละลายของสีย้อมจะปรากฏแทรกเป็นลายเส้นของการรานบนผิวเคลือบนั้น บันทึกและตรวจสอบลายเส้นที่ปรากฏเหล่านี้ไว้

12.4 มาตรฐานยุโรป (European Standard) EN 154

12.4.1 ความทนทานต่อการขัดสี

Wet Abrasion Test เป็นการทดสอบความทนทานต่อการขัดสีมาตรฐานยุโรป โดยเรียกว่า P.E.I Method

อุปกรณ์

1. เครื่องระบบ P.E.I (300 รอบ/นาที) , รัศมีการหมุนแต่ละชุด 22.5 มม.
2. ชุดลูกเหล็ก เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม. จำนวน 70 กรัม
   เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มม. จำนวน 52.50 กรัม
   เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มม. จำนวน 43.75 กรัม
   เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. จำนวน 8.75 กรัม
   รวม 175.00 กรัม
3. Fused Aluminum หรือ อนุโลมให้ใช้ Corundom - 100 จำนวน 3 กรัม
4. น้ำกลั่น จำนวน 20 มล.
5. ชิ้นทดลองหนา 10x10 ซม. (ไม่พบ Defect ใด ๆ ที่ผิวหน้า)

วิธีการ

1. ตั้งเครื่องทดสอบที่จำนวนรอบตั้งแต่ 300 , 600 และ 1,500 รอบ

2. ล้างชิ้นทดลองด้วยน้ำแล้วอบที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

3. สังเกตเปรียบเทียบแต่ละชิ้นงานระหว่างผิวหน้าปกติและผิวหน้าที่ถูกขัดที่ระยะ 2 เมตร

4. ถ้าผลการทดสอบไม่เด่นชัด สามารถทำการทดสอบเพิ่มที่จำนวนรอบ 150, 300, 450, 600, 750, 900, 1200 หรือ 1500 รอบ

การรายงานผล

1. จำนวนรอบต่ำสุดที่สังเกตุเห็นลักษณะที่แตกต่างระหว่างผิวหน้าทั้งสอง

2. รายงานผลแบ่งตามกลุ่มดังนี้

จำนวนรอบ	กลุ่ม หรือ Class
150	1
300, 450 หรือ 600	2
750, 900, 1200 หรือ 1500	3
$>$ 1500	4

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อให้ได้น้ำเคลือบสำหรับเคลือบกระเบื้องปูพื้นโดยใช้น้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสียจากกระบวนการผลิตผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ ฟริต หินฟันม้า และทราย เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส ทดสอบคุณสมบัติให้ใกล้เคียงกับกระเบื้องปูพื้นของบริษัท อินดัสเทรียล พลานท์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด นิคมอุตสาหกรรมหนองแค จังหวัดสระบุรี ซึ่งได้จัดขั้นตอนการทดลองเป็นลำดับขั้นตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง
2. เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
3. ตัวแปรที่ศึกษา
4. การดำเนินการทดลอง
5. การวิเคราะห์ข้อมูล
6. สถานที่และระยะเวลาที่ทำการทดลอง

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

1.1 น้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสียในกระบวนการผลิต มารวมไว้ที่บ่อกวนมีใบพัดเพื่อป้องกันการตกตะกอน ใช้ปั๊มสูบผ่านเครื่องแยกน้ำ จะได้วัตถุดิบคล้ายดิน น้ำเคลือบที่ถูกแยกน้ำออกความชื้นประมาณร้อยละ 10-15

1.2 หินฟันม้า

1.3 ฟริต

1.4 ทราย

1.5 เนฟเฮลีน ไซเยไนต์

1.6 เอ็นโกบ

1.7 กาว

1.8 โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต

1.9 น้ำ

2. เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.1 เครื่องชั่งไฟฟ้าระบบดิจิตอล

2.2 ตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช

2.3 หม้อบดชนิดความจุ 500 กรัม

2.4 เครื่องมือตวง

2.5 เครื่องวัดความหนืด

2.6 เครื่องทดสอบการขัดสี

2.7 เครื่องทดสอบการรานตัวของเคลือบ

2.8 กาพ่นสี

2.9 ถังกวนเคลือบ

2.10 อุปกรณ์การทดสอบความทนกรดและด่าง

2.11 เครื่องอัดแยกน้ำ

2.12 เครื่องอัดขึ้นรูปกระเบื้อง

2.13 เตาเผา อุปกรณ์เตาเผา และเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

2.14 ชิ้นทดลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45.5 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร และชิ้นทดลองสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 200 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร

3. ตัวแปรที่ศึกษา

3.1 ตัวแปรต้น ได้แก่

3.1.1 อัตราส่วนผสมซึ่งประกอบด้วยวัตถุดิบที่ได้จากน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่สูญเสียจากกระบวนการผลิตผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย

3.1.2 อัตราส่วนผสมซึ่งประกอบด้วยวัตถุดิบที่ได้จากน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่สูญเสียจากกระบวนการผลิตผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย

3.1.3 อัตราส่วนผสมซึ่งประกอบด้วยวัตถุดิบที่ได้จากน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่สูญเสียจากกระบวนการผลิตผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย

3.1.4 อัตราส่วนผสมซึ่งประกอบด้วยวัตถุดิบที่ได้จากน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่สูญเสียจากกระบวนการผลิตผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย

3.2 ตัวแปรตาม

สมบัติทางกายภาพ ได้แก่

3.2.1 ความด้านความมันของเคลือบหลังจากการเผา

3.2.2 สีของเคลือบ

3.2.3 การเกิดรูเข็มของเคลือบ

3.2.4 รอยหลุมของผิวเคลือบ

3.2.5 รอยพองของผิวเคลือบ

3.2.6 การหลุดล่อนของเคลือบ

3.2.7 การดึงตัวของเคลือบ

3.2.8 การรานตัวของเคลือบ

3.2.9 การทนต่อการขัดถู

สมบัติทางเคมี ได้แก่

3.2.10 การทนต่อสารเคมี

4. การดำเนินการทดลอง

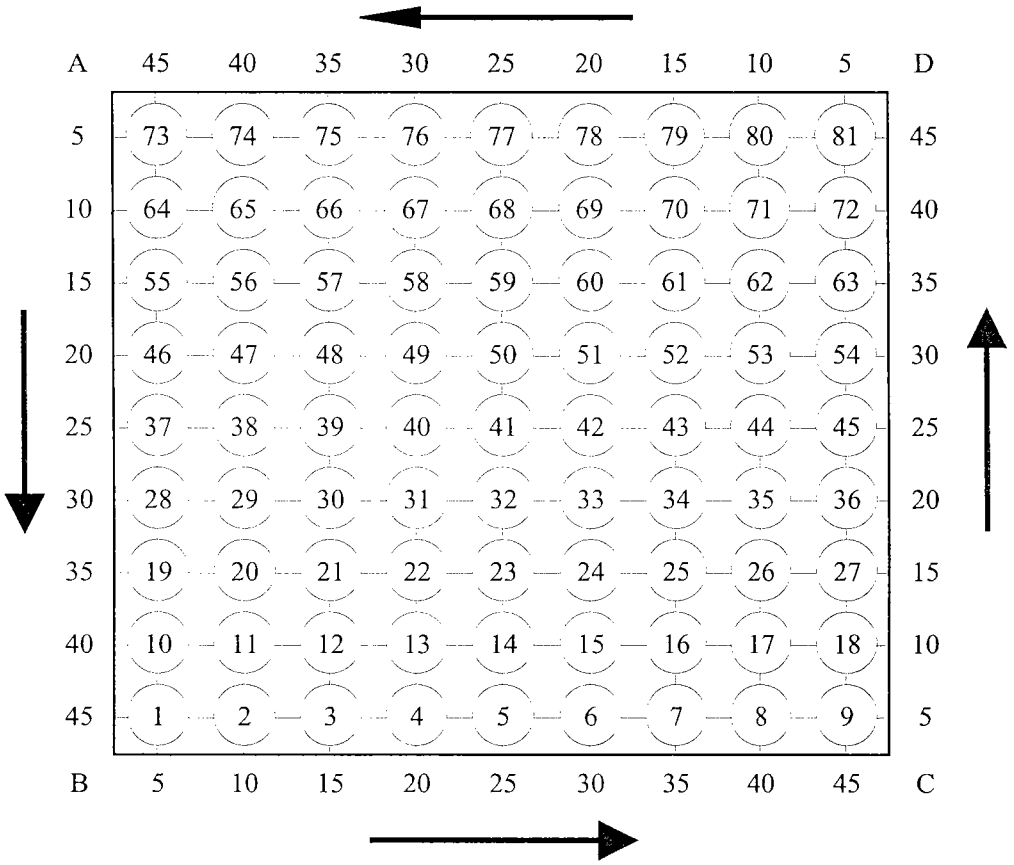
ในการดำเนินการทดลองผู้ทดลองได้ดำเนินการทดลองดังนี้

4.1 เก็บตัวอย่างวัตถุดิบที่ได้จากน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่ผ่านกระบวนการขจัดของที่สูญเสียมาอบแห้ง

4.2 เก็บตัวอย่างวัตถุดิบที่ได้จากน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่ผ่านกระบวนการขจัดของสูญเสียมาอบแห้ง

4.3 นำเอาน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย ทำการสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสเพื่อหาอัตราส่วนผสมจำนวน 81 จุด

การใช้ตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสสำหรับสุ่มตัวอย่างหาสูตรน้ำเคลือบ ตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสจะสุ่มตัวอย่างได้ดีในเมื่อใช้วัตถุดิบ 4 ชนิด ดังรูป



A น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้ง

B ฟริต

C หินฟันม้า

D ทราย

ภาพประกอบ 18 ตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสแบ่งออกด้านละ 10 ช่อง เขียนเป็นตาราง (ดังรูป) มีจุดตัดภายในสี่เหลี่ยมจตุรัสจำนวน 81 จุด สามารถอ่านค่าของวัตถุดิบ A, B, C, D ได้ดังนี้

ตาราง 6 แสดงอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ A, B, C, D จากตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัส

จุดที่	น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบ วัตถุดิบ (A)	ฟริต วัตถุดิบ (B)	หินฟันม้า วัตถุดิบ (C)	ทราย วัตถุดิบ (D)
1	45	5	5	45
2	45	10	5	40
3	45	15	5	35
4	45	20	5	30
5	45	25	5	25
6	45	30	5	20
7	45	35	5	15
8	45	40	5	10
9	45	45	5	5
10	40	5	10	45
11	40	10	10	40
12	40	15	10	35
13	40	20	10	30
14	40	25	10	25
15	40	30	10	20
16	40	35	10	15
17	40	40	10	10
18	40	45	10	5
19	35	5	15	45
20	35	10	15	40
21	35	15	15	35
22	35	20	15	30
23	35	25	15	25
24	35	30	15	20
25	35	35	15	15

ตาราง 6 (ต่อ)

จุดที่	น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบ วัตถุดิบ (A)	ฟริต วัตถุดิบ (B)	หินฟันม้า วัตถุดิบ (C)	ทราย วัตถุดิบ (D)
26	35	40	15	10
27	35	45	15	5
28	30	5	20	45
29	30	10	20	40
30	30	15	20	35
31	30	20	20	30
32	30	25	20	25
33	30	30	20	20
34	30	35	20	15
35	30	40	20	10
36	30	45	20	5
37	25	5	25	45
38	25	10	25	40
39	25	15	25	35
40	25	20	25	30
41	25	25	25	25
42	25	30	25	20
43	25	35	25	15
44	25	40	25	10
45	25	45	25	5
46	20	5	30	45
47	20	10	30	40
48	20	15	30	35
49	20	20	30	30
50	20	25	30	25

ตาราง 6 (ต่อ)

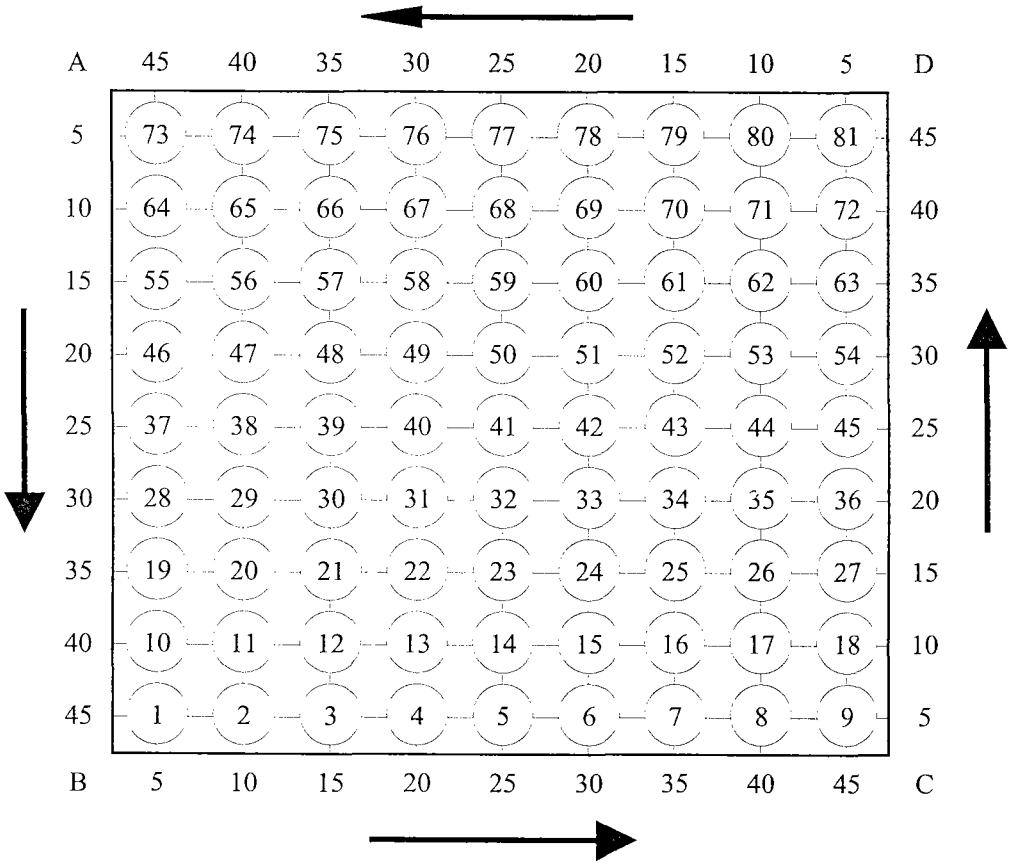
จุดที่	น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบ วัตถุดิบ (A)	ฟริต วัตถุดิบ (B)	หินฟันม้า วัตถุดิบ (C)	ทราย วัตถุดิบ (D)
51	20	30	30	20
52	20	35	30	15
53	20	40	30	10
54	20	45	30	5
55	15	5	35	45
56	15	10	35	40
57	15	15	35	35
58	15	20	35	30
59	15	25	35	25
60	15	30	35	20
61	15	35	35	15
62	15	40	35	10
63	15	45	35	5
64	10	5	40	45
65	10	10	40	40
66	10	15	40	35
67	10	20	40	30
68	10	25	40	25
69	10	30	40	20
70	10	35	40	15
71	10	40	40	10
72	10	45	40	5
73	5	5	45	45
74	5	10	45	40
75	5	15	45	35

ตาราง 6 (ต่อ)

จุดที่	น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบ วัตถุดิบ (A)	ฟริต วัตถุดิบ (B)	หินฟันม้า วัตถุดิบ (C)	ทราย วัตถุดิบ (D)
76	5	20	45	30
77	5	25	45	25
78	5	30	45	20
79	5	35	45	15
80	5	40	45	10
81	5	45	45	5

4.4 นำเอาน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย ทำการสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสเพื่อหาอัตราส่วนผสมจำนวน 81 จุด

การใช้ตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสสำหรับสุ่มตัวอย่างหาสูตรน้ำเคลือบ ตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสจะสุ่มตัวอย่างได้ดีในเมื่อใช้วัตถุดิบ 4 ชนิด ดังรูป



A น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้ง

B เนฟเฮลีน ไซเยไนต์

C หินฟันม้า

D ทราย

ภาพประกอบ 19 ตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสแบ่งออกด้านละ 10 ช่อง เขียนเป็นตาราง (ดังรูป) มีจุดตัดภายในสี่เหลี่ยมจตุรัสจำนวน 81 จุด สามารถอ่านค่าของวัตถุดิบ A, B, C, D ได้ดังนี้

ตาราง 7 แสดงอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ A, B, C, D จากตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัส

จุดที่	น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบ วัตถุดิบ (A)	เนฟเฮลีนไซเยไนต์ วัตถุดิบ (B)	หินฟันม้า วัตถุดิบ (C)	ทราย วัตถุดิบ (D)
1	45	5	5	45
2	45	10	5	40
3	45	15	5	35
4	45	20	5	30
5	45	25	5	25
6	45	30	5	20
7	45	35	5	15
8	45	40	5	10
9	45	45	5	5
10	40	5	10	45
11	40	10	10	40
12	40	15	10	35
13	40	20	10	30
14	40	25	10	25
15	40	30	10	20
16	40	35	10	15
17	40	40	10	10
18	40	45	10	5
19	35	5	15	45
20	35	10	15	40
21	35	15	15	35
22	35	20	15	30
23	35	25	15	25
24	35	30	15	20
25	35	35	15	15

ตาราง 7 (ต่อ)

จุดที่	น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบ วัตถุดิบ (A)	เนฟเฮลีนไซเยไนต์ วัตถุดิบ (B)	หินฟันม้า วัตถุดิบ (C)	ทราย วัตถุดิบ (D)
26	35	40	15	10
27	35	45	15	5
28	30	5	20	45
29	30	10	20	40
30	30	15	20	35
31	30	20	20	30
32	30	25	20	25
33	30	30	20	20
34	30	35	20	15
35	30	40	20	10
36	30	45	20	5
37	25	5	25	45
38	25	10	25	40
39	25	15	25	35
40	25	20	25	30
41	25	25	25	25
42	25	30	25	20
43	25	35	25	15
44	25	40	25	10
45	25	45	25	5
46	20	5	30	45
47	20	10	30	40
48	20	15	30	35
49	20	20	30	30
50	20	25	30	25

ตาราง 7 (ต่อ)

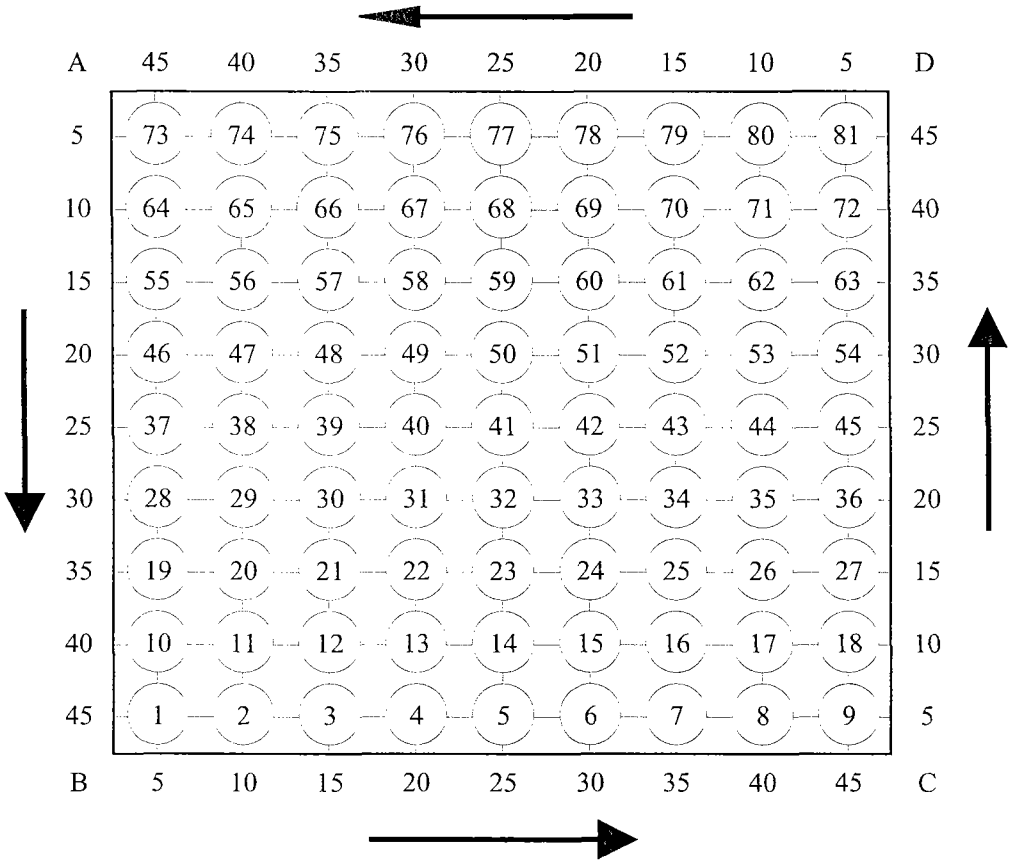
จุดที่	น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบ วัตถุดิบ (A)	เนฟเฮลีนไซเยไนต์ วัตถุดิบ (B)	หินฟันม้า วัตถุดิบ (C)	ทราย วัตถุดิบ (D)
51	20	30	30	20
52	20	35	30	15
53	20	40	30	10
54	20	45	30	5
55	15	5	35	45
56	15	10	35	40
57	15	15	35	35
58	15	20	35	30
59	15	25	35	25
60	15	30	35	20
61	15	35	35	15
62	15	40	35	10
63	15	45	35	5
64	10	5	40	45
65	10	10	40	40
66	10	15	40	35
67	10	20	40	30
68	10	25	40	25
69	10	30	40	20
70	10	35	40	15
71	10	40	40	10
72	10	45	40	5
73	5	5	45	45
74	5	10	45	40
75	5	15	45	35

ตาราง 7 (ต่อ)

จุดที่	น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบ วัตถุดิบ (A)	เนฟเฮลีนไซเยไนต์ วัตถุดิบ (B)	หินฟันม้า วัตถุดิบ (C)	ทราย วัตถุดิบ (D)
76	5	20	45	30
77	5	25	45	25
78	5	30	45	20
79	5	35	45	15
80	5	40	45	10
81	5	45	45	5

4.5 นำเอาน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย ทำการสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสเพื่อหาอัตราส่วนผสมจำนวน 81 จุด

การใช้ตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสสำหรับสุ่มตัวอย่างหาสูตรน้ำเคลือบ ตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสจะสุ่มตัวอย่างได้ดีในเมื่อใช้วัตถุดิบ 4 ชนิด ดังรูป



A น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่อบแห้ง

B ฟริต

C หินฟันม้า

D ทราย

ภาพประกอบ 20 ตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสแบ่งออกด้านละ 10 ช่อง เขียนเป็นตาราง (ดังรูป) มีจุดตัดภายในสี่เหลี่ยมจตุรัสจำนวน 81 จุด สามารถอ่านค่าของวัตถุดิบ A, B, C, D ได้ดังนี้

ตาราง 8 แสดงอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ A, B, C, D จากตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัส

จุดที่	น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบ วัตถุดิบ (A)	ฟริต วัตถุดิบ (B)	หินฟันม้า วัตถุดิบ (C)	ทราย วัตถุดิบ (D)
1	45	5	5	45
2	45	10	5	40
3	45	15	5	35
4	45	20	5	30
5	45	25	5	25
6	45	30	5	20
7	45	35	5	15
8	45	40	5	10
9	45	45	5	5
10	40	5	10	45
11	40	10	10	40
12	40	15	10	35
13	40	20	10	30
14	40	25	10	25
15	40	30	10	20
16	40	35	10	15
17	40	40	10	10
18	40	45	10	5
19	35	5	15	45
20	35	10	15	40
21	35	15	15	35
22	35	20	15	30
23	35	25	15	25
24	35	30	15	20
25	35	35	15	15

ตาราง 8 (ต่อ)

จุดที่	น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบ วัตถุดิบ (A)	ฟริต วัตถุดิบ (B)	หินฟันม้า วัตถุดิบ (C)	ทราย วัตถุดิบ (D)
26	35	40	15	10
27	35	45	15	5
28	30	5	20	45
29	30	10	20	40
30	30	15	20	35
31	30	20	20	30
32	30	25	20	25
33	30	30	20	20
34	30	35	20	15
35	30	40	20	10
36	30	45	20	5
37	25	5	25	45
38	25	10	25	40
39	25	15	25	35
40	25	20	25	30
41	25	25	25	25
42	25	30	25	20
43	25	35	25	15
44	25	40	25	10
45	25	45	25	5
46	20	5	30	45
47	20	10	30	40
48	20	15	30	35
49	20	20	30	30
50	20	25	30	25

ตาราง 8 (ต่อ)

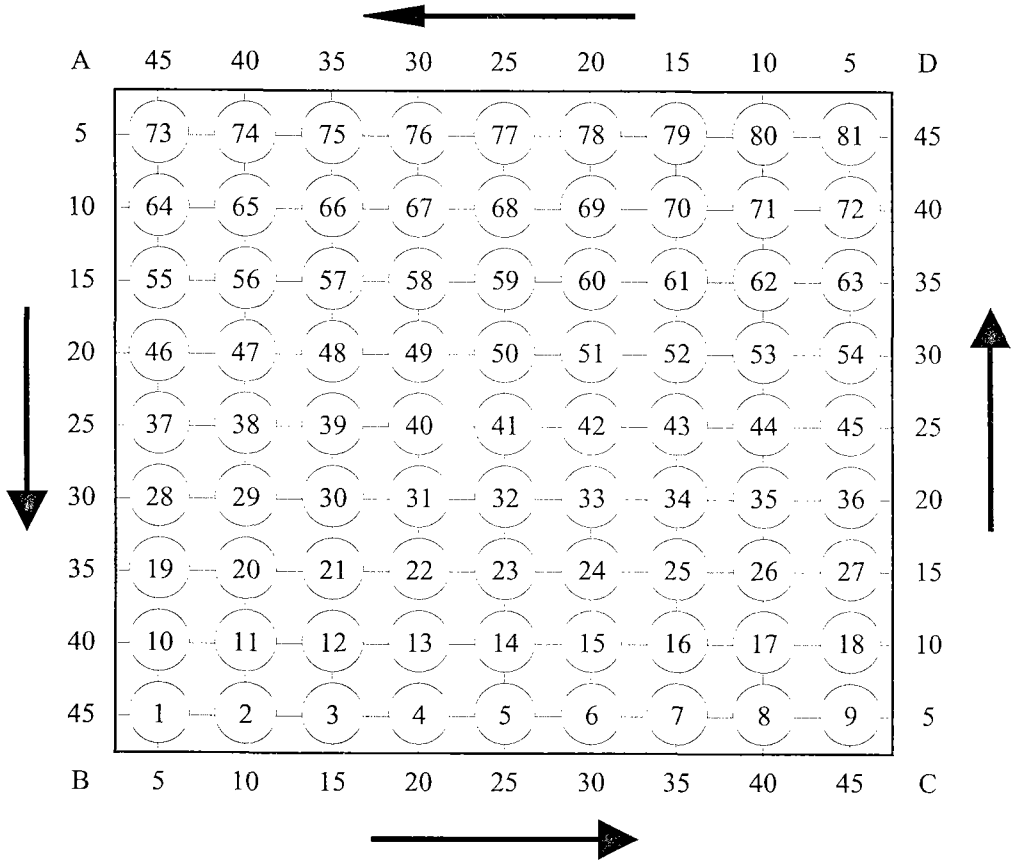
จุดที่	น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบ วัตถุดิบ (A)	ฟริต วัตถุดิบ (B)	หินฟันม้า วัตถุดิบ (C)	ทราย วัตถุดิบ (D)
51	20	30	30	20
52	20	35	30	15
53	20	40	30	10
54	20	45	30	5
55	15	5	35	45
56	15	10	35	40
57	15	15	35	35
58	15	20	35	30
59	15	25	35	25
60	15	30	35	20
61	15	35	35	15
62	15	40	35	10
63	15	45	35	5
64	10	5	40	45
65	10	10	40	40
66	10	15	40	35
67	10	20	40	30
68	10	25	40	25
69	10	30	40	20
70	10	35	40	15
71	10	40	40	10
72	10	45	40	5
73	5	5	45	45
74	5	10	45	40
75	5	15	45	35

ตาราง 8 (ต่อ)

จุดที่	น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบ วัตถุดิบ (A)	ฟริต วัตถุดิบ (B)	หินฟันม้า วัตถุดิบ (C)	ทราย วัตถุดิบ (D)
76	5	20	45	30
77	5	25	45	25
78	5	30	45	20
79	5	35	45	15
80	5	40	45	10
81	5	45	45	5

4.6 นำเอาน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย ทำการสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสเพื่อหาอัตราส่วนผสมจำนวน 81 จุด

การใช้ตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสสำหรับสุ่มตัวอย่างหาสูตรน้ำเคลือบ ตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสจะสุ่มตัวอย่างได้ดีในเมื่อใช้วัตถุดิบ 4 ชนิด ดังรูป



A น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่อบแห้ง

B เนฟเฮลีน ไซเยไนต์

C หินฟันม้า

D ทราย

ภาพประกอบ 21 ตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสแบ่งออกด้านละ 10 ช่อง เขียนเป็นตาราง (ดังรูป) มีจุดตัดภายในสี่เหลี่ยมจตุรัสจำนวน 81 จุด สามารถอ่านค่าของวัตถุดิบ A, B, C, D ได้ดังนี้

ตาราง 9 แสดงอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ A, B, C, D จากตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัส

จุดที่	น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบ วัตถุดิบ (A)	เนฟเฮลีนไซเยไนต์ วัตถุดิบ (B)	หินฟันม้า วัตถุดิบ (C)	ทราย วัตถุดิบ (D)
1	45	5	5	45
2	45	10	5	40
3	45	15	5	35
4	45	20	5	30
5	45	25	5	25
6	45	30	5	20
7	45	35	5	15
8	45	40	5	10
9	45	45	5	5
10	40	5	10	45
11	40	10	10	40
12	40	15	10	35
13	40	20	10	30
14	40	25	10	25
15	40	30	10	20
16	40	35	10	15
17	40	40	10	10
18	40	45	10	5
19	35	5	15	45
20	35	10	15	40
21	35	15	15	35
22	35	20	15	30
23	35	25	15	25
24	35	30	15	20
25	35	35	15	15

ตาราง 9 (ต่อ)

จุดที่	น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบ วัตถุดิบ (A)	เนฟเฮลีนไซเยไนต์ วัตถุดิบ (B)	หินฟันม้า วัตถุดิบ (C)	ทราย วัตถุดิบ (D)
26	35	40	15	10
27	35	45	15	5
28	30	5	20	45
29	30	10	20	40
30	30	15	20	35
31	30	20	20	30
32	30	25	20	25
33	30	30	20	20
34	30	35	20	15
35	30	40	20	10
36	30	45	20	5
37	25	5	25	45
38	25	10	25	40
39	25	15	25	35
40	25	20	25	30
41	25	25	25	25
42	25	30	25	20
43	25	35	25	15
44	25	40	25	10
45	25	45	25	5
46	20	5	30	45
47	20	10	30	40
48	20	15	30	35
49	20	20	30	30
50	20	25	30	25

ตาราง 9 (ต่อ)

จุดที่	น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบ วัตถุดิบ (A)	เนฟเฮลีนไซเยไนต์ วัตถุดิบ (B)	หินฟันม้า วัตถุดิบ (C)	ทราย วัตถุดิบ (D)
51	20	30	30	20
52	20	35	30	15
53	20	40	30	10
54	20	45	30	5
55	15	5	35	45
56	15	10	35	40
57	15	15	35	35
58	15	20	35	30
59	15	25	35	25
60	15	30	35	20
61	15	35	35	15
62	15	40	35	10
63	15	45	35	5
64	10	5	40	45
65	10	10	40	40
66	10	15	40	35
67	10	20	40	30
68	10	25	40	25
69	10	30	40	20
70	10	35	40	15
71	10	40	40	10
72	10	45	40	5
73	5	5	45	45
74	5	10	45	40
75	5	15	45	35

ตาราง 9 (ต่อ)

จุดที่	น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบ วัตถุดิบ (A)	เนฟเฮลีนไซเยไนต์ วัตถุดิบ (B)	หินฟันม้า วัตถุดิบ (C)	ทราย วัตถุดิบ (D)
76	5	20	45	30
77	5	25	45	25
78	5	30	45	20
79	5	35	45	15
80	5	40	45	10
81	5	45	45	5

4.7 ทำการชั่งวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างตามตารางโดยเตรียมแต่ละส่วนผสม 300 กรัม

4.8 ทุกส่วนผสมให้ใส่กาวลงไปร้อยละ 0.1 เพื่อช่วยให้เคลือบเกาะยึดติดกับเนื้อกระเบื้องดิบ

4.9 ทุกส่วนผสมให้ใส่โซเดียมพอลิฟอสเฟส ร้อยละ 0.1 เพื่อช่วยปรับคุณสมบัติการไหลตัวของน้ำเคลือบ

4.10 ทำการบดอัตราส่วนผสม โดยใช้หม้อบดขนาดความจุ 500 กรัม โดยวิธีบดเปียกใส่น้ำร้อยละ 40ใช้เวลาบด 20 นาที

4.11 นำเอาน้ำเคลือบที่ผ่านการบดแล้วทำการกรองด้วยตะแกรงกรองขนาด 100 เมช

4.12 ทำการปรับคุณสมบัติของน้ำเคลือบตามมาตรฐานกำหนดดังนี้

4.12.1 ความถ่วงจำเพาะ 1.64-1.65

4.12.2 ความหนืดน้ำเคลือบ 100 C.C. ไหลตัวในเวลา 12.0-13.0 วินาที

4.13 ทำการปรับคุณสมบัติของเอ็นโกบโดยใส่เคลือบรองพื้นที่มีมาตรฐานกำหนดดังนี้

4.13.1 ความถ่วงจำเพาะ 1.55-1.56

4.13.2 ความหนืดของเอ็นโกบปริมาณ 100 C.C. ไหลตัวภายในเวลา 11.0-12.0 วินาที

4.14 โดยแต่ละส่วนผสมนำชิ้นทดลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45.5 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร 5 แผ่น มาทำการทดลองดังนี้

4.14.1 พ่นด้วยเอ็นโกบใช้น้ำหนัก 5 กรัม/ชิ้น

4.14.2 พ่นด้วยน้ำเคลือบทดลอง 10 กรัม/ชิ้น

4.15 นำเอาชิ้นทดลองที่พ่นเคลือบแล้วไปอบแห้ง

4.16 นำเอาชิ้นทดลองที่ผ่านการอบแห้ง เข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส

4.17 นำชิ้นทดลองหลังเผามาคัดเลือกด้วยตาเพื่อ

4.17.1 วิเคราะห์ลักษณะเคลือบหลังเผา

4.17.2 คัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสม

4.17.3 นำอัตราส่วนที่เหมาะสมไปทดลองขั้นตอนต่อไป

4.18 เตรียมอัตราส่วนเคลือบหลังเผาที่เหมาะสมอัตราส่วนผสมละ 300 กรัม

4.19 กรองเคลือบที่ได้ในข้อ 4.18 ผ่านตะแกรงกรอง 100 เมช

4.20 ทำการปรับคุณสมบัติของน้ำเคลือบให้ได้ตามมาตรฐานกำหนดดังนี้

4.20.1 ความถ่วงจำเพาะ 1.64-1.65

4.20.2 ความหนืดของเอ็นโกบปริมาณ 100 C.C. ไหลตัวภายในเวลา 12.0-13.0 วินาที

4.21 ทำการปรับคุณสมบัติของเอ็นโกบ โดยใส่เคลือบรองพื้นตามมาตรฐานกำหนด ดังนี้

4.21.1 ความถ่วงจำเพาะ 1.55-1.56

4.21.2 ความหนืดของเอ็นโกบปริมาณ 100 C.C. ไหลตัวภายในเวลา 11.0-12.0 วินาที

4.22 ในแต่ละส่วนผสมนำชิ้นทดลองสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 200 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร จำนวน 3 แผ่น มาทำการทดลองดังต่อไปนี้

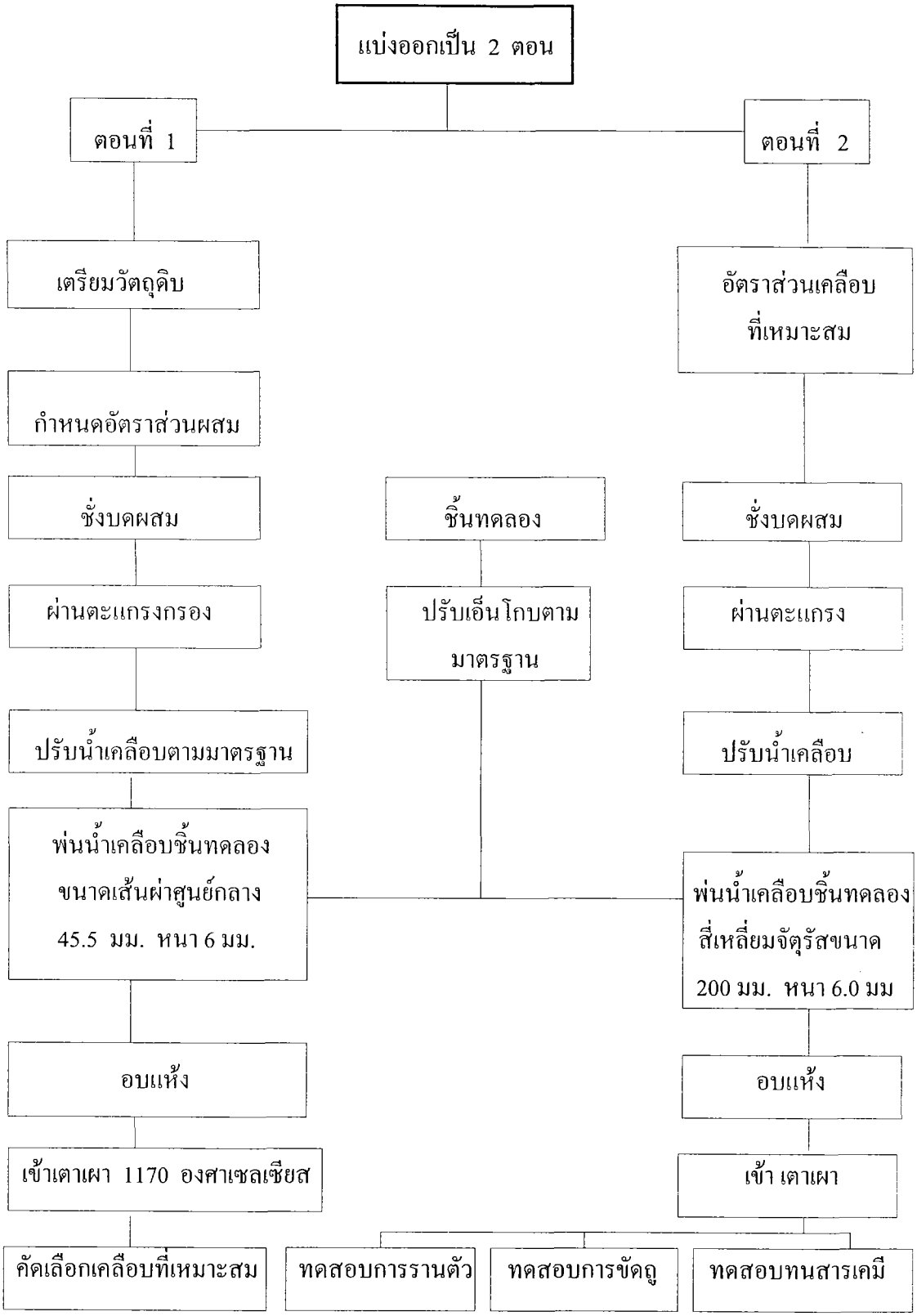
4.22.1 พ่นด้วยเอ็นโกบใช้น้ำหนัก 15 กรัม/ชิ้น

4.22.2 พ่นด้วยน้ำเคลือบทดลอง 24 กรัม/ชิ้น

4.23 นำชิ้นทดลองเข้าอบแห้ง

4.24 นำชิ้นทดลองอบแห้งแล้วเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส

4.25 นำชิ้นทดลองสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 200 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร หลังเผา 3 แผ่น ชิ้นทดลอง 2 แผ่น ตัดแบ่งครึ่งเป็น 2 ส่วน นำไปทดสอบการรานตัว นำไปทดสอบการขัดสี และนำไปทดสอบการทนต่อสารเคมี



ภาพประกอบ 22 แสดงแผนภูมิขั้นตอนการทดลองเตรียมน้ำเคลือบ

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลทำการวิเคราะห์ 2 ขั้นตอน คือ

5.1 การคัดเลือกชิ้นตัวอย่างหลังการเคลือบมีตำหนิออก (ตำหนิที่เห็นด้วยตาเปล่า) เคลือบที่มีตำหนิได้แก่ มีรูเข็ม เคลือบดึงตัว เคลือบหลุดล่อน เคลือบมีรอยพอง เคลือบมีรอยหลุม

5.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ทำการทดสอบคุณสมบัติของเคลือบทางกายภาพและเคมี ตามมาตรฐานของบริษัท อินดัสเทรียล พลานท์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด มีดังนี้

5.2.1 วิเคราะห์ความด้าน และความมัน โดยการเปรียเทียบกับเคลือบมาตรฐานของบริษัท อินดัสเทรียล พลานท์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด แบ่งกลุ่มความด้านและความมันตามวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองใช้เป็นส่วนผสม 4 กลุ่มตัวอย่าง คือ

5.2.1.1 กลุ่มน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบผสมกับฟริต หินฟันม้าและทราย

5.2.1.2 กลุ่มน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย

5.2.1.3 กลุ่มน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบผสมกับฟริต หินฟันม้าและทราย

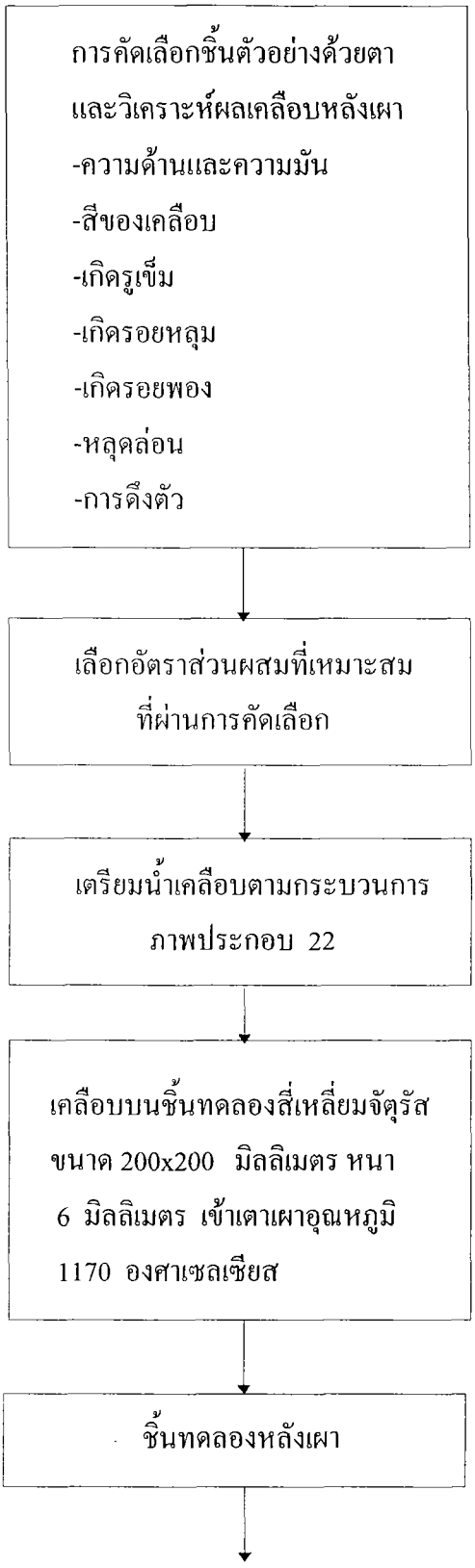
5.2.1.4 กลุ่มน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบผสมกับเนฟเฮลีน ไซเนไนต์ หินฟันม้า และทราย

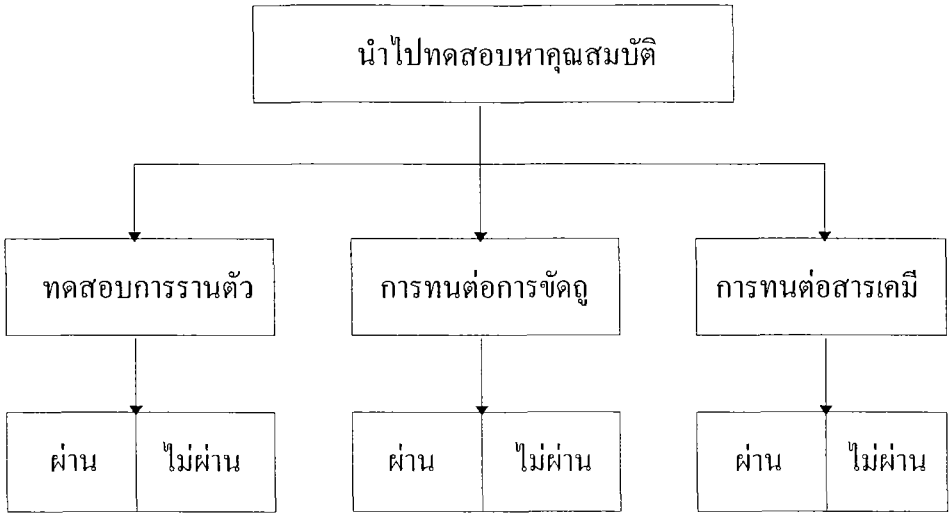
5.2.2 วิเคราะห์การรานตัวของเคลือบ

5.2.3 วิเคราะห์การทนต่อการขัดถู

5.2.4 วิเคราะห์สีของเคลือบ

5.2.5 วิเคราะห์การทนต่อสารเคมี


การคัดเลือกชิ้นตัวอย่างด้วยตา
และวิเคราะห์ผลเคลือบหลังเผา
-ความด้านและความมัน
-สีของเคลือบ
-เกิดรูเข็ม
-เกิดรอยหลุม
-เกิดรอยพอง
-หลุดล่อน
-การดึงตัว
เลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม
ที่ผ่านการคัดเลือก
เตรียมน้ำเคลือบตามกระบวนการ
ภาพประกอบ 22
เคลือบบนชิ้นทดลองสี่เหลี่ยมจัตุรัส
ขนาด 200x200 มิลลิเมตร หนา
6 มิลลิเมตร เข้าเตาเผาอุณหภูมิ
1170 องศาเซลเซียส
ชิ้นทดลองหลังเผา



ภาพประกอบ 23 แสดงแผนภูมิการทดสอบหาคุณสมบัติของเคลือบหลังเผา

6.สถานที่และระยะเวลาทำการทดลอง

6.1 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องทดลอง บริษัท อินดัสเทรียล พลานท์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด เลขที่ 12 หมู่ 2 ตำบลหนองไข่น้ำ อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี 18230

6.2 ระยะเวลาที่ใช้ทดลอง เริ่มจากเดือน ธันวาคม 2541 ถึงเดือน เมษายน 2542

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลอง นำน้ำเคลือบกระเบื้องดินเผา ประเภทปูพื้นที่สูญเสียในกระบวนการผลิตกลับมาใช้เคลือบกระเบื้องดินเผาประเภทปูพื้นใหม่ โดยใช้ตารางสี่เหลี่ยมจตุรัส สำหรับสุ่มตัวอย่างหาอัตราส่วนน้ำเคลือบที่เหมาะสม

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 นำเอาส่วนผสมที่ได้จากการสุ่มดังนี้

1. อัตราส่วนผสมน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย ทำการสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจตุรัส เพื่อหาอัตราส่วนผสมจำนวน 81 จุด

2. อัตราส่วนผสมน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย ทำการสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจตุรัส เพื่อหาอัตราส่วนผสมจำนวน 81 จุด

3. อัตราส่วนผสมน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย ทำการสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจตุรัส เพื่อหาอัตราส่วนผสมจำนวน 81 จุด

4. อัตราส่วนผสมน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย ทำการสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจตุรัส เพื่อหาอัตราส่วนผสมจำนวน 81 จุด

จำนวนอัตราส่วนผสม 324 อัตราส่วนผสม เคลือบบนชิ้นทดลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45.5 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร จำนวนอัตราส่วนผสมละ 5 ชิ้นทดลอง นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส ผลหลังเผานำมาคัดเลือกชิ้นทดลองที่ดีออก หาอัตราส่วนเคลือบที่เหมาะสมพิจารณาจากลักษณะของเคลือบ ประเภทเคลือบด้าน เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน เคลือบมัน ลักษณะเคลือบที่เหมาะสม ต้องไม่มีรูเข็ม ไม่ล่อน ไม่ดึงตัว เคลือบไม่มีรอยหลุม เคลือบไม่มีรอยพอง นำอัตราส่วนเคลือบที่เหมาะสมไปทดลองในตอนที่ 2

ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 นำชิ้นทดลองจำนวน 1620 ชิ้นทดลอง (324 อัตราส่วนผสม ๆ ละ 5 ชิ้น) เข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส ผลการทดลองดังนี้

1. ผลการทดลอง อัตราส่วนผสมน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับ ฟริต หินฟันม้า และทราย ทำการสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจตุรัส จำนวน 81 จุด ผลการทดลองหลังเผา แสดงรายละเอียดตามตาราง 10

ตาราง 10 ผลการทดลองส่วนผสมน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย

จุดที่	ความด้านมันของเคลือบ				ลักษณะเคลือบหลังเผา					
	ด้านมาก	ด้าน	กึ่งด้านกึ่งมัน	มัน	สี	รูเข็ม	ล่อน	ดึงตัว	หลุม	พอง
1	✗				ขาวขุ่น					
2	✗				ขาวขุ่น					
3	✗				ขาวขุ่น					
4			✗		ขาวขุ่น	✗				
5			✓		ขาวขุ่น					
6			✗		ขาวขุ่น	✗				
7				✗	ขาวขุ่น	✗				
8				✗	ขาวขุ่น				✗	
9				✗	ขาวขุ่น	✗				
10	✗				ขาวขุ่น					
11	✗				ขาวขุ่น					
12	✗				ขาวขุ่น					
13				✗	ขาวขุ่น	✗				
14				✗	ขาวขุ่น	✗				
15				✗	ขาวขุ่น	✗				
16				✗	ขาวขุ่น	✗				
17				✗	ขาวขุ่น	✗				
18				✓	ขาวขุ่น					
19	✗				ขาวขุ่น					
20	✗				ขาวขุ่น					

ตาราง 10 (ต่อ)

จุดที่	ความด้านมันของเคลือบ				ลักษณะเคลือบหลังเผา					
	ด้านมาก	ด้าน	กึ่งด้านกึ่งมัน	มัน	สี	รูเข็ม	ล่อน	ดึงตัว	หลุม	พอง
21	✗				ขาวขุ่น					
22		✓			ขาวขุ่น					
23		✗			ขาวขุ่น	✗				
24				✗	ขาวขุ่น	✗				
25				✗	ขาวขุ่น		✗			
26				✓	ขาวขุ่น					
27				✗	ขาวขุ่น		✗			
28	✗				ขาวขุ่น					
29	✗				ขาวขุ่น					
30	✗				ขาวขุ่น					
31			✗		ขาวขุ่น	✗				
32				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	
33				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	
34				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	
35				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	
36				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	
37	✗				ขาวขุ่น					
38	✗				ขาวขุ่น					
39	✗				ขาวขุ่น					
40				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	
41				✗	ขาวขุ่น	✗				
42				✗	ขาวขุ่น	✗				
43				✗	ขาวขุ่น	✗				
44				✗	ขาวขุ่น	✗				
45				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	

ตาราง 10 (ต่อ)

จุดที่	ความด้านมันของเคลือบ				ลักษณะเคลือบหลังเผา					
	ด้านมาก	ด้าน	กึ่งด้านกึ่งมัน	มัน	สี	รูเข็ม	ล่อน	ดึงตัว	หลุม	พอง
46	✗				ขาวขุ่น					
47	✗				ขาวขุ่น					
48	✗				ขาวขุ่น					
49	✗				ขาวขุ่น					
50				✗	ขาวขุ่น	✗				
51			✗		ขาวขุ่น			✗		
52			✗		ขาวขุ่น			✗		
53				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	
54				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	
55	✗				ขาวขุ่น					
56	✗				ขาวขุ่น					
57	✗				ขาวขุ่น					
58	✗				ขาวขุ่น					
59			✗		ขาวขุ่น	✗				
60			✗		ขาวขุ่น	✗				
61				✗	ขาวขุ่น				✗	
62				✗	ขาวขุ่น				✗	
63				✗	ขาวขุ่น				✗	
64	✗				ขาวขุ่น					
65	✗				ขาวขุ่น					
66	✗				ขาวขุ่น					
67	✗				ขาวขุ่น					
68			✗		ขาวขุ่น	✗				
69				✗	ขาวขุ่น	✗				
70				✗	ขาวขุ่น	✗				

ตาราง 10 (ต่อ)

จุดที่	ความด้านมันของเคลือบ				ลักษณะเคลือบหลังเผา					
	ด้านมาก	ด้าน	กึ่งด้านกึ่งมัน	มัน	สี	รูเข็ม	ล่อน	ดึงตัว	หลุม	พอง
71				✗	ขาวขุ่น	✗				
72				✗	ขาวขุ่น	✗				
73	✗				ขาวขุ่น					
74	✗				ขาวขุ่น					
75	✗				ขาวขุ่น					
76	✗				ขาวขุ่น					
77	✗				ขาวขุ่น					
78	✗				ขาวขุ่น					
79				✗	ขาวขุ่น	✗				
80				✗	ขาวขุ่น	✗				
81				✗	ขาวขุ่น	✗				

หมายเหตุ ✗ เคลือบไม่เหมาะสม

✓ เคลือบที่มีความเหมาะสม

จากตาราง 10 แสดงว่าอัตราส่วนผสมของเคลือบมันและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส ลักษณะผิวเคลือบด้านมีจำนวน 2 อัตราส่วนผสม จุดที่ 1-3, 10-12, 19-21, 28-30, 37-39, 46-49, 55-58, 64-67, 73-78 ลักษณะเคลือบกึ่งด้านกึ่งมันมีจำนวน 9 อัตราส่วนผสมคือจุด 4-6, 31, 51-52, 59-60, 68 ลักษณะเคลือบมันมีจำนวน 37 อัตราส่วนผสม คือ จุดที่ 7-9, 13-18, 24-27, 32-36, 40-45, 50, 53-54, 61-63, 69-72 79-81

2. ผลการทดลอง อัตราส่วนผสมน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย ทำการสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจตุรัส จำนวน 81 จุด ผลการทดลองหลังเผา แสดงรายละเอียดตามตาราง 11

ตาราง 11 ผลการทดลองส่วนผสมน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้าและทราย

จุดที่	ความด้านมันของเคลือบ				ลักษณะเคลือบหลังเผา					
	ด้านมาก	ด้าน	กึ่งด้านกึ่งมัน	มัน	สี	รูเข็ม	ล่อน	ดึงตัว	หลุม	พอง
1	✗				ขาวขุ่น					
2	✗				ขาวขุ่น					
3	✗				ขาวขุ่น					
4	✗				ขาวขุ่น					
5	✗				ขาวขุ่น					
6	✗				ขาวขุ่น					
7	✗				ขาวขุ่น					
8			✗		ขาวขุ่น	✗				
9			✗		ขาวขุ่น	✗				
10	✗				ขาวขุ่น					
11	✗				ขาวขุ่น					
12	✗				ขาวขุ่น					
13	✗				ขาวขุ่น					
14	✗				ขาวขุ่น					
15	✗				ขาวขุ่น					
16	✗				ขาวขุ่น					
17			✓		ขาวขุ่น					
18				✓	ขาวขุ่น					
19	✗				ขาวขุ่น					
20	✗				ขาวขุ่น					

ตาราง 11 (ต่อ)

จุดที่	ความด้านมันของเคลือบ				ลักษณะเคลือบหลังเผา					
	ด้านมาก	ด้าน	กึ่งด้านกึ่งมัน	มัน	สี	รูเข็ม	ล่อน	ดึงตัว	หลุม	พอง
21	✗				ขาวขุ่น					
22	✗				ขาวขุ่น					
23	✗				ขาวขุ่น					
24	✗				ขาวขุ่น					
25	✗				ขาวขุ่น					
26	✗				ขาวขุ่น					
27	✗				ขาวขุ่น					
28	✗				ขาวขุ่น					
29	✗				ขาวขุ่น					
30	✗				ขาวขุ่น					
31	✗				ขาวขุ่น					
32	✗				ขาวขุ่น					
33	✗				ขาวขุ่น					
34	✗				ขาวขุ่น					
35	✗				ขาวขุ่น					
36	✗				ขาวขุ่น					
37	✗				ขาวขุ่น					
38	✗				ขาวขุ่น					
39	✗				ขาวขุ่น					
40	✗				ขาวขุ่น					
41	✗				ขาวขุ่น					
42	✗				ขาวขุ่น					
43	✗				ขาวขุ่น					
44	✗				ขาวขุ่น					
45	✗				ขาวขุ่น					

ตาราง 11 (ต่อ)

จุดที่	ความด้านมันของเคลือบ				ลักษณะเคลือบหลังเผา					
	ด้านมาก	ด้าน	กึ่งด้านกึ่งมัน	มัน	สี	รูเข็ม	ล่อน	ดึงตัว	หลุม	พอง
46	✗				ขาวขุ่น					
47	✗				ขาวขุ่น					
48	✗				ขาวขุ่น					
49	✗				ขาวขุ่น					
50	✗				ขาวขุ่น					
51	✗				ขาวขุ่น					
52	✗				ขาวขุ่น					
53	✗				ขาวขุ่น					
54	✗				ขาวขุ่น					
55	✗				ขาวขุ่น					
56	✗				ขาวขุ่น					
57	✗				ขาวขุ่น					
58	✗				ขาวขุ่น					
59	✗				ขาวขุ่น					
60	✗				ขาวขุ่น					
61	✗				ขาวขุ่น					
62	✗				ขาวขุ่น					
63	✗				ขาวขุ่น					
64	✗				ขาวขุ่น					
65	✗				ขาวขุ่น					
66	✗				ขาวขุ่น					
67	✗				ขาวขุ่น					
68	✗				ขาวขุ่น					
69	✗				ขาวขุ่น					
70	✗				ขาวขุ่น					

ตาราง 11 (ต่อ)

จุดที่	ความด้านมันของเคลือบ				ลักษณะเคลือบหลังเผา					
	ด้านมาก	ด้าน	กึ่งด้านกึ่งมัน	มัน	สี	รูเข็ม	ล่อน	ดึงตัว	หลุม	พอง
71	✗				ขาวขุ่น					
72	✗				ขาวขุ่น					
73	✗				ขาวขุ่น					
74	✗				ขาวขุ่น					
75	✗				ขาวขุ่น					
76	✗				ขาวขุ่น					
77	✗				ขาวขุ่น					
78	✗				ขาวขุ่น					
79	✗				ขาวขุ่น					
80	✗				ขาวขุ่น					
81	✗				ขาวขุ่น					

หมายเหตุ ✗ เคลือบไม่เหมาะสม

✓ เคลือบที่มีความเหมาะสม

จากตาราง 11 แสดงอัตราส่วนผสมของเคลือบมันและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส ลักษณะผิวเคลือบด้านมาก มีจำนวน 77 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 1-7, 10-16, 19-81 ลักษณะผิวเคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน มีจำนวน 3 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 8, 9, 17 ลักษณะเคลือบมันมีจำนวน 1 อัตราส่วนผสม คือ จุดที่ 18

3. ผลการทดลอง อัตราส่วนผสมน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับ ฟริต หินฟันม้า และทราย ทำการสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจตุรัส จำนวน 81 จุด ผลการทดลองหลังเผา แสดงรายละเอียดตามตาราง 12

ตาราง 12 ผลการทดลองส่วนผสมน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย

จุดที่	ความด้านมันของเคลือบ				ลักษณะเคลือบหลังเผา					
	ด้านมาก	ด้าน	กึ่งด้านกึ่งมัน	มัน	สี	รูเข็ม	ล่อน	ดึงตัว	หลุม	พอง
1	✗				ครีม					
2	✗				ครีม					
3			✗		ครีม	✗				
4			✓		ครีม					
5				✗	ขาวขุ่น	✗				
6				✗	ขาวขุ่น	✗				
7				✗	ขาวขุ่น	✗				
8				✓	ขาวขุ่น					
9				✗	ขาวขุ่น	✗				
10	✗				ครีม					
11	✗				ครีม					
12	✗				ครีม			✗		
13			✗		ครีม	✗				
14			✗		ครีม	✗				
15				✗	ขาวขุ่น			✗		
16				✗	ขาวขุ่น	✗				
17				✗	ขาวขุ่น	✗				
18				✗	ครีม				✗	
19	✗				ขาวขุ่น					
20	✗				ขาวขุ่น					

ตาราง 12 (ต่อ)

จุดที่	ความด้านมันของเคลือบ				ลักษณะเคลือบหลังเผา					
	ด้านมาก	ด้าน	กึ่งด้านกึ่งมัน	มัน	สี	รูเข็ม	ล่อน	ดึงตัว	หลุม	พอง
21				✗	ครีม		✗			
22				✓	ครีม					
23				✗	ครีม		✗	✗		
24				✗	ครีม		✗	✗		
25				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	
26				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	
27				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	
28	✗				ขาวขุ่น					
29	✗				ขาวขุ่น					
30	✗				ขาวขุ่น					
31	✗				ขาวขุ่น					
32			✗		ขาวขุ่น	✗				✗
33				✗	ขาวขุ่น	✗				
34				✗	ขาวขุ่น	✗				
35				✗	ขาวขุ่น	✗				
36				✗	ขาวขุ่น	✗				
37	✗				ขาวขุ่น					
38	✗				ขาวขุ่น					
39	✗				ขาวขุ่น					
40			✗		ครีม	✗				
41				✗	ครีม				✗	
42				✗	ครีม				✗	
43				✗	ครีม	✗				
44				✗	ขาวขุ่น	✗				
45				✗	ขาวขุ่น	✗				

ตาราง 12 (ต่อ)

จุดที่	ความด้านมันของเคลือบ				ลักษณะเคลือบหลังเผา					
	ด้านมาก	ด้าน	กึ่งด้านกึ่งมัน	มัน	สี	รูเข็ม	ล่อน	ดึงตัว	หลุม	พอง
46	X				ครีม					
47	X				ครีม					
48	X				ครีม					
49			X		ขาวขุ่น	X				
50			X		ขาวขุ่น	X				
51			X		ขาวขุ่น	X				
52				X	ขาวขุ่น	X				
53				X	ขาวขุ่น	X				
54				X	ขาวขุ่น	X				
55	X				ขาวขุ่น					
56	X				ขาวขุ่น					
57	X				ขาวขุ่น					
58	X				ขาวขุ่น					
59	X				ขาวขุ่น	X				
60				X	ขาวขุ่น		X			
61				X	ขาวขุ่น		X			
62				X	ขาวขุ่น	X				
63				X	ขาวขุ่น	X				
64	X				ขาวขุ่น		X			
65	X				ขาวขุ่น					
66	X				ขาวขุ่น					
67	X				ขาวขุ่น					
68	X				ขาวขุ่น					
69	X				ขาวขุ่น					
70			X		ขาวขุ่น		X			

ตาราง 12 (ต่อ)

จุดที่	ความด้านมันของเคลือบ				ลักษณะเคลือบหลังเผา					
	ด้านมาก	ด้าน	กึ่งด้านกึ่งมัน	มัน	สี	รูเข็ม	ล่อน	ดึงตัว	หลุม	พอง
71			✗		ขาวขุ่น		✗			
72				✗	ขาวขุ่น		✗			
73	✗				ขาวขุ่น		✗			
74	✗				ขาวขุ่น		✗			
75	✗				ขาวขุ่น		✗			
76	✗				ขาวขุ่น		✗			
77	✗				ขาวขุ่น					
78			✗		ขาวขุ่น	✗				
79			✗		ขาวขุ่น		✗			
80				✗	ขาวขุ่น	✗				
81				✗	ขาวขุ่น	✗				

หมายเหตุ ✗ เคลือบไม่เหมาะสม

✓ เคลือบที่มีความเหมาะสม

จากตาราง 12 แสดงอัตราส่วนผสมของเคลือบด้านและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส ลักษณะเคลือบด้านไม่มี ลักษณะเคลือบด้านมาก จำนวน 33 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 1-2, 10-12, 19-20, 28-31,37-39, 46-48, 55-59, 64-69 73-77 ลักษณะเคลือบกึ่งด้านกึ่งมันมีจำนวน 13 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 3-4, 13-14, 32, 40 49-51, 70-71, 78-79, ลักษณะเคลือบมันมีจำนวน 35 อัตราส่วนผสม คือ จุดที่ 5-9, 15-17, 24 -27, 33-36, 41-45, 52-54, 60-63, 72, 80-81

4. ผลการทดลอง อัตราส่วนผสมน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย ทำการสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจตุรัส จำนวน 81 จุด ผลการทดลองหลังเผา แสดงรายละเอียดตามตาราง 13

ตาราง 13 ผลการทดลองส่วนผสมน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย

จุดที่	ความด้านมันของเคลือบ				ลักษณะเคลือบหลังเผา					
	ด้านมาก	ด้าน	กึ่งด้านกึ่งมัน	มัน	สี	รูเข็ม	ล่อน	ดึงตัว	หลุม	พอง
1	✗				ขาวขุ่น					
2	✗				ขาวขุ่น					
3			✓		ขาวขุ่น					
4				✗	ครีม				✗	
5				✗	ครีม	✗				
6				✗	ครีม	✗				
7	✗				ขาวขุ่น					
8				✗	ครีม				✗	
9				✗	ครีม	✗				
10	✗				ขาวขุ่น					
11	✗				ขาวขุ่น					
12			✗		ขาวขุ่น	✗				
13				✗	ครีม	✗				
14				✗	ครีม	✗			✗	
15				✓	ครีม					
16				✓	ครีม					
17				✗	ครีม			✗		
18				✗	ครีม					
19				✗	ครีม	✗			✗	
20	✗				ครีม					

ตาราง 13 (ต่อ)

จุดที่	ความด้านมันของเคลือบ				ลักษณะเคลือบหลังเผา					
	ด้านมาก	ด้าน	กึ่งด้านกึ่งมัน	มัน	สี	รูเข็ม	ล่อน	ดึงตัว	หลุม	พอง
21			✓		ขาวขุ่น					
22				✗	ขาวขุ่น	✗				
23				✗	ขาวขุ่น	✗		✗		
24				✗	ขาวขุ่น			✗		
25				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	
26				✓	ขาวขุ่น					
27				✗	ครีม				✗	
28	✗				ขาว					
29	✗				ขาว					
30	✗				ขาวขุ่น					
31			✗		ขาวขุ่น	✗				
32			✗		ขาวขุ่น	✗				
33			✗		ขาวขุ่น	✗				
34				✗	ขาวขุ่น	✗				
35				✗	ขาวขุ่น	✗				
36				✗	ขาวขุ่น	✗				
37	✗				ขาวขุ่น					
38	✗				ขาวขุ่น					
39	✗				ขาวขุ่น					
40	✗				ขาวขุ่น		✗			
41				✗	ขาวขุ่น	✗				
42				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	
43				✓	ขาวขุ่น					
44				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	
45	✗				ขาวขุ่น					

ตาราง 13 (ต่อ)

จุดที่	ความด้านมันของเคลือบ				ลักษณะเคลือบหลังเผา					
	ด้านมาก	ด้าน	กึ่งด้านกึ่งมัน	มัน	สี	รูเข็ม	ล่อน	ดึงตัว	หลุม	พอง
46	✗				ขาวขุ่น					
47	✗				ขาวขุ่น					
48	✗				ขาวขุ่น		✗			
49			✗		ขาวขุ่น		✗			
50			✗		ขาวขุ่น			✗		
51				✗	ขาวขุ่น		✗	✗		
52				✓	ขาวขุ่น					
53				✗	ขาวขุ่น	✗				
54				✗	ขาวขุ่น	✗				
55	✗				ขาวขุ่น					
56	✗				ขาวขุ่น					
57	✗				ขาวขุ่น					
58			✗		ขาวขุ่น	✗				
59				✗	ขาวขุ่น		✗	✗		
60				✗	ขาวขุ่น		✗	✗		
61				✗	ขาวขุ่น	✗				
62				✗	ขาวขุ่น	✗				
63				✗	ขาวขุ่น	✗				
64	✗				ขาวขุ่น		✗			
65	✗				ขาวขุ่น					
66	✗				ขาวขุ่น					
67		✗			ขาวขุ่น	✗				
68				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	
69				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	
70				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	

ตาราง 13 (ต่อ)

จุดที่	ความด้านมันของเคลือบ				ลักษณะเคลือบหลังเผา					
	ด้านมาก	ด้าน	กึ่งด้านกึ่งมัน	มัน	สี	รูเข็ม	ล่อน	ดึงตัว	หลุม	พอง
71				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	
72				✗	ขาวขุ่น	✗			✗	
73	✗				ขาวขุ่น					
74	✗				ขาวขุ่น					
75	✗				ขาวขุ่น					
76	✗				ขาวขุ่น					
77		✗			ขาวขุ่น	✗				
78				✗	ขาวขุ่น	✗				
79				✗	ขาวขุ่น	✗				
80				✗	ขาวขุ่น			✗		
81				✗	ขาวขุ่น	✗				

หมายเหตุ ✗ เคลือบไม่เหมาะสม

✓ เคลือบที่มีความเหมาะสม

จากตาราง 13 แสดงอัตราส่วนผสมของเคลือบด้านและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้าและทราย เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส ลักษณะผิวเคลือบด้าน มีจำนวน 27 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 1-2, 7, 10-11, 20, 28-30, 37-40, 45-48, 55-57, 64-66,73 -76 ลักษณะเคลือบกึ่งด้านกึ่งมันมีจำนวน 9 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 3, 12, 21, 31-33, 49-50-58 ลักษณะเคลือบมันมีจำนวน 43 อัตราส่วนผสม คือ จุดที่ 4-6, 8-9, 13-19, 22-27,34-36, 41 -44, 51-54, 59-63, 68-72, 78-81

ตอนที่ 2 นำอัตราส่วนเคลือบที่เหมาะสมในตอนที่ 1 นำมาเตรียมน้ำเคลือบ เคลือบบนชิ้นทดลองสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 200 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชิ้นทดลอง (แผ่น) /อัตราส่วนผสม นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส นำมาทดสอบคุณสมบัติเคลือบหลังเผา ได้แก่ การทนต่อการรานตัว การทนต่อการขัดสี การทนต่อสารเคมี

ผลการทดลอง

ตอนที่ 2

1. ผลการทดลอง อัตราส่วนผสมน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้ง ผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย ตามตาราง 10

จากอัตราส่วนผสมจำนวน 81 จุด จากการทดลองพบว่าเคลือบมีความเหมาะสมดูด้วยสายตาคือ เคลือบไม่ด้านมาก ไม่เกิดรูเข็ม ไม่ล่อน ไม่ดึงตัว ไม่เกิดหลุม เคลือบไม่พอง ลักษณะเคลือบด้านที่เหมาะสมจำนวน 1 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 22 ลักษณะเคลือบกึ่งด้านกึ่งมันที่เหมาะสมจำนวน 1 อัตราส่วนผสม คือจุที่ 5 ลักษณะเคลือบมันที่เหมาะสม 2 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 18, 26 นำอัตราส่วนเคลือบที่เหมาะสม จุดที่ 5, 22, 18, 26 ไปทดลองในตอนที่ 2 และทดสอบคุณสมบัติ ผลการทดสอบตมตาราง 14

ตาราง 14 ผลการทดสอบ การทนต่อการรานตัว การทนต่อการขัดถู การทนต่อสารเคมี

จุดที่	ลักษณะเคลือบที่เหมาะสม	ผลการทดสอบคุณสมบัติเคลือบหลังเผา					
		ทนการรานตัว		ทนการขัดถู		ทนสารเคมี	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
22	ด้าน	✓		✓		✓	
5	กึ่งด้านกึ่งมัน	✓		✓		✓	
18	มัน	✓		✓		✓	
26	มัน	✓		✓		✓	

2. ผลการทดลอง อัตราส่วนผสมน้ำเคลือบมัน และเอ็บโกบที่อบแห้ง ผสมกับเนฟเฮลีนไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย ตามตาราง 11

จากอัตราส่วนผสม จำนวน 81 จุด จากการทดลองพบว่าเคลือบที่เหมาะสมดูด้วยสายตาคือ เคลือบไม่ด้านมาก ไม่เกิดรูเข็ม ไม่ล่อน ไม่ดึงตัว ไม่เกิดหลุม ไม่พอง ลักษณะเคลือบกึ่งด้าน

กึ่งมันที่เหมาะสมจำนวน 1 อัตราส่วนผสมคือจุดที่ 17 ลักษณะเคลือบมันที่เหมาะสม จำนวน 1 อัตราส่วน คือจุดที่ 18

นำอัตราส่วนเคลือบที่เหมาะสม จุดที่ 17-18 ไปทดลองในตอนที่ 2 และทดสอบคุณสมบัติ ผลการทดสอบ ตามตาราง 15

ตาราง 15 ผลการทดสอบ การทนต่อการรานตัว การทนต่อการขัดถู การทนต่อสารเคมี

จุดที่	ลักษณะเคลือบที่เหมาะสม	ผลการทดสอบคุณสมบัติเคลือบหลังเผา					
		ทนการรานตัว		ทนการขัดถู		ทนสารเคมี	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
17	กึ่งด้านกึ่งมัน	✓		✓		✓	
18	มัน	✓		✓		✓	

3. ผลการทดลอง อัตราส่วนผสมน้ำเคลือบด้านและเอ็บโกบ ผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย ตามตาราง 12

จากอัตราส่วนผสมจำนวน 81 จุด จากการทดลองพบว่าเคลือบที่เหมาะสมดูด้วยสายตา คือเคลือบไม่ด้านมาก ไม่เกิดรูเข็ม ไม่ล่อน ไม่ดึงตัว ไม่เกิดหลุม ไม่พอง ลักษณะเคลือบมันที่เหมาะสม 2 อัตราส่วนผสม คือ จุดที่ 8, 22 ลักษณะเคลือบกึ่งด้านกึ่งมันที่เหมาะสม คือ จุดที่ 4

นำอัตราส่วนเคลือบที่เหมาะสม จุดที่ 4, 8, 22 ไปทดลองในตอนที่ 2 และทดสอบคุณสมบัติ ผลการทดสอบตามตาราง 16

ตาราง 16 ผลการทดสอบ การทนต่อการรานตัว การทนต่อการขัดถู การทนต่อสารเคมี

จุดที่	ลักษณะเคลือบที่เหมาะสม	ผลการทดสอบคุณสมบัติเคลือบหลังเผา					
		ทนการรานตัว		ทนการขัดถู		ทนสารเคมี	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
4	กึ่งด้านกึ่งมัน	✓		✓		✓	
8	มัน	✓		✓		✓	
22	มัน	✓		✓		✓	

4. ผลการทดลอง อัตราส่วนผสมน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบผสมกับ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย ตามตาราง 13

อัตราส่วนผสมจำนวน 81 จุด จากการทดลองพบว่าเคลือบที่เหมาะสม ดูด้วยสายตา คือเคลือบไม่ด้านมาก ไม่เกิดรูเข็ม ไม่ล่อน ไม่ดึงตัว ไม่เกิดหลุม ไม่พอง ลักษณะเคลือบกึ่งด้านกึ่งมันที่เหมาะสม จำนวน 2 อัตราส่วนผสม คือจุที่ 3, 21 ลักษณะเคลือบมันที่เหมาะสมจำนวน 5 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 15-16,26,43,52

นำอัตราส่วนเคลือบที่เหมาะสมจุดที่ 3,21,15,16,26,43,52 ไปทดสอบในตอนที่ 2 และทดสอบคุณสมบัติ ผลการทดสอบ ตามตาราง 17

ตาราง 17 ผลการทดสอบ การทนต่อการรานตัว การทนต่อการขัดถู การทนต่อสารเคมี

จุดที่	ลักษณะเคลือบที่เหมาะสม	ผลการทดสอบคุณสมบัติเคลือบหลังเผา					
		ทนการรานตัว		ทนการขัดถู		ทนสารเคมี	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
3	กึ่งด้านกึ่งมัน	✓		✓		✓	
21	กึ่งด้านกึ่งมัน	✓		✓		✓	
15	มัน	✓		✓		✓	
16	มัน	✓		✓		✓	
26	มัน	✓		✓		✓	
43	มัน	✓		✓		✓	
52	มัน	✓		✓		✓	

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองการนำน้ำเคลือบกระเบื้องดินเผาประเภทปูพื้นที่สูญเสียในกระบวนการผลิตมาใช้เคลือบกระเบื้องดินเผา ประเภทปูพื้นใหม่

จุดมุ่งหมายของการทดลอง

1. ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่าง น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่สูญเสียจากการผลิตผสมกับ ฟริต หินฟันม้า และทราย เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส เพื่อนำกลับมาใช้เคลือบกระเบื้องปูพื้น

2. ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่าง น้ำเคลือบมันและเอ็น โกบที่สูญเสียจากการผลิตผสมกับ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส เพื่อนำกลับมาใช้เคลือบกระเบื้องปูพื้น

3. ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่สูญเสียจากการผลิตผสมกับ ฟริต หินฟันม้า และทราย เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส เพื่อนำกลับมา ใช้เคลือบกระเบื้องปูพื้น

4. ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่สูญเสียจากการผลิตผสมกับ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส เพื่อนำกลับมาใช้เคลือบกระเบื้องปูพื้น

5. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบเคลือบที่ปรับปรุงใหม่ กับเคลือบกระเบื้องปูพื้น ของ บริษัท อินดัสเทรียล พลานท์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด ทางด้านคุณสมบัติ ทางกายภาพและเคมี

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 เตรียมแต่ละส่วนผสมของอัตราส่วนผสมที่ได้จากการสุ่ม ตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจตุรัส จำนวน 81 จุด รวม 324 ส่วนผสม เคลือบชิ้นทดลอง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45.5 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร อัตราส่วนละ 5 ชิ้นทดลอง เข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส ตรวจสอบเคลือบหลังเผาและคัดเลือกตำหนิด้วยตา โดยดูสภาพของเคลือบ

ว่าเป็น เคลือบด้าน เคลือบมัน เคลือบไม่ล่อน และเคลือบไม่ดึงตัว เพื่อหาอัตราส่วนเคลือบที่เหมาะสม

ตอนที่ 2 นำอัตราส่วนเคลือบที่เลือกแล้ว ว่าเหมาะสม ในตอนที่ 1 นำมาเตรียมเคลือบจากนั้นทดลอง เคลือบบนชิ้นทดลอง สี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 200 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร อัตราส่วนละ 3 แผ่นมาเผา ที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส ผลเคลือบหลังเผานำไปทดสอบการทนต่อการรานตัว การทนต่อการขัดถู และการทนต่อสารเคมี

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบดิจิตอล ตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช หม้อบดชนิดความจุ 500 กรัม เครื่องมือตวง เครื่องวัดความหนืด เครื่องทดสอบการขัดสี เครื่องทดสอบการรานตัวของเคลือบ กาพ่นสี ถังกวนเคลือบ อุปกรณ์การทดสอบความทนกรดและด่าง เครื่องอัดแยกน้ำ เครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นทดลอง (เครื่องอัดขึ้นรูปกระเบื้อง) เตาเผาอุปกรณ์เตาเผา และเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ชิ้นทดลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45.5 มิลลิเมตร ความหนา 6.0 มิลลิเมตร และชิ้นทดลองสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 200 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

1. น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่สูญเสียในกระบวนการผลิต ที่ถูกแยกน้ำออกและอบแห้ง
2. น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่สูญเสียในกระบวนการผลิต ที่ถูกแยกน้ำออกและอบแห้ง
3. หินฟันม้า ที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกระเบื้องดินเผา
4. ฟริต ที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกระเบื้องดินเผา
5. ทราย ที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกระเบื้องดินเผา
6. เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกระเบื้องดินเผา
7. เอ็นโกบ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระเบื้อง
8. กาว ชนิดการค้าทั่วไป สำหรับผสมน้ำเคลือบ
9. โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ชนิดการค้าทั่วไป

การดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลองผู้วิจัยแบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ขั้นตอน

ตอนที่ 1 ดำเนินการทดลองตามขั้นตอนดังนี้

1. นำเอาน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย ชั่งตามอัตราส่วนผสมตามตาราง 6 จำนวน 81 จุด (จำนวน 300 กรัม/อัตราส่วนผสม)

2. นำเอาน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย ชั่งตามอัตราส่วนผสมตามตาราง 7 จำนวน 81 จุด (จำนวน 300 กรัม/อัตราส่วนผสม

3. นำเอาน้ำเคลือบด้านและเอ็น โกบที่อบแห้งผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย ชั่งตามอัตราส่วนผสม ตามตาราง 8 จำนวน 81 จุด (จำนวน 300 กรัม/อัตราส่วนผสม)

4. นำเอาน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย ชั่งตามอัตราส่วนผสมตามตาราง 9 จำนวน 81 จุด (จำนวน 300 กรัม/อัตราส่วนผสม)

5. ส่วนผสมที่ชั่งตามข้อ 1,2,3,4 จำนวน 300 กรัม/อัตราส่วนผสม ทุกส่วนผสมใส่กาวร้อยละ 0.1 และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.1 ใช้หม้อบดเติมน้ำประมาณร้อยละ 40

6. กรองน้ำเคลือบผ่านตะแกรงกรองขนาด 100 เมช

7. ปรับความถ่วงจำเพาะของเคลือบ 1.64-1.65

8. ปรับความหนืดน้ำเคลือบ 100 CC. ไหลตัวในเวลา 12.0-13.0 วินาที

9. ปรับความถ่วงจำเพาะของเอ็นโกบ 1.55-1.56

10. ปรับความหนืดเอ็นโกบ 100 CC. ไหลตัวในเวลา 11.0-12.0 วินาที

11. นำชิ้นทดลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45.5 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร เคลือบด้วยเอ็นโกบด้วยวิธีพ่นน้ำหนักเคลือบ 5 กรัม/ชิ้นทดลอง จำนวน 324 อัตราส่วนผสม

12. นำชิ้นทดลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45.5 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร ที่ผ่านการเคลือบด้วยเอ็นโกบแล้ว นำไปเคลือบด้วยเคลือบทดลอง น้ำหนักเคลือบด้วยวิธีการพ่น 10 กรัม/ชิ้นทดลอง จำนวน 324 อัตราส่วนผสม

13. นำชิ้นทดลองที่ผ่านการพ่นเคลือบด้วยเอ็นโกบ และเคลือบทดลองแล้ว ไปอบแห้งและเข้าเตาเผา ที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส

14. นำชิ้นทดลองหลังเผามาคัดเลือกด้วยตา ดูลักษณะเคลือบ ว่าเป็นเคลือบชนิดด้านหรือเคลือบมันเพื่อหาอัตราส่วนผสมของเคลือบที่เหมาะสม เคลือบต้องไม่มีรูเข็ม เคลือบไม่ล่อน เคลือบไม่ดึงตัว ผิวเคลือบไม่เกิดหลุม ผิวเคลือบไม่พอง

ตอนที่ 2 นำอัตราส่วนผสมที่ผ่านการพิจารณาว่าเหมาะสม ในขั้นตอนที่ 1 ทดลอง

ต่อดังนี้

1. เตรียมอัตราส่วนผสมละ 300 กรัม / อัตราส่วนผสม ทุกส่วนผสมใช้กาวร้อยละ 0.1 และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 0.1 ใช้หม้อบดเติมน้ำร้อยละ 40

2. กรองผ่านตะแกรงกรองขนาด 100 เมช

3. ปรับความถ่วงจำเพาะของเคลือบให้ได้ 1.64-1.65

4. ปรับความหนืดน้ำเคลือบโดยให้ปริมาตร 100 CC.ไหลตัวในเวลา12.0-13.0 วินาที

5. ปรับความหนาแน่นเอ็นโกบให้ได้ 1.55-1.56

6. ปรับความหนืดของเอ็นโกบให้ได้ 100 CC. ไหลตัว 11.0-12.0 วินาที

7. นำชิ้นทดลองสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 200 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร เคลือบด้วยเอ็นโกบน้ำหนักเคลือบบนชิ้นทดลอง 15 กรัม / แผ่น จำนวน 3 แผ่น / อัตราส่วนผสม

8. นำชิ้นทดลองไปเคลือบด้วยน้ำเคลือบทดลองที่เหมาะสม น้ำหนักเคลือบ 24 กรัม / แผ่น

9. นำชิ้นทดลองเข้าอบแห้ง และ เข้าเผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส

10. ผลหลังเผานำมาทดสอบคุณสมบัติ การทนต่อการรานตัว การทนต่อการขัดถู การทดต่อสารเคมี

ผลการทดลอง

จากการทดลอง ได้ผลการทดลองแต่ละตอนดังนี้

ผลการทดลองที่ 1

1. ผลการทดลองอัตราส่วนผสมของน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้ง ฟริต หินฟันม้า และทราย จำนวน 81 จุด เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส ผลหลังเผา ตามตาราง 10 ได้ลักษณะเคลือบด้านจำนวน 2 อัตราส่วนผสมคือจุดที่ 22-23 ลักษณะเคลือบด้านมาก จำนวน 33 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 1-3,10-12,19-21,28-30,37-39,46-49,55-58,64-67,73-78 ลักษณะเคลือบกึ่งด้านกึ่งมันมีจำนวน 9 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 4, 6, 31, 51-52, 59-60, 68 ลักษณะเคลือบมันมีจำนวน 37 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 7-9, 13-18, 24-27, 32-36, 40-45, 50, 53-54,61-63,69-72,79-81

2. ผลการทดลองอัตราส่วนผสมน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และ ทราย จำนวน 81 จุด เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส ผลหลังเผาตามตาราง 11 ได้ลักษณะเคลือบด้านมาก มีจำนวน 77 อัตราส่วรผสม คือจุดที่ 1-7, 10-16,19-81 ลักษณะเคลือบกึ่งด้านกึ่งมันมีจำนวน 3 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 8-9,17 ลักษณะเคลือบมันมีจำนวน 1 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 18

3. ผลการทดลองอัตราส่วนผสมน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับ ฟริต หินฟันม้า และทราย จำนวน 81 จุด เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส ผลหลังเผาตาม ตาราง 12 ได้ลักษณะเคลือบด้านมาก 33 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 1-2,10-12,19-20,28-31,37-39, 46-48,55-59,64-69,73-77 ลักษณะเคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน จำนวน 13 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 3-4 13-14,32-40,49-51,70-71,78-79 ลักษณะเคลือบมัน จำนวน 35 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 5-9, 15-17,21-27,33-36,41-45,52-54,60-63,72,80-81 ลักษณะเคลือบด้านไม่มี

4. ผลการทดลอง อัตราส่วนผสมน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย จำนวน 81 จุด เผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส ผลหลังเผาตามตาราง 13 ได้ลักษณะเคลือบด้าน จำนวน 2 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 67, 77 ลักษณะเคลือบด้านมากจำนวน 27 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 1-2,7,10-11,20,28-30,37-40,45-48, 55-57,64-66,73-76 ลักษณะเคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน จำนวน 9 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 3,12,21, 31-33,49-50,58 ลักษณะเคลือบมันจำนวน 43 อัตราส่วนผสม คือ จุดที่ 4-6,8-9,13-19,22-27, 34-36,41-44,51-54,59-63,68-72,78-81

จากนั้นหาความเหมาะสมของอัตราส่วนผสมเคลือบที่ดีที่สุด โดยเคลือบนั้น ต้องมีคุณสมบัติ ผลหลังเผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส โดยแบ่งเป็นเคลือบด้าน เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน และเคลือบมันทั้งนี้เคลือบต้องไม่มีความด้านมาก เคลือบต้อง ไม่มีรูเข็ม ไม่ล่อน ไม่ดึงตัว ไม่มีรอยหลุม ไม่มีรอยพอง เคลือบที่มีความเหมาะสมแต่ละกลุ่มทดลองดังนี้

1. ผลการทดลอง อัตราส่วนผสม น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทรายจำนวน 81 จุด ได้เคลือบที่เหมาะสมคือ จุดที่ 22,5,18,26 รวม 4 จุด/อัตราส่วนผสม

2. ผลการทดลอง อัตราส่วนผสมน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย จำนวน 81 จุด ได้เคลือบที่เหมาะสม คือจุดที่ 17,18 รวม 2 จุด/อัตราส่วนผสม

3. ผลการทดลอง อัตราส่วนน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบฟริต หินฟันม้า และทราย จำนวน 81 จุด ได้เคลือบที่เหมาะสม คือจุดที่ 4, 8, 22 รวม 3 จุด/อัตราส่วนผสม

4. ผลการทดลอง อัตราส่วนน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ และทรายจำนวน 81 จุด ได้เคลือบที่เหมาะสม คือจุดที่ 3,21,15,16,26,43,52 รวม 7 จุด/อัตราส่วนผสม

ผลการทดลองที่ 2

ได้นำอัตราส่วนผสมของเคลือบที่เหมาะสม จากการทดลองจากขั้นตอนที่ 1 มาทำการทดลองในขั้นตอนที่ 2 ซึ่งเป็นการทดสอบคุณสมบัติ การทนต่อการรานตัว การทนต่อการขัดถู และการทนต่อสารเคมี

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบ การทนต่อการรานตัว การทนต่อการขัดถู และการทนต่อสารเคมี โดยอัตราส่วนผสมของเคลือบมันและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย ทำการทดสอบ จำนวน 4 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 22, 5, 18, 26ผลการทดสอบทุกอัตราส่วนผสมผ่านทุกคุณสมบัติ ตามตาราง 14 อัตราส่วนผสมของเคลือบมันและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย ทดสอบจำนวน 2 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 17, 18 ผลการทดสอบทุกอัตราส่วนผสม ผ่านคุณสมบัติ ตามตาราง15 อัตราส่วนผสมของเคลือบด้านและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้าและทราย ทำการทดสอบจำนวน 3 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 4,8,22ผลการทดสอบทุกอัตราส่วนผสม ผ่านทุกคุณสมบัติ ตามตาราง 16 อัตราส่วนผสมของเคลือบด้านและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย ทำการทดสอบจำนวน7 อัตราส่วนผสม คือจุดที่ 3,21 15,16,26,43,52 ผลการทดสอบทุกอัตราส่วนผสม ผ่านทุกคุณสมบัติตามตาราง 17

สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการทดลอง ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอนคือ

ตอนที่ 1 วิเคราะห์ความด้านมันของเคลือบ ได้แก่ ประเภทของเคลือบ ด้านมาก ด้าน กึ่งด้านกึ่งมัน มัน ลักษณะเคลือบหลังเผา สี เกิดรูเข็ม ล่อน ดึงตัว หลุม พอง

ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

1. ผลการวิคราะห์เคลือบที่มีส่วนผสม น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย จากตาราง 10 การวิเคราะห์เคลือบที่เหมาะสม คือจุดที่ 22,5,18,26

2. ผลการวิเคราะห์เคลือบที่มีส่วนผสม น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย จากตาราง 11 การวิเคราะห์เคลือบที่เหมาะสม คือจุดที่ 17,18

3. ผลการวิเคราะห์เคลือบที่มีส่วนผสม น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย จากตาราง 12 การวิเคราะห์เคลือบที่เหมาะสม คือจุดที่ 4,8,22

4. ผลการวิเคราะห์เคลือบที่มีส่วนผสม น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ และทราย จากตาราง 13 การวิเคราะห์เคลือบที่เหมาะสม คือจุดที่ 3,21,15,16,26, 43,52

ตอนที่ 2 วิเคราะห์ผลของการทดสอบชิ้นทดลองจาก ตอนที่ 1 นำมาทดสอบ การทนต่อการราน ด้วยหม้อนึ่งอัดใช้ความดัน 100 กิโลปาสกาล แล้วไม่เห็นการรานตัวของผิวเคลือบ การทนต่อการขัดถู ทดสอบด้วยเครื่องขัดถู Wet Abrasion Test กรรมวิธี P.E.I. Method ผลการทดสอบผ่าน เกณฑ์ตามมาตรฐานกำหนด การทนต่อสารเคมี นำชิ้นทดลองแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริค และด่างโพแทสเซี่ยม ชนิดเจือจางร้อยละ 3 แช่ชิ้นทดลองไว้เป็นเวลา 7 วัน ไม่เห็นรอยสึกของผิวเคลือบ จากการกัดกร่อนของสารเคมี แสดงว่าผ่าน การทดสอบเปรียบเทียบกับเคลือบ มาตราฐาน ของ บริษัท อินดัสเทรียล พลานท์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด ผลการทดลอง ผ่านทุกจุด/อัตราส่วนผสม แสดงผลตามตาราง 14,15,16,17

การอภิปรายผล

จากการทดลองและสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล อภิปรายผลได้ดังนี้

1. น้ำเคลือบที่สูญเสียที่มีส่วนผสมของน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย ที่เหมาะสม 4 จุด คือจุดที่ 22 มีส่วนผสมวัตถุดิบร้อยละ 35:20:15:30 ได้เคลือบด้าน

จุดที่ 5 มีส่วนผสมวัตถุดิบร้อยละ 45:25:5:25 ได้เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน จุดที่ 18 มีส่วนผสมวัตถุดิบร้อยละ 40:45:10:5 ได้เคลือบมัน จุดที่ 26 มีส่วนผสมวัตถุดิบร้อยลั 35:40:15:10 ได้เคลือบมัน จุด 26 มีส่วนผสมวัตถุดิบร้อยละ 35:40:15:10 ได้เคลือบมัน จะเห็นได้ว่าจุดที่ 22 ให้ลักษณะเคลือบด้านเพราะมีอัตราส่วนอะลูมินาสูง ได้แก่ หินฟันม้า และทราย ร้อยละ 15:30 จุดที่ 5 ให้ลักษณะเคลือบกึ่งด้านกึ่งมันมีอัตราส่วนของฟริต ที่ให้ความมัน และทรายที่ให้อะลูมินาสูง เคลือบด้านอัตราส่วนร้อยละ 25:25จุดที่ 18 ให้ลักษณะเคลือบมัน เพราะมีอัตราส่วนผสมของฟริตสูงร้อยละ 45 จุดที่ 26 ให้ลักษณะเคลือบมันมีส่วนประกอบของฟริตและทรายที่ผสมกันให้เคลือบมัน ร้อยละ 40:10

2. น้ำเคลือบที่สูญเสียที่มีส่วนผสมของน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทรายที่เหมาะสม 2 จุด คือจุดที่ 17 ให้ลักษณะเคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน เพราะมีอัตราส่วนผสมเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า ที่ทำให้เคลือบเกิดลักษณะดังกล่าว ร้อยละ40:10 และจุดที่ 18 ให้ลักษณะเคลือบมัน เพราะมีอัตราส่วนผสม เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า ร้อยละ 45:10

3. น้ำเคลือบที่สูญเสียที่มีส่วนผสมของน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย ที่เหมาะสม 3 จุด คือจุดที่ 4 ให้ลักษณะเคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน เพราะมีองค์ประกอบของเคลือบด้านและเอ็นโกบ ถึงร้อยละ 45 และทราย ซึ่งให้อะลูมินา ร้อยละ 30 มีความทนไฟสูง เคลือบจึงมีลักษณะกึ่งด้านกึ่งมัน จุดที่ 8 ให้ลักษณะเคลือบมัน มีส่วนประกอบของฟริต ที่ให้ความมันร้อยละ 40จุดที่ 22 ให้ลักษณะเคลือบมันเพราะมี ฟริต และทราย ซึ่งทำให้เกิดแก้วรวมกันร้อยละ 20:30

4. น้ำเคลือบที่สูญเสียที่มีส่วนผสมของน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทรายที่เมหาะสม 7 จุด จุดที่ 3 ให้ลักษณะเคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน เพราะมีองค์ประกอบหลักของวัตถุดิบที่ให้อะลูมินาซึ่งทนไฟสูง เคลือบด้านและเอ็นโกบ ร้อยละ 45 เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ และหินฟันม้าร้อยละ 15:5 และทรายที่มำให้เกิดแก้วร้อยละ 35 จุดที่ 21 ให้ลักษณะเคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน เช่นเดียวกันมีองค์ประกอบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ และหินฟันม้า ร้อยละ 15:15 องค์ประกอบเคลือบด้านและเอ็นโกบ ร้อยละ 35 มีทรายทำให้เกิดแก้วร้อยละ 35 จุดที่ 15 ให้ลักษระเคลือบมันมีองค์ประกอบของเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ และหินฟันม้า สูงร้อยละ 30: 10 (โกมล รักษ์วงค์ .2538) เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ และหินฟันม้า มีคุณลักษณะใกล้เคียงหลังการเผาจะโปร่งแสง ช่วยลดอุณหภูมิได้ดีเช่นเดียวกับจุดที่ 16,26,43, 52 มีลักษณะเคลือบมัน มีอัตราส่วนผสม เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ และหินฟันม้า 35:10 , 40:15 , 35:25 , 35:30

จากการทดลอง สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง 4 กลุ่ม ได้เคลือบที่เหมาะสม ใช้เคลือบกระเบื้องปูพื้นใหม่ แสดงเป็นอัตราส่วนผสม ดังต่อไปนี้

1. กลุ่มวัตถุดิบที่มีส่วนผสมน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบ ที่สูญเสียผสมกับ ฟริต หินฟันม้า และทราย อัตราส่วนเคลือบที่เหมาะสม คือจุด 22,5,18,26 แสดงตาราง 18

ตาราง 18 อัตราส่วนที่เหมาะสมของเคลือบทดลองที่มีส่วนผสมเคลือบมันและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย

จุดที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (ร้อยละ)				ประเภทเคลือบหลังเผา
	เคลือบมันและเอ็นโกบ	ฟริต	หินฟันม้า	ทราย	
22	35	20	15	30	ด้าน
5	45	25	5	25	กึ่งด้านกึ่งมัน
18	40	45	10	5	มัน
26	35	40	15	10	มัน

2. กลุ่มวัตถุดิบที่มีส่วนผสมน้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่สูญเสียผสมกับ เนฟเฮลีนไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย อัตราส่วนเคลือบที่เหมาะสม คือจุด 17,18 แสดงตาราง 19

ตาราง 19 อัตราส่วนที่เหมาะสมของเคลือบทดลองที่มีส่วนผสมเคลือบมันและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย

จุดที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (ร้อยละ)				ประเภทเคลือบหลังเผา
	เคลือบมันและเอ็นโกบ	เนฟเฮลีนไซเยไนต์	หินฟันม้า	ทราย	
17	40	40	10	10	กึ่งด้านกึ่งมัน
18	40	45	10	5	มัน

3. กลุ่มวัตถุดิบที่มีส่วนผสมน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่สูญเสียผสมกับ ฟริต หินฟันม้า และทราย

ตาราง 20 อัตราส่วนที่เหมาะสมของเคลือบทดลองที่มีส่วนผสมเคลือบด้านและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย แสดงตาราง 20

จุดที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (ร้อยละ)				ประเภทเคลือบหลังเผา
	เคลือบมันและเอ็นโกบ	ฟริต	หินฟันม้า	ทราย	
4	45	20	5	30	กึ่งด้านกึ่งมัน
8	45	40	5	10	มัน
22	35	20	15	30	มัน

4. กลุ่มวัตถุดิบที่มีส่วนผสมน้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบที่สูญเสียผสมกับ เนฟเฮลีนไซเยไนต์ และทราย แสดงตาราง 21

ตาราง 21 อัตราส่วนที่เหมาะสมของเคลือบทดลองที่มีส่วนผสมเคลือบด้านและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย

จุดที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (ร้อยละ)				ประเภทเคลือบหลังเผา
	เคลือบมันและเอ็นโกบ	เนฟเฮลีนไซเยไนต์	หินฟันม้า	ทราย	
3	45	15	5	35	กึ่งด้านกึ่งมัน
21	35	15	15	35	กึ่งด้านกึ่งมัน
15	40	30	10	20	มัน
16	40	35	10	15	มัน
26	35	40	15	10	มัน
43	25	35	25	15	มัน
52	20	35	30	15	มัน

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. การใช้โลหะบางชนิดหรือ Oxide บางตัว ทำให้เกิดสีในเคลือบ
2. ใช้วัตถุดิบตัวอื่น ๆ ที่ไม่ใช้ ฟริต เพราะฟริตมีราคาแพง ทดลองกับอุณหภูมิต่าง ๆ กัน
3. ใช้ทดลองเคลือบกับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

โกมล รักษ์วงศ์. วัตถุดิบที่ใช้ในงานเครื่องปั้นดินเผาและเนื้อดินปั้น. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะอุตสาหกรรมศึกษา วิทยาลัยครูพระนคร , 2531.

_____. น้ำเคลือบ 2. ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะอุตสาหกรรมศึกษา : สถาบันราชภัฏพระนคร, 2538 .

เชียงใหม่ , มหาวิทยาลัย. เซรามิคสำหรับผู้เริ่มงาน . ศูนย์ทรัพยากรเซรามิค และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ , 2530 .

ทวี พรหมพฤกษ์. เครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์ , 2523 .

_____. เตาและการเผา. พิมพ์ครั้งที่ 2. จงเจริญการพิมพ์ , 2525 .

ไทย-เยอรมัน เซรามิค บริษัท. รายงานประจำปี , 2535 .

_____. สรุปภาวะอุตสาหกรรมก่อสร้างและแนวโน้มปี .ม.ป.ท. , 2532 .

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. เคลือบเซรามิค. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์อักษรเจริญทัศน์ , 2530.

_____. เซรามิค. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2532 .

_____. เคลือบเซรามิค. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2539 .

ไพจิตร อังศิริวัฒน์. รวมสูตรเคลือบเซรามิค. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ , 2537 .

สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช , 2531.

_____. น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา. กรุงเทพ ฯ : ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา วิทยาลัยครูพระนคร, 2534 .

สระบุรี , จังหวัด. ข้อมูลการตลาดจังหวัดสระบุรี. ม.ป.ท. , 2537.

อุตสาหกรรม , กระทรวง. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น. มอก. 37-2529 .

_____. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น. มอก. 38-2529 .

_____. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น. มอก. 613-2529 .

_____. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น. มอก. 614-2529 .

Culien W.Parmelee. Ceramic Glazes. Illinois Industrial , 1875-1947.

_____. Ceramic Glazes 2 nd. Illinois Industrial , 1951.

European , Standard. EN. 154

Singer , Felix and Sonja S. Singer Industrial Ceramics. London : Chapman and Hall , 1963.

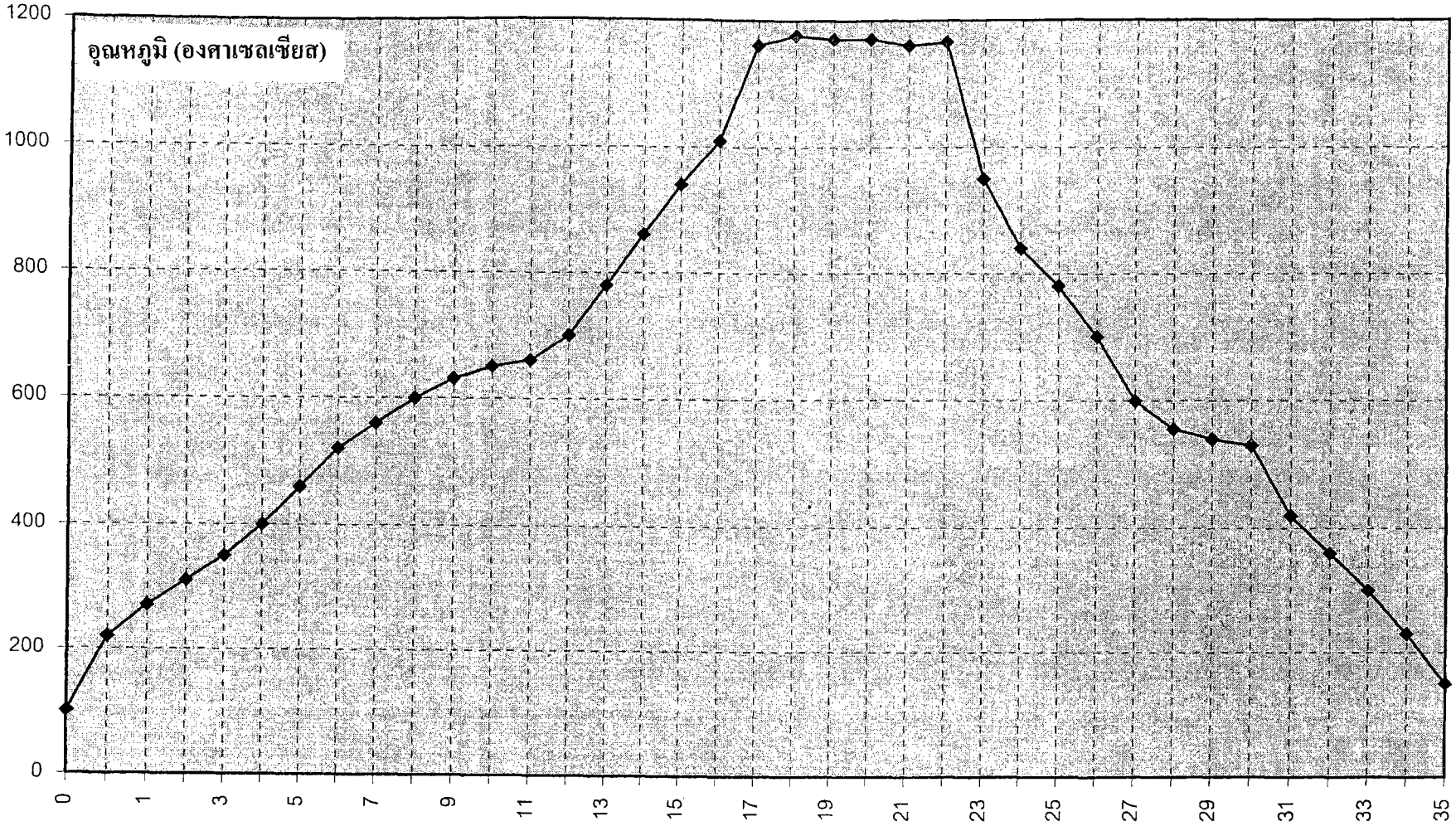
Kenny , John B. The Complete of Potting Making . New York : Chilton Book Company , 1949.

Rhodes , Daniel. Clay and Glazes for the Potter. London : Pitman Publishing. Company , 1973.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

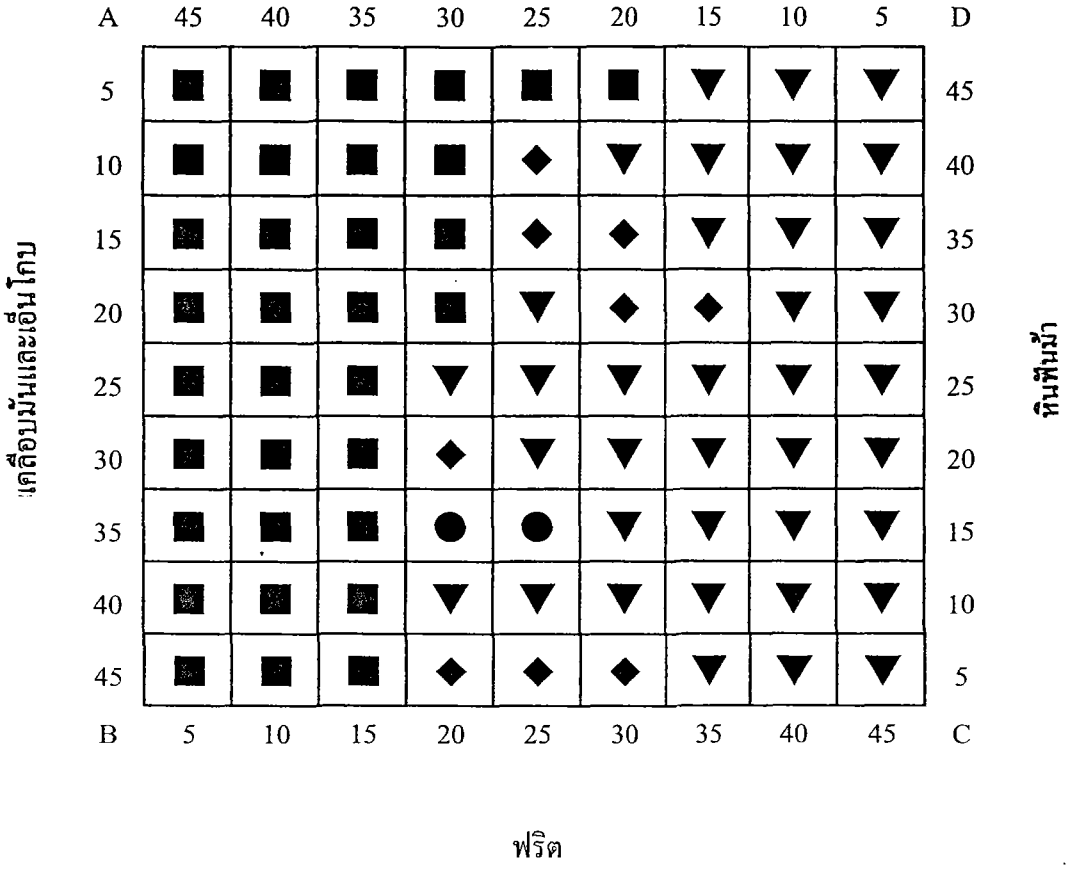
- กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการ เผาชิ้นทดลอง 1170 องศาเซลเซียส
- เตาลูกกลิ้งที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงเผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส
- แสดงลักษณะเคลือบจุดต่าง ๆ ในตารางสี่เหลี่ยมจตุรัส
- ชิ้นทดลองตอนที่ 1 (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45.5 มิลลิเมตรหนา 6.0 มิลลิเมตร)
- ชิ้นทดลองตอนที่ 2 (ขนาดสี่เหลี่ยมจตุรัส 200 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร)



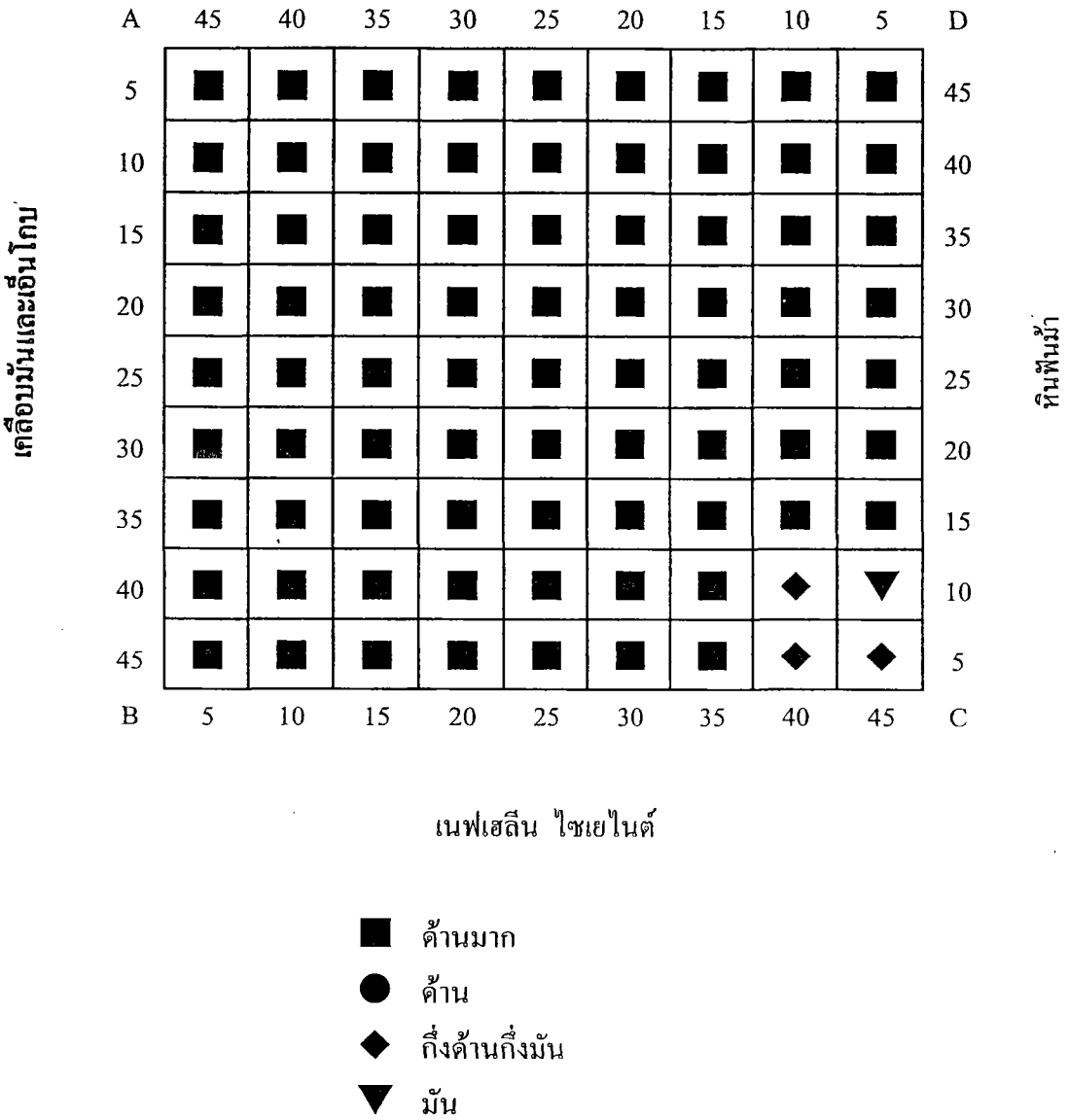
ภาพประกอบ 24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาชิ้นทดลอง 1170 องศาเซลเซียส

ภาพประกอบ 25 เตาลูกกลิ้ง (Roller Kiln) ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงเผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส

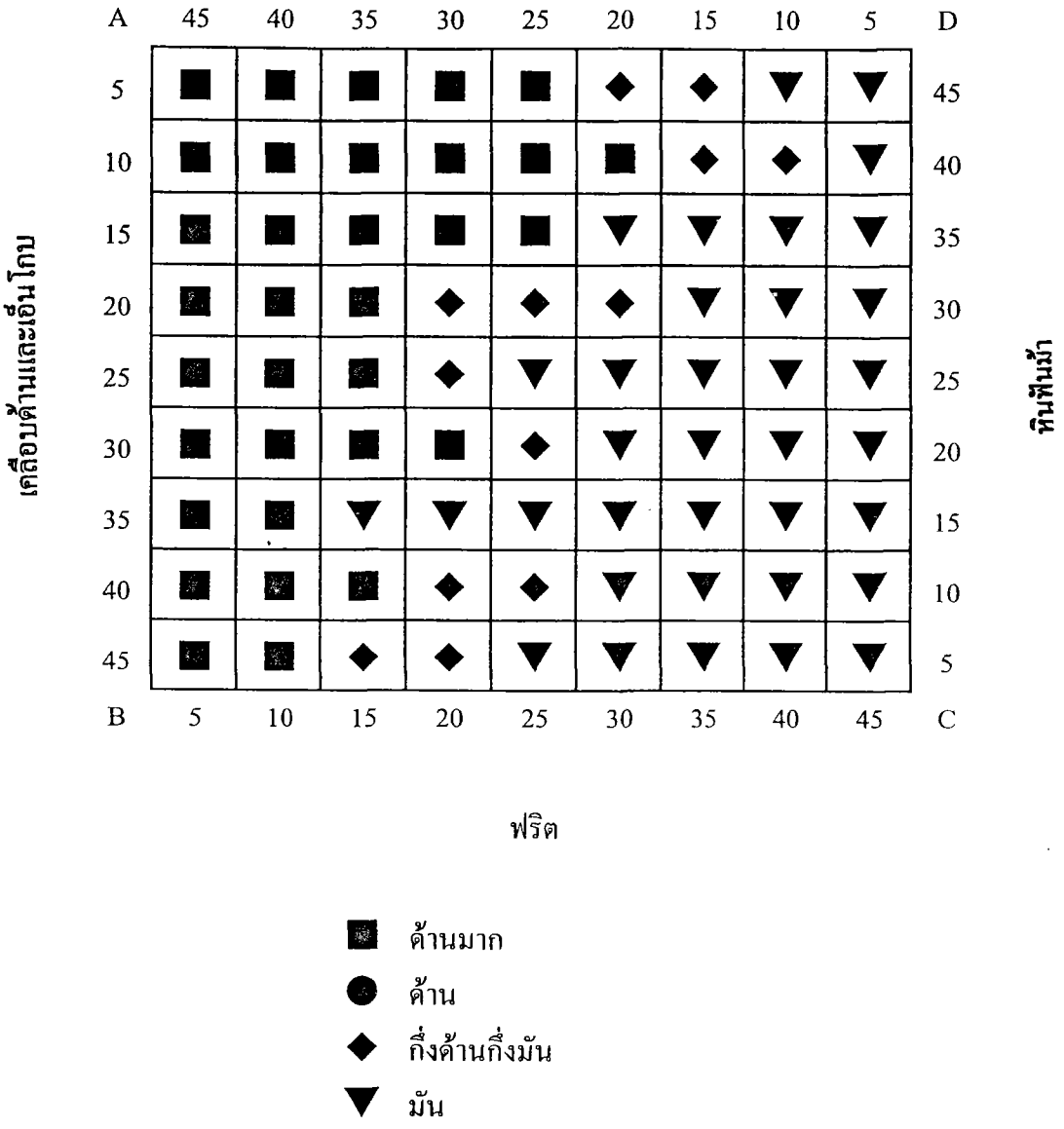
ทราย



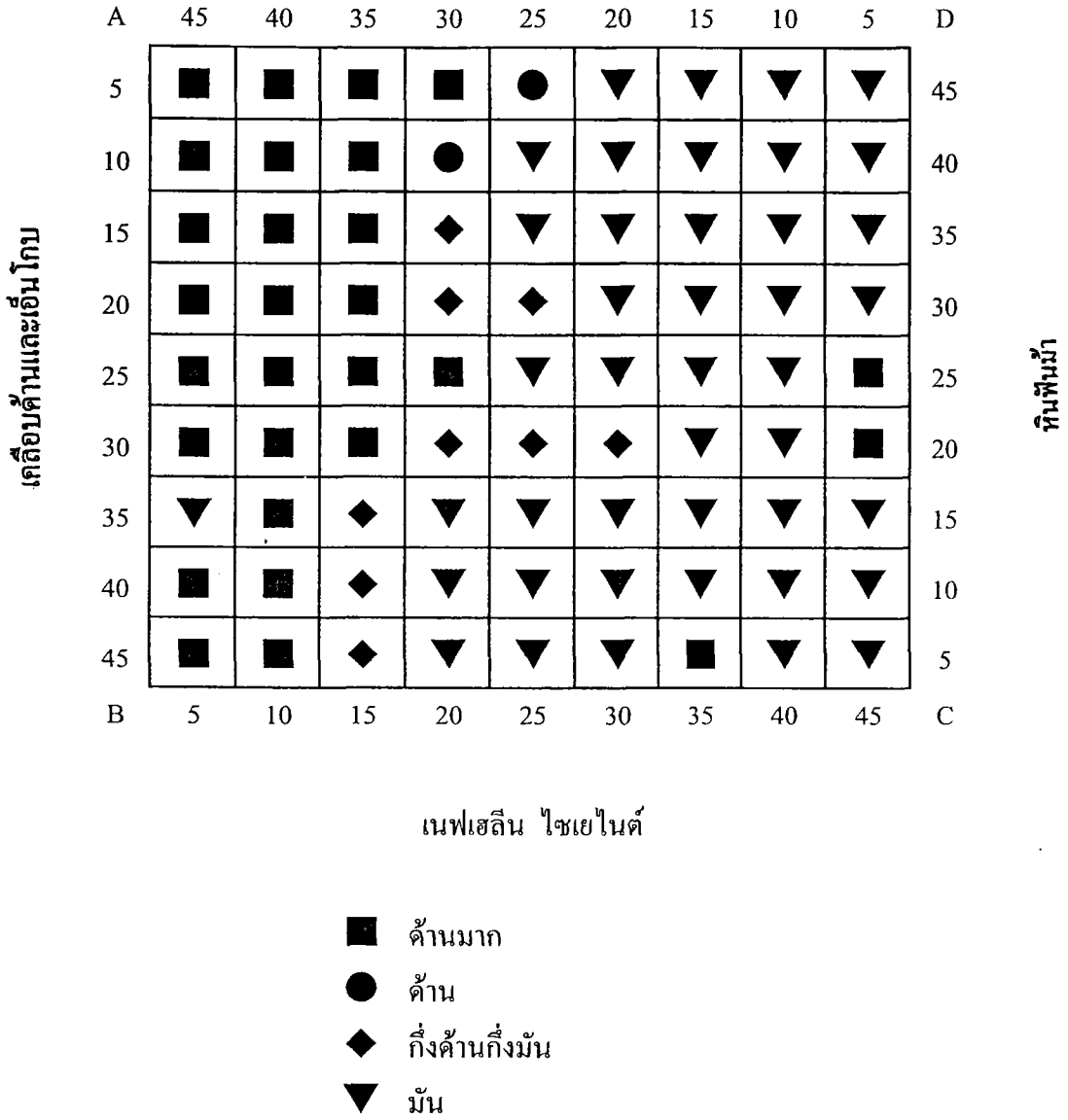
ภาพประกอบ 26 แสดงลักษณะเคลือบจุดต่างๆ ในตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสที่มีส่วนผสมเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย จำนวน 81 จุด



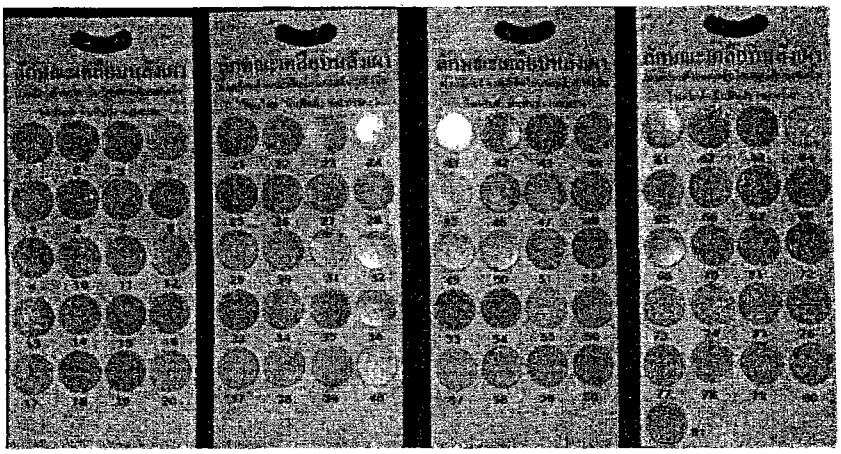
ภาพประกอบ 27 แสดงลักษณะเคลือบจุดต่างๆ ในตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสที่มีส่วนผสมเคลือบมันและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย จำนวน 81 จุด



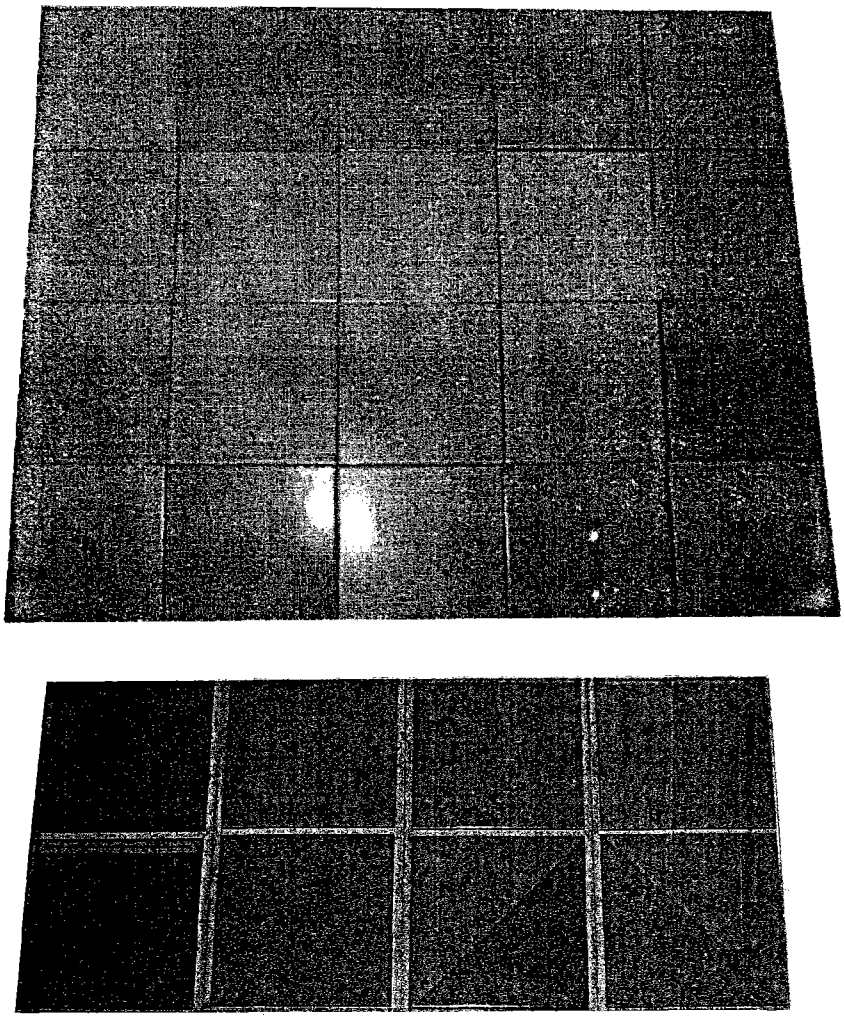
ภาพประกอบ 28 แสดงลักษณะเคลือบจุดต่างๆ ในตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสที่มีส่วนผสมเคลือบด้านและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย จำนวน 81 จุด



ภาพประกอบ 29 แสดงลักษณะเคลือบจุดต่างๆ ในตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสที่มีส่วนผสมเคลือบด้านและเอ็นโกบที่อบแห้งผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย จำนวน 81 จุด



ภาพประกอบ 30 ชิ้นทดลองตอนที่ 1 (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45.5 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร)



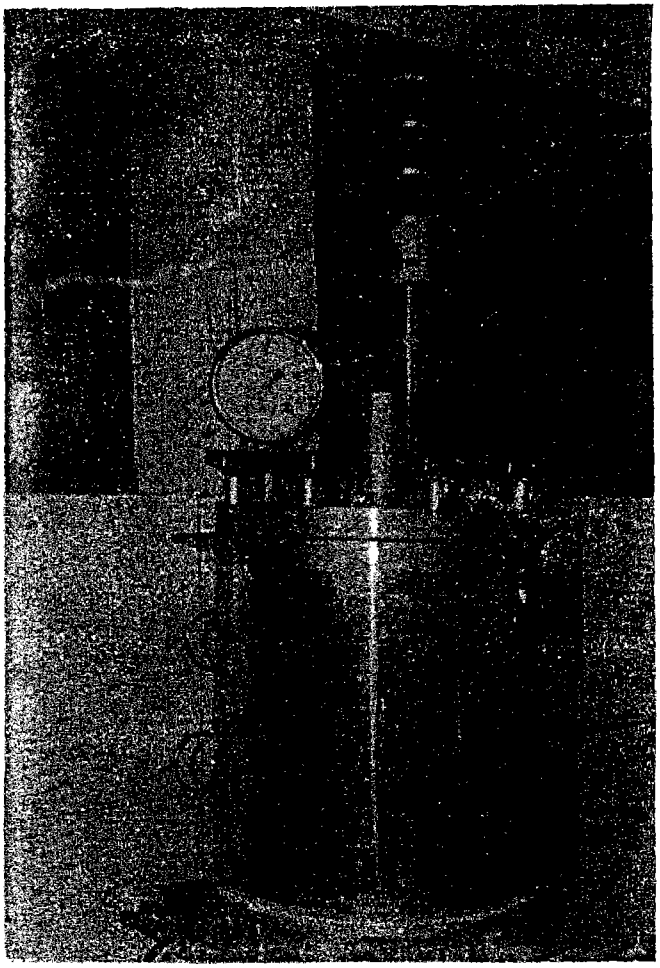
ภาพประกอบ 31 ชิ้นทดลองตอนที่ 2 (ขนาดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 200 มิลลิเมตร หนา 6.0 มิลลิเมตร)

ภาคผนวก ข

การทดสอบการรานตัวและตารางการรายงานผล

การทดสอบการขัดถูและตารางการรายงานผล

การทดสอบการทนต่อสารเคมีและตารางการรายงานผล



ภาพประกอบ 32 การทดสอบการรานตัวด้วยหม้อนึ่งอัด (Autoclave)

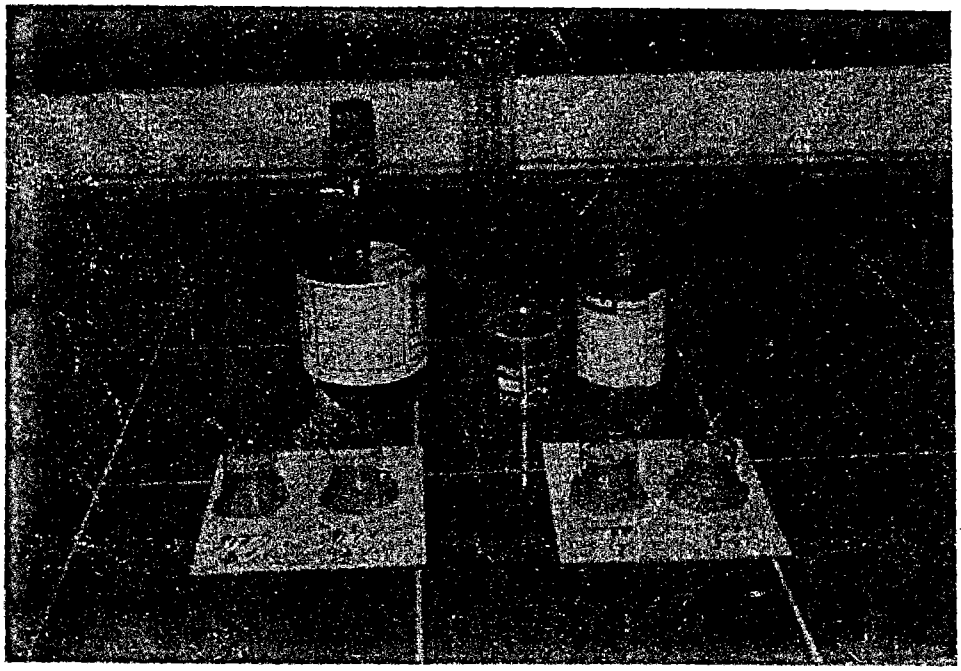
ตาราง 22 รายงานผลการทดสอบการรานตัว ทดสอบด้วยหม้อนึ่งอัด

อัตราส่วนผสมวัตถุดิบ	จุดที่	ผลการทดสอบ	
		ไม่รานตัว	รานตัว
เคลือบมันและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย	22	✓	
	5	✓	
	18	✓	
	26	✓	
เคลือบมันและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย	17	✓	
	18	✓	
เคลือบด้านและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย	4	✓	
	8	✓	
	22	✓	
เคลือบด้านและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย	3	✓	
	21	✓	
	15	✓	
	16	✓	
	26	✓	
	43	✓	
	52 26	✓	

ภาพประกอบ 33 การทดสอบการทนต่อการขัดถู (Wet Abrasion Test) ตามวิธี P.E.I. Method

ตาราง 23 รายงานผลการทดสอบการขัดถู ด้วยเครื่อง Wet Abrasion Test

อัตราส่วนผสมวัตถุดิบ	จุดที่	กลุ่ม/จำนวนรอบที่ขัด								
		กลุ่ม	กลุ่ม2			กลุ่ม3				กลุ่ม4
		150	300	450	600	750	900	1200	1500	>1500
เคลือบมันและเอ็นโกบ ฟริต	22			✓						
หินฟันม้า และทราย	5		✓							
	18		✓							
	26		✓							
เคลือบมันและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน	17			✓						
ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย	18			✓						
เคลือบด้านและเอ็นโกบ ฟริต	4			✓						
หินฟันม้า และทราย	8			✓						
	22			✓						
เคลือบด้านและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน	3			✓						
ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย	21			✓						
	15		✓							
	16		✓							
	26		✓							
	43		✓							
	52		✓							



ภาพประกอบ 34 การทดสอบการทนต่อสารเคมี (Chemical Test)

ตาราง 24 รายงานผลการทดสอบการทนต่อสารเคมี

อัตราส่วนผสมวัตถุดิบ	จุดที่	ผลการทดสอบการทนต่อสารเคมี			
		กรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 3 แช่ไว้ 7 วัน		ด่างโพแทสเซียม ร้อยละ 3 แช่ไว้ 7วัน	
		เห็น	ไม่เห็น	เห็น	ไม่เห็น
เคลือบมันและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย	22		✓		✓
	5		✓		✓
	18		✓		✓
	26		✓		✓
เคลือบมันและเอ็นโกบ เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย	17		✓		✓
	18		✓		✓
เคลือบด้านและเอ็นโกบ ฟริต หินฟันม้า และทราย	4		✓		✓
	8		✓		✓
	22		✓		✓
เคลือบด้านและเอ็นโกบ เนฟเฮลี ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย	3		✓		✓
	21		✓		✓
	15		✓		✓
	16		✓		✓
	26		✓		✓
	43		✓		✓
	52		✓		✓

ภาคผนวก ค

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ / ชื่อสกุล นายธานินทร์ พุทธรัตน์

วันเดือน/ปีเกิด วันที่ 6 เดือน พฤศจิกายน 2500

สถานที่เกิด บ้านเลขที่ 57/1 หมู่ที่ 1 ต.แปลงยาว อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทรา

สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 63/32 หมู่ที่ 1 ต.ไผ่ต่ำ อ.หนองแค จ.สระบุรี 18140

สถานที่ทำงานปัจจุบัน บริษัท อินดัสเทรียล พลานท์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด
ในเครือ บริษัท ไทย-เยอรมัน เซรามิค อินดัสทรี่ จำกัด (มหาชน)
12 หมู่ที่ 2 นิคมอุตสาหกรรมหนองแค ถนนพหลโยธิน กม.92
ต.หนองไข่น้ำ อ.หนองแค จ.สระบุรี 18230

ตำแหน่งงาน ผู้จัดการส่วนผลิต

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2521	จบมัธยมศึกษาตอนปลาย (มศ.5) จากโรงเรียน เสริมปัญญาเยาวชน อ.บางคล้า จ.ฉะเชิงเทรา
พ.ศ.2529	จบครุศาสตร์บัณฑิต สาขาเครื่องปั้นดินเผา จาก วิทยาลัยครูพระนคร กรุงเทพมหานคร
พ.ศ.2542	จบการศึกษามหาบัณฑิต สาขาอุตสาหกรรมศึกษา จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร กรุงเทพมหานคร

การนำน้ำเคลือบกระเบื้องดินเผาประเภทปูพื้นที่สูญเสียในกระบวนการผลิตมาใช้เคลือบกระเบื้องดินเผาประเภทปูพื้นใหม่

บทคัดย่อ

ของ

ธานินทร์ พุทธรัตน์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา

พฤษภาคม 2542

การวิจัยมีจุดมุ่งหมาย เพื่อศึกษาการนำน้ำเคลือบกระเบื้องดินเผาประเภทปูพื้นที่สูญเสียในกระบวนการผลิตมาใช้ทำน้ำเคลือบใหม่สำหรับเคลือบกระเบื้องปูพื้นจากวัตถุดิบที่มีส่วนผสมของน้ำเคลือบและเอ็นโกบที่สูญเสียในกระบวนการผลิตมาผสมกับ ฟริต เนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย โดยใช้ตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสสุ่มตัวอย่างในการหาอัตราส่วนผสมในการทดลองเผาที่อุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส เผาในเตาอุโมงค์ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง การวิจัยใช้มาตรฐานของ บริษัท อินดัสเทรียล พลานท์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด จากผลการวิจัยพบว่า

1. การสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสจำนวน 81 จุด โดยใช้น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบที่สูญเสียจากการผลิตผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย น้ำเคลือบที่สามารถนำมาใช้ได้ดีที่สุดคือ เคลือบด้านจุดที่ 22 เคลือบกึ่งด้านกึ่งมันจุดที่ 5 เคลือบมันจุดที่ 18 และ 26

2. การสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสจำนวน 81 จุด โดยใช้น้ำเคลือบมันและเอ็นโกบผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย น้ำเคลือบที่สามารถนำมาใช้ได้ดีที่สุดคือ เคลือบด้านจุดที่ 18 และเคลือบกึ่งด้านกึ่งมันจุดที่ 17

3. การสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสจำนวน 81 จุด โดยใช้น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบผสมกับฟริต หินฟันม้า และทราย น้ำเคลือบที่ใช้งานได้ดีคือ เคลือบกึ่งด้านกึ่งมันจุดที่ 4 เคลือบมันจุดที่ 8 และ 22

4. การสุ่มตัวอย่างบนตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสจำนวน 81 จุด โดยใช้น้ำเคลือบด้านและเอ็นโกบผสมกับเนฟเฮลีน ไซเยไนต์ หินฟันม้า และทราย น้ำเคลือบที่ใช้งานได้ดีคือ เคลือบกึ่งด้านกึ่งมันจุดที่ 3 และ 21 และเคลือบมันจุดที่ 15,16,26,43 และ 52

REUSE OF GLAZED WASTE FROM PRODUCTION PROCESS FOR MAKE FLOOR TILE GLAZES

AN ABSTRACT

BY

TANIN PHUTTHARAT

Presented in partial fulfillment of the requirements for the

Master of Education degree in Industrial Education

at Srinakharinwirot University

May 1999

The purpose of this research was to find appropriate mixtures of floor tile glazed waste from production process for making reused glaze for floor tile and compare with Industrial Plant Development Co., Ltd., The rawmaterials were used glossy glaze and engobe, matt glaze and engobe waste from production process, frit, nephelene syenite, feldspar, and silica sand. The experiment purpose sampling recipies by square table, firing at 1170 cencious in the tunnel gas kiln.

The Results Were :

1. By the square table sampling method 81 samples of glaze. The rawmaterials are glossy glaze and engobe, frit, feldspar, and silica sand. The study showed that the good floor tile glaze , matt glaze is point 22, semi-matt glaze is point 5, and glossy glazes are point 18 and 26.

2. By the square table sampling method 81 samples of glazes. The rawmaterials are glossy glaze and engobe, nephelene syenite, feldspar, and silica sand. The study showed that the good floor tile glazes, matt glaze is point 18 and semi-matt glaze point 17.

3. By the square table sampling method 81 samples of glazes. The rawmaterials are matt glaze and engobe, frit, feldspare, and silica sand. The study showed that the good floor tile glazes, semi-matt is point 4, glossy glaze are point 8 and 22.

4. By the square table sampling method 81 samples of glazes. The rawmaterials are matt glaze and engobe, nephelene syenite, feldspar, and silica sand. The study showed that the good floor tile glazes, semi-matt glaze are point 3 and 21, glossy glaze are point 15,16,26,43 and 52