

ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิชา 010213227 โครงการวิศวกรรมการผลิต 1 ปีการศึกษา2562

รายงานการศึกษาความเป็นไปได้ในการทำโครงการ

รหัสกลุ่ม APE3

ชื่อโครงการ หมึกพิมพ์เซรามิกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากวัสดุธรรมชาติ

Eco-friendly ceramic paint from natural materials

นักศึกษา 1) นายปริญญา นิชะ รหัส 5901021621059

2) นางสาวจันทกานต์ ทองรอด รหัส 5901021630040

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อุบลรัตน์ หวังรักษ์ดีสกุล

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

.....

(.....)

รับรองรายงาน ณ วันที่/...../.....

1. ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

สีเขียนกระเบื้องเซรามิกเป็นการให้สีสันทันสำหรับการตกแต่งในอุตสาหกรรมเซรามิก วัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตสีเซรามิกก็คือออกไซด์ของพวกโลหะต่างๆที่ให้สีนั่นเอง นอกจากนั้นก็จะมี ตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) สังกะสีออกไซด์ (ZnO) และอื่น ๆ เมื่อสูดดมระยะเวลาในปริมาณมากหรือสัมผัสโดยตรงอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งาน

ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสีเขียนกระเบื้องเซรามิกเพื่อให้ผู้ผลิตขนาดกลางและขนาดย่อมสามารถผลิตสีไว้ใช้เองในโรงงานได้โดยไม่ต้องซื้อจากผู้จำหน่ายหรือนำเข้าจากต่างประเทศ โดยใช้วัตถุดิบจากดินท้องถิ่น คือ

- ดินดำปราจีน
- ดินขาวโคกไม้ลาย
- ดินลูกรัง
- เศษแก้วใส

ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับดินท้องถิ่น เศษแก้วใสและผลิตภัณฑ์กระเบื้องเซรามิก ยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย



ภาพที่ 1 กระเบื้องดินเผาที่มีการลงสีเขียน

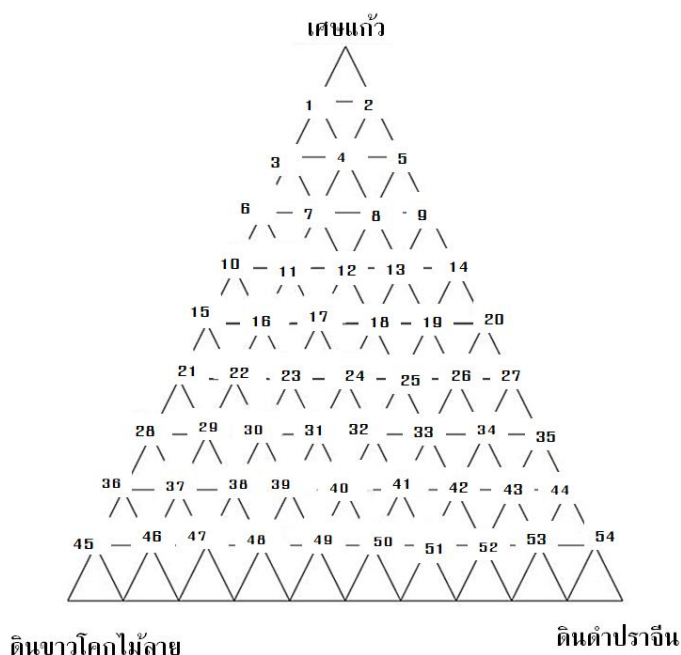
(ที่มา: ห้องปฏิบัติการเซรามิก ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2562)

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

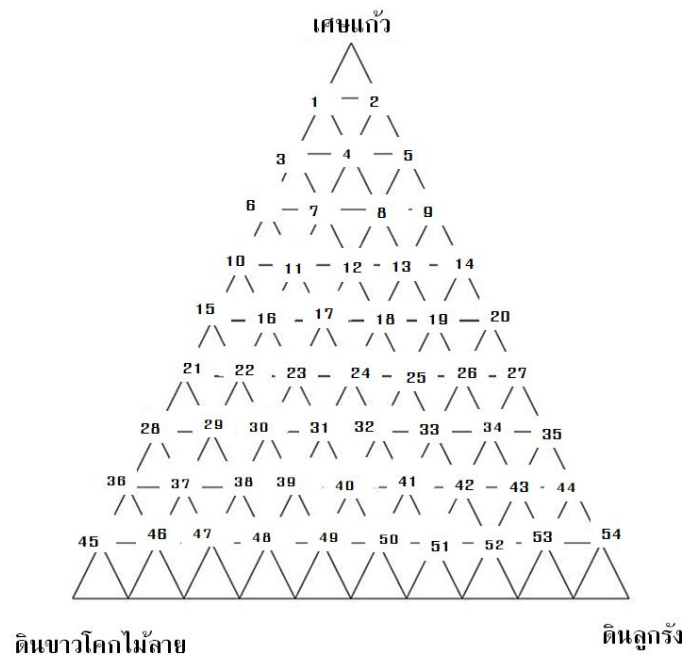
- 2.1 เพื่อพัฒนาสีเขียวกระเบื้องเซรามิกจากดินท้องถิ่นและเศษแก้วใส
- 2.2 ลดการใช้สารเคมีในการผลิตสีเขียวกระเบื้องเซรามิก
- 2.3 เพื่อพัฒนากระเบื้องเซรามิกเคลือบสีด้วยวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

3. ขอบเขตของโครงการ

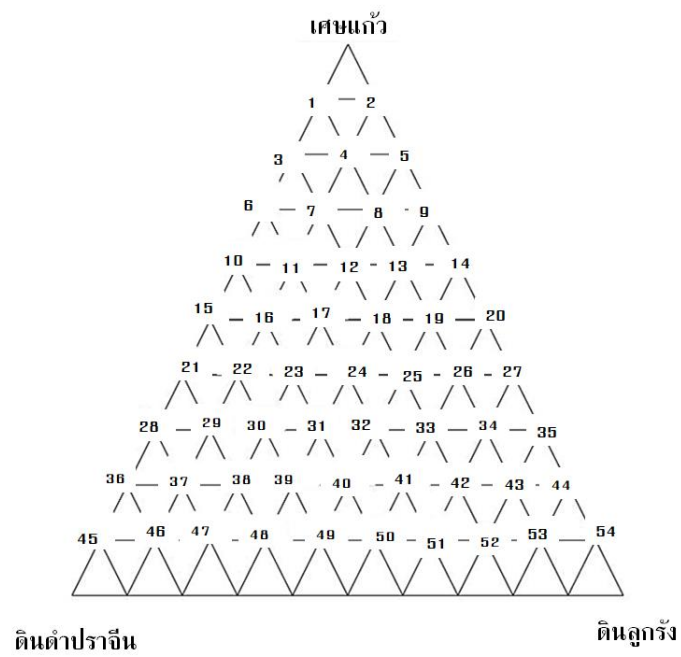
- 3.1 กำหนดสูตรและส่วนผสมของวัตถุดิบทั้งหมด 162 สูตร โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ดังต่อไปนี้
 - 3.1.1 ดินดำปราจีนไม่เกิน 90% เศษแก้วใสไม่เกิน 90% และดินขาวโคกไม้ลายไม่เกิน 90% จำนวน 54 สูตร ตามแผนภาพสามแกน ดังภาพที่ 2-1
 - 3.1.2 ดินดินขาวโคกไม้ลายไม่เกิน 90% เศษแก้วใสไม่เกิน 90% และดินลูกรังไม่เกิน 90% จำนวน 54 สูตร ตามแผนภาพสามแกน ดังภาพที่ 2-2
 - 3.1.3 ดินดำปราจีนไม่เกิน 90% เศษแก้วใสไม่เกิน 90% และดินลูกรังไม่เกิน 90% จำนวน 54 สูตร ตามแผนภาพสามแกน ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-1 แผนภาพสามแกน ประกอบด้วยดินขาวโคกไม้ลาย เศษแก้วใสและดินดำปราจีน



ภาพที่ 2-2 แผนภาพสามแกน ประกอบด้วยดินขาวโคกไม้ลาย เศษแก้วใสและดินลูกรัง



ภาพที่ 2-3 แผนภาพสามแกน ประกอบด้วยดินดำปราจีน เศษแก้วใสและดินลูกรัง

3.2 วัตถุดิบบดผ่านตะแกรงร้อนที่ความละเอียด 325 เมช (44 ไมครอน) และใช้น้ำมันเพนท (Medium oil)

3.3 อุณหภูมิในการเผาสีเขียนกระเบื้องเซรามิกโดยใช้อุณหภูมิในการเผา 2 อุณหภูมิ คือ 950 °C และ 1,050 °C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 100 °C/hr. และคงอุณหภูมิสูงสุดของการเผาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.4 การทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงาน โดยการทดสอบประกอบด้วย

3.4.1 การวัดเนื้อสีของสีเขียนเซรามิก

3.4.2 ตรวจสอบความมันเงาของสีเขียนเซรามิก

3.4.3 วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคโดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope, SEM

3.4.4 และวิเคราะห์โครงสร้างผลึกโดยวิธี X-Ray Diffract meter, XRD

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 สามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่เศษแก้วใสและดินท้องถิ่น

4.2 สามารถเพิ่มช่องทางด้านการตลาดของภาคอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกให้กับผู้ผลิต

4.3 ผลิตภัณฑ์กระเบื้องที่มีลวดลายรูปแบบใหม่ ที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่มลูกค้าที่มีความสนใจในกระเบื้องที่มีสีสัน

5. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

5.1 ดินลูกรัง

ดินลูกรังเกิดจากการผุพังของหินในสภาพภูมิอากาศชื้นและมีอุณหภูมิสูง มีคุณสมบัติเฉพาะตัวคือสามารถแข็งตัวได้เมื่อตั้งทิ้งไว้ในอากาศ มีสีของออกไซด์ คือ สีน้ำตาลหรือสีแดงหรือสีน้ำตาลแดง คุณสมบัติของลูกรังจะขึ้นอยู่กับชนิดของต้นกำเนิด ชนิดของหินเดิม ส่วนประกอบทางเคมีและสภาพภูมิอากาศ จัดอยู่ในกลุ่มดิน Skeletal soil หรือดินต้นเป็นดินที่มีชั้นศิลาแลง ดินลูกรังเมื่อนำมาบดอัดจะสามารถรับแรงเฉือนได้สูงขึ้นและมักนิยมใช้เป็นวัสดุก่อสร้างในงานวิศวกรรม เพราะมีราคาถูกและหาง่ายในธรรมชาติ [1]



ภาพที่ 3 ดินลูกรัง

(ที่มา: ห้องปฏิบัติการเซรามิก ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2562)

5.2 ดินดำปราจีน

ดินดำปราจีนหรือดินเหนียวปากพลี จังหวัดปราจีนบุรี เป็นดิน Ball clay มีลักษณะเป็นผงสีดำมีธาตุสำคัญ คือซิลิคอนและอะลูมิเนียม สีดำในดินดำเป็นสารคาร์บอนในดินที่สามารถเผาไหม้หายไปที่อุณหภูมิสูงกว่า 540 °C หลังผ่านการเผาดินจะมีสีขาวหรือมีสีซีดจางลง และมีความแข็งแรง จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ผสมทำเครื่องปั้นดินเผาชนิดสีขาว แต่นิยมใช้ผสมทำกระเบื้องและอิฐทนไฟ ทำหน้าที่เป็นตัวเกาะยึด มีแหล่งสะสมในที่ลุ่ม มีเม็ดละเอียด มีอินทรีย์สารเจือปน มีความเหนียว ให้ความแข็งแรงต่อผลิตภัณฑ์เมื่อยังไม่เผา [5]



รูปที่ 4 ดินดำปราจีน

(ที่มา: ห้องปฏิบัติการเซรามิก มจพ, 2562)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพโดยใช้เทคนิค (XRF Standardless method) ที่พบในดินดำปราจีน

Compound	Concentration (%)
SiO ₂	66.71
Al ₂ O ₃	24.65
Fe ₂ O ₃	3.89
K ₂ O	1.85
MgO	0.94
TiO ₂	0.86
SO ₃	0.55
Na ₂ O	0.20
CaO	0.09
BaO	0.07
P ₂ O ₅	0.09
ZrO ₂	0.03
MnO	0.02
V ₂ O ₅	0.02
Cr ₂ O ₃	0.01
ZnO	0.01
Rb ₂ O	0.01
SrO	0.01
NiO	0.01

(ที่มา: วิเคราะห์โดยศูนย์บริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) , 2560)

5.3 ดินขาวโคกไม้ลาย

ดินขาวโคกไม้ลายเป็นแหล่งดินที่กำเนิดในลักษณะทุติยภูมิ พบเกิดอยู่ในท้องนา ความหนาบางของชั้นดินไม่สม่ำเสมอ มีลักษณะขาวเหนียว มีความละเอียดและมีสีขาวไม่จัด จากผลการวิเคราะห์ทางเอกซเรย์พบว่าดินขาวโคกไม้ลาย ประกอบด้วยเดโอลินต์ และควอตซ์ คุณภาพของดินขาวโคกไม้ลายเป็นดินที่ล้างแล้วมีความละเอียดและความเหนียวมากเป็นพิเศษ ในการใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรม ดินขาวแห่งนี้เหมาะที่จะใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ และเครื่องปั้นถ้วยชาม สุขภัณฑ์ เป็นต้น [6]



รูปที่ 5 ดินขาวโคกไม้ลาย

(ที่มา: ห้องปฏิบัติการเซรามิก ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2562)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพโดยใช้เทคนิค (XRF Standardless method) ที่พบในดินขาวโคกไม้ลาย

Compound	Concentration (%)
SiO ₂	58.38
Al ₂ O ₃	37.87
Fe ₂ O ₃	2.11
TiO ₂	1.06
K ₂ O	0.19
MgO	0.13
SO ₃	0.09
ZrO ₂	0.06
P ₂ O ₅	0.06
CaO	0.04
Cr ₂ O ₃	0.01
NiO	0.01

(ที่มา: วิเคราะห์โดยศูนย์บริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) , 2560)

5.4 ดินอ่างทอง

ดินอ่างทองเป็นดินที่มีธาตุเหล็กสูง เมื่อนำมาเผาจะได้สีน้ำตาลอมส้ม พบได้ที่จังหวัดอ่างทอง ดินอ่างทองเกิดจากอิทธิพลของตะกอนน้ำกร่อย บริเวณที่ลุ่มและพื้นที่ที่น้ำทะเลเคยท่วมถึง ส่วนเนื้อดินเป็นดินเหนียวแต่มีความเป็นกรดสูง สามารถเก็บกักน้ำได้นานแต่ต้องปรับปรุงสภาพดินเสียก่อน พบทางใต้ของอำเภอป่าโมก เป็นจังหวัดที่ใช้ประโยชน์จากดินท้องถิ่นในการทำอิฐดินเผาเป็นจำนวนมาก โดยองค์ประกอบหลักของดินอ่างทองคือ SiO_2 และ Al_2O_3 ซึ่งวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบของธาตุเหล่านี้ จะทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรง [2]



รูปที่ 6 ดินอ่างทอง

(ที่มา: ห้องปฏิบัติการเซรามิก ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2562)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพโดยใช้เทคนิค (XRF Standardless method) ที่พบในดินอ่างทอง

Compound	Concentration (%)
SiO_2	64.95
Al_2O_3	21.95
Fe_2O_3	6.45
K_2O	2.46
MgO	1.43
TiO_2	0.99
CaO	0.59
Na_2O	0.41
MnO	0.13
BaO	0.12

Compound	Concentration (%)
SO ₃	0.23
P ₂ O ₅	0.17
Cl	0.02
Rb ₂ O	0.02
Cr ₂ O ₃	0.02
ZrO ₂	0.02
NiO	0.01
CuO	0.01
ZnO	0.01
SrO	0.01

(ที่มา: วิเคราะห์โดยศูนย์บริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) , 2560)

5.5 เศษแก้วใส

แก้ว หมายถึงสารประกอบซับซ้อนของอะลูมิเนียมซิลิเกตกับอัลคาไลต่าง ๆ ซึ่งเป็นของแข็ง มีจุดหลอมตัวสูง ขณะเป็นของเหลวมีความหนืดสูง จึงมีช่วงการเย็นตัวยาวนาน คุณสมบัตินี้เป็นข้อดี ที่ทำให้การแปรรูปร่างผลิตภัณฑ์แก้วได้สะดวกขึ้น แก้วถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายอย่าง เนื่องจากแก้วมีสมบัติที่ดีหลายประการ ทั้งมีความโปร่งใส ใส่น้ำและแก๊สซึมผ่านได้ยาก ช่วยลดอุณหภูมิการสุกตัวของผลิตภัณฑ์เซรามิก แข็งแรงแต่แตกง่าย แก้วทำจากทรายแก้วหรือซิลิกา โซเดียมออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ การนำแก้วกลับมาใช้ประโยชน์ทั้งการแปรรูปใช้ใหม่หรือใช้ซ้ำ ลดการใช้ทรัพยากรและประหยัดต้นทุนในการนำของเสียไปกำจัด [7]



ภาพที่ 7 เศษแก้วใส

(ที่มา: ห้องปฏิบัติการเซรามิก ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2562)

ตารางที่ 4 องค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพโดยใช้เทคนิค (XRF Standardless method) ที่พบในเศษแก้วใส

Compound	Concentration (%)
SiO ₂	71.08
Na ₂ O	14.11
CaO	10.11
MgO	2.48
Al ₂ O ₃	1.69
K ₂ O	0.18
Fe ₂ O ₃	0.12
SO ₃	0.12
TiO ₂	0.06
Cl	0.03
ZrO ₂	0.02
SrO	0.01

(ที่มา: วิเคราะห์โดยศูนย์บริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) , 2561)

5.6 น้ำมันเพ้นท์ (Medium oil)

น้ำมันเพ้นท์ (Medium oil) ใช้สำหรับผสมสีบนเคลือบ ยึดสี ช่วยไม่ให้สีบางเกินไป และช่วยให้ชั้นสีมีความยืดหยุ่น น้ำมันผสมมี 4 ชนิด สามชนิดใช้สำหรับผสมสีน้ำมันทั้งสีน้ำมันแอลคิ๊ดและสีน้ำมันแท่ง และสีผสมสำหรับสีน้ำมันผสมน้ำ [13]

5.7 สีของดิน

สีของดินเป็นสมบัติทางกายภาพที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ตามปกติอนุภาคแร่ในดินมักไม่มีสีหรือมักมีสีจาง ยกเว้นแร่สีเข้มบางชนิด สีดินจึงมักจะเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อมและองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ปริมาณของอินทรีย์วัตถุและออกไซด์ของเหล็ก เช่นหากดินมีฮิวมัส (Humus) มาก ดินจะมีสีดำหรือสีน้ำตาลเข้ม ถ้าดินมีออกไซด์ของเหล็กเคลือบผิวอนุภาคมาก ดินจะมีสีแดงหรือสีเหลือง ถ้าในขบวนการกำเนิดดินทำให้มีการสะสมของแคลเซียมหรือแมกนีเซียมคาร์บอเนตมาก ดินจะมีสีขาว เป็นต้น สีของดินขึ้นอยู่กับสภาวะบางประการของดินเช่น สภาวะน้ำขัง จะทำให้ดินมีสีเทาหรือสีน้ำเงิน สภาวะระบายน้ำได้ดี ดินจะมีสีแดงหรือสีเหลือง แต่เมื่อเป็นสภาวะน้ำขังและสภาวะน้ำระบายได้ดีเกิดขึ้นสลับกันเสมอ ดินจะมี

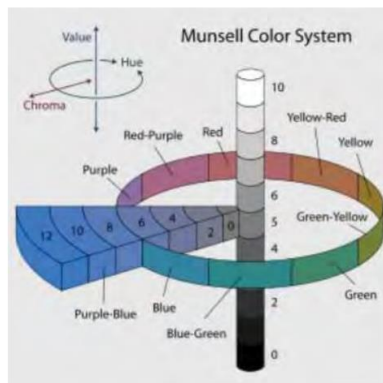
จุดประ (Mottle) คือมีจุดสีเหลืองหรือสีแดงบนพื้นสีเทา ดินที่มีสีเทาหรือสีเขียวมะกอกอมเทา (Gray, Grayish olive) ปกติจะบ่งบอกสภาพรีดิวซ์ (Reducing condition) สภาพที่ค่อนข้างชื้นเปียก ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจุบันหรืออดีต เช่น ในอดีตสภาพพื้นที่นั้นอาจอยู่ในสภาพเปียกที่มีกระบวนการรีดักชันเกิดขึ้นและสารประกอบแร่เหล็กยังคงอยู่ในสภาพรีดิวซ์อยู่ ยังไม่มีการเปลี่ยนรูปไปเป็นรูปสภาพออกซิไดซ์ โดยปกติชั้นดินบนสุดจะมีสีตั้งแต่สีน้ำตาล น้ำตาลเข้ม ดำ แล้วแต่ปริมาณของอินทรีย์วัตถุที่เพิ่มขึ้นหรือกระบวนการฮิวมิฟิเคชัน (Humification) ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาดินและปริมาณประจุบวกก็มีอิทธิพลต่อสีดินเช่นเดียวกัน ในดินกรดที่มีแคลเซียมและอินทรีย์วัตถุต่ำ จะมีผลทำให้ดินมีสีซีด แต่ถ้าดินมีปริมาณแคลเซียมและโซเดียมสูงแม้ว่าอินทรีย์วัตถุต่ำสีดินจะเป็นสีคล้ำก็ได้ บางครั้งสีคล้ำของดินอาจเกิดจากสารประกอบแมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese dioxide) ที่มีอยู่ในดินขณะนั้นหรืออาจเกิดจากสารคาร์บอนที่ได้จากการเผาไหม้ ดินที่มีสีจางหรือค่อนข้างขาวเกิดจากการเคลื่อนย้ายของสารประกอบเหล็กออกไปจากดินทำให้หลงเหลือสารประกอบพวกควอตซ์ เฟลสปาร์ และเคลโอลิไนต์ ทำให้ดินมีลักษณะเป็นสีจางได้ โดยปกติแล้วสีของดินที่แท้จริงจะเห็นต่อนำดินไปเผาแล้ว การบอกสีดินโดยใช้คำพูดมักก่อให้เกิดความเข้าใจผิดได้มาก โดยเฉพาะเป็นสีผสมซึ่งเกิดจากการผสมระหว่างแม่สี ตั้งแต่ 2 สีเป็นต้นไป เพื่อหลีกเลี่ยงความสับสน จึงมีการกำหนดสีดินเป็นรหัส (Color code) รหัสสีดินของระบบมันเชลล์ (Munsell system) ประกอบด้วยตัวเลข 3 ชุด เขียนเรียงเป็นลำดับที่แน่นอน คือ

5.7.1 สีสัน (Hue) คือ สีดั้งเดิม (Primary color) สีเดิมคือสีของแสงอาทิตย์ในช่วงคลื่นที่ตามนุษย์มองเห็นได้ เหมือนสีรุ้ง ที่หักเหโดยปริซึม สำหรับดินสีดั้งเดิมจะมีความแปรผันของค่าสีสันตั้งแต่ 10R ซึ่งหมายถึงสีแดง 100% จนถึง 5Y ซึ่งหมายถึงสีผสมระหว่างสีเหลืองและสีแดง โดยมีสัดส่วนของสีเหลือง 75% และสีแดง 25% สีของดินที่พบมากจะมีสีสันประมาณ 10YR ซึ่งหมายถึงสัดส่วนผสม 50% ของสีเหลืองและ 50% ของสีแดง

5.7.2 ค่าสี (Value) หมายถึง ความจาง (Lightness) ของสี สีดั้งเดิมเดียวกันอาจปรากฏแก่สายตาเป็นสีต่างกันได้ ขึ้นกับความเข้มจางของสี ค่าสีผันแปรจากความจางต่ำสุดเท่ากับศูนย์ หมายถึง เป็นสีดำจนถึงระดับความจางสูงสุดเท่ากับ 10 หมายถึง สีขาว

5.7.3 ค่าความเข้มของสี (Chroma) หมายถึง ความบริสุทธิ์หรือความแรงของสีดั้งเดิม ค่าความเข้มของสี อาจผันแปรตั้งแต่ 0-20 แต่โดยทั่วไปค่าความเข้มของสีของดินมักไม่เกิน 8 ค่าความเข้มของสีต่ำสุดเท่ากับศูนย์ จะทำให้สีดั้งเดิมปรากฏเป็นหลายสี นับตั้งแต่สีขาว สีเทาจนถึงสีดำ ถ้าค่าความเข้มของสีเพิ่มขึ้น ความบริสุทธิ์หรือความชัดเจนของสีดั้งเดิมจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้สีปรากฏจะออกมาเป็นเช่นใดยังขึ้นกับค่าสี

ในขณะนั้นด้วย ตัวอย่างของรหัสสีดิน เช่น 10YR 5/3 ตัวเลข 10YR คือค่าสีส้มหรือสีแดง เลข 5 หมายถึง ค่าสีหรือความจางของค่าสี และเลข 3 หมายถึง ค่าความเข้มของสีหรือความบริสุทธิ์ของสีซึ่งถ้าตรวจสอบจากสมุดสีดินของมันเชลล์ (Munsell soil color book)แล้วจะพบว่าเป็นสีน้ำตาล เป็นต้น [11]



ภาพที่ 8-1 ระบบสีของมันเชลล์ (Munsell color System)

(ที่มา: <http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snamcn/Supinya>

_Makul/Supinya_Makul_fulltext.pdf (online), 2562)



ภาพที่ 8-2 สมุดสีดินของมันเชลล์ (Munsell soil color book)

(ที่มา: <https://www.tcg-plus.com/product/soil-color-book/> (online), 2562)

5.8 การวัดเฉดสี

ทดสอบค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี (Colour meter, Spectrophotometer) เพื่อความแม่นยำในการวัดค่าออกมาเป็นตัวเลข ซึ่งสายตาคนไม่สามารถจะอ่านค่าความแตกต่างของสีเป็นหน่วยที่ใช้อ้างอิงได้

โดยหลักการทางกายภาพสีที่เรามองเห็นด้วยตาเกิดขึ้นจากองค์ประกอบ 3 อย่าง คือ

1. แสงซึ่งเกิดจากพลังงาน
2. วัตถุที่สายตามอง สามารถดูดกลืนแสงหรือสะท้อนแสงได้อะไรได้ดี
3. สายตาคนที่กำลังมองวัตถุนั้น

ปฏิกิริยาการเห็นสีเกิดจากองค์ประกอบทั้ง 3 อย่างที่รวมตัวกัน แต่สีของวัตถุอาจจะเปลี่ยนแปลงไปได้ถ้าพลังงานของแสงที่ตกกระทบเปลี่ยนแปลงไป เช่น แสงอาทิตย์ แสงนีออน แสงเทียน ซึ่งมีความยาวคลื่นแตกต่างกัน สีของแสงไฟแต่ละชนิดก็ทำปฏิกิริยากับวัตถุ ทำให้เกิดสีแตกต่างกันไป ดังนั้นในการวัดค่าของสีจะต้องใช้แสงไฟที่มีมาตรฐานเดียวกันทุกครั้งในการวัดค่าสีแต่ละสี จากค่าระบบสะท้อนกลับหรือทะลุผ่านของสี เครื่องที่ใช้ในการทดสอบหรือควบคุมคุณภาพของสี จะแสดงค่าการวัดสีตามระบบที่ผู้ใช้กำหนด แต่ระบบที่เป็นที่นิยมใช้และยอมรับกันทั่วไป ได้แก่ ระบบซีไอโอแอลบี หรือระบบอินเตอร์(CIE LAB or Hunter System)ซึ่งวิเคราะห์หรือสรุปค่าสีเป็น L^* , a^* และ b^* โดยทั้ง 3 ตัวแปลมีรายละเอียด ดังนี้

- แกน L^* บ่งบอกถึง ความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว
- แกน a^* บรรยายแกนสี จากสีเขียวจนถึงสีแดง
- แกน b^* บรรยายแกนสี จากสีน้ำเงินจนถึงสีเหลือง

แต่เมื่อมีการเปรียบเทียบสี ค่าเหล่านี้จะถูกนำมาคำนวณออกมาเป็นผลต่างดังสมการที่ (1-1)

$$\begin{aligned} dL^* &= L^*(\text{sample}) - L^*(\text{standard}) \\ da^* &= a^*(\text{sample}) - a^*(\text{standard}) \\ db^* &= b^*(\text{sample}) - b^*(\text{standard}) \end{aligned} \quad (1-1)$$

จากนั้นค่าผลต่างทั้งสามจะถูกคำนวณออกมาเป็นค่าสรุปหรือ dE^* อีกครั้งดังสมการที่ (1-2)

$$dE^* = \sqrt{dL^{*2} + da^{*2} + db^{*2}} \quad (1-2)$$

ในการควบคุมคุณภาพสีประเภทที่ใช้แตกต่าง(Decorating colours) ค่า dE^* ของสีที่สามารถยอมรับได้จะต้อง มีค่าเกิน 1.5 หน่วย เมื่อเทียบกับค่า dE^* ตัวอย่างมาตรฐาน (Master Standard) แต่ละสีจะมีค่าสีแคบ และกว้างไม่เท่ากัน บางสี 0.5 หน่วย บางสี 1.5 หน่วย สีที่มีค่าแคบ 0.5 หน่วย ค่าของสีจะเปลี่ยนแปลงได้ง่าย [8]



ภาพที่ 9 เครื่องวัดค่าสี (Spectrophotometer)

(ที่มา: <https://www.amazon.com/LabGenius-SQ2802DS-Single-1-8nm-Spectrophotometer/dp/B07DRQ77NL> (online), 2562)

5.9 ความมันเงา

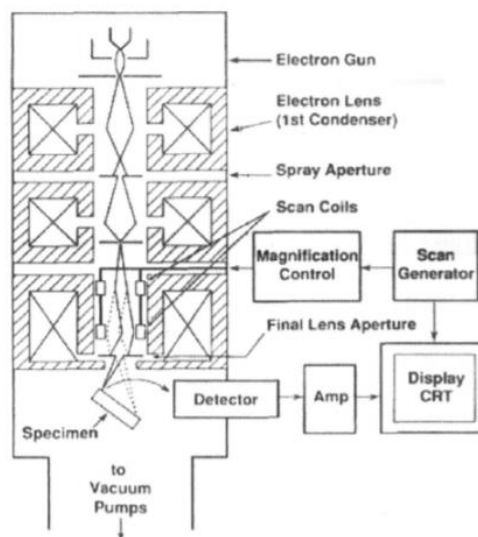
ในกรณีที่เป็นการเคลือบมันนั้น จำเป็นต้องดูค่าความมันเงาของเคลือบหลังเผาด้วย วิธีการตรวจสอบอาจใช้สายตาเปรียบเทียบหรือใช้เครื่องมือวัดค่าความมัน ที่เรียกว่าเครื่อง Glossy meter[4]

5.10 การพิมพ์สกรีน

เป็นการตกแต่งด้วยการใช้สีผสมกับ Medium แล้วนำสีที่เตรียมได้ไปปาดให้แผ่นบล็อกสกรีนตามรูปแบบลวดลายที่ได้ออกแบบไว้โดยให้เนื้อสีที่ผสมกับ Medium ผ่านออกไปเกาะติดกับพื้นผิวพื้นผิวผลิตภัณฑ์ที่มีผิวเรียบ ซึ่งเป็นการพิมพ์ลงบนผิวผลิตภัณฑ์โดยตรง ส่วนใหญ่จะใช้กับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมประเภทกระเบื้องปูผนัง การนำวิธีการตกแต่งการพิมพ์สกรีนด้วยมือลงบนพื้นผิวผลิตภัณฑ์ที่เคลือบแล้วจะต้องระมัดระวังเรื่องความสะอาดของพื้นผิวผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาพิมพ์สกรีนเพราะถ้าเกิดคราบมันหรือฝุ่นละอองที่เกิดจากการจับต้องเมื่อพิมพ์สีลงไปแล้วนำไปผ่านการเผาอบสีที่พิมพ์บริเวณส่วนนี้ จะหลุดร่อนได้ การพิมพ์สกรีนนี้เป็นวิธีการตกแต่งที่นิยมทำกันในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ผลิตภัณฑ์ประเภทกระเบื้องปูผนัง เพราะเป็นวิธีการตกแต่งผลิตภัณฑ์ได้อย่างจำนวนมากในเวลาอันรวดเร็วและสามารถควบคุมคุณภาพของรูปแบบลวดลายสีสันได้ง่าย เนื่องจากมีอุปกรณ์เครื่องจักรที่ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยในการควบคุมการผลิต [12]

5.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

เป็นการถ่ายภาพรายละเอียดของโครงสร้างภายนอก ทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนกลับจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ส่วนประกอบและหลักการทำงานโดยสังเขปของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังภาพที่ 10 ส่วนบนสุด เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนที่เรียกว่า ปืนอิเล็กตรอน (Electron gun) อิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ซึ่งมีสภาพสุญญากาศ ด้วยความต่างศักย์เร่ง (Accelerating Voltage) ในช่วง 0-30 kV โดยทิศทางการเคลื่อนที่จะถูกควบคุมด้วยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic lens) 2 ชุดหรือมากกว่าและปริมาณของอิเล็กตรอนจะถูกควบคุมโดยแอฟเพอร์เจอร์ (Aperture) หรือช่องเปิด ซึ่งมีขนาดต่างกันตามลักษณะการใช้งาน



ภาพที่ 10 แสดงการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

(ที่มา: <http://www.rmutphysics.com/charud/oldnews/192/SEM.pdf?fbclid>

=lwAR1iISYoS9UNbYAk7vhNFu3wv6kR3qMfFNr7tSsCKjhIFNsbEAwUqCY8H7c (online), 2562)

เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าชุดแรก ที่เรียกว่า เลนส์คอนเดนเซอร์ (Condenser lens) นับว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญที่สุดต่อการควบคุมทัศนศาสตร์อิเล็กตรอน (Electron optics) เพราะเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่บีบอิเล็กตรอนที่วิ่งลงมาจากแหล่งกำเนิดให้เป็นลำที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กลง ส่วนเลนส์วัตถุ (Objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์ชุดสุดท้าย จะทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอน (Electron beam) ให้ไปตกบนผิวของตัวอย่าง โดยมีสแกนคอยล์ (Scan coil) ทำหน้าที่กวาดลำอิเล็กตรอนให้ไปบนผิวของตัวอย่างภายในกรอบพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆซึ่งพื้นที่ผิวของตัวอย่างบริเวณที่ถูกยิงด้วยลำอิเล็กตรอนนี้ จะเกิดสัญญาณ (Signal) ต่างๆ ขึ้นหลายชนิดในเวลาเดียวกันและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะมีอุปกรณ์สำหรับตรวจจับ

สัญญาณ (Detector) ชนิดต่างๆ เหล่านี้แล้วส่งไปประมวลผลเป็นภาพแสดงบนจอภาพต่อไป ภาพที่ได้จากกล้อง SEM เป็นภาพ 3 มิติที่มีระยะชัดลึกสูง ทำให้สามารถระบุลักษณะของพื้นผิวชิ้นงานได้อย่างชัดเจน

ตัวอย่างสัญญาณที่เกิดขึ้นนั้นได้แก่

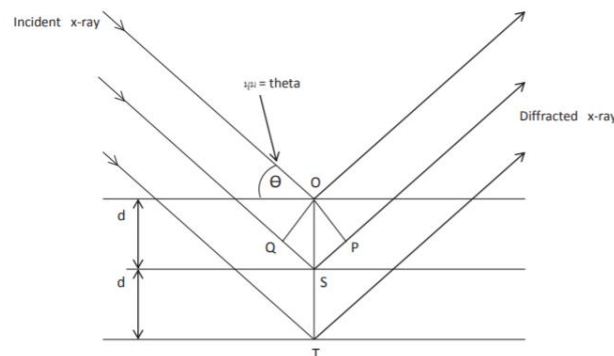
- อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electrons, SE): สัญญาณชนิดนี้ จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เป็นสัญญาณที่ถูกนำมาใช้ในการสร้างภาพมากที่สุด ภาพที่ได้จากสัญญาณชนิดนี้ เรียกว่า ภาพอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron Image, SEI)
- อิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Back Scattered Electrons, BSE): ให้ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบทางเคมีบนผิวของตัวอย่าง และแสดงให้เห็นลักษณะความสูงต่ำของพื้นผิว

นอกเหนือจากสัญญาณเหล่านี้แล้ว ยังมีสัญญาณอีกหลายชนิดที่เกิดขึ้น เช่น เอกซ์เรย์ (X-Ray), คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave), โอลิเจนอิเล็กตรอน (Auger electron) เป็นต้น ซึ่งสัญญาณแต่ละชนิดจะให้ข้อมูลของตัวอย่างแตกต่างกันไป [3]

5.12 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffract meter, XRD)

เป็นเครื่องมือวิเคราะห์วัสดุขั้นพื้นฐาน ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายตัวอย่าง (Non-destructive analysis) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึก การจัดเรียงตัวของอะตอมในโมเลกุลของสารประกอบต่างๆ ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนและการกระเจิงของรังสีเอกซ์และความรู้เกี่ยวกับวิหาระบบโครงสร้างผลึก เครื่องมือชนิดนี้มีความสำคัญมากในกระบวนการควบคุมคุณภาพการผลิต ใช้สำหรับตรวจสอบสมบัติของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตตามขั้นตอนต่างๆ ผลการวิเคราะห์สามารถแยกแยะประเภทและชนิดของวัสดุที่พบในธรรมชาติว่ามีรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบใด หรือจำแนกได้ว่าวัสดุที่พบเห็นนั้นเป็นแร่ชนิดใด โดยทำการวัดค่าความเข้มข้นของรังสีที่สะท้อนออกมาที่มุมต่างๆ เปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานที่ทำการตรวจวัดโดยองค์กร JCPDs (Joint Committee on Powder Diffraction Standard) เนื่องจากสารประกอบแต่ละชนิด มีรูปแบบโครงสร้างผลึกแตกต่างกันและระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอม ที่จัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบก็แตกต่างกันไปด้วย โดยที่ขนาดและประจุของอะตอมของสารประกอบแต่ละชนิดจะมีรูปแบบ (XRD pattern) เฉพาะตัว เปรียบได้กับลายนิ้วมือของคนที่แตกต่างกัน [9]

การนำเทคนิคเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์มาใช้ในการวิเคราะห์ดินในส่วนที่เป็นผลึกจะใช้ลำแสงของ Monochromatic x-ray ตกกระทบกับผิวของผลึกที่มุมตกกระทบที่เหมาะสม รังสีเอกซ์บางส่วนจะเกิดการเลี้ยวเบน(Diffract)รังสีบางส่วนจะกระจัดกระจายและผ่านทะลุลงไปยังผิวชั้นที่สองของผลึกที่ต่ำลงไปจะเกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ บางส่วนก็จะทะลุลงไปยังผิวชั้นที่สาม เช่นนี้ไปเรื่อยๆ ซึ่งสามารถอธิบายและเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่2-1 ตามกฎของ เซอร์ ดับบลิว เอช แบรกก์ นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ที่อาศัยหลักการทางฟิสิกส์โดยใช้รังสีเอกซ์ XRD เพื่อใช้อธิบายโครงสร้างของผลึกเมื่อตกกระทบเข้ากับรังสีเอกซ์ ด้วยมุมตกกระทบที่แตกต่างกัน โดยระยะห่างความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลงไป [10]



ภาพที่ 11 การกำเนิดรังสีเอกซ์

(ที่มา: http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snamcn/Supinya_Makul/Supinya_Makul_fulltext.pdf, 2562)

$$\sin\theta = \frac{QS}{d} = \frac{SP}{d}$$

$$d \sin\theta = QS = SP$$

$$QS + SP = 2d \sin\theta$$

$$n\lambda = QS + SP$$

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

(2-1)

โดยกำหนดให้ ดังนี้

$\lambda \rightarrow$ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

$\theta \rightarrow$ มุมตกกระทบระหว่างรังสีเอกซ์กับระนาบในผลึก

$d \rightarrow$ ระยะห่างระหว่างระนาบในผลึก

$n \rightarrow$ ลำดับการเลี้ยวเบนโดยเป็นเลขจำนวนเต็ม

6. วิธีการดำเนินงานและแผนการทดลอง

6.1 กำหนดสูตรการทดลองทั้ง 3 กลุ่ม 162 สูตร ดังนี้

1. สูตรที่ 1 ประกอบไปด้วยดินขาวโคกไม้ลาย เศษแก้วใสและดินดำปราจีน ตามตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 ดินขาวโคกไม้ลาย เศษแก้วใสและดินดำปราจีน

สูตร	ดินดำปราจีน	เศษแก้วใส	ดินขาวโคกไม้ลาย
X01	10	90	0
X02	0	90	10
X03	20	80	0
X04	10	80	10
X05	0	80	20
X06	30	70	0
X07	20	70	10
X08	10	70	20
X09	0	70	30
X10	40	60	0
X11	30	60	10
X12	20	60	20
X13	10	60	30
X14	0	60	40
X15	50	50	0
X16	40	50	10
X17	30	50	20
X18	20	50	30
X19	10	50	40
X20	0	50	50

สูตร	ดินดำปรอทเงิน	เศษแก้วใส	ดินขาวโคกไม้ลาย
X21	60	40	0
X22	50	40	10
X23	40	40	20
X24	30	40	30
X25	20	40	40
X26	10	40	50
X27	0	40	60
X28	70	30	0
X29	60	30	10
X30	50	30	20
X31	40	30	30
X32	30	30	40
X33	20	30	50
X34	10	30	60
X35	0	30	70
X36	80	20	0
X37	70	20	10
X38	60	20	20
X39	50	20	30
X40	40	20	40
X41	30	20	50
X42	20	20	60
X43	10	20	70
X44	0	20	80
X45	90	10	0
X46	80	10	10
X47	70	10	20
X48	60	10	30
X49	50	10	40
X50	40	10	50
X51	30	10	60
X52	20	10	70
X53	10	10	80
X54	0	10	90

2. สูตรที่ 2 ประกอบไปด้วยดินขาวโคกไม้ลาย เศษแก้วใสและดินลูกรัง ตามตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 ดินขาวโคกไม้ลาย เศษแก้วใสและดินลูกรัง

สูตร	ดินลูกรัง	เศษแก้วใส	ดินขาวโคกไม้ลาย
Y01	10	90	0
Y02	0	90	10
Y03	20	80	0
Y04	10	80	10
Y05	0	80	20
Y06	30	70	0
Y07	20	70	10
Y08	10	70	20
Y09	0	70	30
Y10	40	60	0
Y11	30	60	10
Y12	20	60	20
Y13	10	60	30
Y14	0	60	40
Y15	50	50	0
Y16	40	50	10
Y17	30	50	20
Y18	20	50	30
Y19	10	50	40
Y20	0	50	50
Y21	60	40	0
Y22	50	40	10
Y23	40	40	20
Y24	30	40	30
Y25	20	40	40
Y26	10	40	50
Y27	0	40	60
Y28	70	30	0
Y29	60	30	10
Y30	50	30	20
Y31	40	30	30
Y32	30	30	40
Y33	20	30	50
Y34	10	30	60
Y35	0	30	70
Y36	80	20	0
Y37	70	20	10
Y38	60	20	20
Y39	50	20	30
Y40	40	20	40

สูตร	ดินลูกรัง	เศษแก้วใส	ดินขาวโคกไม่ลาย
Y41	30	20	50
Y42	20	20	60
Y43	10	20	70
Y44	0	20	80
Y45	90	10	0
Y46	80	10	10
Y47	70	10	20
Y48	60	10	30
Y49	50	10	40
Y50	40	10	50
Y51	30	10	60
Y52	20	10	70
Y53	10	10	80
Y54	0	10	90

3. สูตรที่ 3 ประกอบไปด้วยดินดำปราจีน เศษแก้วใสและดินลูกรัง ตามตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-3 ดินดำปราจีน เศษแก้วใสและดินลูกรัง

สูตร	ดินดำปราจีน	เศษแก้วใส	ดินลูกรัง
Z01	10	90	0
Z02	0	90	10
Z03	20	80	0
Z04	10	80	10
Z05	0	80	20
Z06	30	70	0
Z07	20	70	10
Z08	10	70	20
Z09	0	70	30
Z10	40	60	0
Z11	30	60	10
Z12	20	60	20
Z13	10	60	30
Z14	0	60	40
Z15	50	50	0
Z16	40	50	10
Z17	30	50	20
Z18	20	50	30
Z19	10	50	40
Z20	0	50	50
Z21	60	40	0
Z22	50	40	10
Z23	40	40	20

สูตร	ดินดำปราจีน	เศษแก้วใส	ดินลูกรัง
Z24	30	40	30
Z25	20	40	40
Z26	10	40	50
Z27	0	40	60
Z28	70	30	0
Z29	60	30	10
Z30	50	30	20
Z31	40	30	30
Z32	30	30	40
Z33	20	30	50
Z34	10	30	60
Z35	0	30	70
Z36	80	20	0
Z37	70	20	10
Z38	60	20	20
Z39	50	20	30
Z40	40	20	40
Z41	30	20	50
Z42	20	20	60
Z43	10	20	70
Z44	0	20	80
Z45	90	10	0
Z46	80	10	10
Z47	70	10	20
Z48	60	10	30
Z49	50	10	40
Z50	40	10	50
Z51	30	10	60
Z52	20	10	70
Z53	10	10	80
Z54	0	10	90

6.2 ศึกษาข้อมูลวัตถุดิบที่นำมาใช้ในโครงการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

6.3 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

6.3.1 นำขวดแก้วใสมาลอกฉลากและทำความสะอาด

6.3.2 นำขวดแก้วใสที่แห้งสนิทแล้วมาทุบและบดละเอียดด้วยเครื่องบด Ball Mill พร้อมใส่ลูกบดประมาณ 1/2 ของเครื่องบด โดยใช้เวลาดบประมาณ 24 ชั่วโมง

6.3.3 นำดินดำปราจีน ดินขาวโคกไม้ลาย และดินลูกรัง มาอบไล่ความชื้นอุณหภูมิ 200 °C นาน 2 ชั่วโมง

6.3.4 นำดินดำปราจีน ดินขาวโคกไม้ลาย ดินลูกรัง ที่อบเสร็จเรียบร้อยแล้วมาบดด้วยหม้อบด Pot mill พร้อมใส่ลูกบดประมาณ 1/2 ของหม้อบด โดยใช้เวลาประมาณ 5 ชั่วโมง

6.3.5 นำดินดำปราจีน ดินขาวโคกไม้ลาย ดินลูกรังและเศษแก้วใส ที่ผ่านการบดแล้วมาร้อนด้วยตะแกรงร้อนที่มีความละเอียด 325 เมช

6.4 การขึ้นรูปแบบจำลองผลิตภัณฑ์เซรามิกจากโรงงานอ่างทอง

6.4.1 นำดินอ่างทองจากโรงงานอ่างทองมาร้อนด้วยตะแกรงร้อนที่มีความละเอียด 20 เมช

6.4.2 นำดินอ่างทองมาผสมน้ำในอัตราส่วน 10% ของน้ำหนักดินอ่างทอง

6.4.3 นำมาอัดขึ้นรูป ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปขึ้นงานแบบทางเดียว โดยใช้แรงดันขนาด 70 บาร์

6.4.4 นำแบบจำลองมาตัดให้มีขนาด 1x1 นิ้ว

6.4.5 อบไล่ความชื้นแบบจำลองที่ผ่านการตัดแล้ว ที่อุณหภูมิ 200 °C นาน 2 ชั่วโมง

6.4.6 นำแบบจำลองมาเผาด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 100 °C/hr. และคงอุณหภูมิสูงสุดของการเผาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแบบจำลองคือ 800 °C

6.5 ผสมวัตถุดิบตามสูตรที่กำหนดไว้ 162 สูตร

6.6 การปั้นที่สี

6.6.1 นำสูตรที่กำหนดไว้มาผสมกับน้ำมันเพนท (Medium oil) และน้ำ

6.6.2 นำมาทาบนแบบจำลองที่เตรียมไว้ โดยแบบจำลอง 1 ชิ้น ต่อ 1 สี

6.7 นำชิ้นงานที่ปั้นที่สีแล้วมาเผาด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 100 °C/hr. และคงอุณหภูมิสูงสุดของการเผาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิในการเผา 2 อุณหภูมิ คือ 950 °C กับ 1050 °C

6.8 การทดสอบคุณสมบัติ

6.8.1 นำชิ้นงานมาวัดเฉดสีด้วยเครื่องวัดเฉดสี

6.8.2 ใช้สายตาในการเปรียบเทียบความมันเงาของชิ้นงาน

6.8.3 วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคโดยใช้วิธี SEM และวิเคราะห์โครงสร้างผลึกโดยวิธี XRD

6.9 การสกรีน

6.9.1 นำสีที่ผสมไว้แล้วมาปาดบนแผ่นบล็อกสกรีนให้เนื้อสีผ่านออกไปเกาะติดกระเบื้องเซรามิกขนาด 1x1 นิ้ว

6.9.2 นำมาเผาด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 100 °C/hr. และคงอุณหภูมิสูงสุดของการเผาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิในการเผา 2 อุณหภูมิ คือ 950 °C กับ 1050 °C

6.10 สรุปผลการทดลอง

11. แผนดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ผู้รับผิดชอบ
	2562	2562	2562	2562	2562	2562	2563	2563	2563	
1.ศึกษาข้อมูลและวิธีใช้เครื่องมือต่างๆ	←→									ปริญญา, จันทกานต์
2.การเตรียมสาร	←→									ปริญญา, จันทกานต์
3.การขึ้นรูปแบบจำลองและการพิมพ์สี		←→								ปริญญา, จันทกานต์
4.การทดสอบคุณสมบัติ				←→						ปริญญา, จันทกานต์
5.การสกรีน					←→					ปริญญา, จันทกานต์
6.วิเคราะห์ข้อมูลและแก้ไข							←→			ปริญญา, จันทกานต์
7.สรุปผลการทดลอง								←→		ปริญญา, จันทกานต์

7. เครื่องมืออุปกรณ์/วัสดุที่ใช้และงบประมาณ

7.1 เครื่องมืออุปกรณ์ที่มีอยู่แล้ว

7.1.1 เครื่องบด Ball mill หม้อบด Pot mill และลูกบด	ห้องปฏิบัติการเซรามิก
7.1.2 เครื่องร่อน	ห้องปฏิบัติการเซรามิก
7.1.3 ตะแกรงร่อนที่มีความละเอียด 325 เมช (44 ไมครอน)	ห้องปฏิบัติการเซรามิก
7.1.4 ตะแกรงร่อนที่มีความละเอียด 20 เมช (841 ไมครอน)	ห้องปฏิบัติการเซรามิก
7.1.5 เตอบไฟฟ้า	ห้องปฏิบัติการเซรามิก
7.1.6 เตเผาไฟฟ้า	ห้องปฏิบัติการเซรามิก
7.1.7 เครื่องขึ้นรูป	ห้องปฏิบัติการเซรามิก
7.1.8 พุกกับกับงานสี	ห้องปฏิบัติการเซรามิก
7.1.9 เครื่องชั่ง	ห้องปฏิบัติการเซรามิก

7.2 เครื่องมืออุปกรณ์ทดสอบคุณสมบัติในสถานที่และงบประมาณ

7.2.1 เครื่องวัดแรงตึง	งบประมาณ 8000 บาท
------------------------	-------------------

ห้องปฏิบัติการวัสดุสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากสารอันตราย หน่วยงานปฏิบัติการวิจัยด้านสิ่งแวดล้อม ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

7.2.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	งบประมาณ 1800 บาท
-------------------------------------------------	-------------------

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.2.3 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)	งบประมาณ 4200 บาท
-------------------------------------------------------	-------------------

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.3 วัสดุที่ใช้

7.3.1 ดินดำปราจีน	จังหวัดปราจีนบุรี
7.3.2 ดินขาวโคกไม้ลาย	จังหวัดปราจีนบุรี
7.3.3 ดินลูกรัง	จังหวัดกาญจนบุรี
7.3.4 ดินอ่างทอง	จังหวัดอ่างทอง
7.3.5 น้ำมันเฟ้นท์ (Medium oil)	โรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาที่ดิน. ลักษณะของดินลูกรัง. การจัดการดินลูกรัง, น.6, สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ก.ค. 2562, จากเว็บไซต์
http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Technical/pdf/P_Technical10039_1.pdf
- [2] จีรวรรณ ล้อมวัง. (2556). ทรัพยากรดิน, สืบค้นเมื่อวันที่ 25 ก.ค. 2562, จากเว็บไซต์
<https://jeezii15110.wordpress.com/ทรัพยากร/ทรัพยากรดิน/>
- [3] ดนัย กิจชัยนุกูล. การทำงานของ SEM. เรื่องน่ารู้ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM), น.2-3, สืบค้นเมื่อวันที่ 26 ส.ค. 2562, จากเว็บไซต์
<http://www.rmutphysics.com/charud/oldnews/192/SEM.pdf?fbclid=IwAR1iISYoS9UNbYAk7vhNFu3wv6kR3qMfFNr7tSsCKjhIFNsbEAwUqCY8H7c>
- [4] ดร.คชินท์ สายอินทวงศ์. ความมันเงา. การควบคุมคุณภาพของการผลิตสีเคลือบ, น.14, สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ก.ค. 2562, จากเว็บไซต์
http://www.thaiceramicsociety.com/documents/540117_control_glaze.pdf
- [5] ทวี พรหมพลกุลย์. (2523). ดินดำเหนียวปากพลี. วิชาเครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น, น.71. สถานที่พิมพ์: โรงพิมพ์ รุ่งเรืองรัตน์
- [6] ประสิทธิ์ สุวรรณประทีปและชาญ จรรย์าวนิษฐ์. (2523). แหล่งดินขาวโคกไม้ลายต.ปากพล อ.เมือง จ. ปราจีนบุรี. แหล่งดินขาว (เคโอลิน) ที่สำคัญและการใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย, น.15-16, สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ก.ค.2562, จากเว็บไซต์
[http://www.sptn.dss.go.th/otopinfo/attachments/article/142/CF74\(A14\).pdf](http://www.sptn.dss.go.th/otopinfo/attachments/article/142/CF74(A14).pdf)
- [7] ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2532). สถานะของแก้ว. เซรามิกส์, น.182. สถานที่พิมพ์: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [8] ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2546). การวัดค่าสี. สีเซรามิก, พิมพ์ครั้งที่ 1, น 106-108. สถานที่พิมพ์:โอ.เอส.พรินต์ติ้ง เฮ้าส์

- [9] ศันสนีย์ รักไทยเจริญชีพ. (2558). ประโยชน์จากเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน(XRD)ในงานทดสอบวัสดุดิบและผลิตภัณฑ์. กรณวิยาศาสตร์บริการ. 63(197), น.38, สืบค้นเมื่อวันที่ 26 ส.ค. 2562, จากเว็บไซต์ http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2558_63_197_p38-40.pdf?fbclid=IwAR1ALDVM-dAOqWlx9UREdZKa6tl_Vc9T6K0AROh1tqO-zw-bukvXahV4v_E
- [10] สุภิญญา มากุล. (2557). เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffract meter, XRD). การวิเคราะห์ดินด้วยวิธี X-ray diffract meter (XRD) เพื่อประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์, น.15-17, สืบค้นเมื่อวันที่ 26 ส.ค. 2562, จากเว็บไซต์ http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snamcn/Supinya_Makul/Supinya_Makul_fulltext.pdf
- [11] สุภิญญา มากุล. (2557). สีดิน. การวิเคราะห์ดินด้วยวิธี X-ray diffract meter (XRD) เพื่อประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์, น.7-9, สืบค้นเมื่อวันที่ 26 ส.ค. 2562, จากเว็บไซต์ http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snamcn/Supinya_Makul/Supinya_Makul_fulltext.pdf
- [12] สมศักดิ์ ขวาลาววัฒน์. (2541). การพิมพ์สกรีน. เซรามิกเบื้องต้น, น.214-215, สืบค้นเมื่อวันที่ 26 ก.ค. 2562, จากเว็บไซต์ <http://thesis.swu.ac.th/swuebook/h218009.pdf>
- [13] Colourart Pattai. (2554). สื่อผสม (Medium). Oil painting, สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ก.ค. 2562, จากเว็บไซต์ http://colourart-pattai.blogspot.com/p/oil-painting_11.html