

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เตรียมส่วนผสมขึ้นใหม่โดยใช้สารประกอบออกไซด์หลายชนิดนำมาผสมเพื่อเพิ่มความสามารถสะท้อนรังสีอาทิตย์ช่วงอินฟราเรดใกล้ เป็นการเตรียมเม็ดสีเขียวอ่อนที่ได้จากโครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) ผสมกับไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) โดยสารที่ให้สีเขียวคือโครเมียมออกไซด์ การผสมไทเทเนียมออกไซด์และซิลิกอนออกไซด์จะช่วยทำให้ได้สีเขียวอ่อนที่มีค่าสะท้อนอินฟราเรดใกล้ (near infrared) สูงขึ้น สำหรับอลูมิเนียมออกไซด์ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มการกระจายตัวของผงสี

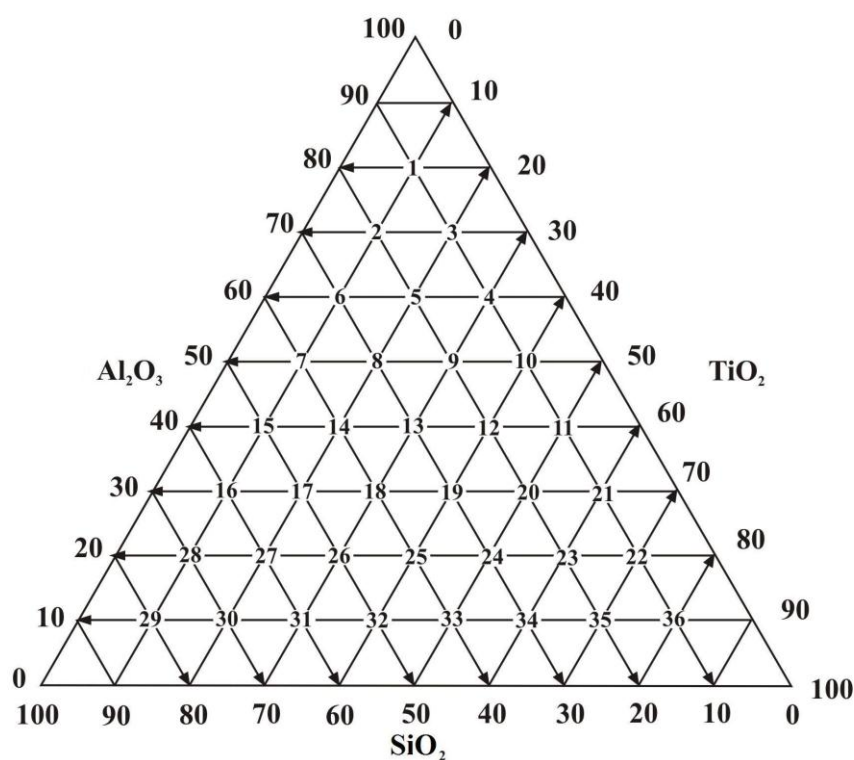
การวิจัยเริ่มตั้งแต่การจัดเตรียมสารเคมี เครื่องมือและอุปกรณ์ การศึกษาสมบัติของสารประกอบแต่ละชนิด การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าสะท้อนอินฟราเรดใกล้ ซึ่งรายละเอียดการศึกษาได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการเตรียมเม็ดสีเขียวอ่อนและการศึกษาสมบัติของเม็ดสี ตลอดจนการนำมาใช้งานกับวัสดุเคลือบเซรามิกส์ เพื่อเคลือบแผ่นหลังคา และการทดสอบสมรรถนะโดยการวัดอุณหภูมิภายในห้องทดสอบเปรียบเทียบกับเม็ดสีเขียวที่ใช้เคลือบหลังคาในท้องตลาด

3.1 การเตรียม pigment

สารประกอบโครเมียมออกไซด์ทำหน้าที่เป็นสารประกอบหลัก (host component) ส่วนผสมคงที่ ผสมกับ TiO_2 , Al_2O_3 และ SiO_2 ทำหน้าที่เป็นสารประกอบรอง (guest component) โดยได้เปลี่ยนส่วนผสมไปทั้งหมด 36 ตัวอย่าง (ใช้สัญลักษณ์ LG1 - LG36) ส่วนผสมแสดงในตารางที่ 3.1 นำส่วนผสมมาผ่านกรรมวิธีการบดแห้งและบดเปียก ตามลำดับ ด้วยเครื่องบดความเร็วสูง ผนังหม้อบดเป็นชนิด agate เพื่อจะได้ไม่มีสิ่งเจือปนอื่นๆ ปะปนเข้ามาในส่วนผสม ใช้ความเร็วในการบด 200 รอบ/นาที บดเป็นเวลา 7 นาที หลังจากนั้นนำมาอบแห้งและร่อนผ่านตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 100

นำเม็ดสีจากข้างต้นมาใส่ลงในถ้วยเผาที่มีฝาปิดมิดชิด (crucible) เตรียมเผาบรรยากาศแบบออกซิเดชัน (oxidation) ด้วยความร้อนอุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส ในเตาเผาไฟฟ้า อัตราการเผา 4 องศาเซลเซียสต่อนาที เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 1150 องศาเซลเซียส จึงยืนไฟ (soaking time) ไว้เป็นเวลา 30 นาที ภายหลังการเผาปล่อยให้เย็นในอากาศปกติจนถึงอุณหภูมิห้อง นำสีที่เผาแล้วมาบดเปียกด้วยหม้อบดเดิมใส่น้ำ 25 มิลลิลิตร ใช้ความเร็วในการบด 250 รอบต่อนาที บดโดยใช้เวลา 10

นาที เนื่องจากสีหลังเผามีลักษณะจับกันเป็นก้อนจึงต้องเพิ่มเวลาเผา เมื่ออบเสร็จเทใส่ภาชนะที่มีฝาปิด เติมน้ำ 300 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน คอยจนสีตกตะกอนจึงรินน้ำออกแล้วเทน้ำสะอาดใส่ลงไปใหม่ ทำแบบนี้จนสีที่ละลายน้ำมีสภาพเป็นกลาง เทน้ำออก นำสีที่มีความเข้มข้นมาอบให้แห้งด้วยความร้อน 110 องศาเซลเซียส นำมาร่อนผ่านตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 120 จะได้สารประกอบที่มีลักษณะเป็นผงสีขาวในโทนสีที่แตกต่างกันซึ่งแล้วแต่ส่วนประกอบที่เปลี่ยนไป มีขนาดอนุภาค 0.5 - 2.0 μm ส่วนผสมของสีแสดงในรูปที่ 3.1 และตารางที่ 3.1 ส่วนขั้นตอนการเตรียมสีแสดงในรูปที่ 3.2 สำหรับรูปที่ 3.3 - 3.6 แสดงรูปที่เกี่ยวข้องในการเตรียมสี

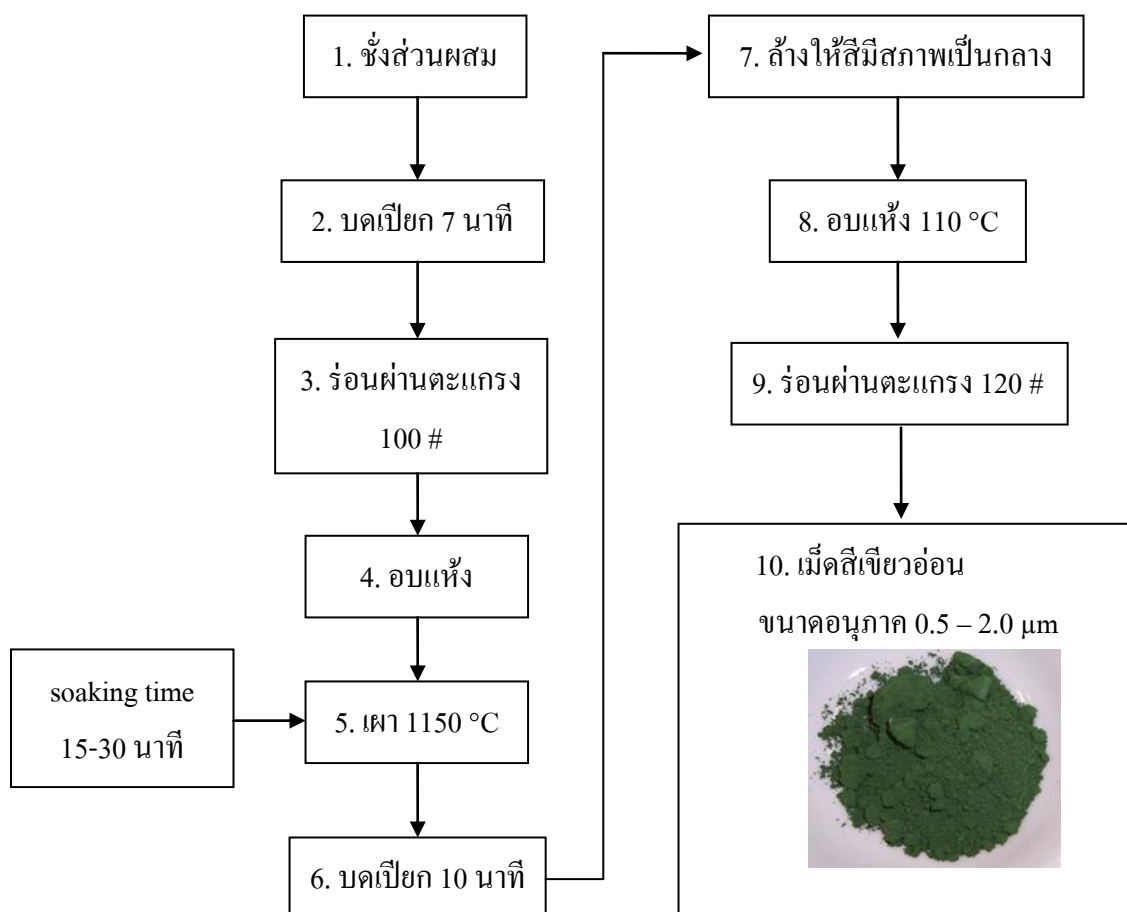


รูปที่ 3.1 ternary diagram ใช้กำหนดส่วนผสม

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของสารประกอบเมล็ดสีตัวอย่าง LG1- LG36

Sample	Composition (wt %)			
	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂
LG1	70	24	3	3
LG 2	70	21	6	3
LG 3	70	21	3	6
LG 4	70	18	3	9
LG 5	70	18	6	6
LG 6	70	18	9	3
LG 7	70	15	12	3
LG 8	70	15	9	6
LG 9	70	15	6	9
LG 10	70	15	3	12
LG 11	70	12	3	15
LG 12	70	12	6	12
LG 13	70	12	9	9
LG 14	70	12	12	6
LG 15	70	12	15	3
LG 16	70	9	18	3
LG 17	70	9	15	6
LG 18	70	9	12	9
LG 19	70	9	9	12
LG 20	70	9	6	15
LG 21	70	9	3	18
LG 22	70	6	3	21
LG 23	70	6	6	18
LG 24	70	6	9	15
LG 25	70	6	12	12
LG 26	70	6	15	9
LG 27	70	6	16	6

Sample	Composition (wt %)			
	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂
LG 28	70	6	21	3
LG 29	70	3	24	3
LG 30	70	3	21	6
LG 31	70	3	18	9
LG 32	70	3	15	12
LG 33	70	3	12	15
LG 34	70	3	9	18
LG 35	70	3	6	21
LG 36	70	3	3	24



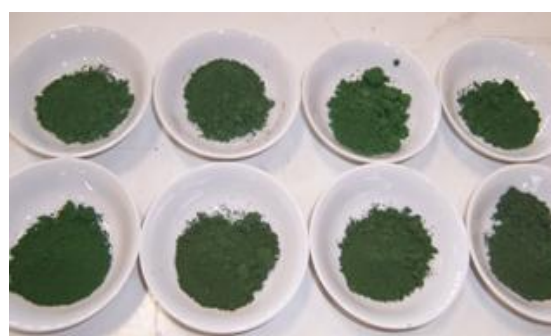
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมเม็ดสี



รูปที่ 3.3 หม้อบดความเร็วสูงชนิด agate



ก.



ข.

รูปที่ 3.4 ก. สีหลังบด และ ข. เม็ดสีหลังอบแห้ง



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างเม็ดสีเขียวอ่อนที่มีสมบัติสะท้อนอินฟราเรดใกล้

3.2 การศึกษาสมบัติของสี

เม็ดสีที่ได้นำมาศึกษาสมบัติทางกายภาพด้านต่าง ๆ ศึกษาลักษณะเฉพาะเพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้นต่อไปและนำเม็ดสีที่มีสมรรถนะมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้ การศึกษาสมบัติของสีมีรายละเอียดตามหัวข้อต่อไปนี้

3.2.1 วัดค่าสะท้อนอินฟราเรดใกล้

เม็ดสีที่ได้จากหัวข้อ 3.1 ทั้งหมด 36 ส่วนผสม นำมาอัดลงในแม่พิมพ์สำหรับใส่ตัวอย่างเพื่อวัดค่าสะท้อน แม่พิมพ์มีลักษณะเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.7 เซนติเมตร หนาประมาณ 4 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ 3.6 แล้วนำไปใส่ในเครื่อง UV/Vis/NIR spectrophotometer เพื่อวัดค่าสะท้อนในช่วงความยาวคลื่น 300 – 2100 nm และนำค่าที่วัดได้มาคำนวณค่าสะท้อน (R) อินฟราเรดใกล้ในช่วงความยาวคลื่น 780 – 2100 nm ตามมาตรฐาน ASTM E891 – 87 ซึ่งได้กำหนดค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม (spectral irradiance) ในช่วงความยาวคลื่น 0.305 – 4.045 μm (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก) ดังนั้นสเปกตรัมสะท้อนที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 780 – 2100 nm ซึ่งถูกสะท้อนโดยเม็ดสีตัวอย่าง นำมาคำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (weighted average) โดยใช้สมการ (3.1) เครื่องที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ Shimadzu model 3100 แสดงในรูปที่ 3.7

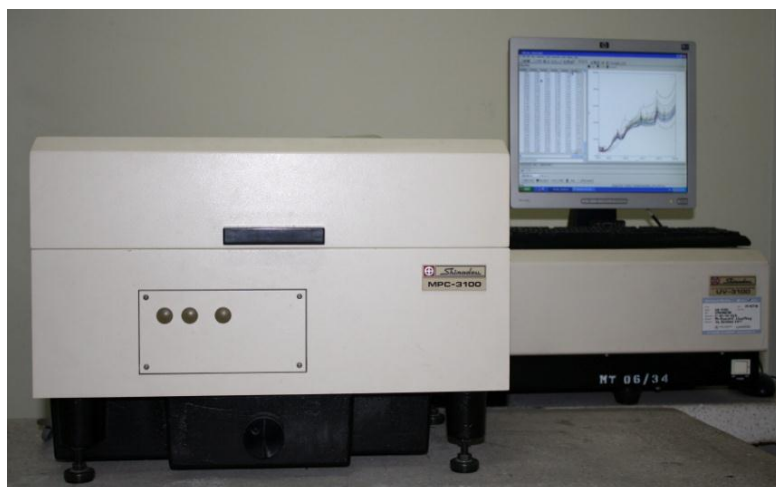
$$R = \frac{\int_{780}^{2100} r(\lambda)i(\lambda)d\lambda}{\int_{780}^{2100} i(\lambda)d\lambda} \dots\dots\dots (3.1)$$

โดยที่ $r(\lambda)$ คือสเปกตรัมสะท้อนที่ได้จากการวัดตัวอย่าง ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

$i(\lambda)$ คือค่าความเข้มแสงเชิงสเปกตรัม ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$) ซึ่งได้จากมาตรฐาน ASTM E891 – 87



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างเม็ดสีอัดในอุปกรณ์เพื่อวัดค่าสะท้อน



รูปที่ 3.7 เครื่อง Spectrophotometer สำหรับวัดค่าสะท้อนอินฟราเรดใกล้

3.2.2 การศึกษาการกระจายตัวด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) ใช้ศึกษา รูปร่าง (morphology) ขนาดของอนุภาค (particle size) และการกระจายตัวของเม็ดสี (dispersion of powder) เครื่องที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้ Philip model XL-30 แสดงในรูปที่ 3.8

การศึกษาด้วย SEM ต้องเตรียมตัวอย่างสีให้เป็นเม็ดแห้งและไม่จับเป็นก้อน ใช้ชนแปรง นุ่มๆ ป้ายที่เม็ดสีแล้วติดก้านแปรงเบาๆ บนที่วางตัวอย่าง (stub) ซึ่งติดเทปคาร์บอนไว้ (เพื่อให้นำ ไฟฟ้า) จากนั้นนำตัวอย่างเข้าเครื่อง SEM เพื่อทำตามขั้นตอนต่อไป มองภาพที่ปรากฏบนจอ ปรับ กำลังขยายให้เหมาะสมและมองเห็นลักษณะการกระจายตัวชัดเจน ซึ่งในการทดลองนี้เห็นภาพชัดที่ กำลังขยาย 2000 เท่า ทุกตัวอย่างถ่ายภาพที่กำลังขยายเท่ากัน



รูปที่ 3.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.2.3 ศึกษาปริมาณธาตุด้วย X-ray fluorescence spectrometry (XRF)

XRF เป็นการศึกษาปริมาณธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง โดยใช้การวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence) ที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง การศึกษานี้เพื่อให้ทราบว่ายานหลังขั้นตอนการเตรียมเม็ดยาโดยการบดและล้างเม็ดยาแล้วยังคงเหลือสารประกอบใดบ้างและมีปริมาณเท่าใด

การคำนวณหาความยาวคลื่น (wavelength) หรือพลังงาน (energy) ของรังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์จากสารตัวอย่าง คำนวณได้โดยใช้ Bragg's law ตามสมการที่ 3.2

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

- โดยที่
- n คือจำนวนเต็ม (integer)
 - λ คือความยาวคลื่นที่ตกกระทบ (wavelength of incident wave)
 - d คือระยะห่างระหว่างอะตอม (spacing between the planes in the atomic lattice)
 - θ คือมุมระหว่างรังสีตกกระทบกับระนาบสะท้อน (the angle between the incident ray and the scattering planes)

ค่าความยาวคลื่นหรือพลังงาน ที่คำนวณได้นั้นจะบอกได้ว่ารังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ของสารตัวอย่างประกอบด้วยธาตุใดบ้าง ในการทดลองนี้ใช้เครื่อง PANalytical MiniPal 4 XRF spectrometer แสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่อง XRF spectrometer

3.2.4 วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction, XRD)

XRD เป็นการศึกษาโครงสร้างผลึก (crystal structure) ของสารด้วยการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) ซึ่งจะถูกวัดความเข้มกำลัง (power) ด้วยการสแกนของตัวรับสัญญาณ (detector) สัญญาณที่วัดได้จะถูกถ่ายทอดออกมาเป็นสเปกตรัมแล้วถูกประมวลผลออกมาทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ เปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานที่ตรวจวัดโดยองค์กร JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standard) เนื่องจากสารประกอบแต่ละชนิด มีรูปแบบโครงสร้างผลึกแตกต่างกัน และระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอม ที่จัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบก็แตกต่างกันไปด้วย ขึ้นอยู่กับขนาดและประจุของอะตอม สารประกอบแต่ละชนิด จะมีรูปแบบ (XRD pattern) เฉพาะตัว การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง XRD ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่อง Bruker D8 แสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เครื่อง XRD spectrometer

3.2.5 การวัดค่าสี CIE L*a*b*

การวัดค่าสีใช้เครื่องวัดค่าสะท้อนรังสีอาทิตย์ (UV/Vis/NIR spectrophotometer) โดยเปลี่ยนโหมด (mode) เป็นโหมดสำหรับการวัดสี การเตรียมตัวอย่างสีที่จะวัดใช้วิธีเดียวกับการวัดค่าสะท้อน

3.3 การนำเม็ดสีไปใช้

การศึกษานี้เพื่อนำเม็ดสีไปใช้เป็นวัสดุเคลือบหลังคาเซรามิกส์ เม็ดสีนั้นจะสามารถสะท้อนรังสีอาทิตย์ช่วงอินฟราเรดใกล้ได้ดีเพียงใด โดยนำเม็ดสีที่ให้ค่าสะท้อนสูงที่สุดจำนวน 4, 5, 6, 7 และ 8 กรัม ผสมกับวัสดุเคลือบเซรามิกส์ 100 กรัม เพื่อให้ผลการสะท้อนเป็นที่น่าเชื่อถือได้ จึงได้ทำการทดลอง 2 ครั้ง ซึ่งจะช่วยยืนยันความสามารถสะท้อนรังสีอาทิตย์ของผิวเคลือบได้แน่นอนมากขึ้น

การเตรียมวัสดุเคลือบโดยนำเม็ดสี LG3 จำนวน 4, 5, 6, 7 และ 8 กรัม ผสมกับสารประกอบเคลือบสำเร็จรูปสำหรับงานเซรามิกส์จำนวน 100 กรัม เติมน้ำ 74 มิลลิลิตร (แต่ละส่วนผสมไม่เท่ากัน ให้ตรวจสอบความถ่วงจำเพาะ) นำไปบดผสมตามกรรมวิธีในหม้อบดความเร็ว 80 รอบต่อนาที บดนานเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมากรองด้วยตะแกรงเบอร์ 100 ตรวจสอบความถ่วงจำเพาะ

ให้ได้ประมาณ 1.4 เนื่องจากเป็นค่าที่สะดวกซึ่งเหมาะสมต่อการเคลือบด้วยวิธีการพ่น (spray) จากนั้นเตรียมพ่นเคลือบลงบนชิ้นทดลองขนาด 4×5 ซม. ที่ผ่านการเผาอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสแล้ว ขนาดของหัวพ่น 0.5 มิลลิเมตร พ่นลงบนชิ้นทดลองแต่ละชิ้น 2 รอบ แต่ละรอบใช้เวลาประมาณ 4 วินาทีต่อชิ้น จะให้ความหนาของผิวเคลือบประมาณ 0.8 มิลลิเมตร รอให้ผิวเคลือบแห้ง

จากนั้นเซ็ครอยเคลือบที่ไม่ต้องการออก นำเข้าเตาเผาไฟฟ้า ซึ่งใช้อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 4 องศาต่อนาที เมื่อถึงอุณหภูมิสูงสุดให้คงความร้อนที่อุณหภูมินี้ (soaking time) เป็นเวลา 15 นาที ปลอ่ยให้เย็นในเตาเผาจนถึงอุณหภูมิห้อง นำชิ้นทดลองออกมาวัดค่าสะท้อนอินฟราเรดใกล้ที่ผิวเคลือบ (ขั้นตอนเหมือนกับที่วัดเม็ดสี) ชิ้นงานเคลือบเพื่อทดสอบค่าสะท้อนเมื่อผสมเม็ดสีกับวัสดุเคลือบเซรามิกส์แสดงในรูปที่ 3.11 – 3.15 เมื่อได้ชิ้นงานแล้วนำมาตัดและจัดให้เรียบเพื่อวัดความหนาของผิวเคลือบหลังเผา



เตรียมครั้งที่ 1



เตรียมครั้งที่ 2

รูปที่ 3.11 ชิ้นงานเคลือบด้วย LG3 จำนวน 4 กรัม



เตรียมครั้งที่ 1



เตรียมครั้งที่ 2

รูปที่ 3.12 ชิ้นงานเคลือบด้วย LG3 จำนวน 5 กรัม



เตรียมครั้งที่ 1



เตรียมครั้งที่ 2

รูปที่ 3.13 ชิ้นงานเคลือบด้วย LG3 จำนวน 6 กรัม

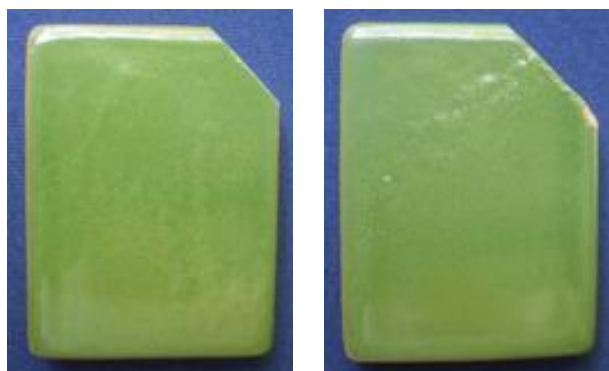


เตรียมครั้งที่ 1



เตรียมครั้งที่ 2

รูปที่ 3.14 ชิ้นงานเคลือบด้วย LG3 จำนวน 7 กรัม



เตรียมครั้งที่ 1

เตรียมครั้งที่ 2

รูปที่ 3.15 ชิ้นงานเคลือบด้วย LG3 จำนวน 8 กรัม

3.4 การศึกษาผิวเคลือบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การศึกษาผิวเคลือบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อดูลักษณะผิวเคลือบที่ผ่านการเผาว่ามีการกระจายตัวของเม็ดสีและส่งผลต่อค่าสะท้อนอย่างไร โดยการเตรียมชิ้นทดลองขนาด 6×6 มิลลิเมตร วางลงบนที่ใส่ตัวอย่างซึ่งติดเทปคาร์บอนให้น้ำไฟฟ้าไว้ แล้วนำไปเคลือบผิวด้านบนด้วยไอทองคำหรือไอคาร์บอน นำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน ใช้กำลังขยาย 2500 เท่า ผลการศึกษาเขียนไว้ในบทที่ 4

3.5 การทดสอบสมรรถนะของเม็ดสี

3.5.1 การเตรียมแผ่นหลังคา

การทดสอบสมรรถนะโดยการเตรียมแผ่นหลังคา 2 ชนิด เปรียบเทียบกันระหว่างเม็ดสี ที่ให้ค่าสะท้อนรังสีอาทิตย์สูงที่สุดซึ่งได้จากการทดลอง กับเม็ดสีที่ขายในท้องตลาดจากบริษัทแห่งหนึ่งในประเทศไทยโดยเลือกโทนสีใกล้เคียงกัน

การเตรียมผิวเคลือบบนแผ่นหลังคามีวิธีเหมือนกับข้อ 3.3 โดยนำเม็ดสีทั้งสองอย่างละ 5 กรัม ผสมกับผงเคลือบสี 100 กรัม ในการวิจัยนี้ต้องเตรียมแผ่นกระเบื้องเพื่อใช้มุงหลังคาอย่างละหนึ่งตารางเมตร จึงต้องผสมน้ำเคลือบอย่างละ 3 กิโลกรัม เมื่อตรวจสอบค่าความถ่วงจำเพาะแล้วจึงพ่นลงบนแผ่นกระเบื้องหลังคาเซรามิกส์ที่เผา biscuit ความหนาของผิวเคลือบก่อนเผาประมาณ 0.6 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ 3.16 จากนั้นคอยให้ผิวเคลือบแห้งแล้วจึงนำไปลำเลียงเข้าเตาเผารูปที่ 3.17 และเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส ใช้น้ำยาล้าง (soaking time) 20 นาที (เนื่องจากแผ่นกระเบื้องหลังคามีขนาดใหญ่กว่าชิ้นทดสอบ) ปล่อยให้เย็นในเตาเผา แผ่นหลังคาที่ได้แสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.16 ฟันผงสีผสมเคลือบลงบนแผ่นหลังคา



รูปที่ 3.17 เตรียมแผ่นหลังคาเข้าเตาเผา



ก



ข

รูปที่ 3.18 แผ่นหลังคา ก ใช้เม็ดสี LG3 และ ข ใช้เม็ดสี A919

3.5.2 การเตรียมห้องทดสอบสมรรถนะของเม็คสี

เตรียมห้องทดสอบโดยวางไว้กลางแจ้ง เพื่อวัดอุณหภูมิภายในห้องขณะที่ได้รับรังสีอาทิตย์ ห้องทดสอบมีขนาด $1 \times 1 \times 1$ เมตร จำนวน 2 ห้อง แต่ละห้องใช้โครงทำด้วยโลหะกลวงสี่เหลี่ยม ขนาด 2.5×2.5 เซนติเมตร ผนังทำด้วยแผ่นยิปซัมความหนา 5 มิลลิเมตร ด้านนอกทาสีฉนวนกันความร้อนด้วยสีขาวทึบเพื่อป้องกันความร้อนเข้าทางด้านข้าง สำหรับด้านในบุด้วยโฟมพอลิยูรีเทนความหนา 5 เซนติเมตรทั้ง 5 ด้าน (ด้านข้าง 4 ด้านและพื้นด้านล่าง) ห้องทดสอบแสดงในรูปที่ 3.19 สำหรับด้านบนเป็นหลังคาโดยมีแปะซึ่งทำด้วยโครงโลหะสำหรับเตรียมปูหลังคาด้วยแผ่นกระเบื้อง



รูปที่ 3.19 ห้องทดสอบด้านในบุด้วยโฟมพอลิยูรีเทนความหนา 5 เซนติเมตร

3.5.3 การประกอบและการติดตั้งอุปกรณ์

ประกอบห้องทดสอบและหลังคาปิดให้มิดชิด ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) ที่ตำแหน่งผิวหลังคาด้านบน, ผิวหลังคาด้านล่าง, กลางห้อง (โดยแขวนไว้กลางห้องอย่าให้ติดผนัง) และบรรยากาศด้านนอก (แขวนไว้เพื่อวัดอุณหภูมิอากาศภายนอก) ทั้ง 2 หลังติดเทอร์โมคัปเปิลเหมือนกัน โดยปลายอีกด้านของเทอร์โมคัปเปิลต่อกับกล่องบันทึกข้อมูล (datalogger, Graphtec GL200-UM-851) ดังรูปที่ 3.20 เพื่อบันทึกอุณหภูมิทุก 4 นาที การวิจัยได้ติดตั้ง pyranometer เพื่อวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ไว้ด้วยแสดงในรูปที่ 3.21 สำหรับการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลและการวัดอุณหภูมิเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของหลังคาทั้งสองชนิดแสดงในรูปที่ 3.22 การวิจัยนี้ได้ทำการวัดอุณหภูมิในช่วงฤดูร้อน ตั้งแต่วันที่ 2 ถึง 4 พฤษภาคม 2556 ใช้สถานที่อาคารเรียนรวม คาดฟ้าชั้น 7 สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย



รูปที่ 3.20 datalogger ใช้บันทึกอุณหภูมิ



รูปที่ 3.21 pyranometer ใช้วัดความเข้มรังสีอาทิตย์



รูปที่ 3.22 ห้องทดสอบกลางแจ้งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและบันทึกข้อมูล

