

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

แก้วสีแดงทับทิม (Gold Ruby Glass) มีประวัติความเป็นมาอย่างยาวนานตั้งแต่ยุคสมัยโรมัน แก้วสีแดงนั้นเกิดจากการเติมสารละลายทองคำลงในแก้วชนิดซิลิเกต ซึ่งแก้วชนิดนี้มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2), โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3), แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) และสารตัวเติม เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ส่วนผสมทั้งหมดหลอมเหลว กลายเป็นน้ำแก้ว ทำให้อุณหภูมิของทองคำแพร่กระจายตัวอยู่ภายในเนื้อแก้วในระดับนาโนเมตร เมื่อแสงส่องผ่านจะมองเห็นเป็นสีแดง [1] ในปัจจุบันแก้วสีแดงทับทิมนี้ได้รับความนิยม โดยนำมาผลิตเป็นแก้วศิลปะ รวมถึงการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ อาทิเช่น แก้วน้ำ แจกัน เนื่องจากเป็นสีที่มีความสวยงาม เหมาะสำหรับการนำมาประดับตกแต่ง บ้านเรือน

แก้วสีแดงทับทิมที่มีชื่อเสียงที่สุดใบหนึ่ง จากยุคโรมันตอนปลายได้แก่ ถ้วยไลเคอร์กัส (The Lycurgus Cup) ซึ่งปัจจุบันถ้วยใบนี้เก็บรักษาไว้ในพิพิธภัณฑ์อังกฤษในลอนดอน [4]



ภาพที่ 1.1 แสดงภาพถ้วยไลเคอร์กัส (ก) เมื่อแสงตกกระทบทางด้านนอกเห็นเป็นสีเขียว และ (ข) เมื่อแสงส่องผ่านจากทางด้านในเห็นเป็นสีแดง [4]

ยุคต่อมาในศตวรรษที่ 17 แก้วสีแดงมีการพัฒนาโดยนักเล่นแร่แปรธาตุ Johann Kunckel [1] โดยนำสารละลายผสมระหว่างทองคำและดีบุก เติมนลงในน้ำแก้ว ทำให้แก้วมีสีแดงทับทิม ด้วยเหตุนี้เทคนิคการผลิตแก้วสีแดงทับทิมจึงเป็นต้นแบบสำหรับการพัฒนาแก้วสีแดงในยุคปัจจุบัน ภาพที่ 1.2 แก้ว Brandenburg cup ซึ่งเชื่อกันว่าแก้วใบนี้มีสีแดงทับทิมสวยที่สุด เนื่องจากมีสีสดและลวดลายงดงาม ต่อมา Antonio Neri นักประดิษฐ์แก้ว [2] ได้คิดค้นเทคนิคสำหรับใช้ในกระบวนการผลิต ทำให้สามารถผลิตแก้วสีแดงที่มีคุณภาพ โดยมีสีสม่ำเสมอ และผลิตได้ครั้งละมากๆ จนได้รับรางวัลโนเบล ในปี 1925



ภาพที่ 1.2 แสดงภาพแก้ว Brandenburg cup

แก้วสีแดงทับทิมนี้เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมแก้วศิลปะ แต่ยังคงมีความยุ่งยากในกระบวนการผลิต เนื่องจากเป็นไปได้อย่างที่จะขึ้นรูปชิ้นงานเป็นผลิตภัณฑ์โดยตรงจากน้ำแก้วที่ยังหลอมเหลว เพื่อจะยังคงให้เกิดสีแดงทับทิมได้ เพราะว่าคุณสมบัติในการทำให้อุณหภูมิที่แพร่กระจาย มีการเจริญเติบโต สูงกว่า อุณหภูมิจุดอ่อนตัวของเนื้อแก้ว (Softening temperature) ปัจจัยที่มีผลคืออุณหภูมิในกระบวนการทางความร้อนและเวลาที่ใช้มากเกินไป ทำให้แก้วมีความหนืดต่ำลง ส่งเสริมให้เกิดการแพร่ของอะตอมทองคำได้ดีขึ้น และเวลาที่นานเกินไปนั้นจะทำให้อะตอมของทองคำเคลื่อนที่มารวมกันจนเป็นคลัสเตอร์ที่มีขนาดใหญ่เกินไป จะเห็นว่าด้วยกระบวนการทางความร้อนนี้มีผลทำให้การควบคุมสีที่เกิดในแก้วมีความลำบากกว่าปกติ ทำให้การผลิตซ้ำให้มีคุณภาพสีที่สม่ำเสมอเป็นไปได้ยาก [3]

การผลิตแก้วสีแดงที่มีคุณภาพสีสม่ำเสมอในทุกๆ ครั้งเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องของอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการทางความร้อน ถ้าอุณหภูมิและเวลาสำหรับกระบวนการทางความร้อนสูงเกินไปหรือน้อยเกินไป ส่งผลต่อการไหลของน้ำแก้ว_ และ ความหนืดของแก้ว_ ทำให้อุณหภูมิของทองคำไม่สามารถเคลื่อนที่กระจายตัวอย่างทั่วถึง ก็อาจจะทำให้สีของแก้วแดงทับทิม นั้นเปลี่ยนแปลงไปได้ง่าย นอกจากนี้วัตถุดิบบางชนิดที่ใช้ในการผลิตแก้ว มีความเป็นพิษ และอันตรายสูง เช่น ตะกั่วออกไซด์ (PbO) เมื่ออาหารสัมผัสกับภาชนะอาจทำให้อาหารมีการปนเปื้อนของ PbO และเมื่อร่างกายได้รับในปริมาณที่เกินกว่า_ จะทำให้เกิดโรค_ □ เป็นต้น ซึ่งในการทดลองนี้จะหลีกเลี่ยงสารที่เป็นพิษ โดยใช้วัตถุดิบชนิดอื่นๆ ที่มีความปลอดภัย ไม่เป็นพิษ เพื่อความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และปลอดภัยต่อร่างกายมนุษย์มากขึ้น

ในปัจจุบันพบว่า สารประกอบออกไซด์ที่ทำให้เกิดสีแดงนั้น ส่วนใหญ่เป็นสารที่มีพิษ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาสูตรแก้ว โดยใช้อุณหภูมิของทองคำจากแผ่นทองคำเปลว ซึ่งปลอดภัยจากการใช้สารเคมีที่เป็นสารพิษ อย่างเช่น สารจากกลุ่มแคดเมียมซาลโคจีไนด์ (CdS, CdSe) และสารพิษจากตะกั่ว ที่มีอันตรายต่อสุขภาพ ระบบการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งส่งผลต่อเนื้อเยื่อหัวใจ การทำงานของไต เลือด และระบบสืบพันธุ์ □

ในงานวิจัยนี้ใช้แผ่นทองคำเปลวร่วมกับการใช้ซีลีเนียมไดออกไซด์ (SeO₂) เพื่อปรับเปลี่ยนระดับสีและควบคุมสภาวะรีดอกซ์ ในแก้วภายใต้สภาวะการหลอมแบบออกซิเดชัน ทดแทนการใช้สารประกอบคลอไรด์ของทอง หรือสารกลุ่มแคดเมียมซาลโคจีไนด์ที่มีความเป็นพิษ ทำให้ผู้วิจัยสามารถพัฒนาสูตรแก้วสีแดงทับทิม ที่มีความสวยงาม ไม่มีการใช้สารที่เป็นพิษ และไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1. เพื่อศึกษาและพัฒนาสูตรแก้วสีแดงทับทิม (Gold ruby glass) โดยใช้อุณหภูมิของทองคำจากแผ่นทองคำเปลวเพื่อให้เกิดสีแดงที่มีความสวยงาม และมีระดับสีแดงที่สม่ำเสมอทุกครั้งที่การผลิต
- 1.2.2. การพัฒนาสูตรแก้วที่มีความคงทน และปลอดภัยจากสารพิษที่เป็นอันตราย

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1. พัฒนาสูตรแก้วสีแดงทับทิม ที่มีความปลอดภัยจากสารพิษ ในกลุ่มแคดเมียมซาลโคจีไนด์ และสารตะกั่ว
- 1.3.2. ศึกษาปริมาณของสารเติมแต่งที่ใช้ควบคุมสภาวะรีดอกซ์ (Redox additives) ได้แก่ แผ่นทองคำเปลว (Gold foil) ผงคาร์บอน (Carbon black) และซีลีเนียมไดออกไซด์ (SeO_2) เพื่อปรับเปลี่ยนระดับสี โดยต้องการให้แก้วมีระดับสีที่มีความสม่ำเสมอ และควบคุมสภาวะรีดอกซ์ ในแก้วภายใต้สภาวะการหลอม
- 1.3.3. วิเคราะห์ชิ้นงานแก้ว
 - 1.3.3.1 เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer เพื่อวัดค่าสีในระบบ CIE L^*a^*b ให้อยู่ ในช่วงของแก้วสีแดงทับทิม
 - 1.3.3.2 เครื่อง Dilatometer เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficient of thermal expansion , COE) และอุณหภูมิการเปลี่ยนเป็นโครงสร้างของแก้ว
 - 1.3.3.3 เครื่อง Strain viewer เพื่อหาค่าความเครียดภายในของชิ้นงานแก้ว
 - 1.3.3.4 เครื่อง Auto clave เพื่อทดสอบค่าความทนทานต่อการละลายของสารเคมี (Chemical attack) ตามมาตรฐาน ASTM C225-85
 - 1.3.3.5 เครื่อง Viscometer fiber elongation เพื่อวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสม
 - 1.3.3.6 เครื่อง X-ray fluorescence เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุในชิ้นงานแก้ว

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

- 1.4.1. ศึกษาหัวข้อโครงการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2. กำหนดสูตรแก้วจากโปรแกรม Glass calculation
- 1.4.3. ออกแบบการทดลอง
- 1.4.4. เตรียมสารวัตถุดิบ และชั่งน้ำหนักสารสำหรับการหลอม
- 1.4.5. การหลอมแก้ว โดยใช้สูตรที่ไม่ใส่สารตะกั่ว โดยเปลี่ยนแปลงสารที่นำมาใช้ทดแทน
- 1.4.6. เลือกสูตรแก้วที่มีสีแดง และมีความสม่ำเสมอของระดับสีมาเป็นสูตรหลัก จากนั้นชั่งน้ำหนักของสาร เตรียมการหลอมแก้ว ใช้สามเหลี่ยมด้านเท่า กำหนดการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร
- 1.4.7. หลอมแก้วตามสูตรที่แตกต่างกัน และจัดชิ้นงานแก้ว
- 1.4.8. วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนด้วยเครื่อง Dilatometer
- 1.4.9. วิเคราะห์ค่าความเครียดภายในชิ้นงานแก้วด้วยเครื่อง Strain viewer
- 1.4.10. วิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE L*a*b ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer
- 1.4.11. วิเคราะห์ค่าความทนทานการละลายของสารเคมีด้วยเครื่อง Auto clave
- 1.4.12. วิเคราะห์ค่าความหนืดและอุณหภูมิของแก้วด้วยเครื่อง Viscometer fiber elongation
- 1.4.13. วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในชิ้นงานแก้วด้วยเครื่อง X-ray fluorescence
- 1.4.14. รวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ และสรุปผล
- 1.4.15. จัดทำรูปเล่ม และนำเสนอผลงาน

1.5 ผลที่ได้รับ

- 1.5.1. ทราบถึงข้อมูลการพัฒนาสูตรแก้วสีแดงทับทิม ที่มีสีแดงสวยงาม มีระดับสีที่มีความสม่ำเสมอ กันทั่วภายในชิ้นงานแก้ว และเกิดสีแดงขึ้นในทุกๆ ครั้งของกระบวนการผลิต
- 1.5.2. เป็นการสร้างสิ่งแวดล้อมที่ดี จากการลดการใช้สารที่มีพิษและเป็นอันตรายต่อสุขภาพร่างกาย

1.6 ปัญหาการพัฒนาโครงการ

- 1.6.1. สารเคมีที่ใช้ในการทดลองมีราคาสูง
- 1.6.2. เกิดความผิดพลาดจากการเตรียมสารเคมี และการชั่งน้ำหนักสารวัตถุดิบ
- 1.6.3. เนื่องจากการขึ้นรูปชิ้นงานเป็นก้อนสี่เหลี่ยม ทำให้ขนาดและรูปร่างมีผลต่อการวิเคราะห์

บทที่ 2

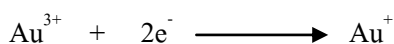
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 ทฤษฎีการเกิดสีของแก้วสีแดง

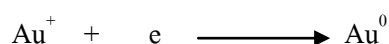
แก้วสีแดงทับทิม หรือที่ทางประเทศในแถบยุโรปรู้จักกันในชื่อ Cranberry glass เป็นแก้วที่มีสีแดง ก่อนไปทางสีชมพูเข้ม อยู่ในกลุ่มของ Soda lime silicate glass เป็นแก้วที่มีอนุภาคของทองคำในระดับนาโนเมตรกระจายตัวอยู่ในเนื้อแก้ว แก้วจึงมีสีแดงสวยงาม เหมาะสำหรับการประดับตกแต่ง หรือการนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาสมบัติทางแสงของอนุภาคโลหะ และในปัจจุบันมีการศึกษาในเรื่องของ Electro optic ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกล้องจุลทรรศน์

โดยทั่วไปแล้วในกระบวนการผลิตแก้วสีแดงจากสารละลายทองคำนั้นจะใช้ปริมาณสารที่เป็นสารตั้งต้นในระดับหนึ่งในล้านส่วนต่อน้ำหนักวัตถุดิบรวม แล้วนำไปหลอมเข้าด้วยกัน โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 1400–1500 °C อะตอมของโลหะทองคำยังคงสถานะอยู่ภายใต้สภาวะการหลอมนั้น ตลอดจนเมื่อลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วก็ยังคงสถานะเป็นโลหะทองคำอยู่เช่นเดิม

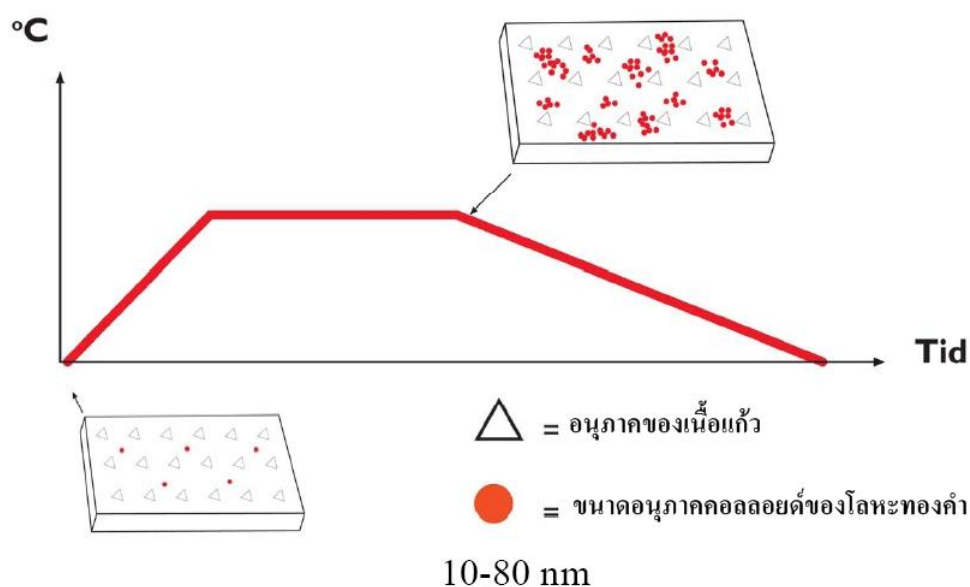
แก้วสีแดงทับทิมนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของไอออนจาก ไตรวาเลนต์ทองคำ (Au^{3+}) เป็นโมโนวาเลนต์ทองคำ (Au^+) โดยมีสารรีดิวซ์ แอติฟเป็นตัวออกซิไดซ์ แล้วจึงเปลี่ยนกลายเป็นอะตอมของทองคำดั่งสมการ ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้อนุภาคของทองคำ หลากๆอนุภาคเกิดรวมตัวกัน เป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า คลัสเตอร์ (Clusters) เมื่อนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนเป็นโครงสร้างของแก้ว (Glass transition temperature, T_g) ของแก้วเล็กน้อย อนุภาคของโลหะทองคำจะค่อยๆแพร่มารวมกันเป็นคลัสเตอร์ที่ใหญ่ขึ้น จนมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 - 50 นาโนเมตร จะสามารถดูดกลืนแสง และปรากฏแสงสีแดงขึ้น [1], [2]



เมื่อทำการชั่งวัตถุดิบต่างๆ ให้มีความเหมาะสม ก็จะใส่อนุภาคของทองคำในรูปของสารละลายทองคำ อย่าง Gold (III) Chloride หรือใช้แผ่นทองคำเปลว ร่วมกับสารอื่นๆ ที่เป็น Redox additives อย่างเช่น SeO_2 , Carbon, Na_2SeO_3 , Fe_2O_3 , SnO ฯลฯ ซึ่งสารที่เป็น Redox additives เหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (Oxidized) จากทองที่มีประจุบวก กลายเป็นทองมีประจุเป็นศูนย์เกิดปฏิกิริยารับอิเล็กตรอน (reduction)



เมื่อให้ความร้อนแก่วัตถุดิบสำหรับผลิตแก้วและสารละลายทองคำ จนถึงอุณหภูมิ $1500\text{ }^\circ\text{C}$ จนกลายเป็นน้ำแก้ว อนุภาคของโลหะทองคำ (Au^0) จะกระจายตัวอยู่ในแก้ว ยังคงอยู่ไม่ได้สูญหายไป หลังจากนั้นเมื่อการเทน้ำแก้วลงบนแม่พิมพ์ อนุภาคของทองคำที่กระจายตัวอยู่ในน้ำแก้วจะค่อยๆ แพร่มา รวมตัวกันโตขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 นาโนเมตรจุดกลืนแสงสีอื่นๆ ทำให้แก้วนี้เองเกิดสีแดง ดังรูปที่ 2.1

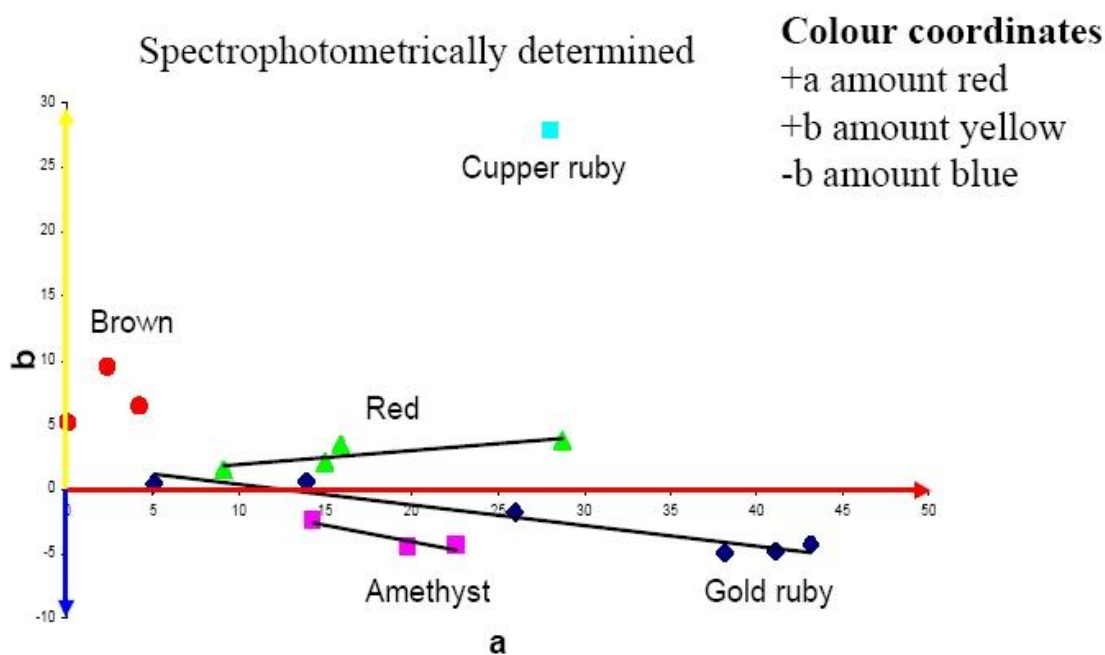


รูปที่ 2.1 แสดงการแพร่ของอนุภาคโลหะทองคำที่มารวมตัวกัน

จากปรากฏการณ์ที่อนุภาคของโลหะทองคำแพร่กระจายนั้นเราจะเรียก ปรากฏการณ์นี้ว่า Surface plasmon resonance ซึ่งอธิบายการเกิดสีแดง Gold ruby glass จากอนุภาคของโลหะทองคำ ซึ่งแก้วนี้เมื่อทำการเท จะเกิดสีแดงโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทางความร้อน เราเรียกแก้วที่เกิดสมบัตินี้ว่า Self Striking

ในทางตรงกันข้ามถ้าหากน้ำแก้วที่เทออกมานั้น มีความใส ไม่เกิดสี ก็เนื่องมาจากว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคโลหะทองคำที่แพร่มารวมกัน มีขนาดที่เล็กเกินไป หรือ ใหญ่จนเกินไปทำให้ไม่สามารถเกิดสีแดงได้ จึงต้องนำแก้วนั้นมาผ่านกระบวนการทางความร้อนซ้ำอีกครั้ง ให้แก้วนั้นสามารถเกิดสีแดงได้อีกครั้งหนึ่ง เราจะเรียกแก้วที่มีสมบัติแบบนี้ว่า Striking โดยแก้วที่เทแล้วไม่เกิดสีตั้งแต่ตอนแรก ก็จะทำให้แก้วนั้นสิ้นเปลืองพลังงาน

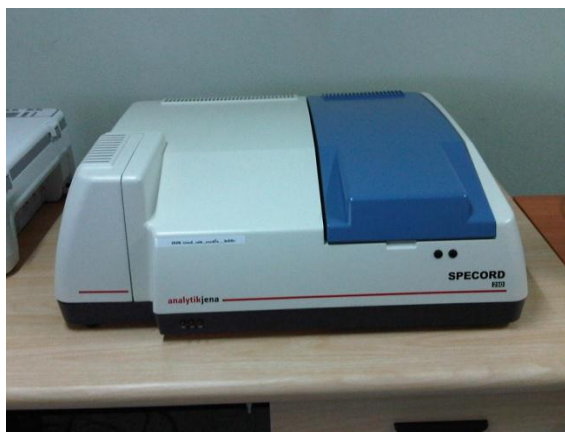
ดังนั้นในงานศึกษาวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นแก้วที่เกิดสมบัติ Self Striking เพื่อให้แก้วนี้เกิดสีแดงได้เอง มีสีที่สม่ำเสมอ และเมื่อทำการวัดสีของแก้ว ค่าที่ได้ต้องเป็นสีแดงทับทิม ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2.2 แสดงค่าการวัดสีจากเครื่อง UV-Visible ให้เห็นช่วงของสีต่างๆ

2.2 เครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง (UV-Vis Spectrophotometer)

UV-Vis spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด ปริมาณแสง ในช่วงรังสียูวีและช่วง แสงขาว ที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืน โดยตัวอย่าง ที่วางอยู่ใน เครื่องมือ ความยาวคลื่นแสง จะมีความสัมพันธ์กับ ปริมาณ และ ชนิดของ สาร ที่มีอยู่ในตัวอย่างซึ่ง โดย ส่วนใหญ่ จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน และสารอนินทรีย์ที่สามารถ ดูดกลืนแสง ในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้



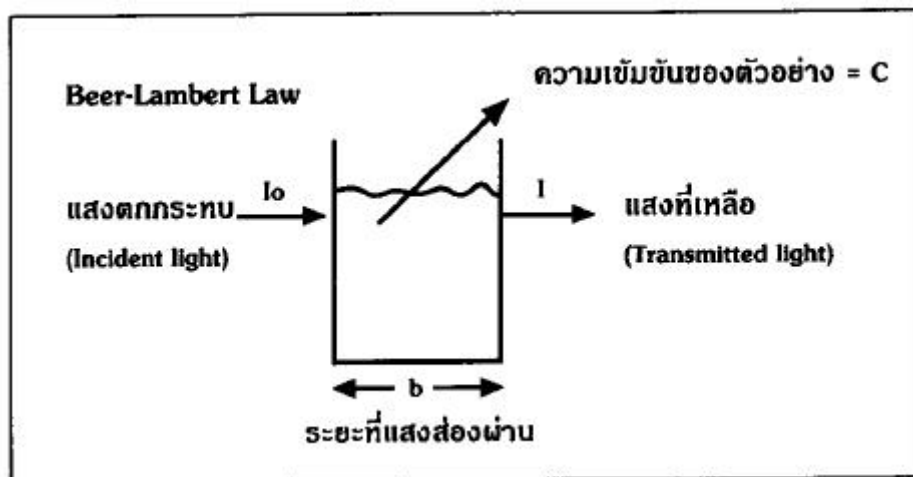
รูปที่ 2.3 แสดงเครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง (UV-Vis Spectrophotomete)

คลื่น แม่เหล็กไฟฟ้ามีแถบสเปกตรัม ตั้งแต่ช่วงความยาวคลื่นสั้น (รวมทั้งรังสีแกมมาและรังสีเอ็กซ์) ไปจนถึง ช่วงความยาวคลื่นยาว (รวมถึงไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ) รังสียูวีและแสงขาวเป็นเพียงส่วน เล็กๆ ส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จัดอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร โดยที่แสงหรือ Radiation เมื่อส่องผ่านสารที่สามารถดูดกลืนแสงได้ แสงที่ถูกดูดกลืน เรียกว่า Absorbance (A) โดยสัมพันธ์กับค่า Transmittance (T) ดังนี้

$$A = \frac{\log I_0}{I}$$

เมื่อ I_0 = ความเข้มของแสงที่ตกกระทบ

I = ความเข้มของแสงที่เหลือ (Transmittance)



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ตามกฎของเบียร์ (Beer's law)

นอกจากนี้ความสัมพันธ์ตาม Beer's law อื่น ๆ ที่ควรทราบคือ

$$A = abc$$

โดยที่ a = absorbtivity

b = ระยะทางที่แสงส่องผ่าน หรือความกว้างของ cell

c = ความเข้มข้นของตัวอย่าง

นอกจากนี้

$$A = 2 - \log \% T = -\log T = \log \frac{1}{T}$$

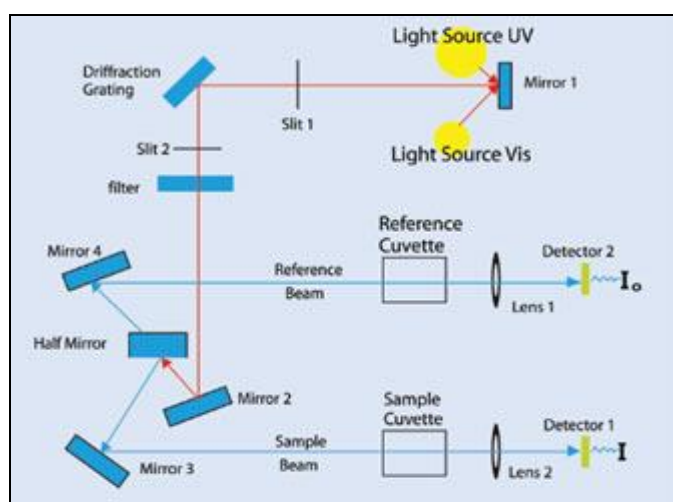
$$T = \frac{I}{I_0}$$

2.2.1. การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

เมื่อ ทำการวัดปริมาณ ของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจาก แหล่งกำเนิด ที่ ความยาวคลื่นค่าต่างๆ ชิ้นงานตัวอย่าง ต้องผ่านการขัด ด้วยเครื่องขัดแก้วให้มีความมันวาวทั้งสองด้าน และมีระนาบที่เท่ากัน เพื่อที่จะให้แสงสามารถส่องผ่านได้

2.2.2. การทำงานของเครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง (UV-Vis Spectrophotometer)

เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่นำเทคนิค UV-Vis spectroscopy ไปใช้งาน เครื่องมือตัวนี้ทำหน้าที่ในการตรวจวัด ความเข้ม แสงที่ผ่านหรือสะท้อนจากตัวอย่างเปรียบเทียบกับความเข้มแสงจาก แหล่งกำเนิด เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง(light source) เกรตติ้ง(grating) หรือ โมโน โครเมเตอร์ (monocromator) เซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่าง(cuvette) และ เครื่องตรวจ วัดแหล่งกำเนิดแสง จะต้องให้แสงที่คงที่อย่างต่อเนื่อง ตัวที่นิยมใช้ คือ หลอดทังสเตนฮาโลเจน ซึ่งให้แสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 320-2,500 นาโนเมตร



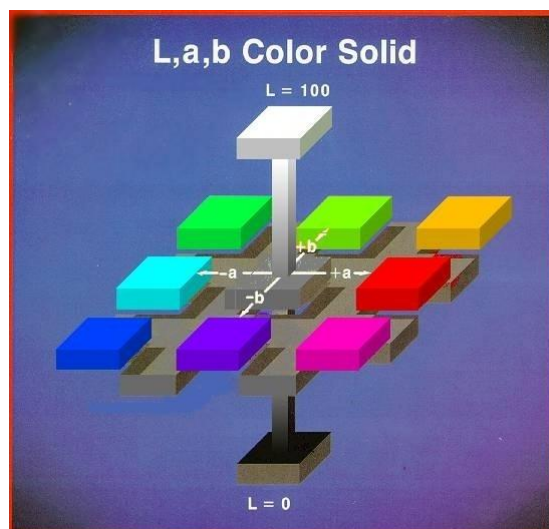
รูปที่ 2.5 แสดงการทำงานของเครื่อง (UV-Vis Spectrophotometer) แบบลำแสงคู่

2.2.3. ทฤษฎีการวัดสี

ในการวัดสีนั้น ถ้าเราใช้สายตาของมนุษย์เป็นเกณฑ์จะทำให้เกิดความผิดพลาดได้ง่ายเนื่องจากสายตาของคนเรานั้น แยกแยะสีต่างๆได้ไม่เหมือนกัน ดังนั้นในการวัดสีเราจะใช้เครื่อง UV-Visible ในระบบ Commission International de l'Eclairage(CIE) เนื่องจากว่าเป็นเครื่องมือที่ไม่ต้องอาศัยประสบการณ์หรือ ความคิดมนุษย์ในการวัดสีโดยจะวัดสีออกมาเป็นค่าตัวเลข ซึ่งมีข้อดีอยู่หลายประการ คือ

- เป็นระบบที่ไม่ขึ้นกับการมองเห็นของแต่ละบุคคล ทำให้ลดปัญหาขัดแย้งลงได้
- เป็นระบบการวัดสีออกมาเป็นตัวเลข ดังนั้นถึงแม้จะขึ้นตัวอย่างจะซีดลง ตามกาลเวลา แต่ค่าตัวเลขที่มีอยู่ ก็ยังทราบได้ว่าสีเดิมนั้น เป็นอย่างไร
- เป็นระบบที่สามารถนำไปคำนวณและทำนายสูตรสีผสมได้

ปัจจุบันนี้เราใช้ CIE L*a*b 1976 เป็นสมการที่ใช้ในการระบุสีที่เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง ซึ่งมีลักษณะของ color space ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของระบบสีแบบค่าตัวเลขจากสมการ CIE L*a*b 1976

โดย L^* ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness)

$L = 0$ = perfect black sample

$L = 100$ = perfect white sample

a^* ใช้กำหนดค่าสีแดง หรือ สีเขียว

a เป็น + วัตถุมีสีออกแดง

a เป็น - วัตถุมีสีออกเขียว

b^* ใช้กำหนดค่าสีเหลือง หรือ สีเขียว

b เป็น + วัตถุมีสีออกเหลือง

b เป็น - วัตถุมีสีออกน้ำเงิน

ซึ่งแก้วสีแดงทับทิมควรมีค่า a อยู่ในช่วง $5 < a < 40$ และค่า b อยู่ในช่วง $-5 < b < 1$ ดังรูปที่ 2.2

2.3 เครื่องตรวจวัดความเครียดภายในของแก้ว (Strain viewer)

Strain viewer เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความเครียดที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยแก้ว (residual stress) ตามมาตรฐาน ASTM C-148 มีชุดแหล่งกำเนิดแสงโพลาไรซ์ (Polarized light source) โดยสามารถหาระดับความเครียด (tempered number) และสามารถแสดง profile ความเครียดในรูปแบบสี



ภาพเครื่อง Strain viewer

2.4 เครื่องทดสอบความเหนียวของแก้ว (Viscometer fiber elongation)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาอุณหภูมิสำคัญที่สัมพันธ์กับความเหนียวที่จุดต่างๆของแก้ว เช่น อุณหภูมิอบแก้ว อุณหภูมิกลาสรานสีขึ้น อุณหภูมิอ่อนตัว เป็นต้น สำหรับเครื่อง Viscometer fiber elongation ตัวอย่างมีลักษณะเป็นแท่งแก้ว ต้องเตรียมตัวอย่างโดยการนำแท่งแก้วมาเผาด้วยตะเกียงแล้วขีดออกให้เป็นเส้นตัดให้มีความยาวประมาณ 5.0 ซม. และเผาปลาย ทั้งสองข้างให้แก้วหลอมเป็นทรงกลม นำมาทดสอบตามมาตรฐาน DIN 52312part3



เครื่องทดสอบความเหนียวของแก้ว (Viscometer fiber elongation)



ภาพชิ้นงานทดสอบ

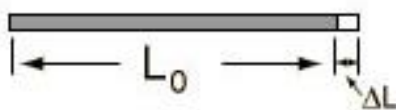
2.5 เครื่องวัดสัมประสิทธิ์การขยายตัวของแก้วเมื่อได้รับความร้อน (Dilatometer)

Dilatometer เป็นเครื่องวัดการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุ ที่ขยายตัวและ/หรือหดตัวเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่วัสดุ เช่น แก้ว เซรามิก โลหะ ซึ่งเป็นเครื่องที่วัดการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุแบบแนวนอน (horizontal design) เพื่อสะดวกต่อการใช้งาน สามารถวัดวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดน้อยมาก โดยมีระบบวัดการเปลี่ยนแปลงขนาดแบบ inductive transducer ซึ่งมี digital resolution of the Displacement และมีความละเอียดสูงสุดไม่เกิน 8 นาโนเมตร ต่อหน่วย อุณหภูมิของเตาเผาอยู่ในช่วง 25 – 1,600 องศาเซลเซียส พร้อมระบบพัลลิมระบายความร้อนที่ติดตั้งภายใน เตาเผา



เครื่องวัดสัมประสิทธิ์การขยายตัวของแก้วเมื่อได้รับความร้อน (Dilatometer)

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน โดยทั่วไปจะคำนวณได้จากสมการที่ 1 ต่อไปนี้



รูปที่ 2.10 แสดงการขยายตัวเนื่องจากความร้อนแบบเส้นตรง (linear expansion)

$$\Delta L = \frac{\alpha \Delta T}{L_0} \quad \text{—————} \quad (1)$$

- เมื่อ α = สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน
 T = อุณหภูมิห้อง
 T' = อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้วัด
 L_0 = ความยาวของชิ้นงานที่อุณหภูมิห้อง
 L = ความยาวของชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงสุด

2.6 เครื่องวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการของธาตุ X-Ray Fluorescence

เทคนิค X-Ray Fluorescence Spectrometry หรือ เทคนิค XRF เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาชนิดและปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลวและสารแขวนลอยได้

เทคนิค XRF อาศัยหลักการของการที่เมื่อรังสี X ที่มีพลังงานสูงไปกระทบชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเกิดการปล่อยโฟตอนออกมา (fluoresced) เนื่องจากโฟตอนที่ถูกปล่อยออกมาจากธาตุต่างชนิดในชิ้นงานจะมีความยาวคลื่น(พลังงาน) เฉพาะสำหรับธาตุนั้นๆ จึงทำให้สามารถบ่งชี้ชนิดของธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ ทั้งนี้ปริมาณโฟตอนเปล่งออกมาขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุนั้นในสารตัวอย่าง ข้อมูลนี้จึงสามารถนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแต่ละชนิดได้



เครื่อง X-Ray Fluorescence

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือวิเคราะห์

3.1.1 สารเคมี

- 3.1.1.1. ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide acid washed, SiO_2) ความบริสุทธิ์ 99%
ผลิตโดยบริษัท Riedel-deHaën
- 3.1.1.2. โพแทสเซียมคาร์บอเนต (Potassium carbonate, K_2CO_3) ความบริสุทธิ์ 99%

ผลิตโดยบริษัท Carlo Erba

3.1.1.3. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate anhydrous, Na_2CO_3) ความบริสุทธิ์ 99.5%

ผลิตโดยบริษัท Fisher Scientific

3.1.1.4. แคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide fine powder, CaO) ความบริสุทธิ์ 96%

ผลิตโดยบริษัท Riedel-deHaën

3.1.1.5. ลิเทียมคาร์บอเนต (Lithium carbonate, Li_2CO_3) ความบริสุทธิ์ 99.5%

ผลิตโดยบริษัท Unilab

3.1.1.6. ซีลีเนียมไดออกไซด์ (Selenium dioxide, SeO_2) ความบริสุทธิ์ 97%

ผลิตโดยบริษัท Fluka

3.1.1.7. โบรอนออกไซด์ (Boron oxide, B_2O_3) ความบริสุทธิ์ 99%

ผลิตโดยบริษัท Acros Organics

3.1.1.8. แบเรียมคาร์บอเนต (Barium carbonate, Ba_2CO_3) ความบริสุทธิ์ 99%

ผลิตโดยบริษัท Acros Organics

3.1.1.9. ตะกั่วออกไซด์ (Lead(II) oxide) ความบริสุทธิ์ 99% ผลิตโดยบริษัท Sigma-Aldrich

3.1.1.10. แผ่นทองคำเปลว (Gold Foil) ร้านศิริวรรณ ความบริสุทธิ์ 90%

3.1.1.11. ผงคาร์บอน (Carbon Black)

3.1.2 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.2.1. เตาหลอมอุณหภูมิสูง (High Temperature Chamber Furnace) 1700°C

ผลิตโดยบริษัท Carbolite รุ่น BLF 1700 ประเทศอังกฤษ

3.1.2.2. เตาอบความร้อน 1100°C ผลิตโดยบริษัท Carbolite รุ่น CWF 1100 ประเทศอังกฤษ

3.1.2.3. เครื่องชั่ง (Precision Balance) ความละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

ผลิตโดยบริษัท OHAUS รุ่น PA 214 ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.2.4. เครื่องขัดแก้ว (Grinder Polisher) ผลิตโดยบริษัท Buehler รุ่น Delta

สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

3.1.2. 5. เครื่องตัดความเร็วต่ำ (Low Speed Cutting) รุ่น Imptech series PC10 ประเทศแอฟริกาใต้

3.1.2.6. หม้ออัดความร้อน (Auto Clave)

3.1.2.7. ถ้วยอลูมินาทนความร้อน (Alumina Crucibles)

3.1.2.8. ช้อนตักสาร (Spatula)

- 3.1.2.9. คีมเหล็กด้ามยาวทนความร้อน (Tong)
- 3.1.2.10. แม่พิมพ์แท่งเหล็กรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า และแผ่นเหล็ก (Steel Plate)
- 3.1.2.11. เครื่องอุ่นความร้อน (Heating Plate)
- 3.1.2.12. แผ่นซิลิกอนคาร์ไบด์ 70 μm , 45 μm , 15 μm และ 6 μm
- 3.1.2.13. แผ่นสกัดลาด
- 3.1.2.14. น้ำยาขัดซีเรียมออกไซด์ (CeO_2)
- 3.1.2.15. บิวเรตต์ (Burettes)
- 3.1.2.16. ปิเปตต์ (Pipettes) ขนาด 10 ml
- 3.1.2.17. บีกเกอร์ (Beakers)
- 3.1.2.18. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask)

3.1.3 อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัย

- 3.1.3.1. แว่นตาป้องกันความร้อน
- 3.1.3.2. ชุดเสื้อคลุมป้องกันความร้อน
- 3.1.3.3. ถุงมือและรองเท้าป้องกันความร้อน
- 3.1.3. 4. หมวกคลุมศีรษะป้องกันความร้อน

3.1.4 เครื่องมือวิเคราะห์

- 3.1.4.1. เครื่องมือวิเคราะห์หาค่าสีในระบบ CIE L*a*b (UV-VIS Spectrophotometer)
ผลิตโดยบริษัท Analytik jena รุ่น Specord 250 สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

- 3.1.4.2. เครื่องมือวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Dilatometer)
ผลิตโดยบริษัท NETZSCH รุ่น DIL 402 ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.1.4.3. เครื่องมือวิเคราะห์ความเครียด (Strain viewer) ผลิตโดยบริษัท ilis รุ่น Strainmatic M2/250
สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี
- 3.1.4.4. เครื่องมือวิเคราะห์ค่าความหนืดและอุณหภูมิการไหลตัวของแก้ว
(Viscometer fiber elongation) ผลิตโดยบริษัท Bahr Thermoanalyse GmbH รุ่น VIS402
สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 พัฒนาสูตรแก้วสีแดงทับทิมเพื่อเปรียบเทียบการเกิดสี โดยใช้ Ba_2CO_3 , Li_2CO_3 , B_2O_3 เปรียบเทียบกับสูตรแก้วมาตรฐาน PbO

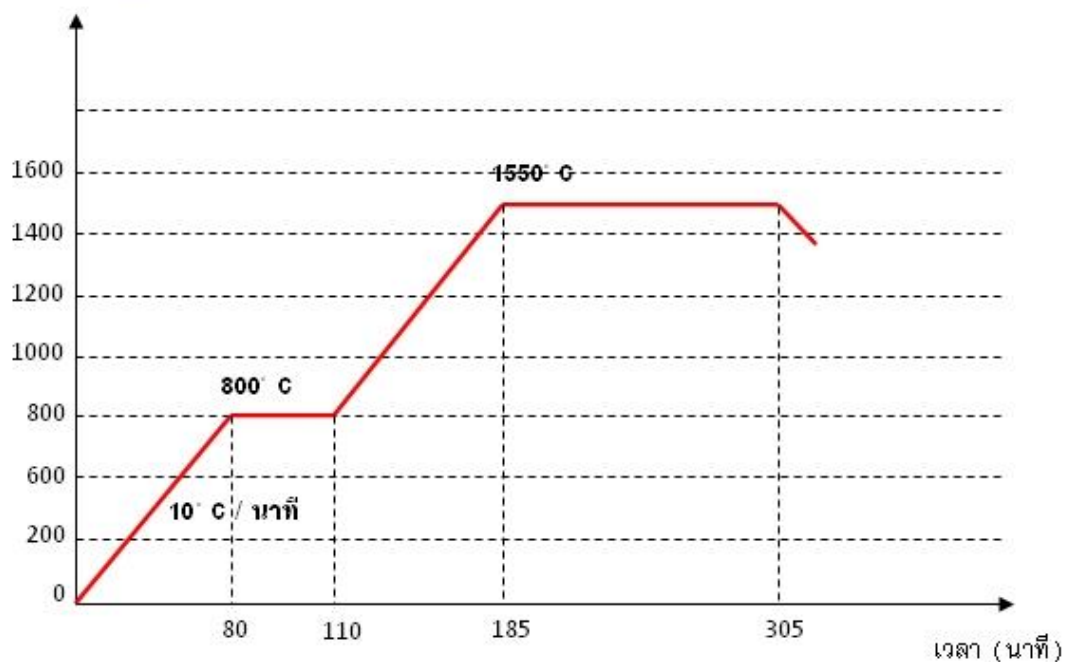
เริ่มจากการเตรียมสารเคมีประกอบด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) , แคลเซียมออกไซด์ (CaO) , โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) , โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) , แบเรียมคาร์บอเนต (Ba_2CO_3) , ลิเทียมคาร์บอเนต (Li_2CO_3) , โบรอนออกไซด์ (B_2O_3) , ตะกั่วออกไซด์ (PbO) , ซีลีเนียมไดออกไซด์ (SeO_2) , ผงคาร์บอน (Carbon Black) และแผ่นทองคำเปลว (Gold Foil) จากนั้นชั่งน้ำหนักสารวัตถุดิบ ตามที่ได้จากโปรแกรมคำนวณสูตรแก้ว (Glass Calculation) จำนวน 4 สูตร ประกอบไปด้วยสูตรที่ใส่ Ba_2CO_3 , Li_2CO_3 , B_2O_3 และ PbO ชั่งน้ำหนักสารเคมีตามสูตรแก้ว แสดงดังตารางที่ 3.1 แล้วแยกใส่ลงในถุงพลาสติก 4 ใบ แล้วชั่งน้ำหนักของผงคาร์บอน ซีลีเนียมไดออกไซด์ และแผ่นทองคำเปลว ให้มีส่วนผสมเท่าๆกัน บรรจุลงในถุงพลาสติกแล้วเขย่าเป็นเวลา เพื่อให้ส่วนผสมกระจายตัวจนเป็นเนื้อเดียวกันภายในถุง แล้วใส่ลงในถ้วยอะลูมินาทนความร้อน แล้วนำเข้าเตาหลอมอุณหภูมิสูง โดยตั้งอุณหภูมิสำหรับการหลอมแก้ว ดังแสดงดังรูป

ที่ 3.1 ซึ่งมีอัตราการให้ความร้อน $10\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{นาท}$ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นไปที่ $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ แล้วคงอุณหภูมิไว้ 30 นาที หลังจากนั้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ $1550\text{ }^{\circ}\text{C}$ และคงอุณหภูมิไว้ 120 นาที จึงเทน้ำแก้วลงบนแม่พิมพ์เหล็กซึ่งเกิดจากการนำแท่งเหล็กจำนวน 4 แท่งจัดเรียงเป็นแม่พิมพ์รูปสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 3.2 ก่อนเทน้ำแก้วลงแม่พิมพ์เหล็กเป็นเวลา 30 นาที ให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์เหล็กด้วยเตาให้ความร้อน (Heating plate) โดยวางแม่พิมพ์เหล็กดังกล่าวบน Heating plate จนมีอุณหภูมิประมาณ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ จากนั้นเทน้ำแก้วหลอมเหลวลงแม่พิมพ์เหล็ก แล้วนำชิ้นงานแก้วที่อยู่ในแม่พิมพ์เหล็ก นำไปเข้าเตาอบเพื่อผ่านกระบวนการอบอ่อน (Annealing) โดยคงอุณหภูมิไว้ที่ $570\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยขั้นตอนทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 3.3

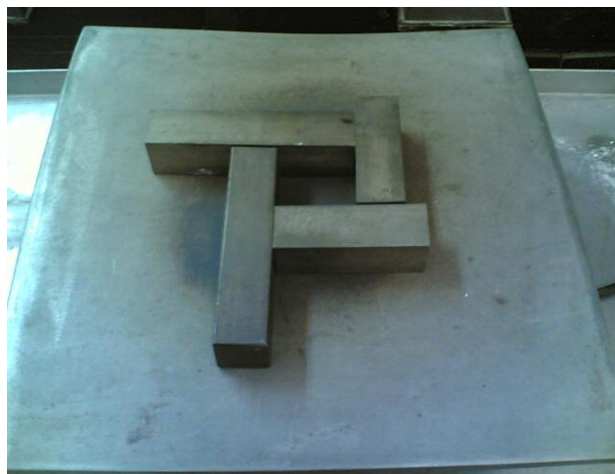
ตารางที่ 3.1 แสดงสูตรแก้วที่ใช้ในการหลอมเตรียมชิ้นงานแก้ว

| | SiO ₂ (wt%) | K ₂ CO ₃ (wt%) | CaO (wt%) | Na ₂ CO ₃ (wt%) | Carbon (wt%) | Au (ppm) | SeO ₂ (ppm) | Ba ₂ CO ₃ (wt%) | Li ₂ CO ₃ (wt%) | B ₂ O ₃ (wt%) | PbO (wt%) |
|---------------------------------|---------------------------|---|--------------|--|-----------------|-------------|---------------------------|--|--|--|--------------|
| Ba ₂ CO ₃ | 71.29 | 5.94 | 10.89 | 10.89 | 0.1 | 300 | 100 | 0.99 | - | - | - |
| Li ₂ CO ₃ | | | | | | | | - | 0.99 | - | - |
| B ₂ O ₃ | | | | | | | | - | - | 0.99 | - |
| PbO | | | | | | | | - | - | - | 0.99 |

อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)



รูปที่ 3.1 แสดงอุณหภูมิสำหรับการหลอมแก้ว

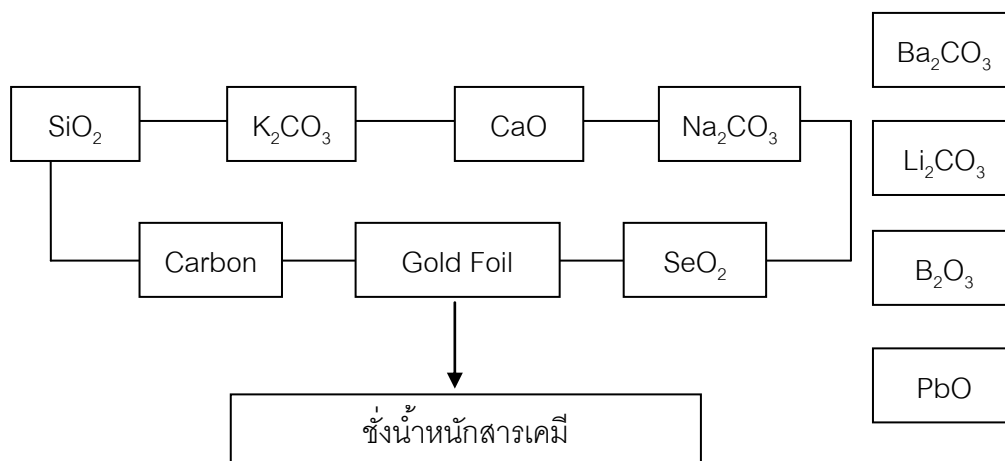


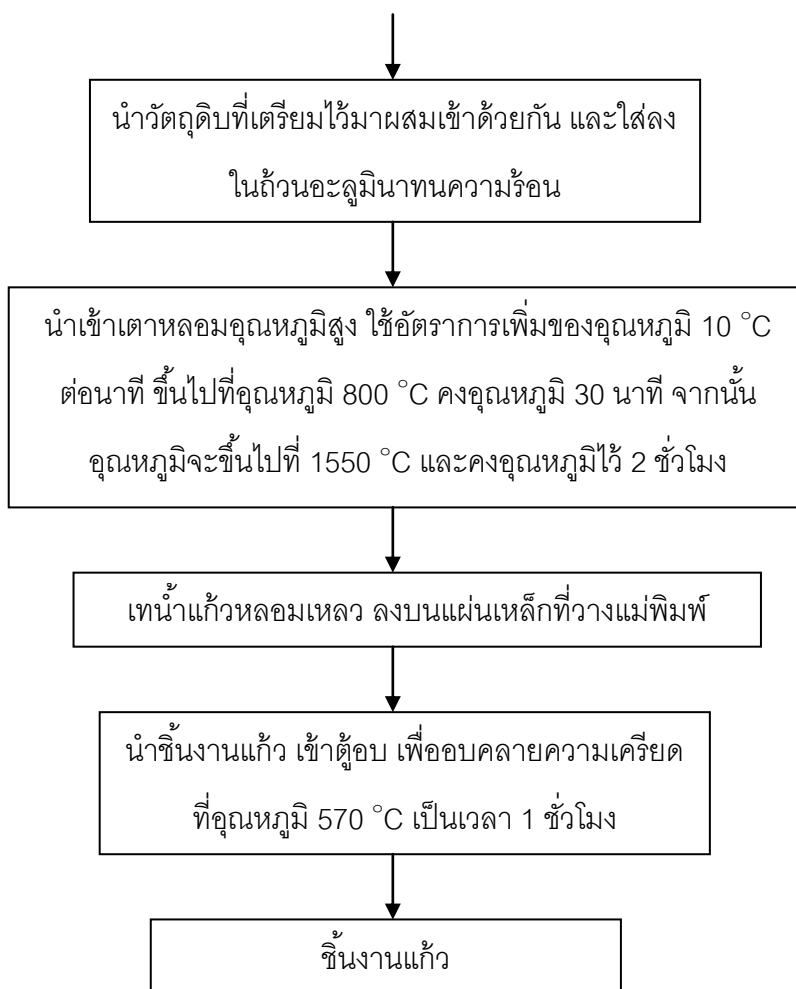
รูปที่ 3.2 แสดงภาพการจัดเรียงแท่งเหล็กเป็นแม่พิมพ์

การเทน้ำแก้วที่หลอมเหลว ให้มีผู้ช่วยคอยเปิดเตาหลอมอุณหภูมิสูง แล้วใช้คีมทนความร้อน คีบถ้วยอะลูมินาทนความร้อน ที่อยู่ภายในเตา โดยหากถนัดมือขวา ให้คีบปากถ้วยทางด้านซ้าย และเวลาเทให้เอียงเทไปทางด้านขวา จนน้ำแก้วไหลออกมาจนหมด คีบถ้วยอะลูมินาวางลงบนแผงทราย นำคีมทนความร้อนจุ่มลงไป在水里 เพื่อความปลอดภัย เมื่อน้ำแก้วเป็นชิ้นงานในแม่พิมพ์รูปสี่เหลี่ยม ให้รับนำชิ้นงานเข้าเตาอบไฟฟ้า อุณหภูมิ 570 °C ให้อบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3.3 แสดงภาพขั้นตอนการเทน้ำแก้ว



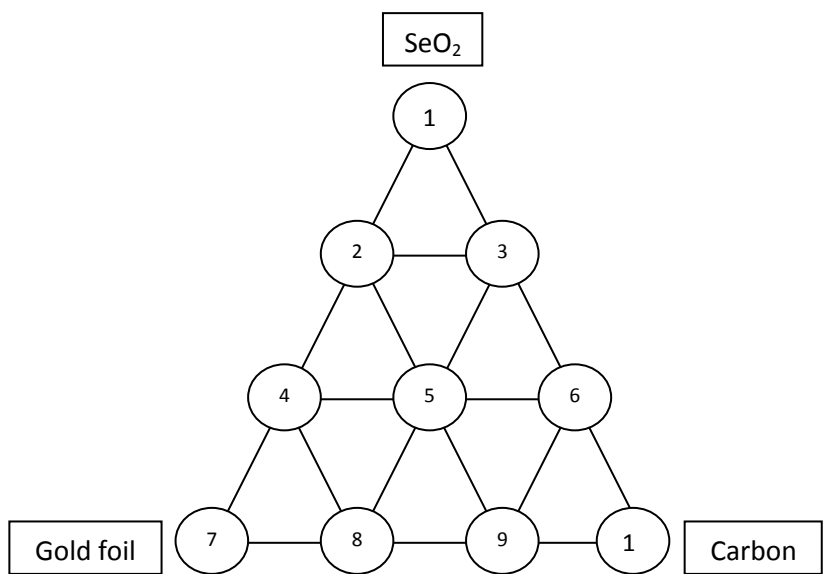


รูปที่ 3.4 แสดงขั้นตอนการหลอมแก้วในการทดลองขั้นตอนที่ 3.2.1

3.2.2 นำสูตรแก้วที่เลือกไว้มาศึกษาปริมาณของแผ่นทองคำเปลว , ซีลีเนียมไดออกไซด์ และผงคาร์บอน ที่มีความเหมาะสมเพื่อให้ได้ระดับสีที่สม่ำเสมอทั่วชิ้นงาน

การหลอมแก้วในขั้นตอนนี้ เริ่มจากการเตรียมสารเคมีประกอบด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) , แคลเซียมออกไซด์ (CaO) , โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) , โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) , โบรอนออกไซด์ (B_2O_3) , ซีลีเนียมไดออกไซด์ (SeO_2) , ผงคาร์บอน (Carbon Black) และแผ่นทองคำเปลว (Gold Foil) โดยนำสูตรแก้วที่เลือกไว้มาศึกษาปริมาณของแผ่นทองคำเปลว , ซีลีเนียมไดออกไซด์ และผงคาร์บอน ที่มี

ความเหมาะสมโดยใช้ระบบสามเฟส (Ternary phase diagram) ดังรูปที่ 3.5 ทำให้ได้สูตรแก้วทั้งหมด 10 สูตร แสดงดังตารางที่ 3.2 การเตรียมชิ้นงานแก้วในการทดลองนี้ขั้นตอนการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.6 ในขั้นตอนนี้ต้องนำชิ้นงานแก้วมาขัดด้วยเครื่องขัดแก้ว เริ่มจากการขัดหยาบด้วยแผ่นขัดซิลิกอนคาร์ไบด์ ขนาด 70 μm โดยขัดชิ้นงานให้มีหน้าตัดที่สม่เสมอกันทั้งสองด้าน โดยขัดให้ผิวหน้าไปในทิศทางเดียวกัน จากนั้นขัดด้วยแผ่นซิลิกอนคาร์ไบด์ ขนาด 45 , 15 และ 6 μm ตามลำดับ จากนั้นจะเป็นการขัดละเอียดด้วยแผ่นสักลาด กับน้ำยาขัดซีเรียมออกไซด์(CeO_2) ให้ขัดจนชิ้นงานแก้วใสและมีผิวมันวาว ไม่มีรอย

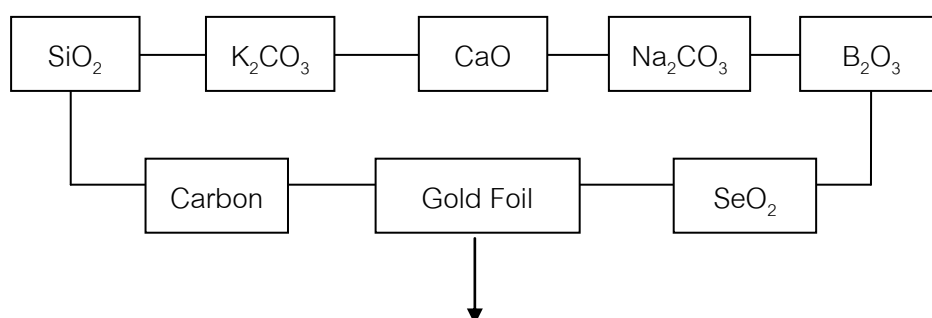


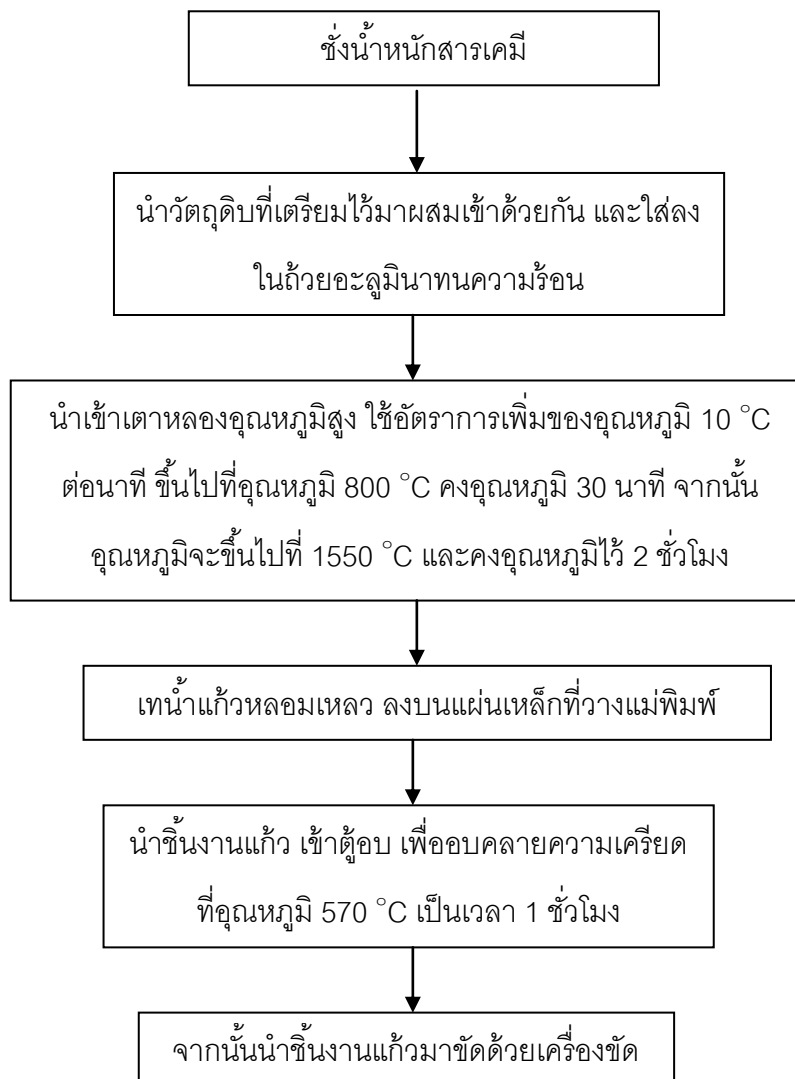
รูปที่ 3.5 แสดงสามเหลี่ยมด้านเท่า (Triaxial) ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร

ตารางที่ 3.2 แสดงส่วนผสมของสูตรแก้ว 10 สูตร

| สูตร/สาร Redox additives | แผ่นทองคำเปลว (ppm) | SeO_2 (ppm) | Carbon (wt%) |
|--------------------------|---------------------|----------------------|--------------|
| BGR1 | 150 | 200 | 0 |
| BGR2 | 200 | 150 | 0 |

| | | | |
|-------|-----|-----|------|
| BGR3 | 150 | 150 | 0.1 |
| BGR4 | 250 | 100 | 0 |
| BGR5 | 200 | 100 | 0.1 |
| BGR6 | 150 | 100 | 0.15 |
| BGR7 | 300 | 50 | 0 |
| BGR8 | 250 | 50 | 0.1 |
| BGR9 | 200 | 50 | 0.15 |
| BGR10 | 150 | 50 | 0.2 |





รูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการหลอมแก้วในทดลองขั้นตอนที่ 3.2.2

3.2.3 พัฒนาสูตรแก้วสีแดงทับทิม โดยใส่สารตัวเติมเพื่อปรับปรุงสี และดูแนวโน้มการเกิดสี

ในขั้นตอนนี้ต้องการปรับให้ระดับสี เข้าใกล้ สีแดงทับทิมมากที่สุด เริ่มจากการเลือกสูตรแก้ว จากขั้นตอนก่อนหน้า ที่มีสีแดงทับทิมใกล้เคียงช่วงของค่า $25 < a < 45$ และ $-5 < b < 0$ ซึ่งช่วงนี้เป็นช่วงของสีแดงทับทิม เราจะศึกษาแนวโน้มของการเกิดสี โดยใส่สารเติมแต่งที่ควบคุมสภาวะรีดอกซ์ภายใต้การ

หลอมนั้น ได้แก่ แคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF_2) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ทินออกไซด์ (SnO_2) แอนติโมนีออกไซด์ (Sb_2O_3) เป็นต้น

บทที่ 4

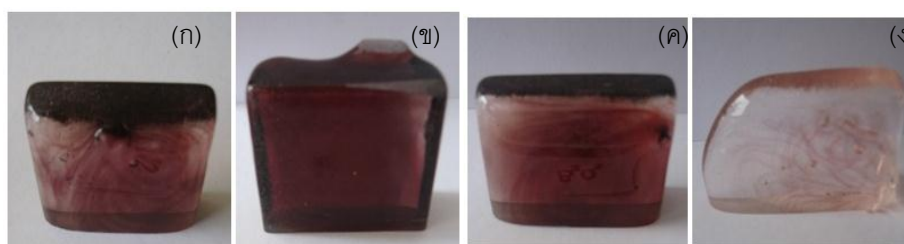
วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 พัฒนาสูตรแก้วสีแดงทับทิมโดยใช้ BaCO_3 , Li_2CO_3 และ B_2O_3 เป็นส่วนผสมเพื่อเปรียบเทียบการเกิดสีกับแก้วสีแดงทับทิมมาตรฐานซึ่งมีส่วนผสมของ PbO

4.1.1. ผลการเตรียมชิ้นงานแก้วสีแดง

ลักษณะชิ้นงานแก้วสีแดงที่เตรียมจากการหลอมและผ่านกระบวนการอบอ่อน (Annealing) ที่อุณหภูมิ 570°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงพบว่าชิ้นงานแก้วสีแดงทั้ง 4 ชนิดเกิดสีแดงขึ้นทันทีหลังจากเทน้ำแก้วลงบนแม่พิมพ์ ซึ่งลักษณะดังกล่าวแสดงสมบัติที่เรียกว่า Self striking ลักษณะชิ้นงานแก้วสีแดง BaCO_3 (รูปที่

4.1 (ก) เกิดการกระจายตัวของสีแดงไม่สม่ำเสมอและมีฟองอากาศเกิดขึ้นภายในชิ้นงาน ชิ้นงานแก้วสีแดง Li_2CO_3 (รูปที่ 4.1 (ข)) มีระดับสีแดงที่สม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงานมากกว่าชิ้นงานแก้วสีแดง BaCO_3 และยังพบฟองอากาศภายในชิ้นงาน ชิ้นงาน B_2O_3 (รูปที่ 4.1 (ค)) พบว่าชิ้นงานเกิดสีแดงที่ค่อนข้างจะสม่ำเสมอ แต่ยังมีกระจายตัวของสีไม่ทั่วทั้งชิ้นงาน และภายในชิ้นงานไม่เกิดฟองอากาศ และชิ้นงานแก้วสีแดงซึ่งมี PbO เป็นส่วนผสมเป็นชิ้นงานมาตรฐาน พบว่าชิ้นงานมีลักษณะค่อนข้างใส การกระจายตัวของสีแดงไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะบริเวณกลางชิ้น ที่เกิดการรวมตัวของสีแดงมากกว่าบริเวณขอบชิ้นงาน




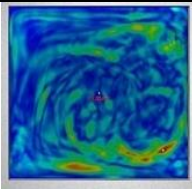
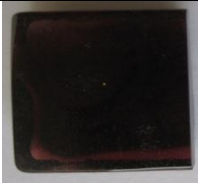
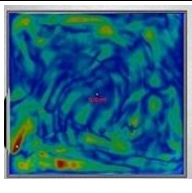
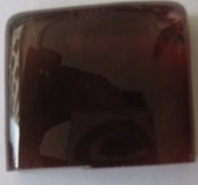
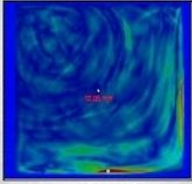

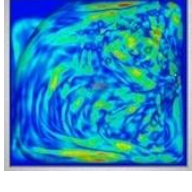
รูปที่ 4.1 แสดงชิ้นงานแก้วสีแดง (ก) BaCO_3 (ข) Li_2CO_3 (ค) B_2O_3 และ (ง) PbO

4.1.2. ผลการวิเคราะห์ความเครียดภายในชิ้นงานแก้วสีแดง

การวิเคราะห์หาค่าความเครียดภายในชิ้นงานด้วยเครื่อง Strain viewer ของแก้วทั้ง 4 ชนิด ซึ่งมีส่วนประกอบของ BaCO_3 , Li_2CO_3 , B_2O_3 และ PbO จากชิ้นงานแก้วสีเหลี่ยมจัตุรัสซึ่งมีขนาดประมาณ 3×3 เซนติเมตร หลังจากผ่านกระบวนการอบอ่อนแล้ว เมื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าความเครียดภายในชิ้นงานแก้วแสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงภาพชิ้นงานแก้วที่มองจากแสงปกติ และจากแสงโพลาไรซ์ในรูปของสี โดยบริเวณที่เป็นสีส้ม-สีแดง คือเป็นบริเวณที่ชิ้นงานมีความเครียดภายในชิ้นงานมาก และบริเวณที่เป็นสีฟ้า-สีเขียว คือเป็นบริเวณที่มีความเครียดน้อย ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าชิ้นงานแก้ว B_2O_3 มีค่าความเครียดตกค้างภายในชิ้นงานน้อยที่สุด คือ 4.05 MPa ในขณะที่ชิ้นงานมาตรฐาน PbO มีค่าความเครียดตกค้างภายในชิ้นงานมากที่สุด คือ 7.22 MPa

ตารางที่ 4.1 แสดงการวัดค่าความเครียดภายในชิ้นงานแก้ว

| ชิ้นงาน | แสงปกติ | แสงโพลาไรซ์ | ความเครียดภายในชิ้นงานสูงสุด (MPa) |
|---------|---------|-------------|------------------------------------|
| | | | |

| | | | |
|---------------------------------|--|---|------|
| BaCO ₃ |  |  | 5.09 |
| Li ₂ CO ₃ |  |  | 6.21 |
| B ₂ O ₃ |  |  | 4.05 |
| PbO |  |  | 7.22 |

4.1.3. การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนจากเครื่อง Viscometer fiber elongation

ในการวิเคราะห์ผลจากเครื่อง Viscometer fiber elongation เพื่อหาค่าตามความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิการไหลตัวของแก้ว เพื่อหาค่าอุณหภูมิที่มีความเหมาะสมกับชิ้นงานแก้วทำให้เราทราบถึงอุณหภูมิการอบอ่อน (Annealing), อุณหภูมิจุดอ่อนตัว (Softening point), อุณหภูมิ (Dilatometric softening) ทำการทดสอบชิ้นงานแก้วทั้งหมด 4 สูตร แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าอุณหภูมิของการอบอ่อน อุณหภูมิจุดอ่อนตัว และ Dilatometric softening ของชิ้นงานแก้วแต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ชิ้นงานแก้ว Li₂CO₃ มีสมบัติทางความร้อนต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.2 แสดงผลจากเครื่อง Viscometer fiber elongation ของอุณหภูมิที่เหมาะสม

| ชิ้นงานแก้ว | Annealing (°C) | Dilatometric Softening point (°C) | Softening point(°C) |
|-------------------|-----------------|------------------------------------|---------------------|
| BaCO ₃ | 594.9 | 669.2 | 789.8 |

| | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|
| Li ₂ CO ₃ | 575.3 | 657.2 | 789.4 |
| B ₂ O ₃ | 607.3 | 680.2 | 795.3 |
| PbO | 600.1 | 676.7 | 669.2 |

4.1.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านทานการละลายของสารเคมี (Chemical resistance) ตามมาตรฐาน ASTM C225-85

การวิเคราะห์ผลจากหม้ออบความดันไอร้อนสูง (Autoclave) เพื่อทดสอบความทนทานต่อการละลายของสารเคมีจากชิ้นงานแก้ว ตามมาตรฐาน ASTM C225-85 วิธีการทดสอบ B-W ใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย ทำการทดสอบชิ้นงานแก้ว 4 ชนิด จากการไทเทรตซึ่งได้สรุปผลในตารางที่ 4.3 พบว่า B₂O₃ มีการละลายของสารเคมีออกจากเนื้อแก้วน้อยที่สุด แสดงว่าชิ้นงานดังกล่าวมีความสามารถในการทนทานต่อการละลายของสารเคมีมากที่สุด และ PbO มีความสามารถในการทนทานต่อการละลายของสารเคมีน้อยที่สุด

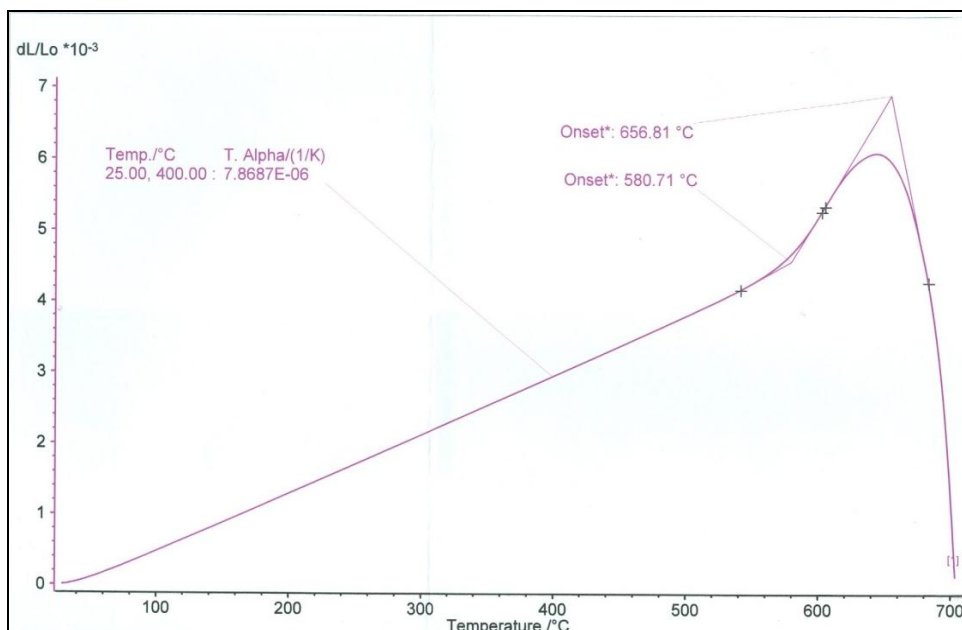
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อการละลายของสารเคมี

| ชิ้นงานแก้ว | BaCO ₃ | Li ₂ CO ₃ | B ₂ O ₃ | PbO |
|--|-------------------|---------------------------------|-------------------------------|------|
| ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตชิ้นงานแก้ว (ml) | 0.96 | 0.89 | 0.94 | 1.19 |
| ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตบีกเกอร์เปล่า (Blank) (ml) | 0.68 | 0.65 | 0.66 | 0.69 |
| การละลายของสารเคมี (ml) | 0.28 | 0.24 | 0.18 | 0.5 |

4.1.5 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนจากเครื่อง Dilatometer

การวิเคราะห์ชิ้นงานแก้วตามสมบัติทางความร้อนจากเครื่อง Dilatometer เพื่อทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficient of Thermal Expansion, COE) และอุณหภูมิการเปลี่ยนเป็นโครงสร้างของแก้ว (T_g) ทำการทดสอบชิ้นงาน 2 ชนิด คือ B₂O₃ กับ PbO ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.4

พบว่าค่า COE ของชิ้นงาน PbO มีค่า $9.59 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ และชิ้นงาน B_2O_3 มีค่า $7.86 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ในขณะที่อุณหภูมิ T_g ของ PbO มีค่า $547.25 \text{ }^\circ\text{C}$ และชิ้นงาน B_2O_3 มีค่า $580.71 \text{ }^\circ\text{C}$



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟการทดสอบชิ้นงานไดลาโตมิเตอร์

ตารางที่ 4.4 แสดงผลจากการวิเคราะห์ค่าสมบัติทางความร้อนจากเครื่อง Dilatometer

| ชิ้นงานทดสอบ | ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (25-400 °C) | อุณหภูมิการเปลี่ยนกลายเป็นเนื้อแก้ว | อุณหภูมิจุดอ่อนตัว |
|------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------|
| B_2O_3 | $7.86 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ | $580.71 \text{ }^\circ\text{C}$ | $656.81 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| PbO | $9.59 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ | $547.25 \text{ }^\circ\text{C}$ | $628.57 \text{ }^\circ\text{C}$ |

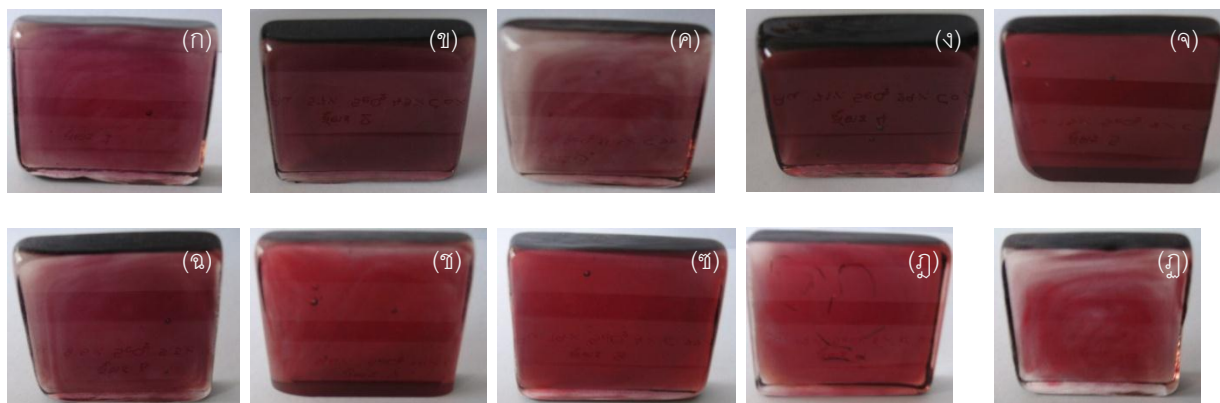
ในขั้นตอนนี้ หลังจากเราเลือกสูตรแก้วที่มีความเหมาะสมจากการทดลองที่ 4.1 โดยสูตรแก้วที่เลือกมาคือสูตรที่ได้ B_2O_3 นั้นสามารถนำมาใช้ทดแทนสารที่เป็นพิษและมีอันตราย มีระดับสีที่ค่อนข้างจะสม่ำเสมอ และเกิดสีแดงขึ้นตามสมบัติ Self striking

4.2 การศึกษาปริมาณของแผ่นทองคำเปลว, ซีลีเนียมไดออกไซด์ และผงคาร์บอน ที่มีความเหมาะสม เพื่อให้ได้ระดับสีที่สม่ำเสมอกันทั่วชิ้นงาน

4.2.1 ผลการเตรียมชิ้นงานแก้วสีแดง

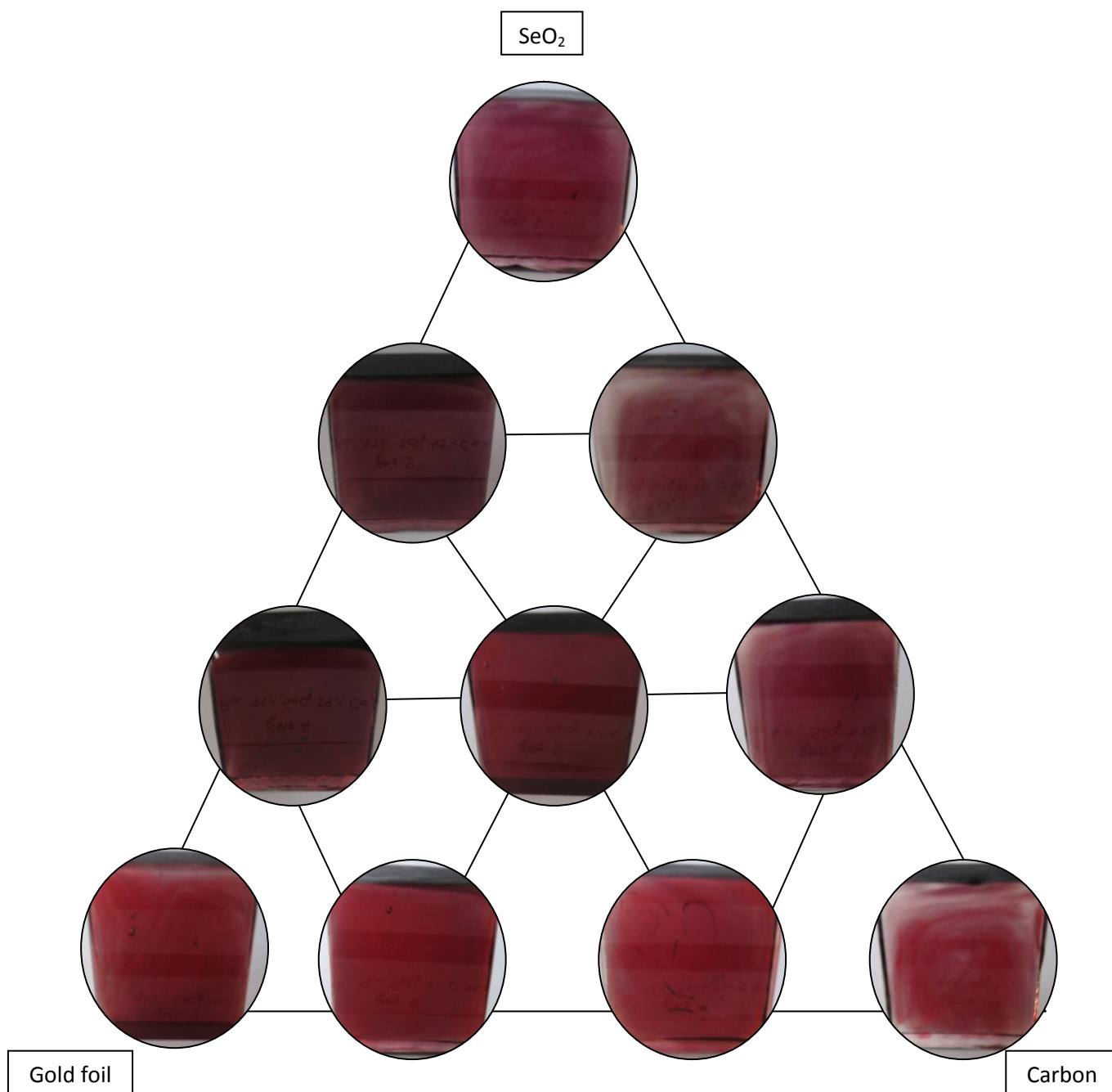
ทำการเตรียมชิ้นงานแก้วทั้งหมด 10 สูตร จากระบบสามเฟส (Ternary phase diagram) โดยศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณแผ่นทองคำเปลว, ซีลีเนียมไดออกไซด์ และผงคาร์บอน ซึ่งได้แสดงให้ดูดังรูปที่ 4.3 รูปที่ 4.4 พบว่าชิ้นงานแก้ว (ก) BGR1 ลักษณะของชิ้นงานเกิดสีแดง ที่มีระดับสีค่อนข้างจะไม่สม่ำเสมอ แต่มีการกระจายตัวของสีเกือบทั่วทั้งชิ้นงาน และยังพบฟองอากาศ (ข) BGR2 ลักษณะของชิ้นงานมีระดับสีที่สม่ำเสมอ และมีการกระจายตัวของสีทั่วทั้งชิ้นงาน แต่มีสีเข้มไปทางสีม่วง (ค) BGR3 ลักษณะของชิ้นงานมีระดับสีที่ไม่สม่ำเสมอ มีการกระจายตัวของสีที่สม่ำเสมอ (ง) BGR4 ลักษณะของชิ้นงานมีระดับสีที่สม่ำเสมอกันทั่วทั้งชิ้นงาน แต่มีฟองอากาศ (จ) BGR5 ลักษณะของชิ้นงานมีระดับสีที่สม่ำเสมอ มีการกระจายตัวของสีทั่วทั้งชิ้นงาน

(ฉ) BGR6 ลักษณะของชิ้นงาน มีระดับสีที่ไม่สม่ำเสมอ มีการกระจายตัวของสีที่ไม่ทั่วชิ้นงาน (ช) BGR7 ลักษณะของชิ้นงานมีระดับสีที่ค่อนข้างจะสม่ำเสมอกัน (ซ) BGR8 ลักษณะของชิ้นงานมีระดับสีที่สวยงาม มีความสม่ำเสมอ และการกระจายตัวของสีที่ดี (ฎ) BGR9 ลักษณะของชิ้นงานมีระดับที่ค่อนข้างจะสม่ำเสมอกัน และมีการกระจายตัวของสีที่ค่อนข้างดี (ฏ) BGR10 ลักษณะของชิ้นงานมีระดับสีที่ไม่สม่ำเสมอ มีการกระจายตัวของสีที่ไม่ทั่วทั้งชิ้นงาน



รูปที่ 4.3 ชั้นงานแก้ว (ก) BGR1 (ข) BGR2 (ค) BGR3 (ง) BGR4 (จ) BGR5 (ฉ) BGR6 (ช) BGR7 (ซ)
BGR8 (ญ) BGR9 และ (ฎ) BGR10

ระบบสามเฟส (Ternary phase diagram)


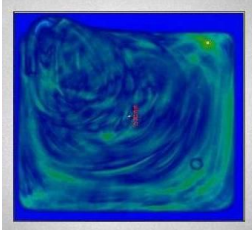



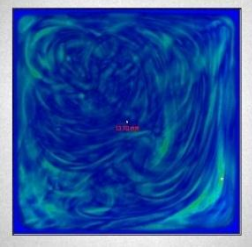

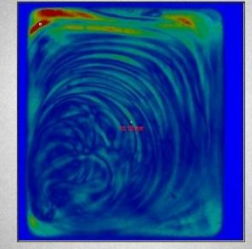



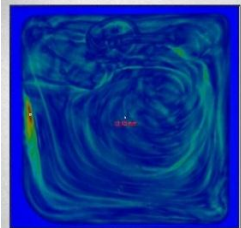

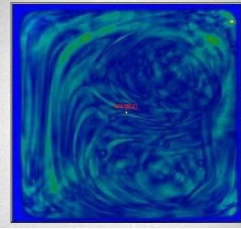

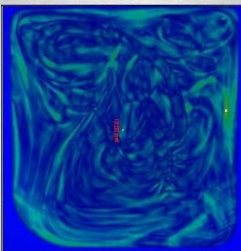

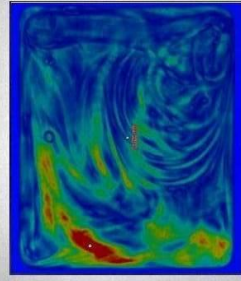

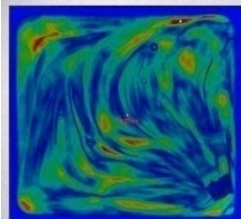

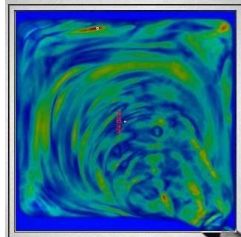
รูปที่ 4.5 แสดงชั้นงานแก้วในระบบสามเฟส (Ternary phase diagram)

4.2.2 การวิเคราะห์ชิ้นงานแก้วจากเครื่อง Strain viewer

การวิเคราะห์ค่าความเครียดภายในชิ้นงานแก้วจากเครื่อง Strain viewer ทำการทดสอบชิ้นงานแก้ว หลังจากการเตรียมชิ้นงานแก้ว ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 570 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยผลการทดสอบ อยู่ในรูปของแสงโพลาไรซ์ แสดงถึงความเครียดที่ตกค้างภายในชิ้นงานแก้ว เป็นบริเวณของสีต่างๆ ซึ่งจาก ผลการทดสอบสรุปได้จากตารางที่ 4.5

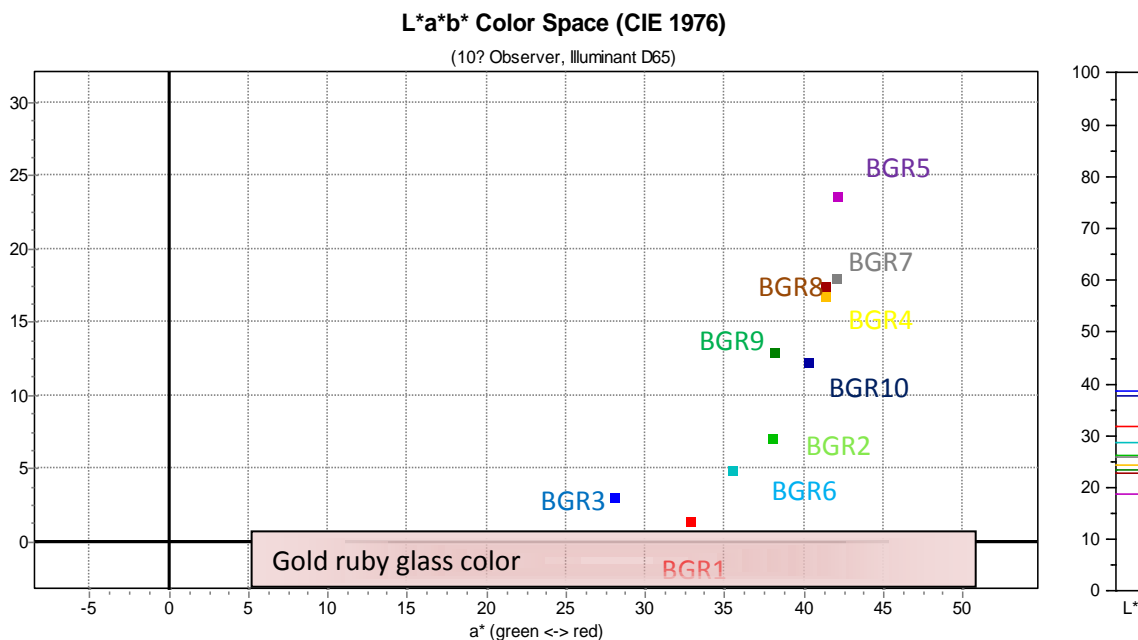
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเครียดภายในชิ้นงานแก้ว

| ชิ้นงาน | แสงปกติ | แสงโพลาไรซ์ | ความเครียดภายในชิ้นงานสูงสุด (MPa) |
|---------|---|--|------------------------------------|
| BGR1 |  |  | 2.48 |
| BGR2 |  |  | 1.28 |
| BGR3 |  |  | 2.14 |
| BGR4 |  |  | 7.35 |

| ชั้นงาน | แสงปกติ | แสงโพลาไรซ์ | ความเครียดภายในชั้นงานสูงสุด (MPa) |
|---------|---|--|------------------------------------|
| BGR5 |  |  | 3.82 |
| BGR6 |  |  | 3.28 |
| BGR7 |  |  | 2.55 |
| BGR8 |  |  | 8.11 |
| BGR9 |  |  | 4.72 |
| BGR10 |  |  | 4.08 |

4.2.3 การวิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE L*a*b

การทดสอบด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer เพื่อวิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE L*a*b มาเปรียบเทียบกับค่าสีของแก้วสีแดงทับทิม จากผลการทดลองในรูปที่ 4.6 พบว่ามีแก้วจำนวน 5 สูตรที่มีแนวโน้มเข้าใกล้สีแดงทับทิม คือ สูตรแก้ว BGR1, BGR2, BGR3, BGR6 และ BGR10 โดยสูตรแก้ว BGR1 มีแนวโน้มเข้าใกล้สีแดงทับทิมมากที่สุด



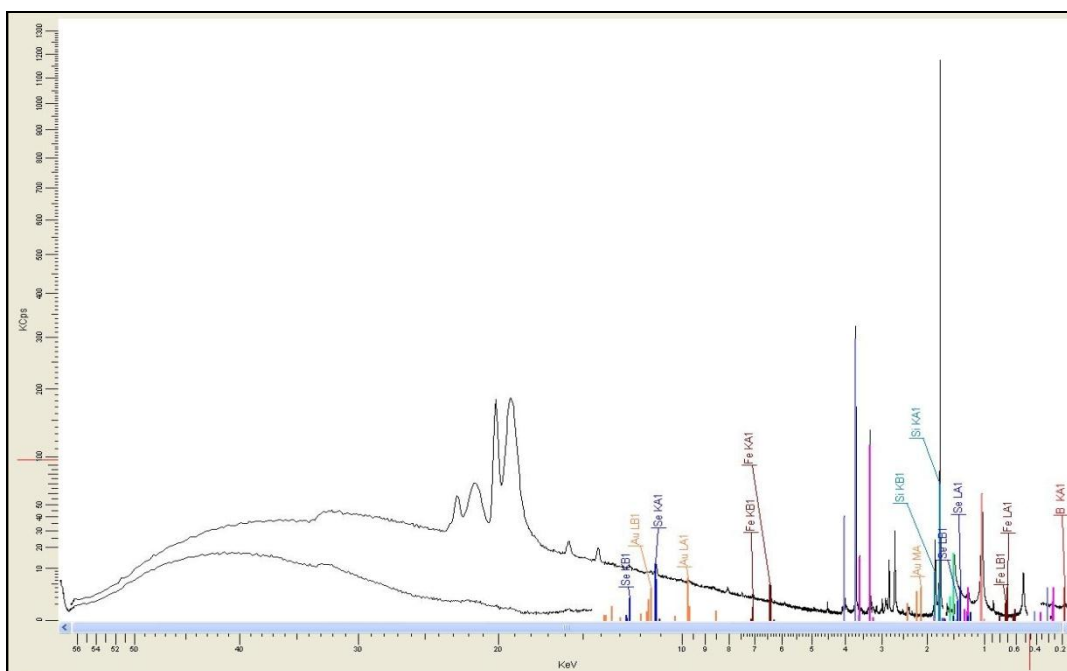
รูปที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสีของแก้วในระบบ CIE L*a*b ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าสีในระบบ CIE L*a*b

| สีงาน | สี | L* | a* | b* | สีงาน | สี | L* | a* | b* |
|-------|----|-------|-------|-------|-------|----|-------|-------|-------|
| BGR1 | | 31.75 | 32.96 | 1.28 | BGR6 | | 28.59 | 35.55 | 4.86 |
| BGR2 | | 25.95 | 38.11 | 7.04 | BGR7 | | 25.65 | 42.07 | 17.88 |
| BGR3 | | 38.40 | 28.10 | 2.93 | BGR8 | | 22.61 | 41.39 | 17.35 |
| BGR4 | | 24.12 | 41.41 | 16.70 | BGR9 | | 23.31 | 38.15 | 12.90 |
| BGR5 | | 18.59 | 42.20 | 23.46 | BGR10 | | 37.61 | 40.36 | 12.24 |

4.2.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุจากเครื่อง X-ray fluorescence

การทดสอบด้วยเครื่อง XRF เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุในชิ้นงานแก้ว ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.7 ประกอบด้วยโบรอนออกไซด์ (B_2O_3) โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ซีลีเนียมไดออกไซด์ (SeO_2) และทองคำ (Au) ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ผลจากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุจากเครื่อง XRF แสดงองค์ประกอบของธาตุที่พบในชิ้นงานแก้ว BGR2

ตารางที่ 4.7 แสดงองค์ประกอบของธาตุจากการวิเคราะห์เครื่อง XRF

| Formula | Concentration | | | | | | | | | | |
|---------|-------------------------------|-------------------|--------|--------------------------------|------------------|------------------|---------|------------------|--------------------------------|------------------|--------|
| | B ₂ O ₃ | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | SeO ₂ | Au |
| BGR1 | 2.02 % | 6.98 % | 0.10 % | 0.17 % | 75.98 % | 4.13 % | 10.54 % | 0.04 % | 0.03 % | 0.01 % | 22 ppm |
| BGR2 | 1.90 % | 6.74 % | 0.09 % | 0.23 % | 76.17 % | 4.02 % | 10.76 % | 0.04 % | 0.03 % | 89 ppm | 38 ppm |
| BGR3 | 2.29 % | 6.83 % | 0.09 % | 0.15 % | 76.31 % | 3.82 % | 10.45 % | 0.03 % | 0.03 % | 75 ppm | 21 ppm |
| BGR6 | 2.25 % | 6.85 % | 0.09 % | 0.17 % | 75.91 % | 4.15 % | 10.52 % | 0.03 % | 0.03 % | 62 ppm | 34 ppm |
| BGR10 | 1.97 % | 6.76 % | 0.10 % | 0.30 % | 75.97 % | 4.01 % | 10.82 % | 0.03 % | 0.03 % | 20 ppm | 41 ppm |

4.2.5 การวิเคราะห์หาค่าปริมาณตะกั่วและแคดเมียมจากเครื่อง Atomic absorption spectrometer

การวิเคราะห์หาค่าปริมาณการละลายของตะกั่วและแคดเมียม ตามมาตรฐาน ISO 6486-1 ซึ่งสรุปดังตารางที่ 4.8 โดยปริมาณที่สามารถตรวจพบสารตะกั่วและแคดเมียมจากเครื่อง Atomic absorption เท่ากับ 0.01 และ 0.001 mg/L ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่าปริมาณตะกั่วและแคดเมียม

| | |
|-------------------|-----------|
| Lead (Pb), mg/L | ตรวจไม่พบ |
| Cadmium(Cd), mg/L | ตรวจไม่พบ |

4.3 พัฒนาสูตรแก้วสีแดงทับทิม โดยใส่สารตัวเติมเพื่อปรับปรุงสี และดูแนวโน้มการเกิดสี

การศึกษาปริมาณของสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงสูตรแก้วให้มีสีที่เข้าใกล้ สีแดงทับทิมมากที่สุด โดยการเลือกสูตรแก้วที่มีแนวโน้มเข้าใกล้ช่วงค่าสีของแก้วสีแดงจากการทดลองที่ 4.2 ทำให้เราเลือกสูตรแก้ว BGR1 เพื่อมาเป็นสูตรแก้วหลักของการทดลองนี้ จากการเตรียมชิ้นงานพบว่าชิ้นงานทั้งหมด 4 ชิ้นเกิดสีขึ้นจากกระบวนการหลอมแก้ว โดยชิ้นงาน (ก) CaF_2 0.5wt%, ZnO 0.8wt%, SnO_2 0.2wt% ลักษณะของชิ้นงานมีสีที่สม่ำเสมอทั้งชิ้นงาน สีที่เกิดขึ้นเป็นสีม่วง และทึบจนเกินไป ชิ้นงาน (ข) CaF_2 1wt%, ZnO 0.6wt%, SnO_2 0.2wt% ลักษณะชิ้นงานมีสีที่สม่ำเสมอทั้งชิ้นงาน มีสีม่วงที่ค่อนข้างทึบ ชิ้นงาน (ค) CaF_2 0.1wt%, ZnO 0.8wt%, SnO_2 0.2wt% ลักษณะของชิ้นงานมีสีที่สม่ำเสมอทั้งชิ้นงาน มีสีที่ค่อนข้างจะทึบ ชิ้นงาน (ง) Sb_2O_3 0.5wt%, ZnO 1.0wt%, SnO_2 0.9wt% ลักษณะของชิ้นงานมีสีที่สม่ำเสมอทั้งชิ้นงาน สีที่เกิดขึ้นเมื่อสังเกตจะพบว่ามีสีส้ม และมีสีที่ไม่ทึบจนเกินไป



รูปที่ 4.8 แสดงชิ้นงานแก้วที่ปรับปรุงสูตรโดยการเติมสารเติมแต่ง (ก) CaF_2 0.5wt%, ZnO 0.8wt%, SnO_2 0.2wt% (ข) CaF_2 1wt%, ZnO 0.6wt%, SnO_2 0.2wt% (ค) CaF_2 0.1wt%, ZnO 0.8wt%, SnO_2 0.2wt% (ง) Sb_2O_3 0.5wt%, ZnO 1.0wt%, SnO_2 0.9wt%

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

สรุปว่า 1. การพัฒนาสูตรแก้วสีแดงทับทิมโดยใช้อนุภาคทองคำจากแผ่นทองคำเปลวเพื่อให้เกิดสีแดงที่มีความสวยงาม มีระดับสีที่สม่ำเสมอ และปลอดภัยจากสารพิษที่เป็นอันตราย โดยใช้ BaCO_3 , Li_2CO_3 และ B_2O_3 เป็นส่วนผสม แทนที่ PbO พบว่าชิ้นงานแก้วที่มี B_2O_3 เป็นส่วนผสมนั้น ให้ระดับสีแดงที่สม่ำเสมอ และกระจายตัวทั่วทั้งชิ้นงาน นอกจากนี้ความเครียดตกค้างภายในชิ้นงานต่ำกว่า แก้วชนิดอื่นและสามารถต้านทานการละลายของสารเคมีได้ดี

2. การพัฒนาแก้วสีแดงทับทิมที่มี B_2O_3 เป็นส่วนผสม โดยศึกษาปริมาณของแผ่นทองคำเปลว, ซีลีเนียมไดออกไซด์ และผงคาร์บอน ที่เหมาะสม และมีค่าสีในระบบ CIE L^*a^*b ใกล้เคียงกับแก้วสีแดงทับทิมมากที่สุด ซึ่งสูตรแก้วสีแดงทับทิมที่มี B_2O_3 เป็นส่วนผสม สูตร BGR1 ประกอบด้วยแผ่นทองคำเปลว 150 ppm, ซีลีเนียมไดออกไซด์ 200 ppm และ ผงคาร์บอน 0 wt%

3. การพัฒนาแก้วสีแดงทับทิมโดยใส่สารเติมแต่ง CaF_2 , SnO_2 , ZnO และ Sb_2O_3 ทำให้ชิ้นงานแก้วมีสีที่บึกบึนไป