

## การพัฒนาอัญมณีเพริidotประดิษฐ์จากวัสดุแก้ว

นกรินทร์ สิงคิบุรินทร์<sup>1,2</sup>, พลภรต แก้วคงคา<sup>1,2</sup> และณัฐพล ศรีสิทธิโกศลกุล<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีแก้วและเซรามิก คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม  
<sup>2</sup>ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางด้านแก้วและวัสดุศาสตร์, นครปฐม  
\*nook.1401@gmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอัญมณีเพริidotประดิษฐ์จากแก้ว โดยเตรียมแก้วจากสูตร  $(40-x)\text{SiO}_2 : 10\text{B}_2\text{O}_3 : 25\text{Na}_2\text{O} : 8\text{CaO} : 5\text{ZrO} : 1\text{Bi}_2\text{O}_3 : 0.5\text{TiO}_2 : 0.5\text{Al}_2\text{O}_3 : 10\text{BaO} : x\text{Cr}_2\text{O}_3$  ร้อยละโดยโมล เมื่อ  $x$  คือ ความเข้มข้นของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  มีค่า 0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 ร้อยละโดยโมล ถูกเตรียมขึ้นด้วยเทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางแสงของแก้วที่เตรียมขึ้น พบว่าค่าความหนาแน่น และค่าดัชนีหักเห มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่เพิ่มมากขึ้น ปริมาตรเชิงโมลมีค่าลดลงส่วนทางกับปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่เพิ่มมากขึ้น การวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 - 1100 นาโนเมตร เกิดขึ้นช่วงความยาวคลื่นประมาณ 631 นาโนเมตร เกิดจากการดูดกลืนพลังงานในสถานะพื้น ( $^4\text{A}_{2g}(\text{F})$ ) ไปยังสถานะกระตุ้น  $^4\text{T}_{2g}(\text{F})$  เป็นช่วงการดูดกลืนแสงส้ม - แดง อีกทั้งยังพบว่าพีการดูดกลืนในช่วงพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนมีการเคลื่อนที่มายังช่วงความยาวคลื่นยาว เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  การวิเคราะห์ค่าสีของแก้วตัวอย่างพบว่าค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ไม่ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่เพิ่มขึ้น โดยค่า  $a^*$  จะมีค่าอยู่ระหว่าง -0.3185 ถึง -23.4073 ส่วนค่า  $b^*$  จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.3802 ถึง 54.9082 ทั้งนี้เมื่อทำการนำค่าสีไปเปรียบเทียบกับค่าสีของเพริidotจริงในธรรมชาติ พบว่าพบว่าแก้วที่เติม  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยโมล มีค่า  $L^*$  อยู่ที่ 89.0136 ค่า  $a^*$  อยู่ที่ -10.1118 และ ค่า  $b^*$  อยู่ที่ 24.7183 มีค่าสีที่ใกล้เคียงกับเพริidotจริงในธรรมชาติ และลักษณะทางกายภาพที่ความสอดคล้องกัน

**คำสำคัญ:** แก้ว เพริidot สี อัญมณี สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแสง

## Development of artificial peridot gemstones from glass materials

Nakarin Singkiburin<sup>1,2</sup>, Phonphot Kaewkangka<sup>1,2</sup> and Nattapon Srisittipokakun<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>Glass and Ceramic Technology Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

<sup>2</sup>Center of Excellence in Glass Technology and Materials Science (CEGM), Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

\*nook.1401@gmail.com

### Abstract

The aims of this research to develop artificial peridot gemstones from glass materials. Glass was prepared from the formula  $(40-x)\text{SiO}_2: 10\text{B}_2\text{O}_3: 25\text{Na}_2\text{O}: 8\text{CaO}: 5\text{ZrO}: 1\text{Bi}_2\text{O}_3: 0.5\text{TiO}_2: 0.5\text{Al}_2\text{O}_3: 10\text{BaO}: x\text{Cr}_2\text{O}_3$  mol% where x is the concentration of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (0.00, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 and 0.05 mol%) have been synthesized by conventional melt quenching technique at 1,200 °C for 3 hours. Studied the physical properties and the optical properties of glass The results showed that density and refractive index tends to increase according to the increasing concentration of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . The molar volume decreases with increasing concentration of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . The absorption spectra of glass in the wavelength range of 200 to 1,100 nm showed absorption broadbands at 631 nm, caused by the energy level change in the ground state ( $^4\text{A}_{2g}(\text{F})$ ) to the excitation state  $^4\text{T}_{2g}(\text{F})$ , corresponding to absorption of orange-red light. Additionally, it is found that the absorption peak in the low-energy region of the electron transition spectrum shifts towards longer wavelengths with increasing concentration of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Color analysis in the CIE  $L^*a^*b^*$  system showed that the illuminance ( $L^*$ ) was independent of the amount of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  concentration added, with the  $a^*$  value ranging from -0.3185 to -23.4073, and  $b^*$  value ranging from 1.3802 to 54.9082. It was found that glass doped with  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  at 0.1 mol% had  $L^*$  value of 89.0136,  $a^*$  value of -10.1118, and  $b^*$  value of 24.7183. The color value was close to that of real peridot in nature and have similar physical characteristics.

**Keywords:** Glass, Peridot, Color, Gemstones, physical properties, Optical properties

### 1. บทนำ

เครื่องประดับอัญมณีเทียมถือเป็นสินค้าแฟชั่นซึ่งจัดว่าเป็นสินค้าทางเลือกที่ขึ้นอยู่กับความพึงพอใจของผู้บริโภค และมักเป็นที่นิยมในช่วงภาวะเศรษฐกิจชะลอตัว เพราะผู้บริโภคมีกำลังซื้อลดลง จึงระมัดระวังการใช้จ่ายซื้อสินค้าฟุ่มเฟือยราคาสูง รวมถึงราคาโลหะมีค่าที่ปรับตัวเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ผู้บริโภคหันมาซื้อเครื่องประดับอัญมณีเทียมมากขึ้น จากรายงานของ Alliedmarketresearch ระบุว่า ในปี 2019 ตลาดเครื่องประดับอัญมณีเทียมของโลกมีมูลค่า 32.9 พันล้านเหรียญสหรัฐ และคาดว่ามูลค่าเครื่องประดับอัญมณีเทียมของโลกจะเพิ่มเป็น 59.7 พันล้านเหรียญสหรัฐ ในปี 2027 โดยระหว่างปี 2020-2027 เครื่องประดับเทียมจะมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยปีละ 7.8% สำหรับตลาดผู้บริโภคเครื่องประดับอัญมณีเทียมสำคัญของโลก ได้แก่ ตลาดหลักเดิมอย่างสหรัฐอเมริกา แคนาดา และเยอรมนี เป็นต้น หรือตลาดเกิดใหม่ (Emerging Market) อาทิ จีน บราซิล และอินเดีย ซึ่งมีแนวโน้มเติบโตสูงขึ้นจากกลุ่มคนรุ่นใหม่ และผู้หญิงทำงาน (Working Woman) ทั้งนี้ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกเครื่องประดับอัญมณีเทียมใน 10 อันดับแรกของโลกมานานนับทศวรรษ และล่าสุดในช่วงเดือนมกราคม-กรกฎาคม 2563 ไทยก้าวขึ้นมาเป็นผู้ส่งออกในอันดับที่ 4 ของโลก ด้วยสัดส่วนราว 5.61% ของมูลค่าส่งออกเครื่องประดับเทียมในตลาดโลก หรือมีมูลค่าส่งออก 147 ล้านดอลลาร์ คิดเป็นสัดส่วน 1.22% ของมูลค่าการส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับไทยโดยรวม สำหรับตลาดส่งออกหลักใน 5 อันดับแรกของไทย ได้แก่ ลิกเตนสไตน์ สิงคโปร์ สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส และฮ่องกง

ในสัดส่วน 29.89%, 12.43%, 11.15%, 7.85% และ 7.84% ตามลำดับ [1] ปัญหาสำคัญของอุตสาหกรรมอัญมณีเทียมในประเทศไทย คือ อุตสาหกรรมต้นน้ำขาดแคลนวัตถุดิบและฟุ้งฟิงการนำเข้าเป็นหลัก จึงทำให้ไม่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มจากวัตถุดิบที่นำเข้ามาได้มากนัก ทั้งนี้การสร้างมูลค่าสำหรับเครื่องประดับอัญมณีเทียม คือ สีของอัญมณีต้องมีความแตกต่าง มีลูกเล่นที่ไม่เหมือนในท้องตลาด หรือมีสีที่ใกล้เคียงอัญมณีจริงตามธรรมชาติ

แก้วจัดเป็นอัญมณีเทียมประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญ มีตลาดเฉพาะตัวและมีราคาสูงกว่าพลาสติกและเรซิน แต่พบว่าราคาขายในตลาดเมื่อเข้าเรือนกลับทำกำไรได้เท่ากับเพชรรัสเซีย (cubic zirconia) หรือแม้กระทั่งทับทิมสังเคราะห์ซึ่งเป็นพลอยสังเคราะห์ที่เตรียมได้ยากกว่า และใช้ต้นทุนสูงกว่ามาก นอกไปจากนั้นแก้วยังสามารถทำให้เกิดสีสันทันได้มากกว่าและง่ายกว่า [2-7] การเตรียมอัญมณีเทียมจากแก้วจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างสูงในปัจจุบัน

อัญมณีเพร็ดอตเป็นอัญมณีที่หายากมากซึ่งมีแหล่งกำเนิดอยู่บริเวณประเทศ เมียนมา ศรีลังกา สหรัฐฯ ออสเตรเลีย บราซิล เม็กซิโก เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วจะเป็นสีเขียวสดใส ทั้งนี้การพัฒนาแก้วสีที่มีสีใกล้เคียงกับอัญมณีจริงในธรรมชาติจะส่งผลทำให้มูลค่าของแก้วสีนั้นเพิ่มสูงขึ้น

โครเมียมออกไซด์ ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) เป็นสารที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน แต่หากพิจารณาเรื่องการเกิดสีจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าโครเมียมออกไซด์ สามารถทำให้เกิดสีเขียว จึงมีความน่าจะเป็นที่จะนำมาใช้เป็นสารให้สีเลียนแบบอัญมณีเพร็ดอตได้

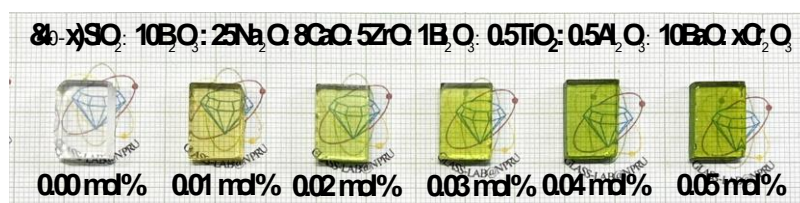
ดังนั้นในโครงการนี้จึงเป็นการพัฒนาอัญมณีเพร็ดอตประดิษฐ์จากแก้ว โดยทำการแปรค่าความเข้มข้นของโครเมียมออกไซด์ที่เติมลงไปในการสร้างแก้ว จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางแสง รวมถึงการเปรียบเทียบค่าสีของแก้วที่ได้กับค่าสีของอัญมณีเพร็ดอตจริงในธรรมชาติ

## 2.วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำเพื่อศึกษาผลการเจือสีของแก้วจากสูตร  $(40-x)\text{SiO}_2 : 10\text{B}_2\text{O}_3 : 25\text{Na}_2\text{O} : 8\text{CaO} : 5\text{ZrO} : 1\text{Bi}_2\text{O}_3 : 0.5\text{TiO}_2 : 0.5\text{Al}_2\text{O}_3 : 10\text{BaO} : x\text{Cr}_2\text{O}_3$  (เมื่อ  $x$  เท่ากับ 0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 ร้อยละโดยโมล) โดยเริ่มจากคำนวณสารจากสูตรแก้วและซังสารใส่เข้าหลอมจากนั้นนำเข้าไปหลอมในเตาหลอมไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสต่อนาที ใช้เวลาในการคั่ง 3 ชั่วโมง จากนั้นนำแก้วหลอมออกจากเตาไฟฟ้าอุณหภูมิสูง เพื่อให้แก้วเหลวได้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว โดยเทน้ำแก้วลงบนแบบพิมพ์แกรไฟต์ นำแก้วที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นปิดเตาให้อุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จึงนำแก้วออกจากเตา นำแก้วที่เย็นตัวแล้วไปขัดให้มีขนาด  $1.0 \times 1.5 \times 0.3$  ลูกบาศก์เซนติเมตร หลังจากนั้นจึงมาศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางแสง ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล ดัชนีหักเห การดูดกลืนแสง และค่าสีในระบบ CIE  $L^*a^*b^*$

## 3.ผลการวิจัย

จากผลการทดลองหลอมแก้วที่เติมออกไซด์ของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  พบว่าแก้วตัวอย่างที่ไม่เติมออกไซด์ของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  มีลักษณะใสไม่มีสี และเมื่อเติมออกไซด์ของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  มีลักษณะใส และมีสีเขียวอ่อน ๆ ซึ่งสีดังกล่าวจะมีความเข้มมากขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของออกไซด์ของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  มากขึ้น ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แก้วตัวอย่างที่เติมออกไซด์ของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ในปริมาณต่างกัน

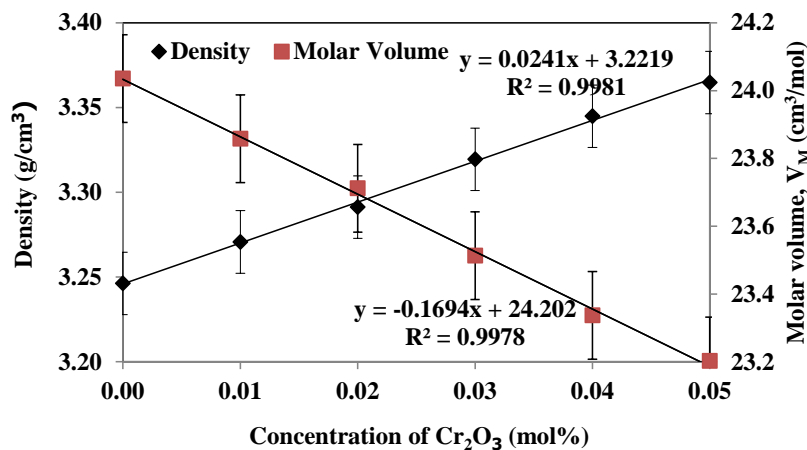
### ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมล

จากการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่างที่เติมออกไซด์ของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่มีความเข้มข้น 0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 ร้อยละโดยโมล พบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่เพิ่ม

มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากออกไซด์ของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ซึ่งมีมวลโมเลกุลมากกว่าการเข้าไปแทนที่ออกไซด์ของ  $\text{SiO}_2$  ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง  $3.2462 \pm 0.0003$  ถึง  $3.3648 \pm 0.0005$  และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความเข้มข้นของแก้วที่เติมออกไซด์ของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 โดยกราฟที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9981 ส่วนค่าปริมาตรเชิงโมลมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 23.2021 ถึง 24.0353 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล นั้นสามารถสันนิษฐานได้ว่า  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ได้เข้าไปสร้างสะพานเชื่อมออกซิเจน (bridging oxygen) ในโครงสร้างแก้วมากขึ้น ทำให้ระยะห่างระหว่างอะตอมมีขนาดแคบลง จึงทำให้โครงสร้างของแก้วเกิดการหดตัว ในงานวิจัยด้านวัสดุแก้วนั้นจะเรียกสารเคมีที่เติมลงในโครงสร้างแก้วแล้วทำให้ปริมาตรเชิงโมลของแก้วเปลี่ยนแปลงไปว่า Network modifier และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเชิงโมลกับความเข้มข้นของแก้วที่เติมออกไซด์ของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 โดยกราฟที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9978

ตารางที่ 1 ค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วที่เติม  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของ $\text{Cr}_2\text{O}_3$ (ร้อยละโดยโมล)	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาตรเชิงโมล (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล)
0.00	$3.2462 \pm 0.0003$	24.0353
0.01	$3.2707 \pm 0.0003$	23.8581
0.02	$3.2913 \pm 0.0003$	23.7119
0.03	$3.3195 \pm 0.0003$	23.5132
0.04	$3.3449 \pm 0.0007$	23.3370
0.05	$3.3648 \pm 0.0005$	23.2021



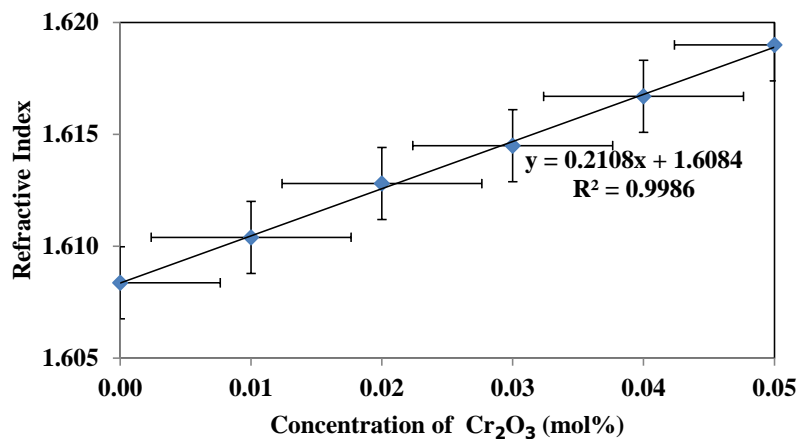
ภาพที่ 2 ค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วที่เติม  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่ความเข้มข้นต่างๆ

#### ผลการวิเคราะห์หาค่าดัชนีหักเห (Refractive index)

จากการวิเคราะห์หาค่าดัชนีหักเหของแก้วตัวอย่างที่เติมออกไซด์ของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่มีความเข้มข้น 0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 ร้อยละโดยโมล พบว่าค่าดัชนีหักเหมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง  $1.6084 \pm 0.0001$  ถึง  $1.6190 \pm 0.0002$  โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ของความหนาแน่น เป็นไปตามทฤษฎีเป็นไปตามหลักทฤษฎีไดอิเล็กตริกแบบดั้งเดิม ซึ่งค่าดรรชนีหักเหจะขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่น และสภาพการเกิดขั้วได้ของอะตอมในวัสดุ และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหกับความเข้มข้นของแก้วที่เติม  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ดังแสดงในรูปที่ 3 กราฟที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9986

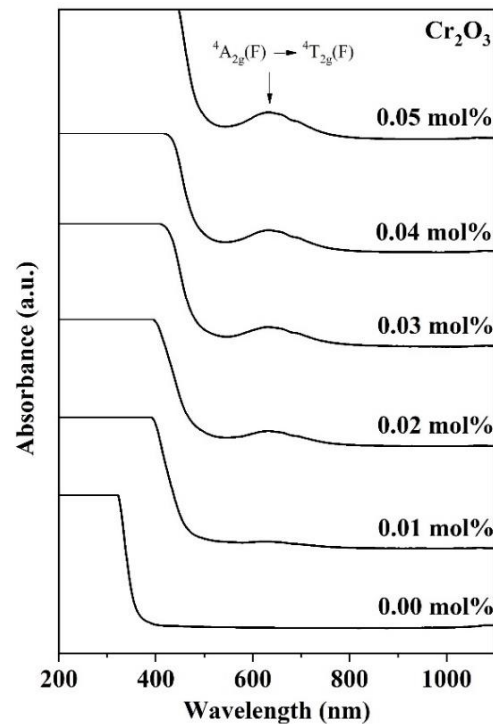
ตารางที่ 2 ค่าดัชนีหักเหของแก้วที่เติม Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ร้อยละโดยโมล)	ดัชนีหักเห
0.00	1.6084 ± 0.0001
0.01	1.6104 ± 0.0000
0.02	1.6128 ± 0.0000
0.03	1.6145 ± 0.0000
0.04	1.6167 ± 0.0000
0.05	1.6190 ± 0.0002


 ภาพที่ 3 ค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วที่เติม Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่ความเข้มข้นต่างๆ

#### ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง (absorption spectra)

จากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 - 1100 นาโนเมตร ของแก้วตัวอย่างที่เติมออกไซด์ของ Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่มีความเข้มข้น 0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 ร้อยละโดยโมล พบว่าพีคของการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 - 1100 นาโนเมตร เกิดขึ้นช่วงความยาวคลื่นประมาณ 631 นาโนเมตร เกิดจากการดูดกลืนพลังงานในสถานะพื้น (<sup>4</sup>A<sub>2g</sub>(F)) ไปยังสถานะกระตุ้น <sup>4</sup>T<sub>2g</sub>(F) เป็นช่วงการดูดกลืนแสงส้ม - แดง อีกทั้งยังพบว่าพีคการดูดกลืนในช่วงพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนมีการเคลื่อนที่มายังช่วงความยาวคลื่นยาว เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ดังรูปที่ 4.4 จากการดูดกลืนใน 2 ช่วงความยาวคลื่น ทำให้สีของแก้วที่มองเห็นมีสีเขียว และจะมีความเข้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของปริมาณ Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่เพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 4



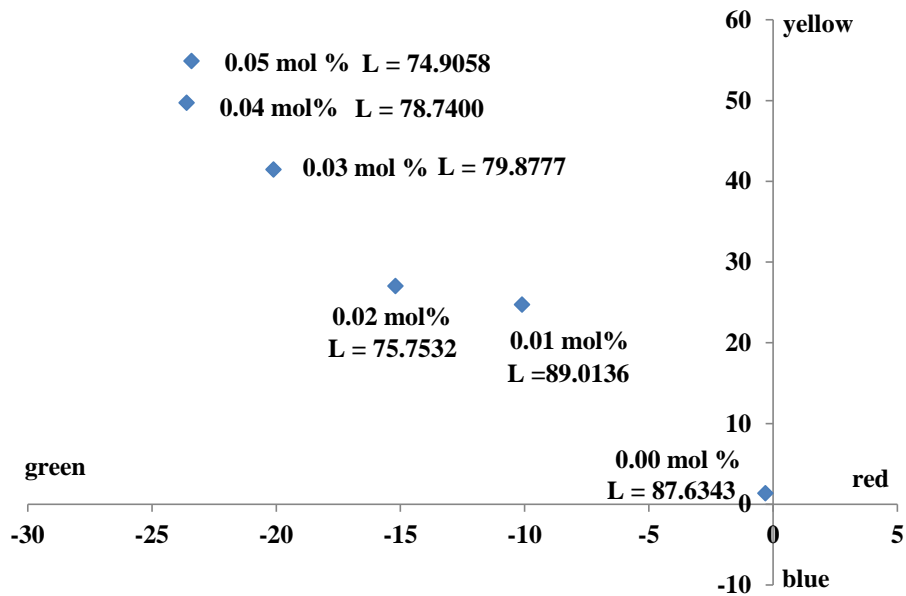
ภาพที่ 4 สเปกตรัมการดูดกลืนของแก้วที่เติม  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่ความเข้มข้นต่างๆ

#### ผลการวิเคราะห์สีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$

จากการวิเคราะห์สีในระบบ CIE  $L^*a^*b^*$  ของแก้วตัวอย่างที่เติมออกไซด์ของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่มีความเข้มข้น 0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 ร้อยละโดยโมล พบว่าค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ไม่ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่เพิ่มขึ้น โดยค่า  $a^*$  จะมีค่าอยู่ระหว่าง -0.3185 ถึง -23.4073 ส่วนค่า  $b^*$  จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.3802 ถึง 54.9082 ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยค่าสีมีพิกัดอยู่ในแกน  $-a$  และ  $+b$  ซึ่งเป็นพิกัดของแกนสีเหลือง และเขียว จึงทำให้แก้วตัวอย่างมีสีเขียว จะได้กราฟแสดงดังภาพที่ 5

ตารางที่ 3 ค่าสีของแก้วที่เติม  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของ $\text{Cr}_2\text{O}_3$ (ร้อยละโดยโมล)	Color measurement		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$
0.00	87.6343	-0.3185	1.3802
0.01	89.0136	-10.1118	24.7183
0.02	75.7532	-15.2065	27.0261
0.03	79.8777	-20.1117	41.4746
0.04	78.7400	-23.6100	49.7304
0.05	74.9058	-23.4073	54.9082



ภาพที่ 5 ค่าสีระบบ CIE L\*a\*b\* ของแก้วที่เติม Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่ความเข้มข้นต่างๆ

#### ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งในระบบโมห์สเกล

จากการวิเคราะห์หาค่าความแข็งของแก้วตัวอย่างที่เติมออกไซด์ของ Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่มีความเข้มข้น 0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 ร้อยละโดยโมล พบว่าค่าความแข็งของตัวอย่างแก้วมีค่าประมาณ 6.5 โมห์สเกล ซึ่งเทียบได้กับความแข็งของแร่ออร์โทเคลส (Orthoclase) :ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเฟรโดตจริงในธรรมชาติซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 6.5 – 7.0 โมห์สเกล และยังพบอีกว่าการเติมออกไซด์ของ Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ลงในโครงสร้างแก้ว จะไม่มีผลต่อค่าความแข็งของแก้ว

#### การเปรียบเทียบสมบัติของเฟรโดตจริงในธรรมชาติกับแก้วที่พัฒนาขึ้น

จากฐานข้อมูลค่าสีของอัญมณีในธรรมชาติของ The International Gem Society (IGS) [8] พบว่าเฟรโดตจริงในธรรมชาติที่มีแหล่งกำเนิดในรัฐมอนทานา ประเทศสหรัฐอเมริกา นั้นมีสีออกเขียวอ่อน โดยมีค่า L\* อยู่ที่ประมาณ 70 ค่า a\* อยู่ที่ประมาณ -11.9 และ ค่า b\* อยู่ที่ประมาณ 25.3 ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าสีของแก้วตัวอย่างจากตารางที่ 3 พบว่าแก้วที่เติม Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยโมล มีค่า L\* อยู่ที่ 89.0136 ค่า a\*อยู่ที่ -10.1118 และ ค่า b\* อยู่ที่ 24.7183 มีค่าสีที่ใกล้เคียงกับเฟรโดตจริงในธรรมชาติ และลักษณะทางกายภาพที่ความสอดคล้องกัน และยังมีสมบัติอื่น ๆ ที่มีความใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบสมบัติของเฟรโดตจริงในธรรมชาติกับแก้วที่พัฒนาขึ้น

สมบัติ	แก้วที่เติม Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยโมล	เฟรโดตจริงในธรรมชาติ
L*	89.0136	70
a*	-10.1118	-11.9
b*	24.7183	25.3
ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	3.2707	3.30
ค่าดัชนีหักเห	1.6104	1.670-1.690
ค่าความแข็ง (โมห์สเกล)	6.5	6.5 – 7.0

#### 4.สรุปผลการวิจัย

ในการทดลองนี้ทางผู้วิจัยดำเนินการพัฒนาอัญมณีเพริโดตประดิษฐ์จากแก้ว แล้วทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางแสง รวมถึงการเปรียบเทียบค่าสีของแก้วที่ได้กับค่าสีของอัญมณีเพริโดตจริงในธรรมชาติ ในการออกแบบสูตรแก้วผู้วิจัยเลือกที่จะใช้สาร  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ในการให้สีโดยพิจารณาจากลักษณะสีทางกายภาพจากงานวิจัยที่ผ่านมาเพื่อให้เกิดสีที่ใกล้เคียงกับอัญมณีเพริโดตโดยมีอัตราส่วนของสารดังนี้  $(40-x)\text{SiO}_2$ :  $10\text{B}_2\text{O}_3$ :  $25\text{Na}_2\text{O}$ :  $8\text{CaO}$ :  $5\text{ZrO}$ :  $1\text{Bi}_2\text{O}_3$ :  $0.5\text{TiO}_2$ :  $0.5\text{Al}_2\text{O}_3$ :  $10\text{BaO}$ :  $x\text{Cr}_2\text{O}_3$  ร้อยละโดยโมล เมื่อ  $x$  คือ ความเข้มข้นของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  มีค่า 0.0 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 ร้อยละโดยโมล พบว่าเมื่อเติมออกไซด์ของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  แก้วจะมีลักษณะใส และมีสีเขียว ซึ่งสีดังกล่าวจะมีความเข้มมากขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของออกไซด์ของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  มากขึ้น จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางแสงของแก้วตัวอย่างพบว่าค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเห มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนปริมาตรเชิงโมลมีค่าลดลงส่วนทางกับปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่เพิ่มมากขึ้น การวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 - 1100 นาโนเมตร เกิดขึ้นช่วงความยาวคลื่นประมาณ 631 นาโนเมตร การวิเคราะห์ค่าสีของแก้วตัวอย่างพบว่าค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ไม่ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่เพิ่มขึ้น โดยค่า  $a^*$  จะมีค่าอยู่ระหว่าง -0.3185 ถึง -23.4073 ส่วนค่า  $b^*$  จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.3802 ถึง 54.9082 ทั้งนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติของเพริโดตจริงในธรรมชาติกับแก้วที่พัฒนาขึ้น พบว่าพบว่าแก้วที่เติม  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยโมล มีค่าสี และสมบัติอื่น ๆ ใกล้เคียงกับเพริโดตจริงในธรรมชาติมากที่สุด

#### 5.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนงบรายได้จากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ประจำปีงบประมาณ 2567 ภายใต้โครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาระดับปริญญาตรีและอาจารย์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและความเป็นเลิศทางวิชาการ ปีงบประมาณ 2567

#### 6.เอกสารอ้างอิง

- [1] Gem and Jewelry Information Center, 2020, Global artificial gemstone jewelry market trends 2020 – 2027, <https://infocenter.git.or.th/business-news/business-news-20200918-1-2-3> (In Thai)
- [2] Varshneya, A.K., 1994, Fundamental of Inorganic Glasses, Academic Press, London, pp. 1-30
- [3] K.J. Rao, 2002, Structure Chemistry of Glasses, Elsevier Science, Oxford, pp. 2-7.
- [4] Shand E.B., 1997, Glass Engineering Handbook, McGraw-Hill Book, New York & Sons, pp. 301-305.
- [5] Stefan Kuhn, Andreas Herrmann, Christian Russel, Judd-Ofelt analysis of  $\text{Sm}^{3+}$ -doped lanthanum-aluminosilicate glasses. (2015)
- [6] M. Reza Dousti, R.J. Amjad, Photoluminescence study of  $\text{Sm}^{3+}$ - $\text{Yb}^{3+}$  co-doped tellurite glass embedding silver nanoparticles. (2015)
- [7] I.I. Kindrat, B.V. Padlyak, A. Drzewiecki, Luminescence properties of the Sm-doped borate glasses. (2015)
- [8] The International Gem Society (IGS). (11 April 2023). Gemstone Color Measurements and Specifications, <https://www.gemsociety.org/article/color-measurements-specification/>