

## การพัฒนาแก้วสีชมพูที่ใช้อุณหภูมิการหลอมต่ำ

กัญญา ก๊กประเสริฐ<sup>1,2,\*</sup> และ ณัฐพล ศรีสิทธิโกกุล<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม

<sup>2</sup>ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางด้านแก้วและวัสดุศาสตร์, นครปฐม

\*Nattapon2004@gmail.com

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเตรียมแก้วสีที่ใช้อุณหภูมิการหลอมต่ำ พร้อมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางแสง ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล ดัชนีหักเห และการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วที่เตรียมขึ้น ทำการเตรียมแก้วตามอัตราส่วน  $60\text{P}_2\text{O}_5 : 15\text{B}_2\text{O}_3 : 15\text{CaO} : 10\text{SrO}$  แล้วทำการหลอมที่อุณหภูมิสูงสุด 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเทแก้วใส่แม่พิมพ์แล้วอบในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ดัชนีหักเห และการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วที่เตรียมขึ้น จากนั้นทำการเตรียมแก้วสีโดยการใส่สารให้สี  $\text{Er}_2\text{O}_3$  ที่มีปริมาณความเข้มข้นตั้งแต่ 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 ร้อยละโดยโมล เข้าไปแทนที่ปริมาณของ  $\text{P}_2\text{O}_5$  พบว่าแก้วตัวอย่างที่ไม่ได้เติม  $\text{Er}_2\text{O}_3$  จะได้แก้วที่มีลักษณะใสไม่มีสีเกิดขึ้น เมื่อเติม  $\text{Er}_2\text{O}_3$  จะได้แก้วที่มีสีชมพูอ่อน และสีจะมีสีชมพูเข้มขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Er}_2\text{O}_3$  เพิ่มมากขึ้น ค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Er}_2\text{O}_3$  ที่เพิ่มมากขึ้น สวนทางกับค่าปริมาตรเชิงโมลที่มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Er}_2\text{O}_3$  ที่เพิ่มมากขึ้น จากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300 – 1,100 นาโนเมตร พบพีคของค่าการดูดกลืนแสงทั้งหมด 9 พีค คือ 380, 407, 425, 450, 490, 520, 650, 800 และ 970 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับค่าสีในระบบ CIE  $L^*a^*b^*$

**คำสำคัญ:** อุณหภูมิการหลอมต่ำ แก้วสี ความหนาแน่น



## Development of pink glass using low melting temperatures

Kanya Kokprasert<sup>1,2,\*</sup>, and Nattapon Srisittipokakun<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Physics 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

\* Nattapon2004@gmail.com

### Abstract

The objective of this research is to prepare colored glass using low melting temperature as well as to study the physical and optical properties such as density, molar volume, refractive index and absorbance of the prepared glass samples. The glass was prepared according to the ratio of  $60\text{P}_2\text{O}_5 : 15\text{B}_2\text{O}_3 : 15\text{CaO} : 10\text{SrO}$  and melted at  $600\text{ }^\circ\text{C}$  for 3 hours, then poured the glass into the mold. The glass was then poured into a mold and anneal in an electric furnace at  $300\text{ }^\circ\text{C}$  for 3 hr. Density, refractive index and optical absorption of the prepared glass samples were analyzed. The colored glass was then prepared by adding  $\text{Er}_2\text{O}_3$  coloring agent with concentrations ranging from 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 ร้อยละโดยโมล to replace the amount of  $\text{P}_2\text{O}_5$ . It was found that the glass samples without  $\text{Er}_2\text{O}_3$  added yielded clear, colorless glass. After adding  $\text{Er}_2\text{O}_3$ , the glass was light pink and the color became darker pink as the concentration of  $\text{Er}_2\text{O}_3$  increased. The density and refractive index tended to increase as the concentration of  $\text{Er}_2\text{O}_3$  increased. On the other hand, the molar volume tends to decrease as the concentration of  $\text{Er}_2\text{O}_3$  increases. From the absorbance analysis in the wavelength range 300 – 1,100 นาโนเมตร, 9 peaks of total absorbance were found, namely 380, 407, 425, 450, 490, 520, 650, 800 and 970 นาโนเมตร. Conforms to the color values in the CIE  $L^*a^*b^*$  system.

**Keywords:** Low melting temperatures , Colored glass , Density

### 1. บทนำ

ในปี 2560 ประเทศไทยได้ส่งออกผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับแก้วและกระจกมีมูลค่ากว่า 20,816 ล้านบาท [1,2] ซึ่งถือเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่ทำเงินรายได้เข้าสู่ประเทศจำนวนมากอย่างต่อเนื่อง ประเทศไทยนั้นถือเป็นศูนย์กลางการผลิตแก้วและกระจกของภูมิภาคอาเซียนที่มีบริษัทขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็กจำนวนมากกว่า 200 โรงงาน จึงนับได้ว่าอุตสาหกรรมแก้วเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญอุตสาหกรรมหนึ่งของประเทศ เนื่องจากมียังหลายอุตสาหกรรมที่ต้องพึ่งพาชิ้นส่วนจากวัสดุแก้ว เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า ก่อสร้าง อาหารและเครื่องดื่ม นอกจากนี้ตัวเลขของการส่งออกเฉพาะแก้ว ขวด และ

เครื่องแก้วบนโต๊ะอาหาร มีแนวโน้มขยายตัวร้อยละ 20-30 ซึ่งคิดเป็นมูลค่ารายได้ที่เข้าประเทศกว่าอีกหลายพันล้านบาท และยังเป็น การเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบที่มีคุณภาพดีที่มีอยู่ในประเทศ เช่น ทราช หินปูน โคลไรต์ แร่ฟันม้า ได้อย่างคุ้มค่า อีกทั้งวัสดุแก้วยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพราะแก้วเป็นวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมด (100% recyclable) แต่ในกระบวนการผลิตแก้วทั้งในอุตสาหกรรมแก้วใส และแก้วสีส่วนมากนิยมผลิตแก้วจากสารซิลิกา ซึ่งมีจุดหลอมเหลวค่อนข้างสูง โดยทั่วไปนิยมใช้อุณหภูมิในการหลอมอยู่ที่ 1,600 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตด้านพลังงานมีค่าสูงมาก ทั้งนี้ในการทำแก้วนั้นยังสามารถใช้สารอื่นเป็นโครงสร้างหลักเช่นเดียวกับสารซิลิกา เช่น  $B_2O_3$ ,  $TeO_2$  หรือ  $P_2O_5$  เป็นต้น [3-11] ดังนั้นในโครงการนี้จึงเป็นการพัฒนาแก้วสีชมพูที่ใช้อุณหภูมิการหลอมต่ำ เนื่องจากเป็นสีที่หายากในท้องตลาด

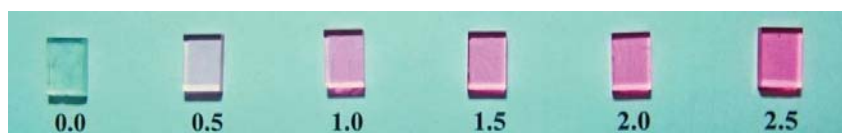
จากความสำเร็จที่กล่าวมาข้างต้นนั้นทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะเตรียมแก้วสีชมพูที่ใช้อุณหภูมิการหลอมต่ำ พร้อมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางแสง ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล ดัชนีหักเห และการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วที่เตรียมขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แก้วในด้านต่าง ๆ ต่อไป

## 2. วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำเพื่อเตรียมแก้วสีที่ใช้อุณหภูมิการหลอมต่ำ โดยทำการเตรียมแก้วตามอัตราส่วน แก้วจากสูตร  $(60-x)P_2O_5 : 15B_2O_3 : 15CaO : 10SrO : xEr_2O_3$  แล้วทำการหลอมที่อุณหภูมิสูงสุด 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเทแก้วใส่แม่พิมพ์ แล้วทำการอบอ่อนในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ดัชนีหักเห และการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วที่เตรียมขึ้น จากนั้นทำการเตรียมแก้วสีโดยการใส่สารให้สี  $Er_2O_3$  ที่มีปริมาณความเข้มข้นตั้งแต่ 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 ร้อยละโดยโมล เข้าไปแทนที่ปริมาณของ  $P_2O_5$  จากนั้นปิดเตาให้อุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จึงนำแก้วออกจากเตา นำแก้วที่เย็นตัวแล้วไปขัดให้มีขนาด 1.0 ซม  $\times$  1.5 ซม  $\times$  0.3 ซม หลังจากนั้นจึงมาศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางแสง ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล ดัชนีหักเห และการดูดกลืนแสง

## 3. ผลการวิจัย

จากการทดลองหลอมแก้วจากสูตร  $60P_2O_5 : 15B_2O_3 : 15CaO : 10SrO : xEr_2O_3$  พบว่าแก้วตัวอย่างที่ไม่ได้เติม  $Er_2O_3$  จะได้แก้วที่มีลักษณะใสไม่มีสีเกิดขึ้น เมื่อเติม  $Er_2O_3$  จะได้แก้วที่มีสีชมพูอ่อน และสีจะเข้มขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของ  $Er_2O_3$  เพิ่มมากขึ้น แสดงในภาพที่ 1

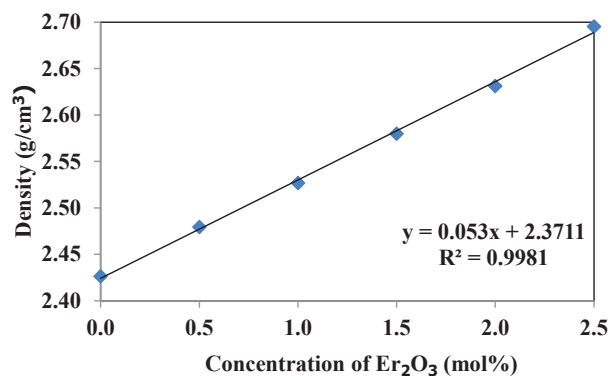


ภาพที่ 1 ลักษณะของแก้วตัวอย่างที่เติม  $Er_2O_3$  ที่ได้จากการหลอม

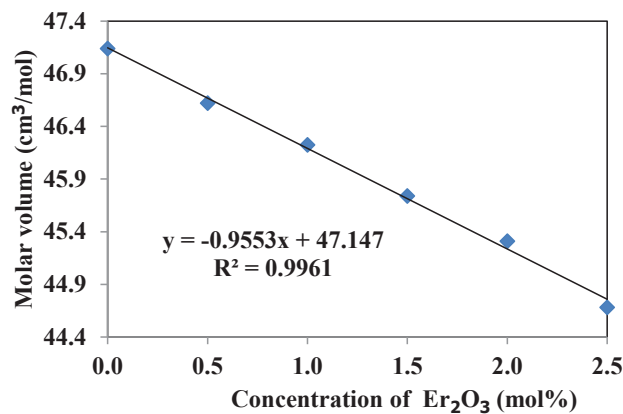
จากผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นโดยใช้หลักการของอาร์คิมิดีส พบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ  $Er_2O_3$  ที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมวลโมเลกุลของ  $Er_2O_3$  ที่มีค่ามากกว่า ได้เข้าไปแทนที่  $P_2O_5$  โดยมีค่าอยู่ระหว่าง  $2.4263 \pm 0.0002$  ถึง  $2.6953 \pm 0.0003$  กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความเข้มข้นของแก้วที่เติม  $Er_2O_3$  สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2 โดยกราฟที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์



( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9981 ส่วนค่าปริมาตรเชิงโมลได้จากการคำนวณ ตามอัตราส่วนระหว่างมวลโมเลกุลต่อความหนาแน่นของแก้ว ซึ่งมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Er}_2\text{O}_3$  ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 44.6805 ถึง 47.1407 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล ได้เข้าไปจับพันธะกับออกซิเจนที่ไม่มีพันธะกับอะตอมของธาต้อื่น ๆ ที่อยู่ระหว่างโครงสร้างของแก้ว ทำให้ระยะห่างระหว่างอะตอมมีขนาดลดลงจึงทำให้โครงสร้างของแก้วเกิดการหดตัวลง ในงานวิจัยด้านวัสดุแก้วนั้นจะเรียกสารเคมีที่เติมลงในโครงสร้างแก้วแล้วทำให้ปริมาตรเชิงโมลของแก้วเปลี่ยนแปลงไปว่า Network modifier และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรเชิงโมลกับความเข้มข้นของแก้วที่เติม  $\text{Er}_2\text{O}_3$  ดังแสดงในภาพที่ 3 กราฟที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9961



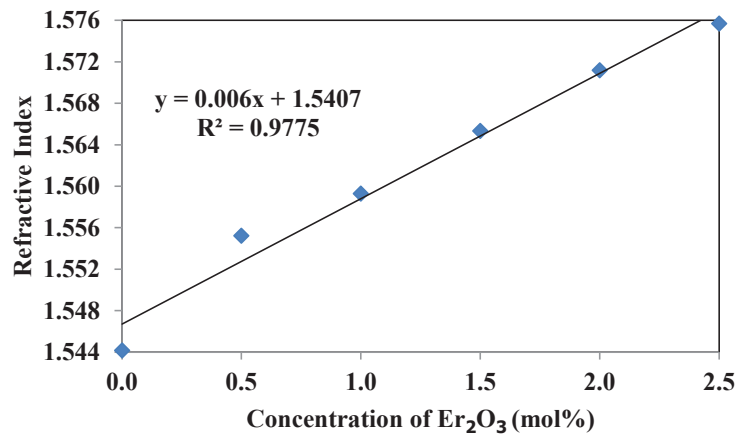
ภาพที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความเข้มข้นของแก้วที่เติม  $\text{Er}_2\text{O}_3$



ภาพที่ 3 กราฟค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วที่เติม  $\text{Er}_2\text{O}_3$  ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

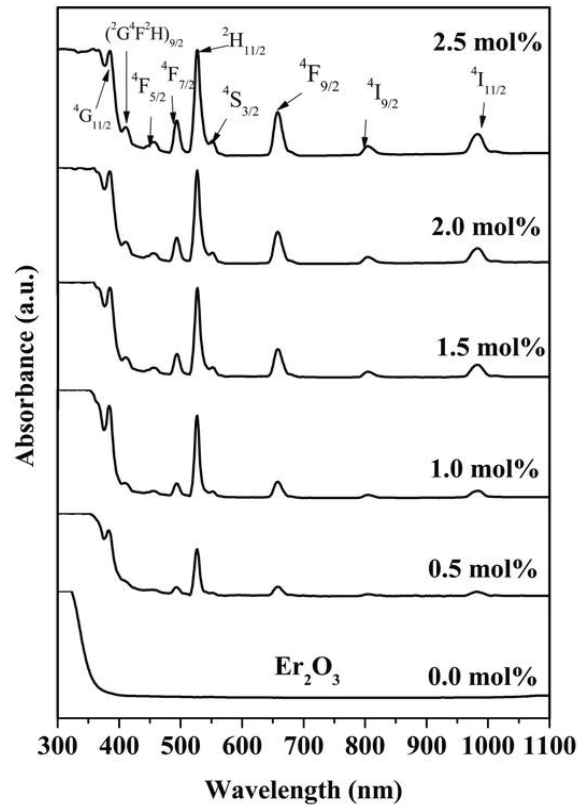
จากการวิเคราะห์หาค่าดัชนีหักเหของแก้วตัวอย่างที่เติม  $\text{Er}_2\text{O}_3$  ที่มีความเข้มข้น 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 ร้อยละโดยโมล โดยใช้เครื่อง Abbe refractometer พบว่าค่าดัชนีหักเหมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Er}_2\text{O}_3$  ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง  $1.5442 \pm 0.0001$  ถึง  $1.5757 \pm 0.0001$  โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ของความหนาแน่น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีไดอิเล็กตริกแบบดั้งเดิมที่ว่าค่าดัชนีหักเหจะขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่น และสภาพการเกิดขั้วได้

ของอะตอมในวัสดุ และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหกับความเข้มข้นของแก้วที่เติม  $\text{Er}_2\text{O}_3$  ดังแสดงในภาพที่ 4 กราฟที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9775



ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหกับความเข้มข้นของแก้วที่เติม  $\text{Er}_2\text{O}_3$

จากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300 – 1,100 นาโนเมตร ของแก้วตัวอย่างที่เติมออกไซด์ของ  $\text{Er}_2\text{O}_3$  ที่มีความเข้มข้น 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 ร้อยละโดยโมล พบพีคของค่าการดูดกลืนแสงทั้งหมด 9 พีค คือ 380, 407, 425, 450, 490, 520, 650, 800 และ 970 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการดูดกลืนพลังงานในสถานะพื้น ( $^4I_{15/2}$ ) ไปยังสถานะกระตุ้น  $^4G_{11/2}$ ,  $(^2G^4F^2H)_{9/2}$ ,  $^4F_{3/2}$ ,  $^4F_{5/2}$ ,  $^4F_{7/2}$ ,  $^2H_{11/2}$ ,  $^4F_{9/2}$ ,  $^4I_{9/2}$  และ  $^4I_{11/2}$  ตามลำดับ โดยที่ความยาวคลื่นในช่วง 800 และ 970 นาโนเมตร เป็นช่วงการดูดกลืนในช่วงอินฟราเรด ทำให้แก้วที่ได้ไม่มีสี ส่วนที่ความยาวคลื่นช่วงอื่น ๆ ที่กล่าวมา มีการดูดกลืนแสงม่วง น้ำเงินและส้ม ทำให้สีของแก้วที่มองเห็นมีสีชมพู ซึ่งสีจะเข้มขึ้นตามความเข้มข้นของปริมาณ  $\text{Er}_2\text{O}_3$  ที่เพิ่มมากขึ้น แสดงได้ในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กราฟการดูดกลืนแสงของแก้วที่เติม  $\text{Er}_2\text{O}_3$  ความเข้มข้นต่างๆในช่วงความยาวคลื่น 300–1,100 นาโนเมตร

#### 4. สรุปผลการวิจัย

ในการทดลองนี้ทางผู้วิจัยดำเนินการเตรียมแก้วสีชมพูที่ใช้อุณหภูมิการหลอมต่ำ พร้อมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางแสง ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล ดัชนีหักเห และการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วที่เตรียมขึ้น โดยทำการเตรียมแก้วตามอัตราส่วน แก้วจากสูตร  $60\text{P}_2\text{O}_5 : 15\text{B}_2\text{O}_3 : 15\text{CaO} : 10\text{SrO}$  แล้วทำการหลอมที่อุณหภูมิสูงสุด 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเทแก้วใส่แม่พิมพ์ แล้วทำการอบอ่อนในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ดัชนีหักเห และการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแก้วที่เตรียมขึ้น จากนั้นทำการเตรียมแก้วสี โดยการใส่สารให้สี  $\text{Er}_2\text{O}_3$  ที่มีปริมาณความเข้มข้นตั้งแต่ 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 ร้อยละโดยโมล เข้าไปแทนที่ปริมาณของ  $\text{P}_2\text{O}_5$  พบว่าแก้วตัวอย่างที่ไม่ได้เติม  $\text{Er}_2\text{O}_3$  จะได้แก้วที่มีลักษณะใสไม่มีสีเกิดขึ้น เมื่อเติม  $\text{Er}_2\text{O}_3$  จะได้แก้วที่มีสีชมพูอ่อน และสีจะเข้มขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Er}_2\text{O}_3$  เพิ่มมากขึ้น ค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Er}_2\text{O}_3$  ที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนทางกับค่าปริมาตรเชิงโมลที่มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของ  $\text{Er}_2\text{O}_3$  ที่เพิ่มมากขึ้น จากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300 – 1,100 นาโนเมตร พบพีคของค่าการดูดกลืนแสงทั้งหมด 9 พีค คือ 380, 407, 425, 450, 490, 520, 650, 800 และ 970 นาโนเมตร

#### 5. ข้อเสนอแนะ

ควรทำการศึกษาการเกิดสีอื่น ๆ และศึกษาสมบัติอื่นเพิ่มเติมเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนจนรายได้จากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ประจำปีงบประมาณ 2565 ภายใต้โครงการวิจัยบูรณาการนักรักศึกษาและอาจารย์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและความเป็นเลิศทางวิชาการ ปีงบประมาณ 2565

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] [http://www.ops3.moc.go.th/infor/MenuComTH/stru1\\_export/export\\_topn\\_re/report.asp](http://www.ops3.moc.go.th/infor/MenuComTH/stru1_export/export_topn_re/report.asp)
- [2] [<https://www.siamturakij.com/news/10787-ไทยเทคโนโลยีกระจกใสใจสิ่งแวดล้อม นำเศษกระจกเหลือทิ้งต่อยอดสู่ผลิตภัณฑ์ใหม่ สร้างมูลค่าเพิ่ม>]
- [3] El-Desoky M.M. (2005). **Characterization and transport properties of  $V_2O_5$ - $Fe_2O_3$ - $TeO_2$  glasses**. Journal of Non-Crystalline Solids, Vol 351, pp. 3139–3146.
- [4] Krishna Kumari G., Muntaz Begum Sk., Rama Krishna Ch., Sathish D.V., Murthy P.N., Rao P.S., Ravikumar R.V.S.S.N. (2012). **Physical and optical properties of  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  doped  $20ZnO + xLi_2O + (30 - x)K_2O + 50B_2O_3$  ( $5 \leq x \leq 25$ ) glasses: Observation of mixed alkali effect**. Materials Research Bulletin, Vol 47, pp. 2646–2654.
- [5] B Sudhaker Reddy and S Buddhudu. (2007). **Spectral analysis of  $Cu^{2+}$  and  $Mn^{2+}$  ions doped borofluorophosphate glasses**. Bull. Mater. Sci, Vol 30(5), pp. 481–486.
- [6] S. Cetinkaya Colak and E. Aral. (2011). **Optical and thermal properties of  $P_2O_5$ - $Na_2O$ - $CaO$ - $Al_2O_3$ : CoO glasses doped with transition metals**. Journal of Alloys and Compounds, Vol 509, pp. 4935–4939.
- [7] Padlyak B. and et al. (2006). **Spectroscopy of Mn-Doped Glasses of  $CaO$ - $Ga_2O_3$ - $GeO_2$  system**. Ukrainian Journal of Physical Optics, 7(1), 21.
- [8] V. Volpi and et al. (2016). **Optical and structural properties of  $Mn^{2+}$  doped  $PbGeO_3$ - $SbPO_4$  glasses and glass-ceramics**. Journal of Non-Crystalline Solids, 431, 135–139.
- [9] BAHMAN MIRHADI, BEHZAD MEHDIKHANI. (2011). **Effect of manganese oxide on redox iron in sodium silicate glasses**. JOURNAL OF OPTOELECTRONICS AND ADVANCED MATERIALS, 13(10), 1309 – 1312.
- [10] G. Ravi Kumar and et al. (2018). **Role of  $Mn^{2+}$  ions on optical and luminescent properties of  $LiF$ - $Sb_2O_3$ - $ZnO$ - $B_2O_3$ - $SiO_2$  glasses**. Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 170, 156–165.
- [11] G. Murali Krishna and et al. (2007). **Characterization and physical properties of  $Li_2O$ - $CaF_2$ - $P_2O_5$  glass ceramics with  $Cr_2O_3$  as a nucleating agent - Physical properties**. Journal of Solid-State Chemistry, 180, 2747–2755.