

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

5.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลทางโบราณคดี การรวบรวมตัวอย่างกระจกกรึบและการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากศิลปวัตถุและ โบราณสถาน ได้ดำเนินการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้งานกระจกกรึบภายในพระบรมมหาราชวัง วัดและโบราณสถานต่างๆ รวมประมาณ 100 แห่ง มีการใช้กระจกกรึบทั้งที่เป็นแบบกระจกจีน (แก้วอั้งวะ) กระจกอยุธยาและกระจกรัตนโกสินทร์ โดยที่ในพื้นที่ภาคเหนือ ส่วนใหญ่จะเป็นแบบแก้วอั้งวะเกือบทั้งหมด ในพื้นที่ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ มีทั้งที่เป็นกระจกอยุธยา กระจกรัตนโกสินทร์ และแก้วอั้งวะ พบว่ามีสีสรรที่แตกต่างในด้านความเข้มของแต่ละสี ได้แก่ สีขาว สีแดง สีเขียว สีน้ำเงินและสีเหลือง (สีทอง)

5.1.2 การตรวจวิเคราะห์ ตรวจสอบ ตรวจวัดและทดสอบตัวอย่างกระจกกรึบพบว่า

##### 5.1.2.1 ค่าความหนา

- กระจกอยุธยา มีค่าความหนา ระหว่าง 0.67 - 1.05 มิลลิเมตร
- กระจกรัตนโกสินทร์ มีค่าความหนา ระหว่าง 0.55 - 1.02 มิลลิเมตร

##### 5.1.2.2 ค่าดัชนีหักเห

- กระจกอยุธยา มีค่าดัชนีหักเหระหว่าง 1.535- 1.599
- กระจกรัตนโกสินทร์ มีค่าดัชนีหักเหระหว่าง 1.525 - 1.607

5.1.2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้าง พบว่า ทั้งกระจกอยุธยาและกระจกรัตนโกสินทร์มีองค์ประกอบทางเคมีที่คล้ายคลึงกัน ส่วนประกอบหลักที่สำคัญนอกเหนือจาก ซิลิกอน (Si) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของการเกิดแก้วคือ ตะกั่ว (Pb) ในปริมาณที่สูง การที่กระจกกรึบมีตะกั่วสูงในองค์ประกอบ ทำให้หลอมตัวได้ง่ายที่อุณหภูมิไม่สูงมาก นับได้ว่าเป็นพัฒนาการที่น่าสนใจและชี้ให้เห็นถึงความมี

ภูมิปัญญาของคนไทยในอดีตได้เป็นอย่างดี

### 5.1.3 การศึกษากระบวนการทำเนื้อกระจกเงา

5.1.3.1 การเลือกวัสดุที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นภาชนะสำหรับหลอมแก้ว โดยใช้ Porcelain, Alumina, Nickel, Platinum และ Graphite พบว่า Platinum มีความเหมาะสมที่สุด แต่มีราคาที่สูงมาก จึงเหมาะสมสำหรับใช้ในการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ ที่ต้องการการปนเปื้อนน้อยที่สุดและผลที่ได้มีความบริสุทธิ์มากที่สุด ส่วน Graphite มีความเหมาะสมในระดับโรงงานต้นแบบ

### 5.1.3.2 การศึกษาส่วนผสมของเนื้อแก้วที่เหมาะสม พบว่า

5.1.3.2(1) เนื้อแก้วสูตรมาตรฐานที่ใช้สารเคมีเกรดห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Pb}_3\text{O}_4$  และ  $\text{CaO}$  เเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส

5.1.3.2(2) เนื้อแก้วสูตรมาตรฐานที่ใช้วัตถุดิบธรรมชาติ ประกอบด้วย Quartz,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{Pb}_3\text{O}_4$  เเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

5.1.3.2(3) เนื้อแก้วสีต่างๆ โดยการผสมเนื้อแก้วสูตรมาตรฐาน ตาม 5.1.3.2 (1) และสารเคมีให้สีต่างๆ

- เนื้อแก้วสีม่วง โดยการผสม  $\text{MnO}_2$  หรือ  $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$
- เนื้อแก้วสีน้ำตาล โดยการผสม  $\text{Fe}_2\text{O}_3$
- เนื้อแก้วสีเขียว โดยการผสม  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  หรือ  $\text{CuO}$  และ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$
- เนื้อแก้วสีน้ำเงิน โดยการผสม  $\text{CuO}$  หรือ Au Foil หรือ  $\text{CoO}$

5.1.4 การตรวจสอบ ตรวจวิเคราะห์ ตรวจวัดและทดสอบตัวอย่างแก้วที่สร้างขึ้น สำหรับแก้วสีน้ำเงินที่ได้จาก  $\text{CuO}$

5.1.4.1 ค่าดัชนีหักเห ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Refractometer มีค่าระหว่าง 1.643 - 1.744

5.1.4.2 ค่าดัชนีหักเห ที่ได้จากการคำนวณจากค่า Dielectric Constant มีค่าระหว่าง 1.991 - 2.066

5.1.4.3 ผลการวิเคราะห์ทางความร้อน มีค่า Phase Transformation ที่อุณหภูมิ ประมาณ 800 องศาเซลเซียส

5.1.4.4 ผลการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างและองค์ประกอบ มีองค์ประกอบที่เป็น Si, Pb, Ca, K และ Cu ซึ่งมี X-ray Peaks ทุก Peak ตรงกับที่ได้จากแก้วโบราณ และผิวหน้าของแก้ว แสดงให้เห็นถึงการก่อตัวเป็นรูปผลึกกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อแก้ว

5.1.4.5 นอกจากนี้ จากผลการทดลอง พบว่า ค่าดัชนีหักเหมีความสัมพันธ์กับโลหะที่เติมลงไปเพื่อทำให้เกิดสี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โลหะในกลุ่มทรานซิชัน ค่าดัชนีหักเหจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อเลขอะตอมมีค่าสูงขึ้น

## 5.2 อภิปรายผล

5.2.1 แก้วสีต่างๆที่สร้างขึ้นมาโดยใช้สารเคมีเกรดห้องปฏิบัติการ สามารถทำให้ได้สีที่ใกล้เคียงกับสีของแก้วโบราณ ให้ค่าดัชนีหักเหที่ใกล้เคียงกัน มีการก่อตัวเป็นรูปผลึกกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อแก้วในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน

5.2.2 องค์ประกอบของแก้วสีที่สร้างขึ้นมา ได้พยายามผสมในสัดส่วนที่ให้มีความใกล้เคียงกับของแก้วโบราณ ซึ่งเป็นผลทำให้การหลอมตัวของแก้วเป็นที่อุณหภูมิ ประมาณ 1,100 องศาเซลเซียส ซึ่งน่าจะใกล้เคียงกับเทคโนโลยีในสมัยนั้น

5.2.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการหลอม ระยะเวลาในการหลอมและอุณหภูมิในการเย็นตัว มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเห

5.2.4 ค่าดัชนีหักเห ที่ได้จากการวัด โดยตรงจากเครื่องมือวัดค่าดัชนีหักเห (Refractometer) และที่คำนวณจากค่า Dielectric Constants ซึ่งคำนวณได้จากการวัดค่าความจุไฟฟ้าด้วยเครื่อง LCZ Meter มีค่าที่ใกล้เคียงกัน แตกต่างกันโดยเฉลี่ยประมาณ 18 %

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำให้แก้วมีขนาดความบางที่ใกล้เคียงกับแก้วโบราณนั้น ได้ทดลองโดยการเป่าเป็นรูปทรงกลม เนื่องจากปริมาณเนื้อแก้วที่ได้จาก

การหลอมใน Platinum Crucible มีน้อย จึงทำให้ได้ทรงกลมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 มิลลิเมตรที่จะทำให้แก้วมีขนาดความบางประมาณ 0.5 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ปริมาณเนื้อแก้วที่มากกว่านี้ ซึ่งจะทำให้ได้ทรงกลมแก้วที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จะต้องเปลี่ยนขนาดของ Crucible ให้ใหญ่กว่านี้ นอกจากนี้ จะต้องมีการศึกษาเพื่อหาวิธีการที่จะทำให้ได้เป็นแผ่น ซึ่งตามความต้องการเพื่อการใช้งานในด้านการบูรณะและอนุรักษ์ศิลปวัตถุและโบราณสถาน แผ่นแก้วมีขนาดประมาณ 7x9 เซนติเมตร

5.3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการเคลือบผิวด้านหลัง (ด้านที่มีความเว้า) ทดลองโดยการใช้เทคนิค Evaporation ด้วยอลูมิเนียม พบว่าสามารถเกาะติดที่ผิวของแก้วได้ และถ้านำไปเข้าในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส จะทำให้การเกาะติดผิวที่ดีขึ้น ถึงแม้ว่าวิธีการนี้ ไม่ใช่เทคนิคที่ใช้ในสมัยนั้น แต่จะเป็นการจุดประกายให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในส่วนที่จะต้องมีความร้อนเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในระหว่างการทำให้เนื้อแก้วติดกับโลหะ

5.3.3 กระจกเกรียบ นับได้ว่าเป็นผลงานที่บ่งถึงภูมิปัญญาของคนไทยในอดีต ซึ่งปัจจุบันไม่มีการถ่ายทอดสืบต่อกันมา หลงเหลือไว้เพียงชิ้นงานที่นับวันจะชำรุด ทรุด-โทรม และสูญหายไปตามกาลเวลา จึงควรที่จะได้มีการศึกษา ค้นคว้า ทดลอง วิจัยและพัฒนาต่อไป เพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้ดังกล่าว