

# การพัฒนาระดับสีของกลาสเซรามิกที่มีสมบัติกรอแต่งเพื่อใช้เป็นวัสดุทางทันตกรรม

## Development of Colouration of Machinable Glass-Ceramics for Dental Materials

กันภัย กระต๋องงาน และชนภูมิ อุทิศ

ผศ.ดร. ดวงฤดี ฉายสุวรรณ

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทร. 0-2942-8555 ต่อ 2107 E-mail: fengddc@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

การพัฒนาสูตรของกลาสเซรามิกชนิดไมก้าให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุทางทันตกรรม และอิทธิพลของซีเรียมออกไซด์ ซึ่งเป็นสารให้สีและช่วยทำให้เกิดนิวเคลียสที่มีผลต่อสมบัติทางกล สมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และระดับสี ซึ่งในกลาสเซรามิกสูตรนี้มีปริมาณฟลูอออะพาไทต์ร้อยละ 3.5 โดยโมล และซีเรียมออกไซด์ร้อยละ 4.45 โดยมวล (GCF3.5Ce5) เริ่มจากนำส่วนประกอบทั้งหมดมาหลอมเหลวในเตาที่อุณหภูมิประมาณ 1,420 °C เหน้แก้วลงในน้ำเพื่อให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว ได้ออกมาเป็นเม็ดแก้วใส นำแก้วใสที่ได้ไปคัดขนาดโดยเม็ดแก้วที่มีขนาดเล็กกว่า 45 ไมครอน จะใช้นำไปวิเคราะห์หาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเกิดนิวเคลียสด้วยเครื่อง DTA แล้วจึงนำเม็ดแก้วทั้งหมดที่เหลือไปหลอมใหม่อีกครั้ง แล้วเทลงในแม่พิมพ์คาร์บอน ได้ออกมาเป็นแท่งแก้วใส นำแท่งแก้วใสมาห่อหุ้มด้วยแม่พิมพ์ที่ทำจากปูนปลาสเตอร์และเม็ดแก้วที่ผ่านการคัดขนาดแล้วไปผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม (อ้างอิงจากอุณหภูมิในการเกิดผลึกที่หนึ่ง ( $T_{p1}$ )) ได้ออกมาเป็นแท่งกลาสเซรามิกและเม็ดกลาสเซรามิก จากนั้นนำไปศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง XRD พบว่าเกิดผลึกของ แคลเซียมไมก้า ซิลิกอนออกไซด์ คอร์เดียไรท์ สทรอนเทียมออกไซด์ สทรอนเทียมฟลูอออะพาไทต์ อะนอร์ไทต์ แมกนีเซียมซิลิเกต และฟอสเฟตไรต์ ศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยเครื่อง SEM พบโครงสร้างผลึกของไมก้าอย่างชัดเจน จากการทดสอบระดับสีพบว่ามีความสว่างค่อนข้างมาก มีสีค่อนข้างเขียวและเหลืองและมีค่าความทึบแสงมากกว่าสูตรที่ไม่มีซีเรียมออกไซด์และไม่ใช้แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ เมื่อทดสอบความแข็งแรงแบบโมเมนต์คดสองแกนและความแข็งแบบวิกเกอร์ส พบว่ามีค่าต่ำกว่าเช่นกัน และจากการทดสอบความสามารถในการละลายต่อกรด พบว่ามีค่าสูงกว่า

**คำสำคัญ :** กลาสเซรามิกชนิดไมก้า, ฟลูอออะพาไทต์, ซีเรียมออกไซด์, อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเกิดนิวเคลียส, ระดับสี, แม่พิมพ์ชั่วคราว

### Abstract

The development of mica-based glass-ceramics which is appropriate for applying as dental materials and influence of CeO<sub>2</sub> as colouring and nucleating agents on mechanical properties, chemical property, physical properties and colouration. This glass-ceramics consist of 3.5 mol% fluorapatite and 4.45 wt% CeO<sub>2</sub> (GCF3.5Ce5). All chemical compositions were weighed and mixed homogeneously, melted at 1420 °C, quenched in water to obtain glass frit and classified by sieving technique. Glass frit of < 45 μm was analysed by Differential Thermal Analysis (DTA). Glass frit left from sieving was remelted then was poured into carbon mould to produce a glass rod. A glass rod were moulded by plaster and sieved glass frit then was heat-treated at optimum temperature and time nucleation (refer to  $T_{p1}$ ) to transform to a glass-ceramic rod and glass-ceramic frit. After that crystalline compositions of glass-ceramic were analysed by X-ray Diffractometer (XRD). XRD results showed that glass-ceramic consist of calcium-mica, silicon oxide, cordierite, strontium oxide, strontium fluorapatite, anorthite, magnesium silicate and forsterite. In addition, the analysis of microstructures by Scanning Electron Microscope (SEM) obviously found mica microstructure. Moreover, results of coloration test showed that glass-ceramic is highly bright with greenish yellow colour and higher opacity than without CeO<sub>2</sub> and without plaster molding glass-ceramics. Furthermore, results of biaxial flexural strength and Vickers hardness test showed the lower biaxial flexural strength and hardness when compare to without CeO<sub>2</sub> and without plaster moulding glass-ceramics. The chemical solubility of glass-ceramic specimen is higher than without CeO<sub>2</sub> and without plaster moulding glass-ceramics.

**Keywords:** Mica-Based Glass-Ceramics, Fluorapatite, CeO<sub>2</sub>, Optimum Temperature and Time Nucleation, Colouration, Investment Moulding

### 1. คำนำ

วัสดุทางชีวภาพ สามารถนำมาใช้ทดแทนเนื้อเยื่อหรือ อวัยวะ ส่วนต่างๆของร่างกายมนุษย์ที่เกิดการเสื่อมสภาพหรือเสียหาย เซรามิกชีวภาพ ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นมาสำหรับใช้ในซ่อมแซมส่วนที่เสียหายของร่างกายมนุษย์เช่น กระดูก ข้อต่อ และฟัน เนื่องจากมีสมบัติเด่นในด้านความสามารถเข้ากับร่างกายมนุษย์ได้ (Biocompatibility) วัสดุที่กำลังพัฒนาและเป็นที่น่าสนใจสำหรับการทำฟันเทียม คือ กลาสเซรามิก (Glass-Ceramics) กระบวนการผลิตกลาสเซรามิกจะเริ่มจากการหลอมเนื้อแก้วให้เป็นของเหลวเช่นเดียวกับแก้วชนิดอื่นๆ แต่จะแตกต่างกันคือ กลาสเซรามิกจะต้องผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment) ซึ่งจะช่วยให้สารช่วยสร้างให้เกิดนิวเคลียส (Nucleating Agent) ที่ผสมอยู่ในเนื้อแก้วตกผลึกออกมา และเป็นแกนกลางให้เนื้อแก้วส่วนอื่นๆ มาเกาะทำให้ผลึกเติบโตขึ้น สารสร้างนิวเคลียสที่นิยมใช้ได้แก่  $TiO_2$ ,  $P_2O_5$ ,  $ZrO_2$  (Alizadeh *et al.*, 2008) และ  $CeO_2$  (Ping *et al.*, 2009) สมบัติของกลาสเซรามิก คือ แข็งแรงสูง ทนการขีดสีได้ดี ขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ ทนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ มีความสามารถในการขึ้นรูป และมีสีใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ (Park and Lake, 2007) กลาสเซรามิกที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานด้านทันตกรรมมากที่สุด คือ กลาสเซรามิกชนิดไมก้า (Mica-Based Glass-Ceramics) เนื่องจากมีสมบัติด้านการกรองแสงที่ดีมาก แต่เนื่องจากยังมีปัญหาอยู่คือสีของกลาสเซรามิกยังไม่สามารถที่จะทำให้ระดับของสีใกล้เคียงกับฟันจริงได้ สีของกลาสเซรามิกจะรวมตัวกันอยู่ในองค์ประกอบผลึกของสารให้สีจะทำให้มีสีขึ้นในระหว่างการเผา สีของเซรามิกส่วนใหญ่เกิดจากสารให้สีที่เกิดขึ้นภายในจากออกไซด์ของโลหะทรานซิชัน (Grossman, 1995)

การวิจัยนี้จัดทำเพื่อพัฒนาระดับสีของกลาสเซรามิกชนิดไมก้าให้ใกล้เคียงกับสีฟันธรรมชาติของมนุษย์ ศึกษาและทดสอบสมบัติทางกล ทางเคมี และทางกายภาพรวมไปถึงระดับสี โดยใช้ข้อมูลของโลหะทรานซิชัน ได้แก่  $CeO_2$

## 2. สารเคมี และวิธีดำเนินการดำเนินโครงการ

### 2.1. ขั้นตอนการผลิตแท่งแก้วและเม็ดแก้ว

ซึ่งสารเคมีทั้งหมด ได้แก่  $MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $MgF_2$ ,  $CaF_2$ ,  $CaCO_3$ ,  $SrCO_3$ ,  $P_2O_5$  และ  $CeO_2$  นำเข้าเตา โดยคงอุณหภูมิประมาณ  $1420\text{ }^{\circ}\text{C}$  โดยใช้อัตราความร้อน  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 10 นาที จากนั้นจึงเทน้ำแก้วที่หลอมละลายลงในถังสแตนเลสที่บรรจุน้ำไว้ จะได้แก้วมีลักษณะเป็นเม็ดหรือเกล็ดใสเรียกว่า Frit นำไปอบไล่ไอน้ำที่อุณหภูมิประมาณ  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  นำเม็ดแก้วมาคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อน ที่มีขนาดมากกว่า 2 มิลลิเมตร นำไปผ่านกระบวนการทางความร้อน แล้วจึงนำไปวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคด้วยเครื่อง SEM เม็ดแก้วที่มีขนาดเล็กกว่า 45 ไมครอน ให้นำไปวิเคราะห์กระบวนการทางความร้อนด้วยเครื่อง DTA และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ โครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง XRD สำหรับเม็ดแก้วที่เหลือจากการคัดขนาดจะนำกลับไปหลอมใหม่อีก

ครั้ง หลังจากให้ความร้อนแก่เม็ดแก้วประมาณ 1 ชั่วโมง จึงเริ่มให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์คาร์บอน จนถึงอุณหภูมิ  $T_g - 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  นำน้ำแก้วหลอมเทใส่แม่พิมพ์คาร์บอน และอบอ่อนที่อุณหภูมิที่  $T_g - 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที เพื่อเป็นการลดความเค้นตกค้าง (Annealing)

### 2.2. ขั้นตอนวิเคราะห์อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดนิวเคลียส (Optimum Nucleation Temperature) (Marotta *et al.*, 1981)

นำผงแก้วที่มีขนาดเล็กกว่า 45 ไมครอน เข้าเครื่อง DTA ให้ความร้อนแก่ผงแก้ว โดยมีอัตราให้ความร้อน  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  สารอ้างอิงที่ใช้คือ  $\alpha - Al_2O_3$  จากนั้นหาค่า  $T_g$ ,  $T_p$  และ  $T_m$  โดยให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  เมื่อทราบค่าอุณหภูมิดังกล่าวแล้วจะนำมาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดผลึกได้ โดยให้ความร้อนอีก 5 ครั้งที่อุณหภูมิต่างกักัน ดังนี้คือ  $T_g \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  และ  $T_g \pm 30\text{ }^{\circ}\text{C}$  โดยคงไว้ 1 ชั่วโมง จากนั้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ  $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$  แล้วนำค่าของอุณหภูมิ  $T_{p1}$  ของการทั้ง 5 ครั้ง ไปหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดของนิวเคลียส โดยการสร้างกราฟระหว่างอุณหภูมิที่คงไว้กับผลต่างของอุณหภูมิ  $T_{p1}$  ของแก้วกับอุณหภูมิ  $T_{p1}$  ของแก้วที่ถูกคงไว้ที่อุณหภูมิต่างๆทั้ง 5 ค่า ( $T_{p1} - T_{p1}^*$ ) จากนั้นหาจุดตัดสูงสุดของกราฟระหว่างเส้นแนวโน้มทั้ง 2 เส้น คืออุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดนิวเคลียส

### 2.3. ขั้นตอนการวิเคราะห์เวลาที่ที่เหมาะสมในการเกิดนิวเคลียส (Optimum Nucleation Time) (Marotta *et al.*, 1981)

นำผงแก้วที่มีขนาดเล็กกว่า 45 ไมครอน เข้าเครื่อง DTA ให้ความร้อนแก่แก้วจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดนิวเคลียส โดยคงอุณหภูมินั้นไว้ที่ระยะเวลา 0.5, 1, 2, 4 และ 10 ชั่วโมง จากนั้นนำผลทั้งหมดมาสร้างกราฟระหว่างผลต่างของอุณหภูมิ  $T_{p1}$  กับอุณหภูมิ  $T_{p1}$  ของแก้วที่ถูกคงไว้ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดนิวเคลียส ( $T_{p1} - T_{p1}^*$ ) กับเวลาที่คงอุณหภูมินั้นไว้ จากนั้นลากเส้นขนานกับเส้นกราฟในแนวตั้ง และลากเส้นขนานกับเส้นกราฟในแนวนอน ซึ่งจะได้จุดตัด คือเวลาที่ที่เหมาะสมในการเกิดนิวเคลียส

### 2.3. ขั้นตอนการทำแท่งกลาสเซรามิก

นำแท่งแก้วและเม็ดแก้วที่คัดขนาดแล้วไปผ่านกระบวนการทางความร้อนในเตา จากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดนิวเคลียส และคงอุณหภูมินั้นไว้เป็นเวลาเท่ากับเวลาที่เหมาะสมในการเกิดนิวเคลียส จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิไปจนถึงอุณหภูมิที่นิวเคลียสเกิดการโตเป็นผลึก คงไว้เป็นระยะเวลาเดียวกับช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดนิวเคลียส และปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในเตา ซึ่งจะได้เม็ดกลาสเซรามิก และแท่งกลาสเซรามิกที่มีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นจนทึบ

ในการวิจัยนี้ได้มีการใช้ปูนพลาสเตอร์ชนิดทนความร้อนทำเป็นแม่พิมพ์ชั่วคราวในการช่วยพยุงแท่งแก้วขณะที่อยู่ในกระบวนการทางความร้อนในเตา ซึ่งอัตราส่วนผสมของปูนพลาสเตอร์ต่อน้ำ คือ ปูนพลาสเตอร์ 200 กรัมต่อน้ำ 76 มิลลิลิตร

2.4. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างผลึก โดยนำแก้วและกลาสเซรามิกที่ถูกบดจนมีขนาดเล็กกว่า 45 ไมครอนมาอัดขึ้นรูปให้เป็นรูปลักษณะช่องหน้าต่าง (Window) แล้วนำเข้าเครื่อง XRD

2.5. การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค โดยนำเม็ดกลาสเซรามิก ที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตร 2-3 เม็ดที่กลมมน ทบให้แตกออกเป็นส่วนๆ นำเข้าเครื่อง Ultrasonic Cleaner แล้วนำมาจุ่มกรด HF เข้มข้น 10% เป็นเวลา 20 วินาที นำชิ้นงานไปเคลือบทอง จากนั้นนำชิ้นงานไปเข้าเครื่อง SEM

2.6. การวัดระดับสี นำแท่งกลาสเซรามิกมาตัดตามแนวขวางเป็นแผ่น ให้มีความหนาแผ่นละประมาณ 2 มิลลิเมตร จำนวน 10 ชิ้น หลังจากนั้นนำไปขัดหยาบและขัดละเอียด นำไปวัดระดับสีด้วยเครื่อง Colourimeter

2.7. การทดสอบความแข็งแรงแบบโมเมนต์ดัดสองแกน นำชิ้นงานที่ผ่านการวัดระดับสีมาเข้าเครื่อง UTM โดยวางลงบนฐานรองที่เป็นลูกเหล็กทรงกลม 3 ลูกที่จัดวางตัวเป็นรูปสามเหลี่ยม ให้หัวกดเคลื่อนลงมาด้วยความเร็ว 0.1 mm/min จนทำให้ชิ้นงานแตกหักทั้งหมด 10 ชิ้น แล้วหาค่าเฉลี่ยโดยคำนวณจากสูตรดังนี้

$$S = \frac{-0.2387 \times P(X - Y)}{d^2} \quad (1)$$

$$X = (1 + \nu) \ln\left(\frac{b}{c}\right)^2 + \left(\frac{1 - \nu}{2}\right) \left(\frac{b}{c}\right)^2 \quad (2)$$

$$Y = (1 + \nu) \left[ 1 + \ln\left(\frac{a}{c}\right)^2 \right] + (1 - \nu) \left(\frac{a}{c}\right)^2 \quad (3)$$

โดยที่ S ความเค้นดึงสูงสุดที่ตำแหน่งศูนย์กลาง (MPa), P แรงที่ทำให้ชิ้นงานแตกหัก (N), D ความหนาของชิ้นงาน (mm), V สัดส่วนปิวของของเซรามิก = 0.25, a รัศมีของลูกเหล็ก (mm), b รัศมีของพื้นที่รับแรง (mm), c รัศมีชิ้นงาน (mm)

2.8. การทดสอบความแข็งแรงแบบวิกเกอร์ส นำชิ้นส่วนของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความแข็งแรงแบบโมเมนต์ดัดสองแกนเข้าเครื่อง Micro Vickers Hardness Test ใช้แรงกด 500 กรัม กดลงบนชิ้นงานค้างไว้เป็นเวลา 15 วินาที ซึ่งกดทั้งหมด 15 จุดต่อชิ้น และแบ่งเป็น 3 วงต่อแผ่น คือ วงนอก วงกลาง และวงใน โดยกดวงละ 5 จุด นำไปหาค่าเฉลี่ยความแข็งแรง

2.9. การทดสอบความสามารถในการละลายต่อกรด นำชิ้นงานกลาสเซรามิกที่มีพื้นที่หน้าตัดรวมกันไม่ต่ำกว่า 30 cm<sup>2</sup> ที่ผ่านการขัดแล้วเข้าเครื่อง Ultrasonic Cleaner แล้วอบที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนัก แล้วจึงไปแช่กรดน้ำส้มเข้มข้น 4% ในขวดกันกลม แล้วนำเข้าเตาที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง และอบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักหลังทดสอบ คำนวณน้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่ผิว

### 3. ผลการดำเนินงานและวิจารณ์

#### 3.1 การวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเครื่อง DTA

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิด้วยเครื่อง DTA ของกลาสเซรามิกสูตร GCF3.5Ce5 กับ GCF3.5 (พรพิลม, 2554)

อุณหภูมิ (°C)	T <sub>g</sub>	T <sub>p1</sub>	T <sub>p2</sub>	T <sub>m1</sub>	T <sub>m2</sub>
GCF3.5Ce5	628.7	789.7	879.5	1032.3	1073.8
GCF3.5	628	779	883	1038	1133

จากตารางที่ 1 พบว่าอุณหภูมิ T<sub>g</sub> และ T<sub>p1</sub> ของกลาสเซรามิกสูตร GCF3.5Ce5 มีมากกว่าของ GCF3.5 แต่จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเมื่อใส่ CeO<sub>2</sub> จะส่งผลให้ T<sub>g</sub> และ T<sub>p1</sub> ลดลง (Hu *et al.*, 2005) แต่เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเพราะ อุปกรณ์หลอมน้ำแก้วและแก้วดั้งเดิมที่ต่างกัน

อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเกิดนิวเคลียสของกลาสเซรามิกสูตร GCF3.5Ce5 เท่ากับ 643.20°C และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ

3.2. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกลาสเซรามิกสูตร GCF3.5Ce5 พบว่าเกิดผลึกของ แคลเซียมไมก้า ซิลิกอนออกไซด์ คอร์เดียไรท์ สทรอนเทียมออกไซด์ สทรอนเทียมฟลูอออะพาไทด์ อะนอร์ไทต์ แมกนีเซียมซิลิเกต และฟอสเฟอไรต์

3.3. วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของผิวและเนื้อใน ที่โครงสร้างพื้นผิวของกลาสเซรามิกสูตร GCF3.5Ce5 พบโครงสร้างคล้ายแท่งรูปเข็มหรือฟลูอออะพาไทด์น้อยมาก ที่โครงสร้างเนื้อในพบว่ามีรูปร่างคล้ายขนนกและซ้อนกันเป็นชั้นๆ คือโครงสร้างของไมก้า

3.4. การวัดระดับสี ของกลาสเซรามิกสูตร GCF3.5Ce5 มีค่าความสว่างค่อนข้างขาว มีสีค่อนข้างเขียวและเหลือง ส่วนกลาสเซรามิกสูตร GCF3.5 มีค่าความสว่างค่อนข้างขาว มีสีค่อนข้างเขียวและน้ำเงิน ค่าความทึบแสงของสูตร GCF3.5Ce5 มีค่ามากกว่าสูตร GCF3.5 ค่อนข้างมาก น่าจะเป็นผลมาจากการเติม CeO<sub>2</sub>

3.5. การทดสอบความแข็งแรงแบบโมเมนต์ดัดสองแกน ของกลาสเซรามิกสูตร GCF3.5Ce5 มีค่า 141.23 MPa ของสูตร GCF3.5 มีค่า 183.22 MPa เนื่องจากการที่ใส่ CeO<sub>2</sub> ที่เป็นสารช่วยให้เกิดนิวเคลียสลงไปอาจส่งผลให้เกิดผลึกที่มีขนาดเล็กจำนวนมาก แต่ในขั้นตอนของกระบวนการทางความร้อนของแท่งแก้วสูตร GCF3.5Ce5 มีการใช้ปูนปลาสเตอร์ทำเป็นแม่พิมพ์ชั่วคราว ทำให้มีการเย็นตัวอย่างช้าๆ ขนาดของผลึกจึงอาจจะมีขนาดใหญ่กว่าของสูตร GCF3.5

3.6. การทดสอบความแข็งแรงแบบวิกเกอร์สแบบสุ่ม ของกลาสเซรามิกสูตร GCF3.5Ce5 มีค่า 3.52 GPa ของสูตร GCF3.5 มีค่า 3.53 GPa เมื่อทดสอบความแข็งแรงวิกเกอร์สแบบแบ่งพื้นที่ของกลาสเซรามิกสูตร GCF3.5Ce5

ได้ค่าความแข็ง วงใน 3.74 GPa วงกลาง 3.53 GPa วงนอก 3.28 GPa เหตุที่เป็นเช่นนี้ อาจเพราะวงนอกเป็นพื้นที่ที่สัมผัสกับผิวแม่พิมพ์ปูนพลาสเตอร์มากที่สุดจึงมีการเย็นตัวช้าที่สุด เป็นสาเหตุให้ขนาดของผลึกใหญ่ที่สุด จากความแข็งที่มีน้อยลงนี้ ทำให้ค่าดัชนีความเปราะลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการกรอแต่งเพิ่มสูงขึ้น (Baik *et al.*, 1995), (Chaysuwan *et al.*, 2011)

$$B = \frac{Hv}{K_{IC}} \quad (4)$$

โดยที่ B ค่าดัชนีความเปราะ Hv ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ส K<sub>IC</sub> ความความเหนียวด้านทานการแตกหัก

3.7. การทดสอบความสามารถในการละลายต่อกรดของกลาสเซรามิกสูตร GCF3.5Ce5 มีค่า 341 µg.cm<sup>-2</sup> ส่วนสูตร GCF3.5 มีค่า 268 µg.cm<sup>-2</sup> กลาสเซรามิกสูตร GCF3.5Ce5 มีค่าความสามารถในการละลายต่อกรดมากกว่าสูตร GCF3.5 เนื่องจากแข็งแรงน้อยกว่าพันธะในโครงสร้างจึงแข็งแรงน้อยกว่าเช่นกัน

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบกับมาตรฐานสากล ISO 6872: 2008(E)

Materials	Biaxial Flexural Strength (MPa)	Chemical Solubility (µg.cm <sup>-2</sup> )
GCF3.5Ce5	141.23	341
Core Ceramics	> 100	< 2000

#### 4. สรุปผลการดำเนินโครงการงาน

การใส่ CeO<sub>2</sub> ลงในกลาสเซรามิกสูตร GCF3.5Ce5 มีผลให้อุณหภูมิ T<sub>g</sub> และ T<sub>p1</sub> เพิ่มสูงขึ้น พบองค์ประกอบเคมีหลัก ได้แก่ แคลเซียมไมก้า ซิลิกอนออกไซด์ สทรอนเทียมออกไซด์ สทรอนฟลูออไรด์ อะพาไทต์ อะนอไทต์ และแมกนีเซียมซิลิเกต ผลจากการใส่ CeO<sub>2</sub> และใช้ปูนพลาสเตอร์ทำเป็นแม่พิมพ์ชั่วคราวมีผลทำให้สีของกลาสเซรามิกสูตร GCF3.5Ce5 มีค่าความสว่างค่อนข้างขาว มีสีค่อนข้างเขียวและเหลือง มีค่าความทึบแสงค่อนข้างมาก มีค่าความแข็งแรงแบบโมเมนต์ดัดสองแกน และค่าความแข็งแบบวิกเกอร์สต่ำกว่าสูตร GCF3.5 อีกทั้งยังทำให้มีความสามารถในการละลายต่อกรดที่สูงกว่าสูตร GCF3.5 สูดท้ายจากการเปรียบเทียบกับ ISO 6872: 2008(E) ได้ว่ากลาสเซรามิกสูตร GCF3.5Ce5 สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุแกนชนิดเซรามิกสำหรับการซ่อมแซมทางทันตกรรมที่เรียกว่า Core Ceramics

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ดวงฤดี ฉายสุวรรณ ประธานกรรมการที่ปรึกษาปริญญาโท ที่ให้คำปรึกษาในการดำเนินการเรียน การค้นคว้าวิจัย ขอขอบพระคุณ ดร.เทพีวรรณ จิตรวัชรโกมล นัก

วิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ คุณกรองกาญจน์ ศิริบุญกุลพัฒนา คุณพรพิมล ชันชินดา และคุณธีรภา สุพรรณโรจน์นิติปัญญาโท ที่ให้ข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลการวิจัย ผศ.ดร.ปานจิตต์ ชูณหบัณฑิต รองหัวหน้าฝ่ายวิจัยและนวัตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่กรุณาเอื้อเฟื้อ ในเรื่องการใช้เครื่องวัดสีกลาสเซรามิก และสุดท้ายขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- พรพิพล ชันชินดา. 2554. การปรับความเครียดตกค้างสำหรับพัฒนาการขึ้นรูปกลาสเซรามิกชนิดง่ายต่อการกรอแต่ง เพื่อเป็นวัสดุทางทันตกรรมสำหรับซ่อมแซมด้วยระบบ CAD/CAM. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน. กรุงเทพมหานคร.
- Alizadeh P., Eftekhari Y.B. and Javadi T. 2008. Sintering Behavior and Mechanical Properties of the Mica-Diopside Machinable Glass-Ceramics. Journal of The European Ceramic Society 28. 1569-1573.p
- Baik D.S., No K.S., Chun J.S., Yoon Y.J., Cho H.R. 1995. A Comparative Evaluation Method of Machinability for Mica-Based Glass-Ceramics. J. Mater. Sci 30. 1801-1806.p
- Chaysuwan D., Sirinukunwattana K., Heness G. and Yamashita K. 2011. Machinable Glass-Ceramics Forming as a Restorative Dental Material. Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand.
- Grossman David G. 1995. Colored Glass-ceramics Articles. United States Patent 5387558.
- Hu A.M., Liang K.M., Zhou F., Wang G.L. and Peng F. 2005. Phase Transformations of Li<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> Glasses with CeO<sub>2</sub> Addition. Ceramics International 31. 11-14.p
- International Organization for Standardization, ISO 6872. 2008. Dental Ceramics. Switzerland.
- Marotta A., Buri A. and Branda F. 1981. Nucleation in Glass and Differential Thermal Analysis. Journal of Materials Science. Vol.16(20). 341-344.p
- Park J. and Lake R.S. 2007. Biomaterials an Introduction 3<sup>rd</sup> edition. Springer. USA.
- Ping W., Liping Y., Hanning X., Yin C. and Shixun L. 2009. Influence of Nucleation Agents on Crystallization and Machinability of Mica Glass-Ceramics. Ceramics International 35. 2633-2638.p