# ผลของสภาพการเย็นตัวที่มีต่อปริมาณลูไซต์ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์

นายบุญชัย บุญสิตานารา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0741-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# EFFECT OF COOLING CONDITIONS ON LEUCITE CONTENT OF FELDSPATHIC PORCELAIN

Mr. Boonchai Boonsitanara

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Prosthodontics
Department of Prosthodontics
Faculty of Dentistry
Chulalongkorn University
Academic Year 2001

ISBN 974-03-0741-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของสภาพการเย็นตัวที่มีต่อปริมาณลูไซต์ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์

โดย นายบุญชัย บุญสิตานารา

สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. กาญจนา กาญจนทวีวัฒน์

---

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ สุรสิทธิ์ เกียรติพงษ์สาร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสาตราจารย์ ทันตแพทย์ ศุภบูรณ์ บุรณเวช )

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสาตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. กาญจนา กาญจนทวีวัฒน์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสาตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. มโน คูรัตน์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บุญชัย บุญสิตานารา : ผลของสภาพการเย็นตัวที่มีต่อปริมาณลูไซต์ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์.
(EFFECT OF COOLING CONDITIONS ON LEUCITE CONTENT OF FELDSPATHIC PORCELAIN)
อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ทญ. ดร. กาญจนา กาญจนทวีวัฒน์ , 144 หน้า. ISBN 974-03-0741-8.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลกระทบจากการเย็นตัวลงของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ (FP) ภายหลังการเผาในสภาวะต่างกัน 2 แบบคือ การเย็นตัวอย่างรวดเร็ว (F) และการเย็นตัวอย่างช้า (S) โดยศึกษา ตอนที่ I) ผลกระทบต่อปริมาณผลึกลูไซต์ ตอนที่ II) ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อนของพอร์ซเลน ตอนที่ III) ค่ากำลังดัดขวาง ตอนที่ IV) ลักษณะการเกิดผลึกลูไซต์ และตอนที่ V) ความทึบแสง โดยใช้พอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ทั้งหมด 4 ชนิดคือ 1) ชนิดโอพอลเลสเซนต์ (Vintage Halo, Shofu Inc.); 2) ชนิดดั้งเดิม (Vita Omega 900, Vita Zahnfabrik); 3) ชนิดลูไซต์สังเคราะห์ (Noritake Super porcelain EX-3, Noritake Kizai) และ 4) ชนิดเจือฟลูออโรอะปาไธต์ (IPS d.SIGN, Ivoclar) รวมเป็น 8 กลุ่ม ซึ่งแต่ละกลุ่มแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ตอนดังนี้ ตอนที่ I) เตรียมลูไซต์มาตรฐานและตัวอย่างทดสอบของ FP 80 ตัวอย่าง โดยทดสอบด้วยเครื่องวัดการกระเจิงของรังสีเอกซเรย์ และหาค่าร้อยละโดยน้ำหนักของปริมาณลูไซต์ (LEU, wt %) ; ตอนที่ II) เตรียมแท่ง FP ขนาด 2 X 1.5 X 5 มม. จำนวน 8 กลุ่ม นำมาทดสอบด้วยเครื่องวัดการขยายตัว เพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อน ($\alpha$, $X10^{-6}/{}^{0}C$) ; ตอนที่ III) เตรียมแท่งตัวอย่าง FP เคลือบทับบนโลหะผสมไร้สกุล ขนาด 2 X 1.5 X 25 มม. จำนวน 80 ตัวอย่าง เพื่อหาค่ากำลังดัดขวาง (MOR, MPa) ด้วยเครื่องทดสอบสากล โดยให้ FP อยู่ด้านแรงดึงสูงสุด; ตอนที่ IV) นำแผ่นกลม FP ของทั้ง 8 กลุ่ม มากัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) ร้อยละ 0.1 เป็นเวลา 20 นาที และชุบด้วยทองพลาเดียม เพื่อศึกษาลักษณะการเกิดของผลึก โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด; ตอนที่ V) เตรียมแผ่นกลม FP ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. หนา 1.5 มม. จำนวน 80 ตัวอย่าง เพื่อวัดค่าความทึบแสง (Y%) ด้วยเครื่องเทียบสี นำข้อมูลของตอนที่ I III และ V วิเคราะห์โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนและการทดสอบแบบทูกีย์ ผลการศึกษาเป็นดังนี้ ค่าเฉลี่ย( $\bar{X} \pm SD$) ของ (LEU, $\alpha$, MOR, Y%) กลุ่ม 1F) 15.83±1.20, 13.0, 120.31±26.73, 86.37±1.65 กลุ่ม 1S) 18.75±2.08, 15.1, 97.26±26.79, 84.95±2.12 กลุ่ม 2F) 20.09±1.15, 13.3, 113.47±23.98, 91.21±0.72 กลุ่ม 2S) 19.70±1.20, 17.3, 93.58±15.06, 90.70±1.04 กลุ่ม 3F) 20.20±2.04, 12.4, 117.09±28.88, 72.82±1.13 กลุ่ม 3S) 21.33±1.46, 15.4, 127.34±39.18, 71.83±1.19 กลุ่ม 4F) 8.28±1.83, 12.0, 110.94±28.99, 87.35±1.35 กลุ่ม 4S) 8.37±2.47, 15.1, 122.40±20.50, 87.39±1.02 ส่วนภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า กลุ่ม S ปริมาณของผลึกลูไซต์มีขนาดใหญ่กว่ากลุ่ม F และในพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดเดียวกัน ในภาวะการเย็นตัวต่างกัน มีค่าเฉลี่ยร้อยละโดยน้ำหนักของปริมาณลูไซต์ ค่ากำลังดัดขวาง และค่าความทึบแสง / ค่าความโปร่งแสง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่ค่า $\alpha$ ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ภายใต้การเย็นตัวอย่างช้ามีค่าสูงกว่าในทุกกลุ่ม และในภาวะการเย็นตัวลงอย่างเดียวกัน พบว่าพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดลูไซต์สังเคราะห์มีค่าความโปร่งแสงมากที่สุด และพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดเจือฟลูออโรอะปาไธต์มีค่าเฉลี่ยร้อยละโดยน้ำหนักของผลึกลูไซต์น้อยที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเป็นพอร์ซเลนเพียงชนิดเดียวที่เกิดผลึกฟลูออโรอะปาไธต์ ซึ่งเป็นผลึกที่แสดงคุณสมบัติเด่นของพอร์ซเลนกลุ่มนี้ ดังนั้นการเลือกภาวะการเย็นตัวของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ควรคำนึงถึงผลต่อ $\alpha$ ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการเลือกชนิดของโลหะ

ภาควิชา ทันตกรรมประดิษฐ์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2544

## 4176105032: MAJOR PROSTHODONTICS

KEY WORD: FELDSPATHIC PORCELAIN / PORCELAIN-FUSED-TO-METAL SYSTEMS / X- RAY DIFFRACTION ANALYSIS / DILATOMETRIC ANALYSIS / SPECTROPHOTOMETER / LEUCITE CRYSTALS / FLUORAPATITE CRYSTALS

BOONCHAI BOONSITANARA: EFFECT OF COOLING CONDITIONS ON LEUCITE CONTENT OF FELDSPATHIC PORCELAIN. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. DR. KANCHANA KANCHANATAWEWAT, DSc. 144 pp. ISBN 974-03-0741-8.

The purpose of this study was to evaluate the effect of two different cooling conditions of feldspathic porcelain (FP), i.e. fast cooling (F) and slow cooling (S) on: Part I) leucite weight fraction, Part II) the coefficient of thermal expansion of FP, Part III) flexural strength of porcelain- fused- to- metal systems (PFMs), Part IV) microstructure evaluation, and Part V) opacity. The 4 types of FP used were: Type 1) Opalescence FP (Vintage Halo, Shofu Inc.), Type 2) Conventional FP (Vita Omega 900, Vita Zahnfabrik), Type 3) Synthetic leucite FP (Noritake Super porcelain EX-3, noritake Kizai), and Type 4) Fluorapatite glass-ceramic FP (IPS d.SIGN, Ivoclar). The total of 8 groups were then subjected to 2 cooling procedures: F and S. The study was divided into 5 parts. Part I) Standards leucite and FP of 8 groups (80 specimens) were prepared for a quantitative X- ray diffraction analysis. The corrected intensity ratios were used to calculate the weight percent of leucite (LEU, wt %). Part II) FP bars of 8 groups (2 X 1.5 X 5 mm), were fabricated. Dilatometric analysis ($\alpha$, $X10^{-6}/^{0}C$) was performed on the bars using a dilatometer. Part III) 80 PFM bars (2 X 1.5 X 25 mm), were fabricated and randomly divided into 8 groups, (10 bars/ group). The PFM bars were placed in a flexural test device subjected to three-point bending in an Instron testing machine, placing FP on maximum tension. The flexural strength (MOR, MPa) was calculated from the load of failure. Part IV) The microstructure of FP specimens disc (8 groups) were characterized by a scanning electron microscopy. The specimen discs were etched with 0.1% hydrofluoric acid (HF) solution, and then coated with gold-palladium particles. Part V) 80 FP discs having15 mm in diameter and 1.5 mm in height, were fabricated and randomly divided into 8 groups (10 discs/ group). The FP discs were placed in an opacity test device using a spectrophotometer (Y%). ANOVA and Tukey' s statistical analyses of part I, III and V revealed that the Mean ( $\bar{X} \pm SD$) of (LEU, $\alpha$, MOR, Y%) were : Group 1F) 15.83±1.20, 13.0, 120.31±26.73, 86.37±1.65; Group 1S) 18.75±2.08, 15.1, 97.26±26.79, 84.95±2.12; Group 2F) 20.09±1.15, 13.3, 113.47±23.98, 91.21±0.72; Group 2S) 19.70±1.20, 17.3, 93.58±15.06, 90.70±1.04; Group 3F) 20.20±2.04, 12.4, 117.09±28.88, 72.82±1.13; Group 3S) 21.33±1.46, 15.4, 127.34±39.18, 71.83±1.19; Group 4F) 8.28±1.83, 12.0, 110.94±28.99, 87.35±1.35; Group 4S) 8.37±2.47, 15.1, 122.40±20.50, 87.39±1.02. The microstructure of slow cooling FP demonstrated an increase in leucite crystals and higher $\alpha$. FP subjected to different cooling conditions, showed no significant difference in the amount of leucite crystals, flexural strength, and opacity/ translucency. When comparing within the same cooling conditions, FP containing synthetic leucite crystals gave the highest translucency, whereas fluorapatite glass ceramic gave the least amount of leucite crystals ($p \leq 0.05$), and was the only group that contained with fluorapatite crystals, bywhich the main characteristic was dominated. In conclusion, the selection of cooling condition is recommended as it is the cause of porcelain-metal thermal incompatibility.

Department Prosthodontics Student's signature .....

Field of study Prosthodontics Advisor's signature .....

Academic year 2001

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสาตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. กาญจนา กาญจนทวีวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ รวมทั้งวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย และทุนในการทำวิจัยครั้งนี้ ส่วนหนึ่งได้รับจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สนับสนุนค่าใช้จ่ายในการเตรียมลูไซต์มาตรฐานจากรหัสโครงการ RD 63/16/2541 และกองทุนงานวิจัยบัณฑิตศึกษา ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นอกจากนี้ ขอขอบคุณบริษัท เด็นตัล วิชั่น จำกัด บริษัทแอคคอร์ด คอร์ปอเรชั่น จำกัด และบริษัท เจ.มอริต้า แมนูแฟคเจอริ่ง คอร์ปอเรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งให้การเลี้ยงดู ให้การศึกษา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1. บทนำ ..... 1

2. ปริทัศน์วรรณกรรม ..... 6

3. ระเบียบวิธีการวิจัย ..... 20

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ..... 60

5. วิจารณ์ผลการวิจัย ..... 111

6. บทสรุป ..... 117

รายการอ้างอิง ..... 119

ภาคผนวก ..... 123

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ..... 144



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1. ตารางการเผาพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ต่างชนิด..... 27
2. การทดสอบคุณสมบัติของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์..... 28
3. สัดส่วนโดยน้ำหนักของลูไซต์มาตรฐานร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ของผลึกลูไซต์ต่อแก้วเมทริกซ์และ ผลึกอะลูมินาจำนวนร้อยละ 25 โดยน้ำหนักรวมของลูไซต์และแก้วเมทริกซ์..... 34
4. ระยะเวลาการเย็นตัวลงสู่ระดับอุณหภูมิห้องในเตาเผาของพอร์ซเลนต่างชนิดกัน ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า..... 60
5. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละโดยน้ำหนักของปริมาณลูไซต์ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดเดียวกัน ในภาวะการเย็นตัวลงต่างกัน..... 62
6. ค่าสถิติของค่าเฉลี่ยร้อยละโดยน้ำหนักของปริมาณลูไซต์ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดเดียวกัน ในภาวะการเย็นตัวลงต่างกัน..... 63
7. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละโดยน้ำหนักของปริมาณลูไซต์ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ต่างชนิดในภาวะการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว..... 66
8. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละโดยน้ำหนักของปริมาณลูไซต์ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ต่างชนิดในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า..... 68
9. การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อน (ส.ป.ส.) ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ต่างชนิด ในภาวะการเย็นตัวลงที่ต่างกัน..... 71
10. การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อน (ส.ป.ส.) ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ต่างชนิดกัน ในภาวะการเย็นตัวลงต่างกัน กับโลหะ ..... 74
11. ค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวาง (Mpa) ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดเดียวกัน ในภาวะการเย็นตัวลงต่างกัน..... 78
12. ค่าสถิติของค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวางของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดเดียวกัน ในภาวะการเย็นตัวลงต่างกัน..... 79
13. ค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวาง (Mpa) ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ต่างชนิดกัน ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)..... 82

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

14. ค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวางของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ต่างชนิดกัน ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)..... 84
15. ค่าความทึบแสง (ร้อยละ) ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดเดียวกัน ในภาวะการเย็นตัวลงต่างกัน..... 101
16. ค่าสถิติของค่าเฉลี่ยความทึบแสงของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดเดียวกัน ในภาวะการเย็นตัวลงต่างกัน..... 102
17. ค่าเฉลี่ยความทึบแสง (ร้อยละ) ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ต่างชนิดกัน ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ..... 105
18. ค่าสถิติของค่าเฉลี่ยความทึบแสงของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ต่างชนิดกัน ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ..... 106
19. ค่าเฉลี่ยความทึบแสง (ร้อยละ) ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ต่างชนิดกัน ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า.....108
20. ค่าสถิติของค่าเฉลี่ยความทึบแสงของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ต่างชนิดกัน ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า..... 109

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญภาพ


ภาพประกอบที่ หน้า

1. กลุ่มพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ ชนิดโอพอลเลสเซนต์ (สี $A_3B$ dentine)..... 21
2. กลุ่มพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ ชนิดโอพอลเลสเซนต์ (สี $A_3O$ opaque)..... 21
3. กลุ่มพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ ชนิดดั้งเดิม (สี $A_3$ dentine)..... 22
4. กลุ่มพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ ชนิดดั้งเดิม (สี $A_3$ paste opaque)..... 22
5. กลุ่มพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ ชนิดลูไซต์สังเคราะห์ (สี $A_3B$ dentine)..... 23
6. กลุ่มพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ ชนิดลูไซต์สังเคราะห์ (สี $A_3O$ opaque)..... 23
7. กลุ่มพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ ชนิดเจือฟลูออโรอะปาไทต์ (สี 140/ 1C)..... 24
8. กลุ่มพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ ชนิดเจือฟลูออโรอะปาไทต์ (สี140 opaque )..... 24
9. เตาเผาพอร์ซเลน..... 26
10. แผนผังแสดงการแบ่งกลุ่มการทดสอบของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ ตอนที่ I การทดสอบการกระเจิงของรังสีเอกซเรย์เพื่อศึกษาปริมาณลูไซต์ ตอนที่ III การทดสอบค่ากำลังดัดขวางและตอนที่ V การทดสอบค่าความทึบแสง..... 29
11. แผนผังแสดงการแบ่งกลุ่มการทดสอบของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ ตอนที่ II การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อน และ ตอนที่ IV การดูลักษณะโครงสร้างของผลึก.. 31
12. ครกหินโมราและสาก..... 33
13. เครื่องวัดการกระเจิงของรังสีเอกซเรย์..... 33
14. แม่แบบซิลิโคนที่มีลักษณะเป็นแผ่นกลมสำหรับการวัดการกระเจิงของรังสีเอกซเรย์ การดูลักษณะโครงสร้างของผลึก และการวัดค่าความทึบแสง..... 36
15. พอร์ซเลนที่ถูกอัดลงแม่แบบซิลิโคน..... 36
16. พอร์ซเลนแผ่นกลมก่อนเข้าเตาเผามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร ความหนา 1.55 มิลลิเมตร.....37
17. พอร์ซเลนแผ่นกลมภายหลังการเผามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ความหนา 1.50 มิลลิเมตร มีการหดตัวร้อยละ16.67.....37
18. แม่แบบซิลิโคนที่มีลักษณะเป็นแท่งสำหรับการวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อน มีขนาดความกว้าง 2.90 มิลลิเมตร ความหนา 1.55 มิลลิเมตร ความยาว 27.12 มิลลิเมตร....40
19. พอร์ซเลนที่ถูกอัดลงแม่แบบซิลิโคน..... 40

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่ หน้า

20. แท่งพอร์ซเลนก่อนเข้าเตาเผามีขนาดความกว้าง 2.90 มิลลิเมตร ความหนา 1.55 มิลลิเมตร ความยาว 27.12 มิลลิเมตร..... 41
21. แท่งพอร์ซเลนภายหลังการเผาแล้วมีขนาดความกว้าง 2 มิลลิเมตร ความหนา 1.5 มิลลิเมตร ความยาว 25 มิลลิเมตร มีการหดตัวร้อยละ 38.48..... 41
22. แท่งพอร์ซเลนภายหลังการตัดให้มีขนาด 5 มิลลิเมตร.....42
23. เครื่องวัดการขยายตัวเหตุความร้อน..... 42
24. แผ่นพลาสติก มีความหนา 0.50 มิลลิเมตร..... 44
25. แท่งพลาสติกสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความกว้าง 3.00 มิลลิเมตร ความยาว 27.00 มิลลิเมตร..... 44
26. แผ่นพลาสติกยึดกับแกนขี้ผึ้งค้างรูเท และตัวก่อเบ้า..... 45
27. โลหะผสมไร้สกุลที่ใช้ทดสอบ..... 45
28. แท่งโลหะที่ใช้ทดสอบ..... 47
29. การทาชั้นพอร์ซเลนทึบแสงครั้งที่ 1 และ 2 และภายหลังเข้าเตาเผา..... 47
30. การเตรียมตัวอย่างพอร์ซเลนเคลือบทับบนโลหะ โดยใช้แท่งโลหะที่มีความกว้าง 3.00 มิลลิเมตร ความหนา 0.50 มิลลิเมตร ความยาว 26.00 มิลลิเมตร ที่ได้รับการทาชั้นพอร์ซเลนทึบแสง 2 ครั้ง หลังจากเข้าเตาเผา แล้วมาวางทับบนชั้นพอร์ซเลนเนื้อฟันที่เตรียมไว้ในแม่แบบซิลิโคนที่มีความกว้าง 2.90 มิลลิเมตร ความหนา 1.55 มิลลิเมตร และความยาว 27.12 มิลลิเมตร..... 48
31. ตัวอย่างพอร์ซเลนเคลือบทับบนโลหะก่อนเข้าเตาเผา..... 50
32. ตัวอย่างพอร์ซเลนเคลือบทับบนโลหะภายหลังเข้าเตาเผา..... 50
33. การทดสอบค่ากำลังดัดขวางด้วยเครื่องทดสอบสากล..... 51
34. รูปแบบของลักษณะวิธีแรงกดสามตำแหน่ง..... 52
35. กระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์แผ่นสี่เหลี่ยม ขนาด 320 600 1000 และ 1200 กริท..... 54
36. กระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์แผ่นกลม ขนาด 2400 4000 กริท และกระดาษขัดผ้าละเอียด..... 54
37. เครื่องขัดไฟฟ้า..... 55
38. แผ่นพอร์ซเลนแบบกลมที่เคลือบผิวด้วยทองพัลลาเดียม..... 56
39. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... 56

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่ หน้า

40. การนำชิ้นตัวอย่างเข้าติดที่แท่นรับของเครื่องเทียบสี..... 58
41. การบันทึกค่าความทึบแสงที่มีฉากหลังเป็นสีดำและสีขาว..... 58
42. แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยร้อยละโดยน้ำหนักของปริมาณลูไซต์ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดเดียวกัน ในภาวะการเย็นตัวที่ต่างกัน..... 64
43. แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยร้อยละโดยน้ำหนักของปริมาณลูไซต์ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ต่างชนิดกัน ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว..... 67
44. แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยร้อยละโดยน้ำหนักของปริมาณลูไซต์ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ต่างชนิดกัน ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า..... 69
45. แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อนของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ ในภาวะการเย็นตัวลงต่างกัน..... 72
46. แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อนของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ต่างชนิดกัน ในภาวะการเย็นตัวลงต่างกัน กับโลหะ ..... 75
47. แผนภูมิแท่งแสดงความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อนของกลุ่มพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์และโลหะ ในภาวะการเย็นตัวลงต่างกัน..... 76
48. แผนภูมิแท่งแสดงค่ากำลังดัดขวางเฉลี่ย (Mpa) ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดเดียวกัน ในภาวะการเย็นตัวลงต่างกัน..... 80
49. แผนภูมิแท่งแสดงค่ากำลังดัดขวางเฉลี่ย (Mpa) ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ต่างชนิดกัน ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในทุกกลุ่ม..... 83
50. แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวาง (Mpa) ของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ต่างชนิดกัน ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในทุกกลุ่ม..... 85
51. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดโอพอลเลสเซนต์ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ด้วยกำลังขยายขนาด 500 เท่า..... 87
52. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดโอพอลเลสเซนต์ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ด้วยกำลังขยายขนาด 500 เท่า..... 87

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่ หน้า

53. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดโอพอลเลสเซนต์ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ด้วยกำลังขยายขนาด 1500 เท่า..... 88
54. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดโอพอลเลสเซนต์ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า ด้วยกำลังขยายขนาด 384 เท่า.....88
55. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดโอพอลเลสเซนต์ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า ด้วยกำลังขยายขนาด 500 เท่า..... 89
56. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดโอพอลเลสเซนต์ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า ด้วยกำลังขยายขนาด 500 เท่า ลูกศรสีเหลืองแสดงผลึกลูไซต์ที่มีขนาดใหญ่มาก.....89
57. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดโอพอลเลสเซนต์ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า ด้วยกำลังขยายขนาด 1500 เท่า แสดงรอยแตกจำนวนมาก..... 90
58. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดโอพอลเลสเซนต์ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า ด้วยกำลังขยายขนาด 2000 เท่า แสดงรอยขนานไขว้ไปมาในผลึกลูไซต์..... 90
59. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดดั้งเดิมในภาวะการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ด้วยกำลังขยายขนาด 500 เท่า..... 92
60. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดดั้งเดิมในภาวะการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ด้วยกำลังขยายขนาด 886 เท่า ลูกศรสีเหลืองแสดงผลึกลูไซต์..... 92
61. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดดั้งเดิมในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า ด้วยกำลังขยายขนาด 500 เท่า..... 93
62. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดดั้งเดิมในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า ด้วยกำลังขยายขนาด 1000 เท่า..... 93

# สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่ หน้า

63. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดลูไซต์สังเคราะห์ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ด้วยกำลังขยาย 250 เท่า..... 94
64. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดลูไซต์สังเคราะห์ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า ด้วยกำลังขยาย 250 เท่า..... 94
65. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดลูไซต์สังเคราะห์ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า ด้วยกำลังขยาย 500 เท่า..... 95
66. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดเจือฟลูออโรอะปาไทต์ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ด้วยกำลังขยายขนาด 438 เท่า.....97
67. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดเจือฟลูออโรอะปาไทต์ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ด้วยกำลังขยายขนาด 1750 เท่า ลูกศรสีเหลืองแสดงผลึกลูไซต์ ส่วนผลึกขนาดเล็กสีขาวที่มีลักษณะรูปร่างคล้ายแท่งเข็มคือผลึกฟลูออโรอะปาไทต์..... 97
68. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดเจือฟลูออโรอะปาไทต์ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ด้วยกำลังขยายขนาด 7000 เท่า..... 98
69. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดเจือฟลูออโรอะปาไทต์ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า ด้วยกำลังขยายขนาด 1000 เท่า ลูกศรสีเหลืองแสดงผลึกลูไซต์ส่วนผลึกขนาดเล็กสีขาวที่มีลักษณะรูปร่างคล้ายแท่งเข็มคือผลึกฟลูออโรอะปาไทต์.....98
70. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดเจือฟลูออโรอะปาไทต์ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า ด้วยกำลังขยายขนาด 2000 เท่า ส่วนผลึกขนาดเล็กสีขาวที่มีลักษณะรูปร่างคล้ายแท่งเข็มคือ ผลึกฟลูออโรอะปาไทต์..... ..... 99
71. ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดเจือฟลูออโรอะปาไทต์ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า ด้วยกำลังขยายขนาด 4000 เท่า..... 99
72. แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความทึบแสงของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ชนิดเดียวกัน ในภาวะการเย็นตัวลงต่างกัน..... 103

# สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่ หน้า

73. แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความทึบแสงของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ต่างชนิดกัน ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว..... 107

74. แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความทึบแสงของพอร์ซเลนเฟลด์สปาร์ต่างชนิดกัน ในภาวะการเย็นตัวลงอย่างช้า..... 110

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย