

ความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของวัสดุเซรามิกชนิดเซอร์โคเนีย
ที่อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ต่างกัน



นางสาว ธิรา ธรรมวาสี

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BIAXIAL FLEXURAL STRENGTH OF ZIRCONIA-BASED CERAMIC
WITH DIFFERENCES IN CORE : VENEER RATIO



Miss Teera Thammawasi

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Prosthodontics

Department of Prosthodontics

Faculty of Dentistry

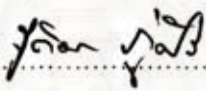
Chulalongkorn University

Academic Year 2007

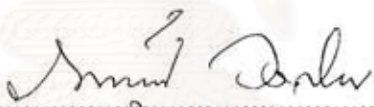
Copyright of Chulalongkorn University

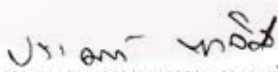
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ความแข็งแรงตัดขวางสองแกนของวัสดุเซรามิกชนิดเซอริโคเนียที่
อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ต่างกัน
โดย นางสาว อีรา ธรรมวาสิ
สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ปราบมภ์ ซาลิมี่

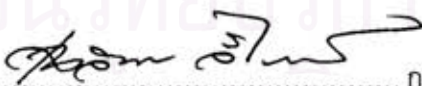
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

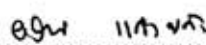

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง จิตติมา ภูศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์ ภาณุพงศ์ วงศ์ไทย)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ปราบมภ์ ซาลิมี่)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ เฉลิมพล ลีไวโรจน์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. อรพันธ์ แก้วปลั่ง)

ธีรา ธรรมวาสี : ความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของวัสดุเซรามิกชนิดเซอร์โคเนียที่อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ต่างกัน. (BIAXIAL FLEXURAL STRENGTH OF ZIRCONIA-BASED CERAMIC WITH DIFFERENCES IN CORE : VENEER RATIO) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ทพญ.ดร.ปรารมภ์ ชาลิมี่, 59 หน้า.

การวิจัยนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงดัดขวางสองแกนและลักษณะการแตกหักของเซอร์โคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP ที่มีอัตราส่วนความหนาของชั้นคอร์และวีเนียร์แตกต่างกัน สร้างขึ้นตัวอย่างเซรามิกเป็นแผ่นกลม ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ± 0.5 มม. หนา 1.2 ± 0.005 มม. จำนวน 50 ชิ้น โดยได้รับการขึ้นรูปตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต แบ่งขึ้นตัวอย่างเป็น 5 กลุ่ม ๆ ละ 10 ชิ้น ตามอัตราส่วนความหนาของชั้นคอร์ต่อชั้นวีเนียร์ ดังนี้ กลุ่มที่ 1 = 1: 0 (คอร์เซอร์โคเนียทั้งชิ้น) กลุ่มที่ 2 = 2: 1 (ชั้นคอร์หนา 0.8 มม.) กลุ่มที่ 3 = 1: 1 (ชั้นคอร์หนา 0.6 มม.) กลุ่มที่ 4 = 1: 2 (ชั้นคอร์หนา 0.4 มม.) และกลุ่มที่ 5 = 0: 1 (วีเนียร์พอร์ซเลนทั้งชิ้น) นำขึ้นตัวอย่างทั้งหมดมาทดสอบโดยวิธี Piston on three ball ตามมาตรฐาน ISO 6872 ปี 1995 โดยใช้เครื่อง Instron 5566 ที่ความเร็วหัวกด 1 มม. ต่อนาที และคำนวณหาค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกน ผลการทดสอบพบว่า ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดขวางสองแกนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่มมีดังนี้ กลุ่มที่ 1 = 921.48 ± 106.86 เมกะพาสคัล กลุ่มที่ 2 = 1009.49 ± 98.72 เมกะพาสคัล กลุ่มที่ 3 = 895.68 ± 92.96 เมกะพาสคัล กลุ่มที่ 4 = 768.08 ± 73.17 เมกะพาสคัล และกลุ่มที่ 5 = 70.49 ± 8.54 เมกะพาสคัล ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยโรบัสต์แล้วทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบแทมเฮนพบว่า กลุ่มที่ 1-3 มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่มีความแตกต่างกันกับกลุ่มที่ 4 และกลุ่มที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และกลุ่มที่ 5 มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า เมื่อความหนารวมของชั้นตัวอย่างเป็น 1.2 มิลลิเมตร อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ 1: 0 2: 1 และ 1: 1 ให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนไม่แตกต่างกัน แต่เมื่ออัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ลดลงเป็น 1: 2 ทำให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และพบการแตกระหว่างชั้นในกลุ่มที่ประกอบด้วยชั้นคอร์และชั้นวีเนียร์

ภาควิชา..... ทันตกรรมประดิษฐ์
สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์
ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนิสิต ไท อภิวาฬ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา น.น.น. น.น.น.

4876109232 : MAJOR PROSTHODONTICS

KEY WORD: ZIRCONIA-BASED CERAMIC / Y-TZP / CERCON / CORE : VENEER RATIO / BIAXIAL FLEXURAL STRENGTH

TEERA THAMMAWASI : BIAXIAL FLEXURAL STRENGTH OF ZIRCONIA-BASED CERAMIC WITH DIFFERENCES IN CORE : VENEER RATIO. THESIS ADVISOR: ASST.PROF.PRAROM SALIMEE, 59 pp.

The objective of this study was to investigate the biaxial flexural strength (BFS) and mode of fracture of zirconia-based ceramic (Cercon®) with different thickness of core: veneer ratio. Fifty specimens, 15±0.5 mm. in diameter and 1.2±0.005 mm. in thickness, were fabricated following manufacturer's recommendations. The specimens were prepared and divided into 5 groups of 10 specimens as follows: group 1 were made of core material alone (1:0 in C: V ratio), group 2-4 were made of core-veneer composites by group 2 in ratio 2:1 (core thickness = 0.8 mm.), group 3 in ratio 1: 1 (core thickness = 0.8 mm.), group 4 in ratio 1: 2 (core thickness = 0.8 mm.) and group 5 were made of veneer porcelain material alone (0: 1 in C: V ratio). All specimens were subjected to Piston on three ball test following ISO 6872: 1995 and calculated the BFS. All tests were carried out on the Instron 5566 with crosshead speed of 1.0 mm/ min. The means BFS ± SD of each groups were 921.48±106.86 MPa for Group 1, 1009.49 ±98.72 MPa for Group 2, 895.68±92.96 MPa for Group 3, 768.08±73.17 MPa for Group 4, 70.49±8.54 MPa for Group 5. Data were analyzed by using a Robust tests of equality of means and Tamhane multiple comparison. There was no statistically significant difference among the BFS of group 1, group 2 and group 3 (P>0.05) but the BFS of these groups was statistically significantly higher than the BFS of group 4 and group 5 (P<0.05). The BFS of group 5 was statistically significantly lower than other groups (P<0.05).

The present study concluded that in case of specimen with 1.2 mm. thickness, in thickness of core and veneer ratio 1: 0, 2: 1 and 1: 1 were not affected the BFS, but decreasing in thickness of core and veneer ratio to 1: 2, the BFS of Cercon® were statistically significantly decreased. Fracture at core-veneer interface can observed in all core-veneer composite specimens.

Department ... Prosthodontics ...

Student's signature 

Field of study... Prosthodontics ...

Advisor's signature 

Academic year.....2007.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้เลย หากปราศจากการดูแลเอาใจใส่และให้คำแนะนำเป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ปารมภ์ ซาลิมี่ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาใช้เวลาให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อ งานวิจัย และทำให้ขั้นตอนต่าง ๆ ในการดำเนินงานมีความราบรื่นและมีประสิทธิภาพ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ไพพรรณ วิทยานนท์ ที่ช่วยให้ความรู้และคำปรึกษาทางด้านสถิติ ขอขอบพระคุณบริษัทเซอร์คอนไทยแลนด์ ที่เอื้อเฟื้อวัสดุเซอร์คอนเบสและวีเนียร์ พอร์ซเลน อุปกรณ์ต่าง ๆ และสถานที่ในการเตรียมชิ้นตัวอย่าง รวมทั้งพนักงานทุกท่านที่อำนวยความสะดวกให้เป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ ศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก และบัณฑิตวิทยาลัย คณะทันตแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เจ้าหน้าที่ในศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเจ้าหน้าที่ในหน่วยวิจัยคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และขอขอบพระคุณทุกคนในครอบครัว รวมทั้งเพื่อน ๆ ทุกคน และผู้ที่มีได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมาทำให้ผู้เขียนสามารถทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
คำถามการวิจัย	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
สมมติฐานการวิจัย	4
ขอบเขตของการวิจัย	4
ข้อตกลงเบื้องต้น	4
ข้อจำกัดของการวิจัย	4
คำสำคัญ	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
การออกแบบการวิจัย	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
วิวัฒนาการของวัสดุอลูมิเนียม	6
คุณสมบัติของวัสดุเซอริโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP	8
กระบวนการผลิตและกลไกเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุเซรามิกชนิดเซอริโคเนีย	9
การศึกษาเกี่ยวกับความแข็งแรงดัดขวางของวัสดุเซรามิกชนิดเซอริโคเนีย	11
การศึกษาเกี่ยวกับความแข็งแรงแตกหักของวัสดุเซรามิกชนิดเซอริโคเนีย	13
การศึกษาเกี่ยวกับการล้าและอายุการใช้งานของวัสดุเซรามิกชนิดเซอริโคเนีย	14

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	16
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	16
วิธีการวิจัย	17
วิธีการเตรียมชิ้นตัวอย่าง	18
การคัดเลือกชิ้นตัวอย่าง	24
การเก็บชิ้นตัวอย่าง	24
การทดสอบความแข็งแรงตัดขวางสองแกน	24
การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล	26
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	27
ตอนที่ 1 วิเคราะห์ค่าความแข็งแรงตัดขวางสองแกน	27
ตอนที่ 2 วิเคราะห์ลักษณะการแตก	29
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	37
อภิปรายผลการวิจัย	37
อภิปรายวัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง	45
สรุปผลการวิจัย	47
ข้อเสนอแนะ	48
รายการอ้างอิง	49
ภาคผนวก	54
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	59

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 1	แสดงการแบ่งกลุ่มขึ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ	18
ตารางที่ 2	แสดงค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของเซรามิกทั้ง 5 กลุ่ม	28
ตารางที่ 3	แสดงการจำแนกลักษณะการแตกของขึ้นตัวอย่าง	32



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 1	แสดงเฟสไดอะแกรม $ZrO_2-Y_2O_3$ 11
ภาพที่ 2	แสดงการเกิดทรานสฟอร์มเมชันที่ฟเฟนนิ่งในเซอร์โคเนียที่ถูกทำให้เสถียรบางส่วน 11
ภาพที่ 3	แสดงแผนภาพของขึ้นตัวอย่างที่ใช้วัดความแข็งแรงดัดขวางสองแกน 18
ภาพที่ 4	แสดงขนาดขึ้นตัวอย่างของขึ้นคอร์เซอร์โคเนียก่อนเผาและหลังเผา 19
ภาพที่ 5	แสดงตำแหน่งการวัดขนาดขึ้นตัวอย่าง 19
ภาพที่ 6	แสดงการใช้น้ำยาตรวจหารอยร้าวในขึ้นตัวอย่าง 20
ภาพที่ 7	แสดงขั้นตอนการขึ้นรูปขึ้นวีเนียร์พอร์ซเลนโดยใช้แม่แบบ 21
ภาพที่ 8	แสดงขั้นตอนการขึ้นรูปวีเนียร์ทั้งชิ้นโดยใช้แม่แบบ 21
ภาพที่ 9	แสดงที่จับโลหะสำหรับขัดขึ้นตัวอย่าง 22
ภาพที่ 10	แสดงขึ้นตัวอย่างเรียงลำดับตั้งแต่กลุ่มที่ 1-5 เมื่อมองจากด้านบน 23
ภาพที่ 11	แสดงขึ้นตัวอย่างเรียงลำดับตั้งแต่กลุ่มที่ 1-5 เมื่อมองจากด้านข้าง 23
ภาพที่ 12	แสดงการทำความสะอาดขึ้นตัวอย่างด้วยเครื่องทำความสะอาดแบบความถี่เหนือเสียง 24
ภาพที่ 13	แสดงการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกน โดยใช้วิธี piston on three ball 25
ภาพที่ 14	แสดงแผนภูมิค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนเฉลี่ยของเซรามิก 5 กลุ่ม ... 29
ภาพที่ 15	แสดงลักษณะการแตกออกเป็นชิ้นในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 5 30
ภาพที่ 16	แสดงลักษณะการแตกระหว่างชั้นแบบที่ 1 ในกลุ่มที่ 2 - 4 31
ภาพที่ 17	แสดงลักษณะการแตกระหว่างชั้นแบบที่ 2 ในกลุ่มที่ 4 31
ภาพที่ 18	แสดงลักษณะการแตกของขึ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นคอร์เซอร์โคเนีย ทั้งชิ้นเมื่อดูด้วยกำลังขยาย 75 เท่า 33
ภาพที่ 19	แสดงลักษณะการแตกของขึ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นคอร์เซอร์โคเนีย ทั้งชิ้นเมื่อดูด้วยกำลังขยาย 200 เท่า 33
ภาพที่ 20	แสดงลักษณะการแตกของขึ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 5 ซึ่งเป็นวีเนียร์พอร์ซเลนทั้งชิ้น เมื่อดูด้วยกำลังขยาย 75 เท่า 34

ภาพที่ 21	แสดงลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 5 ซึ่งเป็นวีเนียร์พอร์ซเลนทั้งชิ้น เมื่อดูด้วยกำลังขยาย 350 เท่า	34
ภาพที่ 22	แสดงลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 2 บริเวณที่มีการแตกระหว่าง ชั้นคอร์และชั้นวีเนียร์ เมื่อดูด้วยกำลังขยาย 75 เท่า และ 200 เท่า.....	35
ภาพที่ 23	แสดงลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 3 บริเวณที่ชั้นคอร์ยังติดกับ ชั้นวีเนียร์ เมื่อดูด้วยกำลังขยาย 75 เท่า	36
ภาพที่ 24	แสดงชิ้นตัวอย่างที่ประกอบด้วยชั้นคอร์และชั้นวีเนียร์ มีการแยกชั้นของ เฟสที่ไลเนอร์ออกมาจากชั้นคอร์และติดไปกับชั้นวีเนียร์ เมื่อดูด้วยกำลังขยาย 2000 เท่า	36
ภาพที่ 25	แผนภูมิแสดงค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักเฉลี่ยของเซรามิก 5 กลุ่ม	38
ภาพที่ 26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับแรงกดที่ชิ้นตัวอย่างได้รับ จนเกิดการแตกหัก	39
ภาพที่ 27	แสดงลักษณะการแตกชั้นพื้นฐานของชั้นเซรามิก	41
ภาพที่ 28	แสดงการเปรียบเทียบความกว้างของชั้นวีเนียร์บริเวณขอบ ที่เหลือติดกับชั้นคอร์ภายหลังจากการแตกหัก	42
ภาพที่ 29	แสดงการเปรียบเทียบลักษณะการเกิดรอยร้าวบนชั้นวีเนียร์ กับการแตกลอนของชั้นวีเนียร์	42

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การบูรณะฟันด้วยครอบฟันและสะพานฟัน ได้มีการนำวัสดุออลเซรามิก (all-ceramic) มาใช้กันมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบูรณะฟันเพื่อความสวยงามทั้งในฟันหน้าและฟันหลัง ซึ่งในทางทันตกรรมได้มีการพัฒนาวัสดุออลเซรามิกให้มีคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ดีขึ้น เหมาะกับการใช้บูรณะฟันทุกซี่ในช่องปาก โดยเฉพาะในฟันหลังซึ่งเป็นบริเวณที่ต้องรับแรงมาก

วัสดุออลเซรามิกเริ่มนำมาใช้บูรณะเพื่อเป็นครอบฟันครั้งแรกในปี ค.ศ. 1965 McLean และ Hughes พบว่า ถ้าใช้คอร์อะลูมินัส (aluminous core) ซึ่งประกอบด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 40-50 โดยน้ำหนัก จะทำให้ครอบฟันพอร์ซเลนมีความต้านทานต่อการแตกหักมากขึ้นแต่ชิ้นงานจะขุ่นทึบ ทำให้ต้องพอกทับด้วยเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน (feldspathic porcelain) เพิ่ม

วัสดุออลเซรามิกมีหลายชนิด ซึ่งมีความแตกต่างกันตามชนิดและโครงสร้างทางเคมีของวัสดุ ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ วัสดุที่ควบคุมความแข็งแรงโดยการตกผลึก เช่น ไอพีเอส เอ็มเพรส (IPS Empress, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) เอ็มเพรส 2 (Empress 2, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) วัสดุที่ใช้อะลูมินัสอัดแน่น เช่น อินซีแรมอะลูมินา (In-Ceram Alumina, Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) โพรซีราออลซีแรม (Procera AllCeram, Nobel Biocare, Yorba Linda, USA) อินซีแรมเซอร์โคเนีย (In-Ceram Zirconia, Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) เป็นต้น และเซอร์โคเนียเซรามิกที่เริ่มได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน ได้แก่ เซอร์โคเนียที่มียทเทรียมออกไซด์เพื่อให้เกิดความเสถียรบางส่วน (Yttrium-oxide-partially-stabilized Zirconia, YPSZ) หรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ยทเทรียเตตระโกนัลเซอร์โคเนีย โพลีคริสตัล (Yttria tetragonal zirconia polycrystal, Y-TZP) ตัวอย่างเช่น เซอร์คอน (Cercon, Degudent GmbH, Hanue-Wolfgang, Germany) ลาวา (Lava, 3M ESPE, Seefeld, Germany) เดนเซอร์ (Denzir, Decim AB, Skellefteå, Sweden) และดีซีเซอร์คอน (DC-Zirkon, DCS Dental AG, Allschwil, Switzerland) วัสดุต่าง ๆ เหล่านี้มีคุณสมบัติและข้อบ่งชี้ในการใช้ต่างกันไป (Rosenblum, 1997)

ในส่วนของวัสดุเซอร์โคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP เริ่มมีการนำมาใช้กันมากขึ้นในการบูรณะทางทันตกรรม เนื่องมาจากคุณสมบัติทางกล (mechanical property) ต่าง ๆ ที่ดี เนื่องมาจากการเปลี่ยนเฟสของอนุภาคเซอร์โคเนีย (zirconia particle) จากเฟสเตตระโกนัล (tetragonal

phase) ไปเป็นเฟสโมโนคลินิก (monoclinic phase) หรือที่เรียกว่า ทรานซฟอร์เมชันทัฟเฟนนิ่ง (transformation toughening) ทำให้ปริมาตรของอนุภาคเซอร์โคเนียเพิ่มขึ้น เกิดเป็นความเค้นแรงอัด (compressive stress) บริเวณรอบ ๆ ปลายของรอยแตก ป้องกันไม่ให้รอยแตกแผ่ขยายออกไป (Christel, Meunier และ Heller, 1989) ทำให้เกิดความแข็งแรงมากขึ้น จึงสามารถลดความหนาของคอร์ที่ใช้ในการทำครอบฟันและลดความหนาของส่วนโยง (connector) ในสะพานฟันลงได้ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่ดีของวัสดุชนิดนี้อื่น ๆ อีก ได้แก่ ความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) กับเนื้อเยื่อในช่องปาก (Christel และคณะ, 1989; Ichikawa และคณะ, 1992; Piconi และ Maccuro, 1999; Covacci และคณะ, 1999) ไม่เกิดพิษต่อเซลล์ (cytotoxicity) (Uo และคณะ, 2003) มีความสวยงาม เนื่องจากสามารถเพิ่มความหนาของวีเนียร์พอร์ซเลน จากการลดความหนาของคอร์ ทำให้มีความโปร่งแสง (translucency) สามารถปิดสีวัสดุบูรณะที่เข้ม ๆ ได้ ลดปัญหาที่เกิดจากการใช้โลหะบูรณะ และซีเมนต์ที่ใช้ในการยึดชิ้นงานสามารถใช้ได้ทั้งแบบดั้งเดิม (conventional cement) และแบบยึดติด (adhesive cement) นอกจากนี้ การใช้โลหะเพื่อบูรณะฟันลดความนิยมลดลง เนื่องจากข้อด้อยในเรื่องความสวยงาม การแพ้โลหะผสมบางชนิด เช่น แพลเลเดียม (palladium) และนิกเกิล (nickel) ที่อาจเกิดขึ้นได้ (Schmalz และ Garhammer, 2002; Garau และคณะ, 2005) และการปฏิบัติที่จะใช้โลหะมาเป็นส่วนหนึ่งในการบูรณะฟันในช่องปากของผู้ป่วยบางรายที่กังวลเกี่ยวกับสารพิษตกค้างจากโลหะบางชนิด เช่น การบูรณะฟันด้วยวัสดุอมัลกัม (amalgam restoration) ครอบฟันหรือสะพานฟันโลหะ หรือการใช้เซรามิกร่วมกับโลหะในงานครอบฟันหรือสะพานฟัน

วัสดุเซอร์โคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP นี้จัดได้ว่าเป็นวัสดุเซรามิกที่ค่อนข้างใหม่สำหรับวงการทันตกรรม ซึ่งทันตแพทย์หลายคนอาจยังไม่คุ้นเคยหรือยังไม่รู้จักคุณสมบัติดีพอ และการเตรียมฟันเพื่อที่จะทำครอบฟันหรือสะพานฟันด้วยวัสดุเซอร์โคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP ต้องมีความหนาของวัสดุเพียงพอเพื่อความแข็งแรงและความสวยงามของวัสดุ โดยแนะนำให้เตรียมฟันทางด้านสบฟันให้มีช่องว่าง 2 มิลลิเมตร เป็นที่อยู่ของคอร์เซอร์โคเนียหนา 1 มิลลิเมตร ด้านผนังตามแกน (axial wall) ให้มีช่องว่าง 1.5 มิลลิเมตร เป็นที่อยู่ของคอร์เซอร์โคเนียหนา 0.4 มิลลิเมตร แต่ความหนาอาจถูกจำกัดด้วยโครงประสาทฟัน โดยไม่ต้องกรอฟันลึกเกินไปจนทำอันตรายต่อโครงประสาทฟันด้วย ดังนั้นการกรอฟันต้องให้มีช่องว่างเพียงพอ เพื่อเป็นที่อยู่ของส่วนคอร์เซอร์โคเนียและวีเนียร์พอร์ซเลน ความแข็งแรงของชิ้นงานเซรามิกเมื่อได้รับการพอกทับด้วยวีเนียร์พอร์ซเลนอาจขึ้นกับความหนาของทั้งส่วนคอร์และส่วนวีเนียร์พอร์ซเลนประกอบกัน

ในการกรอพื้นเพื่อเตรียมทำครอบฟันนั้นบางบริเวณอาจต้องการความสวยงามทำให้ต้องเพิ่มความหนาของวีเนียร์พอร์ซเลนจึงต้องลดความหนาของคอร์ หรือบางบริเวณมีช่องว่างที่จะบูรณะจำกัดทำให้ต้องเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความหนาของคอร์และวีเนียร์พอร์ซเลน อาจทำให้ความแข็งแรงของชิ้นงานลดลงได้ นอกจากนี้ในการทดลองทางห้องปฏิบัติการและจากการตรวจทางคลินิกพบว่า ครอบฟันมักแตกหักโดยส่วนของวีเนียร์พอร์ซเลนบิ่นแตกแยกออกมาจากส่วนคอร์ประมาณร้อยละ 70-78 (Kelly, Tesk และ Sorensen, 1995) ซึ่งอาจเนื่องมาจากการใช้อัตราส่วนความหนาของคอร์ต่อวีเนียร์พอร์ซเลนที่ไม่เหมาะสมและความเข้ากันได้ (compatible) ระหว่างคอร์กับวีเนียร์พอร์ซเลนซึ่งยังเป็นที่ยังสงสัย

จากงานวิจัยของปวริศา (2004) ซึ่งได้ทำการทดสอบหาค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกน (biaxial flexural strength) ในวัสดุซอลเซรามิกอินซีแรมและไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ที่มีอัตราส่วนความหนาของคอร์ต่อวีเนียร์แตกต่างกันดังนี้ คือ 1: 0, 2: 1, 1: 1, 1: 2 และ 0: 1 พบว่า อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ที่แตกต่างกันมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของอินซีแรมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในไอพีเอสเอ็มเพรส 2 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ และความแข็งแรงโดยรวมของเซรามิกที่ประกอบด้วยวัสดุคอร์และวีเนียร์ขึ้นอยู่กับชนิดของเซรามิกและอัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ และงานวิจัยในเรื่องดังกล่าวเกี่ยวกับวัสดุเซอโรโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP ยังมีการศึกษากันไม่มากและบางการศึกษายังไม่สามารถนำมาใช้อ้างอิงทางคลินิกได้มากนัก ทำให้ขาดข้อมูลที่น่าเชื่อถือ และอัตราความสำเร็จในระยะยาวจะเป็นเครื่องช่วยตัดสินใจเลือกใช้วัสดุบูรณะฟันหลังด้วยวัสดุเซอโรโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาถึงอัตราส่วนความหนาของคอร์เซอโรโคเนียและวีเนียร์พอร์ซเลนที่เหมาะสม ที่จะให้ความแข็งแรงแก่ครอบฟันและสะพานฟันเซอโรโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP โดยเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนและลักษณะการแตกหัก ในชิ้นตัวอย่างที่มีความหนาของส่วนคอร์และวีเนียร์พอร์ซเลนแตกต่างกัน

คำถามการวิจัย

วัสดุเซอโรโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP ที่มีอัตราส่วนความหนาของคอร์ต่อวีเนียร์แตกต่างกัน จะมีความแข็งแรงดัดขวางสองแกนและลักษณะการแตกหักแตกต่างกันหรือไม่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ทดสอบและเปรียบเทียบความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของวัสดุเซอโรโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP ที่มีอัตราส่วนความหนาของคอร์ต่อวีเนียร์พอร์ซเลนต่าง ๆ กัน

2. เปรียบเทียบลักษณะการแตกหักของวัสดุเซอริโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP ที่มีอัตราส่วนความหนาของคอร์ต่อวีเนียร์พอร์ซเลนต่าง ๆ กัน

3. นำข้อสรุปมาใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาความหนาของชั้นคอร์และวีเนียร์พอร์ซเลนที่เหมาะสม ในการบูรณะฟันด้วยวัสดุเซรามิกชนิดนี้

สมมติฐานการวิจัย

สมมติฐานว่าง : อัตราส่วนของชั้นคอร์ต่อชั้นวีเนียร์แบบต่าง ๆ ของเซอริโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนไม่แตกต่างกัน

สมมติฐานแย้ง : อัตราส่วนของชั้นคอร์ต่อชั้นวีเนียร์แบบต่าง ๆ ของเซอริโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนแตกต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบความแข็งแรงดัดขวางสองแกนในวัสดุเซอริโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP ของบริษัทหนึ่ง ที่มีสภาวะโครงสร้างชั้นคอร์ต่อวีเนียร์หนาแตกต่างกัน และพิจารณาลักษณะการแตกหัก โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการและนำผลการทดลองไปอ้างอิง เพื่อบอกแนวโน้มสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นในทางคลินิก ในกรณีที่ใช้วัสดุเซรามิกชนิดเซอริโคเนียที่มีองค์ประกอบคล้ายกัน

ข้อตกลงเบื้องต้น

การวิจัยดำเนินการโดยผู้ทำการวิจัย 1 คน และใช้อุปกรณ์เดียวกันตลอดกระบวนการวิจัย

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. การวิจัยนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ จึงไม่สามารถควบคุมปัจจัยบางอย่างให้เหมือนกับสภาพในช่องปาก เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณและทิศทางของแรงที่ใช้ทดสอบ
2. วิธีเตรียมชิ้นตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ ในบางขั้นตอนมีความแตกต่างจากชิ้นงานที่ใช้จริงในคลินิก เช่น การเตรียมชั้นคอร์เซอริโคเนีย การขัดแต่ง

คำสำคัญ

“Zirconia-based ceramic”	เซรามิกชนิดเซอริโคเนีย
“Y-TZP”	ยิทเทรียเตตระโกนัลเซอริโคเนียโพลีคริสตัล
“Cercon”	เซอริคอน
“Core: veneer ratio”	อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์

“Biaxial flexural strength” ความแข็งแรงดัดขวางสองแกน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดความเสี่ยงและปัญหาที่อาจเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการแตกหักจากการบวมระฟุ้งด้วยวัสดุเซอริโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP
2. เป็นข้อมูลในการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุบวมระเซรามิกทางทันตกรรมให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

การออกแบบการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory experimental research)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิวัฒนาการของวัสดุออลเซรามิก (Rosenblum และ Schulman, 1997; Blaz, 2002; Anusavice, 2003)

การนำเซรามิกมาใช้ในทางทันตกรรมเกิดขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ.1879 เพื่อทำซี่ฟันปลอม โดยทำจากวัสดุพอร์ซเลน (porcelain) ต่อมาในปี ค.ศ. 1903 Land ได้นำเซรามิกมาทำเป็นครอบฟันซึ่งทำมาจากเฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลน ซึ่งมีความสวยงามแต่ยังขาดความแข็งแรง จึงได้มีการพัฒนาเซรามิกเพื่อให้มีคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ดีขึ้น ในช่วงปี ค.ศ. 1960 ได้มีการพัฒนาวิธีการทำครอบฟันโลหะเคลือบเซรามิก (metal-ceramic crown) ที่มีความแข็งแรง ในขณะเดียวกันก็มีการพัฒนาส่วนประกอบของเซรามิกและกระบวนการสร้างคอร์เซรามิกโดยใช้ครอบฟันอะลูมินัสพอร์ซเลน (aluminous porcelain) ทำให้ครอบฟันเซรามิกมีความต้านทานต่อการแตกหักและมีความเที่ยงตรงมากขึ้น ในปี ค.ศ. 1965 McLean และ Hughes พบว่า ถ้าอะลูมินัสคอร์ประกอบด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 40 - 50 โดยน้ำหนัก จะทำให้ครอบฟันพอร์ซเลนมีความต้านทานต่อการแตกหักมากขึ้นแต่ชิ้นงานจะขุ่นทึบ ทำให้ต้องมีการพอกทับด้วยเฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลนเพิ่ม ค่าความแข็งแรงดัดขวางของคอร์อะลูมินัสนี้ประมาณ 131 เมกะพาสคัล ต่อมาในปี ค.ศ. 1979 McLean รายงานอัตราความล้มเหลวใน 5 ปี ของอะลูมินัสพอร์ซเลน มีประมาณร้อยละ 2 ในครอบฟันหน้า แต่ในครอบฟันหลังพบมากถึงร้อยละ 15 นอกจากนี้ขอบของครอบฟันทำให้แนบได้ยาก เนื่องจากอะลูมินัสพอร์ซเลนเมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิสูงจะมีการหดตัวอย่างมากประมาณร้อยละ 15 - 20 ดังนั้นข้อบ่งชี้ในการทำครอบฟันอะลูมินัสพอร์ซเลน คือใช้ในฟันหน้าบน เมื่อต้องการความสวยงามอย่างมาก

ในปี ค.ศ. 1972 Grossman แนะนำวัสดุไดคอร์ (Dicor, Dentsply International, York, PA, USA) ซึ่งเป็นกลาสเซรามิก (glass-ceramic) ที่สร้างชิ้นงานโดยใช้เทคนิคการเผาไล่ซี้ผึ้ง และนำกลาสเซรามิกที่ถูกหลอมละลายแล้วมาเทขึ้นรูปในแม่แบบทนไฟ (refractory mold) โดยให้ความร้อนด้วยเทคนิคพิเศษที่เรียกว่า ซีแรมมิง (ceramming) เพื่อควบคุมการตกผลึกของแก้ว (crystallization) ซึ่งจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงและมีสีขุ่น โดยแก้วจะถูกหลอมละลายและเกิดผลึกเตตระซิลิซิกฟลูออไมกา (tetrasilicic fluormica crystal) ในกลาสแมทริกซ์ (glass matrix) ซึ่งวัสดุนี้มีความแข็งแรงค่อนข้างจำกัด ในเวลาต่อมาได้มีการพัฒนาขึ้นเป็นไดคอร์เอ็มจีซี (Dicor MGC) ซึ่งสามารถสร้างชิ้นงานโดยใช้ระบบแคดแคม (computer-associated designs and computer assisted manufacturer, CAD-CAM) ได้

ในปี ค.ศ. 1988 มีการแนะนำกลาสเซรามิกชนิดขึ้นรูปด้วยการกดอัด (pressable glass-ceramic) มาใช้ ได้แก่ ไอพีเอสเอมเพรส ซึ่งเป็นวัสดุคอลลเซรามิกอีกระบบหนึ่ง ที่พัฒนาขึ้นโดย Wohlwend และ Scherer แห่งมหาวิทยาลัยซูริค ร่วมกับบริษัท Ivoclar ซึ่งสามารถสร้างชิ้นงาน โดยนำแท่งเฟลด์สปาร์ติกที่เสริมความแข็งแรงด้วยลิวไซต์ (leucite-reinforce feldspathic ingot) มาหลอมโดยใช้ความร้อนแล้วอัดลงไปแม่แบบทนไฟ ซึ่งทำจากเทคนิคการเผาไล่ซึ้ง จากนั้น นำมาละลายสี (stain) หรือพอกทับด้วยวีเนียร์พอร์ซเลน ซึ่งทำให้มีความแข็งแรงและมีความแนบของขอบได้ใกล้เคียงกับไดคอร แต่ไม่จำเป็นต้องใช้กรรมวิธีพิเศษในการทำให้ตกผลึก สามารถใช้สำหรับงานบูรณะฟันซี่เดียว ต่อมาจึงมีการพัฒนาเป็นไอพีเอสเอมเพรส 2 ซึ่งประกอบด้วยผลึก ลิเทียมไดซิลิเกต (Lithia disilicate crystal) ประมาณร้อยละ 70 โดยปริมาตร ทำให้มีความต้านทานต่อการแตกหักมากขึ้น โดยใช้เป็นคอร์และพอกทับด้วยกลาสเซรามิก จึงสามารถใช้ใน สะพานฟัน 3 ยูนิต ครอบคลุมถึงฟันกรามน้อยซี่ที่สองได้ และปัจจุบันมีการพัฒนามาเป็น ไอพีเอส อีแมกซ์กลาสเซรามิก (IPS e.max glass-ceramic, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein)

อินซีแรม เป็นอะลูมินัสปอร์ซเลนอีกระบบหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นมาในปี ค.ศ. 1982 โดย Sadaun ใช้กระบวนการสลิบแคสติ้ง (slip-casting) เพื่อสร้างโครงอะลูมินาที่มีรูพรุน (porous alumina framework) จากนั้นแทรกซึมรูพรุน (infiltrate) ด้วยเลนทานัมอะลูมิโนซิลิกากลาสที่ หลอมเหลว (molten lanthanum aluminosilica glass) ซึ่งมีความแข็งแรงสูง และพอกทับด้วย เฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลน แนะนำใช้กับครอบฟันหน้า ครอบฟันหลัง และสะพานฟันหน้า 3 ยูนิต อย่างไรก็ตาม อินซีแรมมีข้อด้อยที่สำคัญคือ ส่วนแกนมีความทึบแสงจากอะลูมินาทำให้ครอบ ฟันดูไม่เป็นธรรมชาติ จึงได้มีการพัฒนาส่วนคอร์ให้มีความโปร่งแสงขึ้นโดยใช้แมกนีเซียมอะลูมิเนต ($MgAl_2O_4$) แทน และเรียกว่า อินซีแรมสปิเนล (In-Ceram Spinell) ซึ่งความแข็งแรงจะลดลง จึงใช้ในเฉพาะกรณีที่ต้องการความสวยงาม เช่น ครอบฟันหน้า ต่อมามีการพัฒนาเป็นอินซีแรม เซอร์โคเนีย ซึ่งมีการเติมเซอร์โคเนียที่ถูกทำให้เสถียรบางส่วน (partially stabilized zirconia) เพื่อ เพิ่มความแข็งแรง ทำให้สามารถใช้ในงานสะพานฟันหลังได้แต่มีความโปร่งแสงน้อยกว่าสองชนิด แรก

โพรซีราอลซีแรม เป็นอะลูมินัสปอร์ซเลนอีชนิดหนึ่งที่น่าระบบแคดแคมมาใช้ โดยวิธี สแกนดาเย (die) และส่งข้อมูลไปยังโรงงานในประเทศที่มีศูนย์เครื่องกลึง (milling unit) และสร้าง ดาเยขึ้นมาใหม่ให้มีขนาดใหญ่กว่าขนาดจากข้อมูลดาเยที่ได้รับ เพื่อชดเชยการหดตัวของวัสดุขณะ เผาที่เกิดขึ้นประมาณร้อยละ 15 - 20 ส่วนชั้นคอร์สร้างจากการกลึงแท่งอะลูมิเนียมออกไซด์

บริสุทธิ์โดยใช้วิธีดรายเพรส (dry-press) คอร์ที่ได้อาจเป็นอะลูมินาที่มีความหนาแน่นสูง จากนั้นชิ้นงานถูกส่งกลับมายังห้องปฏิบัติการเพื่อพอกทับด้วยวีเนียร์พอร์ซเลนต่อไป

ต่อมาได้มีการพัฒนาเซอโรโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP มาใช้ในทางทันตกรรม โดยเริ่มนำมาใช้ในการทำเดือยเซอโรโคเนีย (zirconia post) ใช้เป็นแบร็กเกต (bracket) ในงานทันตกรรมจัดฟัน และใช้เป็นหลักยึด (abutment) ในทันตกรรมรากเทียม และในปัจจุบันเริ่มมีการนำมาใช้งานครอบฟันและสะพานฟันมากขึ้น โดยสร้างชิ้นงานจากระบบแคดแคม เริ่มจากการสแกนตายที่เตรียมขึ้นจากฟันที่กรอเตรียมไว้แล้ว จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาออกแบบเพื่อสร้างโครงเซอโรโคเนียโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ แล้วระบบจึงทำการกลึงชิ้นงานจากแท่งเซอโรโคเนียมอดูลที่ขึงไม่ได้ผ่านการเผาให้แข็งเต็มที่ (presintering) โดยขนาดโครงที่ได้จะใหญ่กว่าความเป็นจริงเพื่อชดเชยการหดตัวของเผา ซึ่งจะทำให้ชิ้นงานเกิดการเผาสมบูรณ์ (fully sintering) จากนั้นนำมากรอแต่งและเตรียมพื้นผิวด้วยการเป่าทรายจากนั้นพอกทับด้วยวีเนียร์พอร์ซเลน ตัวอย่างของเซอโรโคเนียเซรามิกชนิดนี้ได้แก่ เซอร์คอน (Cercon, Degudent GmbH, Hanue-Wolfgang, Germany) ลาวา (Lava, 3M ESPE, Seefeld, Germany) โพรซีราเซอโรโคเนีย (Procera Zirconia, Nobel Biocare, Yorba Linda, USA) ซีโน (Zeno, Wieland Dental, GmbH, Pforzheim, Germany) และอินซีแรมวายซีคิวบ์ (In-Ceram YZ Cubes, Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) นอกจากนี้ยังมีเซอโรโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP แบบที่ผ่านการเผาเต็มที่ซึ่งจะมีความแข็งแรงมาก ทำให้ต้องใช้เครื่องกลึงที่ออกแบบพิเศษและใช้เวลาในการกลึงนาน แต่ไม่ต้องทำโครงให้มีขนาดใหญ่กว่าเพื่อชดเชยการหดตัว เนื่องจากไม่ต้องมีการเผาอีกครั้งหลังจากกลึง ตัวอย่างของเซอโรโคเนียเซรามิกชนิดนี้ได้แก่ เดนเซอร์ (Denzir, Decim AB, Skellefteå, Sweden) และดีซีเซอร์คอน (DC-Zirkon, DCS Dental AG, Allschwil, Switzerland)

คุณสมบัติของวัสดุเซอโรโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP

เซอโรโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP มีคุณสมบัติทางกลต่าง ๆ ที่ดี ในแง่ของความสามารถในการดูดซับพลังงานก่อนการแตกหัก (fracture toughness) ซึ่งมีค่าประมาณ 5 - 6.27 MPa.m^{1/2} (Guazzato, Proos, Quach และคณะ, 2004; Papanagiotou และคณะ, 2006; Yilmaz, Aydin และ Basak, 2007) และ 9 - 10 mN/m^{3/2} (Christel และคณะ, 1989) ค่าความแข็งแรงดัดขวาง (flexural strength) ประมาณ 840-1470 เมกะพาสคัล (Christel และคณะ, 1989; Guazzato, Proos, Quach และคณะ, 2004; Pittayachawan และคณะ 2007) สามารถต้านทานต่อการแตกหัก (fracture resistance) ได้ดี โดยมีค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกหัก (fracture force) ประมาณ 2,226 - 3,486 นิวตัน ในครอบฟัน (Sundh และ Sjögren, 2004) และ 1,973 -

2,237 นิวตัน ในสะพานฟัน (Sundh, Molin และ Sjögren, 2005; Att และคณะ, 2007) ทำให้เหมาะที่จะเป็นวัสดุบูรณะในฟันหลังที่ต้องต้านทานต่อแรงที่มีมากในบริเวณนี้ คุณสมบัติที่น่าทึ่งของเซอร์โคเนียได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์และทางวิศวกรรมหลายอย่างมาก่อนหน้านี้แล้ว ในทางการแพทย์สาขาศัลยกรรมกระดูกได้ใช้โพลีคริสตัลไลน์อะลูมิเนียมออกไซด์ (Polycrystalline aluminium oxide) เป็นวัสดุที่ใช้ทำสะโพกเทียม (total hip replacement, THR) แต่ยังมีข้อด้อยในเรื่องของความเปราะ โดยมีค่าความสามารถในการดูดซับพลังงานก่อนการแตกหักและความแข็งแรงดึง (tensile strength) ต่ำ เสี่ยงต่อการเกิดรอยร้าวเล็ก ๆ (microstructural flaw) ทำให้ต้านทานต่อความเครียด (stress concentration) และแรงกระแทก (mechanical impact) ได้ไม่ดี จึงมีข้อจำกัดในการใช้ทำข้อต่อเทียม ที่ต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 32 มิลลิเมตร เพื่อไม่ให้เกิดการแตกหัก (Torre, 1986 อ้างถึงใน Christel และคณะ, 1989) ดังนั้นจึงได้มุ่งพัฒนาวัสดุเซรามิกให้มีความเหนียว (toughness) ที่มากขึ้น โดยมุ่งความสนใจไปที่การเกิดทรานซฟอร์เมชันของเซอร์โคเนียที่ถูกทำให้เสถียรบางส่วน (partially stabilized zirconia, PSZ) จึงได้มีการนำเซอร์โคเนียที่ทำให้เกิดการเสถียรบางส่วนด้วยยิทเทรียม (Yttrium partially stabilized zirconia, YPSZ) มาใช้ทดแทนโพลีคริสตัลไลน์อะลูมิเนียมออกไซด์ ในการทำข้อสะโพกเทียม หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ยิทเทรียเตตระโกนัลเซอร์โคเนียโพลีคริสตัล (Yttria tetragonal zirconia polycrystal, Y-TZP) ซึ่งในงานวิจัยทางทันตกรรมมักใช้ชื่อนี้เป็นส่วนใหญ่

กระบวนการผลิตและกลไกการเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุเซรามิกชนิดเซอร์โคเนีย

(Christel และคณะ, 1989)

เซรามิกชนิดเซอร์โคเนียออกไซด์ที่ใช้เป็นวัสดุทันตกรรมที่อุณหภูมิสูงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเฟส (phase transformation) โดยที่อุณหภูมิห้องจะเป็นเฟสโมโนคลินิกที่เสถียร เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000 - 1,100 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนเป็นเฟสเตตระโกนัล และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 2,000 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนเป็นเฟสคิวบิก (cubic phase) ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงเฟสนี้ จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โดยเมื่อเซอร์โคเนียออกไซด์ได้รับความร้อนจะเปลี่ยนจากเฟสโมโนคลินิกเป็นเฟสเตตระโกนัลจะทำให้ปริมาตรลดลงร้อยละ 5 เมื่อทำให้เย็นลงจะเกิดทรานซฟอร์เมชันกลับมาเป็นเฟสโมโนคลินิก โดยปริมาตรจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 เช่นเดียวกับการเกิดมาร์เทนซิติคทรานซฟอร์เมชัน (martensitic transformation) ในเหล็กกล้า ปรากฏการณ์เหล่านี้มีผลต่อพฤติกรรมทางกล (mechanical behavior) ของเซอร์โคเนียออกไซด์ เนื่องจากในระหว่างเปลี่ยนแปลงเฟสจะเกิดความเค้นทำให้เกิดรอยแตก (crack formation) ซึ่งเราสามารถยับยั้งการเปลี่ยนแปลงได้โดยการเติมออกไซด์ที่ทำให้เกิดความเสถียร (stabilizing oxide) เช่น CaO , MgO , Y_2O_3 ซึ่ง

เป็นอนุภาคเตตระโกนัลจำนวนเล็กน้อย เพื่อคงสภาวะกึ่งเสถียร (metastable) ที่อุณหภูมิต่ำกว่า อุณหภูมิที่จะเปลี่ยนจากเฟสเตตระโกนัลไปเป็นเฟสโมโนคลินิก การเปลี่ยนเฟสของอนุภาค เตตระโกนัลเล็ก ๆ ที่ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นจะถูกขัดขวางโดยความเค้นจากแรงกดที่เกิดจากอนุภาค รอบ ๆ ข้าง ดังนั้นจึงเรียกวัดชนิดนี้ว่า เซอร์โคเนียที่ถูกทำให้เสถียรบางส่วน

เซอร์โคเนียที่ถูกทำให้เสถียรบางส่วน แบ่งเป็น 2 ระบบ ตามการใช้ ออกไซด์ที่ทำให้เกิด ความเสถียร ได้แก่

1. ระบบ ZrO_2 -MgO หรือ ZrO_2 -CaO

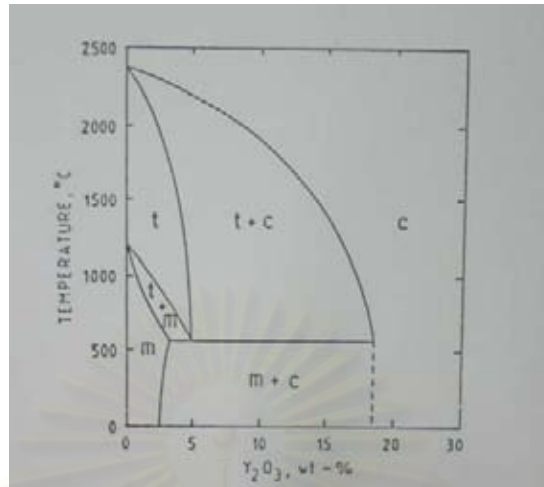
วัดชนิดนี้เมื่อผ่านการเผาจะอยู่ในสภาวะคิวบิก เมื่อปล่อยให้เย็นลงจะเกิดเตตระโกนัล เพียงเล็กน้อย ผลก็คือเฟสคิวบิกจะเกิดการเปลี่ยนเฟสแค่บางส่วนเท่านั้น

2. ระบบ ZrO_2 - Y_2O_3

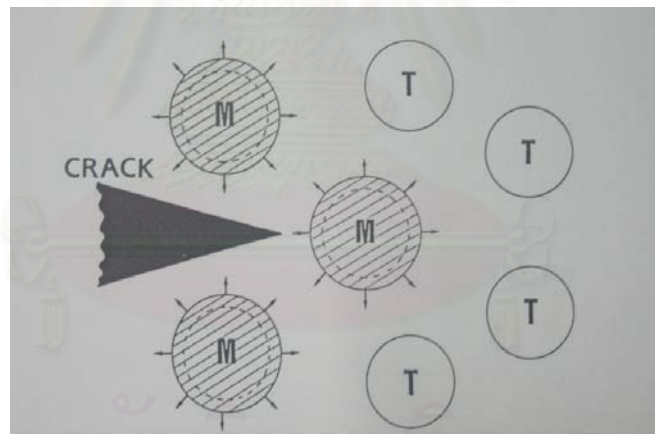
ระบบนี้มีช่วงเตตระโกนัลเฟสที่มีความเสถียรมากขึ้น ขึ้นกับอุณหภูมิและปริมาณของ Y_2O_3 (ภาพที่ 1) ทำให้เมื่อผ่านการเผาจะเกิดเป็นอนุภาคเตตระโกนัลที่ละเอียดทั้งหมด ดังนั้นการใช้ Y_2O_3 เป็นสารที่ทำให้เกิดความเสถียร สามารถทำให้เซรามิกชนิดเซอร์โคเนียมออกไซด์ มีอนุภาค เตตระโกนัลเล็ก ๆ ที่อยู่ในสภาวะกึ่งเสถียรร้อยละ 100

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรสัมพันธ์กับการเปลี่ยนเฟสจากเตตระโกนัลไปเป็นโมโนคลินิก ทำให้เกิดความเค้นในวัสดุอยู่แล้ว (prestressed material) การแผ่ขยายของรอยแตกทำให้มีการ ปลดปล่อยความเค้นในวัสดุรอบ ๆ ที่เปลี่ยนจากภาวะกึ่งเสถียรไปเป็นเฟสโมโนคลินิก อนุภาค โมโนคลินิกมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคเตตระโกนัลรอยแตกจึงไม่สามารถไปต่อได้ และปริมาตรที่ เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความเค้นแรงอัดที่ปลายรอยแตก จึงต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นเพื่อให้รอยแตกขยาย ต่อไปได้ ดังนั้นจึงเชื่อว่ากลไกการดูดซับพลังงาน เกิดเนื่องมาจากทรานสฟอร์มเมชันที่เกิดขึ้นที่ ปลายรอยแตก (ภาพที่ 2)

จากกลไกดังกล่าวทำให้วัสดุชนิดนี้มีความแข็งแรงมาก และมีค่าความสามารถในการ ดูดซับพลังงานก่อนการแตกหักที่สูง เรียกกลไกนี้ว่า ทรานสฟอร์มเมชันทัพเฟนิง



ภาพที่ 1 เฟสไดอะแกรม ZrO_2 - Y_2O_3 (t คือ เฟสเตตระโกนัล, m คือ เฟสโมโนคลินิก, c คือ เฟสคิวบิก) (Christel และคณะ, 1989)



ภาพที่ 2 การเกิดทรานส์ฟอร์มเมชันที่พ่นึงในเซอร์โคเนียที่ถูกทำให้เสถียรบางส่วน (Christel และคณะ, 1989)

การศึกษาเกี่ยวกับความแข็งแรงดัดขวางของวัสดุเซรามิกชนิดเซอร์โคเนีย

Guazzato, Albakry, Ringer และคณะ (2004a, 2004b) ทำการทดสอบเพื่อดูค่าความแข็งแรงดัดขวางแกนเดียวของวัสดุอลูมินาเซรามิกที่มีเซอร์โคเนียเป็นองค์ประกอบ ซึ่งได้แก่ อินซีแรม เซอร์โคเนียแบบดรายเพรสและแบบสลิปของ DC-Zirkon และ experimental YPSZ พบว่า วัสดุ

เหล่านี้ให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางและค่าดูดซับพลังงานก่อนการแตกหักที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับเซรามิกชนิดขึ้นรูปด้วยการกดอัด ซึ่งได้แก่ ไอพีเอสเอ็มเพรส และ เอ็มเพรส 2 และเซรามิกชนิดอะลูมินาที่แทรกซึมด้วยแก้ว (glass-infiltrate alumina) ซึ่งได้แก่ อินซีแรมอะลูมินาแบบสลิบ เนื่องจากเซอร์โคเนียที่เป็นส่วนประกอบในเซรามิกสามารถเปลี่ยนจากเฟสเตตระโกนัลไปเป็นโมโนคลินิกซึ่งเป็นกลไกเพิ่มความเหนียวซึ่งเกิดในเซรามิกชนิดนี้ สำหรับ DC-Zirkon เป็นเซอร์โคเนียที่ผ่านกระบวนการเผาอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิและความดันสูงและมียิปเทรียมออกไซด์เป็นส่วนประกอบร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางและค่าความสามารถในการดูดซับพลังงานก่อนการแตกหักที่มากที่สุด คือ 840 เมกะพาสคัล และ $7.4 \text{ MPa m}^{1/2}$ คล้ายคลึงกับการศึกษาของ Papanagiotou และคณะ (2006) ที่ทดสอบความแข็งแรงดัดขวางแบบ 3 จุด (3-point bending) ของวัสดุเซอร์โคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP ได้ค่าความแข็งแรงดัดขวาง (bending strength) อยู่ในช่วง 796.7 – 950.2 เมกะพาสคัล

ในทางคลินิกการทำครอบฟันหรือสะพานฟันจากวัสดุอลูมินาเซรามิกจะประกอบด้วยชั้นของคอร์เพื่อความแข็งแรงและพอกทับด้วยวีเนียร์พอร์ซเลนเพื่อความสวยงาม จึงได้มีการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางโดยใช้ชิ้นตัวอย่างของอลูมินาเซรามิกที่มีลักษณะเป็น 2 ชั้น เพื่อให้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง White และคณะ (2005) ทำการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางแบบ 3 จุด (3-point flexural test) ในวัสดุที่ใช้เซอร์โคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP เป็นคอร์ (Lava System Frame) และพอกทับด้วยวีเนียร์เฟลด์สพาทิกพอร์ซเลน (Lava Ceram Veneer) ที่ทำให้มีอัตราส่วนความหนาของชั้นวีเนียร์ต่อชั้นคอร์เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:3, 3:1 และ 0:1 และแยกทดสอบโดยใช้ด้านที่รับแรงกดเป็นทั้งส่วนคอร์และวีเนียร์ รวมทั้งหมด 8 กลุ่ม พบว่า วัสดุที่อยู่ทางด้านที่ได้รับแรงดึงมีความสำคัญ เพราะค่ามอดูลัสของการแตกหัก (modulus of rupture) จะสูงมากถึง 636 - 786 เมกะพาสคัล เมื่อให้ส่วนคอร์อยู่ด้านที่รับแรงดึง เทียบกับการให้ชั้นวีเนียร์อยู่ด้านที่รับแรงดึงจะมีค่ามอดูลัสของการแตกหักเพียง 77 - 85 เมกะพาสคัล เท่านั้น เมื่อเพิ่มความหนาของคอร์เซอร์โคเนียทำให้เพิ่มสามารถในการรับแรงของวัสดุด้วย ค่ามอดูลัสของการแตกหักของวัสดุเซอร์โคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP ที่ใช้ในการทดลองนี้ มีค่ามากกว่าระบบอลูมินาเซรามิกอื่น ๆ ที่เคยรายงานมา

ในการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางแบบ 3 จุดอาจมีปัญหา เนื่องจากการทดสอบนี้จะมี ความไว (sensitivity) ต่อรอยร้าวที่เกิดขึ้นตามขอบของชิ้นตัวอย่าง ทำให้ค่าความแข็งแรงที่ได้จากการทดสอบมีความแปรปรวนมากซึ่งการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกน (biaxial flexural test) สามารถลดความแปรปรวนนี้ได้เนื่องจากไม่ได้เป็นแรงที่กระทำโดยตรง (Ban และ

Anusavice, 1990) Guazzato, Proos, Sara และคณะ (2004) ได้ศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงดัดขวางสองแกน ความน่าเชื่อถือ (reliability) และลักษณะการแตกหัก (mode of fracture) ของวัสดุออลเซรามิกอินซีแอมอะลูมินาและอินซีแอมเซอร์โคเนีย ที่วีเนียร์ด้วยเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลนแบบดั้งเดิม (conventional feldspathic porcelain) พบว่าความแข็งแรงของคอร์เป็นตัวกำหนดความแข็งแรงและความน่าเชื่อถือของวัสดุออลเซรามิก โดยส่วนคอร์เป็นบริเวณที่ได้รับแรงดึง (tensile stress) ซึ่งก็คือ วัสดุคอร์ที่มีความแข็งแรงกว่าและเหนียวกว่าจะทำให้วัสดุออลเซรามิกมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนในวัสดุออลเซรามิกที่ใช้อินซีแอมเซอร์โคเนียเป็นคอร์ เท่ากับ 590 เมกะพาสคัล ซึ่งให้ค่ามากกว่าเมื่อใช้อินซีแอมอะลูมินาเป็นคอร์ (490 เมกะพาสคัล)

ต่อมาในปีเดียวกัน Guazzato, Proos, Quach และคณะ (2004) ได้ศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงดัดขวางสองแกน ความน่าเชื่อถือ และลักษณะการแตกหักของวัสดุเซอร์โคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP ซึ่งใช้ DC-Zirkon เป็นคอร์และพอกทับด้วยวีเนียร์พอร์ซเลน ซึ่งได้แก่ Vita D โดยมีอัตราส่วนความหนาของคอร์ต่อวีเนียร์เท่ากับ 1:1 สำหรับชิ้นตัวอย่างที่มี 2 ชั้น พบว่าคุณสมบัติของชั้นวัสดุด้านล่างที่รองรับแรงดึงเป็นตัวกำหนดความทนแรงดึงสูงสุด (ultimate strength) ของชิ้นตัวอย่าง ซึ่งสามารถนำไปเปรียบเทียบได้กับครอบฟัน เมื่อวัสดุคอร์อยู่ด้านที่รับแรงดึง และเทียบได้กับส่วนโยงของสะพานฟันเมื่อพอร์ซเลนอยู่ด้านที่รับแรงดึง และแนะนำให้ใช้คอร์ที่มีความแข็งแรง โดยค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนในวัสดุออลเซรามิกที่ใช้ DC-Zirkon เป็นคอร์เท่ากับ 1,210 เมกะพาสคัล เมื่อให้ส่วนคอร์อยู่ด้านใต้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lawn, Deng และ Thompson (2001) กล่าวว่า ในการทดสอบ Hertzian contact ในชิ้นตัวอย่างพอร์ซเลนที่มีลักษณะแบน เมื่อให้วีเนียร์พอร์ซเลนอยู่ด้านบนและวัสดุที่ใช้เป็นคอร์อยู่ด้านล่าง การเกิดรอยแตกแบบรัศมี (radial crack) มีบทบาทสำคัญในการเกิดการแตกหักทั้งชิ้น (bulk fracture) และสรุปว่าควรใช้คอร์ที่แข็งแรง เช่นเซอร์โคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP เพื่อให้ครอบฟันออลเซรามิกมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น

การศึกษาเกี่ยวกับความแข็งแรงแตกหักของวัสดุเซรามิกชนิดเซอร์โคเนีย

Sundh และ Sjögren (2004) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงแตกหักของครอบฟันออลเซรามิกที่ใช้เซอร์โคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP เป็นคอร์ (Denzir) ที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตรเท่ากันโดยตลอด เปรียบเทียบกับคอร์ที่มีความหนาไม่เท่ากันในแต่ละส่วน (adapted Denzir core) ซึ่งในทางคลินิกสามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากปุ่มฟันหายไป และพอกทับด้วยวีเนียร์เซรามิก 2 ชนิด คือไอพีเอสเอ็มเพรส 2 หรือไอพีเอสอีริส พบว่า แรงที่ทำให้เกิดการแตกหักของคอร์

ที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร มีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้คอร์ที่มีความหนาไม่เท่ากันในแต่ส่วน คือมีความหนาของคอร์ที่มากกว่าและมีชั้นวีเนียร์ที่บางกว่า

ได้มีการนำเซอรโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP มาใช้เป็นโครงในงานฟันปลอมบางส่วนติดแน่น ซึ่งมีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละบริษัท เนื่องจากคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพที่ดีของวัสดุชนิดนี้ จึงสามารถทำให้ส่วนโยงมีขนาดที่ค่อนข้างเล็กเมื่อเทียบกับวัสดุอลูเซรามิกชนิดอื่น โดยทำให้มีพื้นที่เล็กได้ประมาณ 7 - 16 ตารางมิลลิเมตร แต่ก็มีข้อจำกัดในการนำมาใช้ซึ่งควรนำมาพิจารณา เช่นเดียวกับการใช้วัสดุอลูเซรามิกชนิดอื่น โดยไม่ใช้ในกรณีที่มีช่องว่างไม่เพียงพอสำหรับส่วนโยงอันเนื่องมาจากผู้ป่วยมีระยะระหว่างด้านสบ (interocclusal distance) จำกัด ผู้ป่วยมีการสบฟันแบบคลาส 2 ดิวิชัน 2 (class II division II) หรือมีภาวะสบลึก (deepbite) มีการสบเหลื่อมแนวตั้ง (vertical overlap) มาก และมีการสบเหลื่อมแนวราบ (horizontal overlap) น้อย ฟันหลักเคลื่อน ฟันคู่สบยื่นยาวโดยไม่สามารถกรอปรับแต่งเคลือบฟัน (enameloplasty) ได้ ฟันหลักเตี้ย หรือมีนิสัยทำงานนอกหน้าที่อย่างรุนแรง (severe parafunction habit) และหากชิ้นงานไม่พอดีควรพิมพ์ปากใหม่ เพราะไม่สามารถตัดเพื่อเชื่อม (solder) เหมือนฟันปลอมติดแน่นบางส่วนชนิดโลหะเคลือบพอร์ซเลน (Raigrodski และ Salzer, 2002 อ้างถึงใน Raigrodski, 2004)

Kelly และคณะ (1995) ได้ทำการวิเคราะห์การแตกหักของฟันปลอมบางส่วนติดแน่นชนิดอลูเซรามิกจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการและจากทางคลินิก โดยใช้กล้องจุลทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และดูจุดเริ่มของการแตกหักพบว่า ตำแหน่งที่เป็นจุดเริ่มต้นของรอยแตกส่วนใหญ่ (ประมาณร้อยละ 70 - 78) อยู่ที่บริเวณรอยต่อระหว่างคอร์และวีเนียร์ (core-veneer interface) ซึ่งให้เห็นว่าบริเวณรอยต่อเป็นตำแหน่งที่มีความเค้นแรงดึงสูงและเป็นจุดสำคัญของการเกิดรอยร้าว (structural flaw)

การศึกษาเกี่ยวกับการล้าและอายุการใช้งานของวัสดุเซรามิกชนิดเซอรโคเนีย

มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาการแตกหักและความแข็งแรงของวัสดุภายหลังจากทดสอบการล้า (fatigue test) หรือดูความแข็งแรงภายหลังจากการจำลองสภาพการใช้งานในช่องปากของวัสดุเซอรโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP Sundh, Molin และ Sjögren (2005) พบว่าภายหลังจากการให้แรงพลวัต (dynamic loading) ในน้ำอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส โครงเซอรโคเนียของสะพานฟัน 3 ยูนิต มีค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Att และคณะ (2007) พบว่าภายหลังจากการให้แรงพลวัตและผ่านการทำเทอร์มอลไซเคิล (thermal cycling) พบว่าค่าความต้านทานการแตกหักของสะพานที่ทำจากวัสดุเซอรโคเนีย

เซรามิกชนิด Y-TZP ลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Pittayachawan และคณะ (2007) ที่รายงานว่า ภายหลังจากให้แรงพลวัต 10,000 และ 20,000 รอบ กับชิ้นตัวอย่างที่แช่น้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่าไม่มีผลกับความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของเซอร์โคเนีย แต่มีผลทำให้ความแข็งแรงดัดขวางของไอพีเอสเอ็มเพรสและอินซีแรมลดลง

ได้มีการทำนายอายุการใช้งาน (lifetime prediction) ของสะพานฟันที่ใช้โครง (framework) เป็นเซอร์โคเนีย และแนะนำให้ใช้ในสะพานฟันหลังตั้งแต่ 3 - 5 ยูนิตได้ (Studart, Filser, Kocher และ Gauckler, 2007a) โดย Studart, Filser, Kocher และ Gauckler (2007b) และ Studart, Filser, Kocher, Luthy และคณะ (2007) พบว่า เมื่อคำนวณอายุการใช้งานจากตัวชี้วัดการแผ่ขยายของรอยแตกใต้จุดวิกฤติ (subcritical crack growth parameter) และค่ามอดูลัสไวบูลล์ (Weibull modulus) พบว่า สะพานฟันที่สร้างขึ้นจากเซอร์คอนและอินซีแรม เซอร์โคเนียมีอายุการใช้งานนานกว่าสะพานฟันที่สร้างขึ้นจากเอ็มเพรส 2 และแนะนำให้ส่วนโยงของสะพานฟัน 3 ยูนิต มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตรหรือมากกว่า จะช่วยลดโอกาสการแตกหักน้อยกว่าร้อยละ 5 ใน 20 ปี สำหรับสะพานฟัน 4 - 5 ยูนิต ก็ต้องให้มีขนาดส่วนโยงที่เพิ่มขึ้น และจากงานวิจัยของ Teixeira และคณะ (2007) ซึ่งได้ทดสอบการล้าในน้ำที่ปราศจากออกซิเจน อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่าชิ้นตัวอย่างที่ทำจากเซอร์โคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP มีความต้านทานต่อการแผ่ขยายของรอยแตกใต้จุดวิกฤติได้ดี มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน โดยทำนายว่ามีอายุการใช้งานลดลงร้อยละ 29 เมื่อผ่านไป 10 ปี

ภาวะเสื่อมสลายได้ในอุณหภูมิต่ำ (lower temperature degradation, LTD) ของเซรามิกชนิดเซอร์โคเนียสามารถเกิดได้เช่นกัน ปราชญ์การณีนีรายงานโดย Kobayashi, Kuwajima และ Masaki (1981) ซึ่งพบว่าเกิดการทรานซฟอร์เมชันจากเฟสเตตระโกนัลซึ่งเป็นภาวะกึ่งเสถียรไปเป็นเฟสโมโนคลินิกซึ่งมีความเสถียรมากกว่า ในบริเวณพื้นผิวที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ชื้นและอุณหภูมิต่ำ (150 - 400 องศาเซลเซียส) (Swab, 1991; Kelly และ Denry, 2008) การเสื่อมสลายมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดของเซรามิกซึ่งมีองค์ประกอบที่ต่างกันในแง่ของขนาดอนุภาคและยิทเทรียที่เป็นองค์ประกอบ (Swab, 1991) ปราชญ์การณีนีสัมพันธ์กับขั้นตอนการขึ้นรูปชั้นวีเนียร์พอร์ซเลนที่มีความชื้นและอุณหภูมิต่ำเข้ามาเกี่ยวข้อง (Picconi และ Maccauro, 1999)

ข้อมูลที่น่าเชื่อถือทางวิทยาศาสตร์และอัตราความสำเร็จในระยะยาว จะเป็นสิ่งที่ช่วยตัดสินใจเลือกวิธีการรักษา ซึ่งเทคนิคหรือวัสดุใหม่ ๆ รวมถึงการบูรณะฟันหลังด้วยวัสดุเซอร์โคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP ยังต้องมีการศึกษาและพัฒนาต่อไป

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

- 1.1 คอร์เซรามิก ได้แก่ เซอร์คอนเบส (Cercon Base, Degudent GmbH, Hanue-Wolfgang, Germany)
- 1.2 ไลเนอร์ชนิดเพสต์ ได้แก่ เพสต์ไลเนอร์ (Paste Liner, Degudent GmbH, Hanue-Wolfgang, Germany)
- 1.3 วีเนียร์พอร์ซเลน ได้แก่ เซอร์คอนซีแรมคิส (Cercon Ceram Kiss, Degudent GmbH, Hanue-Wolfgang, Germany)
- 1.4 ลิควิดสำหรับขึ้นรูปวีเนียร์พอร์ซเลน ได้แก่ ดูซีร่าลิควิดเอสดี (Ducera Liquid SD, Degudent GmbH, Hanue-Wolfgang, Germany)
- 1.5 น้ำยาตรวจหารอยร้าว ได้แก่ วีต้าอินซีแรมเทสดีติงลิควิด (VITA In-Ceram Testing Liquid, Vita Zahnfabrik, BadSackingen, Germany)

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- 2.1 เตาเผาเซอร์คอน (Cercon heat, Degudent GmbH, Hanue Wolfgang, Germany)
- 2.2 เตาเผาพอร์ซเลน (Multimat 2 Touch+Press, DeguDent, Netherlands)
- 2.3 เครื่องเป่าทราย (Pen Blaster II, DeguDent, Netherlands)
- 2.4 เครื่องทำความสะอาดแบบความถี่เหนือเสียง (ultrasonic cleanser, Transsonic Digital Series TP680DH, Is@work PTE Ltd, Singapore)
- 2.5 เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัดระบบไฮดรอลิก (Universal Testing Machine, Model 8872, Canton, MA, USA)
- 2.6 แป้นทดสอบ piston on three ball
- 2.7 ที่ยึดชิ้นตัวอย่างสำหรับขัด (South Bay technology, USA)
- 2.8 เครื่องวัดมิติจุลไมโครมิเตอร์ (Digimatic Micrometer, Mitutoyo, Japan)
- 2.9 เครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ (automatic polishing machine, DPS 3200, Imptech, South Africa)

2.10 กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (Stereo microscope, Meiji ML 9300, Meiji techno, Japan)

2.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, JSM 5410LV, JEOL, Ltd, Japan)

2.11 เครื่องกรอช้า (low-speed micromotor, Strong 90, Saeshin Precision, Dalseo-Gu, Daegu, Korea)

2.11 แม่แบบซิลิโคนขึ้นรูปชั้นวีเนียร์พอร์ซเลน

2.12 แม่แบบขึ้นรูปสำหรับวีเนียร์พอร์ซเลนทั้งชิ้น

2.13 หัวกรอคาร์ไบด์รูปทรงกระบอกแบบกรอช้า (slow speed cylinder-shaped carbide bur)

2.14 หัวกรอเพชรรูปทรงกระบอกแบบกรอช้า (slow speed cylinder-shaped diamond bur)

2.15 หัวกรอซิลิโคนฝักรูปทรงกระบอกแบบกรอช้า (slow speed cylinder-shaped silicone bur, Diagen-turbo-grinders dtg, Germany)

2.16 หัวกรอเพชรรูปดิสก์ (diamond disc)

2.17 กระดาษทรายขัดแห้ง เบอร์ 100, 120, 360, 500 และ 800

2.18 กระดาษทรายน้ำ เบอร์ 360, 600, 800 และ 1000

วิธีการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของเซอริโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP ด้วยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความหนาชั้นคอร์ต่อวีเนียร์โดยให้มีรูปแบบต่าง ๆ กัน ดังนี้

กลุ่มที่ 1 อัตราส่วนคอร์ : วีเนียร์ เท่ากับ 1:0

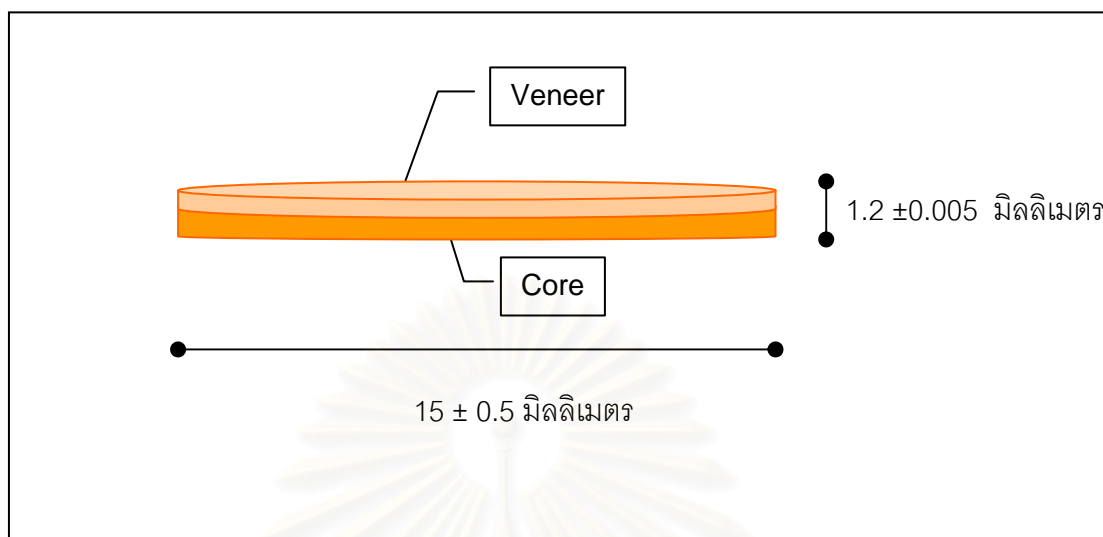
กลุ่มที่ 2 อัตราส่วนคอร์ : วีเนียร์ เท่ากับ 2:1

กลุ่มที่ 3 อัตราส่วนคอร์ : วีเนียร์ เท่ากับ 1:1

กลุ่มที่ 4 อัตราส่วนคอร์ : วีเนียร์ เท่ากับ 1:2

กลุ่มที่ 5 อัตราส่วนคอร์ : วีเนียร์ เท่ากับ 0:1

ทำการขึ้นรูปขึ้นตัวอย่างเซรามิกโดยทำเป็นส่วนคอร์พอกทับด้วยวีเนียร์พอร์ซเลน ทำให้มีลักษณะตามมาตรฐาน ISO 6872 (The International Organization for Standardization [ISO], 1995) มีรูปร่างเป็นแผ่นกลม (disc) เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ± 0.5 มิลลิเมตร หนา 1.2 ± 0.005 มิลลิเมตร (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 แผนภาพของชิ้นตัวอย่างที่ใช้วัดความแข็งแรงดัดขวางสองแกน

วิธีการเตรียมชิ้นตัวอย่าง

การทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกนในการวิจัยครั้งนี้ ใช้ชิ้นตัวอย่างที่ทำจากวัสดุเซอรัคคอนร่วมกับวีเนียร์พอร์ซเลนเซอรัคคอนซีแรมคิส แบ่งชิ้นตัวอย่างออกเป็น 5 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น แบ่งตามความหนาและอัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแบ่งกลุ่มชิ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

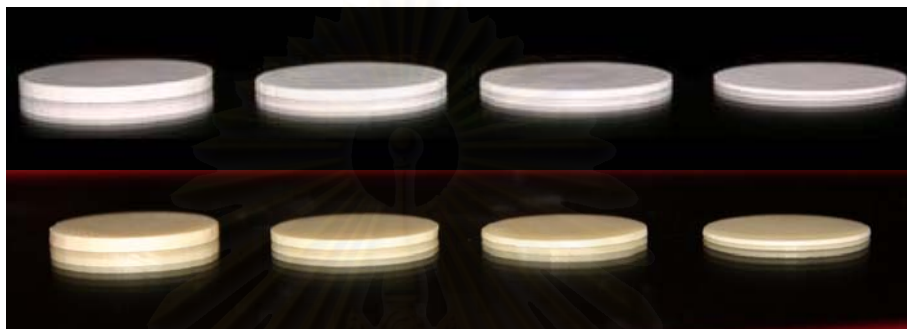
กลุ่มที่	1	2	3	4	5
อัตราส่วนชั้นคอร์ต่อชั้นวีเนียร์	1:0	2:1	1:1	1:2	0:1
ความหนาชั้นคอร์ต่อชั้นวีเนียร์ (มิลลิเมตร)	1.2:0	0.8:0.4	0.6:0.6	0.4:0.8	0:1.2
จำนวนชิ้นตัวอย่าง (ชิ้น)	10	10	10	10	10

1. การเตรียมชั้นคอร์

สร้างชั้นคอร์จากเซอรัคคอนเบสที่ยังไม่ได้ผ่านการเผาให้แข็งเต็มที่ โดยใช้หัวกรอคาร์ไบด์รูปทรงกระบอกแบบกรอเข้ากรอให้ได้รูปร่างเป็นแผ่นกลม มีความหนาและเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดที่ต้องการเล็กน้อย จากนั้นนำมาขัดด้วยกระดาษทรายขัดแห้งเบอร์ 100, 120, 360, 500

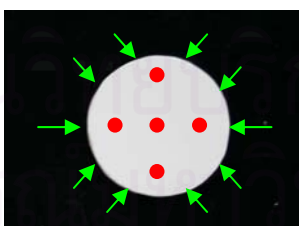
และ 800 ตามลำดับ ให้มีความหนาและเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดของชั้นคอร์ที่ต้องการ ร้อยละ 30 เพื่อชดเชยการหดตัวภายหลังจากการเผา

นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำออกจากเตาเผา ขึ้นตัวอย่างที่ได้จะมีขนาดลดลงร้อยละ 30 (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ขนาดขึ้นตัวอย่างของชั้นคอร์เซอร์โคเนียก่อนเผา (บน) และภายหลังจากการเผา (ล่าง)

ใช้ดิจิตอลไมโครมิเตอร์ วัด 5 ตำแหน่ง บนพื้นผิวของขึ้นตัวอย่าง ในตำแหน่งใกล้เคียง 4 จุด และตรงกลาง 1 จุด (ภาพที่ 5) ให้ได้ขึ้นตัวอย่างในกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 มีความหนา 1.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ± 0.005 มิลลิเมตร ตามลำดับ และใช้ดิจิตอลไมโครมิเตอร์ วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ที่ขอบของขึ้นตัวอย่าง 5 ตำแหน่ง ให้ได้ขึ้นตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ± 0.5 มิลลิเมตร



ภาพที่ 5 ตำแหน่งการวัดขนาดขึ้นตัวอย่าง (จุดสีแดง คือตำแหน่งที่ใช้วัดความหนา ลูกศรสีเขียว คือตำแหน่งที่ใช้วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง)

นำชิ้นตัวอย่างมาตรวจหารอยร้าว โดยหยดน้ำยาตรวจหารอยร้าวลงบนกระจก จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างมาวางแช่ให้ชิ้นตัวอย่างสัมผัสกับน้ำยาทั้งสองด้าน ๆ ละ 10 นาที ตรวจหารอยร้าว จากนั้นนำมาล้างทำความสะอาด (ภาพที่ 6)

นำชิ้นตัวอย่างที่เป็นชิ้นครีมาทำการพ่นทราย (sandblast) โดยใช้ผงอะลูมิเนียมออกไซด์ ขนาด 110 ไมครอน ที่ความดัน 3.5 เฮคโตพาสคัล โดยให้ปลายของเครื่องพ่นทรายห่างจากชิ้นตัวอย่าง 10 มิลลิเมตร และเอียงทำมุม 45 องศากระบอกชิ้นตัวอย่าง แล้วนำไปทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดแบบความถี่เหนือเสียงเป็นเวลา 15 นาที



ภาพที่ 6 การใช้ น้ำยาตรวจหารอยร้าวในชิ้นตัวอย่าง

2. การเตรียมชิ้นวีเนียร์พอร์ซเลน

สร้างชิ้นวีเนียร์พอร์ซเลนเพิ่ม สำหรับชิ้นตัวอย่างในกลุ่มที่ 2, 3, 4 และสร้างวีเนียร์พอร์ซเลนขึ้นมาทั้งชิ้นในกลุ่มที่ 5 โดยขึ้นรูปให้มีความหนามากกว่าความหนาที่ต้องการเล็กน้อย เพื่อชดเชยการหดตัวขณะเผา โดยทำตามขั้นตอนดังนี้

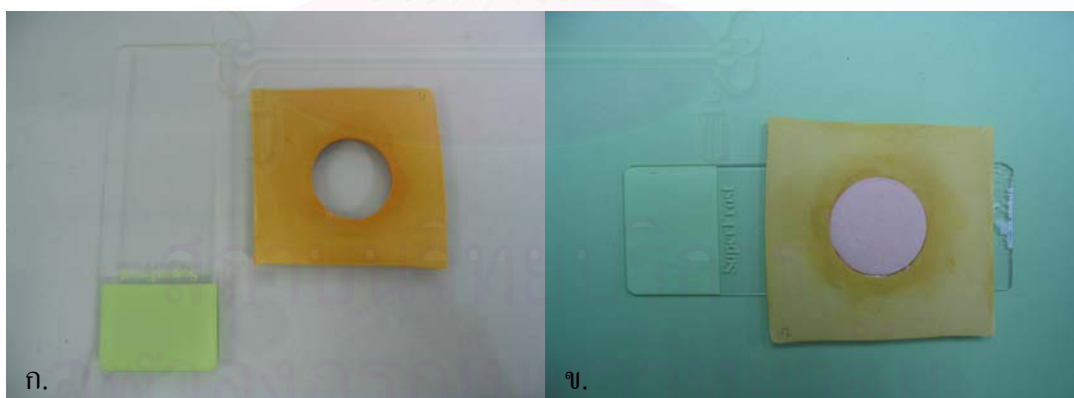
ในกลุ่มที่ 2, 3 และ 4 นำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการพ่นทรายมาแล้ว มาทำการสร้างชิ้นวีเนียร์พอร์ซเลน โดยเริ่มจากการใช้ฟู่กันทาไลเนอร์ นำไปเข้าเตาเผาตามโปรแกรมการเผาที่บริษัทกำหนด (ภาคผนวก) นำออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างมาวางในแม่แบบซิลิโคนซึ่งมีลักษณะเป็นหลุมวงกลมลึกมากกว่า 1.2 มิลลิเมตร เล็กน้อย เพื่อขึ้นรูปชั้นเดนทิน (ภาพที่ 7) โดยผสมผงเดนทินกับลิวิตินในอัตราส่วน 1:2 ใส่ในแม่แบบซิลิโคนโดยใช้พายตัก (spatula technique) ภายหลังจากการสั่น (vibrating) และอัดแน่น (packing) ใช้กระดาษทิชชูซับ (blotting) จนไม่ลิวิตินส่วนเกินออกมา นำออกจากแม่แบบเพื่อไปเข้าเตาเผา



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการขึ้นรูปชั้นวีเนียร์พอร์ซเลนโดยใช้แม่แบบ

- (ก) ชั้นคอร์ที่ผ่านการทำชั้นไลเนอร์แล้วนำมาวางในแม่แบบ
- (ข) ชั้นเดนทินที่พอกทับบนชั้นคอร์ในแม่แบบ
- (ค) ชั้นตัวอย่างที่ขึ้นรูปเสร็จเรียบร้อยแล้วบนแม่แบบ

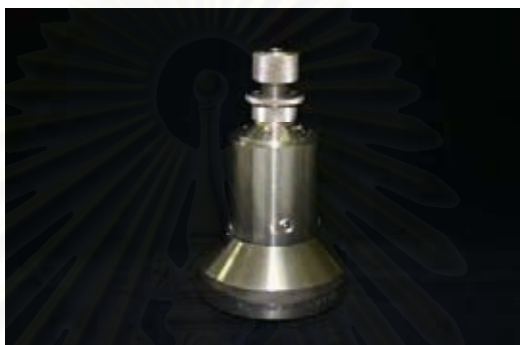
ในกลุ่มที่ 5 ขึ้นรูปวีเนียร์พอร์ซเลนทั้งชั้นโดยใช้แผ่นแก้วบาง (glass slide) ร่วมกับแม่แบบวงกลมที่ทำจากปูนยิปซัม ซึ่งทำให้หนากว่า 1.2 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดชิ้นตัวอย่างที่ต้องการเล็กน้อยเพื่อชดเชยการหดตัว (ภาพที่ 8) เมื่อขึ้นรูปเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงเอาออกจากแม่แบบแล้วนำไปเข้าเตาเผา



ภาพที่ 8 ขั้นตอนการขึ้นรูปวีเนียร์ทั้งชั้นโดยใช้แม่แบบ

- (ก) แม่แบบที่ใช้ขึ้นรูปวีเนียร์ทั้งชั้น ได้แก่ แผ่นแก้วบางและแม่แบบที่ทำจากปูนยิปซัม
- (ข) ชิ้นตัวอย่างที่ขึ้นรูปเสร็จเรียบร้อยแล้วในแม่แบบ

เผาชิ้นวีเนียร์และวีเนียร์ทั้งชิ้นตามโปรแกรมการเผาที่บริษัทกำหนด (ภาคผนวก) นำออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำมากรอแต่งด้านที่พอกวีเนียร์พอร์ซเลนทับด้วยหัวกรอซิลิโคนฝังเพชรรูปทรงกระบอก และขัดด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 360, 500, 800 และ 1000 ตามลำดับ โดยใช้ที่จับโลหะสำหรับขัดชิ้นตัวอย่าง (ภาพที่ 9) เพื่อยืดชิ้นตัวอย่างขณะขัดแต่งเพื่อให้ได้ความหนาที่ถูกต้องและมีความขนานของพื้นผิว



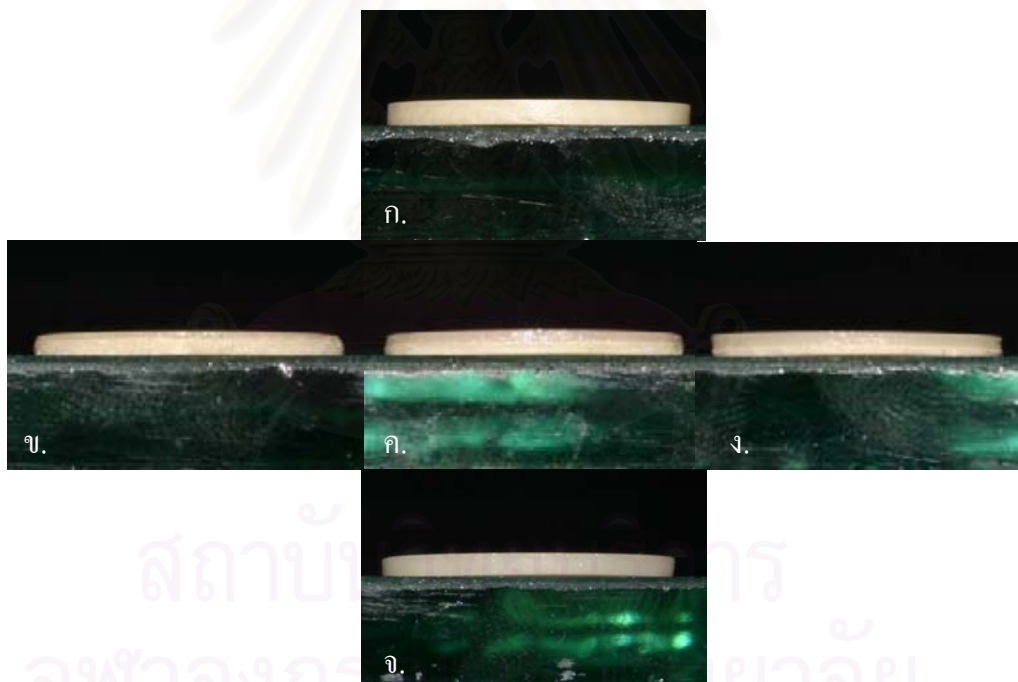
ภาพที่ 9 ที่จับโลหะสำหรับขัดชิ้นตัวอย่าง

ใช้ดิจิตอลไมโครมิเตอร์ วัดชิ้นตัวอย่าง 5 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งใกล้ขอบชิ้นตัวอย่าง 4 จุด และตรงกลาง 1 จุด บนพื้นผิวของชิ้นตัวอย่างที่ประกอบด้วยชั้นคอร์และวีเนียร์พอร์ซเลน ให้ได้ชิ้นตัวอย่างที่มีความหนา 1.2 ± 0.005 มิลลิเมตร และใช้ดิจิตอลไมโครมิเตอร์วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ขอบของชิ้นตัวอย่าง 5 ตำแหน่ง ให้ได้ชิ้นตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ± 0.5 มิลลิเมตร (ภาพที่ 5) ชิ้นตัวอย่างแต่ละกลุ่มแสดงในภาพที่ 10 และ 11

นำชิ้นตัวอย่างทั้งหมดมากำหนดตำแหน่งจุดกึ่งกลาง เพื่อใช้สำหรับการวางชิ้นงานให้ได้ตำแหน่งกึ่งกลางในแป้นทดสอบ แล้วนำไปทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดแบบความถี่เหนือเสียงเป็นเวลา 15 นาที (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 10 ชิ้นตัวอย่างเรียงลำดับตั้งแต่กลุ่มที่ 1-5 เมื่อมองจากด้านบน



ภาพที่ 11 ชิ้นตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 (ก), 2 (ข), 3 (ค), 4 (ง) และ 5 (จ) ตามลำดับ
เมื่อมองจากด้านข้างแสดงให้เห็นอัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ที่ต่างกัน
โดยชั้นบนเป็นวีเนียร์พอร์ซเลนและชั้นล่างเป็นคอร์เซอริโคเนีย



ภาพที่ 12 การทำความสะอาดชิ้นตัวอย่างด้วยเครื่องทำความสะอาดแบบความถี่เหนือเสียง

การคัดเลือกชิ้นตัวอย่าง

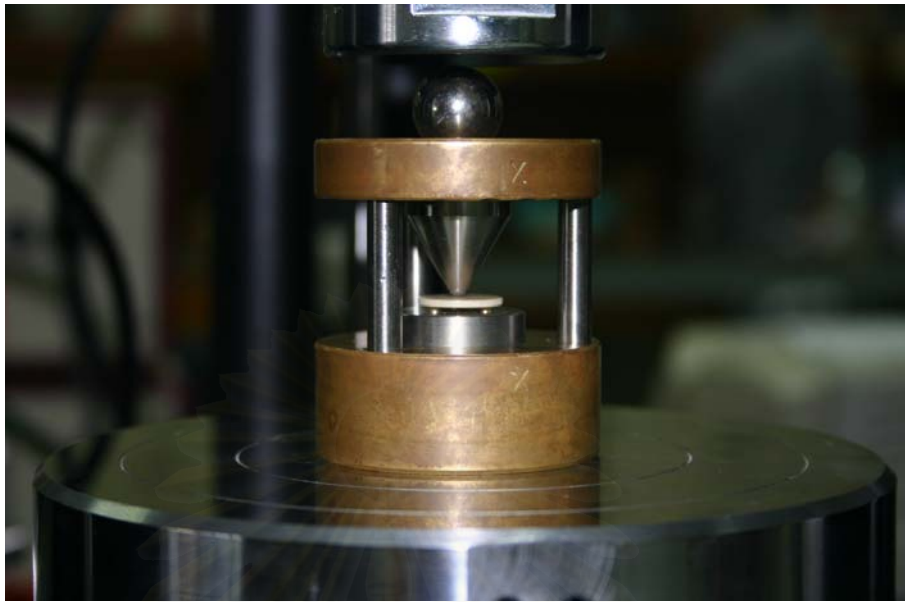
ในขบวนการสร้างชิ้นตัวอย่าง หากพบชิ้นงานมีรอยร้าว รูพรุน บิ่นแตก หรือไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ จะทำการคัดออกและสร้างชิ้นตัวอย่างใหม่ทดแทน

การเก็บชิ้นตัวอย่าง

ชิ้นตัวอย่างที่ได้เก็บในอุณหภูมิต่ำ

การทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกน

นำชิ้นตัวอย่างมาทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกนตามมาตรฐาน ISO 6872 ปี ค.ศ 1995 โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัดระบบไฮดรอลิกและเป็นทดสอบเป็นลูกบอลเหล็กทรงรับสามลูกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร เรียงตัวทำมุม 120 องศา บนวงกลมที่รองรับ (support circle) เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ใช้หัวกดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.75 มิลลิเมตร วางชิ้นตัวอย่างลงบนแป้นทดสอบโดยให้ส่วนของวีเนียร์พอร์ซเลนอยู่ทางด้านบน จากนั้นเคลื่อนหัวกดลงที่กึ่งกลางของชิ้นตัวอย่างด้วยความเร็วหัวกด 1 มิลลิเมตรต่อนาทีจนแตก (ภาพที่ 13) บันทึกค่าแรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นตัวอย่างแตก และเก็บชิ้นตัวอย่างที่แตกเพื่อนำมาศึกษาลักษณะการแตก



ภาพที่ 13 การทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกน โดยใช้วิธี piston on three ball

คำนวณค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนโดยใช้สูตรดังนี้

1. สูตรที่ใช้คำนวณสำหรับกลุ่มที่ 1 และ 5 (ISO 6872, 1995)

$$BFS = \frac{-0.287P(X-Y)}{d^2}$$

$$\text{โดย } X = (1+\nu) \ln \left[\frac{r_2}{r_3} \right]^2 + \left[\frac{(1-\nu)}{2} \right] \left[\frac{r_2}{r_3} \right]^2$$

$$Y = (1+\nu) \left(1 + \ln \left[\frac{r_1}{r_3} \right]^2 \right) + (1-\nu) \left[\frac{r_1}{r_3} \right]^2$$

2. สูตรที่ใช้คำนวณสำหรับ กลุ่มที่ 2, 3 และ 4 (Ohyama Yoshinari และ Oda, 1999)

$$BFS = \frac{6M}{t_a^2 k_{2P}} \left[\frac{E_b t_b}{E_a t_a} + \frac{E_b (t_a + t_b)}{(E_a t_a + E_b t_b)} \right]$$

$$\text{โดย } k_{2P} = 1 + \frac{E_b t_b^3}{E_a t_a^3} + \frac{3E_b t_b (1 + \frac{t_a}{t_b})^2}{(E_a t_a + E_b t_b)}$$

$$M = \frac{P}{8\pi} \left[(1+\nu) + 2(1+\nu) \ln \frac{r_1}{r_2} + (1-\nu) \left[1 - \frac{r_2^2}{2r_1^2} \right] \frac{r_1^2}{r_3^2} \right]$$

- P คือ แรงกดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตก (นิวตัน)
 D คือ ความหนาของชั้นตัวอย่าง ณ จุด ที่เกิดการแตก (มิลลิเมตร)
 ν คือ อัตราส่วนปัวซอง (Poisson' s ratio) (0.25)
 r_1 คือ รัศมีของวงกลมรองรับ (5 มิลลิเมตร)
 r_2 คือ รัศมีของบริเวณที่โดนกด (0.75 มิลลิเมตร)
 r_3 คือ รัศมีของชั้นตัวอย่าง (7.5 มิลลิเมตร)
 E_a คือ โมดูลัสสภาพยืดหยุ่นของวีเนียร์พอร์ซเลน (60 จิกะพาสคัล)
 E_b คือ โมดูลัสสภาพยืดหยุ่นของเซอรัคอน (210 จิกะพาสคัล)
 t_a คือ ความหนาของชั้นวีเนียร์พอร์ซเลน (มิลลิเมตร)
 t_b คือ ความหนาของชั้นคอร์ (มิลลิเมตร)

การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS รุ่น 13 (SPSS Inc, USA) หาค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่ม จากนั้นนำมาทดสอบการกระจายของข้อมูล ซึ่งถ้าการกระจายของข้อมูลเป็นแบบปกติ จะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แล้วทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อน เพื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของแต่ละกลุ่ม โดยการจับคู่ทีละกลุ่ม แต่ถ้าการกระจายของข้อมูลไม่เป็นแบบปกติ จะใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการเปรียบเทียบค่ากลางของข้อมูล K ชุดที่เป็นอิสระต่อกัน (K independent sample test)

นำชั้นตัวอย่างที่แตกมาตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อดูลักษณะการแตก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษานี้แบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 2 ตอน โดยตอนแรกเป็นการวิเคราะห์ผลจากความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของเซอริโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP ยี่ห้อเซอริคอนที่มีอัตราส่วนของคอร์ต่อวีเนียร์ต่าง ๆ กัน และตอนที่สอง เป็นการวิเคราะห์เพื่อจำแนกลักษณะของรอยแตก โดยนำบริเวณรอยแตกมาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ตอนที่ 1 วิเคราะห์ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกน

ผลการทดลองหาค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของเซอริโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP ที่มีอัตราส่วนของคอร์ต่อวีเนียร์ต่างกัน ได้ผลดังตารางที่ 2

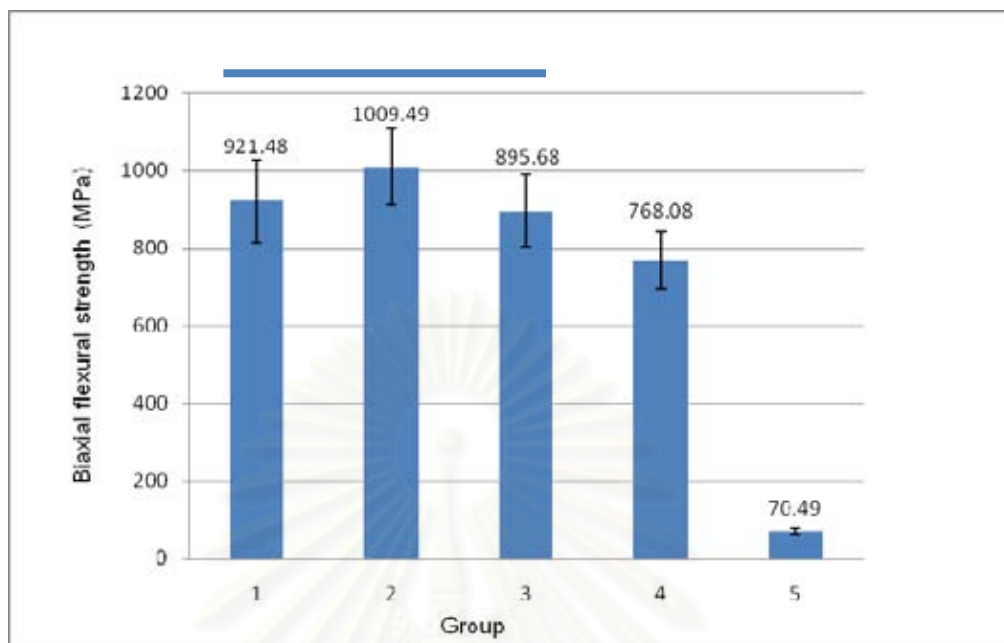
ปัจจัยที่มีผลต่อการค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกน ได้แก่ อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ที่ไม่เท่ากันในแต่ละกลุ่ม โดยเรียงลำดับตั้งแต่กลุ่มที่ 1 ถึงกลุ่มที่ 5 ดังนี้ 1:0, 2:1, 1:1, 1:2 และ 0:1 ดังนั้นจึงนำค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนไปทดสอบการกระจายตัว พบว่าข้อมูลมีการกระจายเป็นปกติและทดสอบความแปรปรวนด้วยการทดสอบแบบลิวิน (Levene's Test) พบว่าข้อมูลทั้ง 5 กลุ่มมีค่าความแปรปรวนไม่เท่ากัน จึงทำการวิเคราะห์ต่อด้วยการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยโรบัส (Robust test of Equality of means) พบว่า ความแข็งแรงดัดขวางสองแกนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างน้อย 1 กลุ่ม จากนั้นทำการทดสอบเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบแทมเฮน (Tamhane multiple comparison) เพื่อดูว่ากลุ่มใดบ้างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาคผนวก)

พบว่าในกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของเซอริโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 4 และ 5 พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 14)

ตารางที่ 2 ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของเซรามิกทั้ง 5 กลุ่ม ที่แต่ละกลุ่มมีอัตราส่วน
คอร์ต่อวีเนียร์ต่างกัน

ชั้นตัวอย่าง	กลุ่มที่				
	1	2	3	4	5
1	960.10	1118.86	816.99	766.94	72.77
2	811.65	883.76	916.02	858.57	62.43
3	838.63	880.97	789.37	741.75	65.74
4	810.61	1048.50	1006.82	836.09	57.87
5	895.48	999.68	783.96	748.17	81.41
6	1037.60	1065.83	888.59	817.49	61.49
7	871.28	893.58	804.27	667.45	83.91
8	991.70	1034.52	952.41	685.00	71.97
9	863.85	1003.05	1030.57	864.93	73.09
10	1133.91	1166.11	967.82	694.40	74.26
ค่าเฉลี่ย	921.48	1009.49	895.68	768.08	70.49
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	106.86	98.72	92.96	73.17	8.54

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 14 แผนภูมิค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนเฉลี่ยของเซรามิก 5 กลุ่ม

(หมายเหตุ — คือเส้นที่อยู่เหนือกลุ่มที่แสดงถึงค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ)

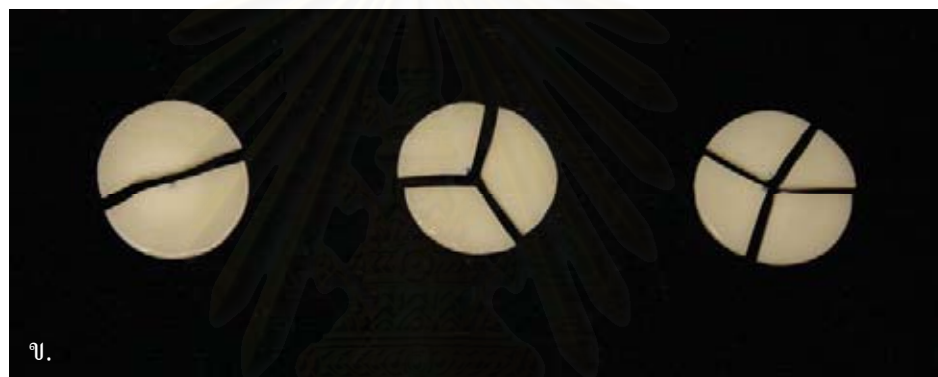
ตอนที่ 2 วิเคราะห์ลักษณะการแตก

ลักษณะชั้นตัวอย่างที่แตกแบ่งเป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ การแตกเป็นส่วน ๆ ซึ่งพบในกลุ่มตัวอย่างที่ทำขึ้นมาแบบชั้นเดียว (monolayer) และการแตกระหว่างชั้น (delamination) ซึ่งพบเฉพาะในกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะเป็น 2 ชั้น (bilayer) เท่านั้น โดยในกลุ่มที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยคอร์ทั้งชั้น ภายหลังจากทดสอบชั้นตัวอย่างแตกออกเป็น 4-6 ชั้น และในกลุ่มที่ 5 ซึ่งเป็นวีเนียร์ทั้งชั้น ภายหลังจากทดสอบชั้นตัวอย่างแตกออกเป็น 2-4 ชั้น (ภาพที่ 15) ในส่วนของชั้นตัวอย่างของกลุ่มที่ 2-4 ซึ่งประกอบด้วยชั้นคอร์และชั้นวีเนียร์ที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กัน พบว่ามีการแตกระหว่างชั้น โดยชั้นวีเนียร์ที่แตกก่อนส่วนใหญ่จะมีชั้นของเฟสไลเนอร์ติดออกมาด้วย และการแตกระหว่างชั้นนี้สามารถจำแนกเป็น 2 รูปแบบด้วยกัน ดังนี้

แบบที่ 1 ชั้นวีเนียร์ด้านในแตกก่อนออกมาจากชั้นคอร์ทั้งหมดหรือบางส่วน เหลือแต่บริเวณขอบนอกที่ติดกับชั้นคอร์ หรือชั้นวีเนียร์เกิดรอยร้าวรอบจุดศูนย์กลางบริเวณขอบนอก (ภาพที่ 16 (ก - ค))

แบบที่ 2 ชั้นวีเนียร์บริเวณขอบนอกแตกก่อนออกมาจากชั้นคอร์ และเหลือบริเวณด้านในที่ติดกับชั้นคอร์ ส่วนชั้นคอร์แตกตรงบริเวณขอบ (ภาพที่ 17)

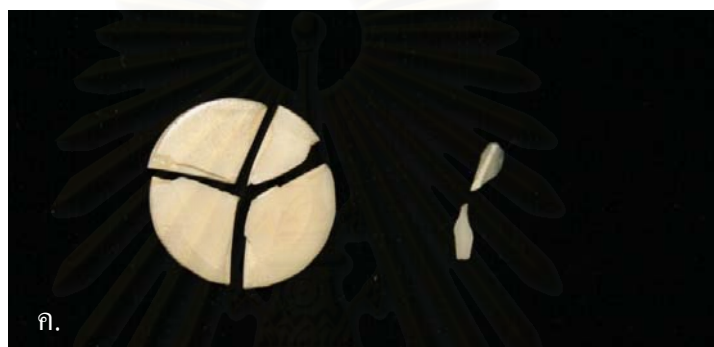
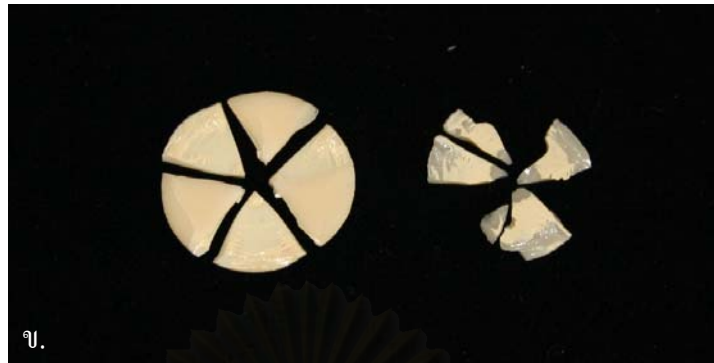
จำนวนและลักษณะชิ้นตัวอย่างที่แตกแบบต่าง ๆ สรุปได้ดังตารางที่ 3



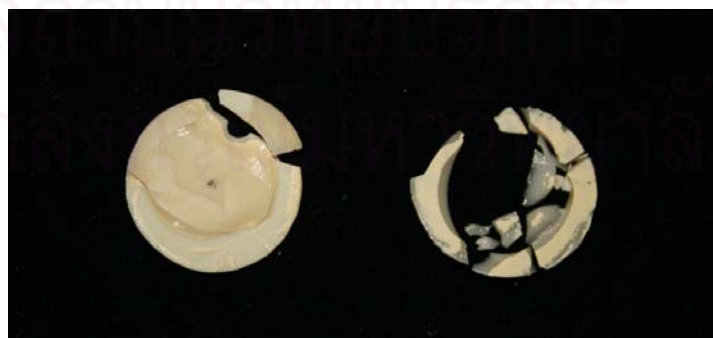
ภาพที่ 15 ลักษณะการแตกออกเป็นชิ้น พบใน

- (ก) กลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นคอร์เซอร์โคเนียทั้งชิ้น พบการแตกออกเป็น 4-6 ชิ้น และ
 (ข) กลุ่มที่ 5 ซึ่งเป็นวีเนียร์พอร์ซเลนทั้งชิ้น พบการแตกออกเป็น 2-4 ชิ้น





ภาพที่ 16 ลักษณะการแตกระหว่างชั้นแบบที่ 1 ซึ่งพบในชิ้นตัวอย่างของ
 กลุ่มที่ 2 จำนวน 10 ชิ้น กลุ่มที่ 3 จำนวน 10 ชิ้น และกลุ่มที่ 4 จำนวน 4 ชิ้น
 (ก) ชั้นวีเนียร์ด้านในแตกก่อนออกมาจากชั้นคอร์ทั้งหมด
 (ข) ชั้นวีเนียร์ด้านในแตกก่อนออกมาจากชั้นคอร์บางส่วน
 (ค) ชั้นวีเนียร์เกิดรอยร้าวรอบจุดศูนย์กลางบริเวณขอบนอก

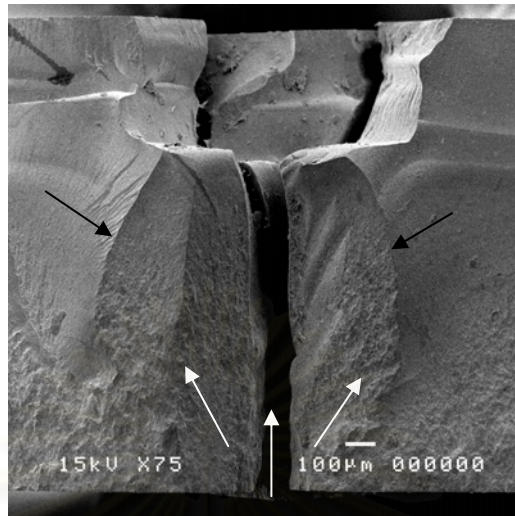


ภาพที่ 17 ลักษณะการแตกระหว่างชั้นแบบที่ 2 ซึ่งพบในชิ้นตัวอย่างของกลุ่มที่ 4 จำนวน 6 ชิ้น

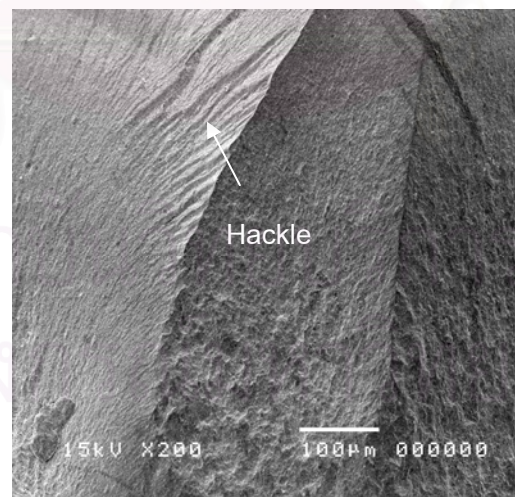
ตารางที่ 3 แสดงการจำแนกลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่าง

กลุ่มที่	ลักษณะการแตก						
	แตกเป็นชิ้น					แตกระหว่างชั้น	
	2 ชิ้น	3 ชิ้น	4 ชิ้น	5 ชิ้น	6 ชิ้น	แบบที่ 1	แบบที่ 2
1			6	3	1		
2						10	
3						10	
4						4	6
5	7	6	1				

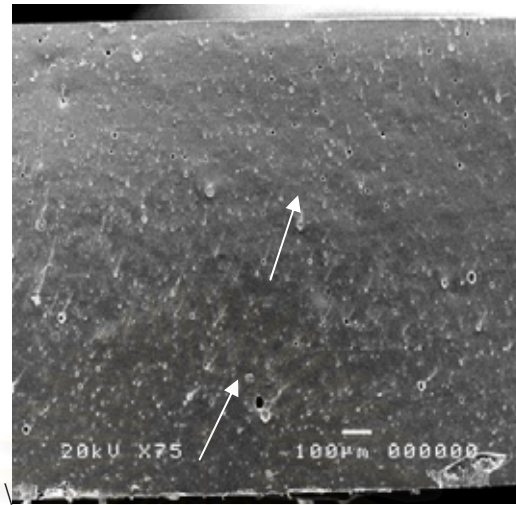
เมื่อนำตรงบริเวณรอยแตกแต่ละกลุ่มมาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดด้วยกำลังขยาย 75 เท่า พบว่า ในกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นคอรีเซอร์โคเนียทั้งชิ้น แสดงให้เห็นว่ามีการแตกบริเวณที่สัมผัสกับหัวกดและมีรอยแตกแบบทรงกรวย (cone crack) ร่วมกับการแตกที่เกิดจากรอยแตกแบบรัศมี (radial crack) ที่เริ่มเกิดจากด้านใต้ของชิ้นตัวอย่าง (ภาพที่ 18) และเมื่อส่องด้วยกำลังขยายที่เพิ่มขึ้นเป็น 200 เท่า พบรูปแบบการแตก (fracture pattern) ที่เรียกว่า แฮคเคิล (hackle) (ภาพที่ 19) ส่วนในกลุ่มที่ 5 ซึ่งเป็นวีเนียร์พอร์ซเลนทั้งชิ้น พบว่าการแผ่ขยายของรอยแตกเริ่มจากด้านใต้และแผ่ขยายไปด้านบนของชิ้นตัวอย่าง (ภาพที่ 20) และเมื่อส่องด้วยกำลังขยายที่เพิ่มขึ้นเป็น 350 เท่า พบรูปแบบการแตก (fracture pattern) ที่เรียกว่า เวคแฮคเคิล (wake hackle) (ภาพที่ 21)



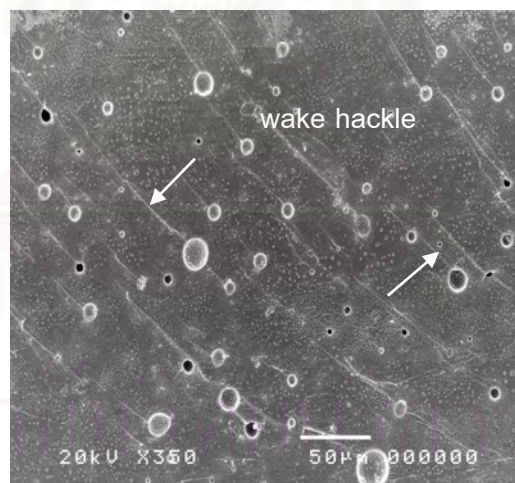
ภาพที่ 18 ลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นคอร์เซอร์โคเนียทั้งชิ้น เมื่อดูด้วยกำลังขยาย 75 เท่า แสดงให้เห็น การแตกบริเวณที่สัมผัสกับหัวกด(ด้านบน) รอยแตกแบบทรงกรวย (ลูกศรสีดำ) และ การแตกที่เกิดจากรอยแตกแบบรัศมีที่เริ่มเกิดจากด้านใต้ (ลูกศรสีขาว)



ภาพที่ 19 ลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นคอร์เซอร์โคเนียทั้งชิ้น เมื่อดูด้วย กำลังขยาย 200 เท่า แสดงให้เห็นแนวการแตกแบบแฮคเคิล (ลูกศรสีขาว)



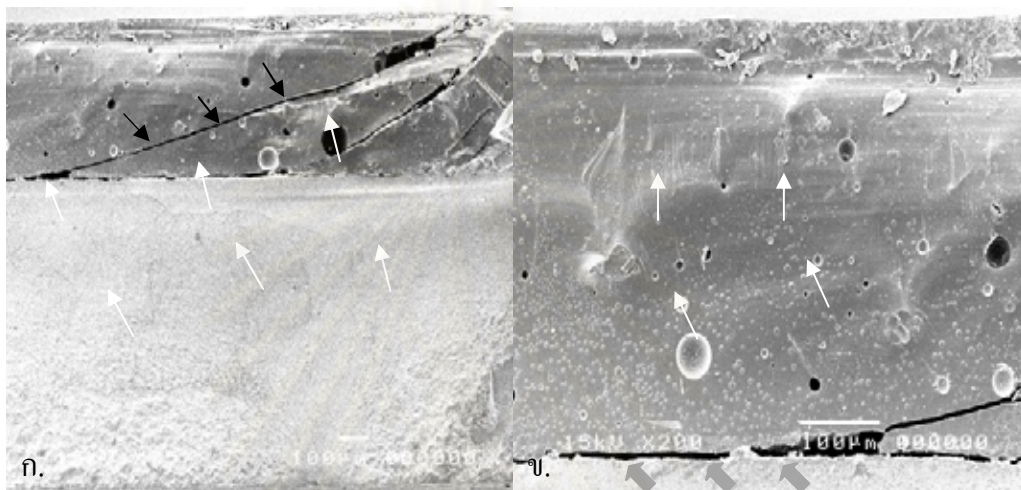
ภาพที่ 20 ลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 5 ซึ่งเป็นวีเนียร์พอร์ซเลนทั้งชิ้น เมื่อดูด้วยกำลังขยาย 75 เท่า แสดงให้เห็นแนวการแตกจากด้านใต้ไปสู่ด้านบน (ลูกศรสีขาว)



ภาพที่ 21 ลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 5 ซึ่งเป็นวีเนียร์พอร์ซเลนทั้งชิ้นเมื่อดูด้วยกำลังขยาย 350 เท่า แสดงให้เห็นแนวการแตกแบบเวคแฮคเคิล (ลูกศรสีขาว)

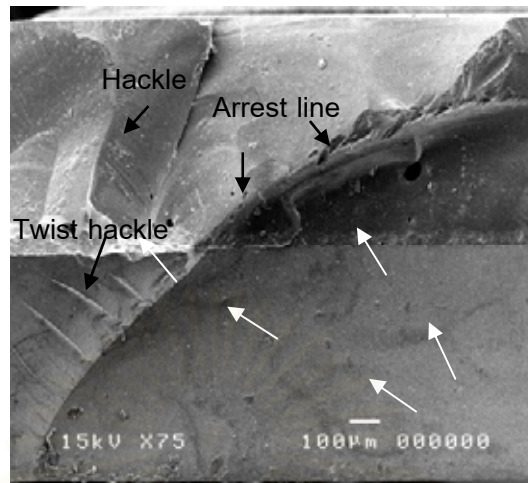
ส่วนในกลุ่มที่ 2-4 ซึ่งเป็นชิ้นตัวอย่างที่ประกอบด้วย 2 ชั้น พบการแตกแบบทรงกรวยในชั้นวีเนียร์ และแนวการแตกแบบรัศมีเริ่มจากด้านใต้ของชั้นคอร์ขยายไปด้านบน (ภาพที่ 22 และ 23) และพบรูปแบบการแตกที่เรียกว่า อาร์เรสต์ไลน์ (arrest line) แฮคเคิล (hackle) และ ทวิสท์

แฮคเคิล (twist hackle) (ภาพที่ 23) นอกจากนี้ยังพบการแตกแยกระหว่างชั้นคอร์กับชั้นวีเนียร์ (ภาพที่ 22) เมื่อนำมาดูด้วยกำลังขยายที่เพิ่มมากขึ้น จะแสดงให้เห็นชั้นของเพสต์ไคเลเนอร์ที่แยกออกมาจากชั้นคอร์ติดไปกับส่วนของวีเนียร์ (ภาพที่ 24)

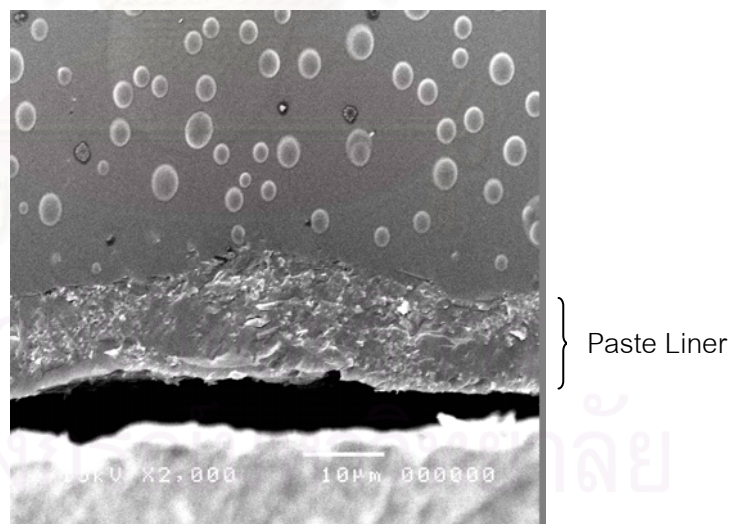


ภาพที่ 22 (ก-ข) การแผ่ขยายของรอยแตกในชั้นตัวอย่างกลุ่มที่ 2 บริเวณที่ชั้นวีเนียร์แยกกับชั้นคอร์เมื่อดูด้วยกำลังขยาย 75 เท่า และ 200 เท่า แสดงให้เห็นแนวการแตกจากด้านใต้ไปสู่ด้านบน (ลูกศรสีขาว) การแตกระหว่างชั้น (ลูกศรสีเทา) และรอยแตกแบบทรงกรวยในชั้นวีเนียร์ (ลูกศรดำ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 23 การแผ่ขยายของรอยแตกในชั้นตัวอย่างกลุ่มที่ 3 บริเวณที่ชั้นวีเนียร์ยังติดกับชั้นคอร์ เมื่อดูด้วยกำลังขยาย 75 เท่าแสดงให้เห็น แนวการแตกจากด้านใต้ไปสู่ด้านบน (ลูกศรสีขาว) และ รูปแบบการแตกแบบอาร์เรสต์ไลน์ แฮคเคิล และทวิสต์แฮคเคิล (ลูกศรสีดำ)



ภาพที่ 24 ชั้นตัวอย่างที่ประกอบด้วยชั้นคอร์และชั้นวีเนียร์ภายหลังจากการทดสอบ เมื่อดูด้วยกำลังขยาย 2000 เท่าแสดงให้เห็น ชั้นของเพสต์ไคเนอร์แยกออกจากชั้นคอร์ (ด้านล่าง) และติดไปกับชั้นวีเนียร์ (ด้านบน)

บทที่ 5

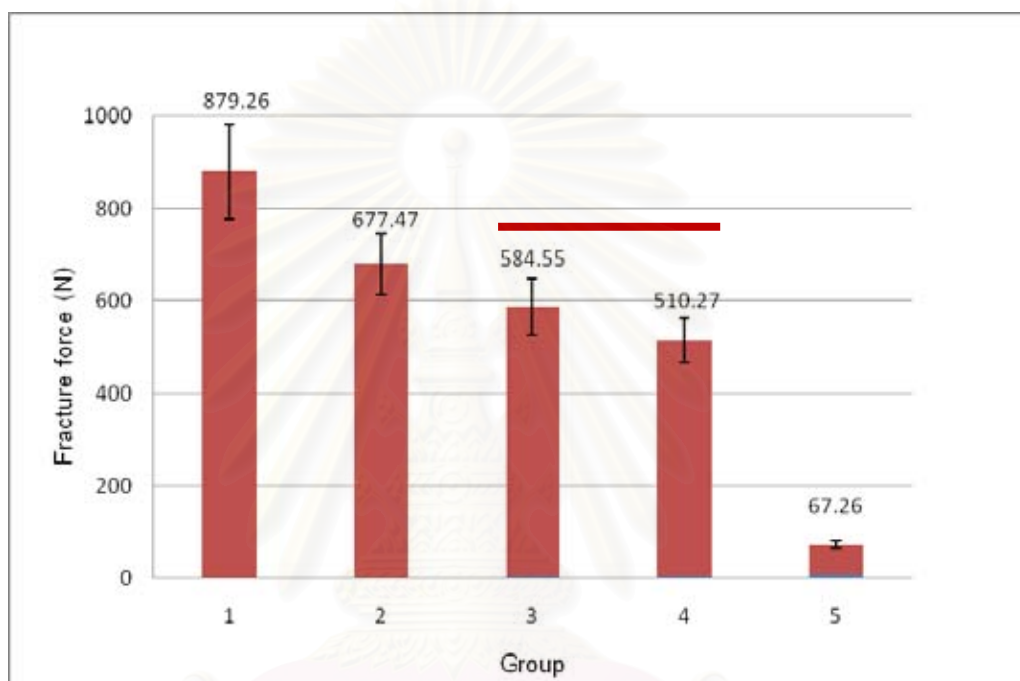
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่า เซอร์โคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP ในกลุ่ม 2 ที่มีอัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ 2:1 ให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนมากที่สุด (1009.49 ± 98.72 เมกะพาสคัล) รองลงมาคือ กลุ่มที่ 1 ที่มีอัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ 1:0 (921.48 ± 106.86 เมกะพาสคัล) กลุ่มที่ 3 ที่มีอัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ 1:1 (895.68 ± 92.96 เมกะพาสคัล) กลุ่มที่ 4 ที่มีอัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ 1:2 (768.08 ± 73.17 เมกะพาสคัล) และกลุ่มที่ 5 ที่มีอัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ 0:1 (70.49 ± 8.54 เมกะพาสคัล) ตามลำดับ พบว่าค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกน แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในกลุ่มตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 แสดงให้เห็นว่า ความหนาของคอร์เซอร์โคเนียต่อวีเนียร์ พอร์ซเลนในอัตราส่วนดังกล่าว ให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนได้ไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อความหนาของชั้นคอร์ลดลงลงเป็น 0.4 มิลลิเมตร ซึ่งมีชั้นวีเนียร์ที่หนาขึ้นเป็น 0.8 มิลลิเมตร ในกลุ่มที่ 4 จะทำให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เป็นที่น่าสังเกตว่าค่าแรงสูงสุดเฉลี่ยที่ทำให้เกิดการแตกหักของชิ้นตัวอย่างมีค่ามากขึ้นตามชั้นคอร์ที่หนาขึ้น ดังนั้นจึงให้ค่าสูงที่สุดในกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นคอร์เซอร์โคเนียทั้งชิ้นหนา 1.2 มิลลิเมตร (ภาพที่ 25) แสดงให้เห็นว่า เมื่อให้ชั้นคอร์เซอร์โคเนียอยู่ทางด้านล่าง ความหนาของชั้นคอร์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งก็คืออัตราส่วนของคอร์ต่อวีเนียร์ที่มากขึ้น ทำให้ชิ้นตัวอย่างมีความต้านทานต่อการแตกหักมากขึ้นตามไปด้วย เช่นเดียวกับการศึกษาของ White และคณะ (2005) และสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ก่อนหน้านี้ (Zeng, Oden และ Rowcliffe, 1998; Wakabayashi และ Anusavice, 2000; Lawn, Deng, Lloyd และคณะ, 2002) แต่เมื่อนำมาคำนวณหาค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนพบว่า ในกลุ่มที่ 2 กลับให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนมากที่สุด สอดคล้องกับรายงานผลการวิจัยของ Guazzato, Proos, Quachc และคณะ (2004) ที่ได้ผลการทดลองว่า ชิ้นตัวอย่างที่ประกอบด้วยชั้นวีเนียร์พอร์ซเลนด้านบนและคอร์เซอร์โคเนียอยู่ด้านล่าง ให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนมากกว่าชิ้นตัวอย่างที่เป็นคอร์เซอร์โคเนียทั้งชิ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เฉพาะในกลุ่มที่เกิดการแตกของชั้นวีเนียร์ แต่ในกลุ่มที่แตกหักทั้งชิ้นจะให้ค่ามากกว่าอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการคำนวณหาค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนในชิ้นตัวอย่างที่ประกอบด้วยวัสดุ 2 ชนิด ที่ประกอบเป็น 2 ชั้น มีปัจจัยของวัสดุต่างชนิดกัน ทำให้ค่ามอดุลัสสภาพยืดหยุ่นและค่าอัตราส่วนปริมาตรของต่างกัน รวมถึงการยึดติด

ระหว่างวัสดุ 2 ชั้น ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้สูตรที่ดัดแปลงมาจากสูตรของ Roark ที่ใช้หาค่าความแข็งแรงดัดขวาง (bending stress) ด้านใต้ของวัสดุที่ประกอบด้วย 2 ชั้น (Young, 1989) และถือว่าการหักแต่ละชั้นมีค่าอัตราส่วนบิดของเท่ากัน (Ohayama และคณะ, 1999)

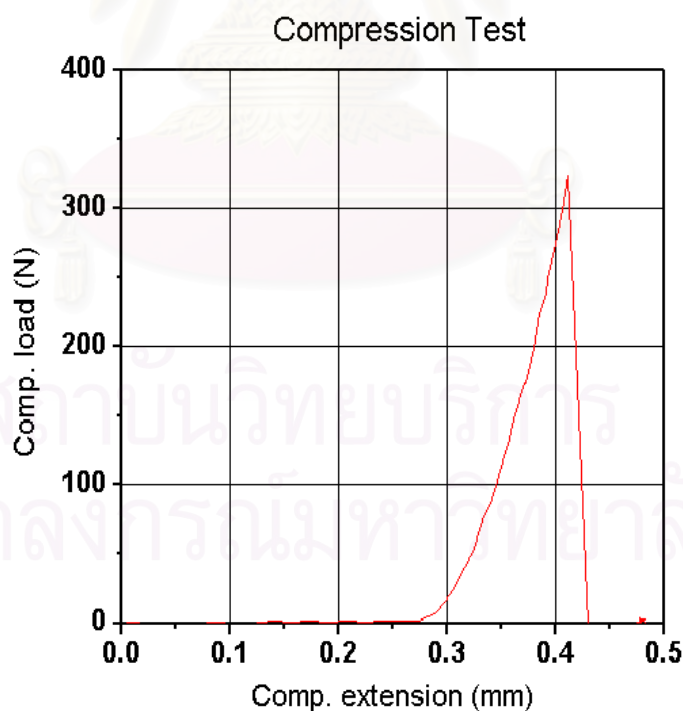


ภาพที่ 25 แผนภูมิแสดงค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักเฉลี่ยของเซรามิก 5 กลุ่ม

(หมายเหตุ — คือเส้นที่อยู่เหนือกลุ่มที่แสดงถึงค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ)

จากการศึกษาของ Hsueh, Luttrell และ Becher (2006) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการคำนวณค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนในชั้นตัวอย่างที่ประกอบด้วย 2 ชั้น โดยใช้สูตรซึ่งดัดแปลงมาจากสูตรที่ใช้กับชั้นตัวอย่างที่เป็นชั้นเดียว โดยแทนที่ตำแหน่งพื้นผิวกึ่งกลาง (neutral surface position) และความแข็งดัดขวาง (flexural rigidity) ของชั้นตัวอย่างที่เป็นชั้นเดียวด้วยค่าในชั้นตัวอย่างที่ประกอบด้วย 2 ชั้น เปรียบเทียบกับสูตรของ Roark พบว่า ให้ค่าที่สอดคล้องกันมาก แต่สูตรของ Roark ใช้คำนวณเฉพาะบริเวณด้านใต้และด้านบนของชั้นตัวอย่างเท่านั้น และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Guazzato, Proos, Quach และคณะ (2004) พบว่าให้ค่าที่สอดคล้องกัน

เมื่อพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับแรงที่เปลี่ยนไปของชิ้นตัวอย่าง ทั้ง 5 กลุ่ม พบว่ามีลักษณะเหมือนกัน (ภาพที่ 26) คือ มียอดแหลมของกราฟที่สัมพันธ์กับการแตกหักของชิ้นตัวอย่างเพียงจุดเดียวเท่านั้น จึงเป็นไปได้ว่าชิ้นตัวอย่างในการทดลองนี้เริ่มเกิดรอยร้าวในชั้นวีเนียร์ แผลขยายมาถึงชั้นคอร์แล้วจึงแผ่ขยายไปตามรอยต่อระหว่างชั้น โดยที่ชั้นวีเนียร์ยังยึดติดอยู่กับส่วนคอร์ และมีการเกิดรอยร้าวอีกที่บริเวณด้านใต้ของคอร์ผ่านไปสู่ชั้นวีเนียร์นำไปสู่การแตกหักทั้งชิ้น และเกิดการแตกล่อนของชั้นวีเนียร์ออกมา ซึ่งการเกิดรอยร้าวของชั้นวีเนียร์ในระยะแรกนี้ยังไม่สามารถตรวจวัดได้ สอดคล้องกับการวิเคราะห์ของ Wakabayashi และ Anusavice (2000) แต่ต่างกับผลการวิจัยของ Guazzato, Proos, Quach และคณะ (2004) ซึ่งได้ทำการทดสอบกับชิ้นตัวอย่างที่ประกอบด้วยชั้นวีเนียร์อยู่ด้านบนและชั้นคอร์เซอริโคเนียร์อยู่ด้านล่าง พบว่ามียอดแหลมของกราฟ 2 จุดเพิ่มขึ้นมาก่อนที่จะถึงยอดแหลมสูงสุดซึ่งสัมพันธ์กับการแตกหักของชั้นพอร์ซเลนก่อนที่จะเกิดการแตกหักของชั้นคอร์ในที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของ Studart, Filser, Kocher, Luthy และคณะ (2007)



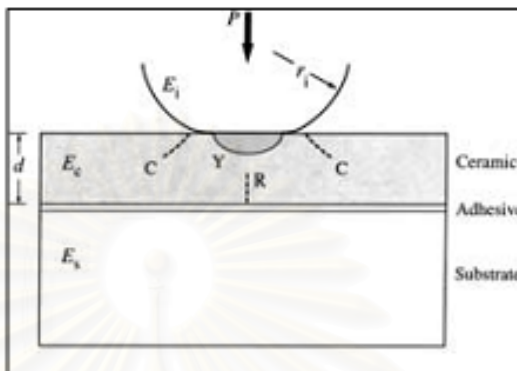
ภาพที่ 26 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับแรงกดที่ชิ้นตัวอย่างได้รับจนเกิดการแตกหัก โดยมียอดแหลมของกราฟที่สัมพันธ์กับการแตกหักของชิ้นตัวอย่างเพียงจุดเดียว ซึ่งพบลักษณะกราฟแบบเดียวกันนี้ในทุกกลุ่มตัวอย่าง

เมื่อพิจารณาลักษณะการแตกของชั้นตัวอย่างที่มีชั้นเดียวพบว่า ชั้นตัวอย่างที่เป็นคอร์เซอร์โคเนียส่วนใหญ่มีการแตกเป็นส่วน ๆ (4-5 ชั้น) นับจำนวนได้มากกว่าชั้นตัวอย่างที่เป็นวีเนียร์ทั้งชั้น (2-3 ชั้น) ดังภาพที่ 15 เนื่องมาจากคอร์เซอร์โคเนียเมื่อได้รับแรงจะมีการกระจายแรงไปทั่วบริเวณชั้นตัวอย่างได้ดีกว่า เพราะมีความแข็งแรงมากกว่า เมื่อดูจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าคอร์เซอร์โคเนียมีลักษณะแน่นทึบไม่มีรูพรุน ต่างจากวีเนียร์พอร์ซเลนซึ่งมีรูพรุนอยู่ทั่วไป ทำให้เกิดรอยร้าวและแตกได้ง่ายกว่า และจุดเริ่มต้นการแตกหักเกิดที่บริเวณด้านใต้ของชั้นตัวอย่างทั้งในกลุ่มที่เป็นคอร์เซอร์โคเนียทั้งชั้นและวีเนียร์พอร์ซเลนทั้งชั้น ดังภาพที่ 18 และภาพที่ 20 ตามลำดับ

ชั้นตัวอย่างที่ประกอบด้วยชั้นคอร์และชั้นวีเนียร์และมีชั้นของเฟสที่ไลเนอร์อยู่ตรงกลาง พบว่ามีการแตกระหว่างชั้น โดยพบว่าชั้นของเฟสที่ไลเนอร์จะติดไปกับส่วนของชั้นวีเนียร์ที่แตก ล่อนออกมาจากชั้นคอร์เซอร์โคเนียเป็นส่วนใหญ่ (ภาพที่ 24) องค์ประกอบของของไลเนอร์อาจมีผลทำให้ชั้นไลเนอร์ติดไปกับชั้นวีเนียร์ เนื่องจากไลเนอร์เป็นเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลนที่มีซีลีเนียมเป็นองค์ประกอบ (selenium-based feldspartic porcelain) (Aboushelib, De Jager, Kleverlaan และคณะ, 2005)

ลักษณะการแตกชั้นพื้นฐานของชั้นเซรามิก ที่สัมพันธ์กับแรงวิกฤติจากการสัมผัส (critical contact load) แบ่งเป็น 3 ชนิด (Rhee และคณะ, 2001a, 2001b; Lawn, Deng, Lloyd และคณะ 2002) ได้แก่ รอยแตกแบบทรงกรวย (cone cracks, C), การแตกแบบควอไซ-พลาสติกิตี้ (quasi-plasticity, Y) และการแตกแบบรัศมี (radial crack, R) (ภาพที่ 27) และจุดเริ่มต้นรอยแตกมาจาก 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ส่วนต่อระหว่างชั้นคอร์และชั้นวีเนียร์ พื้นผิวของชั้นวีเนียร์และพื้นผิวของชั้นคอร์ (Kelly และ คณะ, 1995) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการแตกที่เห็นได้จากทางกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในการทดลองนี้ โดยพบว่าการแตกหักทั้งชั้นมีจุดเริ่มต้นการแตกอยู่ที่ด้านใต้ชั้นคอร์และการแตกล่อนของชั้นวีเนียร์เกิดจากการแตกแบบทรงกรวย ซึ่งแผ่ขยายไปตามส่วนต่อระหว่างชั้นคอร์และชั้นวีเนียร์ White และคณะ (2005) กล่าวว่า ในทางคลินิกการเบี่ยงเบนของรอยแตก (crack deflection) ทำให้พบชั้นวีเนียร์พอร์ซเลนแตกมากกว่าที่จะเกิดการแตกหักทั้งชั้น เนื่องจากเซอร์โคเนียต้านทานการเกิดรอยร้าวได้ดีกว่า หรือการยึดระหว่างคอร์ เซอร์โคเนียกับวีเนียร์พอร์ซเลนทำได้ไม่ดี สอดคล้องกับการศึกษาของ Studart, Filser, Kocher, Luthy และคณะ (2007a) ที่กล่าวว่า รอยแตกที่แผ่ขยายมาจากชั้นวีเนียร์จะเกิดการเบี่ยงเบนที่ส่วนต่อระหว่างชั้นคอร์และชั้นวีเนียร์ เมื่อใช้วัสดุคอร์ที่มีความเหนียว เช่น อินซีแรมเซอร์โคเนีย และ เซอร์โคเนีย

เซรามิกชนิด Y-TZP นอกจากนี้ Kim และคณะ (2007) ยังกล่าวว่า รอยแตกไม่สามารถแผ่ขยายจากเซรามิกที่มีมอดูลัสและความเหนียวต่ำไปสู่เซรามิกที่มีค่าดังกล่าวที่มากกว่าได้



ภาพที่ 27 ลักษณะการแตกชั้นพื้นฐานของชั้นเซรามิก (P คือ แรง, r_i คือ รัศมีของหัวกดทรงกลม, E_i คือ มอดูลัสของหัวกด, E_c คือ มอดูลัสของเซรามิก, E_s คือ มอดูลัสของฐาน, d คือ ความหนาชั้นเซรามิก, C คือ รอยแตกแบบโคน, Y คือ แตกแบบควอไซ-พลาสติกิตี้, R คือ การแตกแบบรัศมี) (Lawn, Deng, Lloyd และคณะ 2002)

เมื่อพิจารณาลักษณะการแตกในกลุ่มที่ 2 และ 3 ซึ่งมีความหนาของชั้นคอร์มากกว่ากลุ่มที่ 4 พบการแตกแบบที่ 1 ตามที่จำแนกในการทดลองนี้เป็นส่วนใหญ่ คือมีการแตกแบบรัศมีและมีการแตกลอนของชั้นวีเนียร์บริเวณส่วนกลางออกมา ซึ่งการแผ่ขยายของรอยแตกนั้นได้อธิบายไว้ในตอนต้นของการอภิปรายผล ส่วนวีเนียร์ที่ขอบนอกของชั้นตัวอย่างจะไม่เห็นการแตกลอนออกมา เนื่องจากความเค้นที่เกิดจากการสัมผัส (contact stress) จะมีอิทธิพลมากกับบริเวณที่ใกล้กับหัวกด (Hsueh และคณะ, 2006) จึงเห็นการแตกลอนของชั้นวีเนียร์ในส่วนกลาง และสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ที่รายงานมาก่อนหน้านี้ (Hsueh และคณะ, 2006; Guazzatto, Proos, Quach และคณะ, 2004) ซึ่งพบว่าเกิดความเค้นแรงสูงสุดในบริเวณชั้นวีเนียร์ที่ใกล้กับหัวกดและด้านบนของชั้นคอร์บริเวณใกล้กับหัวกด เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการแตกแบบที่ 1 พบว่าความกว้างของชั้นวีเนียร์รอบนอกที่เชื่อมติดกับชั้นคอร์ในกลุ่มที่ 2 จะกว้างกว่าในกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 (ภาพที่ 28) เป็นไปได้ว่า ชั้นตัวอย่างที่มีชั้นคอร์ที่บางกว่า จะมีความต้านทานต่อความเค้นแรงดิ่งน้อยกว่า ทำให้เกิดการโค้งงอ (deflection) ก่อนที่จะเกิดการแตกทั้งชั้นได้มากกว่า จึงเกิดการแตกลอนของชั้นวีเนียร์เป็นบริเวณกว้างออกไปมากกว่า เมื่อเทียบกับชั้นตัวอย่างที่มีชั้นคอร์หนากว่า Kim และคณะ (2007) แนะนำให้ใช้คอร์เซรามิกที่มีความแข็งเพื่อป้องกันการโค้งงอของวีเนียร์พอร์ซเลน



ภาพที่ 28 การเปรียบเทียบความกว้างของชั้นวีเนียร์บริเวณขอบที่เหลือติดกับชั้นคอร์
 ภายหลังจากการแตกหัก ในชั้นตัวอย่างกลุ่มที่ 2 (ก) ที่มีชั้นคอร์หนากว่า
 ซึ่งเหลือกว้างกว่ากลุ่มที่ 3 (ข) และกลุ่มที่ 4 (ค) ที่มีชั้นคอร์บางกว่า

ส่วนในกลุ่มที่ 3 พบลักษณะการแตกแบบที่ 1 ที่มีเฉพาะรอยร้าวรอบจุดศูนย์กลางบริเวณขอบนอกที่ชั้นวีเนียร์เพียง 3 ชั้น (ภาพที่ 29 ก) และมีการแตกลอนของชั้นวีเนียร์ออกมาเพียงเล็กน้อยตามรัศมี ที่เป็นเช่นนี้ อาจเนื่องมาจากมีการแตกหักเกิดขึ้นในชั้นคอร์ซึ่งเป็นการแตกที่ทำให้เกิดการแตกหักทั้งชั้น เกิดก่อนการแตกลอนของชั้นวีเนียร์ออกมา ทำให้เห็นเพียงรอยร้าวที่เกิดในชั้นวีเนียร์ และรอยร้าวนี้เป็นแนวคล้ายกับวีเนียร์ที่เกิดการแตกลอนในลักษณะการแตกแบบที่ 1 ที่มีการแตกลอนของวีเนียร์ทั้งหมดหรือบางส่วน และเหลือแต่บริเวณขอบนอกที่ติดกับชั้นคอร์ (ภาพที่ 29 ข) และเมื่อนำมาดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดก็พบการแตกระหว่างชั้นคอร์และชั้นวีเนียร์เช่นกัน จึงเป็นไปได้ว่าชั้นคอร์ในชั้นตัวอย่างดังกล่าวมีความแข็งแรงต่ำ จึงเกิดการแตกหักได้ง่าย อาจเนื่องมาจากมีความบกพร่องในชั้นคอร์ เพราะจากค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนในชั้นตัวอย่างที่มีการแตกแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับต่ำ (801.74 เมกะพาสคัล) เมื่อเทียบกับการแตกแบบที่ 1 ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับที่สูงกว่า (935.94 เมกะพาสคัล) เมื่อเทียบในกลุ่มเดียวกัน



ภาพที่ 29 เปรียบเทียบลักษณะการแตกในแบบที่ 1 ในกลุ่มตัวอย่างที่ 3 แสดงให้เห็น
 (ก) ชั้นตัวอย่างที่มีรอยร้าวบนชั้นวีเนียร์ พบว่าแนวของรอยร้าวเป็นแนวเดียวกับ
 (ข) ชั้นตัวอย่างที่มีการแตกลอนของชั้นวีเนียร์

เมื่อพิจารณาชิ้นตัวอย่างในกลุ่มที่ 4 ซึ่งมีชั้นคอร์บางเพียง 0.4 มิลลิเมตร เมื่อได้รับความเค้นแรงดึง ทำให้ชิ้นตัวอย่างมีโอกาสโค้งงอได้มากขึ้น ส่งผลให้มีการเคลื่อนขยับขณะให้แรง ทำให้แรงไม่ลงตั้งฉากและไม่ลงตรงจุดกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่าง จึงพบการแตกแบบที่ 2 เพิ่มขึ้นมา เป็นการแตกหักของชั้นคอร์บริเวณขอบ และบริเวณกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่างไม่พบการแตกล่อนของชั้นวีเนียร์ (ภาพที่ 17) และภายหลังจากการแตกหัก พบชิ้นตัวอย่างในกลุ่มนี้จะเอียงไปทางข้างที่เกิดการแตกหักของชั้นคอร์ ต่างจากการแตกแบบที่ 1 ซึ่งชิ้นตัวอย่างจะกระเด็นออกจากลูกบอลรองรับในแป้นทดสอบ ดังนั้นจากงานวิจัยครั้งนี้ จึงแนะนำให้ใช้คอร์เซอร์โคเนียที่หนาพอที่จะต้านทานต่อการโค้งงอในบริเวณที่ต้องรับแรงมาก คือด้านสบฟันและส่วนโงงของสะพานฟันในการบูรณะด้วยครอบฟันและสะพานฟัน

อย่างไรก็ตาม การแตกหักของวัสดุอลเซรามิกสามารถเกิดได้เมื่อมีความเค้นต่ำ ๆ เช่นกัน เมื่อพิจารณาลักษณะการแตกหักพบว่า ชิ้นตัวอย่างที่ประกอบด้วยชั้นคอร์เซอร์โคเนียและวีเนียร์พอร์ซเลน ไม่เกิดการแตกระหว่างชั้นภายหลังจากทดสอบการล้ม แต่พบเพียงแค่รอยแตกแบบทรงกรวยมาหยุดอยู่ที่ชั้นคอร์ เนื่องจากรอยแตกไม่สามารถแผ่ขยายจากเซรามิกที่มีมอดูลัสและความเหนียวต่ำไปสู่เซรามิกที่มีค่าดังกล่าวมากกว่าได้ และไม่แผ่ขยายไปตามรอยต่อระหว่างชั้น (Kim และคณะ, 2007) และจากรายงานการวิจัยของ Studart, Filzer, Kocher, Luthy และคณะ (2007) พบว่าจุดเริ่มของรอยแตกจะเกิดไม่แน่นอนเหมือนกับทำให้แรงอย่างรวดเร็ว และแสดงให้เห็นว่าการแผ่ขยายของรอยแตกแบบซับคริติคัล (subcritical crack) ภายใต้อุณหภูมิที่จำลองให้เหมือนในปาก ทำให้เกิดการแตกหักของชั้นวีเนียร์พอร์ซเลนก่อนเกิดการแตกหักของชั้นคอร์ การเปียงเบนของรอยแตกที่บริเวณรอยต่อทำให้วัสดุบูรณะเซอร์โคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP ไม่เกิดการแตกหักทั้งหมด (complete failure) สอดคล้องกับการศึกษาของ Tsalouchou, Cattell, Knowles และคณะ (2008) พบว่าการแตกหักของครอบฟันที่ทำจากคอร์เซอร์โคเนียที่พอกทับด้วยวีเนียร์พอร์ซเลนจำกัดอยู่ในชั้นวีเนียร์เป็นส่วนใหญ่ โดยรอยแตกเริ่มตรงบริเวณหัวกดแล้วแผ่ขยายออกไป

มีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อลักษณะการแตกหัก (fracture mode) ของวัสดุเซรามิกที่ประกอบด้วยชั้นคอร์และชั้นวีเนียร์พอร์ซเลน ซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงของวัสดุทั้งชิ้น ได้แก่ วิธีการทดลองและอัตราส่วนความหนาคอร์ต่อวีเนียร์ (Zeng, และคณะ, 1998; Thompson, 2000; ปวริศา, 2004; White และคณะ, 2005) ความเค้นที่เหลือค้างจากกระบวนการขึ้นรูป (Taskonak, Mecholsky และ Anusavice, 2005) ความแข็งแรงยึดระหว่างชั้นคอร์กับชั้นวีเนียร์ (Aboushelib, De Jager, Kleverlaan และคณะ, 2005) ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน (De Jager, Pallav

และ Feilzer, 2005; Isgrò และคณะ, 2005) ลักษณะการเตรียมพื้นเพื่อรองรับวัสดุบูรณะ (Friedlander และคณะ, 1990; De Jager และคณะ, 2005) การเกิดทรานซฟอร์เมชันของผลึก เซอร์โคเนียที่ส่วนเชื่อมระหว่างคอร์กับวีเนียร์ (core-veneer interface) เนื่องจากอุณหภูมิหรือแรงเค้น (stress loading) ในกรณีที่ใช้คอร์ซึ่งทำจากวัสดุเซรามิกชนิดเซอร์โคเนีย (Papanagiotou และคณะ, 2006) การสร้างชิ้นงานที่อาจมีรอยร้าวเกิดขึ้นตามธรรมชาติอยู่แล้ว ความหนาของชั้นคอร์และวีเนียร์ สารยึดติด (luting agent) ทิศทาง ตำแหน่ง และชนิดของแรงที่ให้ และสภาพแวดล้อมขณะทดสอบ (Yoshinari และ Derand, 1994) องค์ประกอบของวัสดุแต่ละชั้น ค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่น (Studart, Filser, Kocher, Luthy และคณะ, 2007a) และค่าความสามารถในการดูดซับพลังงานก่อนการแตกหักของวัสดุแต่ละชั้น

พฤติกรรมการแผ่ขยายของรอยแตกสัมพันธ์กับค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นและค่าความสามารถในการดูดซับพลังงานก่อนการแตกหักที่ไม่เข้ากันของชั้นคอร์และชั้นวีเนียร์ (Guazzato, Proos และ Sara, 2004) การแตกระหว่างชั้นสัมพันธ์กับการเกิดความเค้นที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นของชั้นคอร์และชั้นวีเนียร์ที่ต่างกันมาก (Guazzato, Proos, Quach และคณะ, 2004) จากงานวิจัยนี้ ค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นของคอร์เซอร์โคเนียต่างกับวีเนียร์พอร์ซเลนประมาณ 3.5 เท่า ทำให้ส่งผ่านและกระจายแรงไปในเซรามิกทั้งชิ้นทำได้ไม่ดี สอดคล้องกับการศึกษาของปวริศา (2004) ซึ่งพบว่าอินซีเรมมีค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นที่ของคอร์และวีเนียร์ต่างกันมาก ทำให้พบการแตกแยกชั้นของอินซีเรมเป็นส่วนใหญ่ แต่ไม่พบการแตกลักษณะนี้ในไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ที่มีค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นของคอร์และวีเนียร์ใกล้เคียงกัน และเป็นไปได้ว่าชั้นเพสท์ไกลเนอรัมมีค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นและส่วนประกอบที่ใกล้เคียงกับชั้นวีเนียร์พอร์ซเลน ทำให้เกิดการแตกก่อนติดออกมากับชั้นวีเนียร์เป็นส่วนใหญ่

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนที่ต่างกันของวัสดุแต่ละชั้นมีผลต่อการยึดติดของวัสดุเช่นกัน โดยคอร์เซอร์โคเนียมีค่าเท่ากับ 10.5 mm/m.k แต่วีเนียร์พอร์ซเลนเซอร์คอนซีเรมคิสมีค่าเท่ากับ 9.2 mm/m.k ที่อุณหภูมิ 25-500 องศาเซลเซียส ทำให้มีผลต่อความเข้ากันได้ของวัสดุทั้ง 2 ชนิด De Jager และคณะ (2005) สรุปว่า การที่จะเพิ่มความแข็งแรงให้ครอบฟันเซรามิกนั้น ชั้นวีเนียร์พอร์ซเลนใกล้เคียงกับบริเวณที่ติดกับชั้นคอร์เป็นตำแหน่งที่สำคัญ การที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนที่ไม่เข้ากัน ทำให้เพิ่มความเค้นแรงดึงในชั้นวีเนียร์ จึงแนะนำให้ค่านี้ต่างกันน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

องค์ประกอบเซรามิกที่ใช้งานวิจัยนี้มีองค์ประกอบหลักที่ต่างกันระหว่างชั้นคอร์และชั้นวีเนียร์ กล่าวคือชั้นคอร์ประกอบด้วยเซอร์โคเนียแต่ชั้นวีเนียร์องค์ประกอบหลักคือเฟลด์สปาทิก

พอร์ซเลน ทำให้เกิดความไม่เข้ากันระหว่างวัสดุ 2 ชั้น เมื่อพิจารณาถึงไลเนอร์ที่ใช้ จากการศึกษา ก่อนหน้านี้พบว่า การใช้ไลเนอร์ที่เป็นผงผสมกับลิกวิดไม่ได้ทำให้ความแข็งแรงถึงระดับจุลภาค ระหว่างคอร์เซอร์โคเนียและวีเนียร์พอร์ซเลนเซอร์คอนซีแรมเอสต่ำลง แต่มีผลทำให้เพิ่มโอกาสการ แตกกระหว่างชั้นมากขึ้น (Aboushelib, De Jager, Kleverlaan และคณะ, 2005) จากนั้นได้มีการ ศึกษาต่อถึงการใส่และไม่ใส่ไลเนอร์ในคอร์เซอร์โคเนียหือเซอร์คอนเบสท์กับวีเนียร์หือต่าง ๆ กัน พบว่ามีผลต่อค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคและมีลักษณะการแตกต่างกันออกไปแล้วแต่ ชนิดและหือ โดยพบว่าการใช้ไลเนอร์กับวีเนียร์เซรามิกชนิดขึ้นรูปด้วยการกดอัด (pressable veneer ceramic) หือเซอร์คอนซีแรมเอกซเพรส ทำให้ความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคลดลงอย่างมี นัยสำคัญ และเพิ่มโอกาสการแตกแยกระหว่างชั้นมากขึ้น และแนะนำให้ใช้ไลเนอร์กับวีเนียร์ชนิด ขึ้นรูปเป็นชั้น (layered veneer) กับบางหือเพราะช่วยเพิ่มแรงยึดระหว่างชั้นคอร์กับวีเนียร์และ ลดการแตกแยกระหว่างชั้น (Aboushelib, Kleverlaan และ Feilzer, 2006) สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ ไลเนอร์ก่อนการเตรียมชั้นวีเนียร์ด้วยเช่นกัน แต่ไลเนอร์ที่ใช้เป็นชนิดเพสต์ ซึ่งชนิดของไลเนอร์ อาจทำให้ค่าแรงยึดระหว่างชั้นคอร์และวีเนียร์หือค่าความแข็งแรงของวัสดุทั้งชั้นต่างกันได้ เนื่องจากการทำให้เปียก (wettability) ของไลเนอร์แต่ละชนิดกับคอร์เซอร์โคเนียอาจมีความ ต่างกัน ซึ่งต้องทำการศึกษาต่อไป

จากการศึกษาที่ผ่านมาเห็นได้ว่า ถึงแม้การใช้คอร์เซอร์โคเนียจะเป็นที่ยอมรับว่าสามารถ ต้านทานต่อการแตกหักได้สูง แต่การแตกหักที่ชั้นวีเนียร์จากการได้รับแรงต่ำ ๆ และการแตก ระหว่างชั้นของคอร์และวีเนียร์ก็สามารถเกิดขึ้นและเป็นปัญหาเช่นกัน ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญ กับกระบวนการขึ้นรูปชั้นวีเนียร์พอร์ซเลนไปพร้อม ๆ กับการปรับปรุงแรงยึดระหว่างชั้นคอร์กับชั้น วีเนียร์ให้ดีขึ้น เพื่อความสำเร็จในระยะยาวในการบูรณะฟันด้วยวัสดุเซอร์โคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP ซึ่งกำลังได้รับความสนใจในปัจจุบัน

อภิปรายวัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. วิธีการทดลองหาค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกน

การวิจัยในครั้งนี้ใช้ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนเป็นตัวเปรียบเทียบความแข็งแรงของ เซรามิกในแต่ละกลุ่ม ซึ่งการทดสอบแบบนี้เหมาะกับวัสดุที่มีความเปราะและมีข้อดีคือ มีความไว ต่ำต่อรอยร้าวที่เกิดขึ้นตามขอบ (Ban และ Anusavice, 1990) และรุกรุนจากการเตรียมชั้น ตัวอย่าง เนื่องจากไม่ได้เป็นแรงที่กระทำโดยตรง ทำให้ค่าความแข็งแรงที่ได้จากการทดสอบแบบนี้

มีความแปรปรวนต่ำ ต่างจากการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางแบบ 3 จุดและ 4 จุด ซึ่งจะมีความไวต่อรอยร้าวที่ตั้งฉากกับแนวแกนของชิ้นตัวอย่าง (Wen และคณะ, 1999) ได้มีการพัฒนาวิธีการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกนขึ้นมามากมายวิธีด้วยกัน ได้แก่ วิธี Ring-on-ring, Piston-on-ring, Ball-on-ring, Ring-on-ball, Piston-on-three-ball และ Ring-on-spring (Ban และ Anusavice, 1990) สำหรับการวิจัยนี้เลือกใช้วิธี Piston-on-three-ball ในการทดสอบหาค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกน ตามมาตรฐาน ISO 6872 (1995) ซึ่งมีข้อดีคือ ถ้าชิ้นตัวอย่างมีความโค้งก็ยังสามารถสัมผัสกับลูกบอลเหล็กทรงรับทั้ง 3 ลูกได้ และสามารถวิเคราะห์ความเค้น (stress analysis) ตามทฤษฎีโดยใช้สูตรของ Kirstein และ Woolley ได้ แต่ค่าความเค้นสูงสุดที่ได้จะน้อยกว่าความเป็นจริงประมาณร้อยละ 10 เนื่องจากชิ้นตัวอย่างเมื่อได้รับแรงจะเกิดการหักเหไป ทำให้แรงที่ลงมาตรงกลางในลักษณะที่เท่า ๆ กัน (uniform concentric loading) ในตอนแรกเปลี่ยนไปเป็นแรงลงตรงกลางในลักษณะเป็นวงแหวน (concentric ring loading) (Shetty และคณะ, 1980)

เมื่อนำค่าที่ได้จากสูตรที่ใช้ในการทดสอบ Piston-on-ring และการทดสอบ Ring-on-ring มาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า วิธีทดสอบ Ring-on-ring จะให้ผลจากการคำนวณที่เที่ยงตรงและสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์มากกว่า ทั้งในชิ้นตัวอย่างที่ประกอบด้วย 1 ชั้นและ 2 ชั้น เนื่องจากห้วงคดเป็นวงแหวนอยู่ห่างจากบริเวณกึ่งกลางชิ้นตัวอย่าง ทำให้ผลของความเค้นของบริเวณที่ห้วงคดสัมผัส (contact stress) ต่อบริเวณกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่างมีน้อย แต่ในวิธีทดสอบ Piston-on-ring บริเวณที่สัมผัสกับห้วงคดซึ่งอยู่บริเวณกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่างจะเกิดความเค้น มีผลต่อค่าที่ได้ในบริเวณที่ใกล้กับห้วงคดจะต่างออกไปจากผลไฟไนต์เอลิเมนต์เล็กน้อย ซึ่งก็คือความเค้นของบริเวณที่ห้วงคดสัมผัสจะมีผลต่อชิ้นตัวอย่างในบริเวณที่สัมผัสกับห้วงคดเท่านั้นซึ่งเป็นความเค้นแรงอัด แต่จะมีผลกับด้านที่รับแรงดึงเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นด้านที่ใช้หาค่าความแข็งแรงดัดขวางจากแรงดึงสูงสุด และเป็นตัวกำหนดความแข็งแรงของวัสดุ ดังนั้นจึงไม่ต้องกังวลในการเลือกใช้วิธีทดสอบ Piston-on-ring (Hsueh และคณะ, 2006)

2. ปัจจัยที่อาจมีผลต่อค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนระหว่างการเตรียมชิ้นตัวอย่าง

การเตรียมชิ้นคอร์มีความจำเป็นต้องใช้กระดาษทรายขัดถึงเบอร์ 1000 เพื่อให้ได้ความหนาที่ต้องการ ดังนั้นพื้นผิวที่ได้จะเรียกว่าการเตรียมชิ้นคอร์สำหรับทำครอบฟันหรือสะพานฟันในคลินิก ซึ่งอาจมีผลต่อการยึดติดของวีเนียร์พอร์ซเลนที่ต่างไปจากสภาพความเป็นจริง ถึงแม้จะมี

การพ่นทรายเพื่อปรับสภาพพื้นผิวแล้วก็ตาม

นอกจากนี้ ได้มีการใช้น้ำยาตรวจสอบรอยร้าวมาใช้ตรวจสอบรอยร้าวที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการเตรียมชั้นคอร์ เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีรอยร้าวบนพื้นผิวเกิดขึ้นอยู่ก่อนที่จะนำไปพอกชั้นวีเนียร์และทำการทดสอบต่อไป ซึ่งจะส่งผลต่อค่าความแข็งแรงที่ได้ แต่จากการตรวจสอบไม่พบรอยร้าวที่เกิดจากการเตรียมชั้นคอร์ในทุกชิ้นตัวอย่าง แต่ก็ยังไม่สามารถที่จะบอกได้ว่ามีรอยร้าวเกิดขึ้นภายในชั้นคอร์หรือไม่

การใช้เพสท์ไลเนอร์ของบริษัทผู้ผลิตมีวัตถุประสงค์เพื่อปิดบังสีขาของชั้นคอร์เซอริโคเนีย ที่จะสะท้อนออกมาให้เห็นก่อนที่จะทำการขึ้นรูปชั้นวีเนียร์ ในงานวิจัยนี้ผู้เขียนได้เลือกที่จะใช้เพสท์ไลเนอร์ทาบนชั้นคอร์ก่อนที่จะขึ้นรูปชั้นวีเนียร์ เพราะจากรายงานการวิจัยของ Aboushelib, De Jager, Kleverlaan และคณะ (2005) พบว่า ถ้าไม่ได้ใช้ไลเนอร์ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค (microtensile bond strength) ระหว่างคอร์กับวีเนียร์ของเซอริคอนจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับการใช้ไลเนอร์ร่วมด้วย แต่การใช้พู่กันทาไลเนอร์ที่มีลักษณะเป็นเพสท์ (paste) จะมีความยากในการควบคุมความหนาและความสม่ำเสมอของวัสดุ

กระบวนการขึ้นรูปชั้นวีเนียร์พอร์ซเลนบนคอร์เซอริโคเนียแล้วนำไปเผาหลายครั้ง อาจเกิดการปลดปล่อยความเค้นที่ตกค้างอยู่และเกิดทรานซฟอร์เมชันของเฟสเตตระโกนัลได้ (Sundh, Molin และ Sjogren, 2005) ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงและอาจมีผลต่อแรงยึดระหว่างคอร์กับวีเนียร์ด้วย และเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะเห็นช่องว่างเล็ก ๆ (microgap) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนรูป (deformation) และความเค้นจากอุณหภูมิที่เย็นลง (cooling stress) ในระหว่างกระบวนการ (Aboushelib, Kleverlaan และ Feilzer, 2006) ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงทำการขึ้นรูปชั้นวีเนียร์และเข้าเตาเผาเพียงครั้งเดียวเพื่อลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้น และเป็นการควบคุมความแปรปรวนที่อาจเกิดขึ้นจากการขึ้นรูปแต่ละครั้ง โดยการสร้างแม่แบบขึ้นรูปที่คำนวณให้ได้ขนาดที่พอเหมาะเพื่อชดเชยกับการหดตัวของวีเนียร์ ซึ่งจะได้ชิ้นตัวอย่างที่ใหญ่กว่าขนาดที่ต้องการเล็กน้อย แล้วจึงนำไปขัดแต่งเพื่อให้ได้ขนาดตามต้องการ

สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า

1. อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของวัสดุเซอริโคเนียเซรามิกชนิด Y-TZP ยี่ห้อเซอริคอน กล่าวคือเมื่อความหนารวมเป็น 1.2 มิลลิเมตร อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ 1:0 2:1 และ 1:1 ให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนไม่แตกต่างกันอย่าง

มีนัยสำคัญ แต่เมื่ออัตราส่วนคอร์ตอวีเนียร์ลดลงเป็น 1:2 จะทำให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. เมื่อใช้คอร์เซอร์โคเนียร่วมกับวีเนียร์พอร์ซเลน จะพบลักษณะการแตกระหว่างชั้นและการแตกระหว่างชั้นเกิดเป็นบริเวณกว้างขึ้นในคอร์เซอร์โคเนียที่บาง

ข้อเสนอแนะ

1. ในทางคลินิกการบูรณะฟันด้วยครอบฟันและสะพานฟันควรให้มีชั้นคอร์เซอร์โคเนียหรือส่วนโยงของสะพานฟันหนาเพียงพอ เพื่อลดโอกาสการโค้งงอของชั้นคอร์ โดยเฉพาะในบริเวณที่เหลือช่องว่างให้บูรณะจำกัด นอกจากนี้ชั้นวีเนียร์พอร์ซเลนต้องไม่หนาเกินไป เพื่อลดโอกาสการแตกแบบทรงกรวย เช่นในบริเวณที่เนื้อฟันหายไปมาก ซึ่งทั้งหมดนี้จะช่วยลดโอกาสการแตกแยกระหว่างชั้นของวัสดุบูรณะได้

2. ควรมีการวิจัยเพื่อปรับปรุงวัสดุคอร์เซอร์โคเนียและวีเนียร์พอร์ซเลนให้มีความเข้ากันและมีความแข็งแรงยึดที่ดี รวมทั้งพัฒนาวิธีการสร้างชิ้นงาน เช่น การเตรียมพื้นผิว การปรับปรุงวัสดุวีเนียร์พอร์ซเลนให้มีความแข็งแรง เพื่อลดปัญหาการแตกระหว่างชั้นของวัสดุชนิดนี้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ปวีริศา ธรรมวานิช. (2004). ความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของอินซีแรมและไอพีเอสคอมโพสิต 2 ที่อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Aboushelib, M. N., N. de Jager, et al. (2005). Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. Dent Mater 21(10): 984-91.
- Aboushelib, M. N., C. J. Kleverlaan, et al. (2006). Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. Part II: Zirconia veneering ceramics. Dent Mater 22(9): 857-63.
- Anusavice, K. J. (2003). Philips' science of dental materials. 11th ed. Pennsylvania: WB.Saunders.
- Att, W., K. Stamouli, et al. (2007). Fracture resistance of different zirconium dioxide three-unit all-ceramic fixed partial dentures. Acta Odontol Scand 65(1): 14-21.
- Ban, S. and K. J. Anusavice (1990). Influence of test method on failure stress of brittle dental materials. J Dent Res 69(12): 1791-9.
- Blatz, M. B. (2002). Long-term clinical success of all-ceramic posterior restorations. Quintessence Int 33(6): 415-26.
- Christel, P., A. Meunier, et al. (1989). Mechanical properties and short-term in-vivo evaluation of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia. J Biomed Mater Res 23(1): 45-61.
- Covacci, V., N. Bruzzese, et al. (1999). In vitro evaluation of the mutagenic and carcinogenic power of high purity zirconia ceramic. Biomaterials 20(4): 371-6.

- De Jager, N., P. Pallav, et al. (2005). The influence of design parameters on the FEA-determined stress distribution in CAD-CAM produced all-ceramic dental crowns. Dent Mater 21(3): 242-51.
- Friedlander, L. D., C. A. Munoz, et al. (1990). The effect of tooth preparation design on the breaking strength of Dicor crowns: Part 1. Int J Prosthodont 3(2): 159-68.
- Garau, V., M. G. Masala, et al. (2005). Contact stomatitis due to palladium in dental alloys: a clinical report. J Prosthet Dent 93(4): 318-20.
- Guazzato, M., M. Albakry, et al. (2004a). Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part I. Pressable and alumina glass-infiltrated ceramics. Dent Mater 20(5): 441-8.
- Guazzato, M., M. Albakry, et al. (2004b). Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics. Dent Mater 20(5): 449-56.
- Guazzato, M., K. Proos, et al. (2004). Strength, reliability, and mode of fracture of bilayered porcelain/core ceramics. Int J Prosthodont 17(2): 142-9.
- Guazzato, M., K. Proos, et al. (2004). Strength, reliability and mode of fracture of bilayered porcelain/zirconia (Y-TZP) dental ceramics. Biomaterials 25(20): 5045-52.
- Hsueh, C. H., C. R. Luttrell, et al. (2006). Analyses of multilayered dental ceramics subjected to biaxial flexure tests. Dent Mater 22(5): 460-9.
- Isgro, G., H. Wang, et al. (2005). The effects of thermal mismatch and fabrication procedures on the deflection of layered all-ceramic discs. Dent Mater 21(7): 649-55.
- Ichikawa, Y., Y. Akagawa, et al. (1992). Tissue compatibility and stability of a new zirconia ceramic in vivo. J Prosthet Dent 68(2): 322-6.
- Kelly, J. R. and I. Denry (2008). Stabilized zirconia as a structural ceramic: An overview. Dent Mater 24(3): 289-98.
- Kelly, J. R., J. A. Tesk, et al. (1995). Failure of all-ceramic fixed partial dentures in vitro and in vivo: analysis and modeling. J Dent Res 74(6): 1253-8.

- Kim, B., Y. Zhang, et al. (2007). Fracture of porcelain-veneered structures in fatigue. J Dent Res **86**(2): 142-6.
- Lawn, B. R., Y. Deng, et al. (2001). Use of contact testing in the characterization and design of all-ceramic crownlike layer structures: a review. J Prosthet Dent **86**(5): 495-510.
- Lawn, B. R., Y. Deng, et al. (2002). Materials design of ceramic-based layer structures for crowns. J Dent Res **81**(6): 433-8.
- Ohyama, T., M. Yoshinari, et al. (1999). Effects of cyclic loading on the strength of all-ceramic materials. Int J Prosthodont **12**(1): 28-37.
- Papanagiotou, H. P., S. M. Morgano, et al. (2006). In vitro evaluation of low-temperature aging effects and finishing procedures on the flexural strength and structural stability of Y-TZP dental ceramics. J Prosthet Dent **96**(3): 154-64.
- Piconi, C. and G. Maccauro (1999). Zirconia as a ceramic biomaterial. Biomaterials **20**(1): 1-25.
- Pittayachawan, P., A. McDonald, et al. (2007). The biaxial flexural strength and fatigue property of Lava Y-TZP dental ceramic. Dent Mater **23**(8): 1018-29.
- Raigrodski, A. J. (2004). Contemporary all-ceramic fixed partial dentures: a review. Dent Clin North Am **48**(2): viii, 531-44.
- Rhee, Y. W., H. W. Kim, et al. (2001a). Brittle fracture versus quasi plasticity in ceramics: a simple predictive index. J Am Ceram Soc **84**(3): 561-5.
- Rhee, Y. W., H. W. Kim, et al. (2001b). Contact-induced damage in ceramic coatings on compliant substrates: fracture mechanics and design. J Am Ceram Soc **84**(5): 1066-72.
- Rosenblum, M. A. and A. Schulman (1997). A review of all-ceramic restorations. J Am Dent Assoc **128**(3): 297-307.
- Schmalz, G. and P. Garhammer (2002). Biological interactions of dental cast alloys with oral tissues. Dent Mater **18**(5): 396-406.
- Shetty, D. K., A. R. Rosenfield, et al. (1980). Biaxial flexure tests for ceramics. Ceram Bull **59**(12): 1193-7.

- Studart, A. R., F. Filser, et al. (2007a). In vitro lifetime of dental ceramics under cyclic loading in water. Biomaterials **28**(17): 2695-705.
- Studart, A. R., F. Filser, et al. (2007b). Fatigue of zirconia under cyclic loading in water and its implications for the design of dental bridges. Dent Mater **23**(1): 106-14.
- Studart, A. R., F. Filser, et al. (2007). Mechanical and fracture behavior of veneer-framework composites for all-ceramic dental bridges. Dent Mater **23**(1): 115-23.
- Studart, A. R., F. Filser, et al. (2007). Cyclic fatigue in water of veneer-framework composites for all-ceramic dental bridges. Dent Mater **23**(2): 177-85.
- Sundh, A. and G. Sjogren (2004). A comparison of fracture strength of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia ceramic crowns with varying core thickness, shapes and veneer ceramics. J Oral Rehabil **31**(7): 682-8.
- Sundh, A., M. Molin, et al. (2005). Fracture resistance of yttrium oxide partially-stabilized zirconia all-ceramic bridges after veneering and mechanical fatigue testing. Dent Mater **21**(5): 476-82.
- Swab, J. J. (1991). Low temperature degradation of Y-TZP materials. J Mater Sci **26**: 6706-14.
- Taskonak, B., J. J. Mecholsky, Jr., et al. (2005). Residual stresses in bilayer dental ceramics. Biomaterials **26**(16): 3235-41.
- Teixeira, E. C., J. R. Piascik, et al. (2007). Dynamic fatigue and strength characterization of three ceramic materials. J Mater Sci Mater Med **18**(6): 1219-24.
- Thompson, G. A. (2000). Influence of relative layer height and testing method on the failure mode and origin in a bilayered dental ceramic composite. Dent Mater **16**(4): 235-43.
- Tsalouchou, E., M. J. Cattell, et al. (2008). Fatigue and fracture properties of yttria partially stabilized zirconia crown systems. Dent Mater **24**(3): 308-18.
- Uo, M., G. Sjogren, et al. (2003). Cytotoxicity and bonding property of dental ceramics. Dent Mater **19**(6): 487-92.

- Wakabayashi, N. and K. J. Anusavice (2000). Crack initiation modes in bilayered alumina/porcelain disks as a function of core/veneer thickness ratio and supporting substrate stiffness. J Dent Res **79**(6): 1398-404.
- Wen, M. Y., H. J. Mueller, et al. (1991). Comparative mechanical property characterization of 3 all-ceramic core materials. Int J Prosthodont **12**: 534-41.
- White, S. N., V. G. Miklus, et al. (2005). Flexural strength of a layered zirconia and porcelain dental all-ceramic system. J Prosthet Dent **94**(2): 125-31.
- Yilmaz, H., C. Aydin, et al. (2007). Flexural strength and fracture toughness of dental core ceramics. J Prosthet Dent **98**(2): 120-8.
- Yoshinari, M. and T. Derand (1994). Fracture strength of all-ceramic crowns. Int J Prosthodont **7**(4): 329-38.
- Young, W. C. (1989). Roark's formulas for stress and strain. 6th ed. New York: McGraw-Hill.
- Zeng, K., A. Oden, et al. (1998). Evaluation of mechanical properties of dental ceramic core materials in combination with porcelains. Int J Prosthodont **11**(2): 183-9.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อวัสดุ	Material	องค์ประกอบ	บริษัทผู้ผลิต
1. Cercon Base	Yttrium stabilized zirconium oxide	ZrO ₂ 92 vol %, Yt ₂ O ₃ 30 vol%, Hf ₂ O ₃ 2 vol %, Al ₂ O ₃ และ Si O ₂ น้อยกว่า 1 vol%	Degudent GmbH, Hanue-Wolfgang, Germany
2. Cercon Ceram Kiss	Feldspartic porcelain หรือ Low-fusing hydrothermal leucite-free glass	N/A	Degudent GmbH, Hanue-Wolfgang, Germany
3. Paste Liner	Selenium based feldspartic porcelain	N/A	Degudent GmbH, Hanue-Wolfgang, Germany

ตาราง ข โปรแกรมการเผาชั้นไลเนอร์ (Paste Liner) และชั้นเดนทีน (Cercon Ceram Kiss) โดยใช้เตาเผา Multimat 2 Touch+Press

โปรแกรม	ชั้นไลเนอร์	ชั้นเดนทีน
Pre dry	0 นาที	6 นาที
Dry	3 นาที	2 นาที
Preheat	5 นาที	3 นาที
Low temperature	575 นาที	450 นาที
Heat rate	55°C/นาที	55
High temperature	970°C	830
Vacuum ON	575°C	450
Vacuum Level	50 hPa	50 hPa
Vacuum OFF	970°C	830°C
Vacuum hold	-	-
Firing time	1 นาที	90 นาที
Cooling time	-	-

ตาราง ค การวิเคราะห์การแจกแจง (การกระจาย) ของข้อมูลค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดขวางของแกนในกลุ่มต่างๆ

Tests of Normality

Group	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
BFS 1	.196	10	.200*	.908	10	.265
2	.180	10	.200*	.927	10	.417
3	.201	10	.200*	.909	10	.271
4	.150	10	.200*	.922	10	.378
5	.169	10	.200*	.951	10	.676

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

ตาราง ง การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) ด้วยการใช้การทดสอบแบบลีวีเน (Levene's Test) ของข้อมูลค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดขวางสองแกนในกลุ่มต่างๆ

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.868	4	45	.001

ตาราง จ การทดสอบข้อมูลค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดขวางสองแกนในกลุ่มต่างๆ ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว โดยการทดสอบแบบโรบัสต์ (Robust test)

Robust Tests of Equality of Means

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	205.277	4	33.987	.000

^a Asymptotically F distributed.

ตาราง จ การทดสอบข้อมูลค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดขวางสองแกนในกลุ่มต่างๆ ด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบแทมเฮน (Tamhane multiple comparison)

Multiple Comparisons

Dependent Variable: BFS

Tamhane

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-88.00500	46.0050	.526	-234.7070	58.6970
	3	25.79900	44.7876	1.000	-117.2728	168.8708
	4	153.40200*	40.9542	.018	20.5610	286.2430
	5	850.98700*	33.8993	.000	726.8800	975.0940
2	1	88.00500	46.0050	.526	-58.6970	234.7070
	3	113.80400	42.8793	.151	-22.8818	250.4898
	4	241.40700*	38.8581	.000	116.1618	366.6522
	5	938.99200*	31.3347	.000	824.3467	1053.6373
3	1	-25.79900	44.7876	1.000	-168.8708	117.2728
	2	-113.8040	42.8793	.151	-250.4898	22.8818
	4	127.60300*	37.4089	.033	7.5139	247.6921
	5	825.18800*	29.5184	.000	717.2476	933.1284
4	1	-153.4020*	40.9542	.018	-286.2430	-20.5610
	2	-241.4070*	38.8581	.000	-366.6522	-116.1618
	3	-127.6030*	37.4089	.033	-247.6921	-7.5139
	5	697.58500*	23.2950	.000	612.6529	782.5171
5	1	-850.9870*	33.8993	.000	-975.0940	-726.8800
	2	-938.9920*	31.3347	.000	-1053.64	-824.3467
	3	-825.1880*	29.5184	.000	-933.1284	-717.2476
	4	-697.5850*	23.2950	.000	-782.5171	-612.6529

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธีรา ธรรมวาสี เกิดที่กรุงเทพมหานคร เมื่อวันที่ 30 ตุลาคม พ.ศ. 2521 สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรี ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต พ.ศ. 2545 จากคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เคยรับราชการในตำแหน่งทันตแพทย์ ประจำโรงพยาบาล รัตนบุรี จังหวัดสุรินทร์ ระหว่าง พ.ศ. 2545 - 2547 ต่อมาย้ายมารับราชการในตำแหน่งทันตแพทย์ ประจำ โรงพยาบาลสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา ระหว่าง พ.ศ. 2547 - 2548 ปัจจุบันได้ลาออกจาก ราชการเพื่อมาศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรม ประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

