ผลของการขัดเซรามิกด้วยวิธีขัดต่าง ๆ ต่อความหยาบพื้นผิวของเซรามิกชนิดแคดแคมบล็อก

นางสาวปาลิน สัปปินันทน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF VARIOUS POLISHING TECHNIQUES ON SURFACE ROUGHNESS OF CAD/CAM CERAMIC BLOCKS

Miss Palin Sappinan

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Operative Dentistry
Department of Operative Dentistry
Faculty of Dentistry
Chulalongkorn University
Academic Year 2016
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการขัดเซรามิกด้วยวิธีขัดต่าง ๆ ต่อความหยาบพื้นผิวของเซรามิกชนิดแคดแคมบล็อก
โดย	นางสาวปาลิน สัปปินันทน์
สาขาวิชา	ทันตกรรมหัตถการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ศิริวิมล ศรีสวัสดิ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. สุชิต พูลทอง)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ปิยาณี พาณิชย์วิสัย)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ศิริวิมล ศรีสวัสดิ์)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. รังสิมา สกุลณะมรรคา)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.ภาวิณีย์ ปฏิพัทธ์วุฒิกุล ดิดรอน)

Chulalongkorn University

ปาลิน สัปปินันทน์ : ผลของการขัดเซรามิกด้วยวิธีขัดต่าง ๆ ต่อความหยาบพื้นผิวของเซรามิกชนิดแคดแคมบล็อก (EFFECT OF VARIOUS POLISHING TECHNIQUES ON SURFACE ROUGHNESS OF CAD/CAMCERAMIC BLOCKS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ทญ. ดร. ศิริวิมล ศรีสวัสดิ์, 107 หน้า.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเปรียบเทียบความเรียบผิวของแคดแคมเซรามิกบล็อก 3 ชนิด ได้แก่ วีต้ามาร์คทูบล็อก ไอพีเอส เอ็มเพรสแคดบล็อกและไอพีเอส อีแมกซ์แคดบล็อกชนิดละ 70 ชิ้น ที่ผ่านการขัดด้วยวิธีขัดต่าง ๆ เทียบกับการเคลือบทับ โดยนำเซรามิกทั้ง 3 ชนิดมาทำการกรอเลียนแบบผิวชิ้นงานให้ใกล้เคียงกับเซรามิกที่ผ่านการกลึงจากเครื่องซีเรคด้วยหัวกรอกากเพชรขนาด 50 ไมโครเมตร แล้วนำมาวัดค่าความความหยาบพื้นผิวเป็นค่าความหยาบพื้นผิวก่อนการขัด โดยใช้เครื่องโปรฟิลโลมิเตอร์ หลังจากนั้นแบ่งกลุ่มเซรามิก 70 ชิ้นตัวอย่างเป็น 7 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้นตัวอย่าง กลุ่มที่ 1 และ 2 ขัดด้วยชุดหัวยางแอสโทรโพล กลุ่มที่ 3 และ 4 ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ กลุ่มที่ 5 และ 6 ขัดด้วยชุดหัวขัดออปตร้าไฟน์โดยใช้จำนวนครั้งในการขัด 20 และ 40 ครั้งตามลำดับ และกลุ่มที่ 7 ทำการเคลือบทับ จากนั้นนำชิ้นงานมาวัดค่าความหยาบพื้นผิว นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสามทางและเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยการทดสอบเชฟเฟที่ระดับความเชื่อมันร้อยละ 95 พบว่าในกลุ่มวีต้ามาร์คทูกลุ่มที่ผ่านการขัดด้วยชุดหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 และ 40 ครั้ง ชุดหัวยางแอสโทรโพล 40 ครั้ง และกลุ่มที่ขัดด้วยชุดหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 40 ครั้งมีความหยาบพื้นผิวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งมีความหยาบรองจากกลุ่มเคลือบทับ เซรามิกไอพีเอส เอ็มเพรสแคดพบว่ากลุ่มที่ขัดด้วยชุดหัวขัดออปตร้าไฟน์และกลุ่มที่ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ทั้ง 20 และ 40 ครั้งมีความหยาบพื้นผิวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งมีความหยาบรองจากกลุ่มเคลือบทับ เซรามิกไอพีเอส อีแมกซ์แคดพบว่ากลุ่มที่ผ่านการขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 40 ครั้งและกลุ่มที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 40 ครั้งมีค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งมีความหยาบรองจากกลุ่มเคลือบทับ สรุปผลการวิจัย วิธีการขัดและจำนวนครั้งในการขัดที่เหมาะสมกับเซรามิกแต่ละชนิดคือ กลุ่มวีต้ามาร์คทู การขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ หัวขัดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ หัวขัดยางแอสโทรโพล 40 ครั้ง และหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 ครั้ง กลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดวิธีที่เหมาะสมในการขัดคือการขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์และหัวขัดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ทั้ง 20 และ 40 ครั้ง ส่วนกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดวิธีการขัดที่เหมาะสมคือการใช้แผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์และหัวขัดออปตร้าไฟน์ 40 ครั้ง

ภาควิชา	ทันตกรรมหัตถการ	ลายมือชื่อนิสิต	....
สาขาวิชา	ทันตกรรมหัตถการ	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	....
ปีการศึกษา	2559		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5675812632 : MAJOR OPERATIVE DENTISTRY
KEYWORDS: CAD-CAM (COMPUTER AIDED DESIGN-COMPUTER AIDED MANUFACTURING) / DENTAL CERAMIC / SURFACE ROUGHNESS

PALIN SAPPINAN: EFFECT OF VARIOUS POLISHING TECHNIQUES ON SURFACE ROUGHNESS OF CAD/CAMCERAMIC BLOCKS. ADVISOR: ASST. PROF. SIRIVIMOL SRISAWASDI, Ph.D., 107 pp.

The aim of this study was to compare the effect of various polishing techniques anc overglazing on the surface roughness of Vita Mark™II blocks (70 specimens) IPS Empress CAD™blocks (70 specimens) and IPS e.max CAD™blocks (70 specimens). First, all specimens were ground with 50 micron diamond burs to simulate surface derived from Cerec milling system. The surface roughness was measured with a profilometer. Seventy blocks of each type of ceramic were divided into 7 groups (10 blocks each). Groups 1 and 2 were polished with Astropol™, groups 3 and 4 with SofLex™disc, groups 5 and 6 with OptraFine™system for 20 and 40 strokes respectively. Group 7 was overglazed. The mean values of average surface roughness (Ra) were compared using 3-way ANOVA and Post Hoc Scheffe test (α=0.05). In Vita Mark™II groups, no significant difference in the mean surface roughness values was found between ceramic polished with OptraFine™system 20, 40 strokes, Astropol™ 40 strokes and SofLex™disc 40 strokes, which Ra were inferior to overglazed group. In IPS Empress CAD™groups, no significant difference in the mean surface roughness values was found between ceramic polished with OptraFine™system 20, 40 strokes, SofLex™disc 20, 40 strokes, which Ra were inferior to overglazed group. In IPS e.max CAD™group, no significant difference in the mean surface roughness values was found between ceramic polished with SofLex™disc 40 strokes and OptraFine™system 40 strokes, which Ra were inferior to overglazed group. From this study the proper polishing method for Vita Mark™II was to polish with OptraFine™ using 20, 40 strokes, SofLex™disc 40 strokes, Astropol™ 40 strokes, IPS Empress CAD™ with OptraFine™20, 40 strokes, SofLex™disc 20, 40 strokes, and IPS e.max CAD™ with SofLex™disc 40 strokes and OptraFine™system 40 strokes.

Department: Operative Dentistry   Student's Signature ....
Field of Study: Operative Dentistry   Advisor's Signature ....
Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ศิริวิมล ศรีสวัสดิ์ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการศึกษา การทำวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มอบความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ในการศึกษาและการทำงาน

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ชาญชัย โห้สงวน ภาควิชาทันตกรรมชุมชน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำทางสถิติ

ขอขอบคุณบุคลากรประจำศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์และศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและให้ความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ในการวิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้องทุกคนในครอบครัวและผู้มีส่วนร่วมทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำงานเสมอมา

Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..จ

กิตติกรรมประกาศ..ฉ

สารบัญ..ช

สารบัญตาราง..ญ

สารบัญรูปภาพ..ฏ

บทที่ 1 บทนำ..1

ความสำคัญและที่มาของปัญหา..1

คำถามการวิจัย..3

วัตถุประสงค์ของการวิจัย..3

สมมติฐานของการวิจัย..4

คำสำคัญ..4

ขอบเขตของการวิจัย..4

กรอบแนวคิด..5

ข้อตกลงเบื้องต้น..5

ข้อจำกัดของการวิจัย..6

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย..6

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..6

รูปแบบวิธีวิจัย..6

แผนการดำเนินงาน..6

การพิจารณาทางจริยธรรม..6

งบประมาณ..7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์ 10
เซรามิกที่ใช้ในงานทันตกรรม 10
วัสดุที่ใช้สำหรับการทำเซรามิกแคดแคมบล็อก 14
เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว TalyScan 150 18
บทที่ 3 วิธีการวิจัย 25
การคำนวณขนาดตัวอย่าง 25
วัสดุที่ใช้ในการวิจัย 26
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 27
วิธีวิจัย 28
การเตรียมชิ้นงานเซรามิก 28
การวัดความหยาบพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่าง 29
การเตรียมชิ้นงานกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคด 32
การเตรียมชิ้นงานกลุ่มเคลือบทับ 32
การขัดชิ้นงาน 34
การวัดความหยาบพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างที่ผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ 36
การประเมินลักษณะพื้นผิวของเซรามิกชนิดต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด 36
การเก็บรวบรวมข้อมูล 37
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 37
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 38
ลักษณะพื้นผิวเซรามิกในกลุ่มต่าง ๆ เมื่อทำการประเมินภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด 47
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 62
อภิปรายผลการวิจัย 62

หน้า

สรุปผลการวิจัย ... 67
ข้อเสนอแนะ ... 68
รายการอ้างอิง ... 69
ภาคผนวก ... 77
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ... 107

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ค่าตัดสำหรับการวัดลักษณะพื้นผิวที่ไม่เกี่ยวข้องกับเวลา (non-periodic measurement) ตามมาตรฐานไอเอสโอหมายเลข 4288:1996 (57)............ 19

ตารางที่ 2 รายละเอียดของเซรามิกที่ใช้ในการวิจัย............ 27

ตารางที่ 3 แสดงโปรแกรมการเคลือบผิวในเซรามิกวีต้ามาร์คทู 33

ตารางที่ 4 แสดงโปรแกรมการเคลือบผิวในเซรามิกไอพีเอส เอ็มเพรสแคด............ 33

ตารางที่ 5 แสดงโปรแกรมการเคลือบผิวในเซรามิกไอพีเอส อีแมกซ์แคด 33

ตารางที่ 6 แสดงการทดสอบอิทธิพลของชนิดเซรามิก วิธีในการขัดและจำนวนครั้งในการขัดต่อความเรียบของผิวเซรามิกทั้ง 3 ชนิด 38

ตารางที่ 7 แสดงการทดสอบอิทธิพลของวิธีการขัดและจำนวนครั้งในการขัดต่อความหยาบพื้นผิวของวีต้ามาร์คทู............ 39

ตารางที่ 8 แสดงการทดสอบอิทธิพลของวิธีการขัดและจำนวนครั้งในการขัดต่อความหยาบพื้นผิวของไอพีเอส เอ็มเพรสแคด............ 40

ตารางที่ 9 แสดงการทดสอบอิทธิพลของวิธีการขัดและจำนวนครั้งในการขัดต่อความหยาบพื้นผิวของไอพีเอส อีแมกซ์แคด 40

ตารางที่ 10 แสดงค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวในเซรามิกกลุ่มวีต้ามาร์คทู 41

ตารางที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ยและการเปรียบเทียบความเรียบพื้นผิวของเซรามิกกลุ่มที่ขัดด้วยวิธีต่าง ๆ กับกลุ่มเคลือบทับในเซรามิกกลุ่มวีต้ามาร์คทู............ 41

ตารางที่ 12 แสดงค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคด 43

ตารางที่ 13 แสดงค่าเฉลี่ยและการเปรียบเทียบความเรียบพื้นผิวของวิธีการขัดต่าง ๆ กับกลุ่มเคลือบทับในเซรามิกกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคด 43

ตารางที่ 14 แสดงค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวในเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคด............ 45

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ยและการเปรียบเทียบความเรียบพื้นผิวของเซรามิกกลุ่มที่ขัดด้วยวิธีต่าง ๆ กับกลุ่มเคลือบทับในเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคด.. 45

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 ผลการคำนวณขนาดตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม G* Power 3.1.9.2 25

รูปที่ 2 การกรอชิ้นงานเลียนแบบผิวชิ้นงานให้ใกล้เคียงกับเซรามิกที่ผ่านการกลึงจากเครื่องซีเรค .. 28

รูปที่ 3 การตั้งค่าตำแหน่งเข็มลากสำหรับการวัดความหยาบพื้นผิวโดยพื้นที่สีดำคือพื้นที่ที่ใช้ทำการวัด 29

รูปที่ 4 การยึดชิ้นงานตัวอย่างเข้ากับเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว 30

รูปที่ 5 แผนผังแสดงการแบ่งกลุ่มการทดลอง 31

รูปที่ 6 แท่นจับหัวกรอและการขัดด้วยชุดหัวยางแอสโทรโพล 34

รูปที่ 7 แท่นจับหัวกรอและการขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 35

รูปที่ 8 แสดงแท่นจับหัวกรอในการขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 35

รูปที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวของเซรามิกที่ผ่านการเคลือบทับและผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ จำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ ในกลุ่มวีต้ามาร์คทู 42

รูปที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวของเซรามิกที่ผ่านการเคลือบทับและผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ จำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ ในกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคด 44

รูปที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวของเซรามิกที่ผ่านการเคลือบทับและผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ จำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ ในกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคด 46

รูปที่ 12 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มวีต้ามาร์คทูที่ผ่านการกรอเลียนแบบผิวชิ้นงานให้ใกล้เคียงกับเซรามิกที่ผ่านการกลึงจากเครื่องซีเรค กำลังขยาย 1000 เท่า 47

รูปที่ 13 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดที่ผ่านการกรอเลียนแบบผิวชิ้นงานให้ใกล้เคียงกับเซรามิกที่ผ่านการกลึงจากเครื่องซีเรค กำลังขยาย 1000 เท่า 48

รูปที่ 14 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพี เอส อีแมกซ์แคดที่ผ่านการกรอเลียนแบบผิวชิ้นงานให้ใกล้เคียงกับเซรามิกที่ผ่านการกลึงจากเครื่องซีเรค กำลังขยาย 1000 เท่า 48

รูปที่ 15 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มวีต้า มาร์คทูที่ผ่านการเคลือบทับ กำลังขยาย 1000 เท่า 49

รูปที่ 16 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพี เอส เอ็มเพรสแคดที่ผ่านการเคลือบทับ กำลังขยาย 1000 เท่า 49

รูปที่ 17 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพี เอส อีแมกซ์แคดที่ผ่านการเคลือบทับ กำลังขยาย 1000 เท่า 50

รูปที่ 18 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มวีต้า มาร์คทูที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า 50

รูปที่ 19 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มวีต้า มาร์คทูที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 40 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า 51

รูปที่ 20 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มวีต้า มาร์คทูที่ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 20 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า 51

รูปที่ 21 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มวีต้า มาร์คทูที่ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 40 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า 52

รูปที่ 22 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มวีต้า มาร์คทูที่ขัดด้วยหัวขัดยางแอสโทรโพล 20 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า 52

รูปที่ 23 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มวีต้า มาร์คทูที่ขัดด้วยหัวขัดยางแอสโทรโพล 40 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า 53

รูปที่ 24 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพี เอส เอ็มเพรสแคดที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า 53

รูปที่ 25 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพี เอส เอ็มเพรสแคดที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 40 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า 54

รูปที่ 26 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดที่ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 20 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า 54

รูปที่ 27 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดที่ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 40 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า 55

รูปที่ 28 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดที่ขัดด้วยหัวขัดยางแอสโทรโพล 20 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า 55

รูปที่ 29 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดที่ขัดด้วยหัวขัดยางแอสโทรโพล 40 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า 56

รูปที่ 30 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า 56

รูปที่ 31 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 40 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า 57

รูปที่ 32 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 20 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า 57

รูปที่ 33 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 40 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า 58

รูปที่ 34 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ขัดด้วยหัวขัดยางแอสโทรโพล 20 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า 58

รูปที่ 35 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ขัดด้วยหัวขัดยางแอสโทรโพล 40 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า 59

รูปที่ 36 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 300 เท่าของเซรามิกไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ผ่านการเผาก่อนนำไปขัดด้วยวิธีต่าง ๆ คัดลอกรูปมาจาก Effects

of Different Polishing Protocols on Lithium Disilicate Ceramics. Brazilian dental journal. 2015;26(5):478-83. 63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันการบูรณะฟันด้วยวัสดุสีเหมือนฟันได้รับความนิยมมากขึ้น จากในอดีตที่งานบูรณะส่วนใหญ่จะใช้วัสดุ อมัลกัม (amalgam) โดยเฉพาะการบูรณะในบริเวณฟันหลังซึ่งใช้ในการบดเคี้ยว หรือในกรณีที่สูญเสียเนื้อฟันไปมากจะบูรณะด้วยครอบฟันที่ทำจากโลหะ เมื่อมีการพัฒนาวัสดุบูรณะให้มีความสวยงามและมีความแข็งแรงมากขึ้น การบูรณะโดยใช้วัสดุสีเหมือนฟันจึงถูกนำมาใช้แทนอมัลกัมมากขึ้น ตัวอย่างวัสดุสีเหมือนฟันที่นำมาใช้แทนที่อมัลกัม เช่น กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (glass-ionomer cement) กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (resin-modified glass-ionomer) เรซินคอมโพสิต (resin composite) และ เซรามิก (ceramic) เป็นต้น

เซรามิก หรือ พอร์ซเลน (porcelain) ได้ถูกนำมาใช้ทางทันตกรรมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีสีและความสวยงามคล้ายฟันธรรมชาติ (1) เข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในช่องปาก (biocompatibility) (2) มีความต้านทานต่อการสึกและมีความแข็งแรง สามารถนำมาใช้ในการบูรณะฟันชนิดต่างๆ เช่น ออนเลย์ (onlay) อินเลย์ (inlay) วีเนียร์ (veneer) ครอบฟันโลหะเซรามิก (metal-ceramic crown) ครอบฟันเซรามิกทั้งซี่ (all-ceramic crown) สะพานฟัน (bridge) ซึ่งเซรามิกได้ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง ทั้งกรรมวิธีในการผลิตและองค์ประกอบของเซรามิก ทำให้ได้เซรามิกที่มีความแข็งแรง สวยงาม สามารถรองรับแรงบดเคี้ยวได้มากขึ้นและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น โดยธรรมชาติของเซรามิกจะมีความแข็งแรงสูง สามารถทนแรงกด (compression) ได้ดีแต่จะมีความเปราะหรือสามารถแตกได้เมื่อมีแรงดึงหรือแรงเฉือนมากระทำ

เซรามิกได้ถูกนำมาใช้ทางทันตกรรมมาเป็นระยะเวลานาน ในปี ค.ศ. 1886 Land ได้สร้างครอบฟันจากพอร์ซเลนเพื่อบูรณะฟันที่ถูกทำลายเนื้อฟันไปในปริมาณมาก หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาองค์ประกอบและวิธีการผลิตชิ้นงานอย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบันได้มีการผลิตเซรามิกออกจำหน่ายในท้องตลาดเป็นจำนวนมากตามองค์ประกอบและกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันไป ในการสร้างชิ้นงานเซรามิกชนิดเฟลด์สปาติก (feldspathic ceramic) ซึ่งต้องทำในห้องปฏิบัติการนั้น ต้องใช้ขั้นตอนในการทำและใช้เวลาในการทำหลายวัน เนื่องจากต้องมีการขึ้นรูปชิ้นงานเป็นชั้นๆ โดยทำหลายชั้นเพื่อให้เกิดความแข็งแรงและความสวยงาม ซึ่งขั้นตอนในการทำค่อนข้างยุ่งยาก ต้องการความชำนาญของทั้งทันตแพทย์และช่างทำชิ้นงาน เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ

ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามาพัฒนาโปรแกรมต่าง ๆ มาใช้ในหลายสาขาวิชา ซึ่งในทางทันตกรรมก็ได้นำระบบคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบและผลิตชิ้นงาน

ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความถูกต้อง มีมาตรฐาน โดยมีการนำระบบแคดแคม (CAD-CAM , Computer Aided Design-Computer Aided Manufacturing) มาประยุกต์ใช้ในการผลิตชิ้นงานทางทันตกรรมให้มีคุณลักษณะตามต้องการ และสามารถสร้างชิ้นงานเพื่อนำไปบูรณะในช่องปากได้อย่างรวดเร็วภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมง ดังนั้นทันตแพทย์จึงสามารถทำการรักษาให้กับผู้ป่วยได้โดยใช้เวลาภายในการนัดเพียงครั้งเดียว (3)

แคดแคมได้ถูกนำมาใช้ผลิตชิ้นงานที่ทำมาจากเซรามิก เช่น อินเลย์ ออนเลย์ วีเนียร์ สะพานฟัน ครอบฟันเซรามิกทั้งซี่ ซึ่งสามารถนำมาใช้บูรณะได้ทั้งในฟันหน้าและฟันหลัง ในปี ค.ศ. 1987 ได้มีการผลิตเครื่องซีเรค (Cerec® : Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics) รุ่นแรกออกวางจำหน่าย โดยทำให้ทันตแพทย์สามารถให้การบูรณะด้วยวัสดุเซรามิกเสร็จสิ้นภายในการนัดเพียงครั้งเดียว หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาเครื่องซีเรคมาหลายรุ่น และในปี 2003 ได้มีการพัฒนาระบบซอฟแวร์ (software) เป็นการสร้างภาพฟันให้เป็น 3 มิติ ทำให้ทันตแพทย์สามารถใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

เมื่อได้ชิ้นงานเซรามิกตามต้องการแล้ว ทันตแพทย์ต้องนำชิ้นงานไปลองในช่องปาก ซึ่งต้องมีการกรอแก้ไขชิ้นงาน เช่น การกรอแก้ไขด้านสบฟัน (occlusal surface) เพื่อให้มีจุดสัมผัสที่ถูกต้อง หรืออาจต้องมีการกรอที่จุดสัมผัส (contact point) เพื่อให้ชิ้นงานมีลักษณะที่เหมาะสมสามารถใส่ลงตำแหน่งที่ถูกต้อง และในบางครั้งอาจต้องมีการกรอแต่งให้ได้รูปร่างลักษณะทางกายวิภาคที่ถูกต้องสวยงาม ทันตแพทย์จึงต้องทำการกรอแก้ไขลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ถูกต้องเหมาะสม ในงานวีเนียร์และครอบฟันฟันหน้า เมื่อได้ชิ้นงานมาแล้วจะต้องมีการแต่งสี (stain) เพื่อสร้างชิ้นงานให้มีสีสันสวยงาม ใกล้เคียงฟันธรรมชาติและจะต้องผ่านการเคลือบผิว (glaze) ก่อนทำการยึดชิ้นงานอย่างถาวรในช่องปาก ในกรณีที่มีการกรอแก้ไขชิ้นงานเพิ่มเติมภายหลังการยึดในช่องปากแล้ว ส่งผลให้พื้นผิวเซรามิกมีความขรุขระเกิดขึ้น ซึ่งชิ้นงานที่ไม่เรียบทำให้มีเศษอาหารและคราบจุลินทรีย์มาเกาะติด (4, 5) เหงือกที่มีการสัมผัสกับพื้นผิวเซรามิกที่ขรุขระจะเกิดการอักเสบ เนื่องจากมีแผ่นคราบจุลินทรีย์มาเกาะในปริมาณมากกว่าพื้นผิวที่เรียบและพื้นผิวเซรามิกที่ไม่เรียบจะสามารถเกิดการติดสีได้มากกว่าเซรามิกที่มีพื้นผิวเรียบ (6, 7) ซึ่งการติดสีส่งผลต่อความสวยงามของชิ้นงานเซรามิก นอกจากนี้ยังพบว่าพื้นผิวที่ไม่เรียบมีผลทำให้ฟันคู่สบสึก เนื่องจากเซรามิกมีความแข็งที่สูงกว่าเคลือบฟัน (enamel) และเนื้อฟัน (dentin) มากจะส่งผลให้เกิดการสึกของฟันธรรมชาติได้ (8-10) ดังนั้นเมื่อทำการยึดชิ้นงานในช่องปากแล้วและมีการกรอแก้ไขชิ้นงานเพิ่มเติมจึงจำเป็นต้องทำให้พื้นผิวชิ้นงานมีความเรียบมากที่สุด ซึ่งในกรณีที่ไม่สามารถนำชิ้นงานไปเคลือบผิวซ้ำได้จึงต้องใช้หัวขัดต่าง ๆ มาทำให้ได้ผิวที่เรียบใกล้เคียงกับผิวที่ถูกเคลือบหรือให้ได้ผิวที่เรียบกว่าผิวที่ถูกเคลือบ ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาหาวิธีในการขัดแต่งเซรามิกที่เหมาะสม แต่ยังไม่ได้คำตอบที่แน่นอนเนื่องจากในแต่

ละการวิจัยนั้นมีปัจจัยในการศึกษาที่แตกต่างกันไป บางการศึกษาพบว่าพื้นผิวเซรามิกจะเรียบที่สุดเมื่อใช้หัวขัดที่เคลือบด้วยกากเพชร (diamond abrasive particles) หรือครีมขัดกากเพชร (diamond polishing pastes)(11, 12) มีการศึกษาอื่นที่พบว่าเซรามิกที่ผ่านการเคลือบผิวจะมีความเรียบมากกว่าเซรามิกที่ผ่านการขัดแต่งด้วยหัวขัดต่าง ๆ (13-15) แต่มีบางการศึกษาพบว่าเซรามิกที่ผ่านการขัดแต่งจะมีความเรียบเทียบเท่ากับเซรามิกที่ถูกเคลือบผิว (16-18)

ในปัจจุบันเซรามิกที่ถูกผลิตด้วยวิธีแคดแคมได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากทำงานได้สะดวกรวดเร็ว ลดขั้นตอนดั้งเดิมไปได้หลายขั้นตอน เช่น การพิมพ์ปาก การใส่ครอบชั่วคราว เป็นต้น อย่างไรก็ดีชิ้นงานที่ได้อาจต้องมีการกรอแก้ไขภายในช่องปากหลังการยึดชิ้นงานไปแล้ว ทำให้ทันตแพทย์ผู้ปฏิบัติงานมีความสนใจและให้ความสำคัญในการเลือกวัสดุและวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการขัดแต่งเซรามิก เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพและในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วีต้ามาร์คทูบล็อก (Vita Mark™II blocks ; Vita Zahnfabrik , Bad Sackingen, Germany) ไอพีเอส เอ็มเพรสแคด (IPS Empress CAD™; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) และไอพีเอส อีแมกซ์แคด (IPS e.max CAD™; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) สำหรับระบบซีเรค และใช้หัวขัดที่มีจำหน่ายในประเทศไทย 3 ระบบ ได้แก่ ชุดหัวยางแอสโทรโพล (Astropol™ ; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) ชุดหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ (SofLex™ polishing disc; 3M ESPE, St Paul, MN, USA) ชุดหัวขัดออปตร้าไฟน์ (OptraFine™ ceramic polishing system; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)

คำถามการวิจัย

การขัดผิวเซรามิกชนิดแคดแคมด้วยวิธีขัดต่าง ๆ วิธีใดทำให้เกิดผิวเซรามิกชนิดแคดแคมที่เรียบที่สุดโดยมีผิวเซรามิกที่ถูกเคลือบทับเป็นกลุ่มควบคุม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบความเรียบของผิวเซรามิกชนิดวีต้ามาร์คทูบล็อก ไอพีเอส เอ็มเพรสแคดบล็อกและไอพีเอส อีแมกซ์แคดบล็อกหลังการขัดด้วยวิธีการขัดชนิดต่าง ๆ 3 วิธี และจำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ กัน โดยมีผิวเซรามิกที่ถูกเคลือบทับเป็นกลุ่มควบคุม

เพื่อเปรียบเทียบความเรียบของผิวเซรามิกชนิดวีต้ามาร์คทูบล็อก ไอพีเอส เอ็มเพรสแคดบล็อกและไอพีเอส อีแมกซ์แคดบล็อกที่ขัดด้วยวิธีการขัดต่าง ๆ กัน 3 วิธี และจำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ กัน

เพื่อศึกษาว่าชนิดของเซรามิก วิธีการขัดต่าง ๆ กัน 3 วิธีและจำนวนครั้งในการขัดมีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวเซรามิกหรือไม่และทั้งสามปัจจัยมีอิทธิพลต่อกันหรือไม่

เพื่อศึกษาหาวิธีการขัดและจำนวนครั้งในการขัดที่เหมาะสมกับเซรามิกชนิดแคดแคมบล็อกแต่ละชนิด

สมมติฐานของการวิจัย

1. ผิวของเซรามิกที่ผ่านการขัดด้วยวิธีต่างๆ กันและใช้จำนวนครั้งในการขัดต่างๆ กันมีความเรียบไม่แตกต่างกับผิวเซรามิกที่ถูกเคลือบทับ
2. ผิวของเซรามิกที่ผ่านการขัดด้วยวิธีต่างๆ กันและใช้จำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ กันมีความเรียบไม่แตกต่างกัน
3. ชนิดของเซรามิก วิธีขัดที่แตกต่างกัน 3 วิธีและจำนวนครั้งในการขัดไม่มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวเซรามิกและทั้งสามปัจจัยไม่มีอิทธิพลต่อกัน

คำสำคัญ

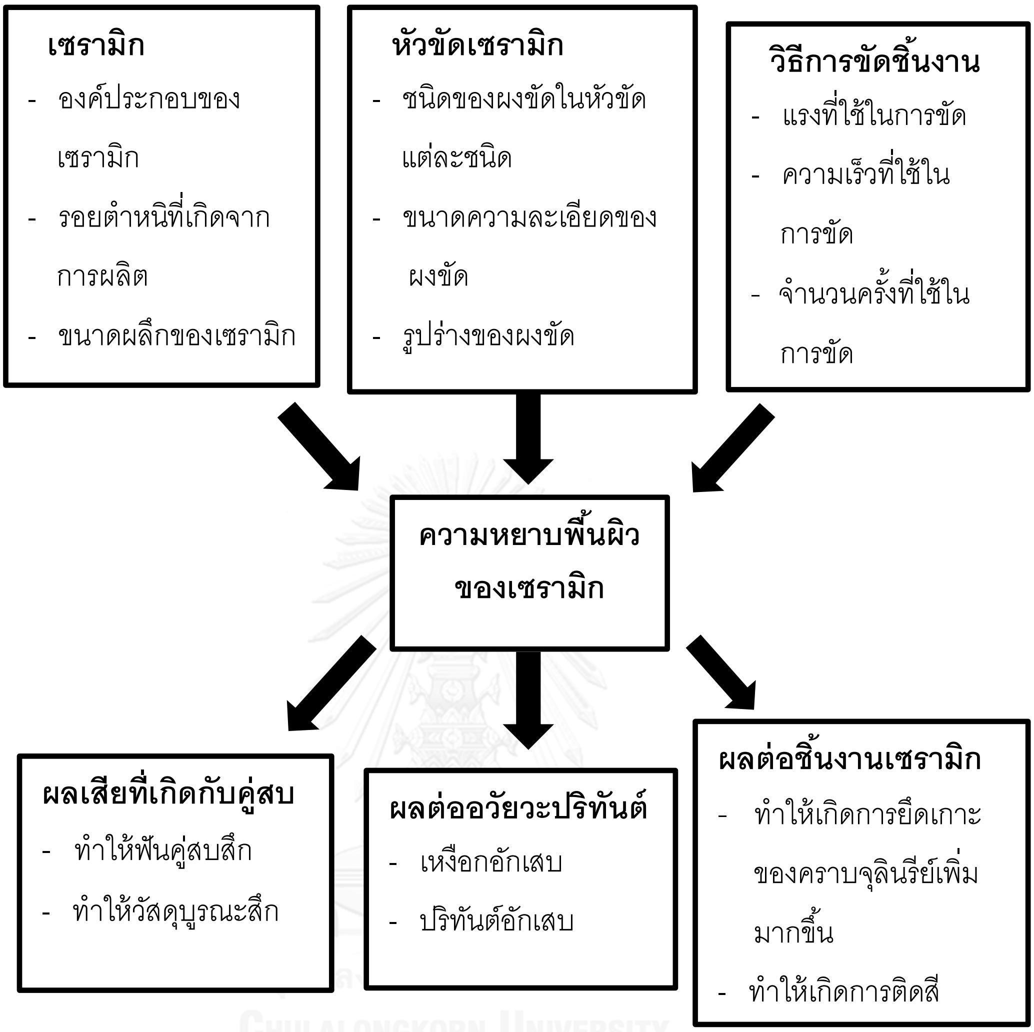
ความหยาบพื้นผิว (surface roughness) แคดแคม (CAD-CAM) เซรามิกทางทันตกรรม (dental ceramic)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory experimental research) โดยศึกษาความเรียบของผิวเซรามิกชนิดแคดแคม 3 ชนิดได้แก่วีต้ามาร์คทูบล็อก (Vita Mark™II blocks ; Vita Zahnfabrik , Bad Sackingen, Germany) ไอพีเอส เอ็มเพรสแคด (IPS Empress CAD™; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) และไอพีเอส อีแมกซ์แคด (IPS e.max CAD™; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) สำหรับระบบซีเรค และใช้หัวขัด 3 ระบบ ได้แก่ชุดหัวยางแอสโทรโพล (Astropol™ ; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) ชุดหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ (SofLex™ polishing disc; 3M ESPE, St Paul, MN, USA) ชุดหัวขัดออปตร้าไฟน์ (OptraFine™ ceramic polishing system; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)

กรอบแนวคิด



CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. การวิจัยครั้งนี้ทำโดยทันตแพทย์ที่ได้รับการฝึกหัดจนมีความชำนาญในการเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง กระบวนการทดลอง การวัด การใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการวิจัยได้เป็นอย่างดีและเป็นบุคคลเดียวกันตลอดการวิจัย
2. การวัดความหยาบพื้นผิวของเซรามิกจะใช้เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว TalyScan 150 โดยใช้วิธีวัดแบบใช้เข็มลากสัมผัสกับพื้นผิวเซรามิก
3. หัวขัดที่เลือกมาใช้ในการวิจัยจะเลือกเฉพาะที่ได้รับความนิยมและมีจำหน่ายในประเทศไทยเท่านั้น

ข้อจำกัดของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ จึงไม่อาจจำลองสภาพจริงทางคลินิกได้ทั้งหมด

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ค่าความหยาบพื้นผิวของวัสดุเซรามิกชนิดแคดแคมบล็อกที่ใช้ในงานวิจัย คือค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้น (average surface roughness, Ra) นำมาใช้เป็นพารามิเตอร์ในการรายงานผล

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับผลของหัวขัดและวิธีขัดต่าง ๆ ต่อความหยาบพื้นผิวของเซรามิก
2. สามารถนำข้อมูลที่ได้มาประกอบการเลือกใช้วิธีการขัดที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดผิวเซรามิกที่เรียบที่สุดในการขัดผิวเซรามิกชนิดแคดแคมบล็อกที่ใช้ในชีวิตประจำวัน

รูปแบบวิธีวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (experimental laboratory research)

แผนการดำเนินงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Year	2014						2015												2016					
Month	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
Literature Review and Proposal Writing																								
Pilot Study																								
Equipment preparation																								
Experiment and Data collection																								
Data analysis																								
Writing Report / manuscript preparation																								

การพิจารณาทางจริยธรรม

การวิจัยนี้เป็นการทดลองเรื่องวัสดุทางทันตกรรมที่มิได้เกี่ยวข้องกับมนุษย์หรือสัตว์ทดลอง หรืออวัยวะชิ้นส่วนใด ๆ ของมนุษย์หรือสัตว์ทดลอง

งบประมาณ

	รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคาทั้งหมด (บาท)
1	Vita Mark™ II size I8; (Vita Zahnfabrik , Bad Sackingen, Germany)	5 ชิ้น	675	3,375
2	IPS Empress CAD™ size I8; (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)	5 ชิ้น	1,140	5,700
3	IPS e.max CAD™ size C14; (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)	5 ชิ้น	1,140	5,700
4	Vita Akzent® Plus (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany)	1 ชุด	2,240	2,240
5	Empress Universal Glazing Paste/Glaze and Stain Liquid (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)	1 ชุด	2,000	2,000
6	IPS e.max CAD Crystall./Glaze Paste and Liquid (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)	1 ชุด	2,000	2,000
7	อะคริลิคเรซินใสสำหรับทำฐานยึดฟัน (clear self-cure acrylic resin, Germany)	1 ชุด (ชุดละ 500 กรัม)	500	500
8	หัวกรอกากเพชรรูปทรงกระบอก ความละเอียด 50 ไมโครเมตร (cylinder diamond bur, Jota,	25 หัว	80	2,000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

	รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคาทั้งหมด (บาท)
	Switzerland)			
9	หัวขัดแอสโทรโพล (Astropol™; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)	Finishing bur (สีเทา) 12หัว Polishing bur (สีเขียว) 12 หัว	80	1,920
		High gloss polishing bur (สีชมพู) 12 หัว	120	1,440
10	หัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ (SofLex™;3M ESPE, St Paul, MN, USA)	250 ชิ้น	10	2,500
11	หัวขัดออปตร้าไฟน์ (OptraFine™ ceramic polishing system; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)	6 ชุด	2,200	13,200
12	ค่าใช้บริการเครื่องตัด (IsoMet 1000®, Buehler, USA)	10 ชั่วโมง	100	1,000 (300*)
13	ค่าใช้บริการเครื่องทดสอบความหยาบพื้นผิว (Profilometer ; TalyScan 150, UK)	105 ชิ้น	75	7,875 (2,362.5*)
14	ค่าใช้บริการกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด (JSM-5410LV, JEOL, Tokyo, Japan)	2 ชั่วโมง	450	900
15	ค่าใช้บริการเครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิกส์ (ultrasonic cleaner: Bransonic, Germany)	ไม่มีค่าบริการ		
16	ค่าใช้บริการเครื่องขึ้นรูปชิ้นงานด้วย	ไม่มีค่าบริการ		

	รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคาทั้งหมด (บาท)
	คอมพิวเตอร์ (Fromer A-11, IMT, Thailand)			
17	ค่าปรึกษาทางสถิติ	4 ชั่วโมง	1,500	6,000
18	ค่าวัสดุจัดทำรูปเล่มรายงาน			3,000
	รวมทั้งสิ้น			47,637.5

หมายเหตุ ค่าใช้จ่ายดังกล่าวเป็นราคาโดยประมาณ อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้

*ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ลดค่าบริการสำหรับนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 70 เปอร์เซ็นต์

**ค่าปรึกษาทางสถิติได้รับการสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

เซรามิกที่ใช้ในงานทันตกรรม

เซรามิกได้ถูกนำมาใช้ทางทันตกรรมมาเป็นเวลานาน จึงได้มีการพัฒนาองค์ประกอบและวิธีการผลิตชิ้นงานเซรามิกอย่างต่อเนื่อง ทำให้ได้เซรามิกที่มีความแข็งแรงและมีความสวยงาม สามารถรองรับแรงบดเคี้ยวได้ดีขึ้น อายุการใช้งานนานขึ้น เมื่อกล่าวถึงเซรามิกหรือพอร์ซเลนที่ใช้ในทางทันตกรรมนั้นเป็นเฟลด์สปาร์ติกเซรามิก ประกอบด้วย ควอทซ์หรือซิลิกา (quartz or silica) ประมาณร้อยละ 15 ซึ่งเฟลด์สปาร์ (feldspar) ได้แก่ โปแทช เฟลด์สปา (potash feldspar) หรือโซดา เฟลด์สปาร์ (soda feldspar) ร้อยละ 81 และเกาลิน (kaolin) ร้อยละ 4 โดยน้ำหนักและมีส่วนผสมของเม็ดสี (pigment) สารที่ทำให้เกิดความทึบแสง (opacifier) แก้วที่ใส่เข้าไปเพื่อควบคุมขบวนการเผาของพอร์ซเลน ซึ่งในปัจจุบันได้มีการผลิตเซรามิกออกมาจำหน่ายเป็นจำนวนมาก ทันตแพทย์จึงควรเลือกใช้ให้ตรงกับความเหมาะสมของงานที่ทำ

โดยถ้าจำแนกเซรามิกตามโครงสร้างระดับจุลภาค (microstructure) จะสามารถแบ่งได้ 4 กลุ่มด้วยกันคือเซรามิกที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน โดยจะประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกอน ซึ่งกลุ่มแรกที่มีการผลิตคือเฟลด์สปา โดยมีค่ากำลังดัดขวาง (Flexural strength) อยู่ที่ 60-70 เมกะปาสคาล กลุ่มต่อมาจึงได้มีการเสริมความแข็งแรงให้กับกลาสเซรามิกด้วยผลึกแร่ธาตุต่าง ๆ เช่นการเสริมความแข็งแรงด้วยลูไซท์ (Leucite-reinforced glass ceramics) ในกลุ่มนี้จะมีปริมาณลูไซท์ร้อยละ 40 โดยปริมาตร ทำให้มีความแข็งแรงและมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน (Coefficient of thermal expansion) สูงกว่ากลาสเมทริกซ์ (glass matrix) ทำให้เซรามิกมีความแข็งแรงมากขึ้น มีค่ากำลังดัดขวางประมาณ 160-180 เมกะปาสคาล ทำให้สามารถนำมาทำครอบฟันบริเวณฟันหน้าได้ โดยเซรามิกชนิดนี้ที่มีในปัจจุบันได้แก่ ไอพีเอส เอ็มเพรส (IPS Empress™ ; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) ไอพีเอส เอ็มเพรส เอสเตติค (IPS Empress Esthetic™ ; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Lichtenstein) โดยจะขึ้นรูปโดยการเผาบนแบบทนความร้อน (refractory die) หรือใช้กระบวนการให้ความร้อนและการกดอัด (hot pressing technique) ซึ่งมีการให้ความร้อนและมีการกดอัดจากการทำครอบฟันด้วยขี้ผึ้งที่นำไปฝังในแบบหล่อทนความร้อนแล้วเอาไปเผาไล่ขี้ผึ้งออกทำให้เกิดช่องว่างภายใน จากนั้นจึงทำการหลอมแท่งหล่อเซรามิกแล้วอัดเข้าไปด้วยแรงดัน ทำให้ได้ครอบฟันเป็นการลดรูพรุนของชิ้นงานได้ กลาสเซรามิกกลุ่มนี้สามารถนำไปทำอินเลย์ ออนเลย์ วีเนียร์ และครอบฟันหน้าได้ ต่อมาได้มีการผลิตกลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate glass ceramics) เซรามิกกลุ่มนี้จะมีผลึกคือลิเทียมไดซิลิเกต

ซึ่งเป็นผลึกที่ถูกพัฒนามาให้มีความแข็งแรงมากกว่าผลึกลูไซท์ มีค่ากำลังดัดขวางที่ 300-400 เมกะปาสคาล เซรามิกชนิดนี้ได้แก่ ไอพีเอส เอ็มเพรสทู (IPS Empress II™ ; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liehtenstein) โดยจะขึ้นรูปวิธีเดียวกับไอพีเอส เอ็มเพรส ต่อมาได้มีการผลิตแท่งหล่อเซรามิกที่มีลักษณะผลึกที่เป็นเนื้อเดียวกันและมีความทึบแสงต่าง ๆ กัน เซรามิกชนิดนี้ได้แก่ ไอพีเอส อีแมกซ์เพรส (IPS e.max press™ ; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liehtenstein) และต่อมามีการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวิธีแคดแคม จึงมีการผลิตแท่งเซรามิกชนิดลิเทียมเมตะซิลิเกต (lithium metasilicate glass ceramic) เป็นแท่งเซรามิกสีฟ้า เมื่อให้ความร้อนตอนขึ้นรูปจะเปลี่ยนสีเป็นสีฟันธรรมชาติ เซรามิกชนิดนี้คือ ไอพีเอส อีแมกซ์แคด (IPS e.max CAD™ ; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liehtenstein) เมื่อพบว่าเซรามิกกลุ่มนี้ยังมีค่ากำลังดัดขวางไม่สูงมากนัก จึงได้มีการผลิตเซรามิกในรูปแบบที่มีแก้วลดลงและนำอลูมินาหรือเซอร์โคเนียมาเป็นส่วนประกอบหลักให้กับเซรามิก โดยเซรามิกที่มีอลูมินาเป็นส่วนประกอบหลัก (alumina based ceramics) จะเกิดพันธะกับกลาสเมทริกซ์ที่ดีกว่าลูไซท์ เซรามิกกลุ่มนี้ได้แก่ โครงเซรามิกที่แทรกด้วยแก้ว (Glass-infiltrated ceramic core) เซรามิกชนิดนี้จะค่อนข้างทึบแสงเพราะมีอลูมินาเป็นองค์ประกอบร้อยละ 85 จึงควรมีการวีเนียร์ด้วยเซรามิกที่มีความสวยงามอีกชั้นหนึ่ง เซรามิกชนิดนี้ได้แก่ อินซีแรมอลูมินา (In-Ceram Alumina) มีค่ากำลังดัดขวางอยู่ที่ 236-600 เมกะปาสคาล ใช้ทำครอบฟันหน้าและฟันหลัง แต่มีความทึบแสงจึงมีการนำออกไซด์ของแมกนีเซียม (magnesium oxide) เติมไปผสมกับออกไซด์ของอลูมิเนียม ได้เป็นผลึกสปิเนล (spinel) ที่มีความใสกว่าอลูมินา แต่มีความแข็งแรงน้อยกว่า (19) เซรามิกชนิดนี้ได้แก่ อินซีแรมสปิเนล (In-Ceram Spinell) ค่ากำลังดัดขวางอยู่ที่ 400 เมกะปาสคาล มักใช้ในการทำครอบฟันหน้า ส่วนงานครอบฟันและสะพานฟันหลังได้มีการเพิ่มความแข็งแรงให้กับอินซีแรมอลูมินาโดยการเติมเททระโกนอลเซอร์โคเนีย (tetragonal zirconia) ลงไปร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ทำให้มีค่ากำลังดัดขวาง 420-800 เมกะปาสคาล (20) เซรามิกชนิดนี้คือ อินซีแรมเซอร์โคเนีย (In-Ceram Zirconia) ซึ่งมีความขุ่น ดังนั้นจึงไม่นิยมนำมาทำครอบฟันหน้าเพราะมีผลเรื่องความสวยงาม และในกลุ่มสุดท้ายคือเซรามิกที่มีอลูมินาหรือเซอร์โคเนียเป็นส่วนประกอบหลัก (Zirconia based ceramics) ในกลุ่มที่มีโครงเซรามิกอลูมินาล้วน (Pure alumina core) มีอลูมินาเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 99.5 มีการขึ้นรูปจากห้องปฏิบัติการที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และชิ้นงานที่ได้จะนำมาวีเนียร์ด้วยเซรามิกชนิดดั้งเดิมเพื่อเพิ่มความสวยงาม เซรามิกอลูมินาล้วนมีกำลังดัดขวาง 480-700 เมกะปาสคาล (21) สามารถนำมาทำอินเลย์ ออนเลย์ ครอบฟันซี่เดียวทั้งฟันหน้าและฟันหลังได้ เซรามิกประเภทนี้ได้แก่ โปรเซรา ออลซีแรม (Procera All Ceram™ ; Noble Biocare, Sweden) ส่วนเซอร์โคเนียคือผลึกออกไซด์ของเซอร์โคเนียม (zirconium) มีคุณสมบัติทางกลคล้ายกับโลหะแต่มีสีที่คล้ายกับสีของฟัน เซอร์โคเนียจะมีการจัดเรียงตัวของผลึก 3 รูปแบบที่แตกต่างกันคือ

โมโนคลินิก (monoclinic form) คิวบิก (cubic form) เททระโกนอล (tetragonal form) โดยที่อุณหภูมิสูง (1170 – 2370 องศาเซลเซียส) เซอร์โคเนียจะมีรูปร่างผลึกเป็นเททระโกนอล และที่อุณหภูมิต่ำ (<1170 องศาเซลเซียส) ผลึกจะมีรูปร่างเป็นโมโนคลินิก ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าผลึกเททระโกนอลประมาณร้อยละ 4.4 ผู้ผลิตทำให้ผลึกเททระโกนอลเสถียรที่อุณหภูมิห้องโดยมีการผสมออกไซด์ของโลหะชนิดอื่น ๆ อีก เช่น แมงกานีสออกไซด์ (manganese oxide) แคลเซียมออกไซด์ (calcium oxide) อิตเทรียมออกไซด์ (yttrium oxide) ลงไป เมื่อเกิดรอยร้าวขึ้นในเซรามิก พลังงานความร้อนจากรอยร้าวจะเปลี่ยนผลึกเททระโกนอลไปเป็นผลึกโมโนคลินิกที่มีความเสถียรมากกว่า ซึ่งผลึกโมโนคลินิกมีขนาดใหญ่กว่าผลึกเททระโกนอล ทำให้รอยร้าวถูกเบียดให้เล็กลงเป็นการหยุดรอยร้าวได้ (22) การศึกษาส่วนใหญ่ในปัจจุบันได้ศึกษาเซอร์โคเนียที่มีการผสมอิตเทรียมออกไซด์ทำให้เพิ่มความต้านทานการแตกหักให้กับเซอร์โคเนีย โดยเซรามิกชนิดนี้มีความต้านทานแรงกด 2,000 เมกะปาสคาล มีค่ากำลังดัดขวาง 900-1,200 เมกะปาสคาล (23) จึงสามารถนำมาทำสะพานฟันหลังได้ เซรามิกชนิดนี้ได้แก่ เซอร์คอน (Cercon™; Dentsply Ceramo, NJ) ไอพีเอส อีแมกซ์ เซอร์แคด (IPS e.max ZirCAD™; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liehtenstein) ลาวา (Lava™; 3M ESPE, St Paul, MN, USA) ซึ่งสามารถขึ้นรูปด้วยวิธีแคดแคมได้

เซรามิกยังสามารถจำแนกตามกระบวนการผลิตได้เช่นกัน โดยเซรามิกกลุ่มแรกจะผลิตโดยการอัดความดัน (Pressable ceramics) ซึ่งเซรามิกชนิดอัดความดันนี้จะมีขั้นตอนการผลิตคือมีการทำแบบหล่อขี้ผึ้งขึ้นมาก่อน จากนั้นจะมีการแทนที่ขี้ผึ้งด้วยการอัดเซรามิกที่หลอมเหลวภายใต้ความดัน จากนั้นจะนำชิ้นงานที่ได้มาเคลือบผิวหรือมาเคลือบชั้นนอกด้วยเซรามิกชนิดผงกับน้ำแบบดั้งเดิม ชิ้นงานจะมีความโปร่งแสงสูง ตัวอย่างเซรามิกในระบบนี้ เช่น ไอพีเอส เอ็มเพรสวัน (IPS Empress I™ ; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liehtenstein) ที่มีส่วนประกอบเป็นลูไซท์รีอินฟอร์ซพอร์ซเลน (Leucite-reinforce porcelain) จะมีค่ากำลังดัดขวางอยู่ที่ 160-180 เมกะปาสคาล ซึ่งในปัจจุบันมีการผลิตไอพีเอส เอ็มเพรสทู ที่มีการปรับปรุงส่วนประกอบเป็นกลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate glass ceramics) ทำให้มีความแข็งแรงสูงขึ้น กลุ่มที่ 2 คือเซรามิกชนิดอินฟิลเตรด (Infiltrated ceramics) เซรามิกในระบบนี้จะผลิตโดยวิธีสลิปแคส (slip-cast) ซึ่งจะมีการแทรกซึมของแก้วที่หลอมเหลวเข้าไปในโครงร่างแกนอลูมินาที่มีความพรุน เพื่อเป็นการเพิ่มความแข็งแรง ทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงสูง ตัวอย่างเซรามิกที่ผลิตในระบบนี้ เช่น อินซีแรมสปิเนล อินซีแรมอลูมินา อินซีแรมเซอร์โคเนียซึ่งมีกำลังดัดขวางดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ส่วนการแบ่งเซรามิกตามกระบวนการผลิตกลุ่มสุดท้ายคือเซรามิกชนิดแมชชีนเนเบิล (Machinable ceramics)

เซรามิกในระบบนี้จะเป็นเซรามิกที่เป็นชิ้นสำเร็จรูป สามารถนำไปกลึงตกแต่งให้ได้รูปร่างตามต้องการโดยการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิตชิ้นงาน เป็นการนำข้อดีของ

วัสดุที่ทำครอบฟันเซรามิกทั้งซี่ เช่น ความสวยงาม ความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในช่องปาก ความคงทนของวัสดุ (24) และข้อดีของกระบวนการในการผลิตด้วยระบบแคดแคม เช่น การประหยัดเวลา การควบคุมคุณภาพชิ้นงาน (25) มารวมกัน เซรามิกในระบบนี้จะลดปัญหาเรื่องการหดตัว (shrinkage) หรือการมีรูพรุนขนาดเล็ก (microporosities) ในตัวชิ้นงานที่เกิดจากกระบวนการเผา ทำให้ได้เซรามิกที่มีความแข็งแรงสูงขึ้น และสามารถนำชิ้นงานที่ได้มาเคลือบทับด้วยเซรามิกชนิดผงกับน้ำแบบดั้งเดิมเพื่อเพิ่มความสวยงาม โดยได้มีการนำระบบแคดแคมมาใช้ในทางทันตกรรมตั้งแต่ประมาณ ค.ศ. 1971-1973 โดย Duret และ Altshuler ได้คิดค้นวิธีการบันทึกข้อมูลเพื่อแสดงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ และใช้อุปกรณ์ถ่ายภาพฟันและแปรผลลงเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยที่ระบบแคดแคมทุกระบบจะประกอบด้วยกระบวนการที่เหมือนกันคือสแกนเนอร์ (scanner) ที่ทำหน้าที่ลอกเลียนลักษณะพื้นผิว แล้วแปลงเป็นข้อมูลที่ประมวลผลได้ด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟแวร์ (software) ที่ช่วยเปลี่ยนข้อมูลที่ได้มาเป็นภาพ พร้อมทั้งสามารถช่วยออกแบบชิ้นงานตามต้องการได้ อีกส่วนประกอบหนึ่งคือเทคโนโลยีในการผลิต (production technology) ที่จะแปลผลข้อมูลที่ออกแบบไว้ถ่ายทอดออกมาเพื่อผลิตชิ้นงานตามที่ออกแบบไว้ ขั้นตอนการทำงานและส่วนประกอบของเครื่องแคดแคมมีดังนี้

ในการสร้างชิ้นงานของระบบแคดแคมเริ่มจากการใช้ผงไททาเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide) พ่นลงบนฟันที่กรอแต่งแล้ว จากนั้นถ่ายภาพฟันหลัก (optical impression) ในช่องปาก โดยใช้อุปกรณ์ช่วยถ่ายสภาพฟัน เรียกว่า ออปติคอลสแกนเนอร์ (optical scanner) เป็นระบบพื้นฐานของการวัดลักษณะพื้นผิวโดยอาศัยหลักการของการถ่ายภาพ การหักเหของแสงมาเข้ากับตัวรับ (receptor) ซึ่งจะแปลงข้อมูลบันทึกลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วคอมพิวเตอร์จะเป็นตัวคำนวณลักษณะ 3 มิติจากภาพ ซึ่งตัวออปติคอลสแกนเนอร์มีหลายวิธี เช่น การใช้กล้องถ่ายภาพในช่องปากของระบบซีเรค การใช้แสงโพลาไรซ์ (polarize) สว่างมืดสลับกันไป การใช้แสงเลเซอร์ (laser) สแกนแบบฟันในระบบซีเรคอินแลป (CEREC in Lab) เป็นต้น สแกนเนอร์อีกชนิดคือ เมคานิคอลสแกนเนอร์ (mechanical scanner) ในระบบนี้จะเป็นการวัดจากการลากไปตามพื้นผิวของแบบจำลองแล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยก่อนจะแปรผลออกมาเป็นภาพ เช่นระบบของโปรเซราเซรามิก (Procera ceramic) ซึ่งรูปแบบนี้จะมีข้อเสียคือค่าใช้จ่ายของเครื่องค่อนข้างสูงและใช้เวลาในขั้นตอนนี้นานกว่าออปติคอลสแกนเนอร์ หลังจากที่ได้ข้อมูลแล้วคอมพิวเตอร์จะทำการแปรผลเพื่อเข้าสู่โปรแกรมการออกแบบชิ้นงาน

ขั้นตอนการออกแบบและสร้างชิ้นงาน (Design / Construction) จะมีการใช้ดีไซน์ซอฟแวร์ (design software) เป็นโปรแกรมที่ถูกผลิตขึ้นเพื่อช่วยในการออกแบบชิ้นงานต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการออกแบบเฟรมเวิร์ค (framework) หรือออกแบบชิ้นงานทั้งชิ้น โดยการกำหนดค่าต่าง ๆ การออกแบบจะทำโดยการสร้างและกำหนดค่าบนจอคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนการตัดแต่งและสร้างชิ้นงาน (Fabrication) แคดแคมทุกระบบจะมีส่วนที่ใช้ในการตัดแต่งเซรามิกเพื่อให้ได้รูปแบบตามต้องการ โดยจะมีข้อมูลส่งไปยังเครื่องตัดแต่งที่มีรูปร่างลักษณะเล็กหรือใหญ่แตกต่างกันไปตามระบบ หัวกรอหลายรูปแบบและหลายขนาดซึ่งจะถูกเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานที่จะทำ โดยหัวกรอที่นำมาใช้กับเครื่องตัดแต่งชิ้นงานคือหัวกรอกากเพชร (diamond burs) ในปี ค.ศ. 1980 Brandestini และ Mormann ได้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้ในการบูรณะฟันด้วยวัสดุเซรามิกข้างเก้าอี้ (chair-side) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทันตแพทย์สามารถสร้างชิ้นงานเซรามิกบูรณะในช่องปากให้ผู้ป่วยโดยทำเสร็จภายในการนัดครั้งเดียว (26) ต่อมาในปี ค.ศ. 1987 ได้มีการผลิตเครื่องซีเรครุ่นที่ 1 มาจำหน่ายในท้องตลาดซึ่งได้รับการตอบรับที่ดีจากทันตแพทย์ทำให้มีการพัฒนาตัวเครื่องซีเรคมาเป็นรุ่นที่ 2 และรุ่นที่ 3 ตามลำดับ โดยในปี ค.ศ. 2003 บริษัทซีโรนา (Serona) ได้จำหน่ายซีเรครุ่นที่ 3 ซึ่งมีการออกแบบโปรแกรมเป็นระบบสามมิติทำให้สามารถเก็บข้อมูลโดยการถ่ายภาพฟันหลักหลายซี่ติดต่อกันและทำการประมวลผลออกมาเป็นภาพส่วนโค้งแบบจำลองฟัน (quadrant virtual model) และยังมีการพัฒนาทำให้ใช้งานได้กับวัสดุเซรามิกที่มีความแข็งแรงสูง เช่น เซอร์โคเนีย และ อิตเทรียมเซอร์โคเนียเซรามิก (Yttrium Zirconia based ceramic) (27) โดยจะมีเครื่องสแกนพิเศษสามารถใช้อ่านชิ้นงานที่ทำจากปูนได้ ทำให้ทันตแพทย์สามารถใช้เวลาในการผลิตชิ้นงานไม่นาน

ในปี ค.ศ. 2001 บริษัท 3M ESPE ได้นำแคดแคมระบบลาวา (LAVA®) มาใช้ ส่วนบริษัท Dentsply ได้นำระบบเซอร์คอน (Cercon®) ซึ่งใช้ระบบแคดแคมในการผลิต มีการสร้างชิ้นงานโดยจำลองขี้ผึ้งลงบนแบบจำลองปูน และผ่านการอ่านพื้นผิวด้วยเลเซอร์ จากนั้นประมวลผลสั่งเครื่องกลึงให้กรอแต่งก้อนเซรามิกให้ได้รูปร่างตามแม่แบบจากนั้นนำเซรามิกไปผ่านการเผาจะได้เซรามิกที่มีความแข็งแรงสูงขึ้นมาก และบริษัท KAVO ใช้ระบบเอเวอเรสต์ (Everest®) โดยวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชิ้นงานเซรามิกที่ใช้เวลาในห้องปฏิบัติการให้น้อยลง บริษัท Noble Biocare ได้ผลิตโปรเซรา (Procera®) ซึ่งใช้ระบบแคดแคมในการผลิต ทำให้มีความแนบและมีคุณภาพสูง เนื่องจากเป็นระบบที่มีฐานการผลิตที่มีขนาดใหญ่ มีการสร้างชิ้นงานจากแบบจำลองทนไฟแล้วนำไปสร้างชิ้นแกนฟัน โดยวัสดุที่ใช้ของระบบนี้จะเป็นอลูมินาหรือเซอร์โคเนีย (28)

วัสดุที่ใช้สำหรับการทำเซรามิกแคดแคมบล็อก

ในปัจจุบันมีการผลิตเซรามิกสำหรับแคดแคมบล็อกหลายชนิดโดยในกลุ่มแรกคือเซรามิกแคดแคมที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบ (CAD/CAM glass ceramic) เซรามิกกลุ่มนี้แบ่งเป็นหลายชนิดได้แก่เซรามิกแคดแคมที่มีเฟลด์สปาติกเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน (CAD/CAM-Compatible feldspathic ceramics)

โดยในปีค.ศ. 1985 ได้มีการผลิตเซรามิกบล็อกที่ทำมาจากเฟลด์สปาติก โดยผลิตวางจำหน่ายคือ วีต้ามาร์ควันบล็อก (Vita Mark™I blocks; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) (29) ซึ่งสามารถนำมาผลิตชิ้นงานอินเลย์ ออนเลย์ โดยมีการศึกษาที่ระยะเวลา 10 ปี พบว่ามีอัตราความสำเร็จ (success rate) สูงถึงร้อยละ 90.4 (30) หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 1991 ได้มีการผลิตวีต้ามาร์คทูบล็อก ซึ่งมีคุณสมบัติทางกลที่ดีกว่าวีต้ามาร์ควันบล็อก โดยมีความละเอียดของผลึกอยู่ที่ 4 ไมโครเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับวีต้ามาร์ควัน (31) วีต้ามาร์คทูประกอบด้วยซิลิกอนออกไซด์ร้อยละ 60-64 และอลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 20-23 (32) มีค่ากำลังดัดขวาง 95-105 เมกะปาสคาล เนื่องจากวีต้ามาร์คทูมีความละเอียดของผลึกค่อนข้างมากจึงทำให้มีรูพรุนน้อย สามารถขัดแต่งได้ดี และมีค่ากำลังดัดขวางเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการเคลือบทับ ทำให้มีผลทางคลินิกที่ดีและมีการวางจำหน่ายมายาวนาน (33, 34) สามารถนำมาบูรณะในฟันกรามน้อยและบริเวณฟันหน้ารวมทั้งฟันกรามใหญ่ ในความสำเร็จทางคลินิกพบว่าชิ้นงานอินเลย์ 2,862 ชิ้น มีอัตราการอยู่รอด (survival rate) สูงถึงร้อยละ 97.4 หลังจากระยะเวลาผ่านไป 4 ปี (35) และมีอัตราการอยู่รอดร้อยละ 90.6 เมื่อเวลาผ่านไป 8 ปีและอัตราการอยู่รอดร้อยละ 85.7-89 เมื่อเวลาผ่านไป 10 ปี (31, 36) ต่อมาได้มีการผลิตแคดแคมบล็อกที่มีแร่ธาตุอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบพื้นฐาน ได้แก่ เซรามิกแคดแคมที่มีไมกาเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน (CAD/CAM and mica-base ceramics) ซึ่งไมกาเป็นแร่ธาตุที่อยู่ในตระกูลซิลิเกต (silicate) ซึ่งมีโครงร่างผลึกอยู่ร้อยละ 45 โดยได้มีการผลิตวางจำหน่ายมีชื่อทางการค้าคือ ไดคอร์ (Dicor™ ; Dentsply, York, USA) ต่อมาได้ผลิตไดคอร์เอ็มจีซี (Dicor™ MGC; Dentsply, York, USA) ซึ่งมีโครงร่างผลึกสูงถึงร้อยละ 70 ทำให้มีค่ากำลังดัดขวาง 229 เมกะปาสคาล(37)

เพื่อเป็นการตอบสนองการใช้งานในบริเวณที่ต้องรองรับแรงบดเคี้ยวที่เพิ่มขึ้นจึงได้มีการผลิตเซรามิกแคดแคมที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วยลูไซท์ (CAD/CAM with leucite-reinforced ceramics) ซึ่งตัวแรกที่ได้มีการผลิตคือโปรแคดบล็อก (ProCAD™ Blocks; Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ได้ถูกผลิตขึ้นในปี ค.ศ. 1998 มีค่ากำลังดัดขวางอยู่ที่ 127 เมกะปาสคาล (38) มีความละเอียดของผลึกอยู่ที่ 0.1-5 ไมโครเมตร (39) ปัจจุบันมีการพัฒนามาเป็น ไอพีเอส เอ็มเพรส แคด (IPS Empress CAD™; Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) มีปริมาณลูไซท์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 35-45 และมีขนาดความละเอียดของผลึกอยู่ที่ 1-5 ไมโครเมตร มีค่ากำลังดัดขวาง 160 เมกะปาสคาล (40) ซึ่งใกล้เคียงกับวีต้ามาร์คทูบล็อก โดยไอพีเอส เอ็มเพรสแคดสามารถนำมาใช้ทำครอบฟันฟันหน้า อินเลย์ ออนเลย์ วีเนียร์รวมถึงครอบฟันฟันหลัง โดยไอพีเอส เอ็มเพรสแคดได้มีการศึกษาทางคลินิกในปี ค.ศ. 2002 ที่ทำการบูรณะด้วยอินเลย์ ออนเลย์ พบอัตราการอยู่รอดสูงถึงร้อยละ 96 ในเวลา 4.5 ปี และมีอัตราการอยู่รอดเป็นร้อยละ 91 ที่ระยะเวลา 7 ปี (41) จากนั้นได้มีการผลิตเซรามิกแคดแคมชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (CAD/CAM milling lithium disilicate reinforced

ceramics) ออกวางจำหน่าย ลิเทียมไดซิลิเกตมีค่ากำลังดัดขวางสูงกว่าชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลูไซท์ โดยมีค่ากำลังดัดขวางอยู่ที่ 350-400 เมกะปาสคาล ในปี ค.ศ. 2006 ได้มีการผลิตไอพีเอสอีแมกซ์แคด (IPS e.max CAD™; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) มีให้เลือกหลายเฉดสี โดยก่อนที่จะนำไปเผา แท่งเซรามิกจะมีสีฟ้าโดยมีค่ากำลังดัดขวางอยู่ที่ 130±30 เมกะปาสคาล ทำให้ง่ายต่อการขึ้นรูป แต่เมื่อนำไปผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียสจะทำให้เซรามิกมีความแข็งแรงสูงถึง 360 เมกะปาสคาล และจะเปลี่ยนสีจากสีฟ้าไปเป็นสีที่ได้เลือกไว้ในตอนแรก (42) เหมาะสำหรับทำชิ้นงานอินเลย์ ออนเลย์ วีเนียร์ ครอบฟันฟันหน้า ครอบฟันฟันหลังมีการศึกษาพบอัตราการอยู่รอดของครอบฟันซี่เดี่ยว (single crown) อยู่ที่ร้อยละ 97.4 (43) ในขณะเดียวกันมีการนำเซรามิกแคดแคมมาเสริมความแข็งแรงด้วยแก้วของโลหะชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เซรามิกแคดแคมชนิดที่มีแก้วของอลูมินาและเซอร์โคเนียเป็นองค์ประกอบ (CAD/CAM and glass infiltrated alumina and zirconia ceramics)

ในปีค.ศ. 1993 ได้มีการผลิตอินซีแรม (InCeram™; Vita Zahnfabrik , Bad Sackingen, Germany) ที่มีองค์ประกอบของอลูมินา สปิเนล หรือเซอร์โคเนีย (InCeram™ Alumina, Spinell and Zirconia) โดยมีค่ากำลังดัดขวางอยู่ที่ 450-600 , 350, 700 เมกะปาสคาล ตามลำดับ (44) มีอัตราการอยู่รอดของอินซีแรมอลูมินาที่ 5 ปีอยู่ที่ร้อยละ 92 ส่วนอินซีแรมสปิเนลอยู่ที่ร้อยละ 100 (45)

ชิ้นงานทุกชิ้นที่นำไปใช้ในช่องปาก ไม่ว่าจะเป็นสิ่งประดิษฐ์ เช่น ฟันปลอม สะพานฟัน ครอบฟัน หรือการอุดฟันด้วยวัสดุบูรณะควรมีการตกแต่ง ขัดให้เรียบและขัดให้เงาเสียก่อน โดยเฉพาะผิวด้านนอกที่สัมผัสกับลิ้นและเนื้อเยื่อในช่องปาก โดยจุดมุ่งหมายของการตกแต่งและการขัดชิ้นงานเพื่อให้ได้พื้นผิวที่เรียบที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ในการขัดแต่งชิ้นงานเซรามิก ในบางครั้งอาจต้องมีการปรับแต่งแก้ไขรูปร่างของวัสดุโดยการกรอ (grinding) เมื่อได้รูปร่างที่ต้องการก็จะทำการขัดเรียบ (finishing) และการขัดมัน (polishing) โดยเป็นการลบรอยขีดตื้น ๆ ที่เหลือบนพื้นผิวให้หมด ทำให้ผิวลื่นเป็นเงาเพื่อไม่ให้มีคราบจุลินทรีย์มาเกาะ หรือถ้าคราบจุลินทรีย์มาเกาะก็สามารถทำการขัดถูออกได้ง่าย

ในกรณีที่ผิวเซรามิกมีความขรุขระเกิดขึ้นทำให้ง่ายต่อการยึดเกาะของเชื้อแบคทีเรีย โดยความหยาบพื้นผิวที่มากขึ้นจะสนับสนุนให้เกิดการยึดเกาะของเชื้อโรคที่มีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้อวัยวะปริทันต์บริเวณนั้นเกิดการอักเสบตามมา มีหลายงานวิจัยสนับสนุนว่าการกรอขัดแต่งให้ชิ้นงานมีความเรียบสามารถทำให้ลดอัตราการยึดเกาะของเชื้อแบคทีเรียได้ (5, 46, 47) ความหยาบพื้นผิวที่มีมากกว่า 0.2 ไมโครเมตรจะทำให้เกิดการยึดเกาะของเชื้อแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (48, 49) และนอกจากนี้พื้นผิวที่ขรุขระยังมีผลต่อฟันคู่สบ โดยพบว่าพื้นผิววัสดุ

บูรณะที่มีความขรุขระจะส่งผลทำให้ผิวเคลือบฟันหรือวัสดุบูรณะของฟันคู่สบสึกกร่อน ยิ่งพื้นผิวมีความขรุขระมากจะทำให้ฟันคู่สบสึกมากเช่นกัน (50, 51) โดยการสึกของฟันคู่สบยังขึ้นกับลักษณะชนิดวัสดุที่ใช้สร้างชิ้นงานเซรามิก (52) มีการศึกษาพบว่าวัสดุบูรณะในช่องปากควรมีความหยาบผิวไม่เกิน 0.5 ไมโครเมตรเนื่องจากถ้าเกิดความหยาบพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไป 0.5 ไมโครเมตรจะทำให้รับรู้ได้โดยลิ้นสัมผัส (53)

ในการศึกษาถึงความเรียบของพื้นผิวเซรามิกชนิดต่าง ๆ จะประเมินได้จากค่าความหยาบพื้นผิวซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญของพื้นผิวนั้น ๆ มีผลเพิ่มความเสียดทานและมีผลต่อการยึดเกาะของคราบจุลินทรีย์ ปัจจุบันมีหลายวิธีที่จะทำให้ทราบว่าพื้นผิวมีความหยาบมากน้อยเพียงใด เช่น การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope:SEM) การใช้กล้องจุลทรรศน์อะตอมมิกฟอซส์ (atomic force microscopy: AFM) การใช้เครื่องโปรฟิลโลมิเตอร์ (Profilometer) เป็นต้น เมื่อต้องการดูลักษณะพื้นผิวของวัสดุบูรณะสามารถใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูง มีประโยชน์อย่างมากในการนำมาเป็นข้อมูลประกอบการบรรยายเกี่ยวกับลักษณะของพื้นผิวในเชิงคุณภาพและบอกถึงการเปลี่ยนแปลงพื้นผิว โดยเมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดจะทำให้เห็นภาพของวัสดุที่มีความละเอียดสูงได้อย่างชัดเจน โดยเป็นวิธีที่ง่าย สะดวกรวดเร็ว ไม่ทำลายพื้นผิวทดสอบ กล้องจุลทรรศน์ชนิดอะตอมมิกฟอซส์นำมาใช้ในการประเมินความขรุขระพื้นผิวโดยใช้เข็มกราด (scanning probe microscope) โดยจะใช้เข็มปลายแหลมยึดปลายข้างหนึ่งไว้แต่ยังสามารถขยับได้ ลากไปมาบนพื้นผิววัตถุที่ต้องการตรวจสอบ และจะใช้การยิงแสงเลเซอร์ให้ตกกระทบเข็มปลายแหลมแล้วสะท้อนเข้าไดโอดชนิดแสง (photo diode) เพื่อประมวลเป็นภาพพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างในรูป 3 มิติ วิธีนี้สามารถใช้ได้กับชิ้นงานที่เป็นตัวนำหรือฉนวนไฟฟ้าได้และการประเมินพื้นผิววิธีนี้สามารถดูภาพที่เกิดขึ้นแบบเวลาจริง (real time) ได้ แต่การประเมินวิธีนี้จะใช้เวลาในการสแกนพื้นที่ค่อนข้างนาน (54) กล้องจุลทรรศน์อะตอมมิกฟอซส์มีทั้งแบบที่ใช้การทำงานแบบสัมผัส (contact mode) ซึ่งจะทำให้ได้รายละเอียดที่ดี กับการวัดที่แตะด้วยแรงที่แผ่วเบา (tapping mode) จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อผิวชิ้นงานตัวอย่างน้อยกว่าในการวัดแบบสัมผัส ในขณะที่การใช้เครื่องโปรฟิลโลมิเตอร์เป็นการวัดปริมาณการสูญเสียพื้นผิวของวัตถุจากการสึกด้วยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวซึ่งแบ่งการวัดได้ 2 วิธีคือ การวัดที่เครื่องมือไม่สัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุ (non-contact gauge) วิธีนี้จะใช้แสงหรือเลเซอร์ชนิดต่าง ๆ ยิงไปตรงพื้นผิวที่จะวัด เมื่อแสงตกกระทบจะเกิดการสะท้อนไปยังตัวรับซีซีดี (CCD receptor) (55) (55) (55) (55) (55) (55) (55) (55) วิธีการนี้ไม่เหมาะกับพื้นผิวที่มีความโปร่งแสง มันวาว หรือมีการสะท้อนสูง อีกวิธีคือการวัดที่เครื่องมือสัมผัสกับพื้นผิววัตถุ (contact gauge) เครื่องมือนี้จะมีปลายเป็นเข็มลาก (stylus) ซึ่งเป็นส่วนที่ไปสัมผัสกับผิววัตถุ สามารถใช้วัดในพื้นผิวที่เลเซอร์ไม่สามารถวัดได้ โดยพื้นผิวที่จะวัดต้องมีความ

แข็งแรงในระดับหนึ่ง โดยเครื่องจะวัดและแปลผลออกมาเป็นตัวเลขในระบบดิจิตอล แสดงค่าความขรุขระพื้นผิวเฉลี่ยของวัตถุที่ทำการตรวจสอบ โดยลักษณะของเข็มลากจะประกอบด้วย ความยาวของเข็มลาก (effective length) ความสูงของเข็มลาก (shank length) รูปร่างและขนาดของส่วนปลายเข็มลาก (tip radius) จุดหมุน (pivot point) ซึ่งการวัดความหยาบพื้นผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบทั้ง 2 แบบนั้นสามารถวัดออกมาได้ทั้งแบบ 2 และ 3 มิติ โดยเมื่อเครื่องเริ่มวิเคราะห์พื้นผิวเครื่องจะแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขในระบบดิจิตอล รวมทั้งแสดงกราฟที่มีการขยายขนาดทั้งความสูงและความยาวให้สามารถรับรู้ได้ด้วยสายตา โดยกราฟที่แสดงผลจะมีค่าของจุดสูงสุด (peak) และจุดลึกสุด (valley)(55)

ในปัจจุบันนิยมใช้วิธีการวัดความหยาบพื้นผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวชนิดเข็มลาก เนื่องจากการวัดด้วยวิธีนี้เป็นการวัดพื้นผิวโดยตรง เป็นวิธีที่มีความละเอียดมากเพียงพอและสามารถทำซ้ำได้ แต่เครื่องวัดความหยาบพื้นผิวมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและไวต่อการสั่นสะเทือน จึงควรตั้งเครื่องอยู่ในบริเวณที่เหมาะสม รวมถึงการเลือกหัวที่ใช้ในการทดสอบ เช่น ถ้าวัสดุที่จะทดสอบมีพื้นผิวที่แข็งมากหรือเป็นพื้นผิวที่มีเพชรเป็นส่วนประกอบจะไม่เลือกใช้หัวที่ทำจากเพชรเพราะจะทำให้ปลายที่เป็นหัวเข็มเพชรนั้นทื่อ หรือกรณีที่วัสดุทดสอบมีความมันวาว ก็จะไม่สามารถใช้แสงเลเซอร์อ่านค่าได้ การประเมินค่าความหยาบพื้นผิวของวัสดุนิยมใช้ค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นเป็นพารามิเตอร์ในการรายงานผลเนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่คงที่

เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว TalyScan 150

เป็นเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวที่สามารถวัดพื้นผิวได้ทั้งแบบสัมผัสและไม่สัมผัสกับผิววัตถุ โดยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวนี้สามารถวัดความหยาบพื้นผิวชิ้นงานได้ทั้งแบบ 2 และ 3 มิติ โดยมีมิติการสแกนตั้งแต่ขนาด 50×50 ไมโครเมตร ไปจนถึง 97× 97 ไมโครเมตร โดยวัตถุที่จะนำมาสแกนจะมีความสูงไม่เกิน 83 มิลลิเมตร และมีน้ำหนักไม่เกิน 5 กิโลกรัม ในการสแกนพื้นผิวแบบสัมผัสจะมีเข็มลากที่มีปลายทำจากเพชร (diamond stylus) ลักษณะรูปทรงกลม (spherical) ขนาดรัศมี 2 ไมโครเมตร โดยจะลากไปบนพื้นผิววัตถุ เครื่องนี้สามารถสแกนผิววัตถุได้ด้วยความเร็วสูงสุด (maximum scanning speed) 10,500 ไมโครเมตรต่อวินาที โดยมีระยะห่างของเส้นสแกนแต่ละเส้น (minimum spacing) ที่น้อยที่สุดเท่ากับ 0.5 ไมโครเมตรสำหรับระยะห่างในแนวแกน X และ 5 ไมโครเมตรสำหรับระยะห่างในแนวแกน Y (56) เมื่อทำการสแกนพื้นผิวแล้วจะได้ข้อมูลออกมาเป็นตัวเลข ซึ่งผู้ใช้จะต้องกรองข้อมูลด้วยตัวกรองที่เหมาะสมก่อน ซึ่งมาตรฐานไอเอสโอหมายเลข 4288 ปี 1996 ได้กำหนดค่าตัด (cut-off) ที่เหมาะสม โดยอ้างอิงจากความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้น (Ra) หรือค่าเฉลี่ยระยะทางที่มากที่สุดจากจุดสูงสุดของกราฟไปยังจุดต่ำสุดของกราฟ (Rz) ไว้ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าตัดสำหรับการวัดลักษณะพื้นผิวที่ไม่เกี่ยวข้องกับเวลา (non-periodic measurement) ตามมาตรฐานไอเอสโอหมายเลข 4288:1996 (57)

ค่าอ้างอิง		ค่าตัด
Rz (μm)	Ra (μm)	(mm)
0-0.1	0-0.02	0.08
>0.1-0.5	>0.02-0.1	0.25
>0.5-10	>0.1-2	0.8
>10-50	>2-10	2.5
>50	>10	8

ความถูกต้องในการวัดความหยาบพื้นผิวด้วยเครื่องโปรฟิลโลมิเตอร์ขึ้นอยู่กับการวางตำแหน่งชิ้นงานให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องและควรเป็นตำแหน่งเดิมในทุก ๆ การวัด ดังนั้นจึงควรมีการทำตัวยึดชิ้นงานที่จำเพาะกับชิ้นงานตัวอย่างที่จะทำการวัด

สิ่งสำคัญที่จะทำให้ชิ้นงานมีพื้นผิวที่เรียบต้องผ่านกระบวนการขัดแต่งชิ้นงาน โดยต้องอาศัยคุณสมบัติของตัวขัดถู (abrasive) ที่ต้องมีความคมและมีความแข็งผิวสูงกว่าตัวที่ถูกขัดถู (substrate) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการขัดถูได้แก่ ขนาดของผงขัดถู โดยที่เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่จะขัดได้มากกว่าขนาดเล็ก รูปร่างของผงขัดถู ถ้าอนุภาคมีขอบที่คมจะสามารถตัดพื้นผิวได้ลึกมากกว่าขอบทู่ แต่จำนวนรอยขีด (scratches) จะมากกว่า ความเร็วที่ใช้ในการขัดถู ถ้าใช้ความเร็วสูงจะขัดพื้นผิวได้เร็วกว่าและมากกว่าความเร็วต่ำ แรงกด ถ้าใช้แรงกดมากจะทำให้เกิดความร้อนจากการเสียดทานจึงควรมีการใช้น้ำขณะขัดถูเพื่อลดความร้อนจากการเสียดทานและล้างเศษผงที่ตกค้างออก

นอกจากนี้ชนิดของวัสดุที่ถูกขัดถูก็มีผล ความแข็งและความสามารถในการขัดให้เรียบของเซรามิกแต่ละชนิดก็แตกต่างกันไป จึงมีการผลิตหัวกรอที่จะนำมาใช้ในการขัดแต่งเซรามิกหลายชนิดหลายรูปทรงหลายขนาดแตกต่างกันไปตามบริษัทผู้ผลิตเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยหัวกรอที่นิยมใช้ในการกรอแต่งรูปร่างและหัวกรอที่ใช้ในการขัดมันได้แก่ หัวกรอกากเพชร (diamond burs) คือการนำผงกากเพชรที่มีขนาดต่าง ๆ ไปยึดบนแกนโลหะ ซึ่งความละเอียดของผงกากเพชรมีตั้งแต่ 150 , 125 , 100 , 50 , 30 , 15 , 8 ไมครอน ซึ่งโดยทั่วไปทางบริษัทจะมีการนำสีต่าง ๆ มาคาดบนแกนเพื่อระบุความละเอียดของหัวกรอ เช่นสีเขียวคือหัวกรอกากเพชรที่มีความละเอียดของผงขัดอยู่ที่ 150 ไมโครเมตรเป็นต้น การใช้หัวกรอกากเพชรในการกรอแต่งรูปร่างชิ้นงาน ทำโดยการกรอแต่งชิ้นงานโดยเริ่มจากหัวกรอที่มีความหยาบและตามด้วยหัวกรอที่มีความละเอียดตามลำดับ ซึ่งหัวกรอ

ถูกออกแบบให้มีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันไปเพื่อให้เหมาะสำหรับการใช้งานในช่องปากแต่ละบริเวณ เช่นหัวกรอกากเพชรแบบปลายแหลม (flame shape) เหมาะสำหรับการเข้าทำงานในบริเวณเล็ก ๆ ได้ดี หัวกรอรูปรักบี้ (rugby shape) และหัวกรอรูปกลม(ball shape) เหมาะสำหรับการกรอแต่งบริเวณพื้นผิวที่มีลักษณะโค้ง เช่น แอ่งด้านลิ้นของฟันหน้า (palatal fossa)

หัวกรอคาร์ไบด์ (tungsten carbide finishing burs) มีลักษณะเป็นใบมีด (blade or flute) ซึ่งมีจำนวนต่างกันตั้งแต่ 8 , 12 , 16 , 20 และ 30 ใบ หรือ ฟลูท โดยหัวกรอที่มีจำนวนใบมีดน้อยจะมีความสามารถในการตัดที่มากกว่า แต่จะมีความเรียบที่น้อยกว่าหัวกรอที่มีจำนวนใบมีดมาก

หัวกรอหิน (stones) คือการนำผงขัดไปหลอมภายใต้ความดันจนได้หัวกรอที่มีลักษณะแข็ง หัวกรอหินที่ใช้ในปัจจุบันได้แก่ หัวกรอหินสีเขียว (green stone) เป็นหัวกรอที่เกิดจากการนำผงซิลิกอนคาร์ไบด์ (silicon carbide) มาหลอมภายใต้ความดัน และหัวกรอหินสีขาว (white stone) คือการนำผงอลูมิเนียมออกไซด์มาหลอมภายใต้ความดัน สามารถใช้ขัดแต่งชิ้นงานเซรามิกและเรซินคอมโพสิตได้เช่นกัน

หัวขัดยางที่มีความยืดหยุ่น (elastic bonded abrasive) เป็นการนำผงขัดไปรวมกับยางและทำให้แข็งตัว ได้เป็นลักษณะหัวขัดยาง ผงขัดที่นิยมใช้ในหัวขัดยางคือ อลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide) ซึ่งหัวขัดยางมีข้อดีคือมีการสึกช้า สามารถนำไปฆ่าเชื้อแล้วนำกลับมาใช้ซ้ำได้ ในบางบริเวณมีการใช้แผ่นขัดและแถบขัด (abrasive disc, abrasive strip) ซึ่งเป็นการนำผงขัดความละเอียดต่าง ๆ ไปเคลือบบนแผ่นวัตถุ เช่น กระดาษ โลหะ โดยนิยมใช้ผงขัดอลูมิเนียมออกไซด์และผงกากเพชร โดยแผ่นขัดมีลักษณะกลม แตกต่างกันตามขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางและมีความหนาแตกต่างกันไป ส่วนแถบขัดมีการนำผงขัดที่มีความละเอียดต่าง ๆ มาเคลือบไว้ในแต่ละด้าน ตรงกลางจะไม่มีผงขัดอยู่ เหมาะกับการขัดด้านประชิด (proximal) เช่น แถบขัดโลหะ (metal strip) สามารถนำมาใช้ขัดเซรามิกได้ โดยมีการเคลือบผงกากเพชรตามความละเอียดที่แตกต่างกัน และในขั้นตอนสุดท้ายของการขัดวัสดุบูรณะนิยมใช้ครีมขัด (polishing paste) โดยที่แต่ละบริษัทจะผลิตหัวขัดที่ใช้คู่กับครีมขัด โดยหัวขัดอาจจะเป็นหัวขัดผ้า หัวขัดขนสัตว์ โดยหัวขัดจะมีลักษณะนิ่มและสามารถกักเก็บผงขัดไว้ในหัวขัดได้ ผงขัดที่อยู่ในครีมขัดนิยมใช้ผงอลูมิเนียมออกไซด์และผงกากเพชร ส่วนมากจะนำมาใช้ร่วมกับกลีเซอรีน (glycerin)

เมื่อทำการลองชิ้นงานในช่องปากแล้วต้องมีการกรอแก้จุดสัมผัสและรูปร่างให้ถูกต้องเหมาะสม จะต้องทำการขัดเรียบโดยจะใช้หัวกรอหินสีขาวหรืออาจใช้หัวยาง ทำการขัดแต่งโดยเลือกตามลักษณะรูปร่างที่เหมาะสมกับบริเวณที่จะทำการขัดแต่ง จากนั้นจึงทำการขัดมัน โดยจะใช้หัวยางขัดชนิดที่มีความละเอียดเรียงตามลำดับและตามด้วยครีมขัด เช่นครีมขัดกากเพชร (diamond paste) แต่ในขั้นตอนสุดท้าย ควรมีการส่งชิ้นงานกลับไปทำการเคลือบผิวซ้ำที่ห้องปฏิบัติการก่อนที่

จะยึดชิ้นงานให้กับผู้ป่วยเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับชิ้นงานและเป็นการกำจัดรอยตำหนิ (surface flaws) บนผิวเซรามิกได้ (58, 59) แต่ในกรณีที่ทันตแพทย์ไม่มีเตาอบในสถานที่ปฏิบัติงาน การส่งชิ้นงานกลับไปที่ห้องปฏิบัติการเพื่อทำการเคลือบผิวซ้ำทำให้ผู้ป่วยต้องเสียเวลามาใส่ชิ้นงานอีกครั้ง ในบางกรณีก็มีข้อจำกัดทำให้ไม่สามารถนำชิ้นงานไปเคลือบผิวซ้ำได้ เช่น มีการกรอแก้ไขการสบฟันเพิ่มภายหลังที่ทำการยึดชิ้นงานในช่องปากผู้ป่วยไปแล้ว ทันตแพทย์จึงต้องใช้วิธีการขัดเรียบและการขัดมันแทนการเคลือบผิวซ้ำเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความเรียบมากที่สุด ดังนั้นจึงทำให้มีการศึกษาค้นคว้าเพื่อที่จะหาวิธีและอุปกรณ์ในการขัดแต่งผิวเซรามิกให้มีความเรียบใกล้เคียงกับเซรามิกที่ผ่านการเคลือบผิว

Hulterstrom และคณะ (60) พบว่าการใช้หัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ (SofLex™ polishing disc ; 3M ESPE, St Paul, MN, USA) และชุดขัดโชฟุพอร์ซเลน ลามิเนทโพลิชชิง (Shofu® Porcelain Laminate Polishing Kit ; Shofu Inc, Kyoto, Japan) ตามด้วยครีมขัดกากเพชร พบว่าให้ผิวที่เรียบมากกว่าเซรามิกที่มีการเคลือบผิว ทำให้ลดการทำลายฟันคู่สบได้ และการใช้หัวขัดกระดาษทรายรูปแผ่นกลมควรมีการไล่ลำดับจากหัวที่มีความหยาบมากที่สุดไปหัวขัดที่มีความละเอียดที่สุดและควรหลีกเลี่ยงการทำให้เกิดความร้อนที่มากจนเกินไป ดังนั้นเมื่อมีการขัดเซรามิกในช่องปากจึงควรทำภายใต้สภาวะที่ใช้น้ำร่วมด้วย

Klausner และคณะ (16) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผิวพอร์ซเลนที่เคลือบผิวกับพอร์ซเลนที่ผ่านการขัดผิวด้วยวิธีต่าง ๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดเพื่อดูความเรียบของพื้นผิวพอร์ซเลน พบว่าการขัดผิวพอร์ซเลนด้วยชุดหัวขัดโชฟุ (Shofu® Porcelain Adjustment Kit ; Shofu Dental Corp., Menlo Park, California) ซึ่งประกอบด้วยหัวขัด 4 ชนิด ได้แก่ หัวกรอหินดูราไวท์ (Dura White Stone) หัวขัดเซรามิสต์มาตรฐาน (Standard Ceramiste Point) หัวขัดเซรามิสต์อุลตรา (Ultra Ceramiste Point) หัวขัดเซรามิสต์อุลตราทู (Ultra II Ceramiste Point) พบว่าให้ผิวที่เรียบไม่แตกต่างจากพอร์ซเลนที่มีการเคลือบผิว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Tholt และคณะ (17) ที่ได้ทำการศึกษาถึงความเรียบของพื้นผิวเซรามิก 3 ชนิด ได้แก่ เซรามิกวิต้าดัวร์ อัลฟา (Vitadur® Alpha ; Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) ไอพีเอส เอ็มเพรสทู (IPS Empress II™ ; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) ออลซีแรม (AllCeram) โดยมีวิธีการขัดที่แตกต่างกันและใช้เครื่องมือในการอ่านค่าเฉลี่ยความขรุขระพื้นผิวที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ กล้องจุลทรรศน์ชนิดอะตอมมิกฟอซส์และโปรฟิลโลมิเตอร์ โดยจากการศึกษาพบว่าพื้นผิวเซรามิกที่ผ่านการขัดแต่งมีความเรียบไม่แตกต่างกับเซรามิกที่มีการเคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มที่ใช้โปรฟิลโลมิเตอร์ในการวัดค่าความขรุขระของพื้นผิว ส่วนการอ่านผลค่าเฉลี่ยความขรุขระด้วย

กล้องจุลทรรศน์ชนิดอะตอมมิกฟอซส์พบว่าการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ ไม่ทำให้พื้นผิวเซรามิกเรียบเท่ากับกลุ่มที่เคลือบผิว

Patterson และคณะ (14) พบว่าการใช้หัวกรอกากเพชรที่มีความละเอียด 15 ไมโครเมตร (15 micron grit-yellow band) สามารถกรอแต่งผิวเซรามิกให้มีความเรียบมากกว่าการใช้หัวกรอกากเพชรที่มีความละเอียด 30 ไมโครเมตร (30 micron grit-red band) แต่เมื่อทำการขัดแต่งชิ้นงานต่อด้วยชุดขัดพอร์ซเลน ไม่สามารถทำให้ผิวเซรามิกมีความเรียบเท่ากับผิวเซรามิกที่มีการเคลือบผิว ซึ่งก่อนหน้านี้เขาได้ทำการศึกษาถึงการขัดแต่งพอร์ซเลนด้วยชุดขัดแต่งพอร์ซเลนที่มีจำหน่ายในท้องตลาด โดยได้ใช้หัวกรอกากเพชรที่มีความละเอียดขัดชิ้นงานแล้วจึงขัดซ้ำด้วยชุดหัวขัดพอร์ซเลนโดยเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด พบว่ามีความเรียบมากขึ้นแต่ไม่เท่าพอร์ซเลนที่ถูกเคลือบผิวมาแล้วเช่นกัน (13)

Fuzzi และคณะ (15) ได้ทำการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดและโปรฟิลโลมิเตอร์ พบว่าเมื่อทำการขัดผิวพอร์ซเลนด้วยหัวขัดยางตามด้วยครีมขัดกากเพชรทำให้ค่าความขรุขระพื้นผิวต่ำลงและเมื่อดูผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดพบว่าผิวของพอร์ซเลนที่ผ่านการขัดมีความเรียบไม่เท่าพอร์ซเลนที่มีการเคลือบผิว ซึ่งในการศึกษานี้ได้นำครีมขัดกากเพชรมาใช้ร่วมด้วย พบว่าเมื่อใช้หัวขัดร่วมกับครีมขัดกากเพชรทำให้มีความเรียบที่มากขึ้น

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวัสดุและวิธีการขัดเซรามิกทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความเรียบมากกว่าเซรามิกที่ผ่านการเคลือบผิว โดยการศึกษาของ Jung (11) ได้มีการนำเซรามิกไอพีเอส เอ็มเพรส มาใช้ในการศึกษาโดยทำการขัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อขัดเซรามิกด้วยหัวกรอกากเพชรความละเอียด 30 ไมโครเมตรตามด้วยหัวกรอคาร์ไบด์ 16 ฟลูท แล้วตามด้วยครีมขัดกากเพชร หรือการขัดด้วยหัวกรอกากเพชรความละเอียด 30 ไมโครเมตร ตามด้วยหัวกรอกากเพชรความละเอียด 20 ไมโครเมตร แล้วตามด้วยครีมขัดกากเพชรจะทำให้เซรามิกมีพื้นผิวที่เรียบกว่าเซรามิกที่มีการเคลือบผิว โดยปกติเซรามิกที่ผ่านการเคลือบผิวจะเป็นมาตรฐานของลักษณะที่ยอมรับได้ทางคลินิก ซึ่งจากการศึกษานี้พบว่าเมื่อใช้ครีมขัดกากเพชรหลังจากที่มีการใช้หัวขัดอย่างเหมาะสมจะทำให้เกิดผลที่ดี ซึ่งอาจเกิดจากขนาดของผงกากเพชรในครีมขัดกากเพชรที่มีขนาดเล็กสามารถทำให้เกิดความเรียบมันของผิวเซรามิก หรือขึ้นอยู่กับลักษณะธรรมชาติของตัววัสดุเซรามิกเอง โดยจากการศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบการขัดเซรามิกกับการขัดเรซินคอมโพสิต พบว่าเซรามิกสามารถขัดแต่งให้เรียบได้มากกว่าเรซินคอมโพสิต เนื่องจากลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันของตัววัสดุเซรามิกซึ่งประกอบไปด้วยผลึกลูไซท์ที่เรียงตัวกันแน่นภายในกลาสเมทริกซ์ (glass matrix) แต่เรซินคอมโพสิตมีความแตกต่างกันในเนื้อของวัสดุที่ประกอบไปด้วยอนุภาคแทรก (fillers) ที่อยู่ในเรซินเมทริกซ์ (resin matrix) ทำให้สามารถขัดแต่งให้เรียบได้ยาก แต่ก็มีการศึกษาที่ให้ผลต่างกันโดย Richard และคณะ

พบว่าการใช้ครีมขัดกากเพชรมีผลทำให้พื้นผิวเซรามิกเรียบกว่าเซรามิกที่ผ่านการเคลือบทับเมื่อดูด้วยตาเปล่าแต่เมื่อดูผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดพบว่าเซรามิกที่ผ่านการเคลือบทับมีพื้นผิวที่เรียบกว่าเซรามิกที่ขัดด้วยครีมขัดกากเพชร (61)

Haywood และคณะ (62) ได้ศึกษาพบว่าวิธีที่ดีที่สุดในการขัดพอร์ซเลนคือการใช้หัวกรอกากเพชรและหัวคาร์ไบด์ 30 ฟลูท ตามด้วยครีมขัดกากเพชร พบว่าผลึกของกากเพชรในครีมขัดที่ละเอียดจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ Scurria และคณะ (63) พบว่าการใช้หัวคาร์ไบด์ 30 ฟลูทไม่ได้ทำให้พื้นผิวเรียบ แต่การใช้หัวกรอกากเพชรตามด้วยครีมขัดกากเพชรทำให้เกิดพื้นผิวที่เรียบที่สุด การนำครีมขัดกากเพชรมาใช้ภายหลังจากการขัดชิ้นงานด้วยหัวขัดต่าง ๆ แล้วนำมาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนชนิดส่องกราด พบว่ามีพื้นผิวที่เรียบกว่าการที่ไม่ได้ใช้ครีมขัดกากเพชรร่วมด้วย ซึ่งน่าจะเกิดจากการที่ครีมขัดกากเพชรสามารถช่วยทำให้พื้นผิวมีความมน ลดความขรุขระลงได้ (15, 64, 65) แต่ประสิทธิภาพของครีมขัดกากเพชรยังไม่เป็นที่ทราบชัดเจน

การศึกษาของ Wright และคณะ (66) ได้ทำการขัดแต่งพอร์ซเลนชนิดที่มีอุณภูมิเผาต่ำ (ultralow-fusing porcelain) ด้วยวิธีที่แตกต่างกันโดยใช้ชุดขัดที่มีความแตกต่างกัน 3 ชนิด โดยมีกลุ่มควบคุมเป็นเซรามิกที่มีการเคลือบผิว พบว่าชิ้นพอร์ซเลนทุกชิ้นมีพื้นผิวที่เรียบกว่ากลุ่มควบคุมที่มีการเคลือบผิวซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ward และคณะ (67) ที่ได้ทำการศึกษาถึงผลของการขัดแต่งเซรามิกที่มีอุณหภูมิเผาต่ำด้วยวิธีต่าง ๆ กันเปรียบเทียบกับเซรามิกที่มีการเคลือบผิว โดยพบว่าการขัดด้วยหัวขัดต่าง ๆ ทำให้ผิวเซรามิกเรียบกว่ากลุ่มเซรามิกที่มีการเคลือบผิวเช่นกัน Rosentiel และคณะ (68) พบว่าพอร์ซเลนที่มีอุณภูมิเผาต่ำเมื่อนำมาขัดจะทำให้มีความทนความเค้น (fracture toughness) ได้มากกว่าพอร์ซเลนที่เคลือบผิว แสดงให้เห็นว่าการขัดมันไม่เพียงแต่จะทำให้มีพื้นผิวที่เรียบขึ้น แต่ยังทำให้มีคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ดีขึ้นอีกด้วย

เมื่อเซรามิกได้รับการขัดแต่งให้มีความเรียบมันก็ส่งผลดีต่อการใช้งานของผู้ป่วย ทำให้เกิดความสวยงาม แต่ถ้าเซรามิกมีพื้นผิวที่ขรุขระจะทำให้เกิดผลเสียคือทำให้ฟันคู่สบสึก ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่พบในการบูรณะด้วยเซรามิก ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการสึกของฟันคู่สบได้แก่ ความเรียบของผิวเซรามิก ลักษณะและโครงสร้างของเซรามิก รวมถึงกระบวนการผลิตเซรามิก ทำให้เซรามิกต่างชนิดกันมีผลทำให้เกิดการสึกของฟันคู่สบในปริมาณที่แตกต่างกัน ในเซรามิกที่ทำจากพอร์ซเลนอุณหภูมิเผาต่ำ เช่น ดูซีแรม แอลเอฟซี (Duceram®LFC) จะทำให้ฟันคู่สบสึกน้อยกว่าเซรามิกในกลุ่มอื่น ๆ (69) และในเซรามิกกลุ่มที่ผลิตโดยใช้แรงดันและความร้อน พบว่า ไอพีเอส อีแมกซ์เพรส ทำให้ฟันคู่สบสึกมากกว่า ไอพีเอส เอ็มเพรส (50)

ได้มีการศึกษาในเซอร์โคเนียเซรามิกพบว่าเซอร์โคเนียเซรามิกที่มีการขัดแต่งจะทำให้เคลือบฟันของฟันคู่สบสึกน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเซอร์โคเนียที่มีการเคลือบผิว และเซอร์โคเนียที่ผ่านการขัดแต่งแล้วเคลือบผิวซ้ำ (70) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sabrah และคณะ (71) ซึ่งได้ใช้เซรามิกเซอร์โคเนียที่มีอิตเทรียมออกไซด์ พบว่าเซอร์โคเนียที่ผ่านการขัดจะทำให้เคลือบฟันของฟันคู่สบสึกน้อยกว่าเซอร์โคเนียที่มีการเคลือบผิว

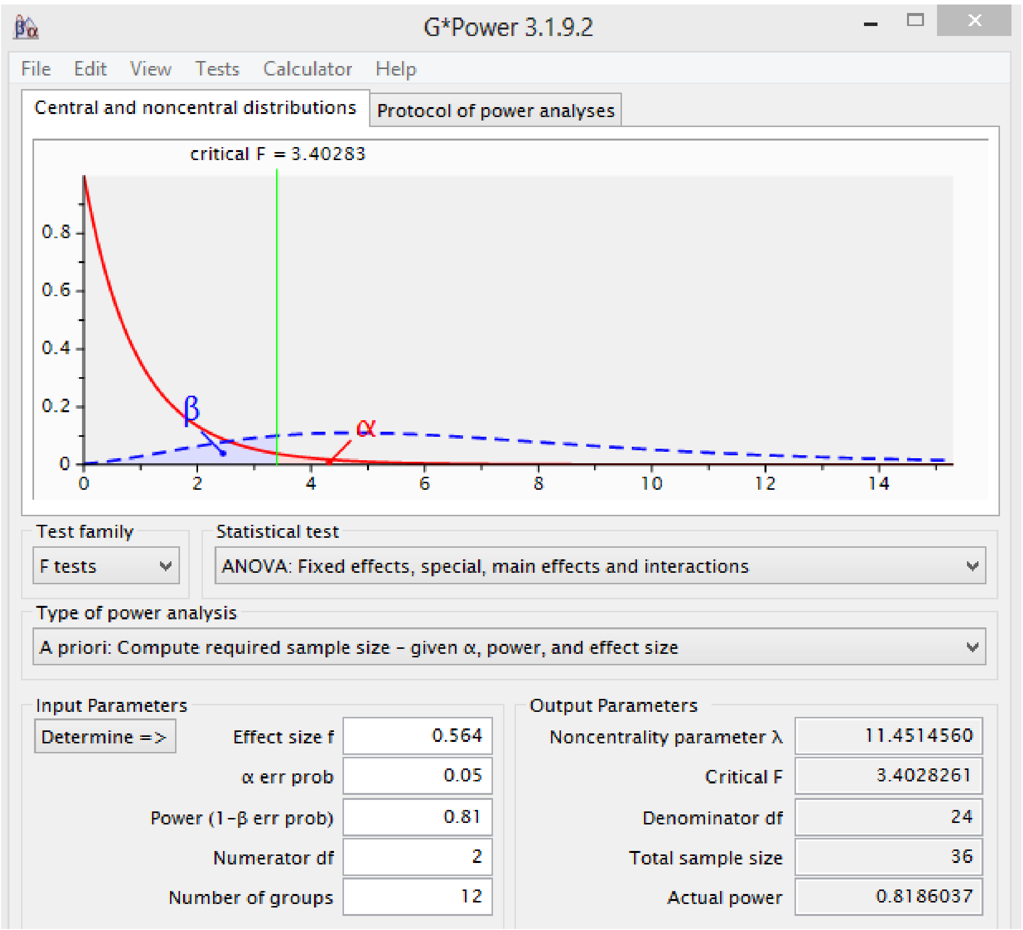
นอกจากผิวที่ไม่เรียบจะมีผลต่อฟันคู่สบแล้วยังพบว่ามีผลต่อการติดสีของเซรามิก ซึ่งส่งผลต่อความสวยงามซึ่งจากการศึกษาส่วนใหญ่พบว่าเซรามิกที่มีพื้นผิวขรุขระสามารถติดสีได้ง่ายกว่าเซรามิกที่มีพื้นผิวเรียบ (6, 7) จากการศึกษาของ Yilmaz และคณะ (6) พบว่าเมื่อนำเซรามิกที่ผ่านการขัดแต่งด้วยหัวขัดชนิดต่าง ๆ ไปแช่ในเมทิลีนบลู (methyleneblue) จะพบว่ามีการติดสีของเมทิลีนบลูในกลุ่มที่ไม่ผ่านการเคลือบทับ ส่วนในกลุ่มที่ผ่านการเคลือบทับจะไม่พบการติดสี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาอื่นที่พบว่าเซรามิกที่ผ่านการเคลือบทับจะมีการติดสีได้น้อยกว่าเซรามิกที่ไม่ผ่านการเคลือบทับ (72)

จากการศึกษาที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาที่ทำการเปรียบเทียบความเรียบของผิวเซรามิกแคดแคมวีต้ามาร์คทูบล็อกซึ่งเป็นเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน ไอพีเอส เอ็มเพรสแคดบล็อกซึ่งเป็นเซรามิกที่เพิ่มความแข็งแรงด้วยลูไซท์ และไอพีเอส อีแมกซ์แคดบล็อกซึ่งเป็นเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต ซึ่งใช้สำหรับระบบซีเรค โดยการวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อเปรียบเทียบความเรียบของผิวเซรามิกทั้งสามชนิดจากการขัดด้วยชุดหัวยางแอสโทรโพล (Astropol™ ; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) ชุดหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ (SofLex™ polishing disc; 3M ESPE, St Paul, MN, USA) ชุดหัวขัดออปตร้าไฟน์ (OptraFine™ ceramic polishing system; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) ซึ่งเป็นหัวขัดที่นิยมใช้กันและมีจำหน่ายในประเทศไทยโดยมีผิวเซรามิกที่ถูกเคลือบทับเป็นกลุ่มควบคุม

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

การคำนวณขนาดตัวอย่าง

ใช้โปรแกรม G*Power 3.1.9.2 ในการคำนวณโดยกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่ยอมรับทั้งที่สมมติฐานเป็นจริง (type I error, α) เท่ากับ 0.05 กำหนดอำนาจของการทดสอบทางสถิติ (Power of the statistical test) เท่ากับ 0.81 โดยคำนวณค่าเบื้องต้นจากการวิจัยนำร่อง (pilot study) ได้ค่าสถิติทดสอบเอฟ (F-test Statistic) เท่ากับ 0.564



รูปที่ 1 ผลการคำนวณขนาดตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม G* Power 3.1.9.2

จากการศึกษานำร่องซึ่งวัดค่าความหยาบพื้นผิวของเซรามิกแคดแคมบล็อกชนิดวีต้ามาร์คทูบล็อกและไอพีเอส เอ็มเพรสแคดทำให้ได้ขนาดตัวอย่างทั้งหมดเท่ากับ 36 ชิ้น (n=3) จากการวิจัยครั้งนี้มีกลุ่มเซรามิกที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งหมด 3 ชนิดและมีวิธีในการขัด 3 วิธี โดยใช้จำนวนครั้งในการ

ขัดแต่ละวิธีที่แตกต่างกัน 2 แบบ เพื่อให้มีความน่าเชื่อถือจึงเพิ่มกลุ่มตัวอย่างเป็นชนิดละ 10 ชิ้น (n=10) รวมเซรามิก 3 ชนิดจึงต้องใช้ตัวอย่างทั้งหมดรวม 210 ชิ้น

วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

1. เซรามิกแคดแคมบล็อก ยี่ห้อวีต้ามาร์คทูบล็อก (Vita Mark™II blocks ; Vita Zahnfabrik , Bad Sackingen, Germany)
2. เซรามิกแคดแคมบล็อก ยี่ห้อไอพีเอส เอ็มเพรสแคด (IPS Empress CAD™; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)
3. เซรามิกแคดแคมบล็อก ยี่ห้อไอพีเอส อีแมกซ์แคด (IPS e.max CAD™; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)
4. หัวขัด
   4.1 Astropol™ ; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein
   4.2 SofLex™ polishing disc; 3M ESPE, St Paul, MN, USA
   4.3 OptraFine® ceramic polishing system; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein
5. หัวกรอกากเพชรความละเอียด 50 ไมโครเมตร (diamond bur 50 micron, Jota, Switzerland)
6. อะคริลิคเรซินใสสำหรับทำฐานยึดชิ้นงาน (clear self-cure acrylic resin, Germany)
7. สารเคลือบทับสำหรับวีต้ามาร์คทูบล็อก Vita Akzent® Plus (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany)
8. สารเคลือบทับสำหรับไอพีเอส เอ็มเพรสแคด Empress Universal Glazing Paste/Glaze and Stain Liquid (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)
9. สารเคลือบทับสำหรับไอพีเอส อีแมกซ์แคด IPS e.max CAD Crystall./Glaze Paste and Liquid (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2 รายละเอียดของเซรามิกที่ใช้ในการวิจัย

	วีต้ามาร์คทูบล็อก (Vita Mark™II; Vita Zahnfabrik , Bad Sackingen, Germany)	ไอพีเอส เอ็มเพรสแคด (IPS Empress CAD™, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)	ไอพีเอส อีแมกซ์แคด (IPS e.max CAD™, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)
Type	Feldspar ceramic	Leucite glass ceramic	Lithium disilicate
Average particle size	4 μm	1-5 μm	0.2-1 μm
SiO_2	56-64 % by weight	60-65 % by weight	57-80 % by weight
Al_2O_3	20-23 % by weight	16-20 % by weight	-
Na_2O	6-9 % by weight	3.5-6.5 % by weight	-
K_2O	6-8 % by weight	10-14 % by weight	0-13 % by weight
CaO	3-6 % by weight	-	-
TiO_2	0-1 % by weight	-	-
LiO_2	-	-	11-19 % by weight
K_2O	-	-	0-13 % by weight

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องวัดความหยาบผิว (Profilometer; TalyScan 150®, Taylor Hobson Limited, England)
2. เครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิกส์ (Ultrasonic cleaner; Bransonic, Germany)
3. หัวกรอช้า (Slow Speed Hand Piece, NSK, Nakanishi, Japan)
4. หัวกรอเร็ว (High Speed Hand Piece, NSK, Nakanishi, Japan)
5. เครื่องตัด (Low speed cutting machine; IsoMet 1000®, Buehler, USA)
6. เครื่องขึ้นรูปชิ้นงานควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (CNC specimen former; Former A-11, IMT, Thailand)
7. เครื่องเผาเซรามิก (Programat P700 oven; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)
8. กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope, JSM-5410LV® ,JEOL, Japan)
9. เครื่องเคลือบทอง (Gold Coater, JFC-1200®, JEOL, Japan)
10. เครื่องดูดความชื้น (Desiccator, Scienceware® , USA)
11. แบบพิมพ์ซิลิโคนสำหรับเทฐานยึดชิ้นงาน (ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

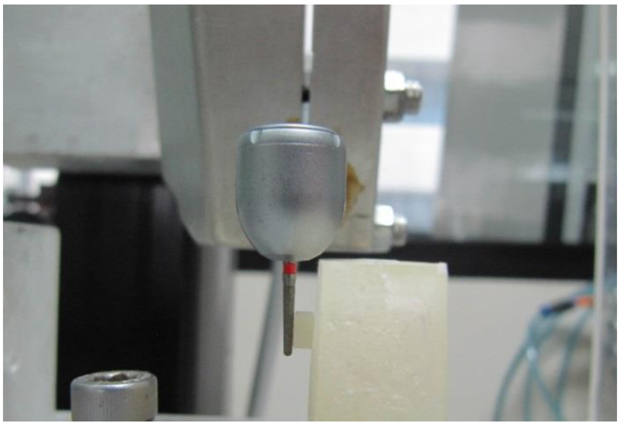
12. ถ้วยโลหะสำหรับใส่ชิ้นงาน
13. กล่องเก็บชิ้นงานตัวอย่าง
14. หัวเป่าลมและน้ำสามทิศทาง (triple syringe)
15. ปากกาชนิดติดแน่น (permanent marker)

วิธีวิจัย

การเตรียมชิ้นงานเซรามิก

เตรียมชิ้นงานโดยนำวีต้ามาร์คทูบล็อก ขนาด I8 (Vita Mark™II blocks; Vita Zahnfabrik , Bad Sackingen, Germany) ไอพีเอส เอ็มเพรสแคดบล็อก ขนาด I8 (IPS Empress CAD™, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) ไอพีเอส อีแมกซ์แคดบล็อก ขนาด C14 (IPS e.max CAD™, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) นำมาตัดด้วยเครื่องตัด (IsoMet 1000®, Buehler, USA) ให้ได้ขนาดชิ้นละ 4×4×2 ตารางมิลลิเมตร จำนวนชนิดละ 70 ชิ้น

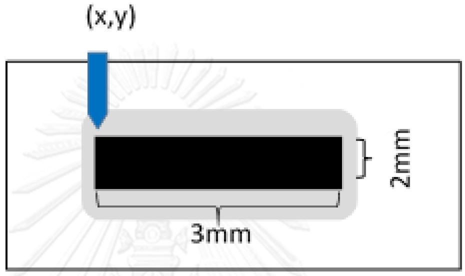
นำชิ้นตัวอย่างมากรอเลียนแบบผิวชิ้นงานให้ใกล้เคียงกับเซรามิกที่ผ่านการกลึงจากเครื่องซีเรค ด้วยหัวกรอกากเพชรขนาด 50 ไมโครเมตร ด้วยหัวกรอความเร็วสูง (High Speed Hand Piece, NSK, Nakanishi, Japan) โดยใช้เครื่องขึ้นรูปชิ้นงานควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (Former A-11, IMT, Thailand) ดังแสดงในรูปที่ 2 กรอทิศทางเดียวกันเป็นจำนวน 5 ครั้งต่อหนึ่งชิ้นงาน และเปลี่ยนหัวกรอที่เครื่องขึ้นรูปชิ้นงานควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ทุก ๆ 10 ชิ้นงาน เพื่อรักษาความคมของหัวกรอ แล้วจึงนำชิ้นงานไปทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิกส์ (Ultrasonic cleaner; Bransonic, Germany) เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างไปวัดความหยาบพื้นผิวเชิงเส้น (Ra) และบันทึกค่าที่ได้



รูปที่ 2 การกรอชิ้นงานเลียนแบบผิวชิ้นงานให้ใกล้เคียงกับเซรามิกที่ผ่านการกลึงจากเครื่องซีเรค

การวัดความหยาบพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่าง

1. เคลื่อนปลายเข็มลากในแนวแกน Z มาสัมผัสกับผิวหน้าของชิ้นงานตัวอย่าง กำหนดระดับของเข็มลากที่เหมาะสมต่อการวัด โดยขยับเข็มลากขึ้นลงในแนวแกน Z จนแถบไฟสีเขียวบนเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวอยู่ตรงตำแหน่งกลาง
2. กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นที่จะวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวในแนวแกน X และ Y โดยเลื่อนเข็มลากไปยังตำแหน่งที่จะวัด ให้เครื่องอ่านค่าตำแหน่งเป็นพิกัด (x, y) แล้วบันทึกค่าไว้เพื่อใช้ในการกำหนดตำแหน่งในการวัดครั้งต่อไป



รูปที่ 3 การตั้งค่าตำแหน่งเข็มลากสำหรับการวัดความหยาบพื้นผิวโดยพื้นที่สีดำคือพื้นที่ที่ใช้ทำการวัด

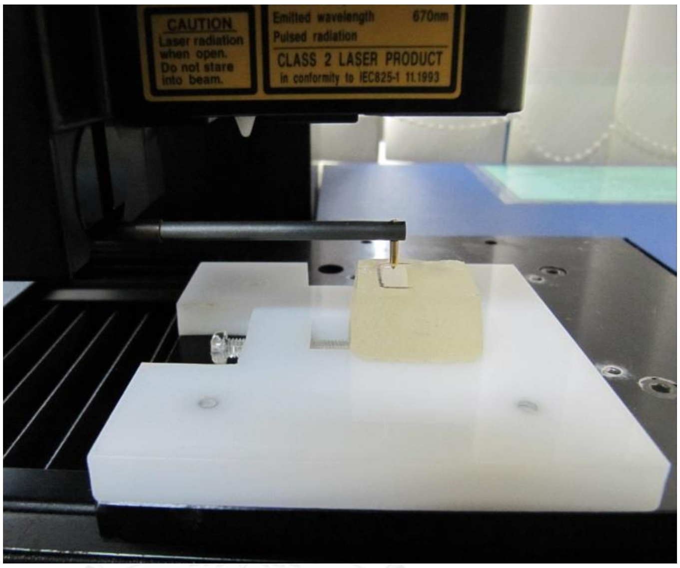
3. บันทึกข้อมูลลงในเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวโดยเลือกกำหนดพื้นที่ของการวัดเป็น 3×2 ตารางมิลลิเมตร (รูปที่ 3) โดยกำหนดให้ปลายเข็มลากเคลื่อนที่ไปบนพื้นผิวเซรามิกด้วยความเร็วคงที่ 500 ไมโครเมตรต่อวินาที และกำหนดค่าเริ่มต้นและพื้นที่ในการวัดไปในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังนี้

   Beginning คือพิกัด (x,y) ตามที่บันทึกไว้ในข้อ 2

   Length คือการกำหนดความยาวตามแกน x เป็น 3 มิลลิเมตร และความยาวตามแนวแกน y เป็น 2 มิลลิเมตร

   Spacing คือการกำหนดค่าระยะห่างในแนวแกน x เป็น 5 ไมโครเมตร และแนวแกน y เป็น 500 ไมโครเมตร
4. หลังจากกำหนดค่าต่าง ๆ แล้วทำการกดคำสั่งเพื่อทำการสแกนวัดความหยาบพื้นผิว จากนั้นเครื่องจะทำการบันทึกค่าความหยาบพื้นผิวที่ได้ออกมาเป็นภาพสีต่าง ๆ ทำการบันทึกข้อมูลของภาพดังกล่าวลงในเครื่องคอมพิวเตอร์

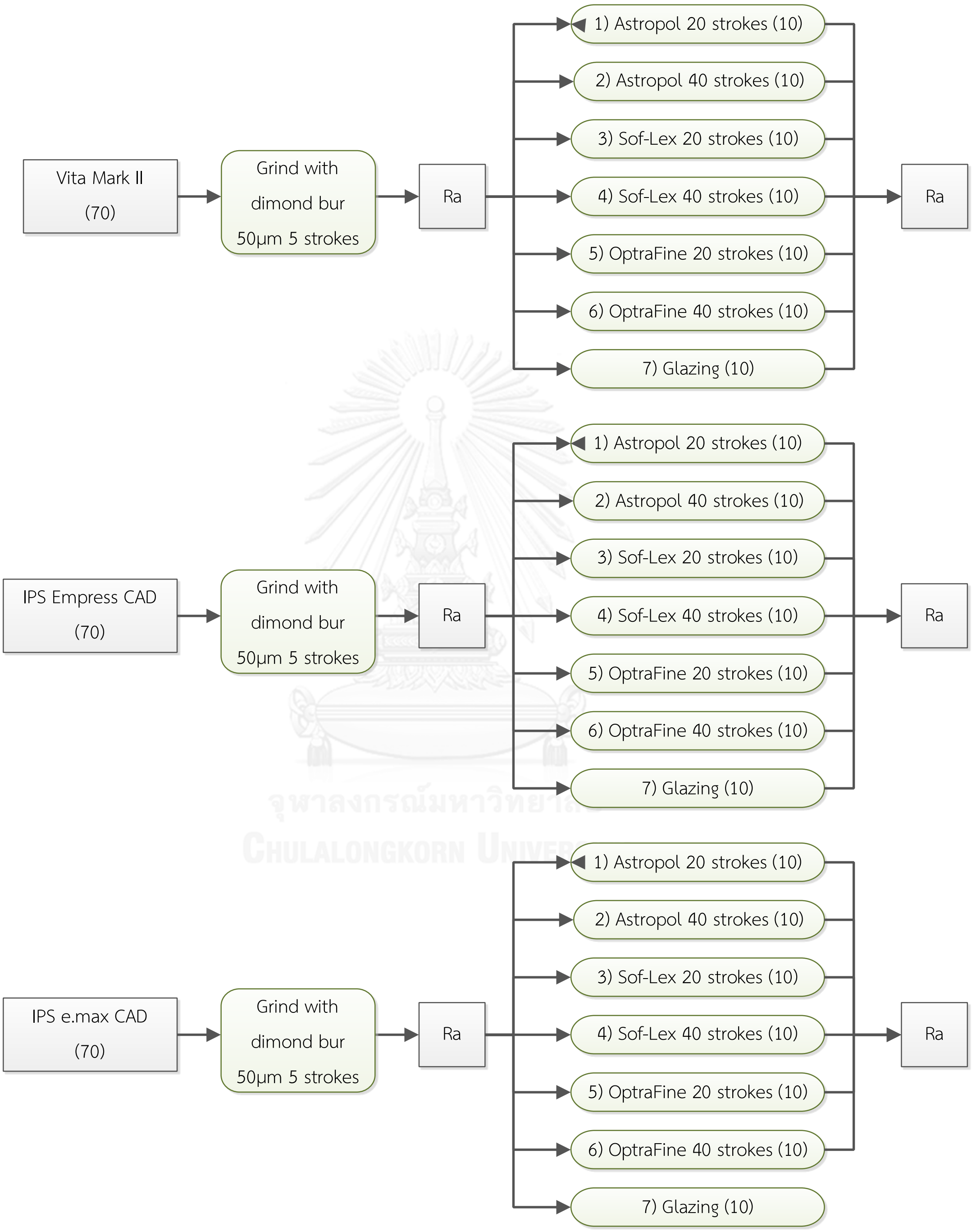
5. เลือกคำสั่ง Leveling เพื่อเป็นการปรับระนาบพื้นผิวให้อยู่ในระนาบเดียวกันแล้วเลือกคำสั่ง Filter เพื่อทำการกรองลักษณะพื้นผิวตามมาตรฐานไอเอสโอหมายเลข 4288:1996(57)
6. เลือกคำสั่ง Parameter เพื่อให้เครื่องคำนวณความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้น (Ra) แล้วบันทึกค่าที่ได้ในแต่ละกลุ่ม
7. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1-6 เพื่อวัดความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของชิ้นงานให้ครบทุกชิ้นงาน



รูปที่ 4 การยึดชิ้นงานตัวอย่างเข้ากับเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แบ่งกลุ่มชิ้นงานเซรามิกทั้ง 3 ชนิดเป็นอย่างละ 7 กลุ่มโดยการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple random sampling) โดยทุกกลุ่มมีชิ้นงานกลุ่มละ 10 ชิ้น ดังแสดงในแผนผังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนผังแสดงการแบ่งกลุ่มการทดลอง

การเตรียมชิ้นงานกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคด

หลังจากนำชิ้นงานตัวอย่างมากรอเลียนแบบผิวชิ้นงานให้ใกล้เคียงกับเซรามิกที่ผ่านการกลึงจากเครื่องซีเรคและวัดค่าความหยาบพื้นผิวเชิงเส้นแล้วจะนำชิ้นงานไปผ่านกระบวนการเผาโดยอุณหภูมิเริ่มต้น 403 องศาเซลเซียสแล้วเพิ่มอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสทุก 1 นาทีจนอุณหภูมิขึ้นถึง 820 องศาเซลเซียส นาน 0.1 นาทีจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสทุก 1 นาทีจนถึงอุณหภูมิ 840 องศาเซลเซียสโดยคงที่ไว้นาน 7 นาที จากนั้นจึงจะนำชิ้นงานไปทำการขัดด้วยการขัดวิธีต่าง ๆ

การเตรียมชิ้นงานกลุ่มเคลือบทับ

กลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 7 ของเซรามิกทั้ง 3 ชนิดจะนำมาเคลือบทับโดยนำเซรามิกชนิดละ 10 ชิ้นที่ผ่านการกรอผิวที่เป็นการจำลองพื้นผิวชิ้นงานให้ใกล้เคียงกับเซรามิกที่ผ่านการกลึงจากเครื่องซีเรค นำมาทาสารเคลือบทับ โดยวีต้ามาร์คทูบล็อกจะใช้สารเคลือบทับ VITA Akzent®Plus (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) เมื่อทาแล้วนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิเริ่มต้น 403 องศาเซลเซียสแล้วเพิ่มอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสทุก 1 นาทีจนอุณหภูมิขึ้นถึง 920 องศาเซลเซียสนาน 1 นาที ส่วนเซรามิกไอพีเอส เอ็มเพรสแคดจะใช้สารเคลือบทับ Empress Universal Glazing Paste/Glaze and Stain Liquid (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) เมื่อทาแล้วจะนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิเริ่มต้น 403 องศาเซลเซียสแล้วเพิ่มอุณหภูมิ100 องศาเซลเซียสทุก 1 นาทีจนอุณหภูมิขึ้นถึง 790 องศาเซลเซียสนาน 2 นาที ส่วนเซรามิกไอพีเอส อีแมกซ์แคดจะใช้สารเคลือบทับ IPS e.max CAD Crystall./Glaze Paste and Liquid เมื่อทาแล้วจะนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิเริ่มต้น 403 องศาเซลเซียสแล้วเพิ่มอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสทุก 1 นาทีจนอุณหภูมิขึ้นถึง 840 องศาเซลเซียสนาน 7 นาที จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบทับมาทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิกส์ เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าความหยาบพื้นผิว (Ra) และบันทึกค่าที่ได้

ตารางที่ 3 แสดงโปรแกรมการเคลือบผิวในเซรามิกวีต้ามาร์คทู

Vita Mark II blocks Program	VITA Akzent Fluid VIA Glaze Akz 25
Closing Time	4 minutes
Starting Temperature	403°C
Temperature Rise	80°C /minute
Final Temperature	920°C
Holding Time of Final Temperature	1 minute
Vacuum	no

ตารางที่ 4 แสดงโปรแกรมการเคลือบผิวในเซรามิกไอพีเอส เอ็มเพรสแคด

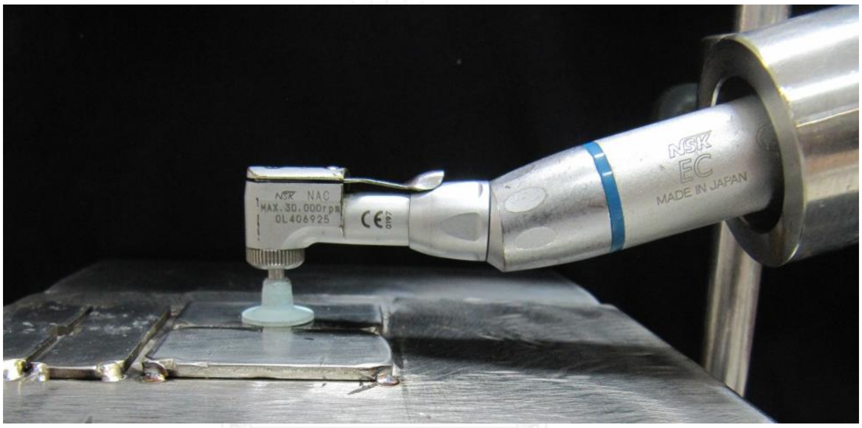
IPS Empress CAD Program	Empress Universal Glazing Paste/ Glaze and Stain Liquid
Closing Time	6 minutes
Starting Temperature	403°C
Temperature Rise	100°C /minute
Final Temperature	790°C
Holding Time of Final Temperature	2 minute
Vacuum	Yes (start:420°C–end:789°C)

ตารางที่ 5 แสดงโปรแกรมการเคลือบผิวในเซรามิกไอพีเอส อีแมกซ์แคด

IPS e.max CAD Program	IPS e.max CAD Crystall./Glaze Paste and Liquid
Closing Time	6 minutes
Starting Temperature	403°C
Temperature Rise	90°C /minute
Final Temperature	840°C
Holding Time of Final Temperature	7 minute
Vacuum	Yes (start:420°C–end:789°C)

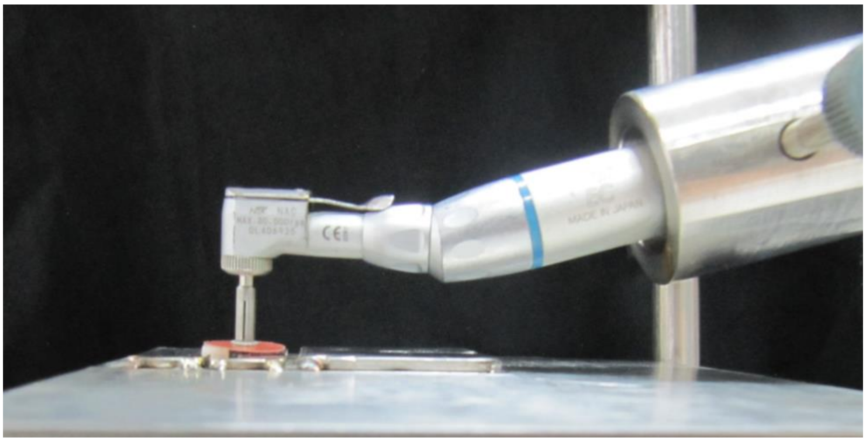
การขัดชิ้นงาน

เซรามิกกลุ่มที่ 1 และ 2 ของเซรามิกทั้ง 3 ชนิดมาขัดด้วยชุดหัวยางแอสโทรโพล (Astropol™ ; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) ที่มีความหยาบ 3 ระดับโดยผู้วิจัยเพียงคนเดียว โดยยึดหัวกรอช้าเข้ากับแท่นจับหัวกรอและวางชิ้นงานเซรามิกลงบนแท่นยึดชิ้นงาน ขัดชิ้นงานในทิศทางไปกลับในสภาวะแห้งและใช้ความเร็วตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตด้วยหัวกรอความเร็วช้าที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที โดยกลุ่มที่ 1 ใช้จำนวนครั้งในการขัด 20 ครั้งต่อหนึ่งชิ้นงาน (stroke) ต่อหนึ่งความหยาบของหัวขัด กลุ่มที่ 2 ใช้จำนวนครั้งในการขัด 40 ครั้งต่อหนึ่งชิ้นงานต่อหนึ่งความหยาบของหัวขัด ดังรูปที่ 6



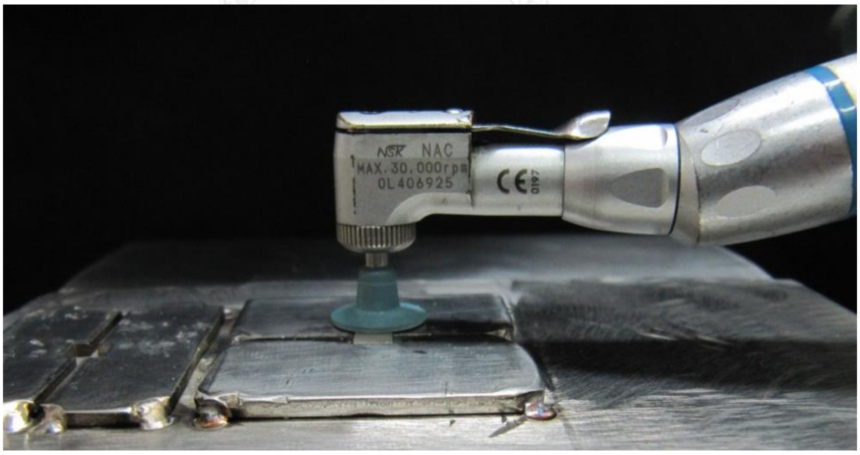
รูปที่ 6 แท่นจับหัวกรอและการขัดด้วยชุดหัวยางแอสโทรโพล

เซรามิกกลุ่มที่ 3 และ 4 ของเซรามิกทั้ง 3 ชนิดมาขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร (SofLex™ polisihing disc, 3M ESPE, St Paul, MN, USA) ซึ่งประกอบด้วยความหยาบ 4 ระดับ โดยสำหรับหัวขัดหยาบและหัวขัดหยาบระดับกลางจะกรอด้วยความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ส่วนหัวขัดละเอียดอีก 2 หัวสุดท้ายจะกรอด้วยความเร็ว 30,000 รอบต่อนาที ตามคำแนะนำของบริษัท ในสภาวะแห้ง โดยในกลุ่มที่ 3 ใช้จำนวนครั้งในการขัด 20 ครั้งต่อหนึ่งชิ้นงานต่อหนึ่งความหยาบของหัวขัด กลุ่มที่ 4 ใช้จำนวนครั้งในการขัด 40 ครั้งต่อหนึ่งชิ้นงานต่อหนึ่งความหยาบของหัวขัด ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แท่นจับหัวกรอและการขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นเคลือบอลูมินัมออกไซด์

เซรามิกกลุ่มที่ 5 และ 6 ของเซรามิกทั้ง 3 ชนิด ขัดด้วยชุดหัวขัดออปตร้าไฟน์ (OptraFine™ ceramic polishing system; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) ซึ่งประกอบด้วยความหยาบ 3 ระดับและครีมขัดกากเพชร โดยขัดด้วยความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ภายใต้สภาวะแห้ง โดยในกลุ่มที่ 5 ใช้จำนวนครั้งในการขัด 20 ครั้งต่อหนึ่งชิ้นงานต่อหนึ่งความหยาบของหัวขัด กลุ่มที่ 6 ใช้จำนวนครั้งในการขัด 40 ครั้งต่อหนึ่งชิ้นงานต่อหนึ่งชิ้นงานของหัวขัด ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงแท่นจับหัวกรอในการขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์

ในการขัดชิ้นงานทำโดยทันตแพทย์เพียงคนเดียวที่ผ่านการฝึกฝนจนมีความชำนาญในการขัด และใช้ด้ามหัวกรอซ้ำชิ้นเดียวกันในทุก ๆ ชิ้นงานตัวอย่าง โดยแต่ละความหยาบของหัวขัดจะทำการปรับระดับของหัวขัดให้สัมผัสกับพื้นผิวของเซรามิกและแต่ละขั้นตอนการขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่น

พลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์จะเปลี่ยนหัวขัด 1 หัวต่อ 1 ชิ้นงาน ส่วนหัวขัดแอสโทรโพลและหัวขัดออปตร้าไฟน์จะเปลี่ยนหัวขัด 1 หัวต่อ 5 ชิ้นงาน

หลังจากทำการขัดแต่งทุกขั้นตอน ชิ้นงานจะถูกนำไปทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิกส์เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำทุกชิ้นตัวอย่างจากทุกกลุ่มมาวัดค่าความหยาบพื้นผิว โดยจะยึดชิ้นงานเข้ากับเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว โดยยึดชิ้นงานกับอะคริลิคเรซินใสสำหรับทำฐานยึดชิ้นงาน (clear self-cure acrylic resin, Germany) โดยยึดชิ้นงานให้ได้ตำแหน่งเดิมทุกครั้ง

การวัดความหยาบพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างที่ผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ

ทำการวัดเช่นเดียวกับการวัดความหยาบพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างก่อนการขัด โดยตำแหน่งการวัดความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นต่าง ๆ ที่ใช้เป็นตัวแทนความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของชิ้นงานแต่ละชิ้นจะเป็นตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งที่ใช้วัดก่อนการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ

การประเมินลักษณะพื้นผิวของเซรามิกชนิดต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด

ลักษณะพื้นผิวของเซรามิกก่อนการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ

1. สุ่มเลือกชิ้นงานเซรามิกที่ผ่านการกรอเลียนแบบผิวชิ้นงานให้ใกล้เคียงกับเซรามิกที่ผ่านการกลึงจากเครื่องซีเรคมาชนิดละ 1 ชิ้น
2. นำชิ้นงานเซรามิกมาทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกส์เป็นเวลา 15 นาที แล้วใช้หัวเป่าลมและน้ำสามทาง (triple syringe) เป่าให้แห้งเป็นเวลา 30 วินาที
3. นำชิ้นงานเข้าเครื่องดูดความชื้นเป็นเวลา 48 ชั่วโมง
4. เคลือบทองบนผิวหน้าชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องเคลือบทอง จากนั้นนำไปส่องดูลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 1,000 เท่า แล้วบันทึกภาพ

ลักษณะพื้นผิวของเซรามิกหลังการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ

1. สุ่มเลือกชิ้นงานเซรามิกที่ผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ มาอย่างละ 1 ชิ้น
2. นำชิ้นงานเซรามิกมาทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกส์เป็นเวลา 15 นาที แล้วใช้หัวเป่าลมและน้ำสามทาง (triple syringe) เป่าให้แห้งเป็นเวลา 30 วินาที
3. นำชิ้นงานเข้าเครื่องดูดความชื้นเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

4. เคลือบทองบนผิวหน้าชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องเคลือบทอง จากนั้นนำไปส่องดูลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 1,000 เท่า แล้วบันทึกภาพ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

บันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทุกกลุ่มลงในตารางเพื่อทำการวิเคราะห์ผลการศึกษาต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1. ตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลโดยใช้สถิติ Kolmogorov-Smirnov test
2. เปรียบเทียบและศึกษาอิทธิพลร่วมของทุกปัจจัย (ชนิดเซรามิก วิธีในการขัด จำนวนครั้งในการขัด) ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 3 ทาง (3-way ANOVA)
3. ถ้าการแจกแจงข้อมูลปกติ เปรียบเทียบผิวของเซรามิกที่ผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ กันและใช้จำนวนครั้งในการขัดต่างๆ กันโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (2-way ANOVA) จากนั้นวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) และทดสอบระหว่างคู่ด้วย Scheffe เมื่อค่าความแปรปรวนในแต่ละกลุ่มย่อยไม่แตกต่างกันหรือ Tamhane เมื่อค่าความแปรปรวนแต่ละกลุ่มย่อยแตกต่างกัน
4. ถ้าการแจกแจงข้อมูลไม่ปกติ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่ขัดด้วยวิธีต่าง ๆ กับผิวเซรามิกที่ถูกเคลือบทับด้วย Wilcoxon match-pair signed-ranks test และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วย Kruskal Wallis และเปรียบเทียบระหว่างคู่ด้วย Mann-Whitney U test

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการวัดค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้น (Ra) ของชิ้นงานตัวอย่างโดยใช้ค่าเฉลี่ยเป็นค่าความหยาบพื้นผิวของแต่ละชิ้นตัวอย่างมาใช้ศึกษาเปรียบเทียบทางสถิติ จากการนำค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการกรอเลียนแบบผิวชิ้นงานให้ใกล้เคียงกับเซรามิกที่ผ่านการกลึงจากเครื่องซีเรคมาทดสอบการแจกแจงข้อมูลทางสถิติด้วยโคโมโกรอฟ สเมอรนอฟพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p-value>0.05) แสดงว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีการแจกแจงข้อมูลปกติ และเมื่อนำค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างหลังการขัดทุกวิธี มาทดสอบการแจกแจงของข้อมูลทางสถิติด้วยโคโมโกรอฟ สเมอรนอฟพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p-value>0.05) แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบปกติ (normal distribution) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอิทธิพลร่วมของทุกปัจจัย ได้แก่ ชนิดเซรามิก วิธีในการขัด จำนวนครั้งในการขัดว่าทั้งสามปัจจัยมีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวเซรามิกหรือไม่และทั้งสามปัจจัยมีอิทธิพลต่อกันหรือไม่ โดยใช้สถิติทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 3 ทาง (3-way ANOVA) จากการทดสอบพบว่าชนิดของเซรามิก วิธีในการขัดและจำนวนครั้งในการขัดมีผลต่อความเรียบของผิวเซรามิกแต่ทั้งสามปัจจัยไม่มีอิทธิพลต่อกันดังรายละเอียดตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงการทดสอบอิทธิพลของชนิดเซรามิก วิธีในการขัดและจำนวนครั้งในการขัดต่อความเรียบของผิวเซรามิกทั้ง 3 ชนิด

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	P-value
Type	.259	2	.129	186.607	.000*
System	.152	2	.076	109.376	.000*
Stroke	.067	1	.067	96.345	.000*
Type * System	.088	4	.022	31.854	.000*
Type * Stroke	.024	2	.012	17.194	.000*
System * Stroke	.001	2	.001	.864	.424
Type * System * Stroke	.004	4	.001	1.588	.180
a. R Squared = .841 (Adjusted R Squared = .825)					

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สำหรับการเปรียบเทียบความเรียบของผิวเซรามิกแคดแคมทั้งสามชนิดได้แก่ วีต้ามาร์คทู ไอพีเอส เอ็มเพรสแคด และไอพีเอส อีแมกซ์แคดหลังขัดด้วยวิธีต่าง ๆ 3 วิธีและจำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ มีความเรียบต่างกันหรือไม่และแตกต่างกับกลุ่มที่ผ่านการเคลือบทับหรือไม่ รวมทั้งการศึกษาเพื่อหาวิธีในการขัดและจำนวนครั้งในการขัดที่เหมาะสมกับเซรามิกแต่ละชนิดทำโดยเริ่มจากทำการศึกษาว่าวิธีในการขัดและจำนวนครั้งในการขัดมีอิทธิพลต่อความเรียบผิวของเซรามิกหรือไม่และทั้งสองปัจจัยมีอิทธิพลต่อกันหรือไม่โดยมีกลุ่มเคลือบทับเป็นกลุ่มควบคุม ทำการเปรียบเทียบแยกตามชนิดของเซรามิก โดยนำค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ 1-6 ที่ผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ และกลุ่มที่ผ่านการเคลือบทับของเซรามิกทั้งสามชนิดมาทดสอบการแจกแจงข้อมูลด้วยโคโมโกรอฟ สเมอรนอฟพบว่าข้อมูลกระจายตัวเป็นปกติ จึงใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางในการทดสอบ จากการทดสอบพบว่าวิธีขัดและจำนวนครั้งในการขัดมีอิทธิพลต่อความหยาบพื้นผิวของเซรามิกในกลุ่มวีต้ามาร์คทูและทั้งสองปัจจัยไม่มีอิทธิพลต่อกันดังรายละเอียดตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงการทดสอบอิทธิพลของวิธีการขัดและจำนวนครั้งในการขัดต่อความหยาบพื้นผิวของวีต้ามาร์คทู

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	P-value
SYSTEM	.003	2	.002	10.151	.000*
STROKE	.011	1	.011	63.051	.000*
SYSTEM*STROKE	.000	2	.000	1.431	.248

ในกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดพบว่าวิธีในการขัดมีอิทธิพลต่อความหยาบพื้นผิวของเซรามิกแต่จำนวนครั้งในการขัดไม่มีอิทธิพลต่อความหยาบพื้นผิวและทั้งสองปัจจัยไม่มีอิทธิพลต่อกัน ดังตารางที่ 8 และในกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดพบว่าวิธีการขัดและจำนวนครั้งในการขัดมีอิทธิพลต่อความหยาบพื้นผิวของเซรามิกและทั้งสองปัจจัยมีอิทธิพลต่อกัน โดยค่า p-value น้อยกว่า 0.05 ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 8 แสดงการทดสอบอิทธิพลของวิธีการขัดและจำนวนครั้งในการขัดต่อความหยาบพื้นผิวของไอพีเอส เอ็มเพรสแคด

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	P-value
SYSTEM	.194	2	.097	69.559	.000*
STROKE	.005	1	.005	3.526	.066
SYSTEM*STROKE	.001	2	.001	.407	.668

ตารางที่ 9 แสดงการทดสอบอิทธิพลของวิธีการขัดและจำนวนครั้งในการขัดต่อความหยาบพื้นผิวของไอพีเอส อีแมกซ์แคด

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	P-value
SYSTEM	.043	2	.021	41.396	.000*
STROKE	.075	1	.075	145.297	.000*
SYSTEM*STROKE	.004	2	.002	3.856	.027*

ดังนั้นการทดสอบเพื่อหาวิธีขัดและจำนวนครั้งในการขัดที่เหมาะสมกับเซรามิกแต่ละชนิดจะทดสอบแยกตามชนิดของเซรามิก ในกลุ่มวีต้ามาร์คทูบล็อกทำโดยเปรียบเทียบเซรามิกทุกกลุ่มกับกลุ่มที่ผ่านการเคลือบทับ เนื่องจากผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางพบว่าทั้งระบบและเวลามีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวเซรามิก หลังจากทำการแจกแจงข้อมูลกลุ่มย่อยด้วยโคโมโกรอฟ สเมอรนอฟพบว่ามีการแจกแจงแบบปกติ จึงใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรแปรวนแบบทางเดียว จากการทดสอบค่าความแปรปรวนของพื้นผิวเซรามิกแต่ละกลุ่มย่อยพบว่าค่าความแปรปรวนเท่ากันทุกกลุ่ม จึงใช้สถิติความแปรปรวนแบบทางเดียวในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มย่อย พบว่ามีอย่างน้อย 2 กลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันตามตารางที่ 10 จากนั้นทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยเชฟเฟ พบว่ามีความแตกต่างดังตารางที่ 11 และรูปที่ 9

ตารางที่ 10 แสดงค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวในเซรามิกกลุ่มวีต้ามาร์คทู

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.031	6	.005	33.628	.000*
Within Groups	.010	63	.000		
Total	.041	69			

ตารางที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ยและการเปรียบเทียบความเรียบพื้นผิวของเซรามิกกลุ่มที่ขัดด้วยวิธีต่าง ๆ กับกลุ่มเคลือบทับในเซรามิกกลุ่มวีต้ามาร์คทู

GROUP	GLAZE	OPT40	SOF40	AST40	OPT20	AST20	SOF20
GLAZE (0.2073±0.0078)		*	*	*	*	*	*
OPT40 (0.2311±0.0063)	*		NS	NS	NS	*	*
SOF40 (0.2408±0.0063)	*	NS		NS	NS	*	*
AST40 (0.2418±0.0157)	*	NS	NS		NS	*	*
OPT20 (0.2500±0.0158)	*	NS	NS	NS		*	*
AST20 (0.2711±0.0184)	*	*	*	*	*		NS
SOF20 (0.2730±0.0105)	*	*	*	*	*	NS	

NS = non significantly * = Significantly different at P-value ‹ 0.05

OPT40 = กลุ่มหัวขัดออปตร้าไฟน์ 40 ครั้ง

SOF40 = กลุ่มหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 40 ครั้ง

AST40 = กลุ่มหัวขัดยางแอสโทรโพล 40 ครั้ง

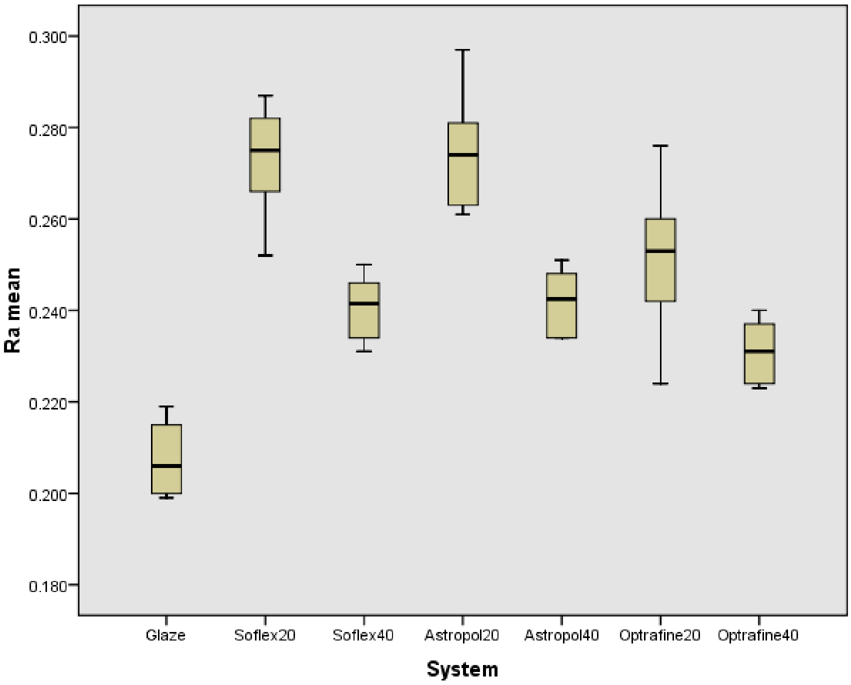
OPT20 = กลุ่มหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 ครั้ง

SOF20 = กลุ่มหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 20 ครั้ง

AST20 = กลุ่มหัวขัดยางแอสโทรโพล 20 ครั้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวของเซรามิกที่ผ่านการเคลือบทับและผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ จำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ ในกลุ่มวีต้ามาร์คทู



ค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวของเซรามิกกลุ่มวีต้ามาร์คทูที่ผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ และจำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ กันและกลุ่มเคลือบทับดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่าเซรามิกวีต้าร์มาร์คทูที่ผ่านการเคลือบทับมีค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวแตกต่างจากกลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มที่ผ่านการเคลือบทับมีค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวต่ำที่สุด ในขณะที่กลุ่มที่ผ่านการขัดด้วยชุดหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 และ 40 ครั้ง ชุดหัวยางแอสโทรโพล 40 ครั้ง และกลุ่มที่ขัดด้วยชุดหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 40 ครั้งมีความหยาบพื้นผิวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความแตกต่างจากกลุ่มที่ผ่านการขัดด้วยชุดหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 20 ครั้ง และกลุ่มที่ขัดด้วยหัวยางแอสโทรโพล 20 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสองกลุ่มนี้มีความหยาบพื้นผิวไม่แตกต่างกัน โดยที่กลุ่มที่ผ่านการขัดด้วยชุดหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 และ 40 ครั้ง ชุดหัวยางแอสโทรโพล 40 ครั้ง และกลุ่มที่ขัดด้วยชุดหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 40 ครั้ง มีค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวที่ต่ำกว่า ดังนั้นวิธีขัดที่เหมาะสมกับเซรามิกกลุ่มวีต้ามาร์คทูคือการขัดด้วยชุดหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 และ 40 ครั้ง ชุดหัวยางแอสโทรโพล 40 ครั้ง และกลุ่มที่ขัดด้วยชุดหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 40 ครั้ง

ในการทดสอบเพื่อหาวิธีขัดและจำนวนครั้งในการขัดที่เหมาะสมกับเซรามิกกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคด ทำโดยเปรียบเทียบเซรามิกทุกกลุ่มกับกลุ่มที่ผ่านการเคลือบทับ เนื่องจากวิธีขัดมีผลต่อความเรียบพื้นผิวของเซรามิกแต่จำนวนครั้งในการขัดไม่มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวเซรามิก

หลังจากทำการแจกแจงข้อมูลกลุ่มย่อยด้วยโคโมโกรอฟ สเมอรนอฟพบว่ามีการแจกแจงแบบปกติจึงใช้สถิติทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียว จากการตรวจสอบกลุ่มค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มย่อยพบว่ามีค่าความแปรปรวนเท่ากันทุกกลุ่มจึงใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม พบว่ามีอย่างน้อย 2 กลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยต่างกันตามตารางที่ 12 จากนั้นเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยเชฟเฟ พบว่ากลุ่มที่ผ่านการเคลือบทับมีพื้นผิวที่เรียบที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่ผ่านการขัดด้วยชุดหัวขัดออปตร้าไฟน์และกลุ่มที่ขัดด้วยแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ซึ่งมีความเรียบพื้นผิวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกลุ่มที่ขัดด้วยหัวยางแอสโทรโพลให้พื้นผิวที่มีความหยาบมากที่สุด ตามตารางที่ 13 และรูปที่ 10 ดังนั้นวิธีขัดที่เหมาะสมกับเซรามิกกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดคือการขัดด้วยชุดหัวขัดออปตร้าไฟน์และกลุ่มที่ขัดด้วยแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์

ตารางที่ 12 แสดงค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.368	3	.123	92.363	.000*
Within Groups	.088	66	.001		
Total	.455	69			

ตารางที่ 13 แสดงค่าเฉลี่ยและการเปรียบเทียบความเรียบพื้นผิวของวิธีการขัดต่าง ๆ กับกลุ่มเคลือบทับในเซรามิกกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคด

GROUP		Glaze	Optrafine	Soflex	Astropol
Glaze	(0.1860±0.0263)		*	*	*
Optrafine	(0.2859±0.0383)	*		NS	*
Soflex	(0.2904±0.0444)	*	NS		*
Astropol	(0.4087±0.0291)	*	*	*	

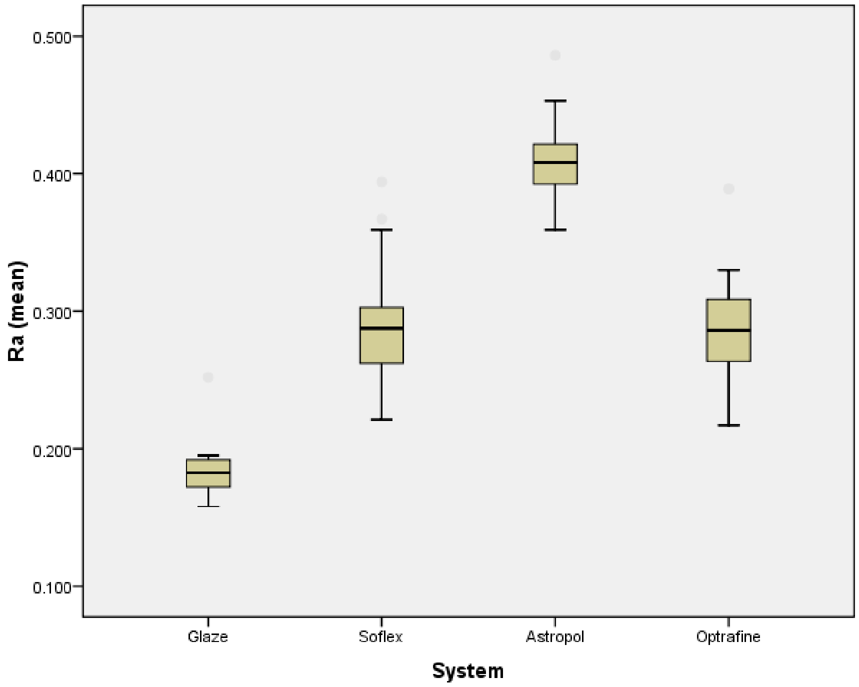
NS = non significantly * = Significantly different at P-value ‹ 0.05

Optrafine = กลุ่มหัวขัดออปตร้าไฟน์

Soflex = กลุ่มหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์

Astropol = กลุ่มหัวขัดยางแอสโทรโพล

รูปที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวของเซรามิกที่ผ่านการเคลือบทับและผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ จำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ ในกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคด



สำหรับกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเรียบพื้นผิวของเซรามิกที่ผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ ทุกกลุ่มกับกลุ่มที่ผ่านการเคลือบทับ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางพบว่าทั้งวิธีการขัดและจำนวนครั้งในการขัดมีอิทธิพลต่อความเรียบของพื้นผิวเซรามิกไอพีเอส อีแมกซ์แคด เมื่อทำการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลกลุ่มย่อยด้วยโคโมโกรอฟ สเมอรนอฟพบว่ามีการแจกแจงแบบปกติ จึงใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว โดยได้มีการตรวจสอบค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มย่อยพบว่ามีค่าความแปรปรวนเท่ากันทุกกลุ่ม จึงใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม พบว่ามีอย่างน้อย 2 กลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันดังตารางที่ 14 จากนั้นทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนโดยเชฟเฟ พบว่ามีความแตกต่างดังตารางที่ 15 และรูปที่ 11

ตารางที่ 14 แสดงค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวในเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between	.321	6	.054	115.914	.000*
Groups	.029	63	.000		
Within Groups	.350	69			
Total					

ตารางที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ยและการเปรียบเทียบความเรียบพื้นผิวของเซรามิกกลุ่มที่ขัดด้วยวิธีต่าง ๆ กับกลุ่มเคลือบทับในเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคด

GROUP	Glaze	SOF40	OPT40	AST40	OPT20	SOF20	AST20
Glaze (0.1822±0.0117)		*	*	*	*	*	*
SOF40 (0.2671±0.0199)	*		NS	*	*	*	*
OPT40 (0.2839±0.0067)	*	NS		*	*	*	*
AST40 (0.3472±0.0329)	*	*	*		NS	NS	*
OPT20 (0.3562±0.0217)	*	*	*	NS		NS	*
SOF20 (0.3569±0.0187)	*	*	*	NS	NS		*
AST20 (0.3972±0.0273)	*	*	*	*	*	*	

NS = non significantly * = Significantly different at P-value ‹ 0.05

SOF40 = กลุ่มหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 40 ครั้ง

OPT40 = กลุ่มหัวขัดออปตร้าไฟน์ 40 ครั้ง

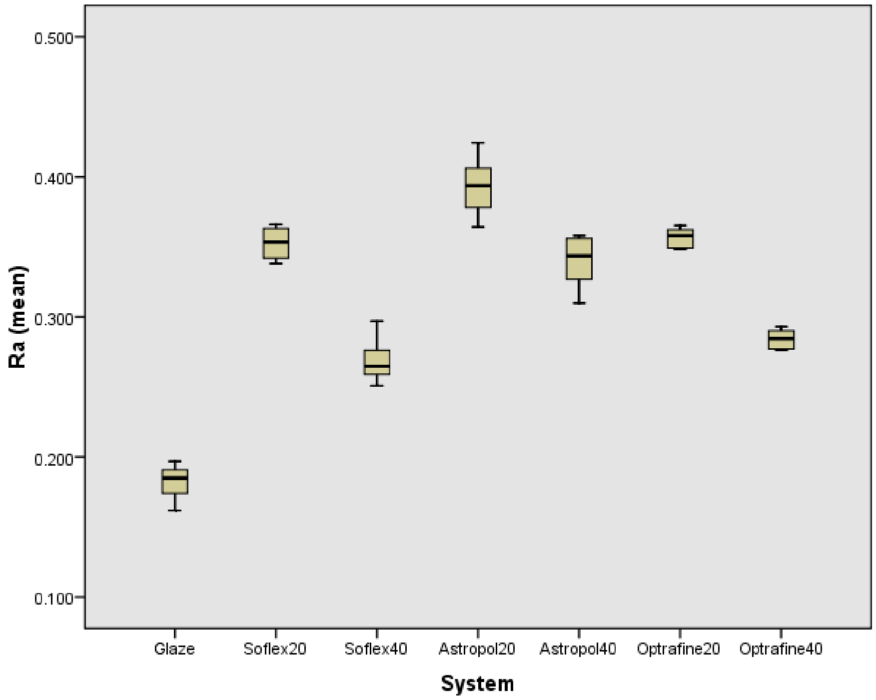
AST40 = กลุ่มหัวขัดยางแอสโทรโพล 40 ครั้ง

OPT20 = กลุ่มหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 ครั้ง

SOF20 = กลุ่มหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 20 ครั้ง

AST20 = กลุ่มหัวขัดยางแอสโทรโพล 20 ครั้ง

รูปที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวของเซรามิกที่ผ่านการเคลือบทับและผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ จำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ ในกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคด



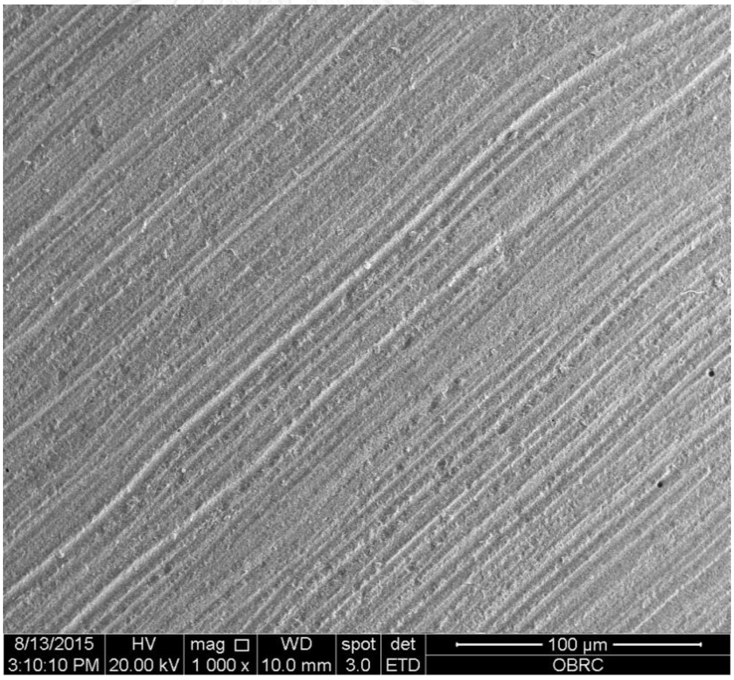
ค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวของเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ และจำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ กันและกลุ่มเคลือบทับดังแสดงในรูปที่ 11 พบว่าเซรามิกไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ผ่านการเคลือบทับมีค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวแตกต่างจากกลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มที่ผ่านการเคลือบทับมีค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวต่ำที่สุด ในขณะที่กลุ่มที่ผ่านการขัดด้วยวิธีขัดต่าง ๆ แบ่งความแตกต่างได้เป็น 3 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกคือกลุ่มที่ใช้หัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 40 ครั้ง และชุดหัวขัดออปตร้าไฟน์ 40 ครั้ง มีค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวไม่แตกต่างกัน แต่ต่ำกว่ากลุ่มที่ขัดด้วยวิธีขัดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กลุ่มถัดมาคือ กลุ่มที่ขัดด้วยชุดหัวยางแอสโทรโพล 40 ครั้ง กลุ่มที่ขัดด้วยชุดหัวขัดออปตร้าไฟน์และชุดหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 20 ครั้ง มีความหยาบพื้นผิวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวสูงกว่ากลุ่มแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและกลุ่มสุดท้ายคือกลุ่มที่ขัดด้วยหัวยางแอสโทรโพล 20 ครั้ง ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความหยาบพื้นผิวสูงที่สุด

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเปรียบเทียบความเรียบของผิวเซรามิกทั้งสามชนิดพบว่าเซรามิกที่ผ่านการเคลือบทับมีความเรียบแตกต่างกับเซรามิกที่ผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ กันและจำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ กันในเซรามิกทั้งสามชนิด โดยวิธีการเคลือบทับทำให้ผิวเซรามิกมีความเรียบมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการขัดต่าง ๆ ส่วนเซรามิกวีต้ามาร์คทูและไอพีเอส อีแมกซ์แคด

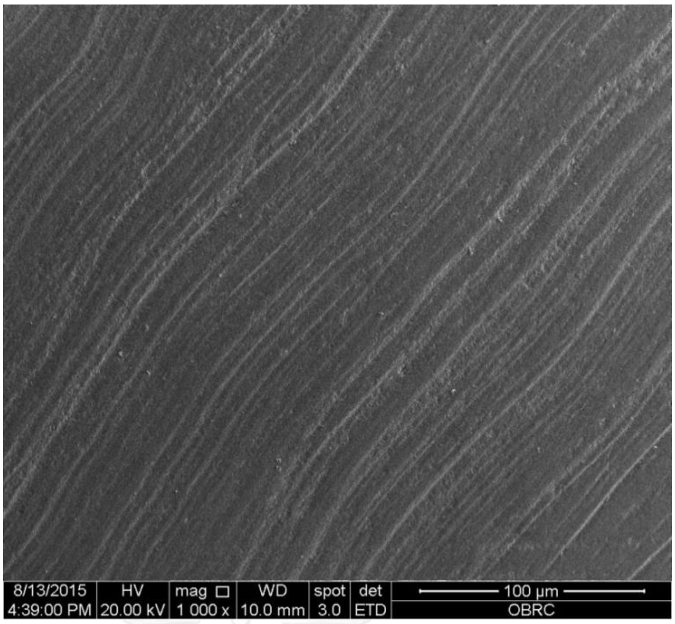
เมื่อผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ กัน จำนวนครั้งในการขัดต่างกันทำให้เกิดความเรียบพื้นผิวเซรามิกที่แตกต่างกัน โดยในกลุ่มวีต้ามาร์คทูในทุกชุดหัวขัดที่ขัดด้วยจำนวนครั้งในการขัด 40 ครั้ง และหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 ครั้ง ให้ความเรียบมากที่สุดแต่ไม่เท่ากลุ่มเคลือบทับ ในกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคด การขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์และชุดหัวขัดออปตร้าไฟน์ 40 ครั้ง ทำให้ผิวเซรามิกมีความเรียบที่สุดแต่ไม่เท่ากลุ่มที่ผ่านการเคลือบทับ ส่วนกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดพบว่าการขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์และหัวขัดออปตร้าไฟน์ทั้ง 20 และ 40 ครั้ง ให้ความเรียบไม่แตกต่างกันแต่ให้ความเรียบไม่เท่ากับกลุ่มเคลือบทับ

ลักษณะพื้นผิวเซรามิกในกลุ่มต่าง ๆ เมื่อทำการประเมินภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด

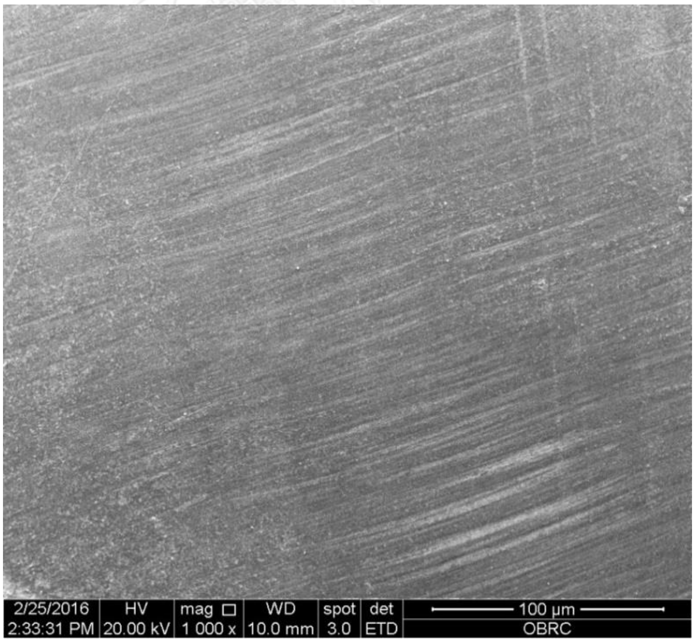
ภาพตัวอย่างลักษณะพื้นผิวเซรามิกแต่ละชนิดก่อนและหลังทำการขัดด้วยวิธีขัดต่าง ๆ กัน และจำนวนครั้งต่าง ๆ กันภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



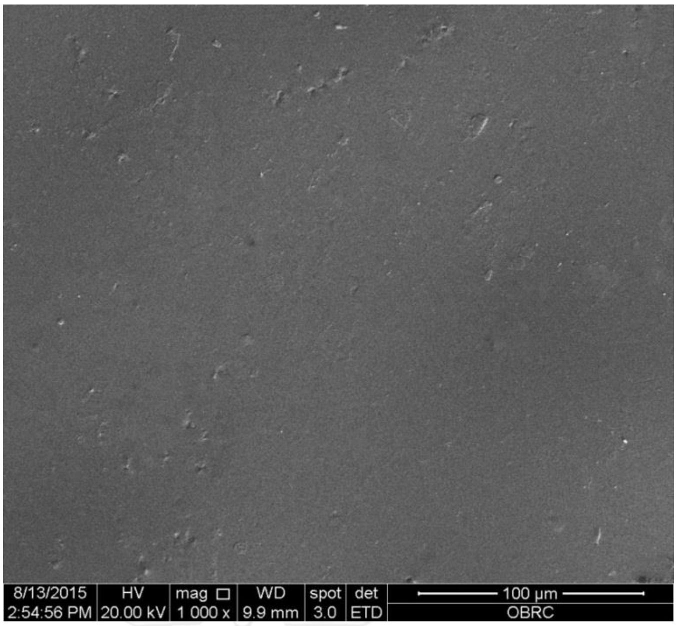
รูปที่ 12 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มวีต้ามาร์คทูที่ผ่านการกรอเลียนแบบผิวชิ้นงานให้ใกล้เคียงกับเซรามิกที่ผ่านการกลึงจากเครื่องซีเรค กำลังขยาย 1000 เท่า



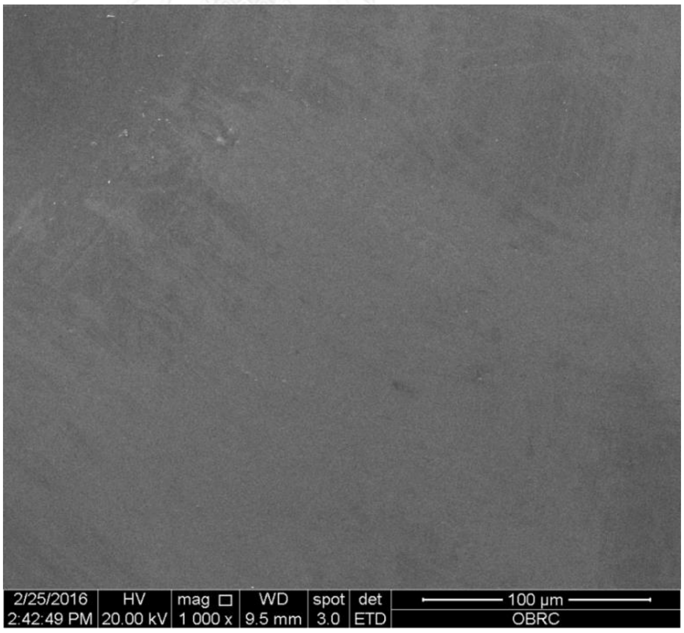
รูปที่ 13 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดที่ผ่านการกรอเลียนแบบผิวชิ้นงานให้ใกล้เคียงกับเซรามิกที่ผ่านการกลึงจากเครื่องซีเรค กำลังขยาย 1000 เท่า



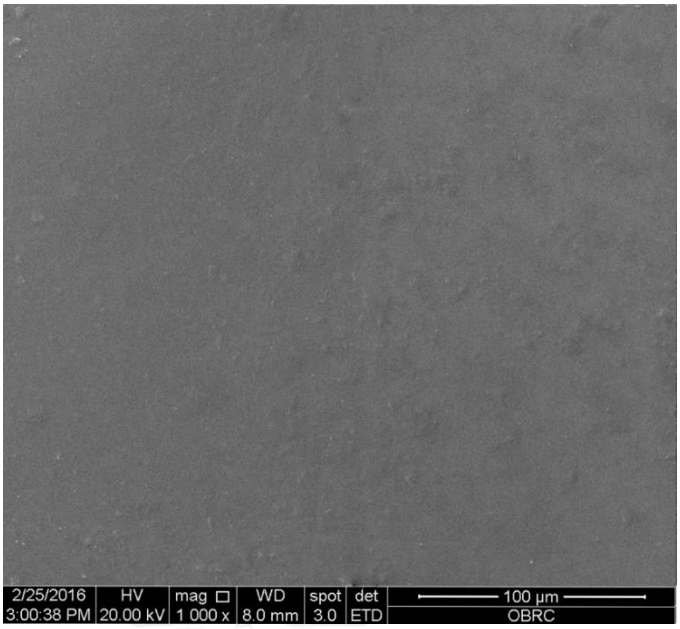
รูปที่ 14 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ผ่านการกรอเลียนแบบผิวชิ้นงานให้ใกล้เคียงกับเซรามิกที่ผ่านการกลึงจากเครื่องซีเรค กำลังขยาย 1000 เท่า



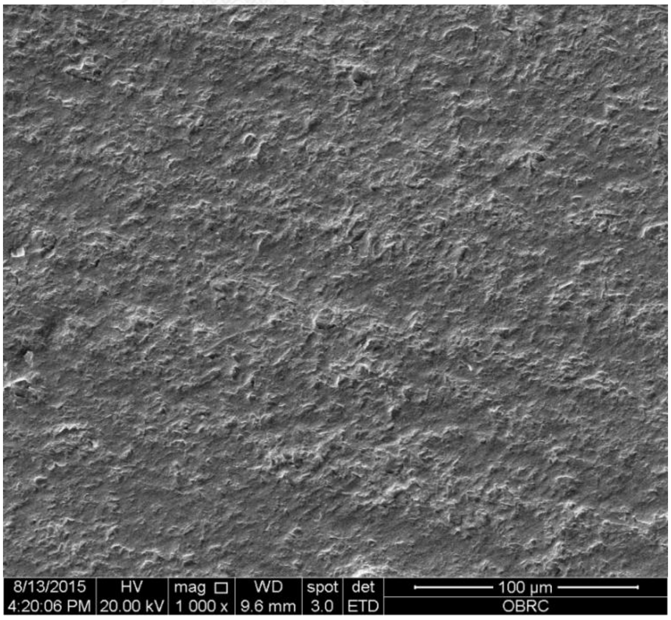
รูปที่ 15 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มวีต้ามาร์คทูที่ผ่านการเคลือบทับ กำลังขยาย 1000 เท่า



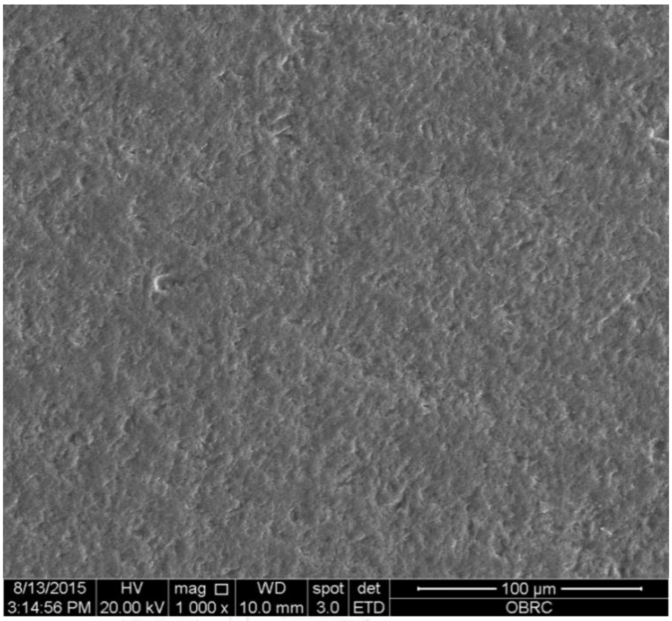
รูปที่ 16 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอสเอ็มเพรสแคดที่ผ่านการเคลือบทับ กำลังขยาย 1000 เท่า



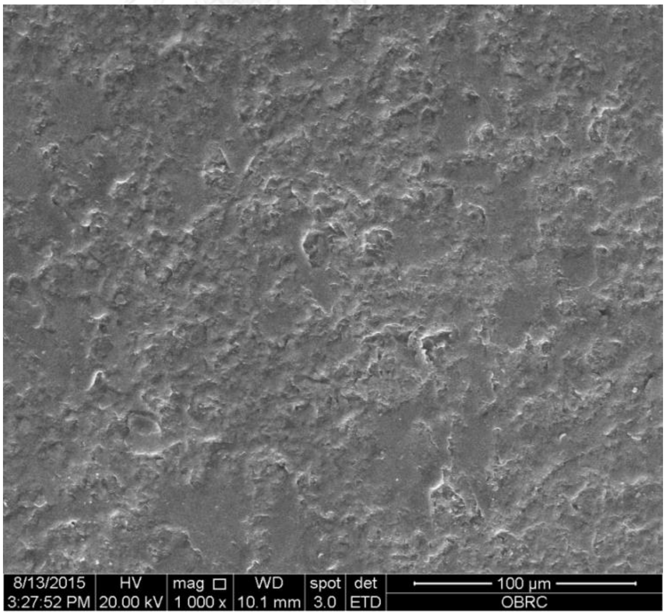
รูปที่ 17 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ผ่านการเคลือบทับ กำลังขยาย 1000 เท่า



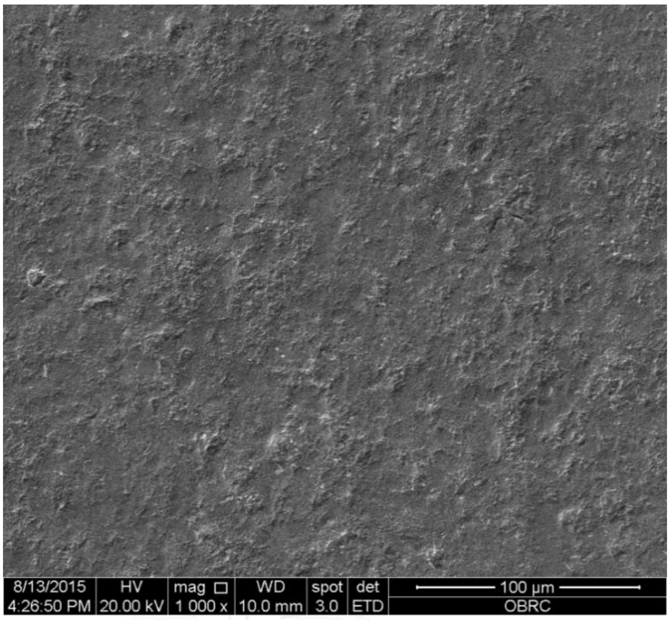
รูปที่ 18 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มวีต้ามาร์คทู ที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า



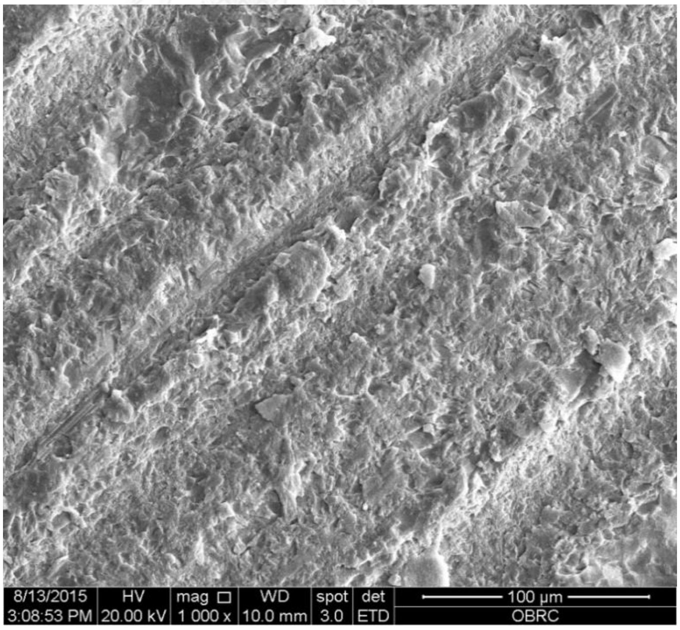
รูปที่ 19 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มวีต้ามาร์คทูที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 40 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า



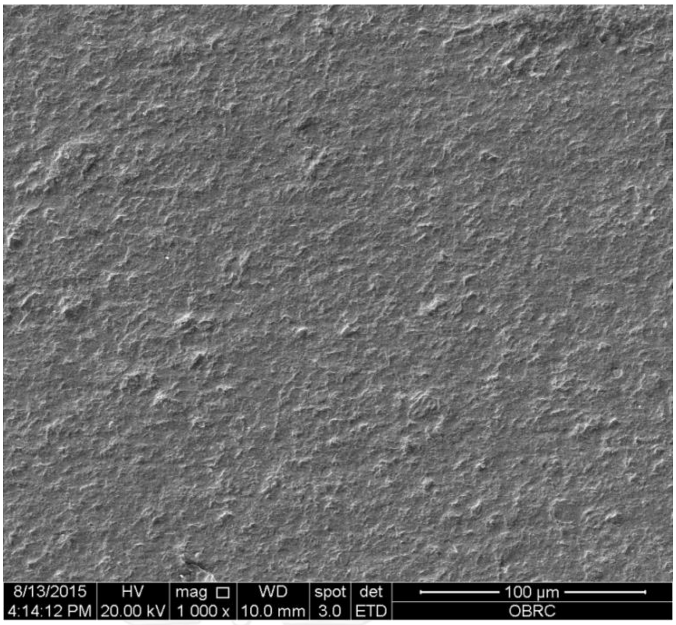
รูปที่ 20 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มวีต้ามาร์คทูที่ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 20 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า



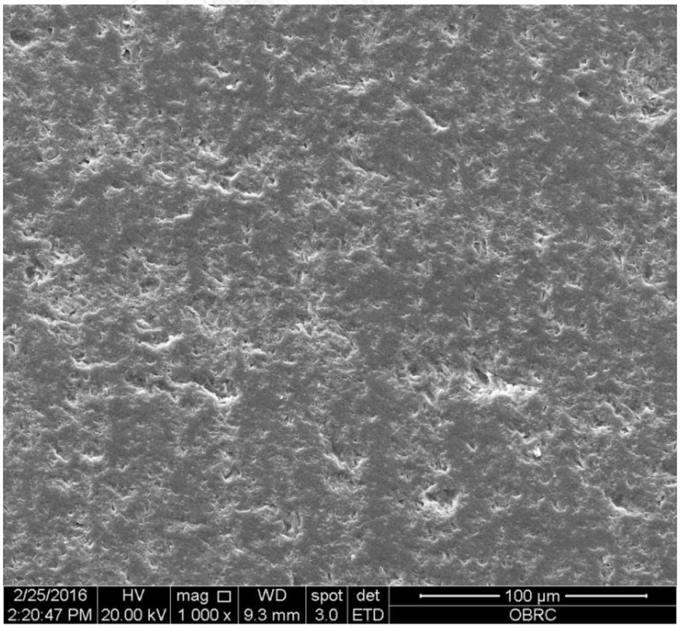
รูปที่ 21 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มวีต้ามาร์คทูที่ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 40 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า



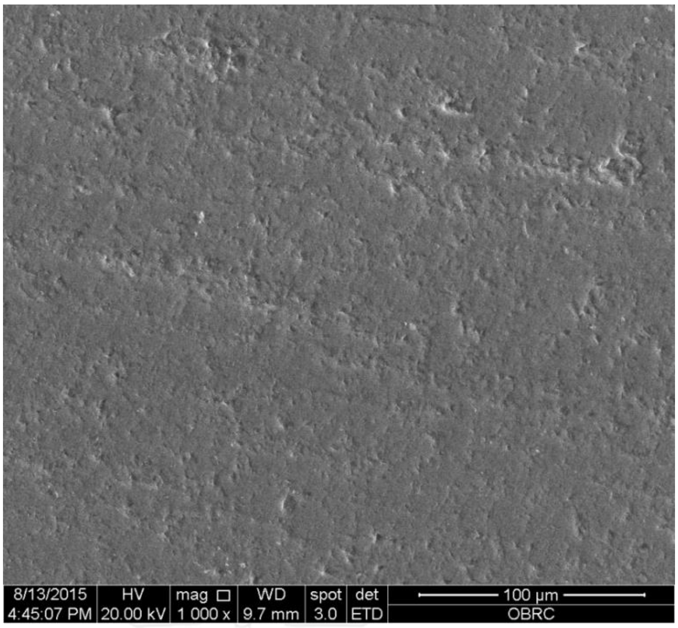
รูปที่ 22 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มวีต้ามาร์คทูที่ขัดด้วยหัวขัดยางแอสโทรโพล 20 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า



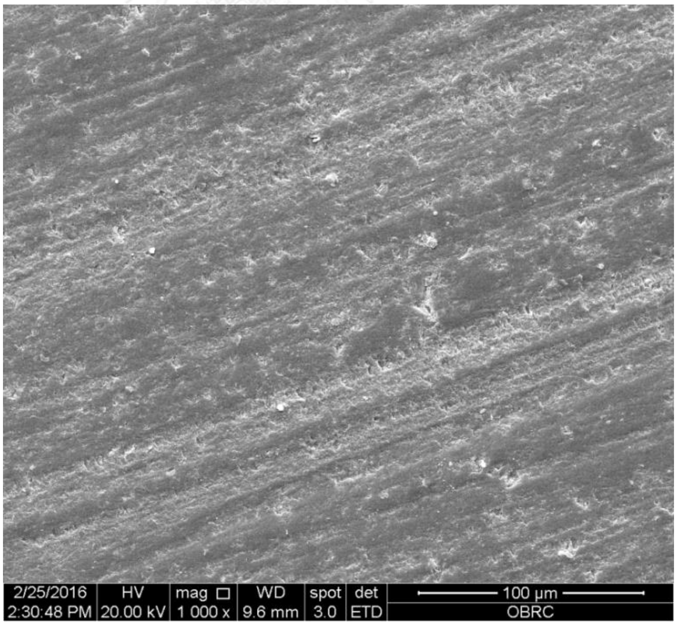
รูปที่ 23 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มวีต้ามาร์คทูที่ขัดด้วยหัวขัดยางแอสโทรโพล 40 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า



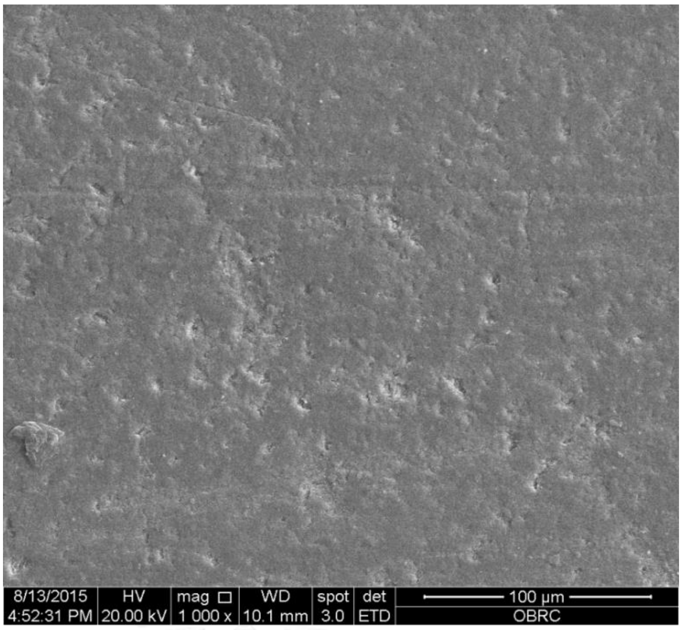
รูปที่ 24 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอสเอ็มเพรสแคดที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า



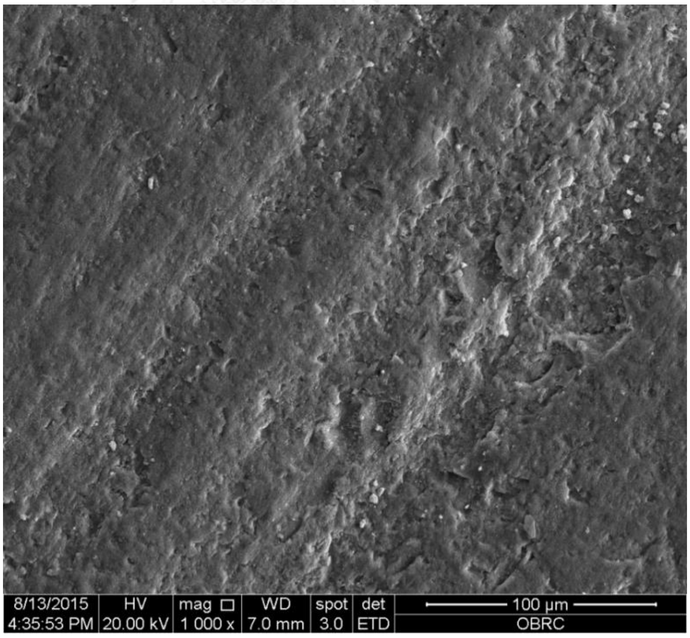
รูปที่ 25 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 40 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า



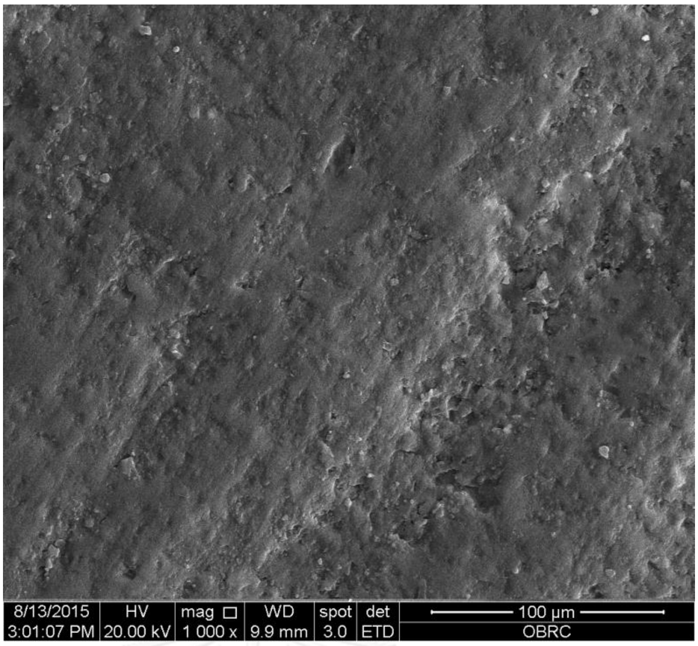
รูปที่ 26 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดที่ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 20 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า



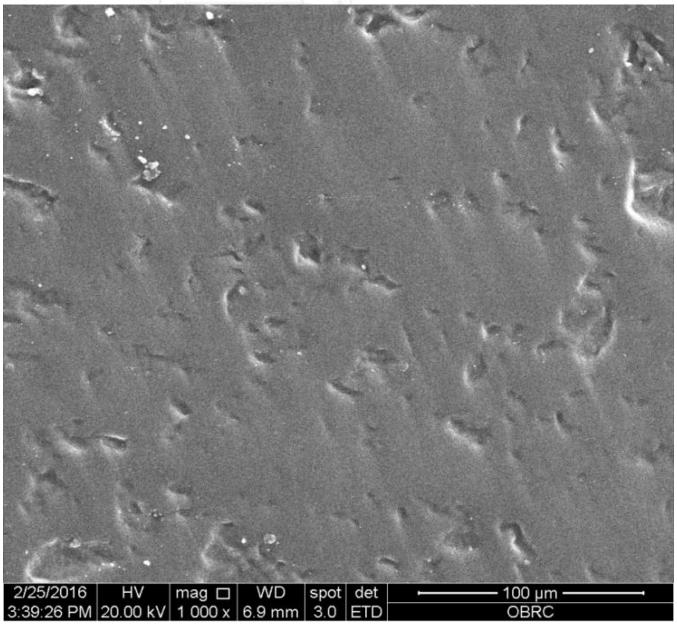
รูปที่ 27 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดที่ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 40 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า



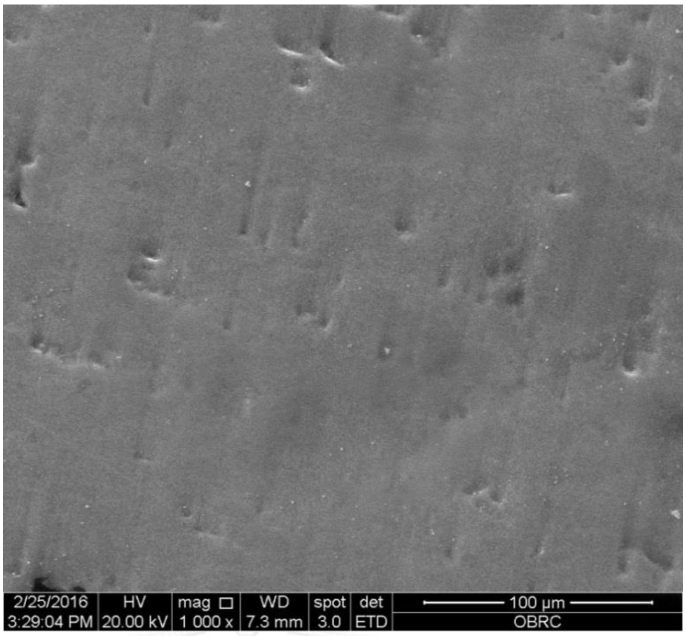
รูปที่ 28 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดที่ขัดด้วยหัวขัดยางแอสโทรโพล 20 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า



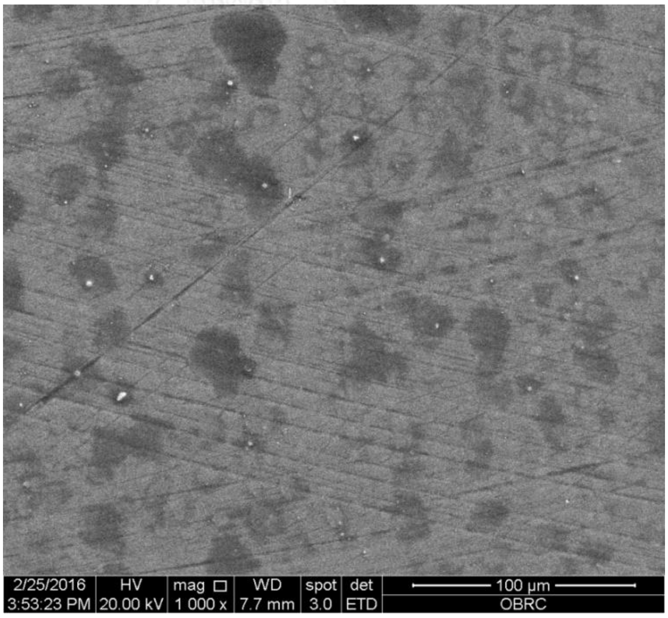
รูปที่ 29 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดที่ขัดด้วยหัวขัดยางแอสโทรโพล 40 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า



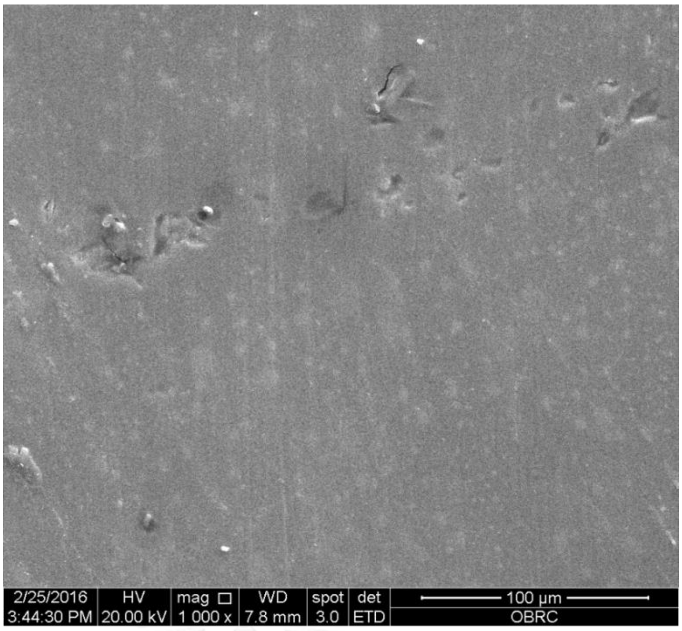
รูปที่ 30 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า



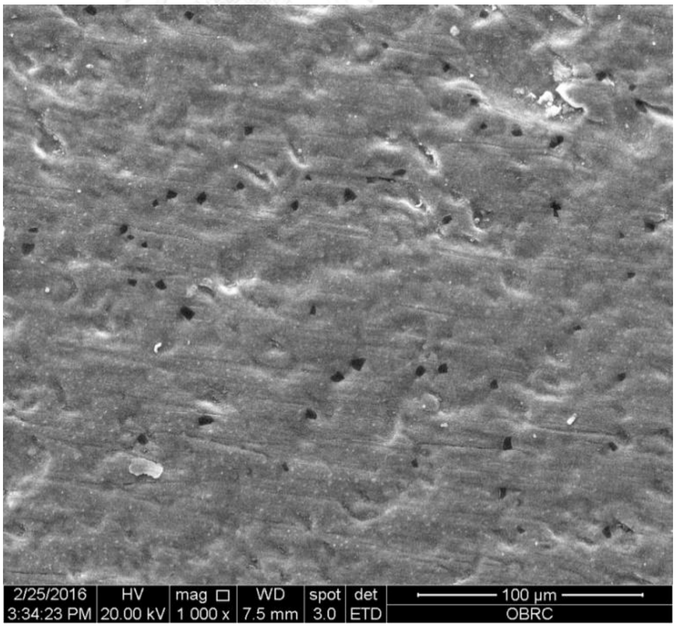
รูปที่ 31 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 40 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า



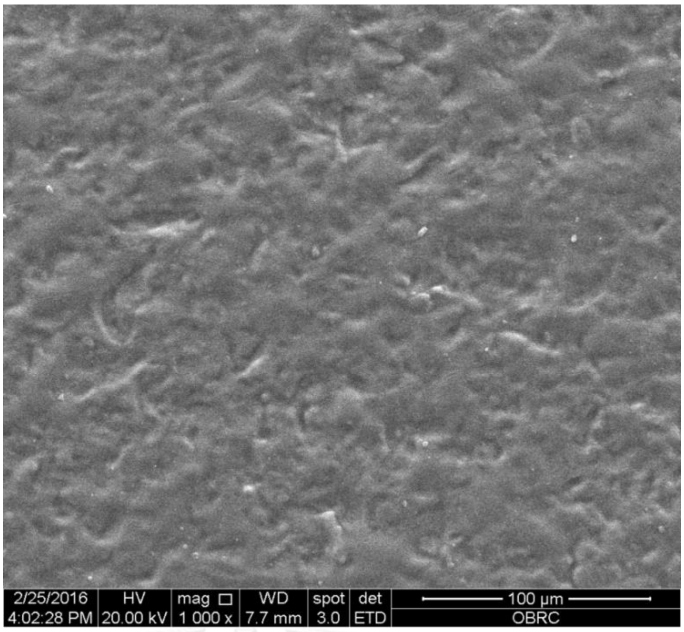
รูปที่ 32 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 20 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า



รูปที่ 33 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 40 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า



รูปที่ 34 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ขัดด้วยหัวขัดยางแอสโทรโพล 20 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า



รูปที่ 35 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดของผิวเซรามิกกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ขัดด้วยหัวขัดยางแอสโทรโพล 40 ครั้ง กำลังขยาย 1000 เท่า

จากรูปที่ 12,13 และ14 แสดงลักษณะพื้นผิวของเซรามิกทั้งสามชนิดที่ผ่านการกรอเลียนแบบพื้นผิวชิ้นงานให้ใกล้เคียงกับเซรามิกที่ผ่านการกลึงจากเครื่องซีเรค จากภาพกำลังขยาย 1,000 เท่าพบว่าพื้นผิวไม่เรียบอย่างเห็นได้ชัด มีรอยขีดข่วนเป็นแนวยาวขนานกันไปโดยทั่วทั้งพื้นผิว และมีฟองอากาศบ้างจำนวนน้อยในกลุ่มวีต้ามาร์คทู

กลุ่มควบคุมได้แก่กลุ่มที่ทำการเคลือบทับ จากรูปที่ 15, 16 และ 17 พบว่ามีลักษณะพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบ พบรอยตำหนิขนาดเล็กหลงเหลืออยู่บ้างในบางตำแหน่งในกลุ่มวีต้ามาร์คทู (บริเวณที่มีลักษณะรูปร่างและขนาดไม่แน่นอน มีการสะท้อนแสงจึงเห็นเป็นสีขาวมากกว่าบริเวณอื่น) ส่วนในกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดและไอพีเอส อีแมกซ์แคดพบว่ามีพื้นผิวที่ดูเรียบมากกว่ากลุ่มวีต้ามาร์คทูเล็กน้อย

กลุ่มวีต้ามาร์คทู ภาพถ่ายจากกำลังขยาย 1,000 ที่ผ่านการขัดด้วยหัวขัดชนิดต่าง ๆ ได้แก่หัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 และ 40 ครั้ง หัวขัดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 40 ครั้ง และกลุ่มที่ขัดด้วยหัวยางแอสโทรโพล 40 ครั้ง พบว่ามีพื้นผิวขรุขระและมีลักษณะคล้ายลูกฟูกเล็ก ๆ กระจายอยู่โดยทั่วไป ดังรูปที่ 18,19,21 และ 23 ส่วนที่ขัดด้วยแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 20 ครั้ง พบว่ามีลักษณะขรุขระและมีลักษณะของลูกฟูกขนาดเล็กและใหญ่กระจายโดยทั่วไป ดังรูปที่ 20 และเมื่อดูภาพถ่ายในกลุ่มที่ผ่านการขัดด้วยหัวยางแอสโทรโพล 20 ครั้ง ในรูปที่ 22 พบว่ามีลักษณะของ

รอยขัดเป็นแนวยาวคล้ายลูกฟูกและเป็นคลื่นอย่างชัดเจน บริเวณที่เป็นลูกฟูกมีขนาดใหญ่เล็กกระจายโดยทั่วไปค่อนข้างตะปุ่มตะป่ำ ผิวไม่เรียบชัดเจน ไม่พบฟองอากาศบนพื้นผิวเซรามิกกลุ่มนี้

กลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดที่ผ่านการขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 ครั้ง จากภาพกำลังขยาย 1,000 ดังรูปที่ 24 พบว่ามีผิวขรุขระบ้างเล็กน้อยและพบรอยขัดเป็นแนวไม่ชัดเจนทั่วพื้นผิว มีลักษณะคล้ายลูกฟูกขนาดเล็กบางบริเวณ มีลักษณะเป็นลอนคลื่นไม่ชัดเจน พบฟองอากาศน้อยมากที่พื้นผิวชิ้นงาน และเมื่อดูภาพถ่ายของกลุ่มที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 40 ครั้ง ดังรูปที่ 25 พบว่ามีลักษระขรุขระเล็กน้อยและพบรอยขัดเป็นแนวไม่ชัดเจนทั่วพื้นผิวเช่นกัน ลักษณะลูกฟูกพบได้น้อยกว่ากลุ่มที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 ครั้ง เล็กน้อย พบฟองอากาศที่ผิวชิ้นงานน้อยมากเช่นกัน

ส่วนภาพกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดที่ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 20 ครั้ง พบว่ามีลักษณะของรอยขัดเป็นแนวยาวคล้ายคลื่นเป็นลอนชัดเจน บริเวณที่ไม่เรียบมองเห็นได้ทั่วไป พบฟองอากาศในบางตำแหน่งบนผิวเซรามิก ดังรูปที่ 26 และเมื่อดูภาพในกลุ่มที่ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 40 ครั้ง พบลักษณะของรอยขัดไม่เป็นแนวชัดเจน พบฟองอากาศเหลืออยู่บ้างแต่มีขนาดเล็ก ดังรูปที่ 27 ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มที่ผ่านการขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์

กลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคด เมื่อดูภาพถ่ายที่กำลังขยาย 1,000 พบว่ากลุ่มที่ผ่านการขัดด้วยหัวยางแอสโทรโพล 20 ครั้ง มีลักษณะของพื้นผิวที่ขรุขระมาก พบลักษณะของรอยขัดเป็นแนวยาวเป็นลอนคลื่นอย่างชัดเจน มีลูกฟูกขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วไป พบฟองอากาศบนพื้นผิวชิ้นงานด้วยเช่นกัน ดังรูปที่ 28 ส่วนในที่ขัดด้วยหัวขัดยางแอสโทรโพล 40 ครั้ง พบลักษณะรอยขัดไม่เป็นแนวชัดเจน ลักษณะลอนคลื่นมีอยู่โดยทั่วไป พบฟองอากาศเล็กน้อยบนพื้นผิว ดังรูปที่ 29

กลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 ครั้ง พบลักษณะพื้นผิวมีรอยขูดเป็นแนวยาว บางตำแหน่งลักษณะขูดขีดเป็นจุดแต่ไม่ลึกมากและเห็นเป็นคลื่นลอนไม่ชัดเจน พบฟองอากาศบนพื้นผิวเล็กน้อย ดังรูปที่ 30 และเมื่อดูภาพเซรามิกกลุ่มที่ผ่านการขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 40 ครั้ง พบลักษณะพื้นผิวคล้ายกลุ่มที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 ครั้ง แต่รอยขูดมีลักษณะตื้นน้อยกว่าและดูจางกว่า พบฟองอากาศบนพื้นผิวน้อยกว่า ดังแสดงในรูปที่ 31 ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มที่ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 40 ครั้ง ที่มองเห็นรอยขีดเป็นจุดไม่ลึกและเป็นลอนคลื่นไม่ชัดเจน นอกจากนี้ยังพบฟองอากาศอยู่บนพื้นผิวเช่นกัน ดังรูปที่ 33

กลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ 20 ครั้ง พบรอยขีดยาวเป็นทางประปรายแต่มีความลึกลงไปไม่มาก ดังรูปที่ 32 เช่นเดียวกับกลุ่มที่ขัดด้วยหัวขัดยางแอสโทรโพล 40 ครั้ง พบว่ามีลักษณะรอยขีดไม่ขัดเจน เห็นเป็นลักษณะลูกฟูกโดยทั่วไป ดังรูปที่ 35

กลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ขัดด้วยหัวขัดยางแอสโทรโพล 20 ครั้ง ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า พบว่าพื้นผิวมีความขรุขระมาก เห็นรอยขัดเป็นแนวยาวชัดเจนร่วมกับลักษณะลูกฟูกและลอนคลื่นทั่วทั้งพื้นผิวเซรามิก พบฟองอากาศเป็นจำนวนมากกระจายอยู่โดยทั่วไปบนพื้นผิว ดังรูปที่ 34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการวิจัย

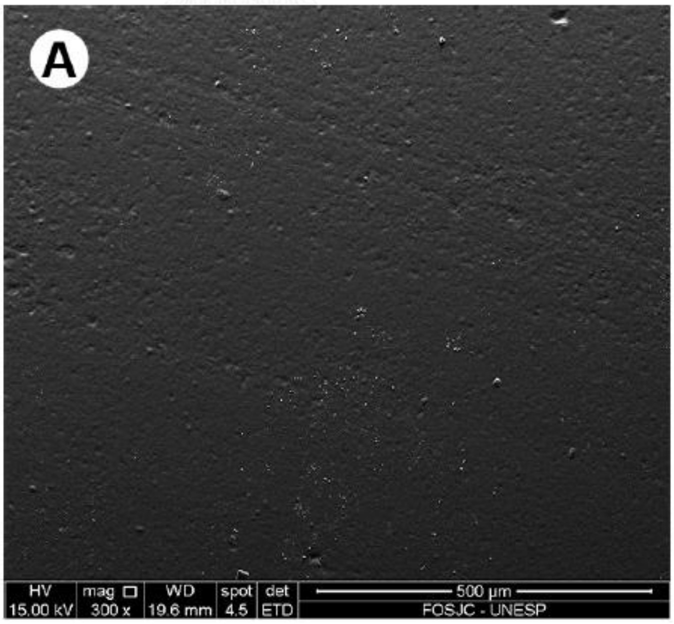
จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่าเซรามิกที่แตกต่างกัน วิธีการขัดที่แตกต่างกันและจำนวนครั้งในการขัดที่แตกต่างกัน มีผลต่อความหยาบพื้นผิวของเซรามิก การนำเซรามิกแคดแคมมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มาทำการกรอพื้นผิวให้คล้ายคลึงจากการกลึงจากเครื่องซีเรคด้วยหัวกรอความเร็วสูงที่ใช้เครื่องขึ้นรูปชิ้นงานควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ทำให้ได้ชิ้นงานเริ่มต้นที่ค่อนข้างมีความเรียบใกล้เคียงกัน ส่วนในขั้นตอนการขัดแต่งได้ทำการควบคุมจำนวนครั้งของการกรอลากหัวขัดโดยมีระยะทางในการขัดไปกลับที่เท่ากันในแต่ละครั้งและทำโดยบุคคลเพียงคนเดียวที่ได้ทำการฝึกฝนจนชำนาญและใช้แรงในการขัดให้มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด รวมถึงได้นำชิ้นงานมาใช้ในการทดสอบจำนวนกลุ่มละ 10 ชิ้นและเมื่อวัดค่าการกระจายตัวของข้อมูลพบว่ามีความแปรปรวนต่ำ ทำให้การควบคุมทั้งหมดน่าเชื่อถือและยอมรับได้

จากการเลือกหัวขัดที่มีจำหน่ายในประเทศไทยและเป็นที่นิยมมาใช้ในครั้งนี้พบว่าหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ซึ่งโดยปกติจะใช้ในการขัดแต่งวัสดุบูรณะสีเหมือนฟัน เช่น เรซินคอมโพสิต กลาสไอโอโนเมอร์ แต่ในการวิจัยครั้งนี้ได้นำมาใช้ขัดแต่งเซรามิกชนิดแคดแคมบล็อกซึ่งให้ผลที่ดี โดยในกลุ่มเซรามิกไอพีเอส เอ็มเพรสแคดพบว่าสามารถทำให้พื้นผิวเซรามิกมีความเรียบไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ขัดด้วยชุดหัวขัดออปตร้าไฟน์ซึ่งผลิตออกมาเพื่อใช้ในการขัดแต่งเซรามิกโดยเฉพาะ ส่วนเซรามิกในกลุ่มวีต้ามาร์คทูและไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ที่ 40 ครั้ง พบว่าทำให้เกิดผิวเซรามิกที่เรียบไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ 40 ครั้ง แต่การที่หัวขัดทำให้ได้ความเรียบที่ใกล้เคียงกันอาจต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในการใช้งาน เนื่องจากการใช้หัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์จะเหมาะสมกับการขัดแต่งในบริเวณที่มีลักษณะเรียบ หรือบริเวณสันริมฟันซึ่งให้ความโค้งมนที่ดีแต่ไม่เหมาะกับบริเวณร่องด้านบดเคี้ยวหรือบริเวณแอ่งด้านเพดานและแอ่งด้านลิ้นของฟันหน้า ซึ่งจะเหมาะกับหัวขัดที่มีรูปร่างกลมหรือหัวขัดรูปรักบี้ ในส่วนของราคาก็มีผลต่อการเลือกใช้ ในกรณีที่ขัดชิ้นงานได้ความเรียบที่ใกล้เคียงกันการเลือกหัวขัดที่มีราคาถูกกว่าก็เป็นตัวเลือกที่ดีในการนำมาใช้งาน

ในกลุ่มที่ได้รับการเคลือบทับพบว่ามีค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวต่ำที่สุดในทุกกลุ่มเซรามิก เมื่อพิจารณารูปจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดแล้วพบว่าพื้นผิวมีความเรียบ ไม่มีรอยขีดข่วนใด ๆ แต่ยังพบว่ามีฟองอากาศในปริมาณน้อยซึ่งอาจเกิดจากขั้นตอนการผลิตชิ้นงานหรือตอนที่

ทำการกรอเลียนแบบพื้นผิวให้คล้ายคลึงการกรอจากเครื่องซีเรค การที่พื้นผิวเซรามิกถูกกรอโดยหัวกรอก่อนนำมาเคลือบทับอาจทำให้เมื่อทำการเคลือบทับด้วยสารเคลือบทับไม่สามารถทำให้พอร์ซเลนหลอมเหลวและเชื่อมกันได้ตลอดพื้นผิวได้ดีเท่าที่ควร จึงปรากฏฟองอากาศให้เห็นอยู่ในปริมาณเล็กน้อย

เซรามิกที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน และมีขนาดของเกรนที่แตกต่างกันส่งผลให้มีความแข็งผิว (hardness) ที่แตกต่างกันโดยพบว่ากลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดเมื่อผ่านกระบวนการเผาเซรามิกจะเปลี่ยนจากลิเทียมเมตะซิลิเกตซึ่งเป็นแท่งเซรามิกสีฟ้ากลายเป็นลิเทียมไดซิลิเกตดังรูปที่ 36 (73) ทำให้มีความแข็งผิวสูงสุดรองลงมาได้แก่กลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดและวีต้ามาร์คทูตามลำดับ (74) โดยในกลุ่มวีต้ามาร์คทูเป็นเซรามิกที่ทำมาจากเฟลด์สปาติกพบว่ามีค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวต่ำเมื่อผ่านการขัดด้วยหัวขัดทั้ง 3 ชนิด โดยมีขนาดของเกรนที่ค่อนข้างละเอียดและมีความแข็งผิวต่ำจึงสามารถขัดให้เรียบได้มากกว่าเซรามิกชนิดอื่นและเมื่อขัดด้วยจำนวนครั้งที่มากขึ้นทำให้มีความเรียบเพิ่มมากขึ้น มีการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของเซรามิกนั้นมีผลต่อความเรียบพื้นผิว จากการศึกษาของ Sasahara และคณะ (75) พบว่าความเรียบของเซรามิกขึ้นกับปริมาณลูไซท์ที่เป็นองค์ประกอบในเซรามิกโดยเซรามิกที่มีปริมาณลูไซท์ต่ำเมื่อทำการขัดด้วยครีมขัดกากเพชรจะทำให้พื้นผิวเรียบมากกว่าเซรามิกที่มีปริมาณลูไซท์สูง



รูปที่ 36 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 300 เท่าของเซรามิกไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ผ่านการเผาก่อนนำไปขัดด้วยวิธีต่าง ๆ คัดลอกรูปมาจาก Effects of

Different Polishing Protocols on Lithium Disilicate Ceramics. Brazilian dental journal. 2015;26(5):478-83.

ชนิดของผงขัดก็มีผลต่อความเรียบเนื่องจากผงขัดที่แตกต่างกันมีความสามารถในการขัดถูที่แตกต่างกัน โดยในหัวขัดออปตร้าไฟน์มีผงขัดที่ทำมาจากผงกากเพชรเป็นส่วนประกอบหลักและในขั้นตอนสุดท้ายได้มีการใช้ครีมขัดกากเพชรซึ่งพบว่าทำให้เกิดพื้นผิวเซรามิกที่มีความเรียบรองลงมาจากกลุ่มที่ผ่านการเคลือบทับ ซึ่งสอดคล้องกับหลายการศึกษา (15, 62, 64, 65) ที่พบว่าการขัดขั้นตอนสุดท้ายด้วยครีมขัดกากเพชรทำให้เกิดพื้นผิวที่เรียบมากกว่าการขัดด้วยวิธีอื่น ซึ่งน่าจะเกิดจากการที่ผงกากเพชรมีความแข็งผิวที่สูงทำให้มีความสามารถในการขัดถูสูงกว่าผงขัดชนิดอื่น ๆ จึงสามารถลดความแหลมคมของเกรนที่อยู่ในพื้นผิว ทำให้เกิดพื้นผิวที่เรียบขึ้นได้ ในการขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์พบว่าให้พื้นผิวที่เรียบไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาอื่น (11, 60) ที่พบว่าการขัดด้วยหัวขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ให้พื้นผิวที่เรียบที่สุด อาจเกิดจากการที่หัวขัดชนิดนี้ประกอบด้วยผงขัดอลูมินัมออกไซด์ซึ่งมีความหยาบตั้งแต่มากไปน้อยและมีความแข็งผิวที่ค่อนข้างสูงใกล้เคียงกับหัวขัดกากเพชร โดยการใช้งานจะต้องเรียงตามลำดับเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุดและจากการวิจัยครั้งนี้พบว่าในกลุ่มวีต้ามาร์คทูและไอพีเอส อีแมกซ์แคดเมื่อขัดด้วยจำนวนครั้งที่มากขึ้นจะทำให้พื้นผิวเรียบมากขึ้น แต่เนื่องจากหัวขัดชนิดนี้มีชั้นผงขัดที่ไม่หนามากนัก ถ้าทำการขัดด้วยจำนวนครั้งที่มากกว่านี้อาจไม่ทำให้พื้นผิวเซรามิกเรียบมากขึ้น เนื่องจากผิวของผงขัดอาจจะหลุดออกจากแผ่นพลาสติกจนหมดไป แต่ในกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดพบว่าไม่ว่าจะขัดด้วยจำนวนครั้ง 20 หรือ 40 ครั้งก็ให้พื้นผิวเซรามิกที่เรียบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นการขัดด้วยหัวขัดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ด้วยจำนวนครั้งเพียง 20 ครั้งก็เพียงพอต่อการทำให้เกิดพื้นผิวที่เรียบได้แล้ว เป็นการประหยัดเวลาในการทำงาน เช่นเดียวกับหัวขัดออปตร้าไฟน์และหัวขัดยางแอสโทรโพล ในกลุ่มเซรามิกวีต้ามาร์คทูและไอพีเอส อีแมกซ์แคดพบว่าเมื่อขัดด้วยหัวยางแอสโทรโพลด้วยจำนวนครั้ง 20 ครั้ง จะให้พื้นผิวที่มีความหยาบมากที่สุด อาจเกิดจากการที่หัวขัดนี้มีส่วนประกอบหลักที่ทำมาจากยางซิลิโคนและมีผงซิลิกอนคาร์ไบด์ฝังอยู่ข้างใน โดยลักษณะของหัวยางแอสโทรโพลมีส่วนประกอบของยางซิลิโคนในปริมาณที่มากกว่าซิลิกอนคาร์ไบด์ที่แทรกอยู่ โดยในการขัดจะเรียงลำดับความหยาบของหัวขัดได้ 3 ระดับ เมื่อขัดโดยใช้ระยะเวลาไม่นานและไม่ได้ออกแรงกดหัวขัดขณะขัดชิ้นงานประกอบกับผงขัดถูกฝังในยางจึงมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร แต่เมื่อขัดต่อไปเรื่อย ๆ พบว่าสามารถทำให้ชิ้นงานเรียบขึ้นได้ แต่ถ้าเทียบกับวิธีการขัดอื่น ๆ พบว่าไม่สามารถทำให้เรียบได้เท่าวิธีขัดอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับรูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดพบว่า

เซรามิกที่ผ่านการขัดด้วยหัวยางแอสโทรโพล 20 ครั้ง มีลักษณะพื้นผิวหยาบชัดเจนกว่ากลุ่มอื่น ๆ ในทุกชนิดเซรามิก

เนื่องจากชุดขัดยางแอสโทรโพลที่ประกอบด้วยผงซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ฝังตัวอยู่ภายในยางสังเคราะห์ (bonded abrasive) เช่นเดียวกับชุดหัวขัดออปตร้าไฟน์ที่มีผงกากเพชรฝังตัวอยู่ในยางสังเคราะห์ ซึ่งทำให้หัวขัดมีประสิทธิภาพในการขัดถูไม่ดีเท่าที่ควรเมื่อเปรียบเทียบกับชุดขัดชนิดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ที่เป็นการนำผงอลูมินัมออกไซด์มาเคลือบทับอยู่บนแผ่นพลาสติก (coated abrasive) ทำให้เมื่อใช้งานผงขัดสามารถสัมผัสขัดถูไปโดยตรงกับวัตถุเซรามิกซึ่งมีความแข็งผิวน้อยกว่า ผลที่ได้พบว่าทำให้เซรามิกมีพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบใกล้เคียงกับกลุ่มที่ขัดด้วยชุดขัดออปตร้าไฟน์ในทุกกลุ่มเซรามิกถึงแม้ว่าอลูมินัมออกไซด์จะมีความแข็งผิวน้อยกว่ากากเพชรที่อยู่ในชุดขัดออปตร้าไฟน์ ส่วนในการขัดเซรามิกด้วยชุดขัดยางแอสโทรโพลและชุดหัวขัดออปตร้าไฟน์ซึ่งมีลักษณะการฝังของผงขัดในหัวยางสังเคราะห์ในลักษณะเดียวกันแต่ให้ผลในการขัดที่แตกต่างกันเนื่องจากความแข็งผิวของผงขัดที่แตกต่างกันประกอบกับในขั้นตอนสุดท้ายของการขัดด้วยชุดขัดออปตร้าไฟน์คือการขัดด้วยครีมขัดกากเพชรซึ่งใช้ร่วมกับแปรงไนลอน (nylon brush) ซึ่งมีความสามารถในการกักเก็บครีมขัดกากเพชรได้ดี เมื่อขัดถูไปบนเซรามิกซึ่งมีความแข็งผิวน้อยกว่าทำให้เซรามิกมีความหยาบพื้นผิวลดลง จึงทำให้เซรามิกที่ขัดด้วยชุดขัดออปตร้าไฟน์มีพื้นผิวที่เรียบมากกว่าเมื่อเทียบกับชุดขัดยางแอสโทรโพลดังเช่นที่พบในเซรามิกกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดและไอพีเอส อีแมกซ์แคด

การประเมินลักษณะพื้นผิวของเซรามิกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดที่ใช้ในการวิจัยนี้เพื่อนำมาดูลักษณะทางกายภาพและเป็นการยืนยันผลของวิธีการขัดต่าง ๆ ที่มีต่อความเรียบของพื้นผิว โดยจากรูปที่เห็นพบว่าหลังผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ ทำให้ได้พื้นผิวที่เรียบมากขึ้น ในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้ทำการขัดผิวเซรามิกในสภาวะแห้งซึ่งสามารถทำให้เกิดความร้อนเกิดขึ้นกับชิ้นงานได้ จากการศึกษาของ Haywood และคณะ (76) พบว่าการใช้หรือไม่ใช้น้ำร่วมด้วยในการขัดชิ้นงานเซรามิก ไม่มีผลต่อความหยาบพื้นผิวของเซรามิก แต่การใช้น้ำร่วมด้วยในกระบวนการขัดนอกจากจะช่วยลดการกระจายของผงขัดยังช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากการขัดซึ่งถ้าความร้อนมีมากเกินไปสามารถทำให้เกิดรอยแตกบริเวณผิวชิ้นงานได้ซึ่งนำไปสู่การลดลงของค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน (77) แต่มีบางการศึกษาพบว่าเมื่อนำพอร์ซเลนชนิดที่มีอุณหภูมิเผาต่ำมาขัดจะทำให้มีความทนความเค้นเพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าการขัดผิวเซรามิกนอกจากจะทำให้มีความเรียบผิวมากขึ้นยังเป็นการเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีให้กับชิ้นงาน (68) แต่ในการขัดชิ้นงานเซรามิกในช่องปากที่ทำในชีวิตประจำวันจำเป็นต้องใช้น้ำร่วมด้วยเสมอ เพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากการขัดชิ้นงานเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นจะส่งผลเสียต่อโพรงประสาทฟันได้

จากการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการนำค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวมาใช้ในการเปรียบเทียบความเรียบของชิ้นงาน (6, 18, 64, 75) แต่ยังไม่สามารถนำผลที่ได้ทั้งหมดมาเปรียบเทียบกันระหว่างการศึกษาได้ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการขัดแตกต่างกันไป วิธีในการขัดที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ค่าจุดตัดที่นำมาใช้วัดค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นที่แตกต่างกันก็ส่งผลให้ค่าที่วัดได้แตกต่างกัน โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าตัดที่ 0.8 มิลลิเมตร และใช้ความเร็วในการเคลื่อนเข็มลากไปบนพื้นผิวที่คงที่ 500 ไมโครเมตรต่อวินาที ตามค่ามาตรฐานไอเอสโอหมายเลข 4288 เนื่องจากมาตรฐานนี้ได้กำหนดเฉพาะค่าตัดที่เหมาะสมสำหรับค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นในช่วงต่าง ๆ ดังนั้นผู้วิจัยได้ใช้ค่าเฉลี่ยพื้นผิวเชิงเส้นเป็นตัวแทนในการรายงานผลซึ่งผ่านการกรองข้อมูลตามมาตรฐานดังกล่าวแล้ว

การเลือกใช้เครื่องโปรฟิลโลมิเตอร์ในการนำมาวัดความหยาบพื้นผิวเป็นเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวที่เหมาะสมกับวัสดุบูรณะที่มีการสะท้อนแสงได้ และปลายเข็มลากที่ทำจากเพชรไม่ทำลายลักษณะพื้นผิวชิ้นงานและการวางตำแหน่งชิ้นงานสามารถวางให้ได้ตำแหน่งเดิมที่ถูกต้องเนื่องจากมีการทำตัวยึดชิ้นงานที่จำเพาะกับชิ้นงานเซรามิกที่ต้องการวัด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาถึงเครื่องมือที่ใช้ในการวัดพื้นผิวเซรามิกโดย Whitehead และคณะ (78) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้เครื่องโปรฟิลโลมิเตอร์กับที่ใช้การสะท้อนกลับของแสงเลเซอร์ (laser reflectivity) ในการวัดความหยาบพื้นผิวเซรามิกในกลุ่มไดคอร์ที่ผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ กันพบว่าการใช้การวัดด้วยการสะท้อนกลับของแสงเลเซอร์เป็นวิธีที่ควรหลีกเลี่ยงในการนำมาวัดเซรามิกที่ผ่านการขัดแต่ง วิธีที่เหมาะสมคือการใช้เครื่องโปรฟิลโลมิเตอร์

ผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าในทุกวิธีการขัดไม่สามารถทำให้เกิดผิวเซรามิกที่เรียบเท่ากับกลุ่มที่ผ่านการเคลือบทับ โดยกลุ่มที่ผ่านการเคลือบทับของเซรามิกทั้งสามชนิดมีค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวที่ใกล้เคียงกัน (วีต้ามาร์คทู=0.2073 ไมโครเมตร , ไอพีเอส เอ็มเพรสแคด=0.1860 ไมโครเมตร, ไอพีเอส อีแมกซ์แคด=0.1822 ไมโครเมตร) ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความหยาบพื้นผิวที่ทำให้เชื้อแบคทีเรียมายึดเกาะได้ โดยถ้าค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยของวัสดุมากกว่า 0.2 ไมโครเมตร จะทำให้เกิดการยึดติดของเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้นได้ (48, 49) ดังนั้นจึงควรหาวิธีในการขัดแต่งชิ้นงานเซรามิกให้มีความเรียบมากที่สุดให้ใกล้เคียงกับกลุ่มที่ผ่านการเคลือบทับ นอกจากนั้นการกรอแก้ไขชิ้นงานในช่องปากเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นต้องทำในกรณีที่มีการยึดชิ้นงานในช่องปากไปแล้วและต้องทำการแก้ไขจุดสบหรือแก้ไขรูปร่างลักษณะทางกายวิภาคของชิ้นงานให้ถูกต้องเหมาะสม จากการศึกษานี้พบว่าเซรามิกที่ผ่านการเคลือบทับทำให้พื้นผิวเซรามิกมีความเรียบมากที่สุดซึ่งแตกต่างจากการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งสอดคล้องกับหลายการศึกษาก่อนหน้านี้ (11, 13-15) แต่ในทางตรงกันข้ามมีหลายการศึกษาที่พบว่าการขัดเซรามิกด้วยวิธีขัดต่าง ๆ สามารถทำให้ผิวเซรามิกมีความเรียบมากกว่าการเคลือบทับ (63, 66, 67) ในกรณีที่เซรามิกไม่ได้รับการขัดแต่งที่ดีเพียงพอหรือไม่สามารถ

นำมาเคลือบทับได้นอกจากจะทำให้เกิดคราบจุลินทรีย์มาเกาะส่งผลให้เกิดการอักเสบของเหงือกแล้ว ยังทำให้เกิดการสึกของฟันคู่สบได้เช่นกัน (8-10) รวมถึงสามารถทำให้เกิดการติดสีที่มากขึ้นกว่าพื้นผิวที่เรียบ (6, 7, 79) Flury และคณะ(80) ได้ทำการศึกษาผลของความหยาบพื้นผิวที่มีต่อลักษณะทางกลของเซรามิกแคดแคม 2 ชนิดคือวีต้ามาร์คทูและไอพีเอส เอ็มเพรสแคดพบว่าเมื่อความหยาบพื้นผิวลดลงจะช่วยเพิ่มความแข็งผิวของชิ้นงานเซรามิกได้ในเซรามิกทั้ง 2 ชนิด de Jager N และคณะ(81) ได้ศึกษาถึงผลของความเรียบพื้นผิวเซรามิกที่มีต่อความแข็งแรงของชิ้นงาน พบว่าผิวเซรามิกที่มีความเรียบมากขึ้นส่งผลให้ค่ากำลังดัดขวางของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของเซรามิกที่มีความเรียบไม่เพียงแต่จะช่วยให้ฟันคู่สบสึกน้อยลง ลดการเกาะตัวของคราบจุลินทรีย์ ยังเพิ่มลักษณะทางกลที่ดีขึ้นอีกด้วย ในบริเวณฟันหน้าที่ต้องการความสวยงาม การขัดแต่งที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นเพราะเซรามิกที่มีความเรียบจะสามารถสะท้อนแสงได้มากกว่าพื้นผิวที่ขรุขระซึ่งทำให้การมองเห็นสีของวัสดุเปลี่ยนไปได้ ดังนั้นทันตแพทย์ควรให้ความสำคัญกับขั้นตอนในการขัดแต่งวัสดุบูรณะ โดยควรเลือกหัวขัดให้เหมาะสมกับลักษณะพื้นผิวที่ต้องการขัด ไม่ควรออกแรงกดในการขัดชิ้นงานเพราะจะทำให้เกิดความร้อนซึ่งส่งผลเสียต่อโพรงประสาทฟัน และควรเรียงลำดับการขัดตามความหยาบจากมากไปน้อยเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความเรียบมากที่สุดซึ่งส่งผลดีสูงสุดแก่คนไข้

สรุปผลการวิจัย

ภายใต้สภาวะการทดลองนี้พบว่า

1. ชนิดของเซรามิก วิธีการขัดต่าง ๆ กัน 3 วิธีและจำนวนครั้งในการขัดมีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวเซรามิก และทั้งสามปัจจัยไม่มีอิทธิพลต่อกัน
2. ความเรียบของผิวเซรามิกชนิดวีต้ามาร์คทูบล็อก ไอพีเอส เอ็มเพรสแคดบล็อกและไอพีเอส อีแมกซ์แคดบล็อกที่ขัดด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน 3 วิธีและจำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ กันมีความเรียบของผิวเซรามิกที่แตกต่างกันและแตกต่างจากกลุ่มเคลือบทับที่เป็นกลุ่มควบคุม
3. วิธีการขัดและจำนวนครั้งในการขัดที่เหมาะสมกับเซรามิกแต่ละชนิดคือ กลุ่มวีต้ามาร์คทูการขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์ หัวขัดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ หัวขัดยางแอสโทรโพลที่ 40 ครั้ง และหัวขัดออปตร้าไฟน์ 20 ครั้ง ให้ผิวเซรามิกแคดแคมที่มีความเรียบมากที่สุดรองลงมาจากกลุ่มควบคุม กลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดนั้นจำนวนครั้งในการขัดไม่มีผลต่อความเรียบของเซรามิก วิธีที่เหมาะสมในการขัดคือการขัดด้วยหัวขัดออปตร้าไฟน์และหัวขัดแผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์ ส่วนกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดวิธีการขัดที่เหมาะสมคือ

การใช้แผ่นพลาสติกเคลือบอลูมินัมออกไซด์และหัวขัดออปตร้าไฟน์ที่ 40 ครั้ง สามารถทำให้เกิดผิวเซรามิกที่เรียบที่สุดรองลงมาจากกลุ่มควบคุม

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในการวิจัยนี้ไม่สามารถควบคุมแรงที่ใช้ในการขัดได้อย่างแน่นอน แต่ควบคุมระยะทางในการขัดแต่ละครั้งให้คงที่และมีความใกล้เคียงกันในทุกชิ้นงาน ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ทำโดยบุคคลเพียงคนเดียว และการวิจัยในครั้งนี้เป็นการทำในห้องปฏิบัติการซึ่งไม่สามารถจำลองสภาวะจริงในช่องปากได้ ดังนั้นผลที่ได้จึงสามารถนำมาบอกถึงแนวโน้มของผลที่อาจเกิดขึ้นจริงในช่องปาก ประกอบกับการวิจัยครั้งนี้ไม่ได้ใช้น้ำร่วมด้วยเนื่องจากการใช้หรือไม่ใช้น้ำไม่มีผลต่อความหยาบพื้นผิวของเซรามิก แต่ในการขัดชิ้นงานเซรามิกในช่องปากที่ทำในชีวิตประจำวันจำเป็นต้องใช้น้ำร่วมด้วยเสมอ เพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากการขัดชิ้นงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

1. Adair PJ, Grossman DG. The castable ceramic crown. The International journal of periodontics & restorative dentistry. 1984;4(2):32-46.
2. Bergman M. Side-effects of amalgam and its alternatives: local, systemic and environmental. International dental journal. 1990;40(1):4-10.
3. Fasbinder DJ. Computerized technology for restorative dentistry. American journal of dentistry. 2013;26(3):115-20.
4. Clayton JA, Green E. Roughness of pontic materials and dental plaque. J Prosthet Dent. 1970;23(4):407-11.
5. Kawai K, Urano M, Ebisu S. Effect of surface roughness of porcelain on adhesion of bacteria and their synthesizing glucans. J Prosthet Dent. 2000;83(6):664-7.
6. Yilmaz C, Korkmaz T, Demirkoprulu H, Ergun G, Ozkan Y. Color stability of glazed and polished dental porcelains. Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists. 2008;17(1):20-4.
7. Atay A, Karayazgan B, Ozkan Y, Akyil MS. Effect of colored beverages on the color stability of feldspathic porcelain subjected to various surface treatments. Quintessence international (Berlin, Germany : 1985). 2009;40(7):e41-8.
8. Metzler KT, Woody RD, Miller AW, 3rd, Miller BH. In vitro investigation of the wear of human enamel by dental porcelain. J Prosthet Dent. 1999;81(3):356-64.
9. Jagger DC, Harrison A. An in vitro investigation into the wear effects of unglazed, glazed, and polished porcelain on human enamel. J Prosthet Dent. 1994;72(3):320-3.
10. Mitov G, Heintze SD, Walz S, Woll K, Muecklich F, Pospiech P. Wear behavior of dental Y-TZP ceramic against natural enamel after different finishing procedures. Dent Mater. 2012;28(8):909-18.
11. Jung M. Finishing and polishing of a hybrid composite and a heat-pressed glass ceramic. Operative dentistry. 2002;27(2):175-83.

12. Bottino MC, Valandro LF, Kantorski KZ, Bressiani JC, Bottino MA. Polishing methods of an alumina-reinforced feldspar ceramic. Brazilian dental journal. 2006;17(4):285-9.

13. Patterson CJ, McLundie AC, Stirrups DR, Taylor WG. Refinishing of porcelain by using a refinishing kit. J Prosthet Dent. 1991;65(3):383-8.

14. Patterson CJ, McLundie AC, Stirrups DR, Taylor WG. Efficacy of a porcelain refinishing system in restoring surface finish after grinding with fine and extra-fine diamond burs. J Prosthet Dent. 1992;68(3):402-6.

15. Fuzzi M, Zaccheroni Z, Vallania G. Scanning electron microscopy and profilometer evaluation of glazed and polished dental porcelain. The International journal of prosthodontics. 1996;9(5):452-8.

16. Klausner LH, Cartwright CB, Charbeneau GT. Polished versus autoglazed porcelain surfaces. J Prosthet Dent. 1982;47(2):157-62.

17. Tholt de Vasconcellos B, Miranda-Junior WG, Prioli R, Thompson J, Oda M. Surface roughness in ceramics with different finishing techniques using atomic force microscope and profilometer. Operative dentistry. 2006;31(4):442-9.

18. Karan S, Toroglu MS. Porcelain refinishing with two different polishing systems after orthodontic debonding. The Angle orthodontist. 2008;78(5):947-53.

19. Magne P, Belser U. Esthetic improvements and in vitro testing of In-Ceram Alumina and Spinell ceramic. The International journal of prosthodontics. 1997;10(5):459-66.

20. Guazzato M, Albakry M, Swain MV, Ironside J. Mechanical properties of In-Ceram Alumina and In-Ceram Zirconia. The International journal of prosthodontics. 2002;15(4):339-46.

21. Zeng K, Oden A, Rowcliffe D. Flexure tests on dental ceramics. The International journal of prosthodontics. 1996;9(5):434-9.

22. Luthardt RG, Holzhuter M, Sandkuhl O, Herold V, Schnapp JD, Kuhlisch E, et al. Reliability and properties of ground Y-TZP-zirconia ceramics. Journal of dental research. 2002;81(7):487-91.

23. Kwon TK, Pak HS, Yang JH, Han JS, Lee JB, Kim SH, et al. Comparative fracture strength analysis of Lava and Digident CAD/CAM zirconia ceramic crowns. The journal of advanced prosthodontics. 2013;5(2):92-7.

24. Attia A, Abdelaziz KM, Freitag S, Kern M. Fracture load of composite resin and feldspathic all-ceramic CAD/CAM crowns. J Prosthet Dent. 2006;95(2):117-23.

25. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. Dental materials journal. 2009;28(1):44-56.

26. Allen KL, Schenkel AB, Estafan D. An overview of the CEREC 3D CAD/CAM system. General dentistry. 2004;52(3):234-5.

27. Raigrodski AJ. Clinical and laboratory considerations for the use of CAD/CAM Y-TZP-based restorations. Practical procedures & aesthetic dentistry : PPAD. 2003;15(6):469-76; quiz 77.

28. Brunton PA, Smith P, McCord JF, Wilson NH. Procera all-ceramic crowns: a new approach to an old problem? British dental journal. 1999;186(9):430-4.

29. Mormann WH, Bindl A. All-ceramic, chair-side computer-aided design/computer-aided machining restorations. Dental clinics of North America. 2002;46(2):405-26, viii.

30. Otto T, De Nisco S. Computer-aided direct ceramic restorations: a 10-year prospective clinical study of Cerec CAD/CAM inlays and onlays. The International journal of prosthodontics. 2002;15(2):122-8.

31. Pallesen U, van Dijken JW. An 8-year evaluation of sintered ceramic and glass ceramic inlays processed by the Cerec CAD/CAM system. European journal of oral sciences. 2000;108(3):239-46.

32. Griggs JA. Recent advances in materials for all-ceramic restorations. Dental clinics of North America. 2007;51(3):713-27, viii.

33. Fasbinder DJ. Clinical performance of chairside CAD/CAM restorations. Journal of the American Dental Association (1939). 2006;137 Suppl:22s-31s.

34. Vichi A, Sedda M, Del Siena F, Louca C, Ferrari M. Flexural resistance of Cerec CAD/CAM system ceramic blocks. Part 1: Chairside materials. American journal of dentistry. 2013;26(5):255-9.

35. Martin N, Jedynakiewicz NM. Clinical performance of CEREC ceramic inlays: a systematic review. Dent Mater. 1999;15(1):54-61.

36. Sjogren G, Molin M, van Dijken JW. A 10-year prospective evaluation of CAD/CAM-manufactured (Cerec) ceramic inlays cemented with a chemically cured or dual-cured resin composite. The International journal of prosthodontics. 2004;17(2):241-6.

37. Seghi RR, Sorensen JA. Relative flexural strength of six new ceramic materials. The International journal of prosthodontics. 1995;8(3):239-46.

38. Bindl A, Luthy H, Mormann WH. Fracture load of CAD/CAM-generated slot-inlay FPDs. The International journal of prosthodontics. 2003;16(6):653-60.

39. Attia A, Kern M. Influence of cyclic loading and luting agents on the fracture load of two all-ceramic crown systems. J Prosthet Dent. 2004;92(6):551-6.

40. Giordano R, McLaren EA. Ceramics overview: classification by microstructure and processing methods. Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ : 1995). 2010;31(9):682-4, 6, 8 passim; quiz 98, 700.

41. El-Mowafy O, Brochu JF. Longevity and clinical performance of IPS-Empress ceramic restorations--a literature review. Journal (Canadian Dental Association). 2002;68(4):233-7.

42. Culp L, McLaren EA. Lithium disilicate: the restorative material of multiple options. Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ : 1995). 2010;31(9):716-20, 22, 24-5.

43. Reich S, Fischer S, Sobotta B, Klapper HU, Gozdowski S. A preliminary study on the short-term efficacy of chairside computer-aided design/computer-assisted manufacturing- generated posterior lithium disilicate crowns. The International journal of prosthodontics. 2010;23(3):214-6.

44. Giordano R. Materials for chairside CAD/CAM-produced restorations. Journal of the American Dental Association (1939). 2006;137 Suppl:14s-21s.

45. Bindl A, Mormann WH. An up to 5-year clinical evaluation of posterior in-ceram CAD/CAM core crowns. The International journal of prosthodontics. 2002;15(5):451-6.

46. Aykent F, Yondem I, Ozyesil AG, Gunal SK, Avunduk MC, Ozkan S. Effect of different finishing techniques for restorative materials on surface roughness and bacterial adhesion. J Prosthet Dent. 2010;103(4):221-7.

47. Al-Marzok MI, Al-Azzawi HJ. The effect of the surface roughness of porcelain on the adhesion of oral Streptococcus mutans. The journal of contemporary dental practice. 2009;10(6):E017-24.

48. Yip HK, To WM, Smales RJ. Effects of artificial saliva and APF gel on the surface roughness of newer glass ionomer cements. Operative dentistry. 2004;29(6):661-8.

49. Heintze SD, Forjanic M, Rousson V. Surface roughness and gloss of dental materials as a function of force and polishing time in vitro. Dent Mater. 2006;22(2):146-65.

50. Heintze SD, Cavalleri A, Forjanic M, Zellweger G, Rousson V. Wear of ceramic and antagonist--a systematic evaluation of influencing factors in vitro. Dent Mater. 2008;24(4):433-49.

51. Mormann WH, Stawarczyk B, Ender A, Sener B, Attin T, Mehl A. Wear characteristics of current aesthetic dental restorative CAD/CAM materials: two-body wear, gloss retention, roughness and Martens hardness. Journal of the mechanical behavior of biomedical materials. 2013;20:113-25.

52. Passos SP, de Freitas AP, Iorgovan G, Rizkalla AS, Santos MJ, Santos Junior GC. Enamel wear opposing different surface conditions of different CAD/CAM ceramics. Quintessence international (Berlin, Germany : 1985). 2013;44(10):743-51.

53. Jones CS, Billington RW, Pearson GJ. The in vivo perception of roughness of restorations. British dental journal. 2004;196(1):42-5; discussion 31.

54. Barbour ME, Rees JS. The laboratory assessment of enamel erosion: a review. Journal of dentistry. 2004;32(8):591-602.

55. Hobson T. User's manual:Surface Finish Metrology. 2003(3).

56. Hobson T. Available from:http://www.hoskin.qc.ca/uploadpdf/Instrumentation/Talay%20Hobson/hoskin_TSCAN150_44ad086f7458b.pdf. 2009.

57. Standardization. IOf. ISO 4288:1996 Geometrical Product Specifications (GPS) Surface texture: Profile method Rules and procedures for the assessment of surface texture Geneva, Switzerland. 1996.

58. Farihurst CW LP, Ringle RD,Thompson WO. The effect of glaze on porcelain strength. Dent Mater. 1992;8:203-7.

59. Griggs JA, Thompson JY, Anusavice KJ. Effects of flaw size and auto-glaze treatment on porcelain strength. Journal of dental research. 1996;75(6):1414-7.

60. Hulterstrom AK, Bergman M. Polishing systems for dental ceramics. Acta odontologica Scandinavica. 1993;51(4):229-34.

61. Raimondo RL, Jr., Richardson JT, Wiedner B. Polished versus autoglazed dental porcelain. J Prosthet Dent. 1990;64(5):553-7.

62. Haywood VB, Heymann HO, Kusy RP, Whitley JQ, Andreaus SB. Polishing porcelain veneers: an SEM and specular reflectance analysis. Dent Mater. 1988;4(3):116-21.

63. Scurria MS, Powers JM. Surface roughness of two polished ceramic materials. J Prosthet Dent. 1994;71(2):174-7.

64. Sarikaya I, Guler AU. Effects of different polishing techniques on the surface roughness of dental porcelains. Journal of applied oral science : revista FOB. 2010;18(1):10-6.

65. Martinez-Gomis J, Bizar J, Anglada JM, Samso J, Peraire M. Comparative evaluation of four finishing systems on one ceramic surface. The International journal of prosthodontics. 2003;16(1):74-7.

66. Wright MD, Masri R, Driscoll CF, Romberg E, Thompson GA, Runyan DA. Comparison of three systems for the polishing of an ultra-low fusing dental porcelain. J Prosthet Dent. 2004;92(5):486-90.

67. Ward MT, Tate WH, Powers JM. Surface roughness of opalescent porcelains after polishing. Operative dentistry. 1995;20(3):106-10.

68. Rosenstiel SF, Baiker MA, Johnston WM. Comparison of glazed and polished dental porcelain. The International journal of prosthodontics. 1989;2(6):524-9.
69. al-Hiyasat AS, Saunders WP, Sharkey SW, Smith GM, Gilmour WH. Investigation of human enamel wear against four dental ceramics and gold. Journal of dentistry. 1998;26(5-6):487-95.
70. Janyavula S, Lawson N, Cakir D, Beck P, Ramp LC, Burgess JO. The wear of polished and glazed zirconia against enamel. J Prosthet Dent. 2013;109(1):22-9.
71. Sabrah AH, Cook NB, Luangruangrong P, Hara AT, Bottino MC. Full-contour Y-TZP ceramic surface roughness effect on synthetic hydroxyapatite wear. Dent Mater. 2013;29(6):666-73.
72. Motro PF, Kursoglu P, Kazazoglu E. Effects of different surface treatments on stainability of ceramics. J Prosthet Dent. 2012;108(4):231-7.
73. Silva TM, Salvia AC, Carvalho RF, Silva EG, Pagani C. Effects of Different Polishing Protocols on Lithium Disilicate Ceramics. Brazilian dental journal. 2015;26(5):478-83.
74. Coldea A, Swain MV, Thiel N. Mechanical properties of polymer-infiltrated-ceramic-network materials. Dent Mater. 2013;29(4):419-26.
75. Sasahara RM, Ribeiro Fda C, Cesar PF, Yoshimura HN. Influence of the finishing technique on surface roughness of dental porcelains with different microstructures. Operative dentistry. 2006;31(5):577-83.
76. Haywood VB, Heymann HO, Scurria MS. Effects of water, speed, and experimental instrumentation on finishing and polishing porcelain intra-orally. Dent Mater. 1989;5(3):185-8.
77. Camacho GB, Vinha D, Panzeri H, Nonaka T, Goncalves M. Surface roughness of a dental ceramic after polishing with different vehicles and diamond pastes. Brazilian dental journal. 2006;17(3):191-4.
78. Whitehead SA, Shearer AC, Watts DC, Wilson NH. Comparison of methods for measuring surface roughness of ceramic. Journal of oral rehabilitation. 1995;22(6):421-7.

79. Ertan AA, Sahin E. Colour stability of low fusing porcelains: an in vitro study. Journal of oral rehabilitation. 2005;32(5):358-61.

80. Flury S, Peutzfeldt A, Lussi A. Influence of surface roughness on mechanical properties of two computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) ceramic materials. Operative dentistry. 2012;37(6):617-24.

81. de Jager N, Feilzer AJ, Davidson CL. The influence of surface roughness on porcelain strength. Dent Mater. 2000;16(6):381-8.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

แสดงการแจกแจงข้อมูลทางสถิติด้วย One-Sample Kolmogorov-Smirnov ของกลุ่มเซรามิกที่ผ่านการกรอเลียนแบบผิวชิ้นงานให้ใกล้เคียงกับเซรามิกที่ผ่านการกลึงจากเครื่องซีเรค

NPar Tests

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Vita	70	.55151	.009265	.533	.584
Empress	70	.55070	.012465	.514	.581
Emax	70	.54940	.011440	.521	.575

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Vita	Empress	Emax
N		70	70	70
Normal Parameters[a,,b]	Mean	.55151	.55070	.54940
	Std. Deviation	.009265	.012465	.011440
Most Extreme Differences	Absolute	.087	.067	.071
	Positive	.087	.050	.071
	Negative	-.060	-.067	-.051
Kolmogorov-Smirnov Z		.727	.559	.595
Asymp. Sig. (2-tailed)		.665	.914	.871

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

แสดงการแจกแจงข้อมูลทางสถิติด้วย One-Sample Kolmogorov-Smirnov ของกลุ่มเซรามิกตัวอย่างที่ผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ

NPar Tests

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		VISO1	VISO2	VIAS1	VIAS2	VIOP1	VIOP2
N		10	10	10	10	10	10
Normal Parameters[a,,b]	Mean	.2730	.2408	.2711	.2418	.2500	.2311
	Std. Deviation	.01054	.00632	.01839	.01573	.01579	.00626
Most Extreme Differences	Absolute	.148	.213	.191	.210	.148	.172
	Positive	.115	.159	.095	.179	.143	.172
	Negative	-.148	-.213	-.191	-.210	-.148	-.133
Kolmogorov-Smirnov Z		.467	.672	.605	.664	.468	.543
Asymp. Sig. (2-tailed)		.981	.757	.857	.770	.981	.930

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		EPSO1	EPSO2	EPAS1	EPAS2	EPOP1	EPOP2
N		10	10	10	10	10	10
Normal Parameters[a,,b]	Mean	.2950	.2858	.4163	.4011	.30090	.2710
	Std. Deviation	.04247	.04802	.03249	.02456	.040416	.03099
Most Extreme Differences	Absolute	.216	.224	.199	.159	.211	.198
	Positive	.216	.224	.194	.159	.211	.161
	Negative	-.125	-.136	-.199	-.131	-.194	-.198
Kolmogorov-Smirnov Z		.683	.708	.630	.501	.667	.627
Asymp. Sig. (2-tailed)		.739	.697	.822	.963	.765	.827

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		EMSO1	EMSO2	EMAS1	EMAS2	EMOP1	EMOP2
N		10	10	10	10	10	10
Normal Parameters[a,,b]	Mean	.3569	.2671	.3972	.3472	.3562	.2839
	Std. Deviation	.01872	.01987	.02735	.03295	.02172	.00671
Most Extreme Differences	Absolute	.213	.142	.174	.272	.253	.167
	Positive	.213	.127	.174	.272	.243	.167
	Negative	-.156	-.142	-.112	-.129	-.253	-.119
Kolmogorov-Smirnov Z		.675	.448	.550	.859	.800	.530
Asymp. Sig. (2-tailed)		.752	.988	.923	.452	.544	.942

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แสดงการทดสอบความแปรปรวนแบบสามทาง (3-way ANOVA) ของเซรามิกทั้ง 3 ชนิดที่ขัดด้วยวิธีต่าง ๆ กันและจำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ กัน

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Type	1	Vitablocs	60
	2	Empress	60
	3	Emax	60
System	1	Soflex	60
	2	Astropol	60
	3	Optrafine	60
Stroke	1	20	90
	2	40	90

Descriptive Statistics

Dependent Variable:Ra

Type	System	Stroke	Mean	Std. Deviation	N
Vitablocs	Soflex	20	0.27300	0.010541	10
		40	0.24080	0.006321	10
		Total	0.25690	0.018558	20
	Astropol	20	0.27110	0.018387	10
		40	0.24180	0.015732	10
		Total	0.25645	0.022435	20
	Optrafine	20	0.25000	0.015790	10
		40	0.23110	0.006262	10
		Total	0.24055	0.015188	20
	Total	20	0.26470	0.018143	30
		40	0.23790	0.011201	30
		Total	0.25130	0.020151	60

Type	System	Stroke	Mean	Std. Deviation	N
Empress	Soflex	20	0.29500	0.042471	10
		40	0.28580	0.048016	10
		Total	0.29040	0.044371	20
	Astropol	20	0.41630	0.032493	10
		40	0.40110	0.024556	10
		Total	0.40870	0.029095	20
	Optrafine	20	0.30090	0.040416	10
		40	0.27100	0.030991	10
		Total	0.28595	0.038262	20
	Total	20	0.33740	0.067973	30
		40	0.31930	0.068553	30
		Total	0.32835	0.068295	60

Type	System	Stroke	Mean	Std. Deviation	N
Emax	Soflex	20	0.35690	0.018723	10
		40	0.26710	0.019874	10
		Total	0.31200	0.049752	20
	Astropol	20	0.39720	0.027353	10
		40	0.34720	0.032947	10
		Total	0.37220	0.039070	20
	Optrafine	20	0.35620	0.021725	10
		40	0.28390	0.006707	10
		Total	0.32005	0.040255	20
	Total	20	0.37010	0.029452	30
		40	0.29940	0.041278	30
		Total	0.33475	0.050345	60

Type	System	Stroke	Mean	Std. Deviation	N
Total	Soflex	20	0.30830	0.044813	30
		40	0.26457	0.034683	30
		Total	0.28643	0.045438	60
	Astropol	20	0.36153	0.070411	30
		40	0.33003	0.071614	30
		Total	0.34578	0.072180	60
	Optrafine	20	0.30237	0.051734	30
		40	0.26200	0.029099	30
		Total	0.28218	0.046325	60
	Total	20	0.32407	0.062110	90
		40	0.28553	0.057804	90
		Total	0.30480	0.062870	180

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Ra

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.595[a]	17	.035	50.482	.000
Intercept	16.723	1	16.723	24112.618	.000
Type	.259	2	.129	186.607	.000
System	.152	2	.076	109.376	.000
Stroke	.067	1	.067	96.345	.000
Type * System	.088	4	.022	31.854	.000
Type * Stroke	.024	2	.012	17.194	.000
System * Stroke	.001	2	.001	.864	.424
Type * System * Stroke	.004	4	.001	1.588	.180
Error	.112	162	.001		
Total	17.430	180			
Corrected Total	.708	179			

a. R Squared = .841 (Adjusted R Squared = .825)

แสดงการแจกแจงข้อมูลทางสถิติด้วย One-Sample Kolmogorov-Smirnov ของกลุ่มเซรามิกตัวอย่างที่ผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ และกลุ่มเคลือบทับในเซรามิกทั้งสามชนิด

NPar Tests

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Vita Glaze	Empress Glaze	Emax Glaze
N		10	10	10
Normal Parameters[a,,b]	Mean	.2073	.1860	.1822
	Std. Deviation	.00785	.02634	.01167
Most Extreme Differences	Absolute	.224	.266	.190
	Positive	.224	.266	.131
	Negative	-.166	-.144	-.190
Kolmogorov-Smirnov Z		.708	.842	.602
Asymp. Sig. (2-tailed)		.698	.477	.861

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Vita Soflex20	Vita Soflex40	Vita Astro20	Vita Astro40	Vita Optra20	Vita Optra40
N		10	10	10	10	10	10
Normal Parameters[a,,b]	Mean	.2730	.2408	.2711	.2418	.2500	.2311
	Std. Deviation	.01054	.00632	.01839	.01573	.01579	.00626
Most Extreme Differences	Absolute	.148	.213	.191	.210	.148	.172
	Positive	.115	.159	.095	.179	.143	.172
	Negative	-.148	-.213	-.191	-.210	-.148	-.133
Kolmogorov-Smirnov Z		.467	.672	.605	.664	.468	.543
Asymp. Sig. (2-tailed)		.981	.757	.857	.770	.981	.930

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Empress Soflex20	Empress Soflex40	Empress Astro20	Empress Astro40	Empress Optra20	Empress Optra40
N		10	10	10	10	10	10
Normal Parameters[a,,b]	Mean	.2950	.2858	.4163	.4011	.30090	.2710
	Std. Deviation	.04247	.04802	.03249	.02456	.040416	.03099
Most Extreme Differences	Absolute	.216	.224	.199	.159	.211	.198
	Positive	.216	.224	.194	.159	.211	.161
	Negative	-.125	-.136	-.199	-.131	-.194	-.198
Kolmogorov-Smirnov Z		.683	.708	.630	.501	.667	.627
Asymp. Sig. (2-tailed)		.739	.697	.822	.963	.765	.827

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Emax Soflex 20	Emax Soflex 40	Emax Astro20	Emax Astro40	Emax Optra20	Emax Optra40
N		10	10	10	10	10	10
Normal Parameters[a,,b]	Mean	.3569	.2671	.3972	.3472	.3562	.2839
	Std. Deviation	.01872	.01987	.02735	.03295	.02172	.00671
Most Extreme Differences	Absolute	.213	.142	.174	.272	.253	.167
	Positive	.213	.127	.174	.272	.243	.167
	Negative	-.156	-.142	-.112	-.129	-.253	-.119
Kolmogorov-Smirnov Z		.675	.448	.550	.859	.800	.530
Asymp. Sig. (2-tailed)		.752	.988	.923	.452	.544	.942

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

แสดงการทดสอบความแปรปรวนแบบสองทาง (2-way ANOVA) ของเซรามิกวีต้ามาร์คทูที่ขัดด้วยวิธีต่าง ๆ กันและจำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ กัน

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
SYSTEM	1	soflex	20
	2	astropol	20
	3	optrafine	20
STROKE	1	20 storkes	30
	2	40 strokes	30

Descriptive Statistics

Dependent Variable:Ra

SYSTEM	STROKE	Mean	Std. Deviation	N
soflex	20 storkes	.27300	.010541	10
	40 strokes	.24080	.006321	10
	Total	.25690	.018558	20
astropol	20 storkes	.27110	.018387	10
	40 strokes	.24180	.015732	10
	Total	.25645	.022435	20
optrafine	20 storkes	.25000	.015790	10
	40 strokes	.23110	.006262	10
	Total	.24055	.015188	20
Total	20 storkes	.26470	.018143	30
	40 strokes	.23790	.011201	30
	Total	.25130	.020151	60

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Ra

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.015[a]	5	.003	17.243	.000
Intercept	3.789	1	3.789	22175.298	.000
SYSTEM	.003	2	.002	10.151	.000
STROKE	.011	1	.011	63.051	.000
SYSTEM * STROKE	.000	2	.000	1.431	.248
Error	.009	54	.000		
Total	3.813	60			
Corrected Total	.024	59			

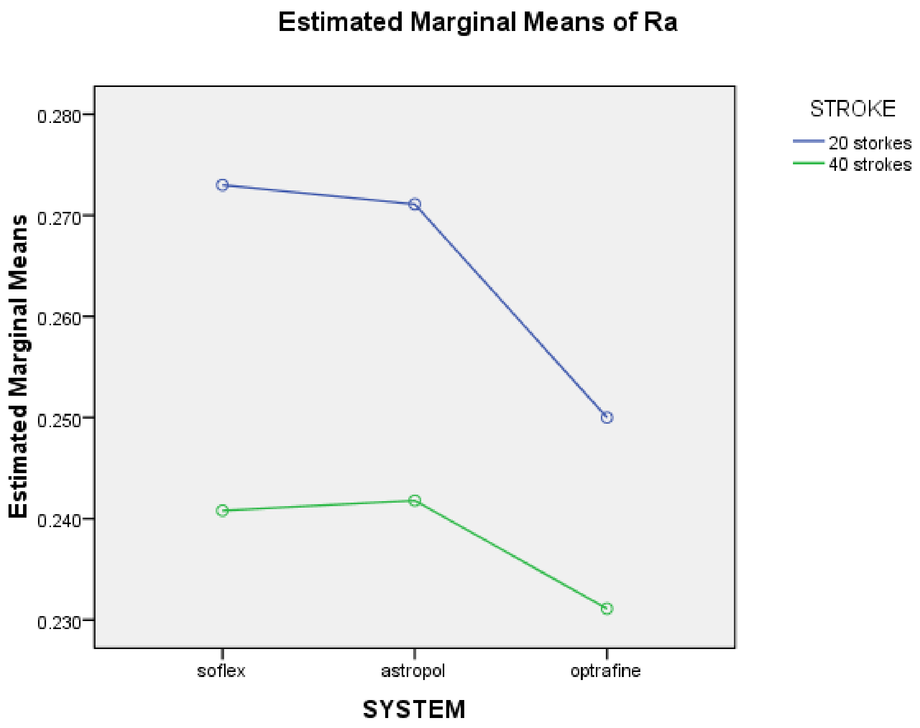
a. R Squared = .615 (Adjusted R Squared = .579)

SYSTEM * STROKE

Dependent Variable:Ra

SYSTEM	STROKE	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
soflex	20 storkes	.273	.004	.265	.281
	40 strokes	.241	.004	.233	.249
astropol	20 storkes	.271	.004	.263	.279
	40 strokes	.242	.004	.234	.250
optrafine	20 storkes	.250	.004	.242	.258
	40 strokes	.231	.004	.223	.239

Profile Plots



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แสดงการทดสอบความแปรปรวนแบบสองทาง (2-way ANOVA) ของเซรามิกไอพีเอส เอ็มเพรสแคด ที่ขัดด้วยวิธีต่าง ๆ กันและจำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ กัน

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
SYSTEM	1	soflex	20
	2	astropol	20
	3	optrafine	20
STROKE	1	20 storkes	30
	2	40 strokes	30

Descriptive Statistics

Dependent Variable:Ra

SYSTEM	STROKE	Mean	Std. Deviation	N
soflex	20 storkes	.29500	.042471	10
	40 strokes	.28580	.048016	10
	Total	.29040	.044371	20
astropol	20 storkes	.41630	.032493	10
	40 strokes	.40110	.024556	10
	Total	.40870	.029095	20
optrafine	20 storkes	.30090	.040416	10
	40 strokes	.27100	.030991	10
	Total	.28595	.038262	20
Total	20 storkes	.33740	.067973	30
	40 strokes	.31930	.068553	30
	Total	.32835	.068295	60

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Ra

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.200[a]	5	.040	28.691	.000
Intercept	6.469	1	6.469	4641.617	.000
SYSTEM	.194	2	.097	69.559	.000
STROKE	.005	1	.005	3.526	.066
SYSTEM * STROKE	.001	2	.001	.407	.668
Error	.075	54	.001		
Total	6.744	60			
Corrected Total	.275	59			

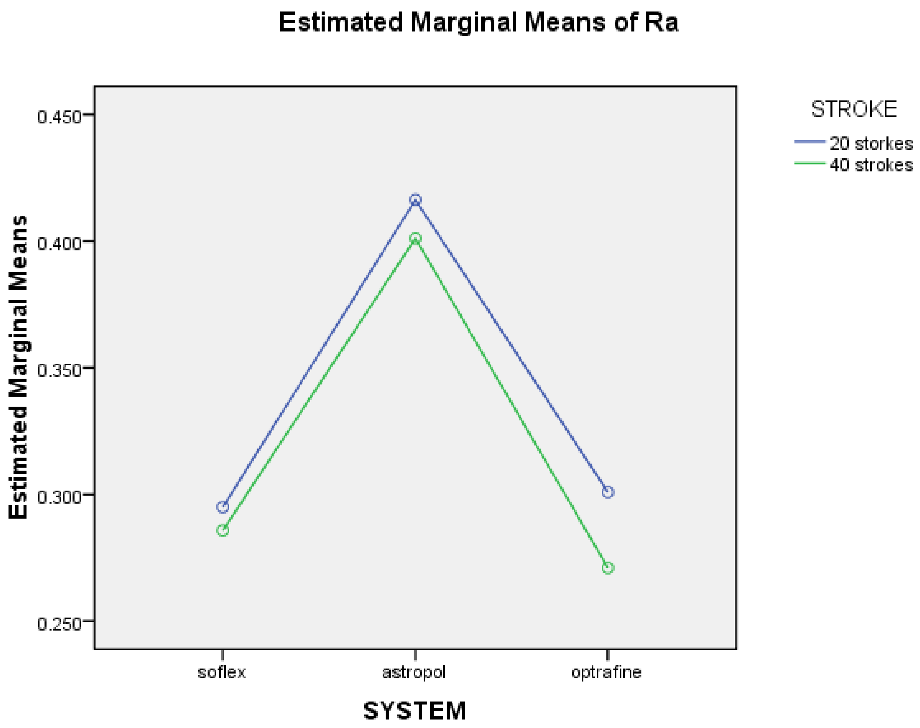
a. R Squared = .727 (Adjusted R Squared = .701)

SYSTEM * STROKE

Dependent Variable:Ra

SYSTEM	STROKE	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
soflex	20 storkes	.295	.012	.271	.319
	40 strokes	.286	.012	.262	.309
astropol	20 storkes	.416	.012	.393	.440
	40 strokes	.401	.012	.377	.425
optrafine	20 storkes	.301	.012	.277	.325
	40 strokes	.271	.012	.247	.295

Profile Plots



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แสดงการทดสอบความแปรปรวนแบบสองทาง (2-way ANOVA) ของเซรามิกไอพีเอส อีแมกซ์แคดที่ขัดด้วยวิธีต่าง ๆ กันและจำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ กัน

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
SYSTEM	1	soflex	20
	2	astropol	20
	3	optrafine	20
STROKE	1	20 storkes	30
	2	40 strokes	30

Descriptive Statistics

Dependent Variable:Ra

SYSTEM	STROKE	Mean	Std. Deviation	N
soflex	20 storkes	.35690	.018723	10
	40 strokes	.26710	.019874	10
	Total	.31200	.049752	20
astropol	20 storkes	.39720	.027353	10
	40 strokes	.34720	.032947	10
	Total	.37220	.039070	20
optrafine	20 storkes	.35620	.021725	10
	40 strokes	.28390	.006707	10
	Total	.32005	.040255	20
Total	20 storkes	.37010	.029452	30
	40 strokes	.29940	.041278	30
	Total	.33475	.050345	60

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Ra

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.122[a]	5	.024	47.160	.000
Intercept	6.723	1	6.723	13029.248	.000
SYSTEM	.043	2	.021	41.396	.000
STROKE	.075	1	.075	145.297	.000
SYSTEM * STROKE	.004	2	.002	3.856	.027
Error	.028	54	.001		
Total	6.873	60			
Corrected Total	.150	59			

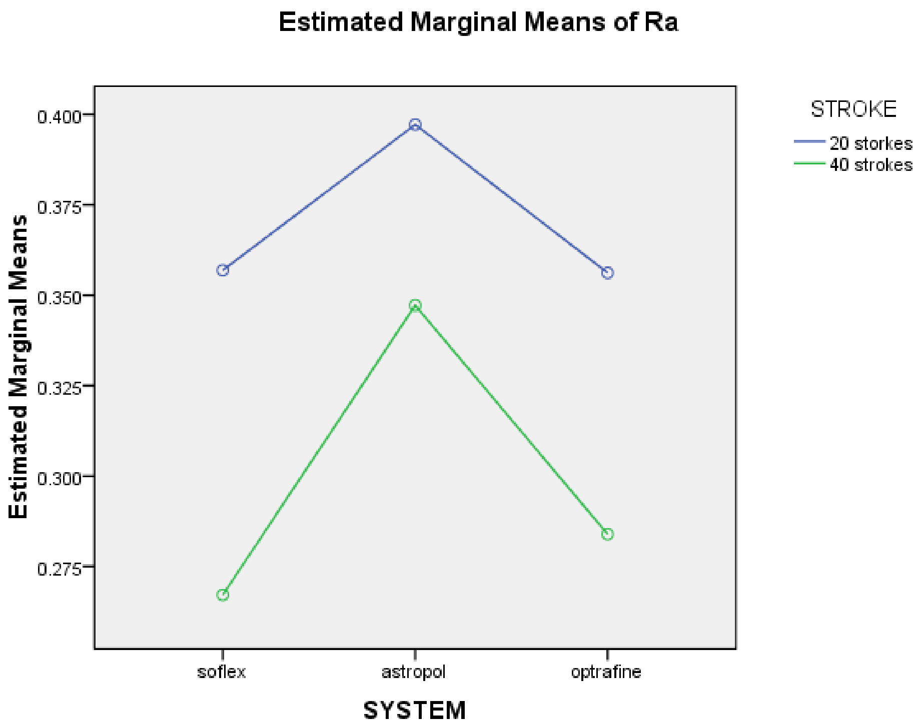
a. R Squared = .814 (Adjusted R Squared = .796)

SYSTEM * STROKE

Dependent Variable:Ra

SYSTEM	STROKE	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
soflex	20 storkes	.357	.007	.342	.371
	40 strokes	.267	.007	.253	.282
astropol	20 storkes	.397	.007	.383	.412
	40 strokes	.347	.007	.333	.362
optrafine	20 storkes	.356	.007	.342	.371
	40 strokes	.284	.007	.269	.298

Profile Plots



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แสดงการแจกแจงข้อมูลทางสถิติด้วย One-Sample Kolmogorov-Smirnov ของเซรามิกที่ผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ ในกลุ่มวีต้ามาร์คทูและกลุ่มเคลือบทับ

Vitablocs Mark II

NPar Tests

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Glaze	Soflex20	Soflex40
N		10	10	10
Normal Parameters[a,,b]	Mean	.20730	.27300	.24080
	Std. Deviation	.007846	.010541	.006321
Most Extreme Differences	Absolute	.224	.148	.213
	Positive	.224	.115	.159
	Negative	-.166	-.148	-.213
Kolmogorov-Smirnov Z		.708	.467	.672
Asymp. Sig. (2-tailed)		.698	.981	.757

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Astropol20	Astropol40	Optrafine20	Optrafine40
N		10	10	10	10
Normal Parameters[a,,b]	Mean	.27110	.24180	.25000	.23110
	Std. Deviation	.018387	.015732	.015790	.006262
Most Extreme Differences	Absolute	.191	.210	.148	.172
	Positive	.095	.179	.143	.172
	Negative	-.191	-.210	-.148	-.133
Kolmogorov-Smirnov Z		.605	.664	.468	.543
Asymp. Sig. (2-tailed)		.857	.770	.981	.930

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

แสดงการทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ของเซรามิกวีต้ามาร์คทูที่ขัดด้วยวิธีต่าง ๆ กันและจำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ กันและกลุ่มเคลือบทับ

Oneway

Descriptives

RaVita

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean Lower Bound	95% Confidence Interval for Mean Upper Bound	Minimum	Maximum
SOF20	10	.27300	.010541	.003333	.26546	.28054	.252	.287
SOF40	10	.24080	.006321	.001999	.23628	.24532	.231	.250
AST20	10	.27110	.018387	.005815	.25795	.28425	.230	.297
AST40	10	.24180	.015732	.004975	.23055	.25305	.212	.274
OPT20	10	.25000	.015790	.004993	.23870	.26130	.224	.276
OPT40	10	.23110	.006262	.001980	.22662	.23558	.223	.240
glaze	10	.20730	.007846	.002481	.20169	.21291	.199	.219
Total	70	.24501	.024408	.002917	.23919	.25083	.199	.297

Test of Homogeneity of Variances

RaVita

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.950	6	63	.086

ANOVA

RaVita

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.031	6	.005	33.628	.000
Within Groups	.010	63	.000		
Total	.041	69			

Robust Tests of Equality of Means

RaVita

	Statistic[a]	df1	df2	Sig.
Welch	46.737	6	27.582	.000
Brown-Forsythe	33.628	6	41.360	.000

a. Asymptotically F distributed.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Vitablocs

Scheffe

(I) System	(J) System	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Glaze	Soflex20	-.065700*	0.005572	0	-0.08616	-0.04524
	Soflex40	-.033500*	0.005572	0	-0.05396	-0.01304
	Astropol20	-.063800*	0.005572	0	-0.08426	-0.04334
	Astropol40	-.034500*	0.005572	0	-0.05496	-0.01404
	Optrafine20	-.042700*	0.005572	0	-0.06316	-0.02224
	Optrafine40	-.023800*	0.005572	0.011	-0.04426	-0.00334
Soflex20	Glaze	.065700*	0.005572	0	0.04524	0.08616
	Soflex40	.032200*	0.005572	0	0.01174	0.05266
	Astropol20	0.0019	0.005572	1	-0.01856	0.02236
	Astropol40	.031200*	0.005572	0	0.01074	0.05166
	Optrafine20	.023000*	0.005572	0.016	0.00254	0.04346
	Optrafine40	.041900*	0.005572	0	0.02144	0.06236
Soflex40	Glaze	.033500*	0.005572	0	0.01304	0.05396
	Soflex20	-.032200*	0.005572	0	-0.05266	-0.01174
	Astropol20	-.030300*	0.005572	0	-0.05076	-0.00984
	Astropol40	-0.001	0.005572	1	-0.02146	0.01946
	Optrafine20	-0.0092	0.005572	0.839	-0.02966	0.01126
	Optrafine40	0.0097	0.005572	0.802	-0.01076	0.03016
Astropol20	Glaze	.063800*	0.005572	0	0.04334	0.08426
	Soflex20	-0.0019	0.005572	1	-0.02236	0.01856
	Soflex40	.030300*	0.005572	0	0.00984	0.05076
	Astropol40	.029300*	0.005572	0.001	0.00884	0.04976
	Optrafine20	.021100*	0.005572	0.038	0.00064	0.04156
	Optrafine40	.040000*	0.005572	0	0.01954	0.06046

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Multiple Comparisons

Vitablocs

Scheffe

(I) System	(J) System	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Astropol40	Glaze	.034500*	0.005572	0	0.01404	0.05496
	Soflex20	-.031200*	0.005572	0	-0.05166	-0.01074
	Soflex40	0.001	0.005572	1	-0.01946	0.02146
	Astropol20	-.029300*	0.005572	0.001	-0.04976	-0.00884
	Optrafine20	-0.0082	0.005572	0.901	-0.02866	0.01226
	Optrafine40	0.0107	0.005572	0.718	-0.00976	0.03116
Optrafine20	Glaze	.042700*	0.005572	0	0.02224	0.06316
	Soflex20	-.023000*	0.005572	0.016	-0.04346	-0.00254
	Soflex40	0.0092	0.005572	0.839	-0.01126	0.02966
	Astropol20	-.021100*	0.005572	0.038	-0.04156	-0.00064
	Astropol40	0.0082	0.005572	0.901	-0.01226	0.02866
	Optrafine40	0.0189	0.005572	0.092	-0.00156	0.03936
Optrafine40	Glaze	.023800*	0.005572	0.011	0.00334	0.04426
	Soflex20	-.041900*	0.005572	0	-0.06236	-0.02144
	Soflex40	-0.0097	0.005572	0.802	-0.03016	0.01076
	Astropol20	-.040000*	0.005572	0	-0.06046	-0.01954
	Astropol40	-0.0107	0.005572	0.718	-0.03116	0.00976
	Optrafine20	-0.0189	0.005572	0.092	-0.03936	0.00156

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แสดงการแจกแจงข้อมูลทางสถิติด้วย One-Sample Kolmogorov-Smirnov ของเซรามิกที่ผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ ในกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดและกลุ่มเคลือบทับ

IPS Empress CAD

NPar Tests

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Glaze	Soflex20	Soflex40
N		10	10	10
Normal Parameters[a,,b]	Mean	.18600	.29500	.28580
	Std. Deviation	.026344	.042471	.048016
Most Extreme Differences	Absolute	.266	.216	.224
	Positive	.266	.216	.224
	Negative	-.144	-.125	-.136
Kolmogorov-Smirnov Z		.842	.683	.708
Asymp. Sig. (2-tailed)		.477	.739	.697

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Astropol20	Astropol40	Optrafine20	Optrafine40
N		10	10	10	10
Normal Parameters[a,,b]	Mean	.41630	.40110	.30090	.27100
	Std. Deviation	.032493	.024556	.040416	.030991
Most Extreme Differences	Absolute	.199	.159	.211	.198
	Positive	.194	.159	.211	.161
	Negative	-.199	-.131	-.194	-.198
Kolmogorov-Smirnov Z		.630	.501	.667	.627
Asymp. Sig. (2-tailed)		.822	.963	.765	.827

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

แสดงการทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ของเซรามิกกลุ่มไอพีเอส เอ็มเพรสแคดที่ขัดด้วยวิธีต่าง ๆ กันและกลุ่มเคลือบทับ

Oneway

Descriptives

IPS Empress CAD

		N	Mean	Std. Deviation	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Glaze		10	.18600	.026344	.16715	.20485	.158	.252
Soflex		20	.29040	.044371	.26963	.31117	.221	.394
Astropol		20	.40870	.029095	.39508	.42232	.359	.486
Optrafine		20	.28595	.038262	.26804	.30386	.217	.389
Total		70	.30801	.081215	.28865	.32738	.158	.486
Model	Fixed Effects			.036422	.29932	.31671		
	Random Effects				.16949	.44654		

Test of Homogeneity of Variances

Empress

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.145	3	66	.338

Robust Tests of Equality of Means

Empress

	Statistic[a]	df1	df2	Sig.
Welch	148.401	3	32.427	.000
Brown-Forsythe	100.663	3	60.552	.000

a. Asymptotically F distributed.

ANOVA

Empress

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.368	3	.123	92.363	.000
Within Groups	.088	66	.001		
Total	.455	69			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Empress

Scheffe

(I) System	(J) System	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Glaze	Soflex	-.104400*	.014106	.000	-.14487	-.06393
	Astropol	-.222700*	.014106	.000	-.26317	-.18223
	Optrafine	-.099950*	.014106	.000	-.14042	-.05948
Soflex	Glaze	.104400*	.014106	.000	.06393	.14487
	Astropol	-.118300*	.011518	.000	-.15134	-.08526
	Optrafine	.004450	.011518	.985	-.02859	.03749
Astropol	Glaze	.222700*	.014106	.000	.18223	.26317
	Soflex	.118300*	.011518	.000	.08526	.15134
	Optrafine	.122750*	.011518	.000	.08971	.15579
Optrafine	Glaze	.099950*	.014106	.000	.05948	.14042
	Soflex	-.004450	.011518	.985	-.03749	.02859
	Astropol	-.122750*	.011518	.000	-.15579	-.08971

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

แสดงการแจกแจงข้อมูลทางสถิติด้วย One-Sample Kolmogorov-Smirnov ของเซรามิกที่ผ่านการขัดด้วยวิธีต่าง ๆ ในกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์แคดและกลุ่มเคลือบทับ

IPS Emax CAD

NPar Tests

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Glaze	Soflex20	Soflex40
N		10	10	10
Normal Parameters[a,,b]	Mean	.18220	.35690	.26710
	Std. Deviation	.011670	.018723	.019874
Most Extreme Differences	Absolute	.190	.213	.142
	Positive	.131	.213	.127
	Negative	-.190	-.156	-.142
Kolmogorov-Smirnov Z		.602	.675	.448
Asymp. Sig. (2-tailed)		.861	.752	.988

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Astropol20	Astropol40	Optrafine20	Optrafine40
N		10	10	10	10
Normal Parameters[a,,b]	Mean	.39720	.34720	.35620	.28390
	Std. Deviation	.027353	.032947	.021725	.006707
Most Extreme Differences	Absolute	.174	.272	.253	.167
	Positive	.174	.272	.243	.167
	Negative	-.112	-.129	-.253	-.119
Kolmogorov-Smirnov Z		.550	.859	.800	.530
Asymp. Sig. (2-tailed)		.923	.452	.544	.942

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

แสดงการทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ของเซรามิกลุ่มไอพีเอส อีแมกซ์ แคดแท่ที่ขัดด้วยวิธีต่าง ๆ กันและจำนวนครั้งในการขัดต่าง ๆ กันและกลุ่มเคลือบทับ

Oneway

Descriptives

IPS Emax CAD

	N	Mean	Std. Deviation	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
				Lower Bound	Upper Bound		
Glaze	10	.18220	.011670	.17385	.19055	.162	.197
Soflex20	10	.35690	.018723	.34351	.37029	.338	.402
Soflex40	10	.26710	.019874	.25288	.28132	.230	.297
Astropol20	10	.39720	.027353	.37763	.41677	.364	.455
Astropol40	10	.34720	.032947	.32363	.37077	.310	.428
Optrafine20	10	.35620	.021725	.34066	.37174	.309	.398
Optrafine40	10	.28390	.006707	.27910	.28870	.276	.293
Total	70	.31296	.071246	.29597	.32995	.162	.455

Test of Homogeneity of Variances

Emax

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.348	6	63	.250

ANOVA

Emax

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.321	6	.054	115.914	.000
Within Groups	.029	63	.000		
Total	.350	69			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Emax

Scheffe

(I) System	(J) System	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Glaze	Soflex20	-.174700*	0.00961	0	-0.20998	-0.13942
	Soflex40	-.084900*	0.00961	0	-0.12018	-0.04962
	Astropol20	-.215000*	0.00961	0	-0.25028	-0.17972
	Astropol40	-.165000*	0.00961	0	-0.20028	-0.12972
	Optrafine20	-.174000*	0.00961	0	-0.20928	-0.13872
	Optrafine40	-.101700*	0.00961	0	-0.13698	-0.06642
Soflex20	Glaze	.174700*	0.00961	0	0.13942	0.20998
	Soflex40	.089800*	0.00961	0	0.05452	0.12508
	Astropol20	-.040300*	0.00961	0.014	-0.07558	-0.00502
	Astropol40	0.0097	0.00961	0.984	-0.02558	0.04498
	Optrafine20	0.0007	0.00961	1	-0.03458	0.03598
	Optrafine40	.073000*	0.00961	0	0.03772	0.10828
Soflex40	Glaze	.084900*	0.00961	0	0.04962	0.12018
	Soflex20	-.089800*	0.00961	0	-0.12508	-0.05452
	Astropol20	-.130100*	0.00961	0	-0.16538	-0.09482
	Astropol40	-.080100*	0.00961	0	-0.11538	-0.04482
	Optrafine20	-.089100*	0.00961	0	-0.12438	-0.05382
	Optrafine40	-0.0168	0.00961	0.799	-0.05208	0.01848
Astropol20	Glaze	.215000*	0.00961	0	0.17972	0.25028
	Soflex20	.040300*	0.00961	0.014	0.00502	0.07558
	Soflex40	.130100*	0.00961	0	0.09482	0.16538
	Astropol40	.050000*	0.00961	0.001	0.01472	0.08528
	Optrafine20	.041000*	0.00961	0.011	0.00572	0.07628
	Optrafine40	.113300*	0.00961	0	0.07802	0.14858

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Multiple Comparisons

Emax

Scheffe

(I) System	(J) System	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Astropol40	Glaze	.165000*	0.00961	0	0.12972	0.20028
	Soflex20	-0.0097	0.00961	0.984	-0.04498	0.02558
	Soflex40	.080100*	0.00961	0	0.04482	0.11538
	Astropol20	-.050000*	0.00961	0.001	-0.08528	-0.01472
	Optrafine20	-0.009	0.00961	0.989	-0.04428	0.02628
	Optrafine40	.063300*	0.00961	0	0.02802	0.09858
Optrafine20	Glaze	.174000*	0.00961	0	0.13872	0.20928
	Soflex20	-0.0007	0.00961	1	-0.03598	0.03458
	Soflex40	.089100*	0.00961	0	0.05382	0.12438
	Astropol20	-.041000*	0.00961	0.011	-0.07628	-0.00572
	Astropol40	0.009	0.00961	0.989	-0.02628	0.04428
	Optrafine40	.072300*	0.00961	0	0.03702	0.10758
Optrafine40	Glaze	.101700*	0.00961	0	0.06642	0.13698
	Soflex20	-.073000*	0.00961	0	-0.10828	-0.03772
	Soflex40	0.0168	0.00961	0.799	-0.01848	0.05208
	Astropol20	-.113300*	0.00961	0	-0.14858	-0.07802
	Astropol40	-.063300*	0.00961	0	-0.09858	-0.02802
	Optrafine20	-.072300*	0.00961	0	-0.10758	-0.03702

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปาลิน สัปปินันทน์ เกิดเมื่อวันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2553 ได้เข้ารับราชการในตำแหน่งทันตแพทย์ที่โรงพยาบาลบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 จนถึงปัจจุบัน

ปัจจุบันศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University