ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการออกแบบแผ่นโลหะเคลือบกระเบื้อง
ต่อความต้านทานการแตกหักของพอร์ซเลน

นาย ลีนวัฒน์ ศรีสุนาครัว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE EFFECT OF VARIOUS METAL FRAMEWORK DESIGNS OF PORCELAINFUSED TO METAL DISC ON FRACTURE RESISTANCE OF PORCELAIN

Mr. Leenawat Srisunakrua

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Prosthodontics

Department of Prosthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการออกแบบแผ่นโลหะเคลือบกระเบื้องต่อความต้านทานการแตกหักของพอร์ซเลน
โดย	นาย ลีนวัฒน์ ศรีสุนาครัว
สาขาวิชา	ทันตกรรมประดิษฐ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์ ภาณุพงศ์ วงศ์ไทย

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง ฐิติมา ภู่ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. แมนสรวง อักษรนุกิจ)

....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ภาณุพงศ์ วงศ์ไทย)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ตระกล เมฆญารัชชนานนท์)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ เฉลิมพล ลี้ไวโรจน์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลินวัฒน์ ศรีสุนาครัว : ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการออกแบบแผ่นโลหะเคลือบกระเบื้องต่อความต้านทานการแตกหักของพอร์ซเลน. (THE EFFECT OF VARIOUS METAL FRAMEWORK DESIGNS OF PORCELAINFUSED TO METAL DISC ON FRACTURE RESISTANCE OF PORCELAIN) อ. ที่ปรึกษา: รศ.ทพ. ภาณุพงศ์ วงศ์ไทย, 85 หน้า.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานตัวอย่างที่มีการออกแบบโลหะ พอร์ซเลนและตำแหน่งจุดกดแตกต่างกัน ทำการทดสอบชิ้นงาน 8 กลุ่ม โดยมีการออกแบบโลหะรองรับพอร์ซเลนดังต่อไปนี้ ชิ้นงานแผ่นแบนหนา 0.3 มม.สม่ำเสมอ(กลุ่มที่1), ชิ้นงานตรงกลางบาง 0.1 มม.(กลุ่มที่2), ชิ้นงานโลหะรองรับเป็นทรงกรวยมุมแหลมส่วนหนาสุด 2.3 มม.(กลุ่มที่3), ชิ้นงานโลหะรองรับนูนเป็นมุมมนส่วนหนาสุด 2.3 มม.(กลุ่มที่4), ชิ้นงานรูปขั้นบันไดจุดกดตรงรอยต่อ(กลุ่มที่5), ชิ้นงานรูปขั้นบันไดจุดกดตรงกลาง(กลุ่มที่6), ชิ้นงานรูปขั้นบันไดจุดกดตรงขอบ(กลุ่มที่7), ชิ้นงานรูปขั้นบันไดจุดกดเป็นมุมเฉียง30องศา(กลุ่มที่8) โดยชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องขนาด 7 x 9 $มม.^2$ ทุกกลุ่มๆละ 10 ชิ้น ได้เตรียมขึ้นตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต นำชิ้นงานที่ได้มายึดบนแป้นทองเหลืองด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ จากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่น 37 องศา เซลเซียส 24 ชั่วโมง นำชิ้นงานที่ได้มาทดสอบด้วยแรงอัดในแนวดิ่งจนพอร์ซเลนแตก ด้วยเครื่องทดสอบสากลรุ่น Instron 8872 ที่มีหัวกดรูปทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ม.ม. ความเร็วหัวกด 1 มม./ นาที ผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($X \pm S.D.$) ของแต่ละกลุ่มมีค่าดังนี้ 1)2506.03 ±257.98N 2)2027.07 ±180.74N 3)2101.12 ±101.55N 4)2117.12 ±125.49N 5)1461.20 ±139.20N 6)2092.40 ±113.79N 7)791.64 ± 87.96N 8)1062.38 ±187.83N เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวและการทดสอบการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดแทมเฮน ได้ผลดังนี้ ชิ้นงานกลุ่มที่1 มีค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุดที่ทำให้พอร์ซเลนเกิดการแตกหักแตกมากที่สุด และมากกว่ากลุ่มอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$) พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มที่ 5, 7 และ8 ซึ่งเป็นชิ้นงานรูปขั้นบันไดที่มีตำแหน่งจุดกดแตกต่างกัน ($p<0.05$) ส่วนในชิ้นงานกลุ่มที่ 2, 3, 4 และ6 ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) จากข้อมูลข้างต้นทำให้สรุปได้ว่า ความหนาที่ไม่สม่ำเสมอของโลหะที่รองรับพอร์ซเลนรวมทั้งตำแหน่ง และทิศทางของแรงกด มีผลต่อความต้านทานการแตกหักของชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้อง

ภาควิชา.......ทันตกรรมประดิษฐ์...............ลายมือชื่อนิสิต...
สาขาวิชา......ทันตกรรมประดิษฐ์..............ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.................................
ปีการศึกษา..........2550.........................

4876122332 : MAJOR PROSTHODONTICS

KEY WORD: FRACTURE OF PORCELAIN / METAL CERAMIC RESTORATION / THICKNESS OF METAL / THICKNESS OF PORCELAIN

LEENAWAT SRISUNAKRUA: THE EFFECT OF VARIOUS METAL FRAMEWORK DESIGNS OF PORCELAINFUSED TO METAL DISC ON FRACTURE RESISTANCE OF PORCELAIN. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PANUPONG WONGTHAI, 85 pp.

The objective of this study was to evaluate the fracture resistance of ceramometal samples on different metal designs and location of load. Eight different metal designs were as follows: 0.3 mm uniform thickness of metal (group 1), concave specimen of 0.1 mm at the thinnest point (group2), cone-shaped with sharp apex of 2.3 mm at the thickest point (group 3), convex specimen of 2.3 mm at the thickest point (group 4), ladder-shaped with loading point at the step (group 5), ladder-shaped with loading point at the center (group 6), ladder-shaped with loading point at the porcelain thickest point (group 7) and ladder-shaped with 30° loading (group 8). Ten specimens, 7 x 9 mm^2, of each group were fabricated according to the manufacturer's recommendations. The specimen was luted to the brass specimen holder with zinc phosphate cement and stored in 37°C for 24 hour prior to the test. The test was performed on a universal testing machine (Instron 8872) with crosshead speed of 1 mm/min using metal sphere loading point diameter of 3 mm under compressive load. The maximum load prior to fracture means $\pm$ S.D. of each group was as follows: 1)2506.03 $\pm$ 257.98 N 2)2027.07 $\pm$ 180.74 N 3)2101.12 $\pm$ 101.55 N 4)2117.12 $\pm$ 125.49 N 5) 1461.20$\pm$ 139.20 N 6)2092.40 $\pm$ 113.79 N 7)791.64 $\pm$ 87.96 N 8)1062.38 $\pm$ 187.83 N. One-way ANOVA and Tamhane multiple comparisons revealed that group 1 had the greatest fracture resistance over the others ($p<0.05$). There were significant differences among different loading point on same metal design of group 5,7 and 8 ($p<0.05$). Group 2, 3, 4 and 6 were not different at $p\geq 0.05$. It was concluded that the non-uniform thickness of metal supporting porcelain, position and direction of load affected the fracture resistance of porcelain fused to metal specimen.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.......Prosthodontics..................Student's Signature. ....

Field of Study.....Prosthodontics..................Advisor's Signature:..

Academic Year.......2007 ....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ภาณุพงศ์ วงศ์ไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ซึ่งท่านได้ให้คำชี้แนะต่างๆ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยทันตวัสดุ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือทดสอบสากล กล้องสเตอริโอไมโครสโคปและเครื่องมือวัดชนิดต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาด้วยดีเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…………………………………………………………………….…...ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……………………………………………………………………...จ

กิตติกรรมประกาศ………………………………………………………………………….ฉ

สารบัญ……………………………………………………………………………………..ช

สารบัญตาราง………..………………..……………………………………………………ฌ

สารบัญภาพ………………………….........……………………………………………...ญ

บทที่ 1. บทนำ………………………………………………….……………...…….…...1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา...……………………………………………...…1

คำถามของการวิจัย..5

วัตถุประสงค์ของการวิจัย………..……………………………….………………..…5

สมมติฐานของงานวิจัย……………………………………………………………….5

ขอบเขตของการวิจัย…………………………………………….……………..….6

ข้อตกลงเบื้องต้น…………………...………………………………………………...6

ข้อจำกัดของการวิจัย………………...……………………………………………….6

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ...6

รูปแบบการวิจัย……………………………………………………………………...6

บทที่ 2 .เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……………….……………………………………………7

พอร์ซเลน………………………………………………………………...………..7

โลหะผสม……………………………………………………………….…….11

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง…………………14

ความล้มเหลวของการบูรณะฟันด้วยการใช้โลหะเคลือบกระเบื้อง..................................27

การศึกษาเกี่ยวกับการบูรณะด้วยโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีผลกับ
กระบวนการแตกหัก(Fracture mechanism)…………..36

บทที่ 3. วิธีดำเนินการวิจัย…………..………………………………….………...……32

วัตถุประสงค์ของการวิจัย………………..…………………………………………32

ประชากรเป้าหมายและประชากรตัวอย่าง…...………………………………………32

หน้า

เกณฑ์การคัดเข้า.....32
เกณฑ์การคัดออก.....33
สิ่งแทรกแซง.....33
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....34
วิธีการทดลอง.....35
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....43
การวิเคราะห์ข้อมูล.....43

บทที่ 4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....44
ข้อมูลดิบและการวิเคราะห์ผลทางสถิติจากข้อมูลดิบ.....44

บทที่ 5. อภิปราย ข้อเสนอแนะ และสรุปผลการวิจัย.....50
อภิปรายระเบียบวิธีการวิจัย.....50
อภิปรายผลการวิจัย.....54
ข้อเสนอแนะ.....62
สรุปผลการวิจัย.....63

รายการอ้างอิง.....64
ภาคผนวก.....70
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....85

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 1 แสดงการจำแนกโลหะผสมตามคุณสมบัติทางกายภาพ

โดย ANSI/ADA specification no. 5 ในปี 1989……………………………………….12

ตารางที่ 2 แสดงการแบ่งชนิดของโลหะผสมทางทันตกรรมโดยสมาคมทันตแพทย์อเมริกัน

ในปี 1984 (The 1984 ADA classification for dental alloys)……………………..……13

ตารางที่ 3 แสดงข้อได้เปรียบ ข้อเสียเปรียบ ข้อบ่งชี้ของการออกแบบขอบด้านหน้าชนิดต่างๆๆ...24

ตารางที่ 4 ตารางแสดงแรงอัดสูงสุดในแนวดิ่งที่ทำให้พอร์ซเลนเกิดการแตกหักบนชิ้นงาน

ในการศึกษาครั้งนี้……………………………………..………………………45

ตารางที่ 5 ตารางแสดงโดยทำการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วยการทดสอบแบบวัน-แซม

เปิล โครโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-sample Kolmogorov-Smirnov)………………... 46

ตารางที่ 6 ตารางแสดงโดยทำการทดสอบความเหมือนของความแปรปรวน

(Homogeneity of Variances)...47

ตารางที่ 7 ตารางแสดงการทดสอบแทมเฮนทีทู (Tamhane’s T2) ……………….…………….47

ตารางที่8 ตารางแสดงการจัดกลุ่มข้อมูลเป็น 5 กลุ่ม…………………………………………...48

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 1 ความล้มเหลวของการยึดติดของโลหะและพอร์ซเลน……………………………………16

รูปที่ 2 แสดงฟันหลักยึดรากเทียมที่มีขนาด คอฟันเล็กกว่าฟันธรรมชาติ………………………..19

รูปที่ 3 แสดงฟันหลักยึดรากเทียมชนิดUCLA..20

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของโลหะและพอร์ซเลนที่สามารถเกิดขึ้นได้กับการขยายตัว
เมื่อได้รับความร้อน………………………………………………………………….....25

รูปที่ 5 แสดงรอยร้าวของโลหะเคลือบกระเบื้องเนื่องจากมีความเค้นแบบดึงตกค้างเมื่อ
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของพอร์ซเลนมีค่าน้อยกว่าของโลหะมาก.. 26

รูปที่ 6 แสดง พื้นผิวการแตกหักเมื่อมองจากด้านบน………………………………………….…31

รูปที่ 7 แสดง พื้นผิวการแตกหักเมื่อมองจากด้านข้าง...31

รูปที่ 8 ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานทดสอบกลุ่มที่ 1………………………………..……… .35

รูปที่ 9 ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานทดสอบกลุ่มที่ 2……………………......……..……...........36

รูปที่10 ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานทดสอบกลุ่มที่ 3……………...……………………….36

รูปที่11 ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานทดสอบกลุ่มที่ 4……………………………………….……...36

รูปที่12 ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานทดสอบกลุ่มที่ 5……………...…………………………37

รูปที่13 ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานทดสอบกลุ่มที่ 6..37

รูปที่14 ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานทดสอบกลุ่มที่ 7………………………………...………37

รูปที่15 ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานทดสอบกลุ่มที่ 8……………………………………... ………38

รูปที่16 การขึ้นรูปต้นแบบคร่าวๆด้วยอคริลิ……………………………...………………………38

รูปที่17 ต้นแบบที่ขัดแต่งเรียบร้อย...38

รูปที่18 เครื่องเป่าทราย...39

รูปที่19 เครื่องทำความสะอาดด้วยไอน้ำ...39

รูปที่20 การเผาโลหะเตรียมชั้นออกไซด์……………………...……………………………..39

รูปที่21 แสดงเตาเผาพอร์ซเลน……………………………………………………………...40

รูปที่22 แสดงการทำความสะอาดชิ้นงานด้วยเครื่องทำความสะอาดความถี่เหนือเสียง…………..40

รูปที่23 แสดงเครื่องเป่าทราย……………………………………………………………......41

รูปที่24 แสดงการยึดชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบความแข็งวัสดุที่มีตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม………...42

รูปที่25 แสดงการทดสอบแรงอัดในแนวดิ่งด้วยเครื่องทดสอบสากล
(Instron Universal testing machine)……………………………………………………..42

รูปที่ 26 แสดงกลุ่มชิ้นงานทั้ง 8 กลุ่ม………………………………………………………….....52

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่27 การแตกของชิ้นงานกลุ่มที่1…………………………………………………………..55
รูปที่28 การแตกของชิ้นงานกลุ่มที่2…………………………………………………………..55
รูปที่29 รูปหัวกด Hertzian Indentation………………………………………………………...55
รูปที่30 รูปปลายหัวกดชิ้นงาน……………………………………………………………………55
รูปที่31 ลักษณะรอยแตก Cone crack เมื่อเพิ่มแรงขึ้นกรณีที่ฐานรองแข็ง………………………...56
รูปที่32 ลักษณะรอยแตก Radial crack กรณีที่ฐานรองไม่แข็งแรงพอ…………………………...56
รูปที่33 ลักษณะการกระจายแรงเค้นอัดและแรงเค้นดึง…………………………………...…56
รูปที่34 ลักษณะการแตกของชิ้นงานกลุ่มที่1……………………………………………………...57
รูปที่35 แสดงลักษณะความแหลมที่เกิดจากมุมขนาดต่างๆกัน…………………………………...57
รูปที่36 การแตกของชิ้นงานกลุ่มที่3…………………………………………………………..58
รูปที่37 การแตกของชิ้นงานกลุ่มที่4…………………………………………………………..58
รูปที่38 ลักษณะการกระจายแรงไปด้านข้างและการแตกของชิ้นงานในกลุ่มที่ 5-7……..……….59
รูปที่39 แสดงระยะและแนวโลหะที่มารองรับของชิ้นงานในกลุ่มที่6 และ 8……………………..59
รูปที่40 ลักษณะการแตกของชิ้นงานในกลุ่มที่6……………………………………………..………60
รูปที่41 การแตกของชิ้นงานกลุ่มที่6…………………………...……………………………60
รูปที่42 การแตกของชิ้นงานกลุ่มที่8……………………………………..………………….60

บทที่1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พอร์ซเลนมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี เช่น มีความแข็งแรง ที่มากพอ มีความต้านทานต่อการสึกกร่อน สามารถทำสำเร็จรูปตามที่ต้องการได้ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพกับสภาพในช่องปาก ทนทานต่อสภาวะภายในปาก สามารถทำสีและความโปร่งแสงได้หลายระดับเพื่อให้มีความใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ คุณสมบัติเหล่านี้ยิ่งทำให้พอร์ซเลนเป็นที่น่าสนใจและได้รับการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ถึงแม้ว่าพอร์ซเลนจะมีคุณสมบัติทางกล ทางเคมี และชีวภาพดีเพียงใดก็ตาม ข้อเสียที่สำคัญของพอร์ซเลนก็คือ มีความเปราะและแตกหักง่าย จนไม่สามารถนำมาใช้งานในช่องปากให้ได้ประสิทธิภาพดีตามที่ต้องการโดยปราศจากการปรับปรุงคุณภาพก่อน ดังนั้นจึงได้มีผู้พยายามหาวิธีที่จะทำให้พอร์ซเลนสามารถใช้งานได้อย่างคงทนถาวรยิ่งขึ้นโดยอาศัยหลักการ 2 ประการ ในการเอาชนะความเปราะที่เป็นข้อด้อยของพอร์ซเลน คือการเสริมความแข็งแรงให้แก่ตัวพอร์ซเลนเอง และการออกแบบโครงสร้างเอาพอร์ซเลนเฟลด์สปาติกมาเคลือบบนโลหะ โดยความพยายามนี้เกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 19 โดย Land ใช้ porcelain jacket crowns ร่วมกับ platinum แต่ไม่สวยงามเนื่องจากเห็นสีโลหะ จึงถูกพัฒนาต่อมาเป็น platinum foil ที่สามารถนำออกไปภายหลังได้ ส่วนวิธีการแบบที่ทำในปัจจุบันนี้ ได้เริ่มแพร่หลายอย่างจริงจังในช่วงปี 1950 เป็นต้นมา เนื่องจากความสำเร็จของการสร้าง low-fusing porcelain ให้สามารถเชื่อมกันได้กับ gold alloy และความสำเร็จในการใช้ opaque pigment ปกปิดสี และจากการที่โลหะมีความแข็งตรึงและช่วยลดการโค้งงอ ของพอร์ซเลนที่ได้รับแรงเค้นลงได้ จึงลดโอกาสที่จะมีการเติบโตของรอยแตกบริเวณพื้นผิวพอร์ซเลน ซึ่งมีความเปราะตามธรรมชาติทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ถือเป็นหลักสำคัญอันเป็นจุดเริ่มต้นของการทำครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน (Hobo และ Shillingburg,1973; Bell,1983; Kelly และคณะ,1996)

ในระยะเวลาต่อมา เมื่อมีการใช้รากเทียมมากขึ้นเพื่อทดแทนฟันที่สูญเสียไปเพียงซี่เดียวหรือหลายซี่ ฟันปลอมชนิดเรซินซึ่งให้ผลที่น่าพอใจเมื่อใช้กับคู่สบที่เป็นฟันปลอมชนิดเดียวกัน กลับมีความแข็งแรงไม่เพียงพอเมื่อสบกับฟันธรรมชาติ ทำให้เกิดมีการซ่อมและเปลี่ยนฟันปลอมชนิดเรซินบ่อยครั้งเนื่องจากอัตราการสึกที่สูงหรือมีการแตกหักของซี่ฟันปลอมเรซิน ทำให้ทันตแพทย์ส่วนใหญ่ยอมเสี่ยงใช้ฟันปลอมชนิดเซรามิกและโลหะกันมากขึ้นเพื่อลดปัญหาในการซ่อมและเปลี่ยนฟันชนิดเรซิน (Adell และคณะ,1981; Lindquist,1987; van Steenberghe และคณะ,1990; Carlson และCarlsson,1994; Lekholm และคณะ,1999)

นอกจากนี้ ความคาดหวังของผู้ป่วย ในด้านความสวยงามของฟันปลอมที่รองรับด้วยรากเทียมเป็นอีกเหตุผลที่ทำให้มีความจำเป็นต้องบูรณะด้วยวัสดุที่ดูเป็นธรรมชาติและคงทนกว่าดังนั้น การเปลี่ยนจากวัสดุเรซินไปเป็นโลหะและเซรามิกจึงใช้เวลาอันสั้น นอกจากจะพบปัญหาเกี่ยวกับฟันปลอมน้อยแล้ว ยังพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในการละลายของกระดูก หรือแรงเค้นที่กระดูกแต่อย่างไร ปัจจุบันนี้ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนจึงถูกใช้งานอย่างกว้างขวาง ทั้งในการบูรณะฟันธรรมชาติและในงานรากเทียม (Naert และคณะ,1992)

อย่างไรก็ตามเมื่อนำไปใช้งานก็ยังพบความล้มเหลวที่เกิดขึ้นทางคลินิก โดย Strub, Stiffler และ Schärer (Strub,1988) ทำการศึกษาติดตามผลทางคลินิกในผู้ป่วยที่ได้รับการบูรณะด้วยครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องเป็นระยะเวลา 7 ปี พบว่ามีการแตกหักของ พอร์ซเลน 2.7% ขณะที่ Walton, Gardner และ Agar (Walton,1986) พบการแตกหักของพอร์ซเลนที่มีอายุการใช้งานเฉลี่ย 5.7 ปี ถึง 16 % ส่วน Cheung (Cheung, 1991) ทำการสุ่มตรวจผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องเป็นเวลานาน 33.4 เดือน พบว่ามีการแตกหักของสิ่งประดิษฐ์คิดเป็น 6.25%

จากการศึกษาเอกสาร พบการแตกหักของพอร์ซเลนเฉลี่ย 3 % ในฟันธรรมชาติซี่เดียว และ 14 % ในงานรากเทียม ซึ่งการที่ความล้มเหลวในงานรากเทียมมีสูงกว่าในฟันธรรมชาติเพราะพื้นผิวรอยต่อระหว่างรากเทียมและกระดูกมีความแข็งตรึงมากกว่า ฟันธรรมชาติและกระดูกที่มีเอ็นยึดปริทันต์ และเส้นประสาทคอยช่วยซับแรงและหลีกเลี่ยงการกัดแรงที่เกินจำเป็น จึงทำให้มีแรงเค้นที่ครอบฟันในงานรากเทียมสูงกว่าครอบฟันในฟันธรรมชาติ (Goodacre และคณะ,2003; Hekimoglu และคณะ, 2004)

ความล้มเหลวของการบูรณะฟันด้วยการใช้โลหะเคลือบกระเบื้อง ถือว่าเป็นปัญหาที่เกิดจากหลายปัจจัย (multi-factorial problem) ซึ่งอาจเกิดร่วมกัน เช่น การออกแบบสิ่งบูรณะที่ไม่ถูกต้องเหมาะสม (improper design of the restoration or faulty design of the metal substructure design) การมีพอร์ซเลนที่หนาเกินไปร่วมกับการมีโลหะที่รองรับไม่เพียงพอ (inadequate metal support) ส่งผลให้มีการโค้งงอของโลหะขณะใช้งาน การกรอแต่งฟันหลักที่ไม่ดีพอ (poor abutment preparation) การมีระยะปลอดการสบ (interocclusal space) น้อยเกินไปสำหรับโครงโลหะและ พอร์ซเลน การไม่เข้ากันของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อถูกความร้อน (incompatible thermal coefficients) ระหว่างโครงโลหะและพอร์ซเลน ความแตกต่างอย่างมากของค่ามอดุลัส (modulus) ระหว่างโลหะและพอร์ซเลน การมีรอยตำหนิขนาดเล็ก (microdefects) หรือมีรอยร้าวเล็กๆ(ที่รู้จักว่า Griffith's flaws) ในพอร์ซเลน การมีรอยขีดข่วนที่พื้นผิวพอร์ซเลน การผิดพลาดทางเทคนิค (technical error) หรือข้อบกพร่องทางห้องปฏิบัติการ (laboratory defect) การปนเปื้อน (contamination) การได้รับแรงที่มีลักษณะเป็นรอบเดียว (single load cycle) เช่น แรงกระแทก

(impact load) การได้รับแรงพลวัตซ้ำหลายครั้ง (repetitive dynamic loading) หรือแรงล้า (fatigue load) เช่น แรงจากการบดเคี้ยว (mastication) การทำงานนอกหน้าที่ (parafunction) ได้แก่ การนอนกัดฟัน (bruxism) การสบก่อนตำแหน่งกำหนด (destructive premature contact) หรือการบาดเจ็บเหตุสบฟัน (occlusal trauma) สิ่งแวดล้อมในช่องปาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อได้รับความชื้น และการดื่มเครื่องดื่มที่มีความเป็นกรดสูง (low pH) จากความล้มเหลวที่เกิดขึ้นในการใช้งานโลหะเคลือบกระเบื้อง จึงทำให้เกิดการศึกษาการแตกหักของโลหะเคลือบกระเบื้องในเวลาต่อมา (Ozcan และNiedermeier,2002) เพื่อพยายามลดปัญหาการแตกหักที่เกิดขึ้นในคลินิคการออกแบบโครงโลหะที่เคลือบด้วยพอร์ซเลนจะประกอบด้วยลักษณะ 4 อย่างที่มีความสำคัญ คือ (Shillingburg และคณะ,1997)

1. ตำแหน่งของสัมผัสสบฟันและสัมผัสประชิด (placement of occlusal & proximal contact)
2. การขยายพื้นที่ของพอร์ซเลนวีเนียร์ (extensive of veneered area)
3. การออกแบบขอบด้านหน้า
4. ความหนาของโลหะและพอร์ซเลน

ที่ผ่านมาการออกแบบโครงโลหะรองรับได้มีข้อเสนอแนะในการออกแบบ เช่น พอร์ซเลนทุกส่วนจะต้องถูกรองรับโดยโครงโลหะที่มีความหนาเพียงพอที่จะต้านการโค้งงอหรือการเปลี่ยนรูป (deformation) เมื่อทำหน้าที่ (Weinberg,1967; Dupont,1968; Hobo และShillingburg,1973; Bell,1983; Kostka,1985) โลหะจะต้องไม่มีมุมแหลม (Weinberg,1967; Miller,1977) และแนะนำให้มีโลหะรองรับภายใน (internal stress support) (Dupont,1968; Miller,1977; Shoher และ Whiteman,1983; Shoher,1985; Kostka,1985) โดยเชื่อว่าการออกแบบที่ไม่ดีจะยิ่งส่งเสริมให้พอร์ซเลนแตก (Bell,1983) ความหนาของโลหะที่เหมาะสมจะขึ้นกับชนิดของโลหะ ข้อเสนอแนะส่วนใหญ่ไม่ได้มีผลการทดลองยืนยัน แต่จากการทดลองในวิทยานิพนธ์ของธิดารัตน์ (ธิดารัตน์,2549) พบว่าความหนาของโลหะผสมไร้สกุลที่แนะนำคือ 0.3 ม.ม. ส่วนความหนาของพอร์ซเลนซ์มีข้อเสนอแนะว่าควรมีความหนาที่สม่ำเสมอ (Hobo และShillingburg,1973; Miller,1977; Naylor,1992; Shillingburg และคณะ,1997) และไม่ควรมีความหนามากกว่า 2.0 ม.ม. (Bell,1983; Miller และคณะ,1992; Naylor,1992; Rosenstiel และคณะ,2001) เพราะมิฉะนั้นจะทำให้พอร์ซเลนมีแนวโน้มจะเกิดการแตกหัก (Bell,1983; Naylor,1992) แต่จากการทดลองในวิทยานิพนธ์ของธิดารัตน์ (ธิดารัตน์,2549) พบว่าสิ่งที่สำคัญคือความหนาโลหะมากกว่าความหนาของพอร์ซเลนกล่าวคือ ถ้าโลหะที่รองรับในแนวแรงกดมีความแข็งแรงเพียงพอก็จะสามารถทำให้มีความหนาของพอร์ซเลนมากกว่า 2.0 ม.ม. ได้

บริษัทผู้ผลิตส่วนใหญ่แนะนำว่า พอร์ซเลนบริเวณด้านบดเคี้ยวและปลายฟันไม่ควรหนาเกิน 2 ม.ม. อย่างไรก็ตามพบว่า ถ้าหากตัดครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง จะพบว่าบริเวณด้านประชิดฟัน (proximal surface) พอร์ซเลนจะมีความหนา 8-10 ม.ม. ซึ่งบริเวณนี้เป็นตำแหน่งที่อาจจะเกิดการแตกหักของพอร์ซเลนได้ จึงมีผู้เสนอการออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหานี้ โดยการออกแบบส่วนโลหะรองรับบริเวณประชิดฟัน (interproximal strut) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของพอร์ซเลน โดยโครงโลหะนี้จะทำหน้าที่รองรับพอร์ซเลนบริเวณสันริมฟันซึ่งพบบ่อยว่ามีการแตกหัก เนื่องจากบริเวณนี้มีพอร์ซเลนหนา 8-10 ม.ม. (Kostka,1985) นั่นก็คือการสร้างให้มีโลหะรองรับตามแนวแรงนั่นเอง ซึ่งจากการทดลองในวิทยานิพนธ์ของสมเกียรติ (สมเกียรติ,2549) พบว่าเพื่อป้องกันการแตกหักของพอร์ซเลนบริเวณด้านประชิดฟัน ควรให้มีส่วนโลหะรองรับพอร์ซเลนบริเวณประชิดฟันสูงอย่างน้อย 4 ม.ม. (สิ้นสุดที่ตำแหน่งสัมผัสประชิดฟัน) เป็นการเน้นย้ำถึงความสำคัญของโลหะที่มารองรับพอร์ซเลน

เนื่องจากปัจจัยทางการออกแบบที่มีผลต่อการแตกหักของพอร์ซเลนมีหลายปัจจัย คำแนะนำในการออกแบบโครงโลหะรองรับพอร์ซเลนส่วนใหญ่ก็ไม่ได้มีการทำการทดลองยืนยัน ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องดังต่อไปนี้

1. การแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องเมื่อชิ้นงานมีรูปร่างเป็นแผ่นแบนหนาสม่ำเสมอ
2. การแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องเมื่อโลหะหนาบางไม่สม่ำเสมอ
3. การแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีโลหะรองรับภายในเป็นมุมแหลม
4. การแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีโลหะรองรับภายในเป็นมุมกลมมน
5. การแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องเมื่อจำลองจุดสบที่บริเวณแนวรอยต่อระหว่างโลหะรองรับภายในกับพอร์ซเลน
6. การแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องเมื่อจำลองจุดสบที่บริเวณที่มีโลหะรองรับภายในห่างจากแนวรอยต่อไปทางศูนย์กลาง 1 ม.ม.
7. การแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องเมื่อจำลองจุดสบที่บริเวณที่มีโลหะรองรับภายในห่างจากแนวรอยต่อไปทางขอบ 1 ม.ม.

8. การแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องเมื่อจำลองจุดสบที่บริเวณที่มีโลหะรองรับภายในห่างจากแนวรอยต่อไปทางศูนย์กลาง 1 ม.ม. โดยแนวแรงทำมุม 30 องศา

การทดลองเหล่านี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาการออกแบบโลหะและพอร์ซเลนให้เหมาะสมกับ ในการบูรณะด้วยการใช้โลหะเคลือบกระเบื้อง ทั้งในฟันธรรมชาติและในงานรากเทียม เพื่อลดความล้มเหลวที่เกิดขึ้นจากการแตกหักของพอร์ซเลนในคลินิก ต่อไป

คำถามของการวิจัย

1. โลหะที่มีความหนาบางไม่สม่ำเสมอในรูปแบบต่างๆจะส่งผลต่อการแตกหักของพอร์ซเลนในชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องหรือไม่
2. การกำหนดจุดและแนวแรงที่กระทำบนชิ้นงานจะส่งผลต่อการแตกหักของพอร์ซเลนในชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องหรือไม่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.เพื่อศึกษาถึงผลของความหนาบางที่ไม่สม่ำเสมอในรูปแบบต่างๆของโลหะต่อการแตกหักของของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้อง

2.เพื่อศึกษาถึงผลของจุดและแนวแรงที่กระทำบนชิ้นงาน ต่อความต้านทานการแตก หักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้อง

สมมติฐานของงานวิจัย

1)Ho_a : ความหนาบางที่ไม่สม่ำเสมอของโลหะไม่มีผลต่อแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักของชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้อง

$H1_a$: ความหนาบางที่ไม่สม่ำเสมอของโลหะมีผลต่อแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักของชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้อง โดยทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (α=0.05)

2)Ho_b : จุดและแนวแรงที่กระทำบนชิ้นงาน ไม่มีผลต่อแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักของชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้อง

$H1_b$: จุดและแนวแรงที่กระทำบนชิ้นงาน มีผลต่อแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักของชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้อง โดยทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (α=0.05)

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory experimental research) ที่ทำการทดสอบแรงอัด (compressive load) ของชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 7 ม.ม. x 9 ม.ม. ที่มีรูปทรงและความหนาของโลหะและพอร์ซเลนแตกต่างกันตามแต่กลุ่มทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักของชิ้นงาน และอ้างอิงผลการทดลองที่ได้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปประยุกต์ใช้ทางคลินิกต่อไป

ข้อตกลงเบื้องต้น

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทดสอบแรงอัดของชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดเท่ากับด้านบดเคี้ยวของฟันกรามน้อยบน คือ 7 ม.ม. x 9 ม.ม. ที่มีรูปทรงและความหนาของโลหะแตกต่างกันไปตามกลุ่มทดสอบ โดยควบคุมความหนาของพอร์ซเลนให้เท่ากัน การที่ใช้ชิ้นงานเป็นแผ่นแบนเนื่องจากต้องการตัดปัจจัยของชนิดของการออกแบบครอบฟัน ความเค้นแบบดึงออกจากศูนย์กลาง (radial tensile stress) ซึ่งเกิดขึ้นได้ในโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีรูปร่างทรงกลมหรือมีความโค้ง แต่ไม่เกิดขึ้นในชิ้นงานที่มีรูปร่างแบน นอกจากนี้การที่เตรียมชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมทำให้สามารถควบคุมความหนาที่ต้องการได้อย่างถูกต้องเที่ยงตรง

ข้อจำกัดของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทดสอบแรงอัดของชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีรูปร่างเป็นแผ่นแบน และการที่สิ่งแวดล้อมที่ใช้ในการทดลองนี้ก็แตกต่างไปจากในช่องปาก ดังนั้นค่าที่ได้อาจไม่สามารถนำไปอ้างในทางคลินิคถึงค่าที่ได้จริงในการบูรณะฟันด้วยโลหะเคลือบกระเบื้องได้ แต่สามารถนำผลที่ได้ไปเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ทางคลินิกต่อไป เพื่อลดอัตราการแตกหักของพอร์ซเลนในบูรณะด้วยโลหะเคลือบกระเบื้องในทางคลินิกได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นแนวทางในการออกแบบเพื่อลดการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องทั้งในฟันธรรมชาติและในงานรากเทียม

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory experimental research)

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรม

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การบูรณะฟันด้วยการใช้โลหะเคลือบกระเบื้องมีการใช้อย่างมากมานานกว่า 50 ปี โดยประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นโครงโลหะ (metal coping, casting, substructure or framework) และพอร์ซเลนซึ่งปกคลุมส่วนที่เป็นโครงโลหะ

เซรามิก

เซรามิก คือ สารประกอบอนินทรีย์ที่ประกอบด้วยส่วนที่ไม่ใช่โลหะ (non-metallic element) โดยเฉพาะออกซิเจน และส่วนที่เป็นโลหะหรือกึ่งโลหะ (metallic or semimetallic element) หนึ่งชนิดหรือมากกว่า(Anusavice,2003) ส่วนพอร์ซเลนเป็นชนิดหนึ่งของเซรามิก โดยเซรามิกที่ใช้สำหรับการบูรณะด้วยโลหะเคลือบกระเบื้องมักเรียกว่าพอร์ซเลนทางทันตกรรม (dental porcelain)

พอร์ซเลน

พอร์ซเลนนำมาใช้ในทางทันตกรรมครั้งแรกในปี 1789 โดย de Chemant นำมาทำซี่ฟันปลอมพอร์ซเลน (porcelain tooth) จนกระทั่งปี 1903 Dr. Charles Land ได้มีการพัฒนามาทำครอบฟันพอร์ซเลนแจ็คเก็ต (porcelain jacket crowns) ขึ้น โดยประกอบด้วย เฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลนที่มีจุดหลอมตัวสูง (high-fusing feldspathic porcelain) หรืออลูมินัสพอร์ซเลน (aluminous porcelain) ปกคลุมอยู่บนแผ่นทองคำขาว (platinum foil matrix) ซึ่งมีความสวยงามสูง แต่มีความแข็งแรงต่ำ จึงใช้ได้เฉพาะในฟันหน้าเท่านั้น ต่อมาในปี 1962 Dr. Abraham M. Weinstein et al. ได้นำครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องมาใช้ในผู้ป่วยเป็นครั้งแรก แต่ก็พบความล้มเหลวที่เกิดจากการแตกหักของพอร์ซเลนตามมา เนื่องจากการไม่เข้ากันของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนระหว่างโครงโลหะและพอร์ซเลนที่คลุมทับ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเฟลด์สปาติกพอร์ซเลนที่มีลูไซท์เป็นส่วนประกอบ (leucite-containing feldspathic porcelains) เพื่อแก้ไขปัญหานี้ จึงทำการควบคุมปริมาณของลูไซท์ที่มีการขยายตัวสูงกับแก้วเฟลด์สปาร์ (high-expansion leucite with feldspar glass) ในขั้นตอนการผลิต การปรับปรุงคุณสมบัติของเฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลน ส่งผล

ให้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนสูงขึ้นจนใกล้เคียงกับโลหะ ทำให้สามารถนำพอร์ซเลนมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพจนถึงปัจจุบัน (Denry,2002; Anusavice,2003)

พอร์ซเลนที่ใช้ในการบูรณะด้วยโลหะเคลือบกระเบื้อง ประกอบไปด้วย เฟลด์สปาร์ (feldspar) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลัก มีอยู่ถึงร้อยละ 65-85 นอกนั้นเป็นซิลิกาหรือควอร์ทซ (silica or quartz) และออกไซด์ชนิดต่างๆ (oxide) หรือสารเพิ่มสี (metallic pigment)

เฟลด์สปาร์ ประกอบด้วย โพแทสเซียมออกไซด์ โซเดียมออกไซด์ และอลูมินา (Al_2O_3) โดยที่โพแทสเซียมและโซเดียม ทำหน้าที่ในการลดอุณหภูมิที่หลอมเหลวของแก้ว (softening temperature of the glass) และเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน ขณะที่อลูมินาทำหน้าที่เป็นออกไซด์ที่อยู่ระหว่างกลาง (intermediate oxide) เพื่อเพิ่มความหนืดและความแข็งของแก้ว ส่งผลให้พอร์ซเลนมีความต้านทานต่อการไหลแผ่ของพอร์ซเลนเนื่องจากความร้อน (หรือ pyroplastic flow) ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อให้ได้รูปร่างของสิ่งบูรณะที่ต้องการ (Denry และ Laub,2001) หรืออาจกล่าวได้ว่าเฟลด์สปาร์คือส่วนที่เป็นโพแทสเฟลด์สปาร์ (potash feldspar : potassium alumino-silicate : $K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$) และ/หรือโซดาเฟลด์สปาร์ (soda feldspar : sodium alumino-silicate : $Na_2O.Al_2O_3.6SiO_2$) (Anusavice,2003; Craig และคณะ,2005) โดยที่โซดาเฟลด์สปาร์ทำให้อุณหภูมิหลอมเหลว (fusing temperature) มีค่าต่ำลง ขณะที่โพแทสเฟลด์สปาร์ทำหน้าที่เพิ่มความหนืดของแก้วที่หลอมเหลว (viscosity of the molten glass) เมื่อผ่านกระบวนการเผา

เฟลด์สปาร์เมื่อมีการหลอมรวมกันจะประกอบด้วย 2 ลักษณะ คือลักษณะคล้ายแก้ว (glassy or vitreous phase) และลักษณะที่เป็นผลึก (crystalline or mineral phase) ซึ่งก็คือลูไซท์ โครงสร้างส่วนที่เป็นแก้วจะเป็นโครงข่ายซิลิกา (random Si-O network) ซึ่งซิลิกอนอะตอมจะเชื่อมกับออกซิเจน 4 ตัว เกิดเป็นรูปร่างทรงสี่หน้า (Si-O tetrahedral configuration) ที่อาจจะเชื่อมเป็นสายโซ่ด้วยพันธะโคเวเลนต์และพันธะไอออนิก ทำให้โครงสร้างที่ได้มีเสถียรภาพ อย่างไรก็ตาม โครงข่ายซิลิกาจะมีอุณหภูมิหลอมเหลวที่สูง ดังนั้นจึงมีการเติมโพแทสเซียและโซเดียมเข้าไปในส่วนประกอบของแก้วเพื่อช่วยให้โครงข่างซิลิกาแตกออก ในกรณีที่มีการปรับส่วนประกอบของโครงข่ายซิลิกาไม่เหมาะสม จะส่งผลให้มีการแตกออกของโครงข่ายซิลิกาอย่างมากและมีการสร้างโครงข่ายซิลิกาขึ้นมาใหม่ทำให้เกิดผลึกของแก้วขึ้น (crystallization of the glass) ที่เรียกว่า การทำสภาพขุ่น (devitrification) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (lacttice structure) จากแก้วไปเป็นโครงสร้างที่เป็นผลึก ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นเพียงบางส่วนของพอร์ซเลนที่มีการเผาหลายครั้ง ซึ่งปรากฏการณ์นี้ จะสัมพันธ์อย่างมากกับการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน เพิ่มความขุ่นทึบ (opacity) ของพอร์ซเลน และลดค่าความต้านทานต่อการแตกหักของ

พอร์ซเลน โครงสร้างส่วนที่เป็นแก้วจะมีคุณสมบัติของแก้วอยู่ คือ เปราะ รูปแบบการแตกหักเป็นแบบไม่มีทิศทาง (nondirectional fracture pattern) โปร่งแสง (translucency) และมีแรงตึงผิว (surface tension) สูงในสภาพของเหลว (fluid state) ส่วนลูไซท์หรือโพแทสเซียมอลูมินัมซิลิเกต (potassium-aluminium-silicate : $K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$) ที่มีการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนสูง ($>20x10^{-6}$/ °C) ทำหน้าที่ส่งเสริมให้เกิดความแข็งแรงให้กับพอร์ซเลน โดยที่พอร์ซเลนที่มีลูไซต์ในปริมาณที่มาก (high-leucite porcelain) จะมีความแข็งแรงเป็นสองเท่าของพอร์ซเลนที่มีลูไซท์ในปริมาณที่ต่ำ (Shillingburg และคณะ,1997; Brantley และLaub,2001; Denry และLaub,2001; Denry,2002; Anusavice,2003)

ส่วนซิลิกาหรือควอร์ทซ (SiO_2) เมื่อผ่านกระบวนการเผาจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความแข็งแรง (strengthening agent) ในรูปแบบของผลึกที่ละเอียด (fine crystalline dispersion) กระจายอยู่ในส่วนที่เป็นแก้ว

ส่วนสารเพิ่มสี เติมเข้าไปเพื่อทำให้เกิดสีเหมือนกับฟันธรรมชาติที่อยู่ข้างเคียง ได้แก่ ไทเทเนียมออกไซด์ซึ่งให้สีน้ำตาลเหลือง แมงกานีสออกไซด์ให้สีลาเวนเดอร์ (Lavender) ออกไซด์ของเหล็กให้สีน้ำตาล โคบอลออกไซด์ให้สีฟ้า น้ำเงิน ออกไซด์ของทองแดงหรือโครเมียมออกไซด์ให้สีเขียว และนิกเกิลออกไซด์ให้สีน้ำตาล ส่วนออกไซด์ของดีบุก ไทเทเนียมและเซอร์คอเนียมใช้เป็นโอแพคซิไฟเออร์ (opacifier) (Denry,2002)

พอร์ซเลนที่ใช้ในการบูรณะด้วยโลหะเคลือบกระเบื้องจะประกอบด้วย 3 ชั้น คือ

1.โอเพคพอร์ซเลน (opaque porcelain) มี 3 ชนิด คือ ชนิดปลายฟัน เนื้อฟัน และคอฟัน (incisal, body และ cervical opaque porcelain) ประกอบด้วย โอแพคซิไฟอิงออกไซด์ (opacifying oxide) และสารเพิ่มสี โดยชั้นนี้จะมีความหนาของออกไซด์มากกว่าส่วนแก้ว ซึ่งออกไซด์ที่ใช้คือ ออกไซด์ของไทเทเนียม เซอร์โคเนียม ดีบุก หรือ เซอร์เรียม (cerium) ที่มีค่าดรรชนีหักเหของแสง (optical index of refraction) ที่แตกต่างจากส่วนประกอบอื่น ร่วมกับการเลือกใช้ขนาดของอนุภาคออกไซด์ให้อยู่ในช่วงที่จำเพาะ (specific range of oxide particle sizes) จะทำให้เกิดการสะท้อน (reflect) และการกระเจิงของแสง (scatter) มากกว่าการส่องผ่าน (transmit) ของแสงผ่านพอร์ซเลน โดยออกไซด์ของไทเทเนียมและเซอร์โคเนียมที่ต่อกับอลูมินาจะทำหน้าที่เป็น opacifying agent ส่งผลให้สามารถปิดสีของโลหะที่อยู่ข้างใต้ได้ ขณะที่สารเพิ่มสีเป็นตัวที่ให้สีกับพอร์ซเลน โอเพคพอร์ซเลนทำหน้าที่ในการปิดสีของโครงโลหะที่อยู่ข้างใต้และเป็นสีพื้นฐานที่เป็นส่วนสำคัญในการเกิดสีภายในของครอบฟัน รวมถึงการเลือกสีและความหนาของโอเพคพอร์ซเลนมีความสำคัญต่อระดับของการส่องผ่านของแสงของสีโลหะ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการ

ยึดระหว่างโลหะและพอร์ซเลนอีกด้วย (Barghi และLorenzana,1982; O'Brien และคณะ,1994; Denry และLaub,2001; Rosenstiel,2001)

2.พอร์ซเลนเนื้อฟัน (dentin or body porcelain) ประกอบไปด้วย ออกไซด์ และสารเพิ่มสีต่างๆหลายชนิด โดยจะถูกเผาอยู่บนชั้นโอเพคพอร์ซเลนและเชื่อมต่อกับพอร์ซเลนเคลือบฟัน ทำหน้าที่ส่วนใหญ่ในการให้สีและให้ความโปร่งแสง

3.พอร์ซเลนเคลือบฟัน (enamel or incisal porcelain) มีความโปร่งแสงสูง แสงส่องผ่านได้มาก ทำให้เห็นสีพอร์ซเลนเนื้อฟัน

พอร์ซเลนที่ใช้ในทางทันตกรรมได้รับความนิยมอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ มีความสวยงาม มีสีและการสะท้อนแสงใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ มีความต้านทานต่อรอยขีดข่วนสูง (abrasion resistance) มีเสถียรภาพทางเคมีสูง มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) กับเนื้อเยื่อในช่องปากเป็นอย่างดี มีการนำความร้อนและสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนใกล้เคียงกับเนื้อฟันและเคลือบฟัน มีความทนแรงอัด (compressive strength) ที่สูงมากถึง 350-550 MPa แต่มีความต้านแรงดึง (tensile strength) ที่ต่ำมาก คือ 20-60 MPa และมีความเปราะคล้ายแก้ว (Riley,1977; Noort,2002) อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของพอร์ซเลนยังขึ้นอยู่กับส่วนประกอบ สัดส่วนที่ถูกต้องของแต่ละส่วนประกอบ และการควบคุมขั้นตอนของการเผา เช่น ในขั้นตอนการอัดแน่น (condensation) ถ้าทำให้ผงพอร์ซเลนมีการอัดแน่นก็จะเกิดการหดตัวน้อยและพอร์ซเลนจะมีความแข็งแรง ในขั้นตอนการเย็นตัวลง (cooling) ไม่ควรทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพื้นผิวด้านนอกจะเย็นตัวเร็วกว่าบริเวณที่อยู่ข้างใน ส่งผลให้ผิวด้านนอกเกิดรอยลานหรือรอยร้าว (crazing หรือ cracking) เรียกลักษณะการเกิดนี้ว่า thermal shock นอกจากนี้ก็ไม่ควรทำให้มีการเย็นตัวลงอย่างช้ามากๆ ซึ่งจะชักนำให้เกิดการสร้างลูไซท์เพิ่มมากขึ้นและเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน ส่งผลให้เกิดรอยร้าวที่พื้นผิวได้ (Denry,2002) นอกจากนี้การมีอัตราการเย็นตัวที่ไม่ถูกต้อง ส่งผลให้มีความเค้นตกค้าง (residual stress) และมีผลต่อการแตกหักของพอร์ซเลนเมื่อใช้งาน (Rosenstiel,2001)

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เป็นการยากที่จะนำพอร์ซเลนมาใช้ในทางทันตกรรมให้มีประสิทธิภาพโดยไม่มีการปรับปรุงคุณสมบัติก่อน เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงมีการเสริมความแข็งแรงของพอร์ซเลนซึ่งมีหลายวิธีด้วยกัน (Anusavice,2003) เช่น วิธีการทำให้เกิดความเค้นอัดตกค้างที่พื้นผิวของพอร์ซเลน วิธีการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange) (Anusavice และHojjatie ,1992) หรือ วิธีเทอร์มอลเทมเพอริง (Thermal tempering) จากอัตราการหดตัวที่ไม่เท่ากันของพื้นผิวด้านนอกกับด้านใน (Anusavice และGray,1989; Anusavice และคณะ1989) และวิธีการเติมอนุภาคอื่นที่มีความแข็งแรงมากกว่า เพื่อดูดซับแรงที่จะทำให้เกิดรอยแตก เช่น อนุภาคอลูมินา

(Al_2O_3) การนำเฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลนมาเคลือบบนโลหะก็เป็นอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งนอกจากจะเพิ่มความแข็งแรงให้กับพอร์ซเลนแล้ว ยังลดความแข็งแต่เปราะ (hardness & fragility) ซึ่งเป็นคุณสมบัติโดยธรรมชาติของพอร์ซเลนอีกด้วย เนื่องจากแผ่นโลหะเหวี่ยงจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดความเค้นแบบดึง ซึ่งจะทำให้รอยแตกเล็กๆ ขยายใหญ่ขึ้นและแตกต่อเข้าไปข้างในได้ ทำให้ชิ้นพอร์ซเลนแตกหักได้ยากขึ้น นอกจากนี้การเลือกใช้โลหะที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนมากกว่าพอร์ซเลนเล็กน้อยคือ มีค่าไม่เกิน 0.5×10^{-6}/°C เมื่อนำโลหะไปผ่านกระบวนการเคลือบพอร์ซเลนแล้วปล่อยให้เย็นลง ชั้นโลหะจะมีการหดตัวมากกว่าพอร์ซเลน จึงก่อให้เกิดแรงเค้นอัดขึ้นที่ด้านของพอร์ซเลนตรงที่เป็นรอยต่อ เมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำจะทำให้เกิดแรงเค้นดึงขึ้นที่พื้นผิวของพอร์ซเลนบริเวณรอยต่อ แรงนี้จะถูกหักล้างไปได้โดยแรงเค้นที่อัดค้างอยู่ ซึ่งเป็นการลดการขยายใหญ่ขึ้นของรอยแตกเล็กๆได้อีกทางหนึ่ง ส่งผลให้พอร์ซเลนมีความแข็งแรงมากขึ้น และนั้นคือจุดเริ่มต้นของการบูรณะฟันด้วยโลหะเคลือบกระเบื้องที่ใช้กันอย่างต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน (Straussberg และคณะ,1966; Kelly,2004)

โลหะผสม (alloy)

โลหะผสมเป็นวัตถุผสมที่เกิดจากการรวมกันของโลหะ 2 หรือมากกว่า หรือเกิดจากการรวมกันของโลหะอย่างน้อยสองชนิดกับอโลหะ ถูกนำมาใช้ในทางทันตกรรมเป็นเวลานาน เนื่องจากโลหะบริสุทธิ์มีคุณสมบัติไม่เหมาะสมต่อการใช้งานในช่องปาก ดังนั้นจึงมีการใช้โลหะผสม ที่มีโลหะหลัก เช่น ทอง พัลเลเดียม เงิน ทองคำขาว ทองแดง นิกเกิล โครเมียม โคบอล ผสมในสัดส่วนที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้คุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล ทางเคมี และทางชีวภาพที่เหมาะสม (Wataha,2002)

ก่อนปี ค.ศ. 1975 มีการแบ่งชนิดของโลหะผสมที่ใช้ในงานทันตกรรมประดิษฐ์ ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ โลหะผสมสำหรับหล่อ (casting alloys) โลหะผสมที่ใช้ยึดติดกับพอร์ซเลน (porcelain-bonding alloys) และโลหะผสมสำหรับโครงโลหะฟันปลอมบางส่วนถอดได้ (alloys for removable partial denture framework) ปัจจุบันมีการจำแนกชนิดของโลหะผสมสำหรับหล่อต่างไปจากเดิมและมีหลายระบบ แต่ระบบที่มีการใช้มากคือ **จำแนกชนิดของโลหะผสมโดยสมาคมทันตแพทย์อเมริกัน** (The American Dental Association : ADA) แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ

1)จำแนกตามคุณสมบัติทางกายภาพที่เกี่ยวกับความแข็งแรงครากและการยืดตัว (physical properties of yield strength and elongation)

2)จำแนกตามปริมาณของส่วนประกอบ (wt% composition)

I.จำแนกโลหะผสมตามคุณสมบัติทางกายภาพ แบ่งโลหะผสมออกเป็น 4 กลุ่ม (Wataha,2002) ตาม*ตารางที่ 1*

ตารางที่ 1 แสดงการจำแนกโลหะผสมตามคุณสมบัติทางกายภาพ โดย ANSI/ADA specification no. 5 ในปี 1989

ADA type	Hardness	Clinical use	Yield strength (MPa, in tension)	Elongation (%)
I	Soft	Low stress, no occlusion, inlay	<140	18
II	Medium	Moderate stress, light occlusion, onlays and inlays	140-200	18
III	Hard	High stress, full occlusal load, crowns, short-span fixed partial dentures	201-340	12
IV	Extra-hard	Very high stresss, thin veneer crowns, long span fixed partial dentures, removable partial dentures	>340	10

(ที่มา Revised ANSI/ADA specification no. 5 for dental casting alloys. Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment. J Am Dent Assoc. 1989 Mar;118(3):379.อ้างอิงใน Wataha JC. Alloys for prosthodontic restorations. J Prosthet Dent. 2002 Apr;87(4) :351-63.)

II.จำแนกโลหะผสมตามปริมาณของส่วนประกอบ ในปี 1984 สมาคมทันตแพทย์อเมริกา จำแนกโลหะผสมตามปริมาณของทองและปริมาณของโลหะมีสกุลทั้งหมดที่ผสมอยู่ (total noble metal content) แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ โลหะผสมมีสกุลสูง (high-noble alloys) โลหะผสมมีสกุล (noble alloys) และโลหะผสมไร้สกุล (predominantly base-metal alloys) (Anusavice และCascone,2003) ตาม*ตารางที่ 2*

ตารางที่ 2 แสดงการแบ่งชนิดของโลหะผสมทางทันตกรรมโดยสมาคมทันตแพทย์อเมริกัน ในปี 1984 (The 1984 ADA classification for dental alloys)

Alloy Classification	Total Noble Metal Content
High Noble	Must contain ≥ 40 wt% Au and ≥ 60 wt% of noble metal elements (Au, Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Os)
Noble	Must contain ≥ 25 wt% of noble metal elements
Predominantly Base Metal	Contain < 25 wt% of noble metal elements

(ที่มา Anusavice KJ, Cascone P. Dental casting ans soldering alloys. In: Anusavice KJ, editor. Phillips' science of dental materials. 11 th ed. St. Louis: Saunders; 2003. p. 570-4.)

การแบ่งแบบนี้จะให้ความสำคัญในเรื่องการกัดกร่อน (corrosion) โดยโลหะผสมที่มีโลหะมีสกุล (noble metal) ในปริมาณที่มากกว่าจะเกิดการกัดกร่อนได้น้อยกว่า แต่ไม่สามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางกายภาพ อุณหภูมิที่เข้ากันได้กับพอร์ซเลน รวมถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนสีของพอร์ซเลนได้ (Wataha, 2002)

โลหะผสมไร้สกุล (predominantly base-metal alloys)

โลหะผสมพวกนี้มีส่วนประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพหลายอย่างที่ใกล้เคียงกัน แต่มีความแตกต่างกันในคุณสมบัติด้านการกัดกร่อน อาจผลิตออกมาทั้งแบบที่มีคาร์บอนร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักและไม่มีคาร์บอน ในกรณีที่ใช้ในการบูรณะด้วยการหล่อ (cast restoration) โดยทั่วไปจะไม่มีคาร์บอน แต่ในกรณีที่ใช้ในโครงโลหะของฟันปลอมบางส่วนจะมีการเติมคาร์บอนลงไป เพื่อเพิ่มขีดยืดปฏิภาค และความแข็ง (Baran,2002)

โลหะผสมที่มีนิกเกิลเป็นพื้นฐาน (nickel-based alloy) อาจมีโครเมียมในส่วนประกอบประมาณร้อยละ 14 โดยน้ำหนัก ทั้งใน**โลหะผสมนิกเกิล-โครเมียม-เบริลเลียม และโลหะผสมนิกเกิล-โครเมียม** ที่ไม่มีเบริลเลียม โดยเบริลเลียมเริ่มต้นถูกนำมาใช้เพื่อลดช่วงการหลอมตัวของโลหะผสม ปรับปรุงความสามารถในการหล่อ (castability) และความสามารถในการขัดผิว (polishability) ทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มความแข็ง (hardener) และช่วยควบคุมการสร้างออกไซด์ไม่ให้หนามากเกินไป ดังนั้นจึงช่วยเพิ่มแรงยึดระหว่างพอร์ซเลนและโลหะ อย่างไรก็ตามการใช้โลหะผสมที่มีเบริลเลียมเป็นส่วนประกอบจะลดค่าความต้านทานต่อการกัดกร่อน นอกจากนี้ยังมีโอกาส

เสี่ยงที่จะเกิดอันตรายต่อสุขภาพของช่างทันตกรรมและทันตแพทย์ ส่วนโมลิบดินัม (molybdenum: Mo) ที่เติมเข้ามาในส่วนประกอบ ทำหน้าที่ในการปรับปรุงค่าความต้านทานต่อการสึกกร่อน มีผลต่อการสร้างออกไซด์ และช่วยในการปรับค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อถูกความร้อนของโลหะผสมที่มีนิเกิลเป็นพื้นฐาน นอกจากนี้โลหะผสมนิกเกิล-โครเมียม-เบริลเลียม จะมีการกัดกร่อนมากกว่าในโลหะนิกเกิล-โครเมียม โดยเฉพาะในสิ่งแวดล้อมที่เป็นกรด ส่วน**โลหะผสมนิกเกิล-ไฮ-โครเมียม** ซึ่งมีปริมาณของโครเมียมมากกว่าร้อยละ 20 จะมีความต้านทานการกัดกร่อนมากที่สุดในกลุ่มและถูกใช้มากที่สุดในกลุ่มโลหะผสมที่มีนิกเกิลเป็นพื้นฐาน **โลหะผสม โคบอล-โครเมียม** มีช่วงการหลอมเหลวมากที่สุดของโลหะสำหรับหล่อ ยกเว้นโลหะผสมที่มี ไททาเนียมเป็นพื้นฐาน (titanium-based alloys) ยากในการจัดการทางห้องปฏิบัติการณ์ไม่ว่าจะเป็นการหล่อ การกรอและการขัดแต่ง ผิวของออกไซด์ที่เกิดขึ้นของโลหะผสมโคบอล-โครเมียมยากเป็นพิเศษที่จะปิด นอกจากนี้การเข้ากันได้ของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อโดยความร้อนระหว่างโลหะผสมโคบอล-โครเมียมกับพอร์ซเลนอาจมีปัญหาอยู่ (Naylor,1992)

ในปัจจุบันมีการใช้โลหะผสมไร้สกุลในการบูรณะด้วยฟันปลอมติดแน่นอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เป็นข้อได้เปรียบอยู่หลายประการ เช่น มีความแข็งสูง มีความหนาแน่นต่ำ มีค่ามอดุลัสแห่งความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) มาก มีความต้านทานแรงดึงสูง มีค่าความต้านทานต่อการแอ่นตัว (sag resistance) สูง มีความต้านทานต่อการผิดรูปสูง (resistance to deformation) สามารถทำให้โครงโลหะบางกว่ากลุ่มโลหะผสมมีสกุล ดังนั้นจึงเพิ่มความแข็งแรงให้กับการบูรณะด้วยโลหะเคลือบกระเบื้อง นอกจากนี้แล้วยังมีราคาค่อนข้างคงที่และถูกกว่าโลหะผสมมีสกุลซึ่งปัจจุบันมีราคาสูงเพิ่มมากขึ้น (Lubovich และGoodkind,1977; Naylor,1992)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง (Shillingburg และคณะ,1997) คือ

1. แรงยึดระหว่างพอร์ซเลนกับโครงโลหะ (metal-porcelain bond)
2. การออกแบบโครงโลหะ (design of the metal coping)
3. การเข้ากันได้ของโลหะและพอร์ซเลน (compatibility of the metal and the porcelain)

I. แรงยึดระหว่างพอร์ซเลนกับโครงโลหะ

การเกิดแรงยึดที่แข็งแรงระหว่างชั้นโอเพคพอร์ซเลนกับโลหะ มีความสำคัญต่ออายุการใช้งานของการบูรณะด้วยโลหะเคลือบกระเบื้อง กลไกที่ใช้ในการอธิบายการยึดระหว่างพอร์ซเลนกับโครงโลหะ (bond mechanism) (Shillingburg และคณะ,1997) คือ

1)การยึดทางกลศาสตร์ (mechanical entrapment) เกิดจากการที่พอร์ซเลนมีการไหลเข้าไปในช่องว่างเล็กๆ (microscopic space) บนพื้นผิวของโลหะ ทำให้เกิดการยึด (interlocking) ของพอร์ซเลนกับพื้นผิวที่ขรุขระ (microabrasions) บนผิวของโครงโลหะที่มีการเตรียมพื้นผิวโลหะ (surface treatment of the alloy) ด้วยวิธีการต่างๆ

2)แรงอัด (compressive force) เกิดจากการที่โครงโลหะที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อถูกความร้อนมากกว่าพอร์ซเลนประมาณ 0.5-1 x 10^{-6} / °C ส่งผลให้พอร์ซเลนเกิดการอัดขึ้น (state of compression) ถ้าการไม่เข้ากัน (mismatch) ของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อถูกความร้อนมีค่ามากๆ จะมีความเค้นภายใน (internal stress) เกิดขึ้นระหว่างที่มีการเย็นตัวลง เป็นสาเหตุให้ พอร์ซเลนเกิดการแตกและแยกออกจากผิวโลหะ

3)แรงแวนเดอร์วาลล์ (Van der Waal's force) เกิดจากแรงดึงดูดของโมเลกุลที่มีประจุ (charge molecule) ทำให้เกิดแรงยึดขึ้น โดยอาศัยการไหลแผ่ (wetting) ของพอร์ซเลนที่อ่อนตัวบนโครงโลหะ ถ้ามีการไหลแผ่ที่ดี จะมีค่าแรงแวนเดอร์วาลล์มาก แม้ว่าแรงนี้จะมีค่าน้อยแต่ก็มีความสำคัญเนื่องจากเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญของแรงยึดทาง กลศาสตร์และทางเคมี

4)แรงยึดทางเคมี (chemical bond) เกิดจากพอร์ซเลนไหลและหลอมรวมกันกับออกไซด์ที่อยู่บนผิวโลหะ

ปัจจัยที่มีผลต่อแรงยึด (bond strength) คือ

1)ระดับของความขรุขระ (degree of roughness) ซึ่งนอกจากส่งเสริมการแรงยึดทางกลศาสตร์ระหว่างโลหะและพอร์ซเลนแล้ว ยังช่วยในการกำจัดพื้นผิวที่ปนเปื้อนและทำความสะอาดชิ้นหล่อด้วย

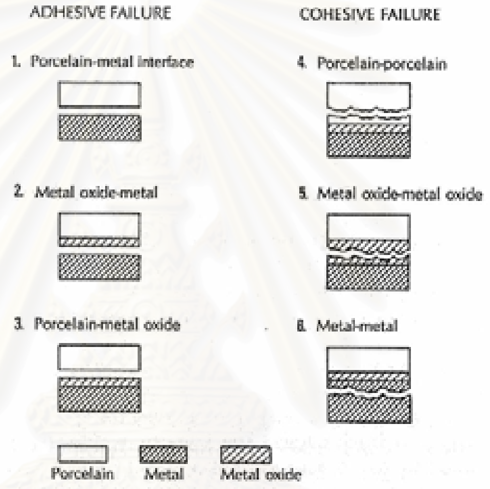
2)การทำให้เกิดชั้นของออกไซด์ (oxide formation) ที่บริเวณรอยต่อระหว่างพอร์ซเลนและโลหะ

3)ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อถูกความร้อน โดยทั่วไปโลหะจะมีค่า 13.5-14.5 x 10^{-6}/ °C ส่วนพอร์ซเลนมีค่า 13.0-14.0 x 10^{-6}/ °C

4)การเตรียมพื้นผิวของโลหะก่อนที่จะมีการเผาพอร์ซเลน และบรรยากาศของเตาเผาพอร์ซเลน (atmosphere of porcelain furnace) ระหว่างที่มีการเผา (Lubovich และ Goodkind,1977; Brantley และLaub,2001)

ความล้มเหลวของการยึดติดของโลหะและพอร์ซเลน (bond failure) แบ่งออก 6 ชนิดตามตำแหน่งที่เกิดความล้มเหลว ตามการจำแนกของ O' Brien ในปี 1977 (O'Brien,1977) *รูปที่ 1* และสามารถจัดกลุ่มได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ การแตกหักในชั้นของพอร์ซเลนอย่างเดียวไม่ถึง

ชั้นของโลหะ (cohesive bond failure) การแตกหักจนถึงชั้นของโลหะ (adhesive bond failure) และการแตกหักในชั้น พอร์ซเลนและชั้นโลหะ (combination of cohesive and adhesive bond failure) โดยความล้มเหลวที่เกิดจากการยึดติดของโลหะและเซรามิกเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น มีชั้นของออกไซด์ไม่เพียงพอหรือมีหนามากเกินไป อย่างไรก็ตามในกรณีที่เกิดการยึดอย่างแท้จริงขึ้น ความล้มเหลวหรือการแตกหักที่เกิดขึ้นจะเกิดในพอร์ซเลนมากกว่าเกิดในรอยต่อระหว่างโลหะและพอร์ซเลน นักวิจัยส่วนใหญ่เชื่อว่ามีรอยร้าวขนาดเล็กเกิดขึ้นอย่างมากบริเวณที่มีความเค้นสูง หรือในบริเวณที่มีการยึดที่ไม่เพียงพอระหว่างโลหะและพอร์ซเลน เมื่อรอยร้าวเพิ่มมากเพียงพอก็จะเกิด catastrophic failure และเกิดการหลุดของพอร์ซเลนออกจากโลหะตามมา (Craig และคณะ,2005)



<u>**รูปที่ 1**</u> ความล้มเหลวของการยึดติดของโลหะและพอร์ซเลน (O'Brien,1977)

<u>II. การออกแบบโครงโลหะ (metal substructure design)</u>

ความแข็งแรงและการต้านทานการแตกหักของการบูรณะด้วยโลหะเคลือบกระเบื้อง ส่วนใหญ่แล้วขึ้นอยู่กับการออกแบบโครงโลหะ ซึ่งโลหะจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะให้การรองรับพอร์ซเลนและต้านทานการผิดรูป เนื่องจากพอร์ซเลนมีคุณสมบัติในการต้านทานความเค้นอัดได้ดี แต่มีแนวโน้มที่จะเกิดการแตกหักเมื่อได้รับความเค้นแบบดึง ดังนั้นโครงโลหะควรจะออกแบบให้พอร์ซเลนอยู่ภายใต้ความเค้นอัด หรือทำให้เกิดความเค้นแรงดึงในพอร์ซเลนน้อยที่สุด เพื่อป้องกันการแตกหักของพอร์ซเลน (Miller,1977)

ลักษณะการออกแบบโครงโลหะในการบูรณะด้วยโลหะเคลือบกระเบื้องที่สำคัญ

(Shillingburg และคณะ,1997) คือ

1) ความหนาของโลหะและพอร์ซเลน
2) ตำแหน่งของสัมผัสสบฟัน (occlusal contact) สัมผัสประชิด (proximal contact) และการขยายพื้นที่ของวีเนียร์ (extension of veneered area)
3) การออกแบบขอบด้านหน้า (design of facial margin)

1.ความหนาของโลหะและพอร์ซเลน

โครงโลหะจะต้องมีความหนาที่เพียงพอที่จะต้านทานการโค้งงอ (flex) หรือการผิดรูปเมื่อทำหน้าที่ ความสัมพันธ์ที่ได้สัดส่วน (proportional relation) ระหว่างความหนาและระดับของการผิดรูป (degree of deformation) โดยโครงโลหะที่หนาเพิ่มขึ้น 2 เท่า จะต้องใช้แรงเพิ่มขึ้นถึง 8 เท่าในการทำให้เกิดการผิดรูปในขนาดที่เท่ากันซึ่งชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการออกแบบโครงโลหะให้มีความหนาเท่าที่จะทำได้ และพอร์ซเลนต้องมีความหนาที่เพียงพอ เพื่อให้เกิดความโปร่งแสงเหมือนกับฟันธรรมชาติ การออกแบบโครงโลหะจะต้องเป็นไปตามความต้องการทั้งด้านกลศาสตร์และชีวภาพ (mechanical and biological demand) โดยทางกลศาสตร์ต้องการความหนาเท่าที่จะเป็นได้ ขณะที่ด้านชีวภาพและด้านความสวยงามต้องการความบางเท่าที่จะเป็นไปได้ นอกจากนี้การผิดรูปจะแปรผกผันกับค่ามอดูลัสยืดหยุ่น ถ้าค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มเป็นสองเท่าการผิดรูปสภาพยืดหยุ่น (elastic deformation) ที่เกิดขึ้นเมื่อรับแรงจะลดลงครึ่งหนึ่ง นั่นคือสภาพแข็งตรึงต่อหนึ่งหน่วยความหนา (rigidity per unit thickness) จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อโลหะมีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ดังนั้นโลหะที่มีค่ากำลังแรงดึงท้ายสุด (ultimate tensile strength) และค่ามอดูลัสยืดหยุ่นสูง จะเกิดการโค้งงอเมื่อรับแรงได้น้อยกว่าและเป็นโครงโลหะที่รองรับพอร์ซเลนที่ดีกว่าโลหะที่มีค่าทั้งสองนี้ต่ำ โดย Riley เชื่อว่าความสัมพันธ์ของการผิดรูปสภาพยืดหยุ่นต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมีความสำคัญมากกว่าความสัมพันธ์ของความหนาของโครงโลหะ เนื่องจากความแข็งแรงและอายุการใช้งานของชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องขึ้นอยู่กับสภาพแข็งตรึงของโครงโลหะ ดังนั้นโครงโลหะจึงไม่ควรมีการงอตัวระหว่างที่ใส่ชิ้นงานและในขณะที่รับแรงบดเคี้ยว เพราะการงอตัวจะทำให้พอร์ซเลนอยู่ภายใต้แรงดึงและทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนได้ (Riley,1977; Yamamoto,1985)

ที่ผ่านมาการออกแบบโครงโลหะรองรับได้มีข้อเสนอแนะในการออกแบบ เช่น พอร์ซเลนทุกส่วนจะต้องถูกรองรับโดยโครงโลหะที่มีความหนาเพียงพอที่จะต้านการโค้งงอหรือการเปลี่ยนรูป (deformation) เมื่อทำหน้าที่ (Weinberg,1967; Dupont,1968; Hobo และShillingburg,1973;

Bell,1983; Kostka,1985) โลหะจะต้องไม่มีมุมแหลม (Weinberg,1967; Miller,1977) และแนะนำให้มีโลหะรองรับภายใน (internal stress support) (Dupont,1968; Miller,1977; Shoher และ Whiteman,1983; Shoher,1985; Kostka,1985) โดยเชื่อว่าการออกแบบที่ไม่ดีจะยิ่งส่งเสริมให้พอร์ซเลนแตก (Bell,1983) ซึ่งความหนาของโลหะที่เหมาะสมจะขึ้นกับชนิดของโลหะ ซึ่งข้อเสนอแนะส่วนใหญ่ไม่ได้มีผลการทดลองยืนยัน แต่จากการทดลองในวิทยานิพนธ์ของธิดารัตน์ (ธิดารัตน์,2549) พบว่าความหนาของโลหะผสมไร้สกุลที่แนะนำคือ 0.3 ม.ม. ส่วนความหนาของพอร์ซเลนซ์มีข้อเสนอแนะว่าควรมีความหนาที่สม่ำเสมอ (Hobo และShillingburg,1973; Miller,1977; Naylor,1992; Shillingburg และคณะ,1997) และไม่ควรมีความหนามากกว่า 2.0 ม.ม. (Bell,1983; Miller และคณะ,1992; Naylor,1992; Rosenstiel และคณะ,2001) เพราะมิฉะนั้นจะทำให้พอร์ซเลนมีแนวโน้มจะเกิดการแตกหัก (Bell,1983; Naylor,1992) เนื่องจากในขั้นตอนการเย็นตัวของพอร์ซเลนจะเกิดความเค้นอัดมากที่สุดที่บริเวณรอยต่อและจะมีค่าลดลงเมื่อออกไปที่พื้นผิวด้านนอก โดยเชื่อว่าความเค้นอัดจะมีผลอยู่ในช่วง 2.0 ม.ม. จากบริเวณรอยต่อหลังจากระยะนี้ออกไปจะเกิดความเค้นแบบดึงขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนได้ (Miller,1977; Yamamoto,1985) แต่จากการทดลองในวิทยานิพนธ์ของธิดารัตน์ (ธิดารัตน์,2549) พบว่าสิ่งที่สำคัญคือความหนาโลหะมากกว่าความหนาของพอร์ซเลนกล่าวคือ ถ้าโลหะที่รองรับในแนวแรงกดมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะสามารถให้มีความหนาของพอร์ซเลนมากกว่า 2.0 ม.ม. ได้ นอกจากนี้พอร์ซเลนที่มีความหนาเพิ่มมากขึ้นก็มีโอกาสที่จะเกิดรูพรุนมากขึ้น มีโอกาสเกิดการแตกหักได้มากขึ้น (McLean,1980)

การที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำว่า พอร์ซเลนบริเวณด้านบดเคี้ยวและปลายฟันไม่ควรหนาเกิน 2 ม.ม. อย่างไรก็ตามพบว่า ถ้าหากตัดครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง จะพบว่าบริเวณด้านประชิดฟัน (proximal surface) พอร์ซเลนจะมีความหนา 8-10 ม.ม. ซึ่งบริเวณนี้เป็นตำแหน่งที่อาจจะเกิดการแตกหักของพอร์ซเลนได้ จึงมีผู้เสนอการออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหานี้ โดยการออกแบบส่วนโลหะรองรับบริเวณประชิดฟัน (interproximal strut) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของพอร์ซเลน โดยโครงโลหะนี้จะทำหน้าที่รองรับพอร์ซเลนบริเวณสันริมฟันซึ่งพบบ่อยว่ามีการแตกหัก เนื่องจากบริเวณนี้มีพอร์ซเลนหนา 8-10 ม.ม. (Kostka,1985) นั่นก็คือการสร้างให้มีโลหะรองรับตามแนวแรงนั่นเอง ซึ่งจากการทดลองในวิทยานิพนธ์ของสมเกียรติ (สมเกียรติ ,2549) พบว่าเพื่อป้องกันการแตกหักของพอร์ซเลนบริเวณด้านประชิดฟัน ควรให้มีส่วนโลหะรองรับพอร์ซเลนบริเวณประชิดฟันสูงอย่างน้อย 4 ม.ม. (สิ้นสุดที่ตำแหน่งสัมผัสประชิดฟัน) ซึ่งเป็นการเน้นย้ำถึงความสำคัญของโลหะที่มารองรับพอร์ซเลน

ความแตกต่างระหว่างฟันหลักยึดรากเทียมกับฟันธรรมชาติ

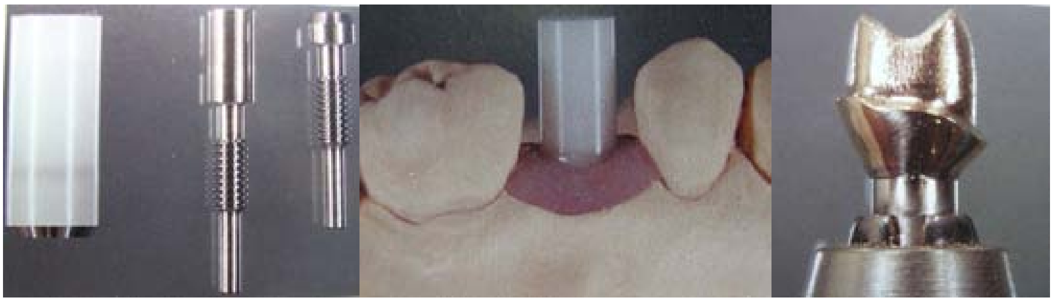
ในงานทันตกรรมรากเทียมการเลือกสิ่งบูรณะด้วยครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง ถือว่าเป็นมาตรฐานหรือเป็นตัวเลือกแรกที่เลือกใช้ในผู้ป่วยที่มีช่องว่างไร้ฟันบางส่วน ฟันหลักยึดรากเทียม จะมีความสอบ (taper) มากกว่าฟันหลักยึดธรรมชาติ โดยปกติแล้วบริษัทมักผลิตให้มีความสอบมากกว่า 25 องศา ซึ่งจะส่งผลทำให้มีพื้นที่สำหรับยึดแน่น (retentive surfaces) น้อยกว่าฟันธรรมชาติและปกติซีเมนต์จะมีการยึดกับฟันธรรมชาติได้ดีกว่าผิวไททาเนียม

ฟันหลักยึดรากเทียมมักจะมีความสูงที่น้อยกว่าฟันหลักยึดธรรมชาติ ซึ่งบางบริษัทจะผลิตให้มีความสูงเพียง 5 ม.ม. เพื่อประหยัดเวลาในการกรอแต่งสำหรับทันตแพทย์ แต่จะส่งผลให้มีความต้านทานต่อการหลุดของครอบฟันน้อยลง ซึ่งในบางบริษัทอาจแก้ไขโดยการออกแบบหลุมร่องเพิ่มเติมบนผิวฟันหลักยึดเพื่อต้านทานการหมุนตัวของครอบฟัน

ฟันหลักยึดรากเทียมจะมี เส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าฟันหลักยึดธรรมชาติ เนื่องมาจากการละลายตัวของกระดูกและข้อจำกัดทางด้านกายภาพ ทำให้ขนาดของรากเทียมที่ใช้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่ารากฟันและคอฟันของฟันธรรมชาติ

รูปที่ 2 แสดงฟันหลักยึดรากเทียมที่มีขนาด คอฟันเล็กกว่าฟันธรรมชาติ

เนื่องจากข้อแตกต่างดังที่กล่าวมาแล้วรวมถึงขนาดของครอบฟันที่จะใหญ่และสูงขึ้นเนื่องจากการละลายของกระดูก (Schiffleger และคณะ,1985) จึงทำให้พื้นที่ของโครงโลหะและพอร์ซเลนของฟันปลอมโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดยึดแน่นบนฟันหลักยึดรากเทียมมีความหนามากกว่าฟันปลอมที่ยึดแน่นบนฟันหลักยึดธรรมชาติ (Misch,2005) ยกเว้น ในกรณีที่เลือกใช้ฟันหลักยึดรากเทียมชนิด UCLA จึงจะสามารถสร้างฟันหลักรากเทียมที่มีความสูงและมิติใกล้เคียงฟันธรรมชาติ



<u>รูปที่ 3</u> แสดงฟันหลักยึดรากเทียมชนิด UCLA (Misch,2005)

สิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณาถึงคือระยะระหว่างขากรรไกร (interarch space) (Misch และคณะ,2005; Misch และคณะ,2006)ในกรณีที่มีระยะระหว่างขากรรไกรมาก และต้องการการบูรณะด้วยโลหะเคลือบกระเบื้องควรที่จะชดเชยช่องว่างนี้ด้วยโครงโลหะ เพื่อให้เกิดความแข็งแรงและป้องกันการผิดรูปของโครงโลหะ ซึ่งจะลดการแตกหักของพอร์ซเลน นอกจากนี้การชดเชยช่องว่างด้วยโลหะยังเป็นการควบคุมความหนาของพอร์ซเลนให้มีความหนาที่สม่ำเสมอ และหนาไม่เกิน 2 ม.ม. เนื่องจากถ้าพอร์ซเลนมีความหนามากกว่านี้ จะมีโอกาสที่จะเกิดการแตกหักมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามการที่มีโลหะอยู่จำนวนมาก โลหะจะทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บความร้อน (heat sink) และเกิดความยุ่งยากซับซ้อนในการสร้างชิ้นงาน เนื่องจากการเย็นตัวของโลหะหลังจากที่ทำการหล่อ ส่วนของโลหะที่บางจะเย็นตัวก่อนและจะเกิดรูพรุนในโครงสร้างขึ้นอาจนำไปสู่การหักของโครงโลหะได้เมื่อได้รับแรง นอกจากนี้แล้วชิ้นหล่อ (casting) จะถูกนำเข้าเตาหล่ออีกครั้งเพื่อขึ้นรูปพอร์ซเลน การที่โลหะในแต่ละบริเวณมีความหนาไม่เท่ากันทำให้ความร้อนที่อยู่ในโลหะแต่ละบริเวณต่างกัน ส่งผลให้มีโอกาสที่พอร์ซเลนจะแตกเพิ่มมากขึ้น (Misch,2005) และจากการที่ฟันธรรมชาติจะมีเอ็นยึดปริทันต์ล้อมรอบทำหน้าที่ดูดซับแรง ซึ่งจะช่วยลดความเค้นที่ถ่ายทอดไปสู่กระดูก และทำให้เมื่อมีการสบฟันที่มีภยันตรายฟันจะมีการขยับตัวได้เพื่อลดความเสียหาย รวมถึงการที่ค่าสัมประสิทธิ์การยืดหยุ่นของฟันธรรมชาติมีค่าใกล้เคียงกระดูกมากกว่ารากเทียม ทำให้ความเค้นและความเครียดของรากเทียมจะถ่ายทอดไปที่ยอดของกระดูกมากกว่า (Hekimoglu,2004)

<u>2.ตำแหน่งของสัมผัสสบฟัน สัมผัสประชิดและการขยายพื้นที่ของวีเนียร์</u>

*ตำแหน่งของสัมผัสสบฟัน*ในตำแหน่งในศูนย์ของการบูรณะฟันด้วยโลหะเคลือบกระเบื้องจะเป็นพอร์ซเลนหรือโลหะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 2 อย่าง คือ ตำแหน่งของจุดสัมผัสด้านบดเคี้ยว (location of occlusal contacts) และปริมาณของระยะปลอด (clearance) ที่ทำการกรอลดกับฟันคู่สบ โดยจุดสัมผัสสบฟันในตำแหน่งในศูนย์จะเป็นโลหะหรือพอร์ซเลนก็ได้ ในกรณีที่เป็น

โลหะ ด้านบดเคี้ยวจะมีความถูกต้องมากกว่าพอร์ซเลน ทำให้ฟันคู่สบสึกน้อยกว่า การกรอและขัดแต่งข้างเก้าอี้จะง่ายกว่า ขณะที่จุดสัมผัสที่เป็นพอร์ซเลนเวลากรอจะมีการกรอส่วนที่เคลือบ (glaze) ออกไป นอกจากนี้จุดสัมผัสในตำแหน่งในศูนย์และในตำแหน่งที่เป็นจุดเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ออกนอกศูนย์ (centric occlusal contact & initial excursive movement) ไม่ควรอยู่ที่รอยต่อระหว่างโลหะและพอร์ซเลน เนื่องจากจุดสัมผัสที่อยู่ใกล้หรืออยู่ที่รอยต่อ ขณะที่มีการใช้งานส่วนโลหะจะมีการไหลของโลหะ (metal flow) มีการโค้งงอ และมีการผิดรูปขึ้น ส่วนพอร์ซเลนจะมีความเค้นแบบดึงเกิดขึ้น ซึ่งเพิ่มโอกาสที่จะเกิดการหลุดหรือแตกหักของพอร์ซเลนที่บริเวณนั้น ในฟันหน้าไม่แนะนำให้รอยต่ออยู่ที่บริเวณปลายฟัน เพราะในทุกๆการเคลื่อนที่เวลาที่มีการสัมผัสกันจะทำให้เกิดความเค้นที่ปลายฟัน ส่งผลให้เกิดแรงเฉือนที่พอร์ซเลนที่อยู่ด้านหน้าทำให้เกิดการแตกหักตามมาได้ และจะทำลายความโปร่งแสงบริเวณปลายฟัน โดยจุดสัมผัสในตำแหน่งในศูนย์ต้องห่างจากรอยต่อประมาณ 1.0-2.0 ม.ม. (Straussberg,1966; Hobo และShillingburg,1973; Naylor,1992; Shillingburg และคณะ,1997; Rosenstiel,2001)

ส่วน*ตำแหน่งของสัมผัสประชิด* ในฟันหน้าหรืออย่างน้อยจุดสัมผัสประชิดด้านใกล้ของฟันหลัง ควรที่จะเป็นพอร์ซเลนเพื่อให้เกิดความสวยงาม เนื่องจากมองไม่เห็นรอยดำของจุดสัมผัสประชิดที่เป็นโลหะ นอกจากนี้ยังง่ายในการกรอแต่งและนำไปเผาอีกครั้ง (easily adjusted by grinding & refiring) และง่ายต่อการทำความสะอาด แต่สิ่งที่สำคัญคือ ต้องมีโลหะที่เป็นตัวรองรับให้กับสันริมฟันที่เป็นพอร์ซเลน (porcelain marginal ridge) เพื่อป้องกันการแตกหัก ส่วนฟันหลังในบริเวณที่มองไม่ค่อยเห็นและเป็นการรักษาเนื้อฟันให้มากเท่าที่จะทำได้ควรมีตำแหน่งของสัมผัสประชิดอยู่บนโลหะ นอกจากนี้ตำแหน่งของสัมผัสประชิดไม่ควรวางอยู่ที่รอยต่อระหว่างโลหะและพอร์ซเลน (Hobo และShillingburg,1973; Naylor,1992; Shillingburg และคณะ,1997; Rosenstiel,2001)

การขยายพื้นที่ของวีเนียร์ หรือการออกแบบชิ้นงานของการบูรณะด้วยโลหะเคลือบกระเบื้องมีหลายแบบด้วยกัน ดังต่อไปนี้

<u>**ฟันหน้า**</u>

1)มีพอร์ซเลนปกคลุมทั้งหมด (full porcelain coverage) แต่มีแถบคาดโลหะ (metal collar) ด้านลิ้น

ซึ่งมีความกว้างในแนวปลายฟันคอฟันประมาณ 3 ม.ม. (Shillingburg และคณะ ,199; Hobo และShillingburg,1973) เนื่องจากจะช่วยลดความเค้นที่เกิดขึ้นบนพอร์ซเลน และทำหน้าที่ในการให้การรองรับกับพอร์ซเลน (porcelain support) ให้เค้ารูป (contour) และให้ขอบที่แนบ (marginal fit) (Straussberg,1966)

2)ด้านใกล้ลิ้นเป็นโลหะ จะใช้ในกรณีที่มีระยะปลอดน้อยกว่า 1.5 ม.ม. หรือในกรณีที่ต้องการความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เช่น ในการยึดแบบติดแน่น (fixed splinting) หรือโครงโลหะของสะพานฟัน หรือใช้ในกรณีที่จุดสัมผัสสบฟันอยู่ใกล้บริเวณปุ่มคอฟัน (cingulum) บริเวณสันริมฟัน เป็นโลหะแต่บริเวณปลายฟันก็ยังคงเป็นพอร์ซเลนและขยายไปทางด้านใกล้กลางและไกลกลางให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งการออกแบบลักษณะนี้จะไม่เสียความแข็งแรงและยังเกิดความสวยงามด้วย หรืออีกกรณีหนึ่งให้บริเวณสัมผัสประชิดเป็นพอร์ซเลน เพื่อให้มีการส่องผ่านของแสงมากที่สุด (Straussberg,1966)

<u>ฟันหลัง</u>

3)มีพอร์ซเลนเฉพาะด้านหน้า นอกนั้นเป็นโลหะ (facial window)

4)พอร์ซเลนขยายไปถึงหนึ่งในสามหรือครึ่งหนึ่งของระยะห่างระหว่างยอดปุ่มฟันถึงร่องกลาง (central groove) ซึ่งสิ่งที่ต้องการคือ พอร์ซเลนต้องไม่มีการซ้อนทับกัน (overlap) บนโลหะและไม่มีลักษณะเป็น feather edge เพราะว่าพอร์ซเลนบริเวณนี้จะบางแตกหักได้ง่ายและมีโอกาสที่ออกไซด์ของโลหะหรือโอเพคโผล่ขึ้นมาที่บริเวณนี้ด้วย ดังนั้นขอบของพอร์ซเลนควรที่จะมีจุดสิ้นสุดเป็นข้อต่อ (butt joint) หรือแนวบรรจบด้านนอก (external line angle) เป็นมุม 90 องศา เพื่อให้พอร์ซเลนมีความหนาสม่ำเสมอกัน และให้เค้ารูปบริเวณรอยต่อและลักษณะกายภาพ (anatomy) ของครอบฟันได้ถูกต้อง (Naylor,1992; Shillingburg และคณะ,1997; McLean,1980)

5)พอร์ซเลนปกคลุมด้านบดเคี้ยวทั้งหมด

6)พอร์ซเลนคลุมโครงโลหะทั้งหมด ใช้ในกรณีที่ต้องการความสวยงาม แต่ควรที่จะมีแถบคาดโลหะด้านใกล้ลิ้น 2.0-3.0 ม.ม.

7) ด้านบดเคี้ยวเป็นพอร์ซเลนและมีส่วนที่เป็นโลหะรองรับที่บริเวณสันริมฟัน (interproximal strut) ซึ่งส่วนที่เป็นโลหะรองรับจะทำหน้าที่ในการรองรับพอร์ซเลนที่สันริมฟันโดยทางด้านใกล้กลางและไกลกลางจะต่อเนื่องไปกับแถบคาดโลหะด้านริมฝีปากและด้านลิ้น ซึ่งจะให้ความแข็งแรงกับโครงโลหะอย่างมาก เพื่อต้านทานกับแรงบิด (torsional force) และแรงที่ทำให้เกิดการผิดรูป (distortion force) อื่นๆ โดยส่วนที่เป็นโลหะรองรับควรที่จะอยู่ใต้จุดสัมผัสเพื่อให้เกิดความสวยงามและมีการรองรับของพอร์ซเลน เนื่องจากพบบ่อยว่ามีการแตกหักของพอร์ซเลนบริเวณสันริมฟันซึ่งมีพอร์ซเลนหนา 8-10 ม.ม. การที่ไม่มีส่วนที่เป็นโลหะรองรับจะทำให้พอร์ซเลนอ่อนแอต่อแรงบดเคี้ยว โดยพอร์ซเลนมีแนวโน้มที่จะเกิดการเลื่อน

(shift) หรือการเฉือน (shear) เมื่อมีความหนามากเกินไป (Bell,1983; Kostka,1985)

8) **แบบอื่นๆ** เช่น ให้ด้านบดเคี้ยวมีทั้งส่วนที่เป็นโลหะและพอร์ซเลน (Shillingburg และคณะ ,1997)

ได้มีการศึกษาค่าความต้านทานต่อการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีการออกแบบโครงโลหะต่างๆกัน แต่ข้อสรุปที่ได้ก็แตกต่างกันไปตามแต่ละการทดลอง เช่น การศึกษาของ Lund และ Barber (Lund และBarber,1992) Walton และ O'Brien (Walton และ O'Brien,1985) รวมไปถึง Nielsen และ Tuccillo (Nielsen และTuccillo,1972) ที่พบว่าการออกแบบให้มีพอร์ซเลนเฉพาะด้านหน้าจะมีความแข็งแรงมากที่สุด ซึ่งมากกว่าแบบที่มีพอร์ซเลนขยายไปถึงครึ่งซี่ แบบที่มีพอร์ซเลนขยายไปคลุมปุ่มฟันด้านแก้มและแบบที่มีพอร์ซเลนคลุมด้านสบฟันทั้งหมด และพบว่ารอยร้าวและความเค้นตกค้างในการออกแบบที่มีพอร์ซเลนคลุมด้านสบฟันทั้งหมดมีมากกว่าการออกแบบที่มีพอร์ซเลนเฉพาะด้านหน้า ส่วน Marker (Marker,1986) พบว่าการออกแบบด้านสบฟันในฟันหลังแบบที่มีพอร์ซเลนคลุมปุ่มฟันทางด้านหน้า สามารถต้านทานการแตกหักของพอร์ซเลนได้ดีกว่าที่มีด้านสบฟันเป็นแบบพอร์ซเลนครึ่งซี่และแบบพอร์ซเลนทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าคุณสมบัติทางกายภาพและทาง กลศาสตร์ของโลหะรวมถึงความเค้นตกค้างที่บริเวณรอยต่อระหว่างโลหะและพอร์ซเลน มีผลต่อการแตกหักมากกว่าการออกแบบโครงโลหะ ในขณะที่ McLean (McLean,1980) Stein และ Kuwata (Stein และ Kuwata,1977) สนับสนุนการออกแบบครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีด้านสบฟันเป็นพอร์ซเลนทั้งหมด เนื่องจากเชื่อว่าการเพิ่มบริเวณของพอร์ซเลนวีเนียร์จะช่วยเพิ่มความแข็งแรง

3.การออกแบบขอบด้านหน้า

ครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องที่ใช้กันอยู่ปัจจุบันจำแนกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ (Yamamoto,1985; Rosenstiel,2001) *คือ*

1)ชนิดขอบโลหะ ด้านหน้าเป็นแถบคาด (metal collar) ขนาดประมาณ 0.5-1 ม.ม. เพื่อรองรับ พอร์ซเลน ใช้ในบริเวณที่ไม่ต้องการความสวยงามมากนัก เนื่องจากตัวโครงโลหะมีความแข็งตรึง (rigid) สามารถต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอันเกิดเนื่องมาจากการเผาพอร์ซเลนและการบดเคี้ยวอาหารได้ มีความแนบสนิทของขอบ (marginal adaptation) ที่ดี มีวิธีการทำที่ไม่ยุ่งยาก แต่ไม่สวยงาม เพราะจะมองเห็นขอบโลหะสีเงินบริเวณคอฟัน และโลหะมีดัชนีการสะท้อนแสง (reflective index) ที่ไม่ดี ทำให้การส่องผ่านของแสง (light transmission) ไปสู่คอฟันเสียไปจึงเห็นเป็นเงาดำ (darkened appearance) ของทั้งบริเวณฟันและขอบเหงือก จึงมีการซ้อนขอบไว้ใต้เหงือก แต่ในกรณีที่ผู้ป่วยมีเหงือกที่บางใส ยังคงมองเห็นเงาสะท้อนของขอบโลหะใต้ขอบ

เหงือกได้ นอกจากนี้การทำความสะอาดก็ยากขึ้น ตรวจหาความผิดปกติของขอบครอบฟันยาก และมักทำให้เกิดเหงือกร่น (gingival irritation หรือ gingival recession) ตามมา

2)ชนิดขอบพอร์ซเลน (collarless porcelain margin, porcelain margin) ซึ่งใช้กันมากในการบูรณะฟันหน้า โดยเฉพาะในบริเวณที่มี high smile line และบริเวณที่มีขอบเหงือกบาง เนื่องจากให้ความสวยงาม เพราะมีการกำจัดเส้นสีดำของขอบโลหะและลดการเกิดเงาดำจากการสะท้อนแสงของโลหะ จึงไม่จะเป็นต้องซ้อนขอบไว้ใต้เหงือก ลดการระคายเคืองและลดการเกิดเหงือกอักเสบลง แต่ชิ้นงานที่ได้ยังคงมีความทึบแสงอยู่ เนื่องจากโครงโลหะที่อยู่ข้างใต้เป็นวัตถุทึบแสง (opaque material) ป้องกันไม่ให้แสงส่องผ่านได้

นอกจากนี้การออกแบบขอบด้านหน้าชิ้นงานของการบูรณะด้วยโลหะเคลือบกระเบื้องยังสามารถ **แบ่งตามรูปแบบของการเตรียมฟันหลักแบบต่างๆ** คือ 1)knife-edge 2)chamfer 3)shoulder 4)slope shoulder และ5)shoulder with bevel ซึ่งสามารถสรุปถึงข้อเด่นข้อด้อย ข้อบ่งชี้ของการออกแบบขอบด้านหน้าชนิดต่างๆ ได้ดังแสดงใน *ตารางที่ 3*

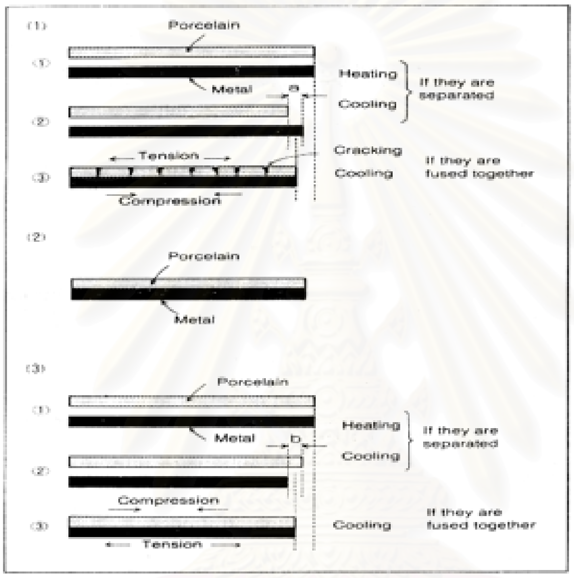
ตารางที่ 3 แสดงข้อได้เปรียบ ข้อเสียเปรียบ ข้อบ่งชี้ของการออกแบบขอบด้านหน้าชนิดต่างๆ

ขอบด้านหน้า	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ	ข้อบ่งชี้
Knife-edge	Conservative of tooth structure	Does not provide sufficient bulk	Not recommended
Chamfer	Distinct margin, adequate bulk, easier to control	Care needed to avoid unsupported lip of enamel	Cast metal restorations, lingual margin of PFM crowns
Shoulder	Bulk of restorative material	Less conservative of tooth structure	Facial margin of PFM crowns, complete ceramic crowns,
Sloped shoulder	Bulk of material, removed unsupported enamel, allows finishing of metal	Less conservative of tooth structure	Facial margin of PFM crowns
Shoulder with bevel	Bulk of material, removed unsupported enamel, allows finishing of metal	Less conservative , extends preparation apically	Facial margin of posterior PFM crowns with supragingival margins

(ที่มา Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. Principles of tooth preparation. In: Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J, editors. Contemporary fixed prosthodontics. Third ed. St. Louis: Mosby; 2001. p. 175.)

III. การเข้ากันได้ของโลหะและพอร์ซเลน(compatibility of the metal and the porcelain)

ความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนระหว่างโลหะและพอร์ซเลนจะส่งผลให้เกิดความเค้นในพอร์ซเลน เนื่องจากการที่พอร์ซเลนมีการหดตัวที่มากกว่าหรือน้อยกว่าโครงโลหะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของความไม่เข้ากัน (mismatch) ของวัสดุทั้งสอง เมื่อพอร์ซเลนถูกหลอมและเชื่อมกับโลหะ จะมีความสัมพันธ์ที่สามารถเกิดขึ้นได้เกี่ยวกับการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน 3 อย่าง (Yamamoto,1985; Noort,2002) ดังที่ได้แสดงใน *รูปที่4*



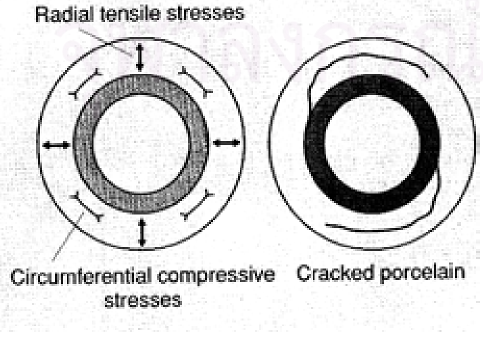
รูปที่4 แสดงความสัมพันธ์ของโลหะและพอร์ซเลนที่สามารถเกิดขึ้นได้เกี่ยวกับการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน (ที่มา Yamamoto M. Factors affecting the strength of metal-caramics. Metal-ceramics; Principles and methods of Makato Yamamoto. Chicago: Quintessence; 1985. p.160)

1)ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของพอร์ซเลนมีค่ามากกว่าของโลหะ เมื่อมีการเย็นตัวลงถึงอุณหภูมิห้องพอร์ซเลนจะหดตัวมากกว่าโลหะ ส่งผลให้พอร์ซเลนอยู่ภายใต้แรงดึงขณะที่โลหะจะอยู่ภายใต้แรงอัด โดยความเค้นแบบดึงส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างโลหะและพอร์ซเลน ดังนั้นรอยร้าวที่เกิดขึ้นมักจะพบในบริเวณที่พอร์ซเลนบาง เช่น บริเวณคอฟัน (cervical region) รอบๆบริเวณที่บัดกรี (soldered area) หลังจากที่ผ่านกระบวนการบัดกรีภายหลัง (postsoldering procedures) รอยร้าวที่เกิดขึ้นนี้จะไม่มีทิศทางที่แน่นอน เนื่องจากพอร์ซเลนถูกดึงด้วยโลหะ เรียกรอยร้าวชนิดนี้ว่า รอยร้าวแรงดึง (cracking due to tension)

2)ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของพอร์ซเลนและโลหะมีค่าเท่ากันทั้ง พอร์ซเลนและโลหะจะหดตัวด้วยอัตราเร็วที่เท่ากัน จึงไม่เกิดความแตกต่างของขนาดที่เกิดขึ้นระหว่างโลหะและพอร์ซเลน ผลที่ได้คือพอร์ซเลนจะไม่มีความเค้นที่เกิดจากโลหะ ดังนั้นจึงไม่มีรอยร้าวเกิดขึ้นกับพอร์ซเลน ยกเว้นจะได้รับแรงจากภายนอกที่มีค่ามากพอมากระทำ

3)ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของพอร์ซเลนมีค่าน้อยกว่าของโลหะ โลหะจะหดตัวมากกว่าพอร์ซเลนและจะทำให้พอร์ซเลนอยู่ภายใต้แรงอัดขณะที่โลหะจะอยู่ภายใต้แรงดึง เมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำจะเกิดแรงเค้นดึงขึ้นที่พื้นผิวของพอร์ซเลน แรงนี้จะถูกหักล้างไปได้โดยแรงเค้นที่อัดค้างอยู่ ส่งผลให้พอร์ซเลนมีความแข็งแรงมากขึ้นซึ่งจะลดแนวโน้มที่ทำให้พอร์ซเลนเกิดการแตกหัก อย่างไรก็ตามการบูรณะฟันทางคลินิก พอร์ซเลนจะเชื่อมบนโครงโลหะที่มีความโค้งหรือมีรูปร่างกลมมากกว่าที่มีรูปร่างแบนหรือเป็นเส้นตรง ดังนั้นเมื่อมีการเย็นตัวลงจะเกิดความเค้นแบบดึงและความเค้นอัดขึ้นทั้งแบบที่มีทิศทางออกจากศูนย์กลาง (radial direction) และแบบที่มีทิศทางรอบวง (circumferential direction) โดยความเค้นที่มากที่สุดในทิศทางออกจากศูนย์กลาง จะพบมากที่บริเวณรอยต่อและจะมีค่าน้อยลงเมื่อออกไปข้างนอก ความเค้นอัดโดยรอบ (circumferential compressive stress) ที่เกิดขึ้นถือว่าเป็นข้อดี ขณะที่การเกิดความเค้นแบบดึงออกจากศูนย์กลาง (radial tensile stress) ถ้ามากพอจะเป็นสาเหตุของการเกิดแยกตัวออกจากกันระหว่างพอร์ซเลนและโลหะได้ *<u>รูปที่5</u>* ในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของโลหะมากกว่าของพอร์ซเลนมากๆ ความเค้นที่เกิดขึ้นนี้ก็จะมีค่ามากขึ้นเนื่องจากโลหะสามารถที่จะดัดแปลงได้ง่ายและสามารถที่จะผิดรูปได้โดยไม่เกิดการแตกหัก จึงเกิดรอยร้าวหรือการแตกหักเกิดขึ้นในส่วนที่เป็นพอร์ซเลนแทน หรือเกิดการแยกตัวของพอร์ซเลน (debonding) ออกจากผิวโลหะ ซึ่งจะพบมากในบริเวณที่มีรัศมีความโค้ง (radius of curvature) สั้นที่สุด เช่นบริเวณปลายฟัน นอกจากนี้ถ้าสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างมีขนาดใหญ่ขึ้น ก็จะมีความเค้นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเห็นได้ทางคลินิกที่ครอบฟันซี่เดียวพบการแตกหักน้อยกว่าในกรณีที่เป็นสะพานฟัน เรียกรอยร้าวที่เกิดขึ้นชนิดนี้ว่า รอยร้าวแรงอัดเกิน (cracking due to overcompression)

เพื่อป้องกันรอยร้าวหรือการแตกหักที่เกิดจากการมีความเค้นแบบดึง หรือความเค้นอัดที่มากเกินไป โลหะควรที่จะมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนมากกว่าพอร์ซเลนประมาณ 0.5-1.0 $\times 10^{-6}$/ °C



<u>รูปที่5</u> แสดงรอยร้าวของโลหะเคลือบกระเบื้อง เนื่องจากมีความเค้นแบบดึงตกค้าง เมื่อสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของพอร์ซเลนมีค่าน้อยกว่าของโลหะมากเกินไป

(ที่มา Noort R. Metal-bonded ceramics. Introduction to dental ceramics. 2 nd ed. Edinburgh: Mosby; 2002, p. 251.)

<u>ความล้มเหลวของการบูรณะฟันด้วยการใช้โลหะเคลือบกระเบื้อง</u> ถือว่าเป็นปัญหาที่เกิดจากหลายปัจจัย (multi-factorial problem) ซึ่งอาจเกิดร่วมกัน ได้แก่การออกแบบสิ่งบูรณะที่ไม่ถูกต้องเหมาะสม (Llobell และคณะ1992; Ozcan และNiedermeier,2002; Ozcan,2003) เป็นปัจจัยที่มีสำคัญมากต่อความแข็งแรงของโลหะเคลือบกระเบื้อง (McLean,1980; Yamamoto,1985) ดังนั้นควรออกแบบให้โครงโลหะมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านทานต่อการผิดรูป ซึ่งเกิดขึ้นได้ระหว่างที่มีการขึ้นรูป พอร์ซเลนจากขั้นตอนการสร้างออกไซด์โลหะบนโครงโลหะ การหดตัวของพอร์ซเลนระหว่างที่มีการเผา ความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนระหว่างโลหะและ พอร์ซเลนที่ใช้ การออกแบบโครงโลหะ การกรอแต่งฟันหลัก และปลดปล่อยความเค้นที่เกิดขึ้นจากการหล่อชิ้นงาน (casting-induced stress) โดย Coornaert (Coornaert,1984) สำรวจพบว่ามีอัตราความล้มเหลวเชิงกลที่เกิดจากการแตกหักของพอร์ซเลนจากการออกแบบโครงโลหะที่ไม่ถูกต้องถึง 23.08 % และเกิดจากการออกแบบโครงโลหะที่ไม่เหมาะสมกับลักษณะการสบฟันถึง 13.46 %

การกรอแต่งฟันหลักที่ไม่ดี (Burke,1996; Ozcan และNiedermeier,2002; Ozcan,2003) เช่น การกรอแต่งฟันที่มีแนวบรรจบที่เป็นมุมแหลม (acute line angle) อาจทำให้เกิดรอยร้าวเล็กๆในพอร์ซเลนเพิ่มขึ้นระหว่างขั้นตอนการเผา รวมไปถึงการกรอแต่งฟันแล้วมีระยะปลอดการสบน้อยหรือมากเกินไปสำหรับโครงโลหะและพอร์ซเลน (Ozcan และNiedermeier,2002; Ozcan,2003) ส่งผลให้โครงโลหะที่ได้บางและเกิดการโค้งงอของโลหะขณะใช้งานตามมาด้วยการแตกหักของพอร์ซเลน ซึ่ง Coornaert (Coornaert,1984) พบความล้มเหลวนี้ที่เกิดขึ้นจากการที่มีความหนาของโครงโลหะน้อยเกินไปถึง 13.46 % หรือการมีพอร์ซเลนที่หนาเกินไปก็ส่งผลให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนได้

ความแตกต่างอย่างมากของค่ามอดูลัสยืดหยุ่นระหว่างโลหะและพอร์ซเลน ทำให้เกิดความล้มเหลวเชิงกลเกิดขึ้น การไม่เข้ากันของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อถูกความร้อนระหว่างโครงโลหะและพอร์ซเลน (Ozcan และNiedermeier,2002; Ozcan,2003) ทำให้เกิดความเค้นในพอร์ซเลน เนื่องจากการที่ พอร์ซเลนมีการหดตัวที่มากกว่าหรือน้อยกว่าโครงโลหะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของความไม่เข้ากันของวัสดุทั้งสอง ส่งผลให้เกิดรอยร้าวหรือการแตกหักของพอร์ซเลนได้ (Yamamoto,1985; Noort,2002)

การมีรอยตำหนิขนาดเล็ก (microdefects) หรือมีรอยร้าวเล็กๆ มีความพรุนหรือฟองอากาศในพอร์ซเลน (Ozcan และNiedermeier,2002; Ozcan,2003) เกิดขึ้นได้ในขั้นตอนการขึ้นรูปพอร์ซเลนจากกระบวนการอัดแน่น การหลอมละลาย และการเผา เกิดจากการกรอแก้ไข หรือมี

อยู่ในลักษณะโครงสร้าง (microstructure feature) ตามธรรมชาติของพอร์ซเลนเอง โดย Yamamoto (Yamamoto,1985) กล่าวว่าการที่มีรอยร้าวเล็กๆเพิ่มมากขึ้นจะทำให้มีความเค้นภายในเพิ่มขึ้นอย่างมาก แต่ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางของรอยร้าว เนื่องจากมีการสะสมความเค้นเกิดขึ้นที่จุดปลาย (end) ของรอยร้าว เมื่อมีแรงมากระทำที่พื้นผิว ก็จะเกิดการแพร่ขยายให้รอยร้าวมีขนาดกว้างขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านแรงต่อการแตกหักมีค่าลดลง นอกจากนี้การที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อถูกความร้อนแตกต่างกัน เมื่อพอร์ซเลนเย็นตัวลง ผลึกลูไซท์จะมีการหดตัวมากกว่าส่วนที่เป็นแก้วที่อยู่ล้อมรอบ ส่งผลให้เกิดความเค้นแรงอัดรอบๆอนุภาคลูไซท์และทำให้เกิดร้อยร้าวเล็กๆภายในและรอบๆผลึก ดังนั้นจึงมีการแนะนำว่าพอร์ซเลนมีควรมีความหนาที่ถูกต้องและสม่ำเสมอกัน เพื่อให้มีการสร้างรอยร้าวเล็กๆน้อยที่สุดขณะที่มีการเผาพอร์ซเลน นอกจากนี้จากการศึกษาการวิเคราะห์ด้วยไฟไนท์อีลิเม็นท์ (finite element analysis) แสดงให้เห็นว่าการมีช่องว่าง (void) ในโครงสร้างของพอร์ซเลนจะมีผลอย่างมากต่อการแตกหัก *(*Abu-Hassan,1998)

การมีรอยขีดข่วนที่พื้นผิวพอร์ซเลน Lamon และ Evans ในปี 1983 กล่าวว่า รอยขีดข่วนเพียงเล็กน้อยในลักษณะรอยบากแหลมบริเวณจุดยอดของรอยขีดข่วน จะมีช่องว่างขนาดเล็กเท่ากับระยะระหว่างอะตอมของวัสดุ ซึ่งบริเวณนี้จะมีการสะสมความเค้นเกิดขึ้น ความเค้นนี้จะสัมพันธ์กับความแข็งแรงของวัสดุ เมื่อวัสดุได้รับแรงที่มีค่ามากกว่าความแข็งแรงของบริเวณจุดยอดของรอยบาก แรงยึดที่บริเวณจุดยอดจะถูกทำลาย ขณะที่มีการแพร่ขยายของรอยแตกผ่านตลอดทั้งหมดของวัสดุก็ยังคงมีการสะสมความเค้นที่บริเวณจุดยอดจนกระทั่งเกิดการแตกหักตามมา
นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของโครงสร้าง (microstructure) หรือการเตรียมพื้นผิว (surface treatment) ก็เป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากต่ออายุการใช้งานของชิ้นงานบูรณะ การได้รับความเค้นและความเครียด (strain) ซ้ำๆ เป็นสาเหตุให้เกิดการเจริญเติบโตของรอยร้าวอย่างช้าๆและเกิดความล้าเชิงกล (mechanical fatigue) ขึ้น (Ozcan,2003)

การผิดพลาดทางเทคนิคหรือข้อบกพร่องทางห้องปฏิบัติการ เช่น ในขั้นตอนการขึ้นรูปพอร์ซเลนก็มีโอกาสทำให้เกิดรูพรุนขึ้นภายในพอร์ซเลน เป็นเหตุให้เกิดความอ่อนแอและเกิดการแตกหักที่ตำแหน่งนั้นได้ (Ozcan และNiedermeier,2002; Ozcan,2003) นอกจากนี้การปนเปื้อน โดยเฉพาะในขั้นตอนการเตรียมสภาพพื้นผิวของโลหะก่อนพอกพอร์ซเลน ถ้ามีการปนเปื้อนเกิดขึ้นจะไปลดการยึดติดระหว่างโลหะและพอร์ซเลน ส่งผลให้เกิดการล้มเหลวตามมาได้ (Shillingburg และคณะ,1997; Ozcan,2003)

การได้รับแรงลักษณะรอบเดียว (single load cycle) เช่น แรงกระแทก ทำให้เกิดรอยร้าวขึ้นที่บริเวณพื้นผิวสัมผัส และจะมีการสะสมความเสียหายเกิดขึ้นระหว่างที่มีการรับ

แรงรวมไปถึงแรงล้า หรือการได้รับแรงพลวัตซ้ำหลายครั้ง (repetitive dynamic loading) ซึ่งเกิดได้จากการบดเคี้ยว การทำงานนอกหน้าที่ เช่น การนอนกัดฟัน และแรงสบฟันภายในช่องปาก ทำให้เกิดการเริ่มต้นของการร้าว (crack initiation) และเกิดการแพร่ขยายของรอยแตก (crack propagation) ในที่สุดจะเกิดการแตกหักตามมา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความล้าที่เกิดขึ้นเป็นสิ่งที่มีความสำคัญสำหรับการบูรณะด้วยโครงโลหะเคลือบกระเบื้อง นอกจากนี้การสบก่อนตำแหน่งกำหนด หรือการบาดเจ็บเหตุสบฟัน ซึ่งอาจเกิดเนื่องมาจากการบันทึกการสบฟันไม่ถูกต้องและไม่ได้ตรวจสอบการสบฟันอย่างถูกต้องเหมาะสม จะส่งผลให้เกิดบริเวณที่มีความเค้นใน พอร์ซเลน และการมีแรงกัดที่มาก ทำให้เกิดความเสียหายต่อแก้วที่มีอยู่ในสิ่งบูรณะ (Ozcan และ Niedermeier,2002; Ozcan,2003)

สิ่งแวดล้อมในช่องปาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อได้รับความชื้น ความแข็งแรงของโลหะเคลือบกระเบื้องจะลดลง 20-30 % เมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีความชื้น Michalske และ Freeiman ในปี 1982 แสดงให้เห็นว่าพันธะซิลิเกตในแก้วเซรามิกง่ายที่จะเกิดการแยกสลายด้วยน้ำ (hydrolysis) เมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีความชื้น ส่งผลให้เกิดความเค้นเชิงกลขึ้น ส่วน Dauskardt, Marshall และ Ritchie ในปี 1990 กล่าวว่าพันธะซิลิกอนออกซิเจนระหว่างโลหะและพอร์ซเลนจะอ่อนแอลงเมื่อได้รับความชื้น ซึ่งส่งเสริมให้เกิดความล้มเหลวตามมา เนื่องจากมีแพร่ขยายของน้ำที่จุดยอดของรอยร้าว นอกจากนี้ในภาวะที่มีความชื้น จะมีการขยายขนาดของรอยร้าวขึ้นจากผลของ wedge effect ที่มีการดูดซึมของน้ำเข้าไปในรอยร้าว ส่งผลให้ความแข็งแรงของพอร์ซเลนลดลง นอกจากนี้การดื่มเครื่องดื่มที่มีความเป็นกรดสูง (low pH) ก็เป็นสาเหตุให้เกิดการแตกหักของครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องได้ เนื่องจากจะทำลายแก้วที่อยู่ในสิ่งบูรณะ (Yamamoto,1985; Ozcan,2003)

โดยส่วนใหญ่ของการแตกหักของพอร์ซเลนเกิดขึ้นในระหว่างที่มีการเคี้ยวอย่างปกติมากกว่าที่เกิดจากการได้รับบาดเจ็บ (trauma) หรือได้รับอุบัติเหตุบางอย่าง (Ozcan และ Niedermeier, 2002)

ความซับซ้อนของสิ่งแวดล้อมในช่องปากและความหลากหลายของลักษณะพื้นผิว (surface topography) ของสิ่งบูรณะทำให้เป็นการยากที่จะอธิบายได้อย่างถูกต้องชัดเจนถึงขนาดและรูปแบบของความเค้นที่ส่งเสริมให้เกิดการแตกหักทางคลินิก การศึกษาทางห้องปฏิบัติการไม่สามารถที่จะจำลองความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในช่องปากและความซับซ้อนของสิ่งแวดล้อมในช่องปากได้ เมื่อยึดสิ่งบูรณะเข้าในปากแล้วปัจจัยอื่นๆที่นอกเหนือไปจากความแข็งแรงเชิงกลศาสตร์ของวัสดุเองก็จะเข้ามามีบทบาท ภายใต้การได้รับแรงเชิงกล (mechanical environmental load) การดำเนิน

ต่อไปของความเสียหาย (progressive degradation) อาจนำไปสู่การเริ่มต้นของการร้าว และเกิดการแพร่ขยายของรอยแตก ในที่สุดจะเกิดการแตกหักตามมา

<u>การแตกหักของพอร์ซเลนที่พบได้ทางคลินิก</u> (Bertolotti,1989) มี 3 แบบ คือ

1.การแตกหักในชั้นพอร์ซเลนอย่างเดียวโดยไม่ถึงชั้นของโลหะ (cohesive)

2.การแตกหักในชั้นพอร์ซเลนและชั้นของโลหะ(cohesive and adhesive)

3.การแตกหักจนถึงชั้นของโลหะ (adhesive)

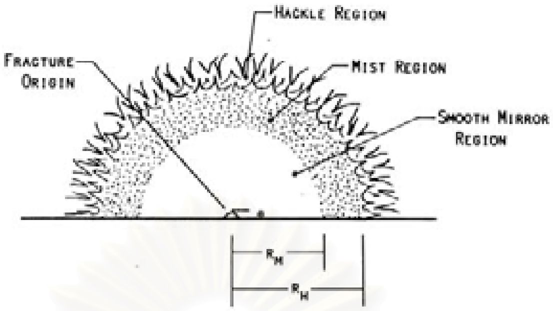
กระบวนการแตกหัก (Fracture mechanism)ของพอร์ซเลนในฟันปลอมโลหะเคลือบพอร์ซเลน

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของรอยร้าว (flaw) และความเค้น ที่มีผลร่วมกันทำให้เกิดการดำเนินไปของรอยแตกในวัสดุที่มีความแข็งแต่เปราะ หลักการของการแตกหักในวัสดุที่มีความเปราะ (linear elastic brittle fracture) เริ่มต้นพัฒนาขึ้นตั้ง แต่ปี 1950 โดย Irwin (1957) เริ่มการศึกษาวิจัยปรากฏการณ์การแตก โดยอาศัยพื้นฐานจากการศึกษาของ Griffit (1921) [รอยแตกที่ยาวขึ้นสัมพันธ์กับการลดลงของพลังงานยืดหยุ่น (elastic energy) และการเพิ่มขึ้นของพลังงานพื้นผิว (surface energy)] และ Orawan (1944,1949,1955) ซึ่ง Irwin พบว่า เมื่อวัสดุที่มีความเปราะได้รับความเค้นแรงดึงจะมีรูปร่างรอยแตกที่มีลักษณะเฉพาะเกิดขึ้นที่บริเวณที่มีการเพิ่มสะสมของความเค้น ซึ่งเขากล่าวว่า ดังนั้นจึงมีความสำคัญที่จะต้องวัดพลังงานที่ใช้ทำให้เกิดการแตกหักของวัสดุเพื่อจะทราบความสามารถในการต้านทานการแตกหักของวัสดุ

ลักษณะการแตกจะเกิดรอยแตกขึ้นภายในวัสดุ และเมื่อมีการสะสมของความเค้นมากขึ้นบริเวณปลายรอยแตก จะทำให้เกิดการขยายตัวของรอยแตก (slow crack growth) จนกระทั่งมีการแยกตัวออกอย่างสมบูรณ์ (Riley,1977; Scherrer,1999) เพราะฉะนั้นความแข็งแรงของเซรามิก (ceramic strength) จะมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ใช้ทำให้เกิดการแตกหักของเซรามิก (fracture toughness or critical stress intensity) และขนาดของรอยร้าว (Kelly,1990)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

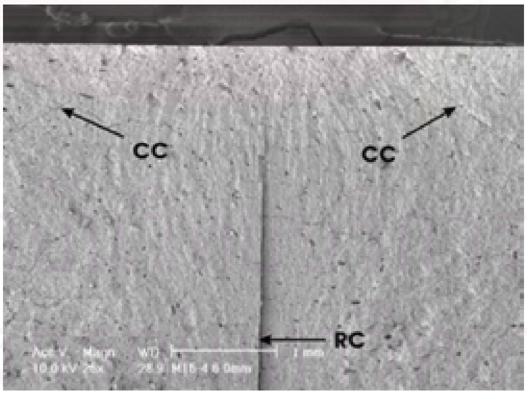
<u>**ภาพแสดงการแตกหักของเซรามิก(Fractography)เมื่อมองจากด้านบน**</u> (Kelly,1990)



<u>**รูปที่6**</u> แสดง พื้นผิวการแตกหักเมื่อมองจากด้านบน (fracture surface) ซึ่งจะประกอบด้วย

1. *ส่วนพื้นผิวเรียบ (smooth mirror region)* เป็นส่วนถัดมาจากบริเวณต้นกำเนิดรอยแตกซึ่งมีพลังงานมากพอจะสร้างให้เกิดรอยแตกอันที่ 2 ต่อไป
2. *ส่วนพื้นผิวหยาบ (rough mist region)* เป็นผลมาจากรอยแตกที่มีพลังงานมากพอจะทำให้เกิดรอยแตกอันที่ 2 แต่ไม่เพียงพอจะขยายรอยแตกอันที่ 2 ต่อไปอีก
3. *ส่วนที่มีลักษณะคล้ายขนยาวๆ (hackle region)* เป็นบริเวณที่แสดงการแผ่ขยายออกไปของรอยแตก

<u>**ภาพแสดงการแตกหักของเซรามิก(Fractography)เมื่อมองจากด้านข้าง**</u> **(**Wang และDarvell,2007)



<u>**รูปที่7**</u> แสดง พื้นผิวการแตกหักเมื่อมองจากด้านข้าง (fracture surface) ซึ่งจะประกอบด้วย

1. *รอยแตกกรวย (cone cracking)* จะเริ่มเกิดจากด้านผิวนอกเข้าไปด้านใน
2. *รอยแตกรัศมี (radial cracking)* จะเริ่มเกิดจากด้านผิวด้านในออกมาด้านนอก
3. *บริเวณที่มีลักษณะพลาสติก (quasi-plastic zone)* อยู่ใต้จุดที่หัวกดกดลงไป จะมีรอยร้าวเล็กภายในจำนวนมากแต่ยังไม่หลุดออกจากกัน

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.เพื่อศึกษาถึงผลของความหนาบางที่ไม่สม่ำเสมอในรูปแบบต่างๆของโลหะ ต่อการแตกหักของของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้อง

2.เพื่อศึกษาถึงผลของจุดและแนวแรงที่กระทำบนชิ้นงาน ต่อความต้านทานการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้อง

โดยมีประชากรเป้าหมายและประชากรตัวอย่าง เกณฑ์ในการคัดเข้า เกณฑ์ในการคัดออก สิ่งแทรกแซง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและวิธีการทดลอง ดังต่อไปนี้

ประชากรเป้าหมายและประชากรตัวอย่าง

ประชากรเป้าหมาย (Target population)

ชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่สร้างจากกลุ่มโลหะผสมที่มีนิกเกิลเป็นพื้นฐาน ซึ่งถือว่าเป็นกลุ่มโลหะของการบูรณะด้วยโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีการใช้มากในประเทศไทย

ประชากรตัวอย่าง

ชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่สร้างจากโลหะผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิดินัม (4all®, Williams, Ivoclar Vivadent Inc, Amherst, USA) ซึ่งอยู่ในกลุ่มโลหะผสมที่มีนิกเกิลเป็นพื้นฐานร่วมกับพอร์ซเลน (IPS d.SIGN®, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Lichtenstein) ที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำให้ใช้คู่กัน โดยเตรียมให้เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 7 ม.ม. x 9 ม.ม. ที่มีรูปทรงความหนาของโลหะและพอร์ซเลนต่างๆกันตามแต่กลุ่มทดสอบ

เกณฑ์ในการคัดเข้า

ชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีความหนาและรูปร่างตามกำหนด ที่ไม่มีรอยร้าวในชิ้นงานหลังจากเตรียมชิ้นงานเสร็จและหลังจากที่ยึดชิ้นงานกับแป้นทองเหลือง เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอกำลังขยาย 15 เท่า

<u>เกณฑ์ในการคัดออก</u>

ชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีความหนาและรูปร่างไม่ตรงตามกำหนด รวมถึงชิ้นงานที่มีรอยร้าวเกิดขึ้นหลังจากเตรียมชิ้นงานเสร็จและหลังจากที่ยึดชิ้นงานกับแป้นทองเหลืองเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอกำลังขยาย 15 เท่า

<u>สิ่งแทรกแซง</u>

การวิจัยนี้เพื่อศึกษาค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานตัวอย่าง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

<u>ส่วนที่ 1</u> **ศึกษาถึงผลของความหนาบางที่ไม่สม่ำเสมอในรูปแบบต่างๆของโลหะต่อการแตกหักของของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้อง แบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ**

1.การแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องเมื่อชิ้นงานมีรูปร่างเป็นแผ่นแบนหนาสม่ำเสมอ

2.การแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องเมื่อโลหะหนาบางไม่สม่ำเสมอ

3.การแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีโลหะรองรับภายในเป็นมุมแหลม

4.การแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีโลหะรองรับภายในเป็นมุมกลมมน

<u>ส่วนที่ 2</u> **ศึกษาถึงผลของจุดและแนวแรงที่กระทำบนชิ้นงาน ต่อความต้านทานการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้อง แบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ**

5.การแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องเมื่อจำลองจุดสบที่บริเวณแนวรอยต่อระหว่างโลหะรองรับภายในกับพอร์ซเลน

6.การแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องเมื่อจำลองจุดสบที่บริเวณที่มีโลหะรองรับภายในห่างจากแนวรอยต่อไปทางศูนย์กลาง 1 ม.ม.

7.การแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องเมื่อจำลองจุดสบที่บริเวณที่มีโลหะรองรับภายในห่างจากแนวรอยต่อไปทางขอบ 1 ม.ม.

8.การแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องเมื่อจำลองจุดสบที่บริเวณที่มีโลหะรองรับภายในห่างจากแนวรอยต่อไปทางศูนย์กลาง 1 ม.ม. โดยแนวแรงทำมุม 30 องศา

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องทดสอบสากล (Instron universal testing machine) รุ่น Instron 8872 และหัวกดหน้าตัดทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ม.ม. (stainless steel stylus with round end carbide pin)
2. เครื่องทดสอบความแข็งของวัสดุ (durometer) รุ่น Instrument, Pacific Transducer Corp., USA ตุ้มน้ำหนักขนาด 5 กิโลกรัม
3. กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (stereomicroscope) รุ่น ANTI-FUNJI MEJI Techno Co., LTD, Japan
4. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (incubator) รุ่น Contherm, series five
5. เครื่องทำความสะอาดความถี่เหนือเสียง (ultrasonic cleanser; Branson 5210)
6. เครื่องวัดความหนาไมโครมิเตอร์(micrometer) หรือเครื่องวัดเวอร์เนีย คาลิปเปอร์ (digimatic caliper)
7. เครื่องเป่าทราย (sandblast) รุ่น Miniblaster™, Israel
8. แป้นทองเหลืองและฟันหลักยึดรากเทียมสำหรับทดสอบ
9. แผ่นเหล็กสำหรับทำแบบขึ้นรูป (metal mold)
10. เครื่องมือสำหรับขัดชิ้นงานซึ่งประดิษฐ์ขึ้นจากแท่งพลาสติกและเรซินอะคริลิกชนิดบ่มตัวด้วยตัวเอง (Formatray)
11. นาฬิกาจับเวลา
12. สปูน (spoon)
13. เอกซ์พลอเลอร์ (explorer)
14. แผ่นกระจก (glass slab) และพายผสมซีเมนต์ (cement spatula)

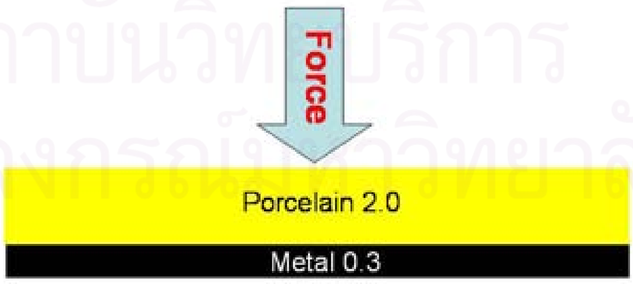
วัสดุที่ใช้

1. โลหะผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิดินัม (4all®, Williams, Ivoclar Vivadent Inc, Amherst, USA)
2. พอร์ซเลน (IPS d.SIGN®, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)
3. อะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยตัวเอง (autopolymerizing acrylic resin; Duralay,Dental Mfg. Co., USA)
4. กระดาษทรายน้ำเบอร์ 150, 180, 240, 280, 320, 500, 600, 800, 1000 และ 1200

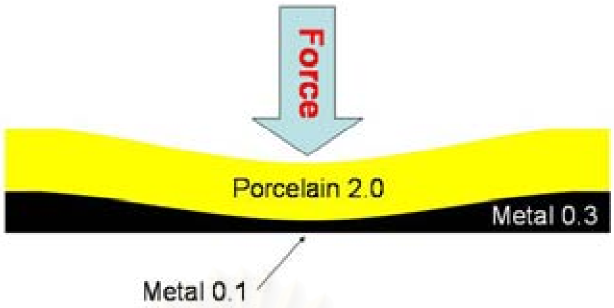
5. สารแขวนลอยกากเพชร (premium diamond suspension) ขนาดอนุภาค 9 และ 3 ไมครอน (Leco® corporation)
6. ผ้ากำมะหยี่
7. ผงอลูมินัมออกไซด์ (aluminum oxide powder : Hi-Aluminus, Shofu Inc Japan) ขนาด 50 ไมครอน
8. ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (HY-Bond Zinc Phosphate Cement®, Shofu InC., Japan)
9. กระดาษกาวสองหน้าชนิดบาง
10. ปลอกนิ้วยางสำหรับหรับขัดชิ้นงาน
11. น้ำกลั่น
12. อัลกอฮอล์
13. ผ้ากอส
14. Heatless Wheels & Chipless Wheels (Shofu InC., Japan)
15. Lab Series Stones & Dura White Stones HP (Shofu InC., Japan)
16.Lab Carbide Bur HP (Shofu InC., Japan)

วิธีการทดลอง

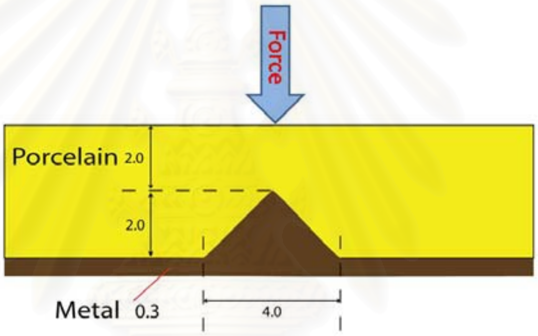
ชิ้นงานมีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 7 ม.ม. x 9 ม.ม. ซึ่งมีขนาดเท่ากับค่าเฉลี่ยของด้านบดเคี้ยวของฟันกรามน้อยบนที่มีรูปทรงและความหนาต่างๆ กันจำนวน 8 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น เพื่อเปรียบเทียบค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานตัวอย่าง ด้วยเครื่องทดสอบสากล (Instron universal testing machine, Instron 8872)



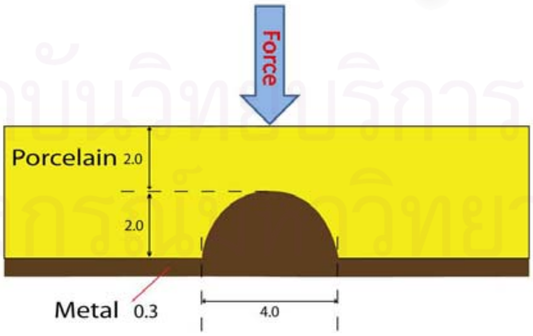
รูปที่8 ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานกลุ่มที่ 1



<u>รูปที่9</u> ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานกลุ่มที่ 2

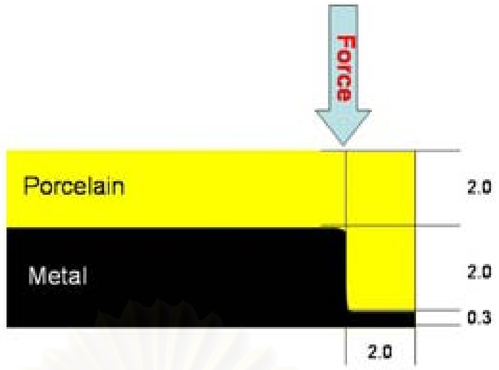


<u>รูปที่10</u> ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานกลุ่มที่ 3

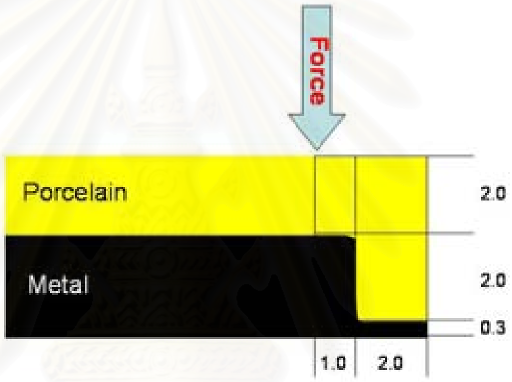


<u>รูปที่11</u> ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานกลุ่มที่ 4

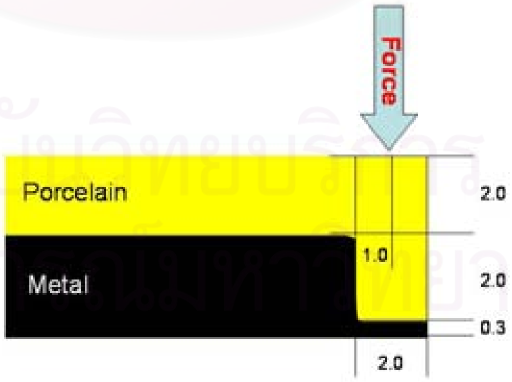
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



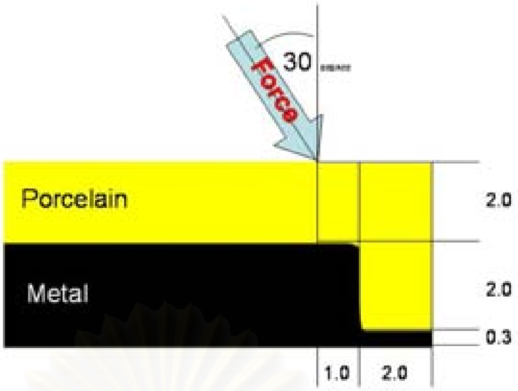
รูปที่12 ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานกลุ่มที่ 5



รูปที่13 ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานกลุ่มที่ 6



รูปที่14 ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานกลุ่มที่ 7

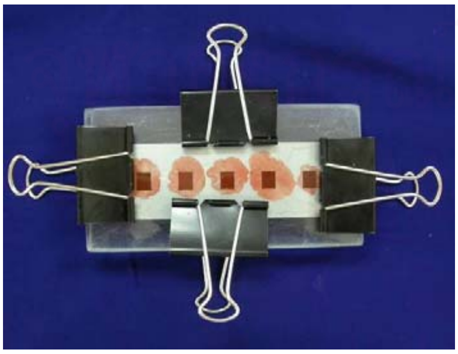


<u>รูปที่15</u> ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานกลุ่มที่ 8

<u>การเตรียมชิ้นตัวอย่าง</u>

1. การเตรียมโครงโลหะ

1.ทำการเตรียมชิ้นตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 7 ม.ม. x 9 ม.ม. ที่มีรูปทรง และความหนาต่างๆกัน จากอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยตัวเอง (autopolymerizing acrylic resin ; Duralay, Dental Mfg. Co., USA) ร่วมกับแผ่นเหล็กสำหรับทำแบบ (metal mold) ขนาด 7 ม.ม. x 9 ม.ม. ที่มีความหนามากกว่าความหนาของโลหะที่ต้องการประมาณ 0.3-0.4 ม.ม. จากนั้นนำมาขัดด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 240 เติมขี้ผึ้งหรืออะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยตัวเอง ร่วมกับหัวกรอให้มีรูปร่างใกล้เคียงกับรูปร่างชิ้นงานที่ต้องการ โดยหนากว่าความหนาของโลหะที่ต้องการไม่เกิน 0.2 ม.ม. จากนั้นนำแบบหล่อดูราเลย์ที่ได้ไปยึดกับขี้ผึ้งแกนค้างรูเท (sprue wax) ลงอินเวสท์เมนท์ และผ่านกระบวนการหล่อตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต เพื่อให้ได้ชิ้นงานโลหะผสมนิกเกิล-โครเมียม- โมลิดินัม (4all®, Williams, Ivoclar Vivadent Inc, Amherst, USA)



<u>รูปที่16</u> การขึ้นรูปต้นแบบคร่าวๆด้วยอคริลิค

<u>รูปที่17</u> ต้นแบบที่ขัดแต่งเรียบร้อย

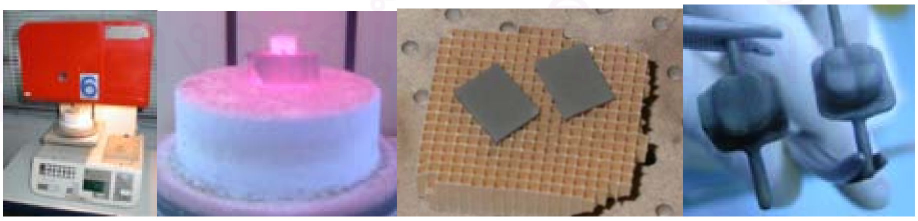
จากนั้นนำชิ้นโลหะที่ได้มาขัดแต่งให้ได้ขนาดตามที่ต้องการด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 150, 180 ตามด้วยเบอร์ 250 ร่วมกับหัวกรอ เพื่อให้มีความหนาและรูปร่างของโลหะตามที่ต้องการ (ความคลาดเคลื่อนของความหนาที่เกิดขึ้น ± 0.01 ม.ม.) โดยวัดความหนาของชิ้นงานด้วยเครื่องไมโครมิเตอร์

2.จากนั้นนำโลหะในทุกกลุ่มทดลองมาทำการเตรียมพื้นผิว (surface treatment) โลหะตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต โดยการเป่าทรายด้วยผงอลูมินัมออกไซด์ (aluminum oxide powder; Hi-Aluminus, Shofu Inc., Japan) *รูปที่18* ขนาดอนุภาค 110 ไมครอน ตามด้วยการทำความสะอาดพื้นผิวด้วยไอน้ำ (steam cleaner; MINI STEAM JET, TISI) *รูปที่19* จากนั้นนำไปเข้าเตาเผา เพื่อให้เกิดออกไซด์ที่ผิวโลหะ (oxidizing)

รูปที่18 เครื่องเป่าทราย

รูปที่19 stream cleaner

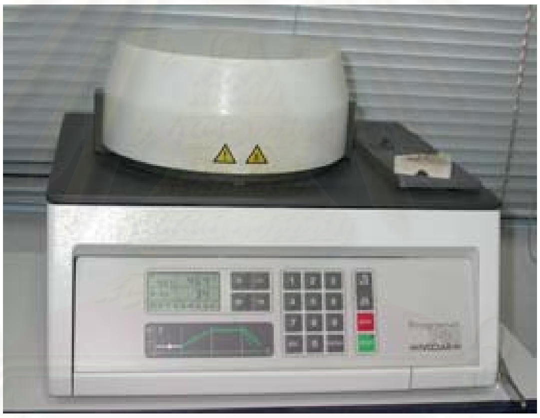
สถาบันวิทยบริการ



รูปที่20 การเผาโลหะเตรียมชั้นออกไซด์

2. การเตรียมวีเนียร์พอร์ซเลน

นำโลหะที่เตรียมเสร็จไปขึ้นรูปวีเนียร์พอร์ซเลน (IPS d.SIGN®, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) และนำไปเข้าเตาเผาพอรซ์เลน (porcelain furnance; Programat P300 Ivoclar) ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ให้มีความหนามากกว่าที่กำหนด 0.2 ม.ม. จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มากรอด้านที่พอกพอร์ซเลนทับด้วยหัวกรอและขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 320, 500, 600, 800, 1000 และ 1200 ตามด้วยสารแขวนลอยกากเพชร (premium diamond suspension; Leco® corporation) ขนาดอนุภาค 9 ไมครอน และ 3 ไมครอน รวมกับผ้ากำมะหยี่ เพื่อให้มีรูปร่างและความหนาที่สม่ำเสมอตามความหนาของชิ้นงานที่ต้องการ (ความคลาดเคลื่อนของความหนาที่เกิดขึ้น ± 0.01 ม.ม.) โดยวัดความหนาของชิ้นงานด้วยเครื่องไมโครมิเตอร์ จากนั้นทำความสะอาดชิ้นงานด้วยเครื่องทำความสะอาดความถี่เหนือเสียง (ultrasonic cleanser; Branson 5210) รวมกับน้ำกลั่นเป็นเวลา 10 นาที แล้วทำให้แห้ง นำชิ้นงานที่ได้ไปเคลือบผิว (glazing)



<u>รูปที่21</u> แสดงเตาเผาพอร์ซเลน

<u>รูปที่ 22</u> แสดงการทำความสะอาดชิ้นงานด้วยเครื่องทำความสะอาดความถี่เหนือเสียง

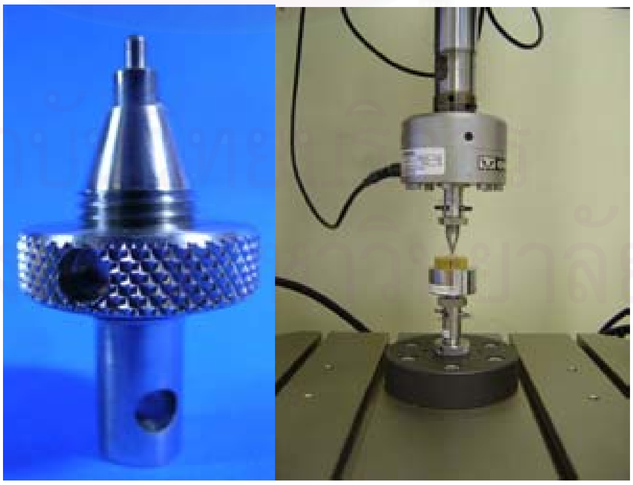
การทดสอบหาค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลน

1.ก่อนที่จะทำการทดสอบนำชิ้นงานที่ได้มาตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์เสตอริโอ (stereomicroscope; ANTI-FUNJI MEJI Techno Co., LTD, Japan) กำลังขยาย 15 เท่า ว่ามีรอยร้าวในชิ้นงานหรือไม่ ถ้ามีให้คัดออกไปถ้าไม่มีให้นำชิ้นงานที่ได้มาเตรียมพื้นผิวโลหะโดยการเป่าทรายด้วยผงอลูมินัมออกไซด์ (aluminum oxide powder; Hi-Aluminus, Shofu Inc., Japan) ขนาดอนุภาค 50 ไมครอน (sandblast; Miniblaster ™, Israel) จากนั้นนำชิ้นงานมาทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดความถี่เหนือเสียง (ultrasonic cleanser; Branson 5210) รวมกับน้ำกลั่นเป็นเวลา 10 นาที แล้วทำให้แห้ง นำชิ้นงานกลุ่มที่ 1-8 ที่เตรียมพื้นผิวเสร็จไปยึดที่บนแป้นทองเหลือง ที่ทำการเป่าทรายเตรียมไว้ ด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (HY-Bond Zinc Phosphate Cement®, Shofu InC., Japan) โดยใช้แรงกดจากนิ้วมือ ตามด้วยแรงในแนวดิ่งซึ่งมีค่าคงที่ (vertical static load) ทันทีด้วยเครื่องทดสอบความแข็งวัสดุที่มีตุ้มน้ำหนักขนาด 5 กิโลกรัม (durometer; Instrument, Pacific Transducer Corp., USA) เป็นเวลา 10 นาที กำจัดซีเมนต์ส่วนเกินออก จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มาตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (stereomicroscope; ANTI-FUNJI MEJI Techno Co., LTD, Japan) กำลังขยาย 15 เท่าอีกครั้งว่ามีรอยร้าวหรือไม่ ถ้ามีให้คัดออกไปถ้าไม่มีให้นำชิ้นงานที่ยึดแล้วไปแช่ในน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Webber และคณะ ,2003)

<u>รูปที่23</u> แสดงเครื่องเป่าทราย

<u>รูปที่24</u> แสดงการยึดชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบความแข็งวัสดุที่มีตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม

2.นำชิ้นงานที่ยึดอยู่บนแป้นทองเหลืองมาทดสอบแรงอัดในแนวดิ่ง (vertical compressive load) ด้วยเครื่องทดสอบสากล (Instron Universal testing machine; Instron 8872) ซึ่งมีหัวกดหน้าตัดทรงกลม ทำจากโลหะสเตนเลสสตีลและส่วนปลายแท่งหัวกดทำจากโลหะคาร์ไบด์ (stainless steel stylus with round end carbide pin) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ม.ม. (Torrado และคณะ,2004) ที่ตำแหน่งกึ่งกลางชิ้นงานหรือตำแหน่งอื่นๆตามแต่กลุ่มทดสอบ โดยทำการตรวจสอบจุดสำผัสด้วยกระดาษทดสอบการกัดสบ ทำการทดสอบด้วยความเร็วหัวกด 1 ม.ม./นาที (O'Boyle และคณะ ,1997; Ulusoy และToksavul,2002) จนแตกทั้งหมด ทำการบันทึกค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้พอร์ซเลนแตก



<u>รูปที่25</u> แสดงการทดสอบแรงอัดในแนวดิ่งด้วยเครื่องทดสอบสากล

(Instron Universal testing machine)

<u>การเก็บรวบรวมข้อมูล</u>

ทำการบันทึกค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้พอร์ซเลนแตกจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของเครื่องทดสอบสากล (Instron Universal testing machine; Instron 8872)

<u>การวิเคราะห์ข้อมูล</u>

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) โดยใช้โปรแกรมเอสพีเอสเอส รุ่นที่ 11.5 (SPSS version 11.5) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

<u>ระยะเวลาในการทำวิจัย</u>

24 เดือน

<u>การบริหารงานวิจัยและตารางการปฏิบัติงาน</u>

1.	ขั้นตอนเตรียมการวิจัย	
	1.1 ศึกษาข้อมูลและทบทวนวรรณกรรม	มิถุนายน-พฤศจิกายน 2549
	1.2 วางแผนออกแบบการวิจัย	พฤศจิกายน-ธันวาคม 2549
	1.3 จัดทำโครงร่างวิทยานิพนธ์	พฤศจิกายน2549-กุมภาพันธ์ 2550
	1.4 เสนอโครงร่างวิทยานิพนธ์	มีนาคม 2550
2.	ขั้นดำเนินงานวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล	มีนาคม – ธันวาคม 2550
3.	ขั้นวิเคราะห์ข้อมูลและแปรผล	มกราคม 2551
4.	ขั้นรายงานผล	
	4.1 จัดทำรายงาน	กุมภาพันธ์ 2551
	4.2 นำเสนอผลการวิจัยต่อคณะกรรมการ	มีนาคม 2551

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาที่มีต่อแรงอัดสูงสุดที่ทำให้พอร์ซเลนเกิดการแตกหักของชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องซึ่งยึดอยู่บนแป้นทองเหลือง โดยใช้แรงอัดในแนวดิ่งและแนวเฉียง ที่กึ่งกลางและห่างจากกึ่งกลางชิ้นงานในรูปแบบต่างๆ มีปลายหัวกดรูปทรงครึ่งทรงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ม.ม. ความเร็วหัวกด 1 ม.ม./นาที จนแตก แสดงได้ ดังต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลดิบและการวิเคราะห์ผลทางสถิติจากข้อมูลดิบ

จากการทดสอบแรงอัดสูงสุดในแนวดิ่งที่ทำให้พอร์ซเลนเกิดการแตกหักบนชิ้นงาน ที่มีรูปทรง ตำแหน่ง และทิศทางแรงกดที่แตกต่างกัน ได้ค่าแรงอัดสูงสุดของแต่ละชิ้นงานดังต่อไปนี้ ชิ้นงานในกลุ่มที่1 *[1)Disc]* มีค่าแรงอัดสูดสุดเฉลี่ย 2506.03 นิวตัน มีค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน 257.98 นิวตัน ชิ้นงานในกลุ่มที่2 *[2)Dimple]* มีค่าแรงอัดสูดสุดเฉลี่ย 2027.07 นิวตัน มีค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน 180.74นิวตัน ชิ้นงานในกลุ่มที่3 *[3)Sharp]* มีค่าแรงอัดสูดสุดเฉลี่ย 2101.12 นิวตัน มีค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน 101.55นิวตัน ชิ้นงานในกลุ่มที่4 *[4)Round]* มีค่าแรงอัดสูดสุดเฉลี่ย 2117.12 นิวตัน มีค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน 125.49นิวตัน ชิ้นงานในกลุ่มที่5 *[5)Ledge-inter]* มีค่าแรงอัดสูดสุดเฉลี่ย 1461.20 นิวตัน มีค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน 139.20นิวตัน ชิ้นงานในกลุ่มที่6 *[6)Ledge-center]* มีค่าแรงอัดสูดสุดเฉลี่ย 2092.40 นิวตัน มีค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน 113.79นิวตัน ชิ้นงานในกลุ่มที่7 *[7)Ledge-edge]* มีค่าแรงอัดสูดสุดเฉลี่ย 791.64 นิวตัน มีค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน 87.96นิวตัน ชิ้นงานในกลุ่มที่8 *[8)Ledge-oblique]* มีค่าแรงอัดสูดสุดเฉลี่ย 1062.38 นิวตัน มีค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน 187.83นิวตัน ดังข้อมูลใน*ตารางที่4*

แรงอัดสูงสุดที่ทำให้พอร์ซเลนแตก (นิวตัน)								
	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 4	กลุ่มที่ 5	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 7	กลุ่มที่ 8
ชิ้นงานที่ 1	2849.45	1834.04	2036.02	2275.19	1474.94	2199.92	903.56	1373.19
ชิ้นงานที่ 2	2251.32	1925.44	2150.83	2025.46	1775.99	1948.83	749.47	1149.59
ชิ้นงานที่ 3	2249.31	2050.11	2336.96	2025.94	1425.75	2200.95	799.78	822.81
ชิ้นงานที่ 4	2499.16	2178.98	2126.26	2250.35	1323.66	2175.35	600.12	1117.82
ชิ้นงานที่ 5	2739.81	2227.43	2105.52	1956.22	1389.98	2152.37	849.54	1010.28
ชิ้นงานที่ 6	2352.91	2204.20	2125.25	1959.70	1460.53	1862.67	849.65	1344.99
ชิ้นงานที่ 7	2974.04	1867.43	2048.35	2075.31	1449.21	2125.62	773.73	839.34
ชิ้นงานที่ 8	2375.63	1943.65	2024.23	2126.07	1500.70	2020.77	875.74	954.89
ชิ้นงานที่ 9	2327.56	1776.05	1957.78	2225.70	1550.50	2147.94	790.06	970.23
ชิ้นงานที่ 10	2441.12	2263.38	2099.96	2251.22	1260.76	2089.54	724.78	1040.65
ค่าเฉลี่ย (นิวตัน)	2506.03	2027.07	2101.12	2117.12	1461.20	2092.40	791.64	1062.38
ค่าเบี่ยงเบน	257.98	180.74	101.55	125.49	139.20	113.79	87.96	187.83

ตารางที่4 ตารางแสดงแรงอัดสูงสุดในแนวดิ่งที่ทำให้พอร์ซเลนเกิดการแตกหักบนชิ้นงาน

ผลจากการทดลองที่ได้จะนำข้อมูลดิบของกลุ่มที่ 1-8 ไปทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ซึ่งต้องทำการทดสอบเงื่อนไขก่อนคือ ตัวอย่างของประชากรต้องมีการแจกแจงปกติและค่าความแปรปรวนของประชากรมีลักษณะอย่างไร โดยทำการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วยการทดสอบแบบวัน-แซมเปิล โครโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-sample Kolmogorov-Smirnov) พบว่าข้อมูลทุกกลุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ ดังข้อมูลใน<u>*ตารางที่5*</u>

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
GROUP		
1)Disc	Kolmogorov-Smirnov Z	0.666
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.767
2)Dimple	Kolmogorov-Smirnov Z	0.631
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.820
3)Sharp	Kolmogorov-Smirnov Z	0.671
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.759
4)Round	Kolmogorov-Smirnov Z	0.653
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.787
5)Ledge-inter	Kolmogorov-Smirnov Z	0.595
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.870
6)Ledge-center	Kolmogorov-Smirnov Z	0.679
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.745
7)Ledge-edge	Kolmogorov-Smirnov Z	0.458
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.985
8)Ledge-oblique	Kolmogorov-Smirnov Z	0.462
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.983

<u>**ตารางที่5**</u> ตารางแสดงโดยทำการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วยการทดสอบแบบวัน-แซมเปิล โครโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-sample Kolmogorov-Smirnov)

จากนั้นทดสอบความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variances) ด้วยการทดสอบแบบเลอวีน (Levene’s Test) พบว่าค่าความแปรปรวนของข้อมูลกลุ่มที่ 1-8 ไม่เท่ากันทุกกลุ่ม (p=0.003) จึงต้องทำการทดสอบแบบเวิ้ลช (Welch) พบว่าค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุดของชิ้นงานแตกต่างกันอย่างน้อย 2 กลุ่มหรือค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุดของชิ้นงานขึ้นกับกลุ่มของชิ้นงาน (p<0.000) ดังข้อมูลใน<u>*ตารางที่6*</u>

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Test of Homogeneity of Variances			
LOAD			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.416	7	72	0.003

Robust Tests of Equality of Means				
LOAD				
	Statistic	df1	df2	Sig.
Welch	215.907	7	30.642	0.000

ตารางที่6 ตารางแสดงโดยทำการทดสอบความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variances)

และได้ทำการทดสอบต่อไปอีกว่ากลุ่มใดแตกต่างกันบ้างด้วยการทดสอบแทมเฮนทีทู Tamhane's T2 ดังข้อมูลใน*ตารางที่7*

Tanhane's T2 (p-value)	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 4	กลุ่มที่ 5	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 7	กลุ่มที่ 8
กลุ่มที่ 1		0.005	0.017	0.024	0.000	0.015	0.000	0.000
กลุ่มที่ 2	0.005		1.000	0.999	0.000	1.000	0.000	0.000
กลุ่มที่ 3	0.017	1.000		1.000	0.000	1.000	0.000	0.000
กลุ่มที่ 4	0.024	0.999	1.000		0.000	1.000	0.000	0.000
กลุ่มที่ 5	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.001
กลุ่มที่ 6	0.015	1.000	1.000	1.000	0.000		0.000	0.000
กลุ่มที่ 7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.034
กลุ่มที่ 8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.034	

ตารางที่7 ตารางแสดงการทดสอบแทมเฮนทีทู (Tamhane's T2)

จากข้อมูลที่ได้สามารถแบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มย่อยๆที่มีค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.050) ได้ 5 กลุ่ม ดังข้อมูลใน<u>*ตารางที่8*</u>

Descriptive Statistics						
GROUP	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum	
1)Disc	10	2506.03	257.98	2249.31	2974.04	A
2)Dimple	10	2027.07	180.74	1776.05	2263.38	B
3)Sharp	10	2101.12	101.55	1957.78	2336.96	B
4)Round	10	2117.12	125.49	1956.22	2275.19	B
6)Ledge-center	10	2092.40	113.79	1862.67	2200.95	B
5)Ledge-inter	10	1461.20	139.20	1260.76	1775.99	C
7)Ledge-edge	10	791.64	87.96	600.12	903.56	D
8)Ledge-oblique	10	1062.38	167.83	822.81	1373.19	E

<u>ตารางที่8</u> ตารางแสดงการจัดกลุ่มข้อมูลเป็น 5 กลุ่ม

กลุ่มที่A

- ชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีรูปร่างเป็นแผ่นแบนหนาสม่ำเสมอ(กลุ่มที่1)

กลุ่มที่B

- ชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีโลหะหนาบางไม่สม่ำเสมอ(กลุ่มที่2)
- ชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีโลหะรองรับภายในเป็นมุมแหลม(กลุ่มที่3)
- ชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีโลหะรองรับภายในเป็นมุมกลมมน(กลุ่มที่4)
- ชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่จำลองจุดสบที่บริเวณที่มีโลหะรองรับภายในห่างจากแนวรอยต่อไปทางศูนย์กลาง 1 ม.ม. (กลุ่มที่6)

กลุ่มที่C

- ชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่จำลองจุดสบที่บริเวณแนวรอยต่อระหว่างโลหะรองรับภายในกับพอร์ซเลน (กลุ่มที่5)

กลุ่มที่D

- ชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่จำลองจุดสบที่บริเวณที่มีโลหะรองรับภายในห่างจากแนวรอยต่อไปทางขอบ 1 ม.ม. (กลุ่มที่7)

กลุ่มที่E

- ชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่จำลองจุดสบที่บริเวณที่มีโลหะรองรับภายในห่างจากแนวรอยต่อไปทางศูนย์กลาง 1 ม.ม. โดยแนวแรงทำมุม 30 องศา (กลุ่มที่8)

<u>กลุ่มA</u>: จะเห็นได้ว่าชิ้นงานในกลุ่มชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีรูปร่างแผ่นแบนหนาสม่ำเสมอ(กลุ่มที่1) มีค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุด 2506.03 นิวตัน เป็นค่าที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกลุ่ม และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชิ้นงานในกลุ่มB ,C ,D และE ($p<0.050$)

<u>กลุ่มB:</u> ชิ้นงานในกลุ่มชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีโลหะหนาบางไม่สม่ำเสมอ(กลุ่มที่ 2) มีค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุด 2027.07 นิวตัน ,ชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีโลหะรองรับภายในเป็นมุมแหลม(กลุ่มที่3) มีค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุด 2101.12 นิวตัน ,ชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีโลหะรองรับภายในเป็นมุมกลมมน(กลุ่มที่4) มีค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุด 2117.12 นิวตัน ,ชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่จำลองจุดสบที่บริเวณที่มีโลหะรองรับภายในห่างจากแนวรอยต่อไปทางศูนย์กลาง 1 ม.ม.(กลุ่มที่6) มีค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุด 2092.40 นิวตัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกันเองในกลุ่มB ($p\geq0.050$) แต่ก็แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชิ้นงานกลุ่ม A,C ,D และE ($p<0.050$)

<u>กลุ่มC,DและE</u>: นั่นคือชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่จำลองจุดสบที่บริเวณแนวรอยต่อระหว่างโลหะรองรับภายในกับพอร์ซเลน(กลุ่มที่5) มีค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุด 1461.20 นิวตัน , ชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่จำลองจุดสบที่บริเวณที่มีโลหะรองรับภายในห่างจากแนวรอยต่อไปทางขอบ 1 ม.ม.(กลุ่มที่7) มีค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุด 791.64 นิวตัน ,ชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่จำลองจุดสบที่บริเวณที่มีโลหะรองรับภายในห่างจากแนวรอยต่อไปทางศูนย์กลาง 1 ม.ม. โดยแนวแรงทำมุม 30 องศา(กลุ่มที่8) มีค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุด 1062.38 นิวตัน ตามลำดับ ทุกกลุ่มล้วนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชิ้นงานกลุ่มอื่นๆ ($p<0.050$)

บทที่ 5

อภิปราย ข้อเสนอแนะ และสรุปผลการวิจัย

จากการทดลองเพื่อหาค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานตัวอย่างที่มีรูปร่างโลหะและพอร์ซเลนรวมถึงจุดกดและแนวแรงแตกต่างกันหลายรูปแบบ สามารถอภิปรายได้ 2 ส่วน คือ อภิปรายระเบียบวิธีการวิจัย และอภิปรายผลการวิจัย ดังต่อไปนี้

อภิปราย

1.อภิปรายระเบียบวิธีการวิจัย

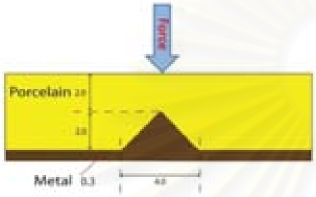
แม้ว่าแรงที่พบในช่องปากจะมีทั้ง แรงอัด แรงดึงและแรงเฉือน แต่แรงดึงและแรงเฉือนจะพบมากในการสบฟันนอกศูนย์ การบูรณะในบางครั้งสามารถที่จะควบคุมให้มีการสบฟันนอกศูนย์เป็นแบบการสบแนวนำฟันเขี้ยว (canine guidance occlusion) หรือ mutually protected occlusion ซึ่งเป็นการหลีกเลี่ยงหรือลดแรงดึงและแรงเฉือนที่จะเกิดขึ้นได้ ขณะที่แรงอัดเป็นแรงที่พบเสมอในการสบฟันในศูนย์ (centric occlusion) และน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนได้ การวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้แรงอัดในการทดสอบความต้านทานในการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้อง และจากการที่ในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานในการทดสอบความทนแรงอัด (compressive strength) ของครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่มีผล เช่น รูปร่างการออกแบบครอบฟัน ความหนาของครอบฟัน ทิศทางของแรงที่ให้ตำแหน่งที่รับแรง รัศมีของหัวกดที่ให้แรง (loading stylus) (Ku และคณะ,2002) เป็นต้น ทำให้ยากในการหารูปแบบของชิ้นงานที่เหมาะสม แต่จากการทดลองในวิทยานิพนธ์ของธิดารัตน์ (ธิดารัตน์ ,2549) ได้หาความหนาของโลหะที่เหมาะสมจากชิ้นงานที่เตรียมขึ้น โดยเตรียมเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความหนาของโลหะและพอร์ซเลนสม่ำเสมอ ทำให้สามารถควบคุมปัจจัยอื่นๆที่มีผลกระทบได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงเตรียมชิ้นงานขึ้นมาให้มีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดเท่ากับด้านบดเคี้ยวของฟันกรามน้อยบน คือ 7 ม.ม.x 9 ม.ม. (Ash และ Nelson,2003) และจากการที่มีคำกล่าวที่แนะนำรูปร่างของโลหะที่เหมาะสมว่าโลหะควรมีความหนาสม่ำเสมอแข็งแรง (Weinberg,1967; Hobo และShillingburg,1973) และไม่มีมุมแหลม (Weinberg,1967; Miller,1977) จึงได้ออกแบบชิ้นงานเพื่อพิสูจน์คำกล่าวนี้ โดยออกแบบชิ้นงานให้มีโลหะรองรับที่มีความหนาไม่สม่ำเสมอกันคือ โลหะบางตรงกลางที่ตำแหน่งจุดกด(กลุ่มที่2) โลหะตรงจุดกดเป็นมุมแหลม(กลุ่มที่3) และโลหะตรงจุดกดเป็นมุมมน(กลุ่มที่4) ส่วนคำกล่าวที่แนะนำว่าพอร์ซเลนควรมีโลหะมารองรับในทิศทางที่มีแรงมากระทำ (Dupont,1968; Miller,1977;

Bell,1983; Shoher,1985) ก็ได้ทำการออกแบบชิ้นงานเพื่อทำการพิสูจน์คำกล่าวนี้ โดยออกแบบชิ้นงานให้มีโลหะรองรับรูปขั้นบันไดที่มีตำแหน่งจุดกดและทิศทางแตกต่างกัน ได้แก่ ออกแบบให้จุดกดผ่านแนวรอยต่อระหว่างโลหะกับพอร์ซเลน(กลุ่มที่5) ออกแบบให้จุดกดห่าง 1 ม.ม. เข้าไปทางศูนย์กลางจากแนวรอยต่อระหว่างโลหะกับพอร์ซเลน(กลุ่มที่6) ออกแบบให้จุดกดห่าง 1 ม.ม. ออกไปทางขอบจากแนวรอยต่อระหว่างโลหะกับพอร์ซเลน(กลุ่มที่7) และออกแบบให้จุดกดห่าง 1 ม.ม. เข้าไปทางศูนย์กลางจากแนวรอยต่อระหว่างโลหะกับพอร์ซเลน โดยมีมุมกด 30 องศา(กลุ่มที่8) ***รูปที่26***

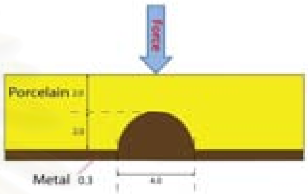
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลุ่มที่1

กลุ่มที่2

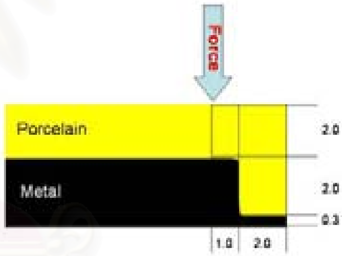


กลุ่มที่3

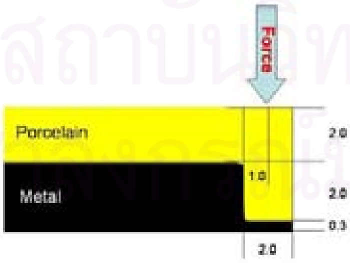


กลุ่มที่4

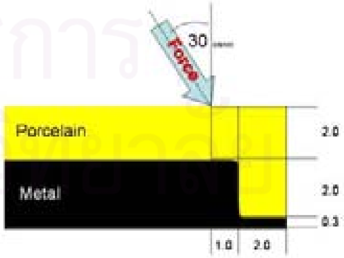
กลุ่มที่5



กลุ่มที่6



กลุ่มที่7



กลุ่มที่8

<u>รูปที่26</u> แสดงกลุ่มชิ้นงานทั้ง 8 กลุ่ม

จากการออกแบบชิ้นงานดังกล่าวจะเห็นได้ว่าจะมีพอร์ซเลนในบางบริเวณนั้นมีความหนามากกว่า 2 ม.ม. แต่จากการทดลองในวิทยานิพนธ์ของธิดารัตน์ (ธิดารัตน์,2549) ได้พบว่าเมื่อโลหะมีความหนา 0.3 ม.ม. จะมีความแข็งแรงเพียงพอที่ทำให้พอร์ซเลนที่แปรผันความหนามีค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งในการศึกษานี้กำหนดให้โลหะส่วนที่บางที่สุดหนา 0.3 ม.ม. (ยกเว้นกลุ่มที่2 ที่กำหนดทำให้บาง 0.1 ม.ม. ตรงจุดกด) จึงน่าจะแข็งแรงเพียงพอที่จะทำให้พอร์ซเลนในบางบริเวณที่มีความหนามากกว่า 2 ม.ม. โดยไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลน

ชิ้นงานโลหะที่เตรียมได้ทุกกลุ่มจะถูกเคลือบพอซเลนซ์แบบสุ่มเพื่อป้องกันความลำเอียงที่อาจเกิดขึ้น จากนั้นทุกกลุ่มจะนำมายึดด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (HY-Bond Zinc Phosphate Cement®, Shofu InC., Japan) ในกลุ่มที่1-7 จะยึดบนแป้นทองเหลืองขนาด 30 x 30 ม.ม.^{2} สูง 10 ม.ม. เลียนแบบจากการทดลองในวิทยานิพนธ์ของธิดารัตน์ (ธิดารัตน์,2549) ที่เป็นการศึกษาเพื่อหาค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานตัวอย่างที่มีความผันแปรของความหนาของโลหะและพอร์ซเลน แต่ในกลุ่มการทดลองที่8 เนื่องจากแรงกดเป็นมุมเอียงจึงได้ใช้แป้นทองเหลืองที่เซาะร่องเพื่อให้แนวหัวกดทำมุม 30 องศา สาเหตุที่เลือกทองเหลืองมาเป็นแป้นทดสอบ เนื่องจากการบูรณะด้วยโลหะเคลือบกระเบื้องในกรณีที่มีการปลอดสิ่งกีดขวาง (occlusal clearance) ในปริมาณที่มาก จะพบบ่อยในการบูรณะด้วยรากฟันเทียมที่มีฟันหลักยึดรากเทียม (implant abutment) ซึ่งทำมาจากโลหะผสมไทเทเนียมที่มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่น 110-120 GPa ใกล้เคียงกับทองเหลืองที่มีค่า 96-110 GPa (O'Brien,1997; eFunda engineering fundamentals,2006)

การหาค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้พอร์ซเลนเกิดการแตกหัก โดยใช้หัวกดรูปทรงกลม (stainless steel stylus with round end carbide pin) เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ม.ม. เนื่องจากหัวกดที่เป็นทรงกลมจะสัมผัสกับชิ้นงานเป็นจุด แม้ว่าชิ้นงานที่ยึดจะไม่ขนานกับแนวระนาบเพียงเล็กน้อย หัวกดยังคงสัมผัสชิ้นงานเป็นจุดเท่าๆกันในทุกๆชิ้นงาน ซึ่งแตกต่างจากหัวกดที่มีพื้นที่หน้าตัด (flat-end cylinder pin) ถ้าชิ้นงานไม่ขนานกันเพียงเล็กน้อย พื้นที่สัมผัสที่ได้ในแต่ละชิ้นงานก็จะต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อค่าที่ได้ ส่วนความเร็วหัวกดที่ใช้คือ 1 ม.ม./นาที เป็นความเร็วที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการกระจายแรงผ่านพอร์ซเลน เพราะถ้าความเร็วมากกว่านี้ค่าแรงอัดที่ทำให้พอร์ซเลนแตกจะมีค่าสูงเกินความจริง (O'Boyle และคณะ,1997; Ulusoy และToksavul,2002)

การกดชิ้นงานจะทำแบบสุ่มเช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากผู้ทำการทดสอบมีเพียงผู้เดียว ในกลุ่มที่ 5-8 ผู้ทำการทดสอบจึงทราบก่อนทำการกดทดสอบว่าต้องกดที่ตำแหน่งใดและเป็นกลุ่มใด ส่วนในกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 นั้นต้องใช้วิธีบันทึกค่าแรงอัดสูงสุดที่ได้ ถ่ายรูปบันทึกไว้แล้วจึงนำไปทุบทำลายพอร์ซเลนด้านบนออกเพื่อพิสูจน์ทราบว่าโลหะด้านใต้เป็นชิ้นงานในกลุ่มใด

2.อภิปรายผลการวิจัย

จากวิธีการทดสอบจะเห็นว่าเมื่อให้แรงอัดในแนวดิ่งกับชิ้นงานส่วนของพอร์ซเลนจะทำหน้าที่หลักในการรองรับแรง โดยคุณสมบัติของตัวพอร์ซเลนเองจะมีความต้านทานต่อแรงอัดสูงแต่มีความต้านทานต่ำต่อแรงดึง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการแตกหักของพอร์ซเลนเกิดขึ้นจากที่พอร์ซเลนไม่สามารถต้านทานต่อแรงอัดในแนวดิ่งที่ได้รับ หรือเกิดจากความเค้นแบบดึง (tensile stress) ภายในพอร์ซเลน ซึ่งเป็นผลมาจากการผิดรูปเพียงเล็กน้อยของโลหะที่รองรับเมื่อได้รับแรง (Straussberg และคณะ,1966; Riley,1977; Yamamoto,1985; Brantley และLaub,2001) ดังนั้นโครงโลหะจึงมีผลอย่างมากต่อความแข็งแรงของการบูรณะด้วยโลหะเคลือบกระเบื้อง ซึ่งจากจากการทดลองในวิทยานิพนธ์ของธิดารัตน์ (ธิดารัตน์,2549) ก็ได้แสดงให้เห็นว่าความหนาของโลหะที่เหมาะสมคือหนาอย่างน้อย 0.3 ม.ม. จะเพียงพอที่ต้านทานแรงกดในแนวดิ่งของชิ้นงาน แต่เนื่องจากครอบฟันที่ใช้ในคลินิคมีความหนาของโลหะและพอร์ซเลนต่างกันไปในแต่ละบริเวณ และแรงที่เกิดขึ้นในช่องปากก็มีหลายทิศทาง ทำให้ต้องคำนึงถึงปัจจัยจากรูปทรงและทิศทางแรงกดของชิ้นงานด้วย และในการศึกษาครั้งนี้มีคำถามของการวิจัย 2 ข้อ ได้แก่

1.โลหะที่มีความหนาบางไม่สม่ำเสมอในรูปแบบต่างๆจะส่งผลต่อการแตกหักของอร์ซเลนในชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องหรือไม่

2.การกำหนดจุดและแนวแรงที่กระทำบนชิ้นงานจะส่งผลต่อการแตกหักของพอร์ซเลนในชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องหรือไม่

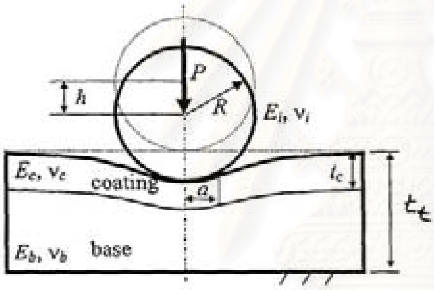
ซึ่งจะได้ทำการอภิปรายเพื่อตอบคำถามเหล่านี้

ในแง่มุมของโลหะที่มีความหนาบางไม่สม่ำเสมอในรูปแบบต่างๆจะส่งผลต่อการแตกหักของพอร์ซเลนในชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องหรือไม่นั้น จากการศึกษาครั้งนี้พบว่ากลุ่มที่ 2 ,3 และ4 ค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานตัวอย่างมีความแตกต่างกันกับกลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.005, 0.017, 0.024 ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่าความหนาบางที่ไม่สม่ำเสมอมีผลจริงต่อค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานตัวอย่างเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่มีรูปร่างแบนเรียบหนาสม่ำเสมอ สอดคล้องกับข้อเสนอแนะที่ควรทำให้โลหะมีความหนาบางสม่ำเสมอ และการศึกษาครั้งนี้ทำให้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของโลหะบริเวณจุดกด เช่นในกลุ่มทดลองที่2 ถึงแม้จุดที่กดจะบางเพียงจุดเดียวในขณะที่บริเวณอื่นๆมีความหนาเพียงพอก็ยังทำให้ค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานตัวอย่างต่ำลงและมีความแตกต่างกันกับกลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อลองพิจารณาดูลักษณะการแตกของชิ้นงานพบว่าในชิ้นงานกลุ่มที่ 1 พบการแตกเป็นทรงกรวย ชัดเจนในขณะที่กลุ่มที่ 2 จะมีลักษณะหลุดหายไปทั้งชิ้นเป็นส่วนใหญ่ดังรูปต่อไปนี้

<u>รูปที่27</u> การแตกของชิ้นงานกลุ่มที่1

<u>รูปที่28</u> การแตกของชิ้นงานกลุ่มที่2

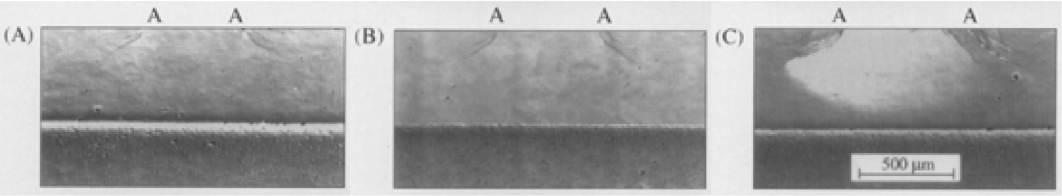
เมื่อนำรอยแตกมาพิจารณาข้อมูลจาก Fractography ด้วยวิธีการแบบ Hertzian Indentation ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับหัวกดชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ดัง*<u>รูปที่29-30</u>*



<u>รูปที่29</u> รูป Hertzian Indentation

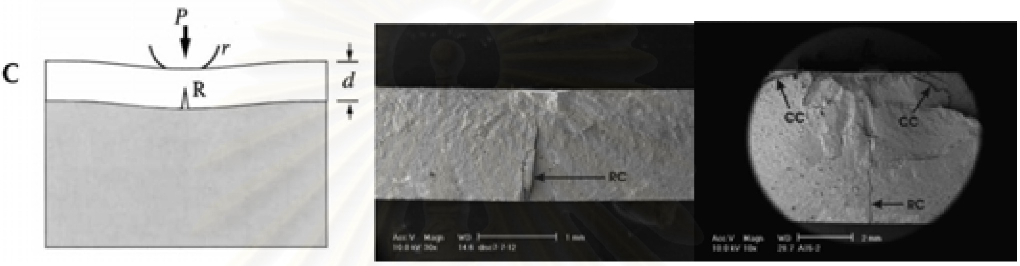
<u>รูปที่30</u> รูปปลายหัวกดชิ้นงาน

การกดแบบนี้จะมีรอยร้าวแตกเฉียงไปด้านข้างเรียกว่า Cone crack ซึ่งในกรณีที่ฐานรองรับด้านล่างมีการบิดตัวจะเกิดรอยแตกจากด้านล่างเรียกว่า Radial crack ซึ่งในกรณีการศึกษานี้คือโลหะ 0.1 ม.ม. ตรงบริเวณจุดกดมีความแข็งแรงไม่เพียงพอ เมื่อมีแรงกดมากจะทำให้โลหะที่รองรับยุบตัวจึงเกิดรอยแตกขึ้นมาจากผิวสัมผัสระหว่างโลหะและพอร์ซเลน และจากการที่บริเวณนี้จะสะสมแรงดึงมากทำให้ชิ้นงานในกลุ่มที่ 2 แตกในลักษณะที่หลุดไปทั้งชิ้น (Mecholsky,1995; Jung และคณะ,1999; Lawn และคณะ,2001; Dong และDarvell,2003; Aboushelib และคณะ,2007; Wang และDarvell,2007) *<u>รูปที่31-33</u>*



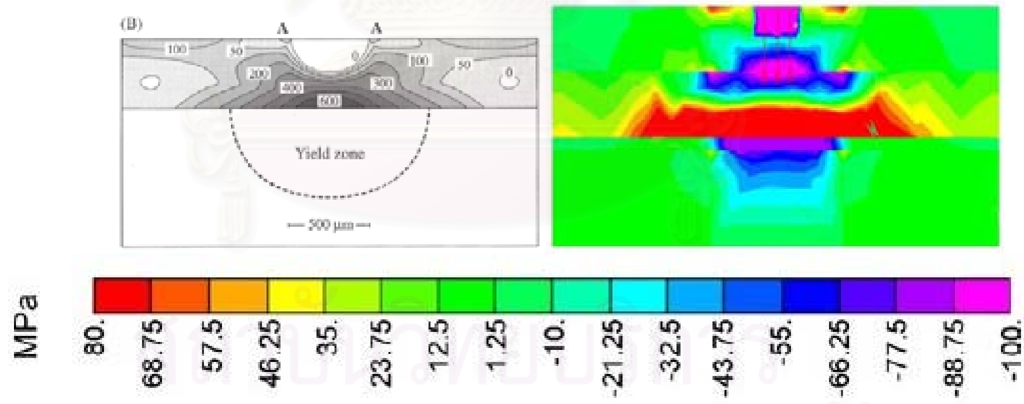
รูปที่31 ลักษณะรอยแตก Cone crack เมื่อเพิ่มแรงขึ้นกรณีที่ฐานรองแข็ง

(Jung และคณะ,1999)



รูปที่32 ลักษณะรอยแตก Radial crack กรณีที่ฐานรองไม่แข็งแรงพอ

(Lawn และคณะ,2001; Wang และDarvell,2007)

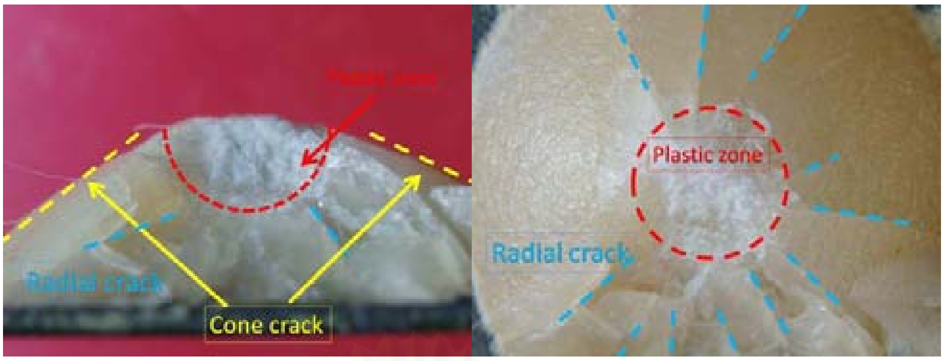


รูปที่33 ลักษณะการกระจายแรงเค้นอัดและแรงเค้นดึง

(Jung และคณะ,1999; Aboushelib และคณะ,2007)

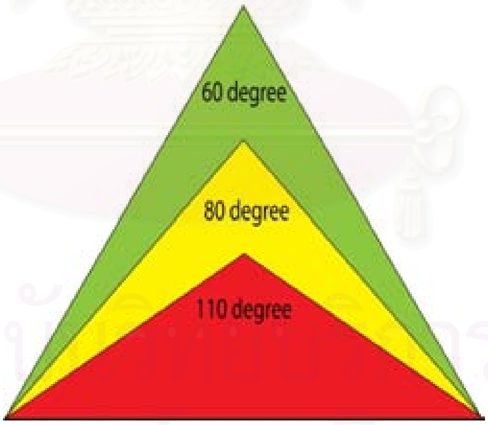
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้นเมื่อนำมาวิเคราะห์รอยแตกของชิ้นงานในกลุ่มที่ 1 ได้ จะเห็นได้ว่ามีลักษณะเด่นเป็น Cone crack ไม่ใช่ Radial crack ดัง*รูปที่34*



<u>รูปที่34</u> ลักษณะการแตกของชิ้นงานกลุ่มที่ 1

ในกลุ่มที่3 และ4 พบว่าการที่รูปร่างโลหะภายในเป็นมุมแหลมและมุมมนนั้นค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานตัวอย่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=1.000) ซึ่งแตกต่างจากข้อเสนอแนะที่ว่าให้หลีกเลี่ยงมุมแหลมบริเวณโลหะรองรับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมุมแหลมมีได้ทั้งรอยร่องลึกและรอยนูนและขนาดของมุมก็มีหลายขนาด *<u>รูปที่35</u>* ทำให้การตีความคำว่ามุมแหลมแตกต่างกันไป ซึ่งอาจต้องทำการศึกษาต่อไปในอนาคตว่ามุมแหลมลักษณะใดถึงจะมีผลต่อค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

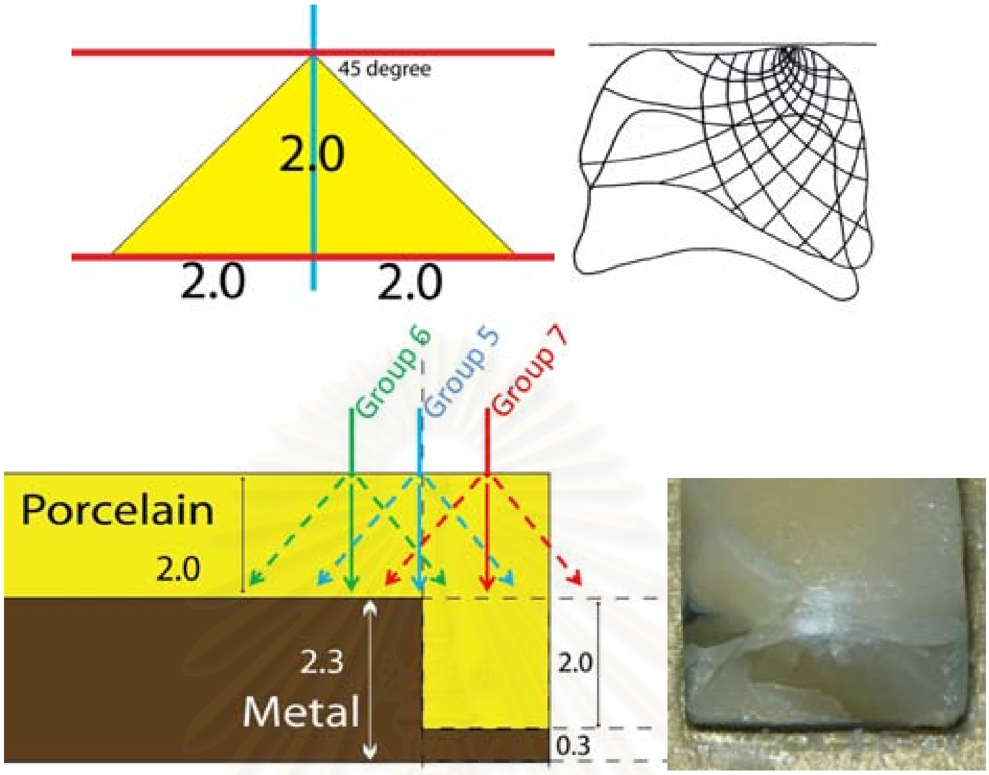
<u>รูปที่35</u> แสดงลักษณะความแหลมที่เกิดจากมุมขนาดต่างๆกัน

อีกกรณีหนึ่งจากที่ทำการศึกษาในครั้งนี้พบว่า กลุ่มที่3 ที่เป็นมุมแหลมเมื่อทำการพ่นทรายก่อนที่จะอบชั้น opaque ชิ้นงานมีความแหลมของโลหะลดลง จึงอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้กลุ่มที่4 และ5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อดูลักษณะการแตกในชิ้นงานกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 ไม่พบลักษณะเฉพาะของการแตก แต่พอร์ซเลนในกลุ่มที่ 3 ที่โลหะภายในเป็นมุมแหลมมักให้ลักษณะการแตกที่เผยให้เห็นโลหะภายในมากกว่า ชิ้นงานในกลุ่มที่ 4 ที่โลหะภายในเป็นมุมมน <u>*รูปที่36-37*</u>

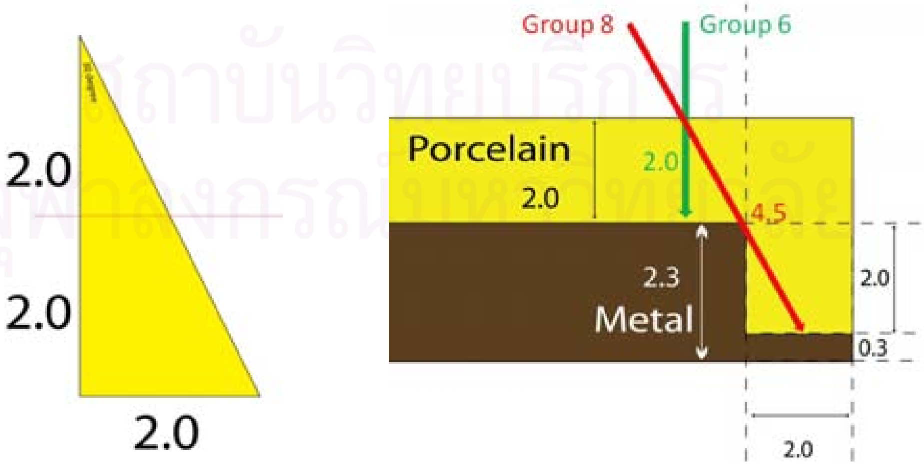
<u>รูปที่36</u> การแตกของชิ้นงานกลุ่มที่3 **<u>รูปที่37</u>** การแตกของชิ้นงานกลุ่มที่4

ในแง่มุมที่ว่าการกำหนดจุดและแนวแรงที่กระทำบนชิ้นงานจะส่งผลต่อการแตกหักของพอร์ซเลนในชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องหรือไม่นั้น จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า กลุ่มที่ 5, 6, 7 และ8 เมื่อเทียบกับกลุ่มที่1 แรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (กลุ่มที่5 $p<0.000$,กลุ่มที่6 $p=0.015$,กลุ่มที่7 $p<0.000$ และกลุ่มที่8 $p<0.000$ ตามลำดับ) และเมื่อลองพิจารณาเฉพาะกลุ่มที่ 5 และ7 เมื่อเทียบกับกลุ่มที่6 ซึ่งเป็นการจำลองจุดกดบนชิ้นงานไล่จากใกล้กลางไปหาขอบพบว่าเมื่อกดบริเวณใกล้ขอบค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานตัวอย่างจะต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มที่6 (กลุ่มที่5 $p<0.000$,กลุ่มที่7 $p<0.000$) และในกลุ่มที่7 ซึ่งจำลองจุดกดใกล้กับขอบชิ้นงานที่สุดก็ให้ค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานตัวอย่างมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ 5 ,6 และทุกๆกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (กลุ่มที่5 $p<0.000$,กลุ่มที่6 $p<0.000$) โดยสรุปกล่าวคือยิ่งจำลองจุดกดลงใกล้ขอบค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานตัวอย่างจะยิ่งต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อมีแรงเค้นเกิดขึ้นแรงเค้นนั้นจะกระจายออกไปในทิศทาง 45 องศา (Marker และคณะ ,1986) การจำลองจุดกดให้อยู่บริเวณขอบจึงไม่มีโลหะรองรับแรงเค้นที่กระจายออกไปด้านข้าง ซึ่งจะสังเกตได้ว่าการแตกหักมักแตกในชั้นพอร์ซเลนมากกว่าในกลุ่มอื่นๆ <u>*รูปที่38*</u>



<u>รูปที่38</u> ลักษณะการกระจายแรงไปด้านข้างและการแตกของชิ้นงานในกลุ่มที่ 5-7

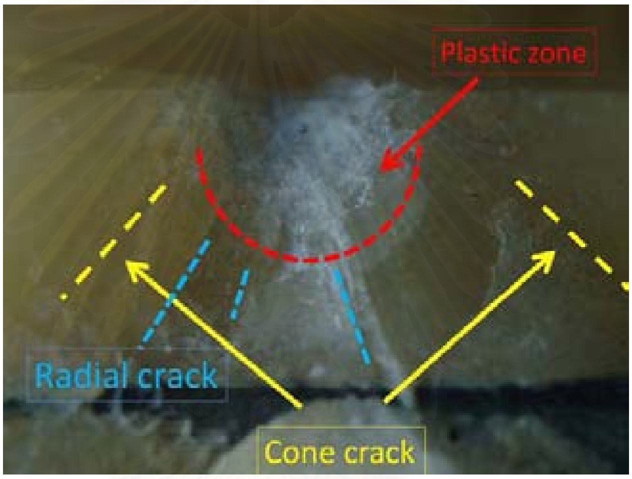
เมื่อลองพิจารณาเฉพาะกลุ่มที่6 และ8 ซึ่งทั้ง2กลุ่มนี้มีจุดกดบริเวณเดียวกันแต่แตกต่างที่มุมแนวแรงที่กดโดยที่กลุ่มที่6 มีโลหะรองรับเป็นมุม 90 องศาที่ระยะ 2.0 ม.ม. ในขณะที่กลุ่มที่8 มีโลหะรองรับทำมุม 60 องศา ที่ระยะ 4.5 ม.ม. <u>*รูปที่39*</u>



<u>รูปที่39</u> แสดงระยะและแนวโลหะที่มารองรับของชิ้นงานในกลุ่มที่6 และ 8

โดยที่กลุ่มที่8 มีค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานตัวอย่างต่ำกว่ากลุ่มที่6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.000$) จึงแสดงให้เห็นได้ว่าถึงแม้จะมีจุดกดที่เดียวกันแต่แนวแรงต่างกันก็อาจทำให้ค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานตัวอย่างต่างกันได้ และสอดคล้องกับข้อเสนอแนะที่ว่าพอร์ซเลนควรมีโลหะมารองรับในทิศทางที่มีแรงมากระทำ

เมื่อนำมาวิเคราะห์รอยแตกของชิ้นงานในกลุ่มที่ 6 ได้ จะเห็นได้ว่าไม่มีลักษณะเด่นทั้งที่เป็น Cone crack และ Radial crack ดัง*รูปที่40* ซึ่งในกลุ่มที่ 6 นี้จะเห็นลักษณะการแตกมักจะเผยให้เห็นถึงเนื้อโลหะ ต่างจากในกลุ่มที่ 8 ซึ่งมักจะแตกในชั้นพอร์ซเลน *รูปที่41-42*



รูปที่40 ลักษณะการแตกของชิ้นงานในกลุ่มที่ 6

รูปที่41 การแตกของชิ้นงานกลุ่มที่6

รูปที่42 การแตกของชิ้นงานกลุ่มที่8

ในการศึกษาครั้งนี้การนำผลที่ได้จากจากการทดลองเพื่อหาค่าแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานตัวอย่างที่มีรูปร่างโลหะและพอร์ซเลนรวมถึงจุดกดและแนวแรงแตกต่างกันหลายรูปแบบครั้งนี้ อาจนำไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ทางคลินิกได้ โดยใช้เป็นแนวทางในการออกแบบครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน ประกอบร่วมกับข้อมูลต่างๆจากผู้ป่วยจริงๆ เช่นระยะปลอดสิ่งกีดขวาง (occlusal clearance) ลักษณะการเคี้ยว ทิศทางแรงกระทำต่างๆเมื่อกัด เพื่อเป็นประโยชน์ในการลดการแตกหักของพอร์ซเลนต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อเสนอแนะ

เนื่องการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาทางห้องปฏิบัติการ ที่ทำการทดสอบโดยให้แรงอัดในแนวดิ่งกับชิ้นงานจนเกิดการแตกหักด้วยแรงเพียงครั้งเดียว (single catastrophic load) ซึ่งแตกต่างจากความล้มเหลวที่เกิดจริงภายในช่องปาก ซึ่งแรงที่ได้รับจะเป็นแรงพลวัติซ้ำหลายครั้ง (repetitive dynamic load) หรือแรงล้า นอกจากนั้นแล้ว การทดลองนี้ไม่สามารถจำลองความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในช่องปากและความซับซ้อนของสิ่งแวดล้อมในช่องปากได้ทั้งหมด ซึ่งจะมีปัจจัยอื่นๆที่นอกเหนือไปจากความแข็งแรงเชิงกลศาสตร์ของวัสดุเองเข้ามามีบทบาทภายใต้การได้รับแรงเชิงกล (mechanical environmental load) เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งมีผลอย่างมากต่อความแข็งแรงของพอร์ซเลน ดังนั้นการศึกษานี้จึงไม่สามารถบ่งบอกถึงคุณสมบัติของวัสดุในระยะยาวได้ (long term material property) และไม่สามารถนำค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนที่ได้ไปอ้างอิงถึงแรงบดเคี้ยว (normal occlusal force) ที่เกิดขึ้นจริงในช่องปากจากการบูรณะฟันด้วยการใช้โลหะเคลือบกระเบื้องในทางคลินิกได้ แต่ผลที่ได้จากการศึกษานี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในทางคลินิกต่อไป เพื่อลดอัตราการแตกหักของพอร์ซเลนทางคลินิกได้

การศึกษาครั้งนี้ครอบคลุมเฉพาะชิ้นงานตัวอย่างที่มีรูปร่างโลหะและพอร์ซเลน รวมถึงจุดกดและแนวแรงแตกต่างกันหลายรูปแบบที่เตรียมขึ้นมาจากโลหะผสมนิกเกิล-โครเมียม-โมลิดินัมเท่านั้น ในอนาคตควรที่จะมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่เตรียมมาจากโลหะผสมชนิดอื่นๆ เช่น โลหะผสมมีสกุลสูง (high-noble alloys) และโลหะผสมมีสกุล (noble alloys) รวมถึงลักษณะของโลหะรองรับที่มีมุมแหลม เพื่อที่จะได้ข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางมากยิ่งขึ้นในการนำมาประยุกต์ใช้ทางคลินิกต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้ ชิ้นงานกลุ่มที่1 มีค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุดที่ทำให้พอร์ซเลนเกิดการแตกหักแตกมากที่สุด และมากกว่ากลุ่มอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$) พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มที่ 5, 7 และ8 ซึ่งเป็นชิ้นงานรูปขั้นบันไดที่มีตำแหน่งจุดกดแตกต่างกัน ($p<0.05$) ส่วนในชิ้นงานกลุ่มที่ 2, 3, 4 และ6 ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากผลการสรุปผลการทดลองเบื้องต้น สามารถตอบคำถามการทดลองได้ดังนี้

1.เมื่อพิจารณาจากกลุ่มที่ 1-4 โลหะที่มีความหนาบางไม่สม่ำเสมอในรูปแบบต่างๆจะส่งผลต่อการแตกหักของพอร์ซเลนในชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับกลุ่มชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องเมื่อชิ้นงานมีรูปร่างเป็นแผ่นแบนหนาสม่ำเสมอ โดยกลุ่มชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องเมื่อโลหะหนาบางไม่สม่ำเสมอมีค่า $p=0.005$, กลุ่มชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีโลหะรองรับภายในเป็นมุมแหลมมีค่า $p=0.017$, กลุ่มชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องที่มีโลหะรองรับภายในเป็นมุมกลมมนมีค่า $p= 0.024$

2.เมื่อพิจารณาจากกลุ่มที่ 5-8 การกำหนดจุดและแนวแรงที่กระทำบนชิ้นงานจะส่งผลต่อการแตกหักของพอร์ซเลนในชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับกลุ่มชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องเมื่อจำลองจุดสบที่บริเวณที่มีโลหะรองรับภายในห่างจากแนวรอยต่อไปทางศูนย์กลาง 1 ม.ม. โดยกลุ่มชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องเมื่อจำลองจุดสบที่บริเวณแนวรอยต่อระหว่างโลหะรองรับภายในกับพอร์ซเลนมีค่า $p<0.000$, กลุ่มชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องเมื่อจำลองจุดสบที่บริเวณที่มีโลหะรองรับภายในห่างจากแนวรอยต่อไปทางขอบ 1 ม.ม. มีค่า $p<0.000$, กลุ่มชิ้นงานโลหะเคลือบกระเบื้องเมื่อจำลองจุดสบที่บริเวณที่มีโลหะรองรับภายในห่างจากแนวรอยต่อไปทางศูนย์กลาง 1 ม.ม. โดยแนวแรงทำมุม 30 องศา มีค่า $p<0.000$

รายการอ้างอิง

<u>ภาษาไทย</u>

ธิดารัตน์ อังวราวงศ์. <u>การแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานตัวอย่างที่มีความผันแปรของความหนาโลหะและพอร์ซเลน</u>. วิทยานิพนธ์ในหลักสูตรปริญญาโท สาขาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

สมเกียรติ อิ่มพลี. <u>ความต้านทานการแตกหักของพอร์ซเลนของครอบฟันรากเทียมที่มีความสูงของส่วนโลหะรองรับด้านประชิดฟันต่างกัน</u>. วิทยานิพนธ์ในหลักสูตรปริญญาโท สาขาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

<u>ภาษาอังกฤษ</u>

Aboushelib MN et al. Effect of loading method on the fracture mechanics of two layered all-ceramic restorative systems. <u>Dent Mater</u> 23,8(2007): 952-9.

Abu-Hassan MI, Abu-Hammad OA , Harrison A. Strains and tensile stress distribution in loaded disc-shaped ceramic specimens. An FEA study. <u>J Oral Rehabil</u> 25,7(1998):490-5.

Adell R et al. A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. <u>Int J Oral Surg</u> 10,6(1981):387-416.

Anusavice KJ, Cascone P. Dental casting and soldering alloys. Anusavice KJ, editor, <u>Phillips' science of dental materials</u>, 570-4. St. Louis : Saunders, 2003.

Anusavice KJ. Dental ceramics. Anusavice KJ, editor, <u>Phillips' science of dental materials</u>, 655-719. St. Louis : Saunders, 2003.

Anusavice KJ et al. Influence of tempering and contraction mismatch on crack development in ceramic surfaces. <u>J Dent Res</u> 1989. 68(7): p. 1182-7.

Anusavice KJ, Gray AE. Influence of framework design, contraction mismatch, and thermal history on porcelain checking in fixed partial dentures. <u>Dent Mater</u> 5,1(1989):58-63.

Anusavice KJ, Hojjatie B. Tensile stress in glass-ceramic crowns: effect of flaws and cement voids. <u>Int J Prosthodont</u> 1992. 5(4): p. 351-8.

Ash MM, Nelson SJ. Introduction to dental anatomy. Ash MM, Nelson SJ, editors, <u>Wheeler's dental anatomy, physiology, and occlusion</u>, 18. Philadelphia : Saunders, 2003.

Baran GR. Cast and wrought base metal alloys. Craig RG, Powers JM, editors, <u>Restorative dental materials</u>, 479-513. St. Louis : Mosby, 2002.

Barghi N, Lorenzana RE. Optimum thickness of opaque and body porcelain. J Prosthet Dent 48,4(1982):429-31.

Bell AM. The ceramo-metal restoration. Quintessence Dent Technol 7,91(983):545-8.

Bertolotti RL, Lacy AM, Watanabe LG. Adhesive monomers for porcelain repair. Int J Prosthodont 2,5(1989):483-9.

Brantley WA, Laub LW. Framework desing and metal selection for metal-ceramic restorations. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J, editors, Contemporary fixed prosthodontics, 497-512. St.Louis : Mosby, 2001.

Brantley WA, Laub LW. Metal-ceramic restorations. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J, editors, Contemporary fixed prosthodontics, 617-20. St.Louis : Mosby, 2001.

Burke FJ. Fracture resistance of teeth restored with dentin-bonded crowns: the effect of increased tooth preparation. Quintessence Int 27,2(1996):115-21.

Carlson B, Carlsson GE. Prosthodontic complications in osseointegrated dental implant treatment. Int J Oral Maxillofac Implants 9,1(1994):90-4.

Cheung GS. A preliminary investigation into the longevity and causes of failure of single unit extracoronal restorations. J Dent 19,3(1991):160-3.

Coornaert J, Adriaens P, De Boever J. Long-term clinical study of porcelain-fused-to-gold restorations. J Prosthet Dent 51,3(1984):338-42.

Craig RG, Powers JM, Wataha JC. Dental ceramics. Craig RG, Powers JM, Wataha JC, editors, Dental materials: properties and manipulation, 296-305. St. Louis : Mosby, 2005.

Denry IL, Laub LW. Metal-ceramic restorations. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J, editors, Contemporary fixed prosthodontics, 614-7. St.Louis : Mosby, 2001.

Dong XD, Darvell BW. Stress distribution and failure mode of dental ceramic structures under Hertzian indentation. Dent Mater 19,6(2003):542-51.

Dupont R. Large ceramo-metallic restorations. Int Dent J 18,2(1968):288-308.

eFunda engineering fundamentals. Properties of common solid materials [online]. 2006. Avaible from: http://www.efunda.com/materials/common_matl/Common_Matl.cfm?MatlPhase=Solid&MatlProp=Mechanical#Mechanical

Goodacre CJ et al. Clinical complications with implants and implant prostheses. J Prosthet Dent 90,2(2003):121-32.

Goodacre CJ et al. Clinical complications in fixed prosthodontics. J Prosthet Dent 90,1(2003): 31-41.

Hekimoglu C, Anil N, Cehreli MC. Analysis of strain around endosseous dental implants opposing natural teeth or implants. J Prosthet Dent 92,5(2004):441-6.

Hobo S, Shillingburg HT Jr. Porcelain fused to metal: tooth preparation and coping design. J Prosthet Dent 30,1(1973):28-36.

Jung YG et al. Damage modes in dental layer structures. J Dent Res 78,4(1999):887-97.

Kelly JR. Dental ceramics: current thinking and trends. Dent Clin North Am 48,2(2004): viii, 513-30.

Kelly JR et al. Fracture surface analysis of dental ceramics: clinically failed restorations. Int J Prosthodont 3,5(1990):430-40.

Kelly JR, Nishimura I, Campbell SD. Ceramics in dentistry: historical roots and current perspectives. J Prosthet Dent 75,1(1996):18-32.

Kostka CM. A review of ceramo-metal substructure design principles. Quintessence Dent Technol 9,2(1985):109-11.

Lawn BR, Deng Y, Thompson VP. Use of contact testing in the characterization and design of all-ceramic crownlike layer structures: a review. J Prosthet Dent 86,5(2001):495-510.

Lekholm U et al. Survival of the Branemark implant in partially edentulous jaws: a 10-year prospective multicenter study. Int J Oral Maxillofac Implants 14,5(1999):639-45.

Lindquist LW, Carlsson GE, Glantz PO. Rehabilitation of the edentulous mandible with a tissue-integrated fixed prosthesis: a six-year longitudinal study. Quintessence Int 18,2(1987):89-96.

Llobell A et al. Fatigue life of porcelain repair systems. Int J Prosthodont 5,3(1992):205-13.

Lubovich RP, Goodkind RJ. Bond strength studies of precious, semiprecious, and nonprecious ceramic-metal alloys with two porcelains. J Prosthet Dent 37,3(1977):288-99.

Lund PS, Barber BA. The effect of porcelain veneer extension on strength of metal ceramic crowns. Int J Prosthodont 5,3(1992):237-43.

Marker JC, Goodkind RJ, Gerberich WW. The compressive strength of nonprecious versus precious ceramometal restorations with various frame designs. J Prosthet Dent 55,5(1986):560-7.

McLean JW. The cast metal-ceramic crown., The science and art of dental ceramics volume II: Bridge design and laboratory procedures in dental ceramics, 189-209. Chicago : Quintessence, 1980.

Mecholsky JJ Jr. Fractography: determining the sites of fracture initiation. Dent Mater 11,2(1995):113-6.

Miller A et al. Comparison of the fracture strengths of ceramometal crowns versus several all-ceramic crowns. J Prosthet Dent 68,1(1992):38-41.

Miller LL. Framework design in ceramo-metal restorations. Dent Clin North Am 21,4(1977):699-716.

Misch CE et al. Consensus conference panel report: crown-height space guidelines for implant dentistry-part 1. Implant Dent 14,4(2005):312-8.

Misch CE et al. Consensus conference panel report: crown-height space guidelines for implant dentistry-part 2. Implant Dent 15,2(2006):113-21.

Naert I et al. A six-year prosthodontic study of 509 consecutively inserted implants for the treatment of partial edentulism. J Prosthet Dent 67,2(1992):236-45.

Naert I et al. A study of 589 consecutive implants supporting complete fixed prostheses. Part II: Prosthetic aspects. J Prosthet Dent 68,6(1992.):949-56.

Naylor WP. Casting alloys for bonding to dental porcelain. Naylor WP, editor, Introduction to metal ceramic technology, 27-41. Chicago : Quintessence, 1992.

Naylor WP. Essentials of metal ceramic substructure design. Naylor WP, editor, Introduction to metal ceramic technology, 43-64. Chicago : Quintessence, 1992.

Nielsen JP, Tuccillo JJ. Calculation of interfacial stress in dental porcelain bonded to gold alloy substrate. J Dent Res 51,4(1972):1043-7.

Noort RV. Dental ceramics. Noort RV, editor, Introduction to dental materials, 231-46 , 251. Edinburgh : Mosby, 2002.

Noort RV. Metal-bonded ceramics. Noort RV, editor, Introduction to dental materials, 247-56. Edinburgh : Mosby, 2002.

O'Boyle KH et al. An investigation of new metal framework design for metal ceramic restorations. J Prosthet Dent 78,3(1997):295-301.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

O'Brien WJ. Biomaterials properties database [online]. The University of Michigan-NIDR Materials Science Research Center,1997. Avaible from: http://www.lib.umich.edu/dentlib/Dental_tables/intro.html

O'Brien WJ. Cohesive plateau theory of porcelain-alloy bonding. Yamada HN, Grenoble PB,editors, Dental porcelain : the states of art, 137. Los Angerles : University of Sounthen California School of Dentistry, 1977.

O'Brien WJ, Boenke KM, Groh CL. Evaluation of some properties of an opaque porcelain fired simultaneously with the body porcelain. J Prosthet Dent 72,4(1994):414-9.

Ozcan M. Fracture reasons in ceramic-fused-to-metal restorations. J Oral Rehabil 30,3(2003):265-9.

Ozcan M, Niedermeier W. Clinical study on the reasons for and location of failures of metal-ceramic restorations and survival of repairs. Int J Prosthodont 15,3(2002): 299-302.

Riley EJ. Ceramo-metal restoration. State of the science. Dent Clin North Am 21,4(1977):669-82.

Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. Framework design and metal section for metal-ceramic restorations. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J, editors, Contemporary fixed prosthodontics, 488-97. St.Louis : Mosby, 2001.

Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. Metal-ceramic restor. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J, editors, Contemporary fixed prosthodontics, 609-14, 620-42. St.Louis : Mosby, 2001.

Scherrer SS et al. Fracture toughness (KIc) of a dental porcelain determined by fractographic analysis. Dent Mater 15,5(1999):342-8.

Schiffleger BE et al. Comparison of accuracy of multiunit one-piece castings. J Prosthet Dent 54,6(1985):770-6.

Shillingburg HT, Hobo S, Whitsett LD, Jacobi R, Brackett SE. Metal-ceramic restorations. Shillingburg HT, Hobo S, Whitsett LD, Jacobi R, Brackett SE, editors, Fundamentals of fixed prosthodontics, 455-83. Chicago : Quintessence, 1997.

Shoher I. Reinforced porcelain system. Concepts and techniques. Dent Clin North Am 29,4(1985):805-18.

Shoher I, Whiteman AE. Reinforced porcelain system: a new concept in ceramometal restorations. J Prosthet Dent 50,4(1983):489-96.

Stein RS, Kuwata M. A dentist and a dental technologist analyze current ceramo-metal procedures. Dent Clin North Am 21,4(1977):729-49.

Straussberg G, Katz G, Kuwata M. Design of gold supporting structures for fused porcelain restorations. J Prosthet Dent 16,5(1966):928-36.

Strub JR, Stiffler S, Scharer P. Causes of failure following oral rehabilitation: biological versus technical factors. Quintessence Int 19,3(1988):215-22.

Torrado E et al. A comparison of the porcelain fracture resistance of screw-retained and cement-retained implant-supported metal-ceramic crowns. J Prosthet Dent 91,6(2004):532-7.

Ulusoy M, Toksavul S. Fracture resistance of five different metal framework designs for metal-ceramic restorations. Int J Prosthodont 15,6(2002):571-4.

van Steenberghe D et al. Applicability of osseointegrated oral implants in the rehabilitation of partial edentulism: a prospective multicenter study on 558 fixtures. Int J Oral Maxillofac Implants 5,3(1990):272-81.

Walton JN, Gardner FM, Agar JR. A survey of crown and fixed partial denture failures: length of service and reasons for replacement. J Prosthet Dent 56,4(1986):416-21.

Walton TR, O'Brien WJ. Thermal stress failure of porcelain bonded to a palladium-silver alloy. J Dent Res 64,3(1985):476-80.

Wang Y, Darvell BW. Failure mode of dental restorative materials under Hertzian indentation. Dent Mater 23,10(2007):1236-44.

Wataha JC. Alloys for prosthodontic restorations. J Prosthet Dent 87,4(2002):351-63.

Wataha JC. Nature of metals and alloys. Craig RG, Powers JM, editors, Restorative dental material, 163-83. St.Louis : Mosby, 2002.

Webber B, McDonald A, Knowles J. An in vitro study of the compressive load at fracture of Procera AllCeram crowns with varying thickness of veneer porcelain. J Prosthet Dent 89,2(2003):154-60.

Weinberg LA. A new design for porcelain-fused-to-metal prostheses. J Prosthet Dent 17,2(1967):178-94.

Yamamoto M. Factors affecting the strength of metal-ceramics. Yamamoto M, editor, Metal-ceramics: Principles and methods of Makoto Yamamoto, 15-202. Chicago : Quintessence, 1985.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวกตาราง ก แสดงส่วนประกอบและคุณสมบัติของโลหะที่ใช้ในการทดลอง (4all®, Williams; Ivoclar Vivadent Inc, Amherst, USA)

4all®	
ส่วนประกอบ (Composition)	Ni 61.4 Cr 25.7 Mo 11.0 Al < 1.0 Si 1.5 Mn < 1.0
ความแข็งชนิดวิคเคอร์ (Vickers Hardness)	235
มอดุลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity)	200,000 MPa
กำลังแรงดึงครั้งสุดท้าย (Ultimate tensile strength)	720 MPa
การยืด (Elongation)	12.0 %
สัมประสิทธิ์ของการขยายตัวเมื่อถูกความร้อน (Coefficient of thermal expansion) 25-500 C 20-600 C	 $13.8 \times 10^{-6} K^{-1} m/m$ $14.1 \times 10^{-6} K^{-1} m/m$

ภาคผนวกตาราง ข แสดงอุณหภูมิที่ใช้ในการหล่อชิ้นงาน

4all®	
Burnout temperature	800-850 °C
ช่วงการหลอมเหลว (Melting range)	1260-1350 °C
อุณหภูมิในการหล่อ (Casting temperature)	1405-1465 °C

ภาคผนวกตาราง ค แสดงอุณหภูมิในการสร้างชั้นออกไซด์

4all®	
การออกซิไดซ์ (Oxidation)	950 °C
ระยะเวลาที่คงไว้ (Holding time)	1 นาที
สุญญากาศ (vacuum)	ไม่มี (No vacuum)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวกตาราง ง แสดงลักษณะของพอร์ซเลนที่ใช้ในการทดลอง (IPS d.SIGN®, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)

IPS d.SING	
ชนิดของเซรามิก (type of ceramic)	Glass-ceramic
ลักษณะของผลึก (crystal phases)	-ผลึกอะพาไทท์ (apatite crystal) ที่มีลักษณะเป็น predominantly needle-like fluorapatite -ผลึกลูไซท์ (leucite crystals)

ภาคผนวกตาราง จ แสดงส่วนประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพ(ISO 9693) ของพอร์ซเลน

IPS d.SING	Dentin, Deep dentin, Incisal	Opaquer pastes
ส่วนประกอบมาตรฐาน (Standard-composition) โดยน้ำหนัก (in weight %)	SiO_2 50.0-65.0 Al_2O_3 8.0-20.0 Na_2O 4.0-12.0 K_2O 7.0-13.0 CaO 0.2-6.0 P_2O_5 0.2-5.0 F 0.3-3.0 + Addition agents (SrO, B_2O_3, Li_2O, CeO_2, BaO, ZnO, Tio_2, ZrO_2) + pigments 0.0-3.0	Al_2O_3 8.0-12.0 K_2O 5.0-10.0 Na_2O 2.0-6.0 SiO_2 30.0-40.0 ZrO_2 15.0-40.0 + Addition agents (TiO_2, P_2O_5, CeO_2, BaO, B_2O_3) + Glycol + Pigments 0.0-25.0
ความแข็งแรงดัดขวาง (Flexural strength)	80 ± 25 MPa	>100 MPa
สภาพละลายได้ทางเคมี (Chemical solubility)	< 100 μg/cm^2	<100 μg/cm^2
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อถูกความร้อน (CTE) (25-500 °C)	2 firings 12.0 (± 0.5) x $10^{-6}K^{-1}$m/m 4 firings 12.6 (± 0.5) x $10^{-6}K^{-1}$m/m	2 firings 13.6 (± 0.5) x$10^{-6}K^{-1}$m/m 4 firings 13.8 (± 0.5) x$10^{-6}K^{-1}$m/m
อุณหภูมิการแปลง (Transformation temperature)	510 ± 10 °C	600 ± 10 °C

ภาคผนวกตาราง ฉ แสดงอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาพอร์ซเลนชั้นต่างๆ

	การเผาชั้นโอเพค ครั้งที่ 1 และ 2 (1st & 2nd opaquer firing)	การเผาชั้นเนื้อฟันและปลายฟันครั้งแรก (1st dentin & incisal firing)	การเผาเพื่อแก้ไข (Corrective firing) การเผาชั้นเนื้อฟันและปลายฟันครั้งที่สอง (2nd dentin & incisal firing)	การเผาเคลือบผิวที่มีครีมเคลือบผิว (Glaze firing with glazing paste)
อุณหภูมิที่คงไว้ (Holding Temp)	900 °C	870 °C	870 °C	830 °C
อุณหภูมิสำรอง (Stand-by temperature)	403 °C	403 °C	403 °C	403 °C
เวลาที่ปิด (Closing time)	6 min.	4-6 min.	4 min.	4 min.
อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นครั้งที่ 2 (2nd Temperature increase)	60 °C	60 °	60 °C	60 °C
ระยะเวลาที่คงไว้ (Holding time)	1 min.	1 min.	1 min.	1-2 min.
2nd Vacuum / on	450 °C	450 °C	450 °C	450 °C
2nd Vacuum / off	899 °C	869 °C	869 °C	829 °C

ภาคผนวกตาราง ช แสดงการวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลกลุ่มที่ 1-8

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

GROUP			LOAD
1)Disc	N		10
	Normal Parameters(a,b)	Mean	2506.031
		Std. Deviation	257.97675
	Most Extreme Differences	Absolute	0.211
		Positive	0.211
		Negative	-0.16
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.666
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.767
2)Dimple	N		10
	Normal Parameters(a,b)	Mean	2027.071
		Std. Deviation	180.74327
	Most Extreme Differences	Absolute	0.2
		Positive	0.178
		Negative	-0.2
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.631
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.82
3)Sharp	N		10
	Normal Parameters(a,b)	Mean	2101.116
		Std. Deviation	101.54784
	Most Extreme Differences	Absolute	0.212
		Positive	0.212
		Negative	-0.124
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.671
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.759
4)Round	N		10
	Normal Parameters(a,b)	Mean	2117.116
		Std. Deviation	125.48669
	Most Extreme Differences	Absolute	0.207
		Positive	0.166
		Negative	-0.207
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.653
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.787
5)Ledge-inter	N		10
	Normal Parameters(a,b)	Mean	1461.202
		Std. Deviation	139.19727
	Most Extreme Differences	Absolute	0.188
		Positive	0.188
		Negative	-0.104
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.595
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.87
6)Ledge-center	N		10
	Normal Parameters(a,b)	Mean	2092.396
		Std. Deviation	113.79136
	Most Extreme Differences	Absolute	0.215
		Positive	0.17
		Negative	-0.215
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.679
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.745

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวกตาราง ช แสดงการวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลกลุ่มที่ 1-8 (ต่อ)

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

GROUP			LOAD
7)Ledge-edge	N		10
	Normal Parameters(a,b)	Mean	791.643
		Std. Deviation	87.96115
	Most Extreme Differences	Absolute	0.145
		Positive	0.102
		Negative	-0.145
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.458
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.985
8)Ledge-oblique	N		10
	Normal Parameters(a,b)	Mean	1062.379
		Std. Deviation	187.83072
	Most Extreme Differences	Absolute	0.146
		Positive	0.146
		Negative	-0.134
	Kolmogorov-Smirnov Z		0.462
	Asymp. Sig. (2-tailed)		0.983

a Test distribution is Normal.

b Calculated from data.

ภาคผนวกตาราง ซ แสดงการทดสอบความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variances) ด้วยการทดสอบแบบเลอวีน (Levene's Test) ของกลุ่มที่ 1-8

Test of Homogeneity of Variances

LOAD

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.416	7	72	0.003

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวกตาราง ฌ แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ในกรณีที่มีค่าความแปรปรวนของตัวอย่างเหมือนกันของกลุ่มที่ 1-8

ANOVA

LOAD

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24951596.03	7	3564513.718	142.139	0.000
Within Groups	1805588.118	72	25077.613		
Total	26757184.15	79			

ภาคผนวกตาราง ญ แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ด้วยการทดสอบแบบโรบัสท์ (Robust Test) ชนิด Welch ของกลุ่มที่ 1-8

Robust Tests of Equality of Means

LOAD

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Welch	215.907	7	30.642	0.000

a Asymptotically F distributed.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวกตาราง ฎ แสดงการทดสอบด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบแทมเฮน กลุ่มที่1-8

Multiple Comparisons

Dependent Variable: LOAD

Tamhane

(I) GROUP	(J) GROUP	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1)Disc	2)Dimple	478.9600(*)	99.6093	0.005	108.1284	849.7916
	3)Sharp	404.9150(*)	87.6721	0.017	53.8897	755.9403
	4)Round	388.9150(*)	90.71875	0.024	35.4363	742.3937
	5)Ledge-inter	1044.8290(*)	92.69729	0.000	688.6149	1401.0431
	6)Ledge-center	413.6350(*)	89.16304	0.015	61.7053	765.5647
	7)Ledge-edge	1714.3880(*)	86.19116	0.000	1363.6099	2065.1661
	8)Ledge-oblique	1443.6520(*)	100.91203	0.000	1069.3897	1817.9143
2)Dimple	1)Disc	-478.9600(*)	99.6093	0.005	-849.7916	-108.1284
	3)Sharp	-74.045	65.55921	1.000	-324.6321	176.5421
	4)Round	-90.045	69.58092	0.999	-349.3285	169.2385
	5)Ledge-inter	565.8690(*)	72.14153	0.000	299.6226	832.1154
	6)Ledge-center	-65.325	67.54007	1.000	-319.7962	189.1462
	7)Ledge-edge	1235.4280(*)	63.56516	0.000	987.7673	1483.0887
	8)Ledge-oblique	964.6920(*)	82.43089	0.000	663.7163	1265.6677
3)Sharp	1)Disc	-404.9150(*)	87.6721	0.017	-755.9403	-53.8897
	2)Dimple	74.045	65.55921	1.000	-176.5421	324.6321
	4)Round	-16	51.04789	1.000	-203.709	171.709
	5)Ledge-inter	639.9140(*)	54.48655	0.000	437.8717	841.9563
	6)Ledge-center	8.72	48.22908	1.000	-167.7125	185.1525
	7)Ledge-edge	1309.4730(*)	42.48427	0.000	1153.8604	1465.0856
	8)Ledge-oblique	1038.7370(*)	67.5221	0.000	779.3331	1298.1409
4)Round	1)Disc	-388.9150(*)	90.71875	0.024	-742.3937	-35.4363
	2)Dimple	90.045	69.58092	0.999	-169.2385	349.3285
	3)Sharp	16	51.04789	1.000	-171.709	203.709
	5)Ledge-inter	655.9140(*)	59.26448	0.000	439.1906	872.6374
	6)Ledge-center	24.72	53.56807	1.000	-171.134	220.574
	7)Ledge-edge	1325.4730(*)	48.46037	0.000	1145.0708	1505.8752
	8)Ledge-oblique	1054.7370(*)	71.43339	0.000	787.444	1322.03
5)Ledge-inter	1)Disc	-1044.8290(*)	92.69729	0.000	-1401.0431	-688.6149
	2)Dimple	-565.8690(*)	72.14153	0.000	-832.1154	-299.6226
	3)Sharp	-639.9140(*)	54.48655	0.000	-841.9563	-437.8717
	4)Round	-655.9140(*)	59.26448	0.000	-872.6374	-439.1906
	6)Ledge-center	-631.1940(*)	56.85451	0.000	-840.1152	-422.2728
	7)Ledge-edge	669.5590(*)	52.07019	0.000	473.4612	865.6568
	8)Ledge-oblique	398.8230(*)	73.92987	0.001	125.0785	672.5675
6)Ledge-center	1)Disc	-413.6350(*)	89.16304	0.015	-765.5647	-61.7053
	2)Dimple	65.325	67.54007	1.000	-189.1462	319.7962
	3)Sharp	-8.72	48.22908	1.000	-185.1525	167.7125
	4)Round	-24.72	53.56807	1.000	-220.574	171.134
	5)Ledge-inter	631.1940(*)	56.85451	0.000	422.2728	840.1152
	7)Ledge-edge	1300.7530(*)	45.48147	0.000	1132.9485	1468.5575
	8)Ledge-oblique	1030.0170(*)	69.447	0.000	767.1235	1292.9105

ภาคผนวกตาราง ฎ แสดงการทดสอบด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบแทมเฮนกลุ่มที่1-8(ต่อ)

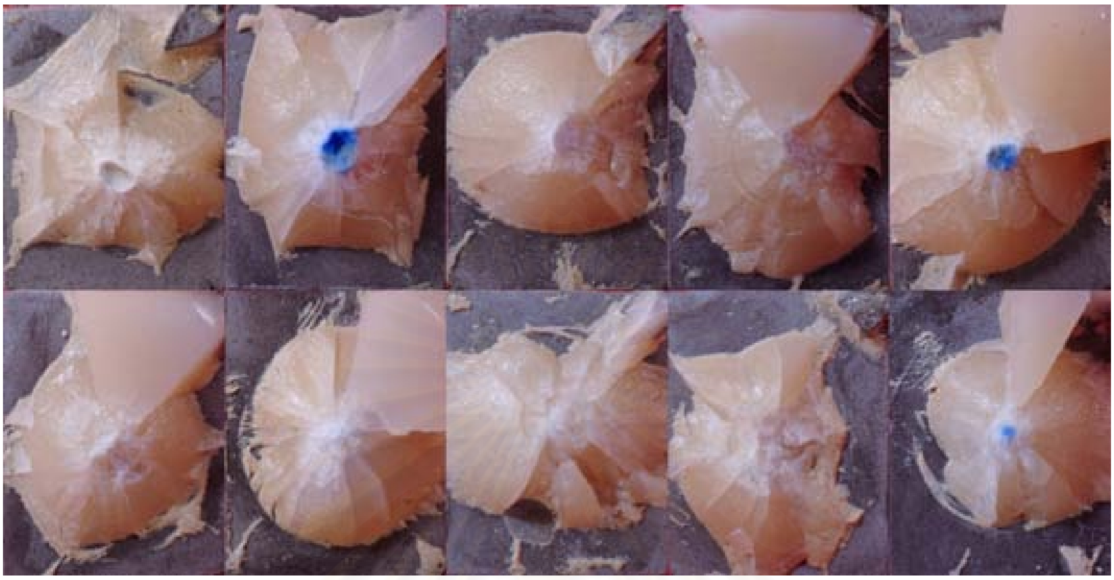
Multiple Comparisons

(I) GROUP	(J) GROUP	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
7)Ledge-edge	1)Disc	-1714.3880(*)	86.19116	0.000	-2065.1661	-1363.6099
	2)Dimple	-1235.4280(*)	63.56516	0.000	-1483.0887	-987.7673
	3)Sharp	-1309.4730(*)	42.48427	0.000	-1465.0856	-1153.8604
	4)Round	-1325.4730(*)	48.46037	0.000	-1505.8752	-1145.0708
	5)Ledge-inter	-669.5590(*)	52.07019	0.000	-865.6568	-473.4612
	6)Ledge-center	-1300.7530(*)	45.48147	0.000	-1468.5575	-1132.9485
	8)Ledge-oblique	-270.7360(*)	65.58776	0.034	-527.5887	-13.8833
8)Ledge-oblique	1)Disc	-1443.6520(*)	100.91203	0.000	-1817.9143	-1069.3897
	2)Dimple	-964.6920(*)	82.43089	0.000	-1265.6677	-663.7163
	3)Sharp	-1038.7370(*)	67.5221	0.000	-1298.1409	-779.3331
	4)Round	-1054.7370(*)	71.43339	0.000	-1322.03	-787.444
	5)Ledge-inter	-398.8230(*)	73.92987	0.001	-672.5675	-125.0785
	6)Ledge-center	-1030.0170(*)	69.447	0.000	-1292.9105	-767.1235
	7)Ledge-edge	270.7360(*)	65.58776	0.034	13.8833	527.5887

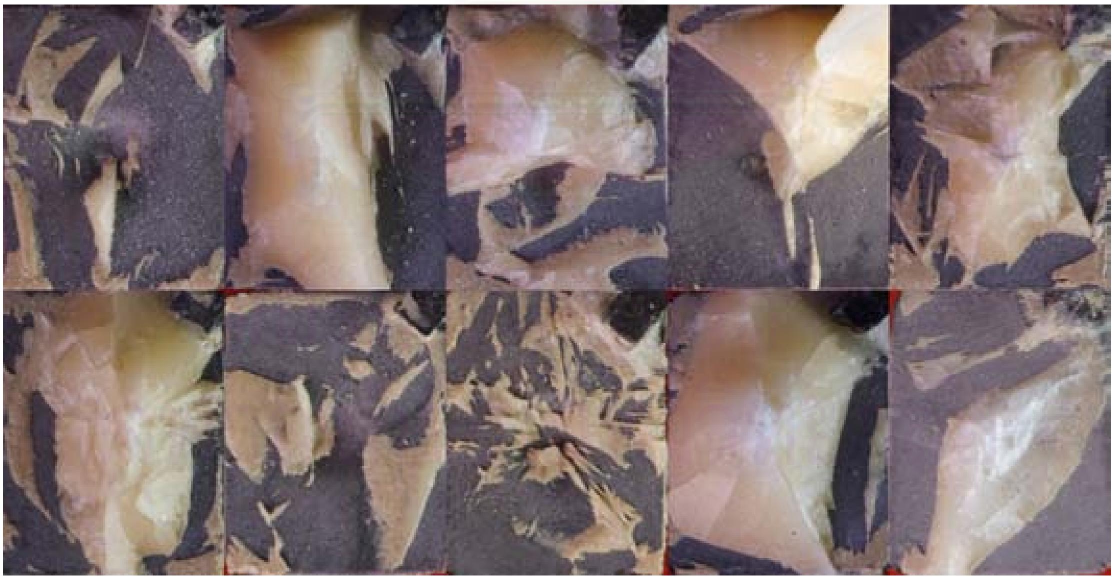
* The mean difference is significant at the .05 level.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

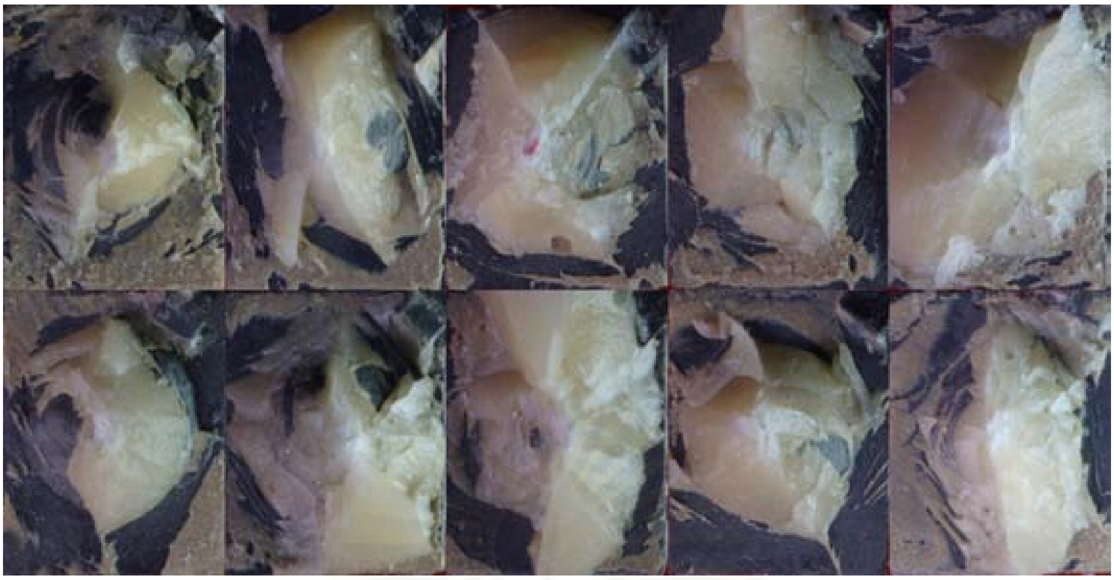
ภาคผนวกภาพ ฎ แสดงลักษณะการแตกหักของพอร์ซเลนบนชิ้นงานตัวอย่างของกลุ่มต่างๆ



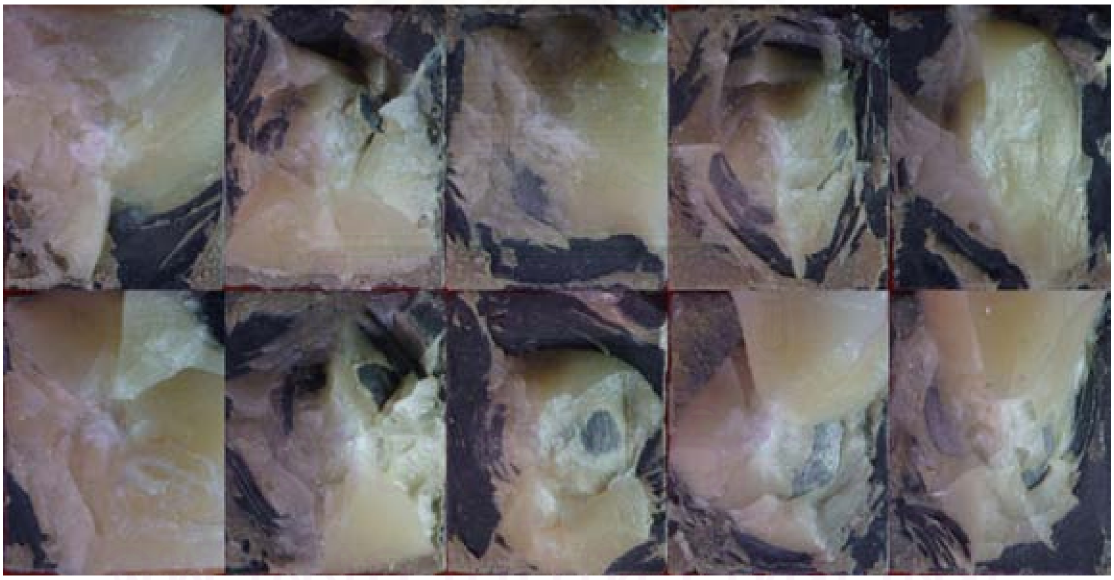
กลุ่มที่ 1



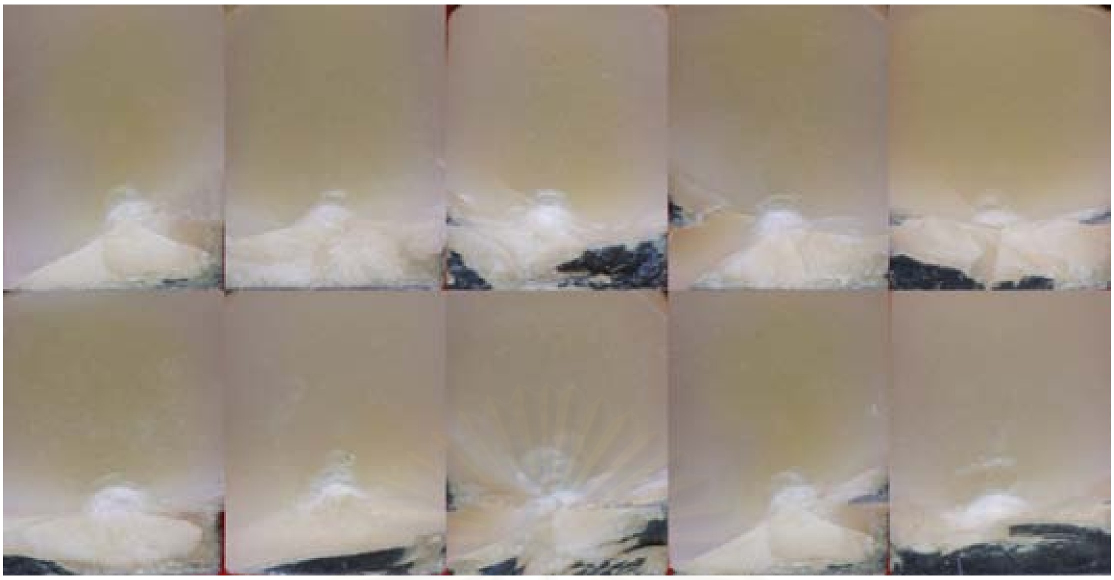
กลุ่มที่ 2



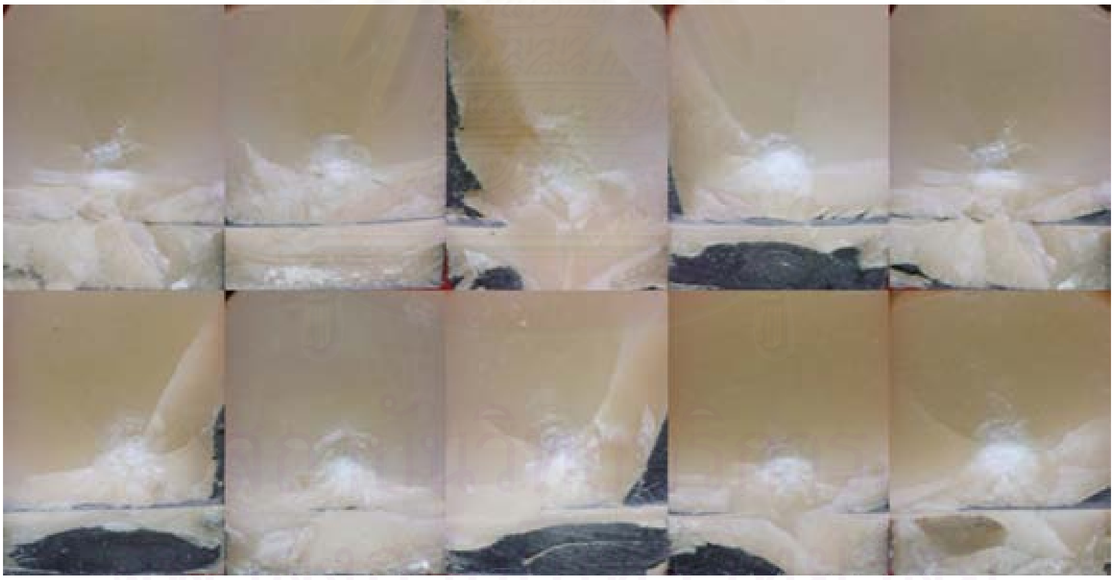
กลุ่มที่ 3



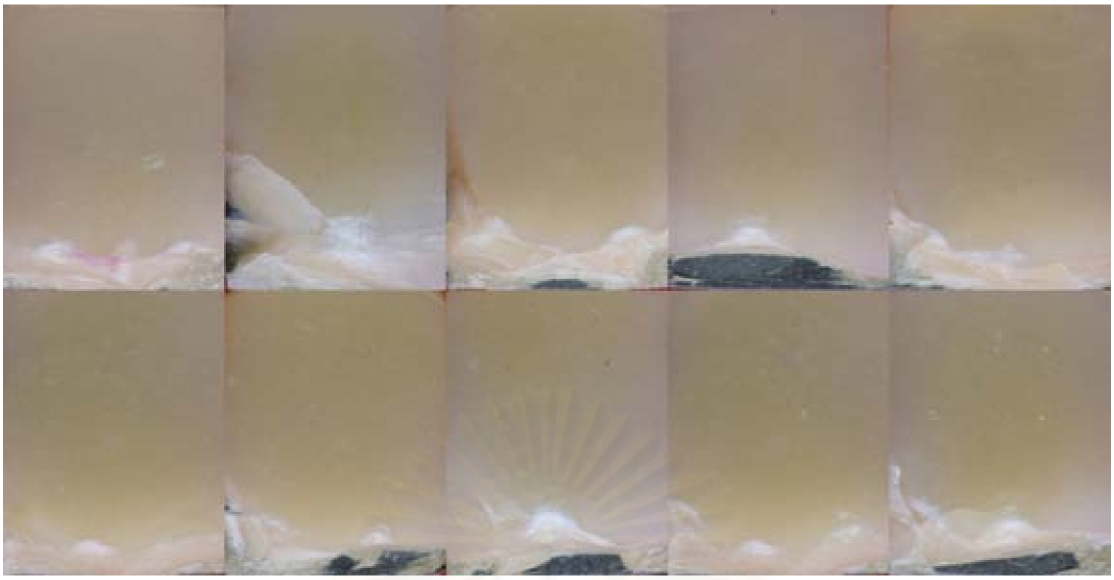
กลุ่มที่ 4



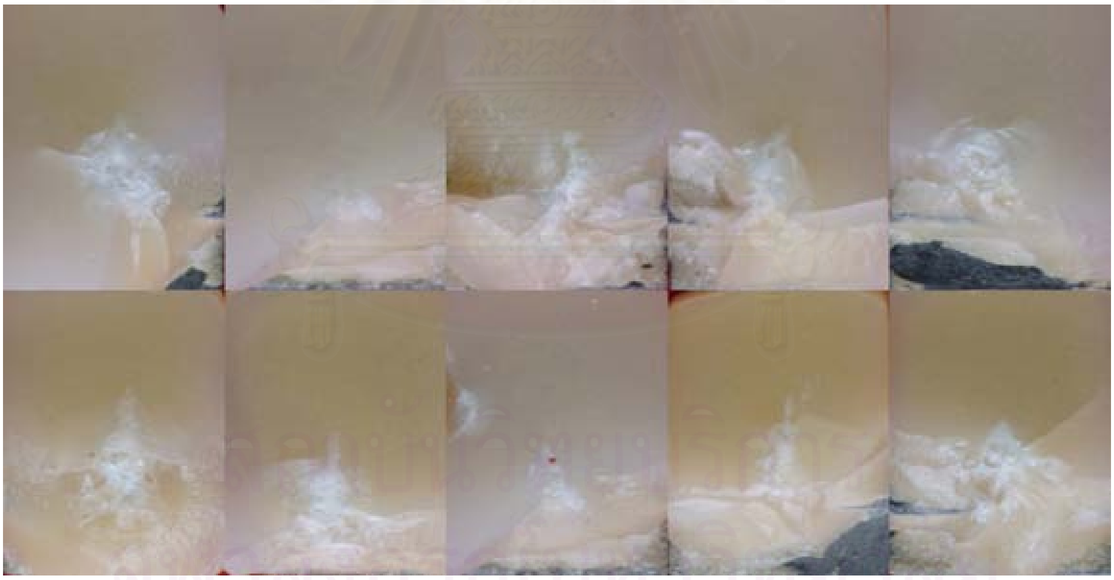
กลุ่มที่ 5



กลุ่มที่ 6



กลุ่มที่ 7



กลุ่มที่ 8

ภาคผนวก ฐ งบประมาณการวิจัย

<u>หมวดครุภัณฑ์</u>

- เครื่องทดสอบสากล (Instron universal testing machine) รุ่น Instron 8872
- เครื่องทดสอบความแข็งของวัสดุ (durometer)
  รุ่น Instrument, Pacific Transducer Corp., USA
- กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (stereomicroscope)
  รุ่น ANTI-FUNJI MEJI Techno Co., LTD, Japan
- ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (incubator) รุ่น Contherm, series five
- เครื่องทำความสะอาดความถี่เหนือเสียง (ultrasonic cleanser; Branson 5210)
- เครื่องเป่าทราย (sandblast) รุ่น Miniblaster ™, Israel
- เครื่องทำความสะอาดด้วยไอน้ำ (steam cleanser)

ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทย์ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

• หัวกดหน้าตัดทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ม.ม. (stainless steel stylus with round end carbide pin)	เป็นเงิน	3,000	บาท
• แป้นทองเหลืองและหลักยึดครอบฟันสำหรับทดสอบ	เป็นเงิน	3,000	บาท
• แผ่นเหล็กสำหรับทำแบบขึ้นรูป (metal mold)	เป็นเงิน	1,000	บาท
• เครื่องวัดความหนาไมโครมิเตอร์(micrometer)	เป็นเงิน	1,500	บาท
• เครื่องวัดเวอร์เนีย คาลิปเปอร์ (digimatic caliper)	เป็นเงิน	1,500	บาท

<u>หมวดค่าใช้สอย</u>

• ค่าจัดทำรูปเล่มรายงาน	เป็นเงิน	3,000	บาท
• ค่าถ่ายเอกสาร	เป็นเงิน	3,000	บาท
• ค่าทดสอบชิ้นงาน	เป็นเงิน	5,000	บาท

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมวดค่าวัสดุ

• วัสดุในการสร้างชิ้นงาน	เป็นเงิน	28,000	บาท
• อะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยตัวเอง	เป็นเงิน	2,000	บาท
• กระดาษทราย	เป็นเงิน	500	บาท
• สารแขวนลอยกากเพชร	เป็นเงิน	3,000	บาท
• ผ้ากำมะหยี่	เป็นเงิน	1,000	บาท
• ผงอลูมินัมออกไซด์ ขนาด 50 ไมครอน	เป็นเงิน	2,000	บาท
• ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์	เป็นเงิน	2,000	บาท
• Fit Checker (GC corp.,Japan)	เป็นเงิน	1,000	บาท
• หัวกรอ	เป็นเงิน	1,500	บาท

รวมงบประมาณทั้งสิ้น 62,000 บาท

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายลีนวัฒน์ ศรีสุนาครัว เกิดวันที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีทันตแพทยศาสตรบัณฑิต คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546 เข้ารับราชการเป็นหัวหน้าหน่วยทันตกรรม โรงพยาบาลศูนย์มะเร็ง จังหวัดอุดรธานี เป็นเวลา 2 ปี หลังจากนั้นจึงลาออกจากราชการ เพื่อศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมประดิษฐ์ ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย