

การศึกษาค่าแรงยึดแบบเฉือน/ปอกของแบร็กเกตโลหะต่อพอร์ซเลนซึ่งผ่านการปรับสภาพผิว
ด้วยเจลเอพีเอฟ 1.23%



นายสุชนม์ วัตรจุীগุต

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-5710-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SHEAR/PEEL BOND STRENGTH OF METAL BRACKET TO PORCELAIN AFTER SURFACE
TREATMENT WITH APF 1.23%

MR.SUCHON VATARUGEGRID

สถาบันวิทยบริการ

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

Department of Orthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

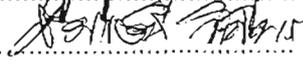
ISBN 974-17-5710 -7

สุชนม์ วัตรจิกฤต : การศึกษาค่าแรงยึดแบบเฉือน/ลอกของแบร็กเกตโลหะต่อพอร์ซเลนซึ่งผ่านการปรับสภาพผิวด้วยเจลเอพีเอฟ 1.23% (SHEAR/PEEL BOND STRENGTH OF METAL BRACKET TO PORCELAIN AFTER SURFACE TREATMENT WITH APF 1.23%) อ. ที่ปรึกษา : ศ.ทพญ.สมรตรี วิถีพร, 112 หน้า. ISBN 974-17-5710-7.

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ เพื่อเปรียบเทียบค่าแรงยึดแบบเฉือน/ลอกของแบร็กเกตโลหะต่อพอร์ซเลนซึ่งผ่านการปรับสภาพผิวสองวิธี

กลุ่มตัวอย่างเป็นชิ้นพอร์ซเลน จำนวน 60 ชิ้น (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม. หนา 4 มม.) ขจัดผิวเคลือบของพอร์ซเลนทุกชิ้นด้วยหัวกรอหินสีเขียวก่อนแบ่งเป็นกลุ่มอย่างสุ่ม 2 กลุ่ม (กลุ่มละ 30 ชิ้น) กลุ่มที่ 1 ปรับสภาพผิวพอร์ซเลนด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ (เอพีเอฟ) ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 นาน 10 นาที ส่วนกลุ่มที่ 2 ปรับสภาพผิวพอร์ซเลนด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับไซเลน หลังจากนั้นนำชิ้นตัวอย่างทั้งหมดมาติดแบร็กเกตโลหะซึ่งเป็นแบร็กเกตสำหรับฟันตัดซี่กลางบนด้วยวัสดุยึดชนิดบ่มตัวด้วยแสงและนำไปแช่ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบแรงยึด ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงทั่วไปอินสตรอนกำหนดตุ้มน้ำหนัก 250 นิวตัน ที่ cross head speed 0.5 มม.ต่อนาที จากนั้นทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดของทั้งสองกลุ่มด้วยสถิติ independent t- test ที่ระดับนัยสำคัญ .05

ผลการวิเคราะห์พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือน/ลอก ระหว่างกลุ่มที่ปรับสภาพผิวพอร์ซเลนด้วยเจลเอพีเอฟ (9.421 ± 1.925 เมกะปาสคาล) และกลุ่มที่ปรับสภาพผิวด้วยไซเลน (9.680 ± 1.913 เมกะปาสคาล) ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าเจลเอพีเอฟ 1.23% สามารถนำมาใช้เป็นทางเลือกในการปรับสภาพผิวพอร์ซเลนก่อนการติดแบร็กเกตได้ เมื่อมีการขจัดผิวเคลือบของพอร์ซเลนด้วยหัวกรอหินสีเขียวมาก่อน

ภาควิชา ทันตกรรมจัดฟัน ลายมือชื่อนิสิต 
 สาขาวิชา ทันตกรรมจัดฟัน ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
 ปีการศึกษา 2548

4776142832 : MAJOR ORTHODONTICS

KEY WORD: ORTHODONTIC BONDING / PORCELAIN SURFACE TREATMENT / APF 1.23%

SUCHON VATARUGEGRID : SHEAR/PEEL BOND STRENGTH OF METAL BRACKET TO PORCELAIN AFTER SURFACE TREATMENT WITH APF 1.23%.
 THESIS ADVISOR : PROF.SMORNTREE VITEPORN, 112 pp. ISBN 974-17-5710 -7.

The purpose of this study was to compare the shear/peel bond strength of metal bracket to the prepared porcelain surface with two surface preparations.

The sample comprised 60 porcelain disks (diameter 10 mm, thickness 4 mm). All were unglazed with green stone prior to randomly assigned into 2 groups (30 specimens each): group I the porcelain surface was etched with 1.23% acidulated phosphate fluoride gel (APF) for 10 minutes; group II the porcelain surface was prepared with silane primer. Afterthat, the central incisor metal bracket was attached to the prepared porcelain surface with a light cure adhesive resin and stored in distilled water for 24 hours at 37 °c. The shear/peel bond strengths was measured by the Instron Universal Testing machine with 250 Newton load cell at 0.5 mm/min cross head speed. Significant difference between the bond strengths of the two surface preparation procedures was analyzed with student T test at .05 level.

The result indicated that there was no significant difference between the shear/peel bond strength of the APF preparation (9.421±1.925 megapascals) and that of the silane primer (9.680±1.913 megapascals). Consequently, the APF 1.23% should be an alternative of surface preparation for bonding bracket to porcelain surface after unglazing with a green stone.

Department... Orthodontics..... Student's signature... *Suchon Vatarugegrid*
 Field of study... Orthodontics..... Advisor's signature... *Smorntree Vitiporn*
 Academic year... 2005.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้มีพระคุณหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิงสมรตรี วิถีพร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และคณาจารย์ในภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ต่อการวิจัย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนเงินอุดหนุนการวิจัย

ขอขอบคุณบริษัททันต-สยาม วิสาหกิจจำกัด และบริษัทแอดคอร์ดคอปเปอร์เซ็น จำกัด ที่ได้สนับสนุนวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ทันตแพทย์หญิงเดือนนภา ณ พัทลุง ที่ได้หาข้อมูลของการวิเคราะห์ไมโครลีสด้วยความรวดเร็วและตรงวัตถุประสงค์การใช้งานเป็นอย่างดี และขอขอบคุณ ทันตแพทย์หญิงอรอุมา สันติสุขนรินทร์ ที่ได้ช่วยถ่ายรูปประกอบและช่วยงานอีกหลายประการ

ท้ายที่สุด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ

บทที่

1	บทนำ	
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
	สมมติฐานการวิจัย.....	3
	ขอบเขตการวิจัย.....	3
	ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
	ข้อจำกัดของการวิจัย.....	4
	คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	5
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
	วิธีการดำเนินการวิจัย.....	6
	ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	6
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
	หลักการพื้นฐานของการยึดติด.....	7
	พอร์ชเลนทางทันตกรรม.....	12
	ไซเลนทางทันตกรรม.....	16
	กรดไฮโดรฟลูออริก.....	24
	ผลของแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ต่อพอร์ชเลน.....	27
	การยึดติดโดยตรงทางทันตกรรมจัดฟัน.....	33
	ระบบยึดติด.....	35
	การติดแบรคเกตกับพอร์ชเลน.....	36

	ณ
	หน้า
ภาคผนวก จ.....	104
ภาคผนวก ฉ.....	107
ภาคผนวก ช.....	108
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	112



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ญ
หน้า

ตารางที่ 1	ส่วนประกอบของพอร์ชเลนบางชนิด.....	13
ตารางที่ 2	ตัวอย่างไซเลนทางทันตกรรมที่ผลิตมาเพื่อจำหน่ายทางการค้า.....	22
ตารางที่ 3	การรักษาแผลไหม้เหตุกรดไฮโดรฟลูออริก.....	26
ตารางที่ 4	แอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ที่ผลิตมาเพื่อจำหน่ายทางการค้า.....	30
ตารางที่ 5	แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิวแบบวิกเกอร์และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพอร์ชเลน 6 กลุ่ม.....	70
ตารางที่ 6	แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสูงสุด/ต่ำสุด ของกำลังแรงยึดแบบเขื่อน/ปอก ระหว่างกลุ่มที่ปรับสภาพผิวด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟต-ฟลูออไรด์กับกลุ่มซึ่งทำไซเลน.....	71
ตารางที่ 7	ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือเมื่อเปรียบเทียบกับแรงที่กระทำให้แบรคเกตหลุด.....	74
ตารางที่ 8	ตัวอย่างของกำลังแรงยึดจากรายงานการทดสอบบางฉบับ D=จัดผิวเคลือบของพอร์ชเลน HF=กรดไฮโดรฟลูออริก Si=ไซเลนซึ่งใช้กรดกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา S=ไซเลนซึ่งไม่ใช้กรดกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา Sb=เป่าทราย P=ขัดด้วยผงหินพัมมิส Gr=ขัดด้วยหัวกรอหินสีเขียว APF=แอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์และ G=ไม่จัดผิวเคลือบของพอร์ชเลน T=พันธรรมชาติ.....	86
ตารางที่ 9	ค่าความแข็งผิว (HV) ของพอร์ชเลนทั้ง 6 กลุ่ม.....	100
ตารางที่ 10	ค่ากลางและการกระจายของค่าความแข็งผิวรวมของพอร์ชเลน 6 กลุ่ม.....	101
ตารางที่ 11	การเปรียบเทียบค่ากลางของค่าความแข็งผิวทั้ง 6 กลุ่มด้วยสถิติ Kruskal-Wallis ที่ระดับนัยสำคัญ .05	101
ตารางที่ 12	ค่าแรงยึดแบบเขื่อน/ปอกของแบรคเกตกับพอร์ชเลนซึ่งผ่านการปรับสภาพผิวด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23.....	102
ตารางที่ 13	ค่าแรงยึดแบบเขื่อน/ปอกของแบรคเกตกับพอร์ชเลนซึ่งผ่านการปรับสภาพผิวด้วยไซเลน.....	103
ตารางที่ 14	แสดงค่ากลางและการกระจายของข้อมูลของกลุ่มที่ปรับสภาพผิวด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์และไซเลน.....	104
ตารางที่ 15	แสดงการทดสอบการแจกแจงของค่ากำลังแรงยึดทั้ง 2 กลุ่มด้วยสถิติ One-Sample Kolmogorov-Smirnov.....	104

ตารางที่ 16	การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกำลังแรงยึดแบบเฉือน/ปอระหว่าง การปรับสภาพผิวด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์และไซเลนด้วยสถิติ independent t- test.....105
ตารางที่ 17	ค่าอัลฟาและเบต้าของการวิเคราะห์ไวบูลลีในกลุ่มที่ปรับสภาพผิวพอร์ซเลน ด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์.....110
ตารางที่ 18	ค่าอัลฟาและเบต้าของการวิเคราะห์ไวบูลลีในกลุ่มที่ปรับสภาพผิวพอร์ซเลน ด้วยไซเลน.....110
ตารางที่ 19	ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือเมื่อแบรกเกตได้รับแรงในขนาดต่าง ๆ111



รูปที่ 1	การสัมผัสกันแบบจุดต่อจุด (point-to-point contact) ของผิววัตถุแข็งในระดับจุลภาค....	8
รูปที่ 2	คำจำกัดความของ adhesive joint.....	9
รูปที่ 3	มุมสัมผัสระหว่างหยดของเหลวกับผิวเรียบ.....	11
รูปที่ 4	ความเป็นไปได้ในการไหลแผ่ของของเหลวนบนผิวแข็ง.....	11
รูปที่ 5	ชั้นต่าง ๆ ของพอร์ซเลนบนกรอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง.....	14
รูปที่ 6	โมเลกุลของเมธาครายลอกซีอัลคิลไซเลน.....	16
รูปที่ 7	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงให้เห็นว่าแก้วซึ่งมีลักษณะกลม ไม่รวมตัวกับคอมโพสิต.....	16
รูปที่ 8	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงให้เห็นว่าแก้วซึ่งปรับสภาพด้วย ไซเลนก่อน สามารถรวมตัวเป็นส่วนหนึ่งของคอมโพสิต.....	17
รูปที่ 9	ก) แผนภาพแสดงการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างไซเลนและกลุ่มไฮดรอกซิลที่พื้นผิว ข) เมื่อไซเลนแห้งจะเกิดพันธะโควาเลนต์ และมีการปล่อยน้ำออกไป.....	18
รูปที่ 10	ชั้นของไซเลนซึ่งยึดระหว่างซิลิกาและเรซินในทางทฤษฎีควรมีความหนาเพียงชั้นเดียว (monolayer) โดยที่โมเลกุลของไซเลนเรียงตัวตั้งฉากกับผิวซิลิกาทรงกลมสี่เหลี่ยมและ สีฟ้าที่ผิวหน้าของสารอัดแทรกเป็นกลุ่ม OH ของไซเลน ส่วนทรงกลมสีแดง ที่ผิวเรซิน เป็นคาร์บอนอะตอมซึ่งอยู่ติดกับพันธะ C=C ของไซเลน.....	19
รูปที่ 11	แสดงลักษณะการเรียงตัวหลายชั้น(multilayers)ของโมเลกุลไซเลน ซึ่งมักพบรูปแบบนี้ มากกว่า จะเห็นว่าโมเลกุลของไซเลนเพียงบางส่วนเท่านั้นที่เข้าทำปฏิกิริยากับผิวซิลิกา ได้ ส่วนที่เหลือจะกระจุกกระจายอยู่ทั่วไป.....	20
รูปที่ 12	แสดงโมเลกุลของโมโนฟังก์ชันนอลไซเลน.....	20
รูปที่ 13	แสดงโมเลกุลของบิสฟังก์ชันนอลไซเลน.....	21
รูปที่ 14	แสดงโมเลกุลของไตรฟังก์ชันนอลไซเลน.....	21
รูปที่ 15	ลักษณะผิวของเฟลสปาทิกพอร์ซเลนภายหลังการสัมผัสกับเจลแอซิดูเลตฟอสเฟต ฟลูออไรด์ความเข้มข้น 1.23 เป็นเวลานาน 30 นาที.....	28
รูปที่ 16	ลักษณะผิวของเฟลสปาทิกพอร์ซเลนภายหลังการสัมผัสกับเจลแอซิดูเลตฟอสเฟต ฟลูออไรด์ความเข้มข้น 1.23 เป็นเวลานาน 300 นาที.....	28

รูปที่ 17 ภาพแสดงการทำลายไฮดรอกซีซิลิกอนของกรดไฮโดรฟลูออริก โครงสร้างอย่างง่าย ของซิลิกาประกอบด้วยอะตอมสี่แดงคือซิลิกอน และสีน้ำเงินคือออกซิเจน(ซ้าย) สีเหลือง คือไฮโดรเจนประจุบวกส่วนสีเขียวคือฟลูออรีนไอออนประจุลบในโมเลกุลของกรดไฮโดร ฟลูออริก ประจุลบจะจับกับประจุบวกของซิลิกอน(กลาง) และแยกพันธะไฮดรอกซีซิลิกอนออก กลายเป็นกลุ่ม SiOH และ SiF.....	32
รูปที่ 18 กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ของบริษัท Ormco.....	57
รูปที่ 19 วัสดุยึดชนิดบ่มตัวด้วยแสงและสารโพรเมอร์ยี่ห้อ Transbond XT.....	57
รูปที่ 20 ผงเฟลสปาติกพอร์ซเลนชนิดเดนทินรุ่น VMK 95.....	57
รูปที่ 21 เจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 ของบริษัท Pascal.....	58
รูปที่ 22 ไฮเลน (ซ้าย) และกรดฟอสฟอริก (ขวา).....	58
รูปที่ 23 แบรกกเกตโลหะ รุ่นไดนาล็อก ก) ด้านบน ข) ฐานแบรกกเกต และ ค) ลักษณะของร่อง แบรกกเกตเมื่อมองทางด้านข้าง.....	58
รูปที่ 24 เตาเผาพอร์ซเลนยี่ห้อ ULTRA-MATE CDF.....	59
รูปที่ 25 กล้องจุลทรรศน์สามมิติ รุ่น EMZ-TR ของบริษัท MEJI TECHNO CO.LTD.....	59
รูปที่ 26 เครื่องทดสอบความแข็งแรงแบบวิกเกอร์ ก) ตัวเครื่อง ข) หัวกดทำด้วยเพชร และกล้องกำลังขยาย 50 เท่า 200 เท่า และ 500 เท่า.....	59
รูปที่ 27 หัวกรอหินสีเขียวทรงกระบอกพร้อมด้ามกรอซ้ำ.....	60
รูปที่ 28 เครื่องเขย่าความถี่เหนือเสียง รุ่น TRANSSONIC.....	60
รูปที่ 29 เครื่องฉายแสงรุ่น Spectrum 800.....	60
รูปที่ 30 ตู้อินคิวเบเตอร์ดิจิทัล ยี่ห้อ Contherm.....	61
รูปที่ 31 เครื่องทดสอบแรงทั่วไป (Instron universal testing machine) ก) ตัวเครื่องภายนอก ข) testing jig ด้านหน้า และ ค) testing jig ด้านหลัง.....	61
รูปที่ 32 แม่แบบซึ่งมีช่องทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม.สูง 4 มม.....	62
รูปที่ 33 พอร์ซเลนภายหลังการเผา แสดงด้านที่สัมผัสไฟเบอร์เทรย์มีลักษณะผิวด้าน (ซ้าย) และด้านซึ่งหันเข้าหาเตาเผามีลักษณะผิวมัน (ขวา).....	62
รูปที่ 34 ผิวพอร์ซเลนซึ่งขัดด้วยหัวกรอหินสีเขียว แสดงให้เห็นลักษณะผิวเรียบไม่มีความมัน.....	62
รูปที่ 35 ผิวพอร์ซเลนมีรอยค่างขาว (ครีซี) ซึ่งไม่นำมาทดลอง หากอยู่ตรงกับบริเวณที่จะติด แบรกกเกต (กำลังขยาย 20 เท่า).....	62

รูปที่ 36 ผิวพอร์ซเลนซึ่งมีลักษณะเป็นหลุม (ครีซี) หากอยู่ในบริเวณที่จะติดแบรคเกตจะ ไม่นำมาทดลอง (กำลังขยาย 20 เท่า).....	63
รูปที่ 37 ผิวพอร์ซเลนซึ่งมีลักษณะเป็นหลุม (ครีซี) ตามขอบ (กำลังขยาย 20 เท่า).....	63
รูปที่ 38 ผิวพอร์ซเลนซึ่งมีลักษณะเรียบ เหมาะสมแก่การติดแบรคเกต (กำลังขยาย 20 เท่า).....	64
รูปที่ 39 แสดงลักษณะรอยกดจากเครื่องทดสอบความแข็งผิวแบบวิกเกอร์ ซึ่งมีลักษณะรอยกด เป็นสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน.....	64
รูปที่ 40 แบรคเกตซึ่งติดบนพอร์ซเลนเรียบร้อยแล้ว.....	64
รูปที่ 41 แสดงแบรคเกตยึดบนหลอด เมื่อมองจากด้านบน (ซ้าย) มองจากด้านข้าง (ขวา).....	65
รูปที่ 42 ก) การจัดตำแหน่งของท่อวงในและท่อวงนอกก่อนใส่อะคริลิก ข) หลังใส่อะคริลิกเมื่อ มองจากด้านบน และ ค) ด้านข้าง.....	65
รูปที่ 43 ชิ้นงานที่พร้อมจะนำไปทดสอบ ก) มองจากด้านบน ข) มองจากด้านข้าง.....	65
รูปที่ 44 ชิ้นงานซึ่งแช่ในน้ำกลั่นก่อนนำไปเข้าสู่อินคิวเบเตอร์เพื่อควบคุมอุณหภูมิ.....	66
รูปที่ 45 แสดงชิ้นงานขณะติดตั้งเข้ากับเครื่องทดสอบแรงทั่วไป.....	66
รูปที่ 46 แสดงตำแหน่งของหัวกด ในขณะที่ทดสอบหัวกดจะค่อย ๆ เลื่อนลงมาสัมผัสแบรคเกต จนกระทั่งแบรคเกตหลุด.....	67
รูปที่ 47 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยแรงยึดของการปรับสภาพพอร์ซเลนด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟต ฟลูออไรด์และไฮเลน (นิวตัน).....	72
รูปที่ 48 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดของการปรับสภาพพอร์ซเลนด้วยเจลแอซิดูเลต ฟอสเฟตฟลูออไรด์และไฮเลน (เมกะปาสกาล).....	73
รูปที่ 49 กราฟแสดงความน่าจะเป็นของการอยู่รอดของแบรคเกตซึ่งยึดบนผิวพอร์ซเลนซึ่งผ่าน การปรับสภาพผิวสองวิธี.....	75
รูปที่ 50 ลักษณะของหัวกดวิกเกอร์.....	107

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การจัดฟันด้วยเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่นเป็นการรักษาที่มีประสิทธิภาพในการเคลื่อนฟันและควบคุมตำแหน่งฟันได้ดี โดยเครื่องมือจัดฟันยึดกับตัวฟันด้วยปลอกโลหะรัดฟัน (band) หรือยึดกับฟันโดยตรง (direct bond) ด้วยการใช้กรดกัดผิวฟันเพื่อให้เรซินยึดติดกับเคลือบฟัน

ในปัจจุบันนี้มีผู้ป่วยวัยผู้ใหญ่มารับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันมากขึ้น ผู้ป่วยเหล่านี้ อาจได้รับการรักษาทางทันตกรรมประดิษฐ์มาก่อนด้วยการใส่ฟันปลอมติดแน่นชนิดต่าง ๆ เช่น ครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง (porcelain fuse to metal crown) สะพานฟัน (bridge) หรือการใส่พอร์ซเลนวีเนียร์ (porcelain veneer) เป็นต้น เพื่อแก้ไขรูปร่างฟันหรือสีฟันที่ผิดปกติ ผู้ป่วยเหล่านี้ ทันตแพทย์จัดฟันไม่สามารถยึดเครื่องมือกับฟันปลอมด้วยปลอกโลหะได้เนื่องจากไม่สวยงามเมื่อใส่ที่ฟันหน้าและไม่สามารถใส่ปลอกโลหะที่สะพานฟันได้ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการยึดติดโดยตรงระหว่างแบรACKETกับผิวพอร์ซเลนของฟันปลอมให้มีค่ากำลังแรงยึดที่มากพอ แรงยึดทางคลินิกควรมีค่าประมาณ 60-80 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรจึงจะสามารถทนแรงจากการจัดฟันและแรงบดเคี้ยวได้ (Reynolds, 1975)

พอร์ซเลนที่ใช้ในทางทันตกรรมเป็นเซรามิกประเภทหนึ่งซึ่งมีส่วนประกอบหลักเป็น เฟลสปาร์ (feldspar) จึงมีผู้นิยมเรียกว่า เฟลสปาทิกพอร์ซเลน (feldspathic porcelain) พอร์ซเลนที่ผ่านกระบวนการเคลือบจะมีผิวที่เรียบมัน (O'Brien, 2002) Kukiattrakoon (2003) กล่าวว่า การเพิ่มแรงยึดของวัสดุยึดบนผิวจึงต้องมีการปรับสภาพผิวพอร์ซเลนซึ่งแบ่งได้เป็นสองแบบใหญ่ คือ การปรับสภาพผิวเพื่อให้เกิดแรงยึดเชิงกล ได้แก่ การกรอด้วยเข็มกรอกากเพชร การเป่าทราย (sandblast) การกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก หรือเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ หรือเจลเอพีเอฟ (acidulated phosphate fluoride: APF gel) และการปรับสภาพผิวเพื่อให้เกิดพันธะเคมี ได้แก่ การใช้ไซเลน (Silane)

การกรอด้วยเข็มกรอกากเพชรนั้น อาจทำให้ชิ้นงานแตกเพิ่มได้ การเป่าทรายอาจมีข้อจำกัดทางคลินิก ซึ่งบางคลินิกอาจไม่มีเครื่องเป่าทรายเนื่องจากเครื่องมือมีราคาสูง (ราคาประมาณ 10,000-15,000 บาท) และถ้าใช้ไม่ระมัดระวังอาจทำลายผิวพอร์ซเลนและขอบได้ ดังนั้น การเลือกใช้กรดไฮโดรฟลูออริกหรือ เจลเอพีเอฟปรับสภาพผิวพอร์ซเลน น่าจะเป็นวิธีการที่

ค่อนข้างเหมาะสมในทางปฏิบัติมากที่สุดเนื่องจากสามารถหาได้ง่าย ราคาไม่แพง มีความปลอดภัย เนื่องจากใช้ในช่องปากอยู่แล้วและทำได้ทั่วผิวพอร์ซเลน ซึ่งก่อให้เกิดการปรับสภาพผิวที่สม่ำเสมอ (Kukiattrakoon, 2003)

แต่การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกมีข้อควรระวังคือ อาจทำให้เกิดผื่นใหม่ได้เมื่อสัมผัสกับเนื้อเยื่ออ่อน ซึ่ง Wilson, Sanger และ Boswick (1979) ได้รายงานผู้ป่วยซึ่งเป็นนักศึกษาทันตแพทย์ สัมผัสโดนกรดไฮโดรฟลูออริก (ในรายงานฉบับนี้ไม่ได้ระบุความเข้มข้นของกรด) เป็นระยะเวลาเพียง 20-30 วินาทีแต่เกิดอาการปวดรุนแรงได้นานถึง 3 วัน นิ้วที่สัมผัสโดนกรดมีเล็บหลุดและเกิดแผลไหม้ร่วมกับการทำลายเนื้อเยื่อที่นิ้วมือหลังจากสัมผัสกรดแล้วเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ผู้ป่วยรายนี้ต้องรักษานานถึง 45 วัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Fujimoto และคณะ (2002) ที่ว่าอาการบวมหรือมีผื่นใหม่จากการสัมผัสกรดจะเห็นได้ในหลายชั่วโมงถัดไปหลังจากมีการสัมผัสกรดไฮโดรฟลูออริก แต่จะมีอาการปวดรุนแรง โดยไม่มีอาการทางผิวหนังให้เห็นก่อนต่างจากกรดทั่วไปซึ่งจะปรากฏอาการทางผิวหนังหลังสัมผัสกรดทันที ในรายงานฉบับนี้ได้รายงานผู้ป่วย 2 คนสัมผัสกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้น 9.5% ซึ่งผสมอยู่ในน้ำยาทำความสะอาด จะเห็นว่าความเข้มข้นในรายงานนี้เป็นความเข้มข้นส่วนใหญ่ของกรดไฮโดรฟลูออริกที่ผลิตมาจำหน่ายทางการค้าเพื่อใช้ในงานทันตกรรม ดังนั้นหากกรดนี้สัมผัสโดนเนื้อเยื่อในช่องปากก็น่าจะให้ผลเหมือนกัน

ดังนั้นจะเห็นว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกปรับสภาพผิวฟันอาจทำให้เกิดอันตรายได้ทั้งกับตัวทันตแพทย์และผู้ป่วยจึงควรใช้ด้วยความระมัดระวังด้วยการใช้แผ่นยางกันน้ำลายทุกครั้ง ส่วนการใช้ไซเลนไพรเมอร์แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพดีแต่ก็ทำให้เกิดการแตกหักในส่วนของพอร์ซเลนซึ่งเป็นสิ่งไม่พึงประสงค์ภายหลังการถอดเครื่องมือจัดฟัน นอกจากนั้นไซเลนยังมีการระเหยที่เร็วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยไซเหตุ มีราคาแพงเมื่อเทียบกับปริมาณ (Ormco Porcelain Bonding Primer 12 cc. ราคาประมาณ 1,000 บาท) และมีอายุการเก็บที่สั้น การเลือกใช้เจลเอพิเอฟในการปรับสภาพผิวพอร์ซเลน น่าจะเป็นวิธีการที่ค่อนข้างเหมาะสมในทางปฏิบัติที่สุด เนื่องจากสามารถหาได้ง่ายในคลินิกทันตกรรมทั่ว ๆ ไป นอกจากนั้นเจลเอพิเอฟยังมีราคาไม่แพง มีอายุการเก็บที่นาน มีความปลอดภัย เนื่องจากใช้ในช่องปากอยู่แล้ว

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเจลเอพิเอฟความเข้มข้นร้อยละ 1.23 มาใช้ในการปรับสภาพผิวของพอร์ซเลนก่อนการยึดกับเบรคเกตด้วยวัสดุฉายแสง โดยเปรียบเทียบกับ การปรับสภาพด้วยไซเลนว่าให้ค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือน/ลอกที่เพียงพอต่อการใช้งานทางด้านทันตกรรมจัดฟันหรือไม่ เพื่อให้เกิดการยึดติดของเบรคเกตตลอดการรักษา นอกจากนั้นการวิจัยนี้จะช่วยให้ทันตแพทย์จัดฟันได้เลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพพอต่อการใช้งาน หาได้ง่ายและมีราคาไม่แพง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือน/ลอก ของแบร็กเกตโลหะต่อผิวพอร์ซเลน ซึ่งผ่านการเตรียมผิวด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 เป็นเวลา 10 นาที กับการเตรียมผิวด้วยไฮเลน และยึดแบร็กเกตกับพอร์ซเลนด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสง

สมมติฐานการวิจัย

ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบเฉือน/ลอกของแบร็กเกตโลหะต่อผิวพอร์ซเลน ซึ่งปรับสภาพด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 นาน 10 นาที ไม่แตกต่างจากการปรับสภาพผิวด้วยไฮเลน

ขอบเขตการวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างเป็นชิ้นพอร์ซเลน ซึ่งมีผิวเรียบมันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร หน้า 4 มิลลิเมตร ผ่านขั้นตอนการผลิตของห้องปฏิบัติการทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ผงพอร์ซเลนรุ่น VMK-95 ของบริษัท VITA เยอรมัน เป็นพอร์ซเลน ชนิดเฟลสปาติก

2. วัสดุยึดชนิดบ่มตัวด้วยแสง คือ Transbond XT ของบริษัท 3M สหรัฐอเมริกาเป็นวัสดุยึดที่ไม่ต้องผสม

3. แอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 (Topical Fluoride Gel, Pascal Corp., WA, USA) ค่าความเป็นกรดต่าง 3.5 ± 0.5

4. ไฮเลนที่ยังไม่ผ่านการไฮโดรไลซ์ คือ Porcelain Primer ของบริษัทOrmco สหรัฐอเมริกา

5. แบร็กเกตที่ใช้ เป็นแบร็กเกตโลหะสำหรับฟันตัดซี่กลางบนแบบมาตรฐาน ของบริษัท Unitek ขนาดของร่อง (slot) 0.018 นิ้ว มีชื่อทางการค้า คือ ไดนาล็อก (Dyna-lock™) ฐานมีลักษณะเป็นร่อง (undercut channel base) มีพื้นที่ฐานเฉลี่ย 15.25 ตารางมิลลิเมตร (ข้อมูลจากบริษัทผู้นำเข้า) เป็นแบร็กเกตที่ใช้ในคลินิกบัณฑิตศึกษา ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. เป็นการศึกษเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบเฉือน/ลอกระหว่างแบร็กเกตโลหะกับพอร์ซเลนซึ่งผ่านการปรับสภาพผิวด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์หรือเจลเอพีเอฟ ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 ปรับสภาพผิวนาน 10 นาที เปรียบเทียบกับการทำผิวด้วยไฮเลน

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. แบริกเกตทุกตัวที่ใช้ในการทดลองนี้ได้รับการออกแบบเฉพาะ เพื่อใช้สำหรับฟันตัด และเป็นชนิดที่มีลักษณะของร่องแบบมาตรฐาน (standard edgewise) เท่านั้น โดยมีความหนาและขนาดของแบริกเกตแตกต่างกันไปตามแบบของบริษัทผู้ผลิต โดยแบริกเกตแต่ละตัวของแบบใดแบบหนึ่ง จะมีคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ การวิจัยนี้ไม่ครอบคลุมถึงแบริกเกตโลหะแบบอื่นของบริษัทนี้ รวมทั้งไม่ครอบคลุมแบริกเกตโลหะของบริษัทอื่น ๆ

2. ชิ้นงานพอร์ซเลนทุกชิ้นผลิตจากแม่แบบตัวเดียวกัน โดยช่างทันตกรรมคนเดียวกัน ถือว่ามีคุณสมบัติเหมือนกัน

3. ค่าแรงยึดแบบเฉือน/ปอก มีหน่วยเป็นนิวตัน ศึกษาโดยเครื่องทดสอบแรงทั่วไป (Instron universal testing machine) ซึ่งอ่านค่าเป็นกราฟได้ละเอียดถึง 0.1 นิวตัน ด้วยแรงดึงที่ความเร็ว 0.5 มิลลิเมตร/นาที

4. กรรมวิธีการติดแบริกเกตด้วยวิธีไดเรกบอนด์ ถือเป็นมาตรฐานเดียวกันเนื่องจากกระทำโดยบุคคลเดียวกัน

5. การยึดแบริกเกตกับผิวพอร์ซเลนด้วยไซเลนไพรเมอร์และคอมโพสิตเรซินเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการติดแบริกเกตกับผิวพอร์ซเลนด้วยวิธีเตรียมพื้นผิวอื่น ๆ

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. องค์ประกอบอื่นที่มีผลต่อการยึดของแบริกเกตกับฟัน เช่น แรงบิดเคี้ยว ลักษณะการสบฟัน ความชื้นจากน้ำลายในช่องปาก ความสะอาดของฟันเป็นต้น ไม่สามารถศึกษาได้ในสภาพการทดลองในห้องปฏิบัติการ

2. ผลการวิจัยไม่สามารถอ้างอิงไปถึงแบริกเกตโลหะชนิดอื่นซึ่งมีลักษณะฐานแตกต่างกันไปจากแบริกเกตที่ทดลอง

3. ผลการวิจัยไม่สามารถอ้างอิงไปถึงวัสดุยึดชนิดอื่น ที่ไม่ใช่ Transbond XT

4. ผลการวิจัยไม่สามารถอ้างอิงไปถึงไซเลนชนิดอื่น ที่ไม่ใช่ Porcelain primer ของบริษัท Ormco

5. ผลการวิจัยไม่อ้างอิงไปถึงพอร์ซเลนชนิดอื่นที่ไม่ใช่เฟลสปาร์ติกพอร์ซเลนที่ใช้ทำส่วนเดนทีน รุ่น VMK-95 ของบริษัท VITA

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1. การยึดแบร็กเกตด้วยวิธีไดเรกบอนด์ หมายถึง การใช้เรซินยึดแบร็กเกตกับฟันโดยตรง ภายหลังจากใช้กรดกัดผิวเคลือบฟันบริเวณที่จะยึดแบร็กเกตบางส่วนออกก่อน แต่ในการวิจัยนี้ จะมีความหมายรวมถึงการใช้เรซินยึดแบร็กเกตติดกับผิวพอร์ซเลนโดยตรง

2. ความเค้น (stress) หมายถึง แรงต้านที่เกิดขึ้นภายในวัสดุใดวัสดุหนึ่ง เมื่อมีน้ำหนัก แรงดึง แรงอัด หรือแรงอื่นๆ มากระทำกับวัสดุนั้น ค่าของความเค้นวัดได้จากแรงหรือน้ำหนัก ที่กระทำต่อหน่วยพื้นที่ที่วัสดุนั้นถูกกระทำ มีหน่วยเป็น แรงต่อหน่วยพื้นที่ คือ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ เมกะปาสคาล (MPa) (เมกะปาสคาล คือ เมกะนิวตันต่อตารางเมตร หรือ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

3. กำลังแรง(strength) หมายถึง ความเค้นสูงสุดที่วัสดุสามารถต้านทานได้ เมื่อมีแรงมากระทำ หน่วยของค่ากำลังแรงใช้หน่วยเดียวกับความเค้น

4. แรงเฉือน/ลอก (shear/peel force) หมายถึง แรงที่กระทำกับแบร็กเกตที่ยึดอยู่กับผิวพอร์ซเลน ในทิศทางที่ขนานกับฐานของแบร็กเกตในแนวตั้ง (vertical) แต่ไม่ผ่านฐานแบร็กเกต เช่นกระทำกับปีกของแบร็กเกต ทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาในวัสดุที่ยึดแบร็กเกตกับผิวพอร์ซเลนในลักษณะของแรงเฉือน (shear force) ร่วมกับแรงกด (compressive force) และแรงดึง (tensile force) ในลักษณะของแรงคู่ควบ (moment of force)

5. กำลังแรงยึดแบบเฉือน/ลอก (shear/peel bond strength) หมายถึงความเค้นสูงสุดที่วัสดุสามารถต้านทานได้ เมื่อมีแรงเฉือน/ลอกมากระทำ

6. วัสดุยึด (bonding agent) คือ วัสดุโพลีเมอร์ที่ใช้ในการยึดแบร็กเกตกับผิวพอร์ซเลน

7. แอซีดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 (APF 1.23%) คือ ฟลูออไรด์เจลที่มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ 12300 ppm หรือ 12.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

8. ไฮเลน คือ สารจำพวกออร์แกโนฟังก์ชันแนล ไตรอัลคอกซีไฮเลน (organofunctional trialkoxysilane) ซึ่งมีคุณสมบัติใช้ยึดผิวพอร์ซเลนให้ติดกับวัสดุยึดประเภทเรซินได้

9. การทดสอบความแข็งแบบไมโครฮาร์ดเนส (Microhardness Tester) คือ การวัดความแข็งโดยใช้แรงทดสอบที่น้อย โดยที่แรงอยู่ระหว่าง 1 ถึง 1,000 กรัม

10. หัวกดทดสอบวิกเกอร์ (Vicker Indenter) คือ หัวกดทดสอบรูปพีระมิดทำด้วยเพชร ยอดพีระมิดหุนุ่ ทำมุม 136 องศา เมื่อกดทดสอบบนชิ้นงานจะได้รอยกดรูปพีระมิด เหมาะสำหรับการทดสอบวัสดุที่เปราะ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นแนวทางสำหรับทันตแพทย์ ในการพิจารณาเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการเตรียมผิวพอร์ซเลนด้วยวัสดุที่หาได้ง่ายในคลินิกทันตกรรมเพื่อให้เกิดการยึดติดอย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอแก่การทำงาน และเป็นวิธีที่เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ป่วย

วิธีดำเนินการวิจัย

เป็นการศึกษาเชิงวิเคราะห์ (Analytical study) ซึ่งอาศัยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

1. หาค่าความแข็งผิวแบบวิกเกอร์ของกลุ่มตัวอย่าง และนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติ Kruskal-Wallis ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05

2. หาค่าเฉลี่ย (mean : \bar{x}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือน/ปอก ของแบร็กเกตกับผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการเตรียมพื้นผิว 2 วิธี หน่วยเป็นเมกะปาสคาล (MPa)

3. ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบเฉือน/ปอกของแบร็กเกตกับพอร์ซเลน ที่ผ่านการเตรียมผิวด้วยวิธีการต่างกัน ใช้สถิติ independent t-test วิเคราะห์ข้อมูลที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ.05

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การบูรณะฟันด้วยครอบฟันพอร์ซเลนได้รับความนิยมมากยิ่งขึ้นในปัจจุบัน เช่น การใส่ครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง การใส่วีเนียร์ และใส่สะพานฟัน เป็นต้น ผู้ป่วยเหล่านี้ส่วนหนึ่งเป็นผู้ป่วยที่มารับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน ทันตแพทย์จัดฟันจึงจำเป็นต้องติดเครื่องมือต่าง ๆ เช่น แบริกเกตบนฟันปลอมเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความยุ่งยากที่มักเกิดขึ้น คือ ความล้มเหลวในการยึดติดระหว่างการรักษาหรือมีการแตกหักของพอร์ซเลนเมื่อถอดแบริกเกตในเวลาสิ้นสุดการรักษา (Bourke และ Rock 1999)

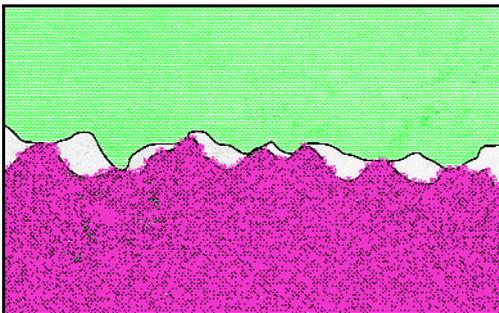
การที่จะยึดแบริกเกตกับพอร์ซเลนได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีทางเลือกได้หลายวิธี ได้แก่ การปรับสภาพผิวของพอร์ซเลนเพื่อส่งเสริมการยึดติด การปรับสภาพด้วยไซเลนเพื่อให้เกิดการสร้างพันธะเคมี การใช้วัสดุยึดติดชนิดใหม่ ๆ เป็นต้น วิธีการปรับสภาพผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดทำได้ทั้งกรณีที่ขัดผิวเคลือบและไม่ขัดผิวเคลือบของพอร์ซเลนออก วิธีการเหล่านี้มีข้อได้เปรียบมากมายเกี่ยวกับผลการวิจัยที่ผ่านมา

หลักการพื้นฐานของการยึดติด (Adhesion)

การยึดติดหรือแอดฮีชัน อธิบายได้ว่า คือ แรงที่ใช้ในการยึดวัสดุสองชนิดที่แตกต่างกันเข้าด้วยกันจนสัมผัสกันอย่างแนบสนิท (Noort, 2002)

การติดแน่นระหว่างของแข็ง

เมื่อพิจารณาในระดับอะตอมจะพบว่าของแข็งมีพื้นผิวที่ขรุขระ เมื่อประกบกันจะมีการสัมผัสอย่างแนบสนิทเฉพาะบางบริเวณที่เป็นปลายยอดของผิวนั้น ไม่ได้เกิดความแนบสนิททุกส่วน (รูปที่ 1) เมื่อมีความพยายามที่จะเลื่อนโมเลกุลของชนิดนั้นจะเกิดแรงต้านที่เรียกว่าแรงเสียดทานเกิดขึ้น ทำให้ยากแก่การแยกวัสดุสองชนิดออกจากกัน



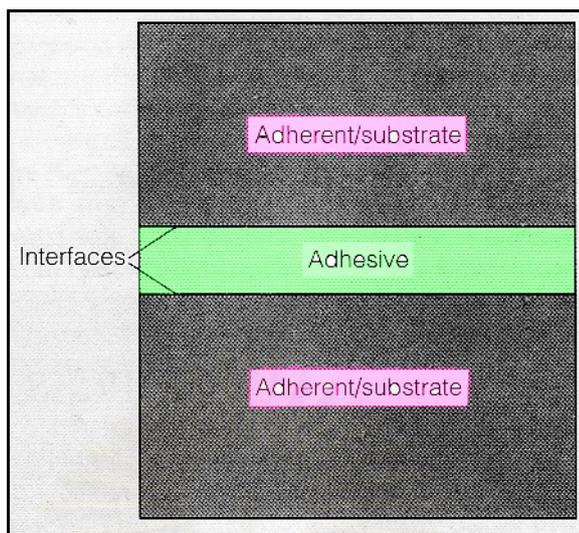
รูปที่ 1 การสัมผัสกันแบบจุดต่อจุด (point-to-point contact) ของผิววัตถุแข็งในระดับจุลภาค (Noort, 2002)

การติดแน่นระหว่างของแข็งและของเหลว

ตัวอย่างที่พบเห็นได้ง่ายที่สุดคือการหยดของเหลวลงบนแผ่นแก้วแล้วนำแผ่นแก้วสองแผ่นมาประกบกัน แม้ว่าพยายามจะดึงแผ่นแก้วออกหรือเขย่าหรือซับน้ำให้แห้งก็ยากที่จะแยกแผ่นแก้วออกจากกันเนื่องจากจะมีน้ำเหลือเป็นชั้นบาง ๆ อยู่เสมอ หากต้องการแยกออกจากกันจริง ๆ จะต้องอุ่นให้ร้อนเพื่อให้ไอน้ำให้ระเหยออกไป การติดแน่นเช่นนี้ได้จากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล ซึ่งเรียกว่าแรงแวนเดอวาลส์ (Van der Waals)

อาจกล่าวได้ว่าสิ่งจำเป็นขั้นพื้นฐานเพื่อให้เกิดการติดแน่นที่ติระหว่างสิ่งของสองสิ่งคือ ต้องมีการสัมผัสกันในระดับโมเลกุล ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เนื่องจากระยะห่างระหว่างโมเลกุลที่จะสัมผัสกันมีระยะประมาณ 0.0007 ไมโครเมตรจึงจะเกิดการติดแน่นได้ แต่ในกรณีที่เป็นของแข็งสองชนิดการเข้าใกล้ขนาดนี้จึงดูเหมือนว่าจะเป็นไปได้ จึงต้องมีตัวถูกเปลี่ยนตติยภูมิ (third substrate) ซึ่งมักจะเป็นของเหลวหรือสารที่อยู่ในภาวะกึ่งเหลวกึ่งแข็งมาเป็นตัวกลางในการเชื่อม

ตัวกลางในการเชื่อมวัสดุสองชนิดเข้าด้วยกันเรียกว่าสารยึดติดหรือแอดฮีซีฟ (adhesive) ส่วนผิวหน้าของวัสดุที่นำมายึดเรียกว่าแอดฮีเรนต์ (adherent) หรือตัวถูกเปลี่ยน (substrate) บริเวณที่วัสดุพบกับสารยึดเรียกว่าอินเทอร์เฟซ (interface) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 คำจำกัดความของ adhesive joint (Noort, 2002)

กลไกของการยึดติด

Lee และ Orłowski (1974) ได้แบ่งกลไกของการยึดติดเป็น 2 แบบ คือ

1. การยึดติดทางกล (Mechanical adhesion)
 1. การยึดด้วยผลทางเรขาคณิต (Geometrical effect)
 2. การยึดด้วยผลของรีโอโลจิก (Rheological effect)
 2. การยึดติดทางเคมี (Chemical adhesion)
 1. การยึดด้วยแรงวาเลนซ์ปฐมภูมิ (Primary Valence force)
 2. การยึดด้วยแรงวาเลนซ์ทุติยภูมิ (Secondary Valence force)
1. การยึดติดทางกล
 1. การยึดด้วยผลทางเรขาคณิต คือ การยึดติดของวัสดุที่เกิดจากรูพรุนขนาดเล็กหรือความหยابที่พื้นผิว ทำให้เกิดการเกาะเกี่ยวทางกล (mechanical hooking)
 2. การยึดด้วยผลของรีโอโลจิก คือ การยึดที่มีผลจากการหดตัวของวัสดุ เกิดจากวัสดุซึ่งอยู่ในภาวะของเหลวหรือของแข็ง ไหลไปตามส่วนยื่นของพื้นผิว เมื่อวัสดุแข็งจะมีการหดตัว และเกิดการเกาะเกี่ยวทางกลอย่างแน่นหนา เรียกว่า “shrink fit”
 2. การยึดติดทางเคมี (Lee และ Orłowski 1974; Noort, 2002)
 1. การยึดด้วยแรงวาเลนซ์ปฐมภูมิ เกิดขึ้นเมื่อนำอะตอมมาเชื่อมกัน ให้เกิดเป็นโมเลกุล พันธะระหว่างอะตอมมี 3 ชนิด คือ
 1. พันธะไอออนิก (ionic bonds)

2. พันธะโควาเลนต์ (covalent bonds)

3. พันธะโลหะ (metallic bonds)

2. การยึดด้วยแรงวาเลนซ์ทุติยภูมิ

เป็นผลตามของการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน โดยนิวเคลียสของอะตอม (atomic nuclei) ปลายของโมเลกุลข้างหนึ่งมีประจุบวกอย่างอ่อน ในขณะที่ปลายอีกด้านจะมีประจุลบเล็กน้อย ทำให้เกิดความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้า เรียกว่า อิเล็กตริกไดโพล (electric dipole) ซึ่งไดโพลนี้ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลได้ แต่เป็นแรงยึดที่ไม่แข็งแรง เรียกว่าแรงแวนเดอวาลส์ (Van der Waal's force) ซึ่งจะน้อยกว่าแรงวาเลนซ์ปฐมภูมิ แรงยึดระหว่างไดโพลชนิดพิเศษคือ พันธะไฮโดรเจน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างแรงยึดทางกลกับแรงยึดทางเคมี ได้แก่ โมเลกุลของน้ำ โดยออกซิเจนซึ่งมีประจุลบจะดึงดูดไฮโดรเจนที่มีประจุบวกของโมเลกุลอื่น

ปัจจัยที่มีผลต่อการยึดติด

1. คุณสมบัติของพื้นผิวที่ต้องการยึด (Surface properties)

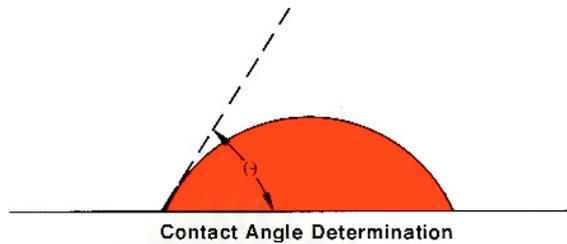
Buonocore (1975) กล่าวถึงเหตุผลที่พื้นผิวขรุขระ (surface roughness) ทำให้มีแรงยึดกับวัสดุเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีพื้นผิวในการสัมผัสกับวัสดุมากขึ้น ต้านทานต่อแรงเฉือนและช่วยเพิ่มการยึดทางกล

ความขรุขระของพื้นผิวทำให้วัสดุมีกำลังแรงยึดเพิ่มขึ้น แต่อาจมีผลตามมาคือ การกักอากาศ ซึ่งเป็นการลดบริเวณสัมผัสระหว่างวัสดุยึดและพื้นผิวได้ อย่างไรก็ตามหากพื้นผิวที่ขรุขระถูกทำให้เปียกจะเพิ่มพื้นที่สัมผัสและทำให้มีแรงยึดที่ดีขึ้น (Combe, 1986) หากไม่มีการกักอากาศสารยึดจะไหลแผ่เข้าไปยังร่องหรือรอยแยกต่าง ๆ บนผิวที่ต้องการยึดด้วยแรงแคปิลลารี (capillary action) ซึ่งต้องมากพอที่จะชนะแรงจากอากาศที่กักอยู่บริเวณร่องเหล่านั้นได้ จึงจะช่วยเพิ่มการยึดติดได้ (Noort, 2002)

2. การทำให้ผิวเปียก (Wettability)

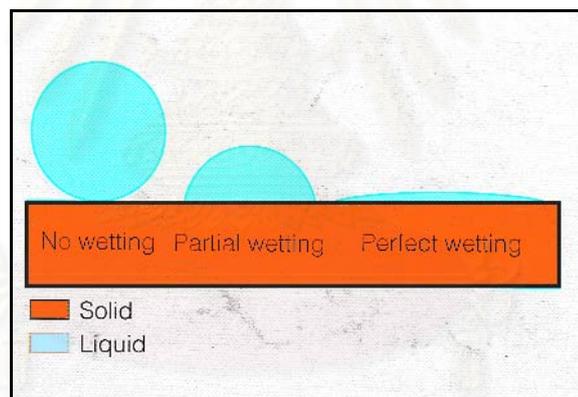
การดูดซับของเหลวบนพื้นผิวแข็งเกิดเมื่อของเหลวนั้นทำให้พื้นผิวเปียก คุณสมบัติดังกล่าววัดได้จาก มุมสัมผัสของหยดของเหลวบนพื้นผิว (contact angle) (รูปที่ 3) ซึ่งขึ้นกับพลังงานที่พื้นผิวของของแข็งและแรงดึงดูดของของเหลว (เรียกพลังงานที่พื้นผิวของของเหลวว่าแรงตึงผิว) วัสดุที่มีพลังงานอิสระที่พื้นผิวดำ (low free surface energy หรือ critical surface

energy) จะทำให้เปียกได้ยาก การเพิ่มพลังงานพื้นผิวทำได้หลายวิธี สำหรับเคลือบพื้นทำได้ โดยการใช้กรดกัด



รูปที่ 3 มุมสัมผัสระหว่างหยดของเหลวกับผิวเรียบ (Combe, 1986)

มุมสัมผัสของหยดของเหลวกับพื้นผิวแข็งในทางอุณหพลศาสตร์มีค่าเป็นศูนย์เพื่อให้มีการไหล แผ่ไปบนผิวสัมผัสได้ดี เกิดค่าแรงยึดสูงสุด หากของเหลวมีค่าแรงตึงผิวต่ำกว่า critical surface energy ของของแข็งจะทำให้ไหลแผ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นของเหลวซึ่งมีพลังงานพื้นผิวต่ำ จึงไหลแผ่ไปบนของแข็งที่มีพลังงานพื้นผิวสูงได้เป็นอย่างดี (Noort, 2002) (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 ความเป็นไปได้ในการไหลแผ่ของของเหลวบนผิวแข็ง (Noort, 2002)

3. ความข้นหนืดของสารยึด (Viscosity)

การที่สารยึดจะมีการยึดได้อย่างมีประสิทธิภาพนอกจากขึ้นกับมุมสัมผัสแล้วยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการไหลแผ่ด้วย สารยึดที่มีความข้นหนืดมากเกินไปเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการทางคลินิก เนื่องจากจะไม่สามารถไหลเข้าไปตามร่องเล็ก ๆ บนผิวของของแข็งได้ ดังนั้นสารที่มีมุมสัมผัสต่ำก็จริงแต่หากมีความข้นหนืดมากก็ย่อมมีแรงต้านทานต่อการไหลแผ่ได้มากเช่นกัน (Noort, 2002)

พอร์ซเลนทางทันตกรรม

O' Brien (2002) ให้คำจำกัดความของพอร์ซเลนว่า คือเซรามิกสีขาวลักษณะโปร่งแสงที่ผ่านการเผาจนมีลักษณะคล้ายแก้ว พอร์ซเลนทางทันตกรรมจำแนกตามอุณหภูมิหลอมตัวได้ 3 ประเภทคือ

- | | |
|-----------------|--|
| 1.High fusing | 1,288 – 1,371 องศาเซลเซียส (2,350-2,500 องศาฟาเรนไฮต์) |
| 2.Medium fusing | 1,093-1,260 องศาเซลเซียส (2,000-2,300 องศาฟาเรนไฮต์) |
| 3.Low fusing | 660-1,066 องศาเซลเซียส (1,220-1,950 องศาฟาเรนไฮต์) |

พอร์ซเลนทางทันตกรรมมีผู้เรียกไว้หลายชื่อ บางท่านอาจเรียกว่าเซรามิกซึ่งเป็นคำเรียกทั่วไปไม่จำเพาะเจาะจง บางท่านเรียกว่า “เดนทัล” พอร์ซเลนหรือเฟลสปาทิก (feldspathic) พอร์ซเลนซึ่งให้คำอธิบายที่จำเพาะกว่า และสามารถแบ่งตามการใช้งานโดยยึดอุณหภูมิหลอมตัวเป็นหลัก (Naylor, 1992)

พอร์ซเลน 3 ประเภทข้างต้นมีคุณสมบัติเฉพาะ แต่พอร์ซเลนชนิดหลอมตัวที่อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิปานกลางมีส่วนประกอบและโครงสร้างทางจุลภาค (microstructure) เหมือนกัน พอร์ซเลนชนิดหลอมตัวที่อุณหภูมิสูงใช้ทำซีฟฟันปลอม พอร์ซเลนชนิดหลอมตัวที่อุณหภูมิปานกลางมักใช้ทำฟันเขavn (pontic) ส่วนพอร์ซเลนชนิดหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำใช้ทำครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง (metal ceramic restoration)

พอร์ซเลนประเภทที่ 4 คืออะลูมินัสพอร์ซเลน (aluminous porcelain) ซึ่งได้จากการเติมอะลูมินาลงในเฟลสปาทิกพอร์ซเลนชนิดหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำ โดยเติมไปประมาณ 40-50% โดยน้ำหนักเพื่อทดแทนโลหะที่ใช้รองรับพอร์ซเลน และใช้อะลูมินัสพอร์ซเลนนี้ทำเป็น porcelain jacket crown

ส่วนประกอบทางเคมีของพอร์ซเลนทางทันตกรรม

พอร์ซเลนมีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน ในปริมาณที่แตกต่างกันไปตามชนิดและยี่ห้อของพอร์ซเลน (ตารางที่ 1) คือ

- 1.Feldspar ($K_2O-Al_2O_3-6SiO_2$ และ $Na_2O-Al_2O_3-6SiO_2$)

ทำหน้าที่เป็นเนื้อพื้น (matrix) ของพอร์ซเลน

- 2.Quartz (SiO_2)

ควอทซ์หลอมตัวที่อุณหภูมิสูง ทำหน้าที่เป็นโครงร่าง (framework) ให้แก่องค์ประกอบอื่น ๆ ไหลเข้าไปอยู่ มีหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่พอร์ซเลน

- 3.Alumina (Al_2O_3)

เป็นออกไซด์ที่แข็งและแข็งแรงที่สุดในพอร์ซเลน ละลายตัวเล็กน้อยในพอร์ซเลนชนิด อุดมหมู่มีหลอมตัวต่ำและมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อนใกล้เคียงกัน ช่วยเพิ่มความ แข็งแรงโดยทั่วไปและเพิ่มความเหนียวของหลอมตัว

4. Kaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

กาแลนหรือดินขาว ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน (binder) และเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูป หรือการปั้นแต่งให้กับพอร์ซเลนซึ่งยังไม่ผ่านการเผา เนื่องจากกาแลนมีความทึบแสงจึงใส่ใน ปริมาณน้อยมาก และไม่ใส่ในพอร์ซเลนซึ่งทำเป็นชั้นของเคลือบฟันเนื่องจากจะลดความใสของ พอร์ซเลน

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของพอร์ซเลนบางชนิด (O' Brien, 2002)

Compound	Bident opaque	Ceramco opaque	VMK opaque	Bident dentin	Ceramco dentin	VMK dentin
SiO_2	52.0	55.0	52.4	56.9	62.2	56.8
Al_2O_3	13.55	11.65	15.15	11.80	13.40	16.30
CaO	—	—	—	0.61	0.98	2.01
K_2O	11.05	9.6	9.9	10.0	11.3	10.25
Na_2O	5.28	4.75	6.58	5.42	5.37	8.63
TiO_2	3.01	—	2.59	0.61	—	0.27
ZrO_2	3.22	0.16	5.16	1.46	0.34	1.22
SnO_2	6.4	15.0	4.9	—	0.5	—
Rb_2O	0.09	0.04	0.08	0.10	0.06	0.10
BaO	1.09	—	—	3.52	—	—
ZnO	—	0.26	—	—	—	—
UO_3	—	—	—	—	—	0.67
$\text{B}_2\text{O}_3, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$	4.31	3.54	3.24	9.58	5.85	3.75

*Data from Nally and Meyer, 1970.

พอร์ซเลนที่ใช้ทำครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องสามารถแบ่งเป็นชั้นต่าง ๆ (รูปที่ 5) ได้ ดังนี้

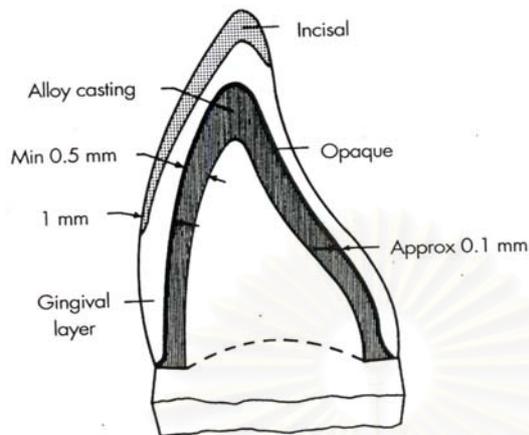
1. Opaque porcelain

ใช้ปิดสีโลหะซึ่งเป็นโครงรองรับครอบฟัน พอร์ซเลนชนิดนี้ทำให้มีความทึบแสงโดยการ เติมออกไซด์ซึ่งไม่ละลายน้ำลงไป เช่น ดีบุกออกไซด์ (SnO_2) ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) เซอร์โคเนียมออกไซด์ (ZrO_2) เป็นต้น

2. Body porcelain

บอดีพอร์ซเลนเป็นคำเรียกชื่อรวม สามารถแบ่งได้เป็นผงสี่ชนิด คือส่วนที่ใช้ทำเนื้อฟัน เรียกว่า เเดนทีน (บอดีหรือจิงจิวัด) ส่วนที่ใช้ทำเคลือบฟันหรือปลายฟันเรียกว่าอีนาเมล (หรืออินไซ

ซัล) ส่วนที่ใช้ทำบริเวณที่มีความโปร่งใสเรียกว่าทรานซลูเซนต์ และส่วนที่เรียกว่าโมดิไฟเออร์ซึ่งใช้เป็นตัวให้สีต่าง ๆ บนชิ้นงาน เช่น สีเหลือง สีเขียว สีชมพู เป็นต้น



รูปที่ 5 ชั้นต่าง ๆ ของ
พอร์ซเลนบนครอปิ่น
โลหะเคลือบกระเบื้อง
(O' Brien, 2002)

โครงสร้างของพอร์ซเลน

Mclean, Hubbard และ Kedge (1979) อธิบายว่า การบอนด์ระหว่างอะตอมของเนื้อพอร์ซเลนเป็นแบบไอออนิกบอนด์และโควาเลนต์บอนด์ ในโครงสร้างเตตระฮีดรอลของซิลิกอนกับออกซิเจน เชื่อมเป็นตาข่ายหรือร่างแห อาจมีออกไซด์ของโลหะอื่นแทรกอยู่ระหว่างซิลิกอนกับออกซิเจน เพื่อให้ได้คุณสมบัติบางประการ เช่น โซเดียมออกไซด์ ทำหน้าที่เป็นสารช่วยหลอมละลาย ทำให้อุณหภูมิหลอมตัวต่ำลงโดยลดกำลังแรงยึดระหว่างซิลิกอนกับออกซิเจน

โครงสร้างของพอร์ซเลนที่ผ่านกระบวนการเผาจะมีคุณสมบัติที่ไม่มีความเหนียว (nonductile) เมื่อมีการแตกหักจะแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ค่ากำลังแรงอัด (compressive strength) จะมีค่าสูงกว่าค่ากำลังแรงดึง (tensile strength) และค่ากำลังแรงเฉือน (shear strength) ค่ากำลังแรงเฉือนจะต่ำเนื่องจากพอร์ซเลนขาดคุณสมบัติความยืดหยุ่น ค่ากำลังแรงดึงตามทฤษฎีจะเท่ากับค่ากำลังแรงดึงของเส้นใยแก้ว (glass fiber) คือมีค่าประมาณ 10,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เนื่องจากพื้นผิวของเส้นใยแก้วมีลักษณะเรียบสม่ำเสมอ แต่ผิวของพอร์ซเลนมีลักษณะเป็นรอยร้าว (crack) เล็ก ๆ หรืออาจมีรูพรุน ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดรอยแตก โดยรอยร้าวจะเป็นจุดรวมความเค้น ถ้าโครงสร้างของพอร์ซเลนได้รับแรงดึงเค้น ความเค้นที่สะสมอยู่ตามรอยแตกจะช่วยส่งเสริมให้แรงดึงเค้นมีค่ามากกว่าปกติ ทำให้รอยแตกมีความลึกขึ้นจนถึงขั้นเกิดการแตกหักของพอร์ซเลน ในทางตรงข้ามเมื่อพอร์ซเลนได้รับแรงเค้นรอยแตกจะไม่ขยายตัว และมีความต้านทานความเค้นดังกล่าว

การเพิ่มกำลังความแข็งแรงของฟันพอร์ซเลนให้สูงขึ้น วิธีที่นิยมใช้คือใส่วัสดุอัดแทรก โดยวัสดุอัดแทรกทำหน้าที่เป็นแกนให้เนื้อพอร์ซเลนจับ ด้วยวิธีนี้สามารถต้านทานหรือขัดขวางการเกิดรอยร้าวได้ วัสดุอัดแทรกที่ใช้ได้แก่ อะลูมินา (Al_2O_3) ผงอะลูมินามีมอดูลัสความยืดหยุ่นสูงกว่าควอทซ์จึงต้านทานการเกิดร้าวได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าควอทซ์สามารถทนได้ในอุณหภูมิสูงระหว่างการเผา เรียกผงฟันชนิดนี้ว่าอะลูมินัส พอร์ซเลน แต่พบว่าถ้าใส่อะลูมินาในปริมาณสูง ผงอะลูมินาจะลดค่าความโปร่งแสงของฟันพอร์ซเลน

Leinfelder และ Lemons (1988) ได้แสดงค่ากำลังแรงชนิดต่าง ๆ ของเฟลสปาทิกพอร์ซเลนและอะลูมินัสพอร์ซเลน ดังนี้

เฟลสปาทิกพอร์ซเลน

- ค่ากำลังแรงอัด มีค่า 350-550 MPa (50,000-80,000 Psi)
- ค่ากำลังแรงดึง/ปอก มีค่าประมาณ 34 MPa (5,000 Psi)
- ค่ากำลังแรงเฉือน/ปอก มีค่าประมาณ 110 MPa (16,000 Psi)
- มีค่ากำลังดัดขวาง ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณความบิดเบี้ยวที่เกิดขึ้นก่อนการแตกหักหรือเรียกอีกอย่างว่า flexural strength ซึ่งมีค่า 30-70 MPa (4,300-10,000 Psi)

อะลูมินัสพอร์ซเลน

- ค่ากำลังดัดขวาง 135 MPa (20,000 Psi)
- ค่ากำลังแรงเฉือน/ปอก มีค่า 145 MPa (21,000 Psi)

กายภาพสมบัติ

เจน รัตนไพศาล (2533) ได้อธิบายกายภาพสมบัติของพอร์ซเลนทางทันตกรรม ดังนี้

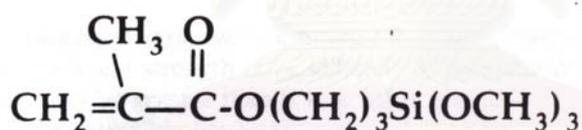
- ก. สัมประสิทธิ์การขยายตัวตามยาวเท่ากับ $6.4-7.8 \times 10^{-6}$ / องศาเซลเซียส ต่ำกว่าฟันธรรมชาติ ซึ่งมีค่า 11.4×10^{-6} / องศาเซลเซียส
- ข. การละลายในกรดน้ำส้ม 4 เปอร์เซ็นต์ ละลายได้ 0.1-0.3 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังบดให้เป็นผง แต่ไม่ปรากฏว่าละลายในน้ำลาย
- ค. ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 2.35 ค่าความถ่วงจำเพาะนี้เปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อย ถ้ามีช่องว่างในเนื้อน้อยลง ช่องว่างนี้อาจทำให้น้อยลงได้อีก เช่น อัดให้แน่นขณะปั้นและเผาในเตาสุญญากาศ

ไซเลนทางทันตกรรม

Noort (2002) ได้อธิบายว่า การยึดวัสดุสองชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันเป็นสิ่งที่ยาก เนื่องจากโดยธรรมชาติวัสดุทั้งสองจะไม่มีแรงดึงดูดต่อกัน และไม่สามารถทำให้พื้นผิวของวัสดุตรงข้ามเปียก ดังนั้นการที่จะยึดกันได้ ต้องใช้สารเคมีที่ช่วยให้เกิดแรงยึดทางเคมีระหว่างวัสดุทั้งสอง เรียกว่าสารเหล่านี้ว่า “สารคัปปลิง (coupling agent)” ถ้าใช้สารนี้ในการเตรียมผิววัสดุก่อน จะเรียกว่าเป็น ไพรเมอร์

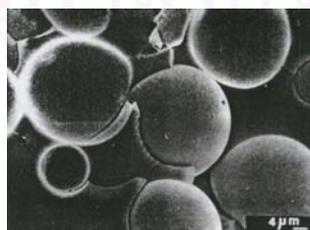
ไซเลน (silane) จัดเป็นสารคัปปลิงประเภทหนึ่ง ไซเลนมีหลายกลุ่ม กลุ่มที่ได้รับความสนใจทางทันตกรรม คือ organofunctional silane เป็นกลุ่มที่มีซิลิกอนซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูงเป็นองค์ประกอบหลัก โดยทำหน้าที่ได้ทั้งเป็นไซเลนโมเลกุล และเป็นโมเลกุลอินทรีย์ (organic molecules) การทำงานทั้ง 2 แบบพร้อม ๆ กันนี้ทำให้ช่วยในการเพิ่มการยึดติดระหว่างตัวถูกเปลี่ยนอนินทรีย์ (inorganic substrates) กับเรซินอินทรีย์ (organic resin)

ไซเลนกลุ่มที่ใช้ในทางทันตกรรมบ่อยสุดคือเมธาครอยลอกซีอัลคิลไซเลนเอสเทอร์ (methacryloxyalkylsilane ester) (รูปที่ 6) ซึ่งเหมาะสมในการใช้เพิ่มแรงยึดระหว่างโลหะเจือเรซินคอมโพสิต อะคริลิก และพอร์ซเลน (McLaughlin, 1986)



รูปที่ 6 โมเลกุลของเมธาครอยลอกซีอัลคิลไซเลน (McLaughlin, 1986)

การใช้ไซเลนทางทันตกรรมเกิดขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ.1962 โดย Bowen ได้ปรับสภาพสารอัดแทรกประเภทแก้ว (glass filler) ก่อนนำไปทำปฏิกิริยากับ Bis-GMA ทำให้แก้วรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับคอมโพสิต (รูปที่ 7 และ 8)



รูปที่ 7 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แสดงให้เห็นว่าแก้วซึ่งมีลักษณะกลม ไม่รวมตัวกับคอมโพสิต (McLaughlin, 1986)



รูปที่ 8 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แสดงให้เห็นว่าแก้วซึ่งปรับสภาพด้วยซิลนาก่อน สามารถรวมตัวเป็นส่วนหนึ่งของคอมโพสิต (McLaughlin, 1986)

การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของซิลน

การที่ซิลนจะทำหน้าที่เป็นสารคัปปลิง (coupling agent) เพื่อเชื่อมระหว่างอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารได้นั้น ซิลนต้องถูกไฮโดรไลซ์ก่อน (ภาวะถูกกระตุ้นหรือ activate) และเกิดการควบแน่น (condensation) ตามมา (Matinlinna และคณะ, 2004) ดังนั้นซิลนระบบใหม่ ๆ จะมีส่วนประกอบของสารละลายสองถึงสามชนิด โดยชนิดแรกจะเป็นซิลนคัปเปิลเลอร์ (silane coupler) ส่วนสารละลายอีกชนิดหนึ่งจะเป็นสารละลายที่มีความเป็นกรด โดยกรดจะทำหน้าที่ช่วยส่งเสริมการเกิดพันธะไฮดรอกซิลและช่วยส่งเสริมการยึดติดของคอมโพสิตกับพอร์ซเลน นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยาระหว่างเมธอกซีซิลน (methoxysilane) ของสารซิลนกับกลุ่มไฮดรอกซิลบนผิวพอร์ซเลน ยังต้องอาศัยกรดเป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาและช่วยเร่งปฏิกิริยาด้วย (Berry, Barghi และ chung, 1999)

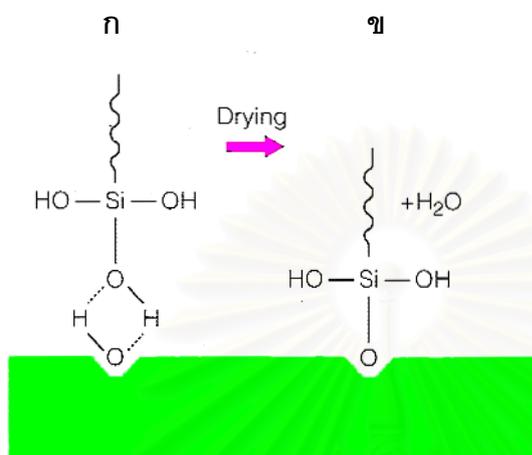
สูตรโครงสร้างของซิลนไพรมเมอร์ (Noort, 2002) คือ $R-Si-X_3$

R หมายถึง กลุ่มออร์แกโนฟังก์ชันแนล เช่น $-(CH_2)_2$

X หมายถึง กลุ่มไฮโดรไลเซเบิล เช่น $-OCH_3$ หรือ $-OC_2H_5$ เป็นกลุ่มที่อยู่เพียงชั่วคราว จะถูกไฮโดรไลส์เกิดเป็นซิลานอล มีปฏิกิริยาเคมี ดังนี้

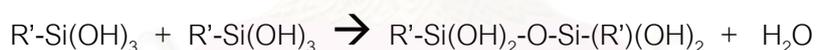


ไตรไฮดรอกซีซิลานอล จะแทนที่ตำแหน่งน้ำบนแก้ว โดยเกิดพันธะไฮโดรเจนกับกลุ่มไฮดรอกซิลบนผิวแก้ว เมื่อซิลนไพรมเมอร์แห้ง จะเกิดการควบแน่นระหว่างซิลานอลกับพื้นผิว และจะไม่เกิดไฮโดรไลซิสอีก (รูปที่ 9) เมื่อนำเรซินมาสัมผัสผิวแก้วที่เคลือบซิลนไพรมเมอร์ไว้ กลุ่มออร์แกโนฟังก์ชันแนล (R) จะทำปฏิกิริยากับเรซินได้แรงยึดที่แข็งแรง สิ่งที่สำคัญ คือ ต้องเลือกกลุ่มออร์แกโนฟังก์ชันแนล ให้เหมาะกับชนิดของเรซิน



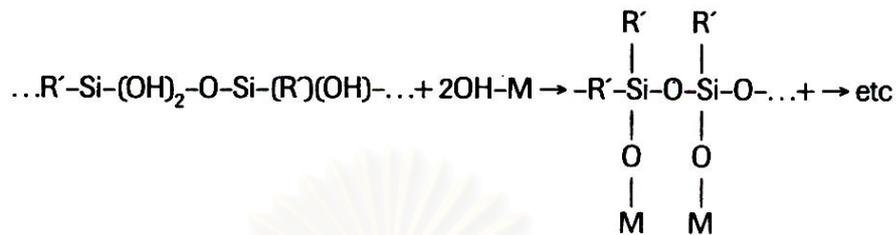
รูปที่ 9 ก) แผนภาพแสดงการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโซลเจนและกลุ่มไฮดรอกซิลที่พื้นผิว ข)เมื่อโซลเจนแห้งจะเกิดพันธะโควาเลนต์ และมีการปล่อยน้ำออกไป (Noort, 2002)

Matinlinna และคณะ (2004) อธิบายว่าขณะที่เกิดปฏิกิริยาควมนั้น โมเลกุลของโซลเจน จะทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน เพื่อก่อรูปเป็นไดเมอร์ (dimers) ดังสมการ

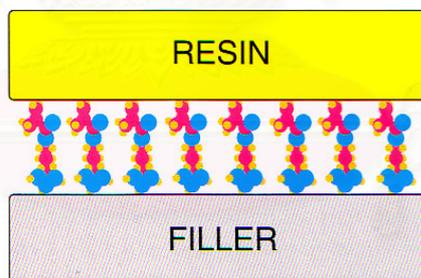


หลังจากนั้นไดเมอร์เหล่านี้ควมนั่นต่อไปเป็นโอลิโกเมอร์ (oligomer) โดยเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโซลเจนโมโนเมอร์กับโอลิโกเมอร์ในสารละลายนี้ โซลเจนโอลิโกเมอร์ทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกันเกิดเป็นแขนงของ hydrophobic siloxane bonds, Si-O-Si และเกิดพันธะกับ เนื้อพื้นอินทรีย์ (inorganic matrix) เช่น ซิลิกา ออกไซด์ของโลหะซึ่งมีส่วนประกอบของกลุ่มไฮดรอกซิล (-OH group) นอกจากนั้นยังทำปฏิกิริยากับโลหะเกิดพันธะ -Si-O-M (M หมายถึงโลหะ) ผิวของโลหะใหม่จะมีพลังงานพื้นผิวสูง (high surface energy) เมื่อผิวโลหะสัมผัสกับอากาศจะเกิดการออกซิไดซ์และมีกลุ่มไฮดรอกซิลมาปกคลุม จากนั้นกลุ่มโซลเจนชนิดที่เป็นกรด (acidic silanol groups) จะเข้าทำปฏิกิริยากับกลุ่ม -OH บนผิวโลหะ เมื่อฉาบโซลเจนบนผิวโลหะจะเกิดการสร้างเป็นพันธะไฮดรอกซิล (siloxane bond) ได้ทั้งแบบ -Si-O-M และ -Si-O-Si เกิดเป็นฟิล์มของชั้นโพลีไฮดรอกซิลชนิดไม่ชอบน้ำ (hydrophobic polysiloxane layer) ปกคลุม ในชั้นนี้มีพันธะไฮโดรเจนอิสระ (free hydrogen-bond) เหลืออยู่และบางครั้งมีโมเลกุลของน้ำปรากฏด้วย หากผิวที่โซลเจน

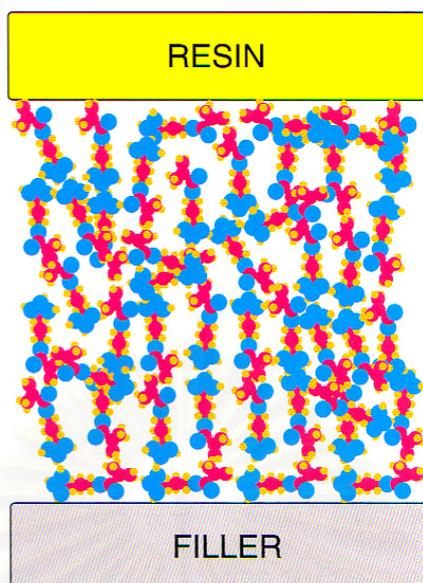
เข้าทำปฏิกิริยาไม่ใช่โลหะแต่เป็นซิลิกา (ควอทซ์, SiO₂) หรือซิลิเกต จะเกิดเพียงชั้นของ Si-O-Si เท่านั้น สมการการเกิดปฏิกิริยาระหว่างซิลานอลกับผิวโลหะ เป็นดังนี้



ความหนาของชั้นของซิลอกเซนขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายซิลาน (Eliades, 2003) ซึ่งตามทฤษฎีแล้วควรมีความหนาเพียงชั้นเดียว (รูปที่ 10) แต่ในทางปฏิบัติจะมีความหนาระหว่าง 50 ถึง 100 นาโนเมตรโดยมีโมเลกุลของซิลานจัดเรียงตัวอย่างสุ่ม (randomly oriented) (รูปที่ 11)



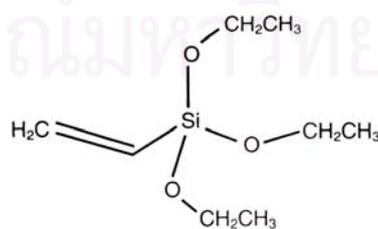
รูปที่ 10 ชั้นของซิลานซึ่งยึดระหว่างซิลิกาและเรซินในทางทฤษฎีควรมีความหนาเพียงชั้นเดียว (monolayer) โดยที่โมเลกุลของซิลานเรียงตัวตั้งฉากกับผิวซิลิกาทรงกลมสี่เหลี่ยมและสี่ฟ้าที่ผิวหน้าของสารอัดแทรกเป็นกลุ่ม OH ของซิลาน ส่วนทรงกลมสี่แดงที่ผิวเรซินเป็นคาร์บอนอะตอมซึ่งอยู่ติดกับพันธะ C=C ของซิลาน (Eliades, 2003)



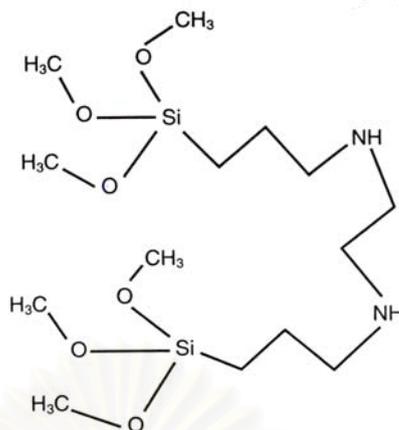
รูปที่ 11 แสดงลักษณะการเรียงตัวหลายชั้น (multilayers) ของโมเลกุลไซเลน ซึ่งมักพบรูปแบบนี้มากกว่า จะเห็นว่ามีโมเลกุลของไซเลนเพียงบางส่วนเท่านั้นที่เข้าทำปฏิกิริยากับผิวซิลิกาได้ ส่วนที่เหลือจะกระจัดกระจายอยู่ทั่วไป (Eliades, 2003)

ไซเลนอาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท (Matilinna และคณะ, 2004) ตามจำนวนอะตอมของซิลิกา (Si) ได้เป็น

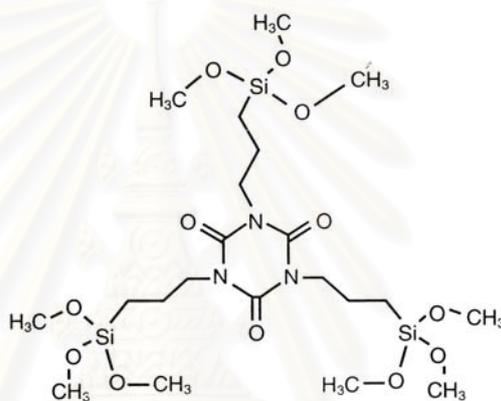
1. monofunctional silane ซึ่งมีอะตอมของซิลิกา 1 อะตอม ร่วมกับกลุ่มอัลคอกซี 3 กลุ่มต่อหนึ่งโมเลกุล (รูปที่ 12)
2. bifunctional silane ซึ่งมีอะตอมของซิลิกา 2 อะตอมร่วมกับกลุ่มอัลคอกซี 3 กลุ่มต่อหนึ่งโมเลกุล (รูปที่ 13)
3. trifunctional silane ซึ่งมีอะตอมของซิลิกา 3 อะตอมร่วมกับกลุ่มอัลคอกซี 3 กลุ่มต่อหนึ่งโมเลกุล (รูปที่ 14)



รูปที่ 12 แสดงโมเลกุลของโมโนฟังก์ชันนอลไซเลน (Matilinna และคณะ, 2004)



รูปที่ 13 แสดงโมเลกุลของบิสฟังก์ชันนอลไซเลน (Matilinna และคณะ, 2004)



รูปที่ 14 แสดงไตรฟังก์ชันนอลไซเลน (Matilinna และคณะ, 2004)

ไซเลนที่ใช้ทางทันตกรรมทั้งในห้องปฏิบัติการและในคลินิกมักจะเป็น monofunctional γ -methacryloxypropyltrimethoxysilane (หรือ 3-trimethoxysilylpropylmethacrylate [MPS]) ซึ่งเป็นสารละลายเจือจาง มีความเข้มข้นกว่าร้อยละ 2 โดยน้ำหนักในสารละลายน้ำ-อัลกอฮอล์ ซึ่งปรับค่าความเป็นกรดต่างอยู่ระหว่าง 4 ถึง 5 ด้วยกรดอะซิติก (acetic acid) โดยมีอัลกอฮอล์ ชนิดเอทานอลหรือไอโซโพรพานอล (isopropanol) ประมาณร้อยละ 90 ถึง 95 เป็นส่วนผสม

ไซเลนไพรเมอร์ แบ่งตามการใช้งานได้ 2 ประเภท คือ

1. ไซเลนไพรเมอร์ที่ยังไม่ผ่านการไฮโดรไลซิส (Non hydrolyzed silane primer)

กลุ่มไฮโดรไลเซเบิลยังไม่ผ่านการไฮโดรไลซิส ทำให้ไม่สามารถยึดกับผิวพอร์ซเลนได้ ทันตแพทย์จะทำการไฮโดรไลซิสเมื่อต้องการใช้งาน โดยใช้กรดฟอสฟอริกทาบนผิวพอร์ซเลน แล้วทาไซเลนไพรเมอร์ทับ กรดจะกระตุ้นให้ไซเลนไพรเมอร์เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส สารชนิดนี้ผลิตขึ้นเนื่องจากผู้ผลิตพบว่า ถ้าไซเลนไพรเมอร์ถูกไฮโดรไลซิสแล้ว จะมีอายุการใช้งานสั้น สนับสนุนโดย

การศึกษาของ Semmelman และ Kulp (1968) และ Newburg และ Pameijer (1978) ซึ่งกล่าวว่า ไสเลนไพรเมอร์ที่เก็บไว้นาน หรือถูกกระตุ้นทางเคมีแล้ว จะทำให้ประสิทธิภาพในการยึดกับพอร์ซเลนลดลง ตัวอย่างของไสเลนไพรเมอร์ชนิดนี้ ได้แก่ Porcelain Repair Primer , Ormco Porcelain Bonding Primer และ Clearfill Porcelain Bond

2. ไสเลนไพรเมอร์ที่ผ่านการไฮโดรไลส์ (Prehydrolyzed silane primer)

Culler และคณะ กล่าวว่าบริษัทผลิต Scotchprime Ceramic Primer เป็น ไสเลนไพรเมอร์ที่ผ่านการไฮโดรไลส์แล้วมีอายุการใช้งานมากกว่า 1 ปี และเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะอยู่ได้นานถึง 2 ปี อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บไว้นาน ประสิทธิภาพของ Scotchprime Ceramic Primer มีแนวโน้มจะลดลง (1986:191 อ้างถึงใน ปียะธิดา จิตตานันท์, 2540:29) เนื่องจากการรวมตัวเป็นสารที่มีโมเลกุลสูง ซึ่งไม่เป็นประโยชน์ในการส่งเสริมการเกิดการติดแน่น อีกทั้งไปลักษณะที่จะสังเกตเห็นได้ว่าไสเลนเริ่มเสื่อมสภาพคือจะมีสีขาวขุ่นคล้ายนม (Matilinna และคณะ, 2004)

ผลิตภัณฑ์ไสเลนทางทันตกรรมเพื่อการค้ามีหลายชนิด ดังตัวอย่าง (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ตัวอย่างไสเลนทางทันตกรรมที่ผลิตมาเพื่อจำหน่ายทางการค้า (Matilinna และคณะ, 2004)

Trade name, manufacturer	Purpose, substrates	Effective silane	pH	Solution	Date of information
Monobond-S, Ivoclar Vivadent	Porcelain, composites	MPS 1.0%	4	Ethanol 52%, distilled water 47%	May 2001
Vectris Wetting Agent, Ivoclar Vivadent	Crowns, fixed partial dentures	MPS 1.0%	4	Ethanol 50%-52%	Jan 2001
ESPE Sil, 3M/ESPE	Metals, ceramics, composites	A silane (%NA)	NA	Ethanol > 90%	Jan 2002
RelyX Ceramic Primer, 3M/ESPE	Ceramics	A silane < 1%	NA	Ethanol 70%-80%, water 20%-30%	Dec 2001
Porcelain Repair Primer, Kerr	Porcelain	A silane 15%-20%	NA	Ethanol 80%-85%	Dec 1998
Pulpdent Silane Bond Enhancer, Pulpdent	Porcelain, composites	A silane (%NA)	NA	Ethanol 92.6%, acetone 7.4%	April 2001
Silicoup A and B (two-bottle system), Heraeus Kulzer	NA	MPS (%NA) (Silicoup B)	NA	Ethanol 25%-50%, ethylacetate 25%-50%, acetic acid 5%-10%	Nov 2001
Ultradent, Ultradent	Resin coupling agent	MPS (%NA)	NA	Isopropanol 92%	May 1998
Bisco Porcelain Primer, Bisco	Porcelain, composites	Silane with methacrylate (MPS?)	NA	Alcohol	July 1998
Clearfil Porcelain Bond Activator, Kuraray	Porcelain	MPS (%NA)	NA	Bisphenol-a-polyethoxy-dimethacrylate	Nov 1998
Quadrant Porcelain Coupling Agent (Liquid A), Cavex	Porcelain, composites	Based on 4-methacryloxy-ethyltrimellitate anhydride 10% (4-META); no silane	NA	Methyl methacrylate (MMA)	Sept 2002
Quadrant Porcelain Coupling Agent (Liquid B), Cavex	Porcelain, composites	MPS 5%	NA	Methyl methacrylate (MMA), water	Sept 2002
Bifix DC, Voco	Porcelain, composites	MPS (%NA)	NA	Alcohol, water	May 2003

*Information based on available material safety data sheets, technical data sheets, and instruction sheets issued by respective manufacturers. pH is set by acetic acid unless otherwise noted. Products are in arbitrary order; to the best of the authors' knowledge, all exist on the current market.

นอกจากการนำไซเลนมาใช้ในงานทันตกรรมบูรณะและงานทันตกรรมประดิษฐ์แล้วยังมีการนำไซเลนมาใช้ในงานทันตกรรมอีกหลายสาขา เช่น การติดแบรคเกตในทางทันตกรรมจัดฟัน การเคลือบเดือยฟันเซรามิกด้วยไซเลนในงานวิทยาเอนโดดอนต์ ตลอดจนการนำเส้นใยแก้วและไซเลนมาใช้ในงานปริทันต์

Matinlinna และคณะ (2004) ยังได้กล่าวถึงการใช้ไซเลนอีกว่า ไซเลนช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างคอมโพสิตเรซินกับเซรามิกได้ประมาณ 25% แต่ค่าแรงยึดแตกต่างกันไปตามชนิดของคอมโพสิต การที่คอมโพสิตดูดซับน้ำเข้ามาทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและเกิดการสลายตัวของพันธะระหว่างไซเลนกับเรซินได้ จากการทดลองพบว่าการแช่น้ำและการทำเทอร์โมไซคลิก (thermocycling) ทำให้การยึดระหว่างไซเลนกับเซรามิกด้อยลง นอกจากนี้เมื่อใช้ไซเลนในภาวะปกติ พบว่าความชื้นตามปกติในอากาศทำให้แรงยึดลดลงซึ่งนำไปสู่การสะสมความเครียดและเกิดการร้าวในชั้นของไซเลนได้เช่นกัน

Berry และคณะ (1999) ศึกษาผลของระยะเวลาแช่น้ำที่มีต่อกำลังแรงยึดของไซเลนที่ใช้สำหรับซ่อมพอร์ซเลน โดยการทาไซเลน 4 ยี่ห้อ คือ Cerinate Prime®(one-mix), Mirage® (one-ix), Mirage® (two-mix) และ Fusion® (two-mix) ลงบนผิวพอร์ซเลนซึ่งผ่านการขัดผิวออกด้วยกระดาษทราย (silicon carbide paper) มาก่อน จากนั้นนำไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้องแล้วทดสอบแรงเชื่อมด้วยเครื่องอินสตรอนตามเวลาที่กำหนดคือที่เวลาแช่นาน 24 ชั่วโมง, 1 สัปดาห์, 1 เดือน และที่เวลา 3 เดือน ผลการศึกษาพบว่าไซเลนทุกกลุ่มมีกำลังแรงยึดเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์เทียบกับที่เวลา 24 ชั่วโมง หากไม่พิจารณา Cerinate Prime® จะพบว่าทุกกลุ่มมีค่ากำลังแรงยึดแบบเชื่อมสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่เวลาที่ 1 สัปดาห์, 1 เดือน และที่ 3 เดือนเมื่อเปรียบเทียบกับเวลา 24 ชั่วโมง และพบว่าไซเลนชนิดที่เป็นระบบที่ต้องผสมกับระบบที่ไม่ต้องผสมเวลาใช้ให้ค่าแรงยึดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การมีค่ากำลังแรงยึดสูงขึ้นตามระยะเวลาทำให้เกิดการยึดแน่นกับพอร์ซเลนทำให้เกิดความล้มเหลวของการยึดติดชนิดที่มีการแตกหักในเนื้อพอร์ซเลนทุกชิ้นงานในการทดลองนี้ ผลการทดลองนี้สรุปว่าไซเลนรุ่นใหม่เหล่านี้มีการคงตัวที่ดีแม้ในสภาวะที่มีน้ำ และกำลังแรงยึดมีค่าต่างกันไปตามชนิดหรือยี่ห้อที่ต่างกัน

ผลการศึกษาที่แตกต่างจากการศึกษาของ Pratt และคณะ (1989) ที่ศึกษาค่าแรงเชื่อมระหว่างพอร์ซเลนกับคอมโพสิต ซึ่งมีการปรับสภาพพอร์ซเลนด้วยไซเลนที่ใช้สำหรับซ่อมพอร์ซเลนจำนวน 6 ยี่ห้อ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อมีการแช่นานเป็นเวลา 3 เดือนและได้ทำเทอร์โมไซคลิก

เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบพบว่ามีความแข็งแรงลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับที่เวลา 48 ชั่วโมง เมื่อคุณลักษณะความล้มเหลวของการยึดติดพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงจากการแตกหักในเนื้อพอร์ซเลนเป็นการแตกหักในชั้นแอตซีซีฟมากขึ้น เป็นการบ่งชี้ว่ากำลังแรงยึดลดลง ผู้วิจัยได้อธิบายเหตุผลว่าในระยะแรกมีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไซเลนมากส่งผลให้มีค่ากำลังแรงยึดระหว่างพอร์ซเลนกับแอตซีซีฟสูงทำให้รูปแบบความล้มเหลวในการยึดเกาะเป็นการแตกหักในเนื้อพอร์ซเลน แต่เมื่อเวลาผ่านไปกำลังแรงยึดจะลดลงเพราะมีความเข้มข้นของมอนอเมอร์ลดลงซึ่งเป็นผลตามมาจากการควบแน่นของไซเลนโมเลกุล การเกิดการควบแน่นนี้เกิดได้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาทำให้เกิดเป็นโอลิโกเมอร์น้ำหนักโมเลกุลสูง (high molecular-weight oligomers) ส่งผลให้ไซเลนนั้นไม่สามารถทำหน้าที่เป็นสารคัปปลิงเอเจนต์ต่อไปได้

กรดไฮโดรฟลูออริก

Kirkpatrick, Enion และ Burd (1995) อธิบายว่า กรดไฮโดรฟลูออริกเป็นกรดอนินทรีย์ซึ่งมีธาตุฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน ผลิตได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง fluor spar (แคลเซียมฟลูออไรด์) และกรดซัลฟูริก เกิดเป็น HF gas ซึ่งเมื่อทำให้เย็นตัวลงจะกลายเป็นของเหลวใสไม่มีสี ความสามารถในการละลายซิลิกาของกรดนี้เป็นที่ทราบกันมานานกว่า 300 ปีมาแล้ว โดยในปี ค.ศ. 1670 ศิลปินชาวเมืองนูเรมเบิร์กชื่อ Schwanhard เป็นคนแรกที่ใช้ไอระเหยของกรดเพื่อกัดแก้ว หลังจากนั้นเป็นต้นมาได้มีการนำกรดนี้มาใช้ในหลาย ๆ วัตถุประสงค์ เช่น ใช้ในการกัดและขัดแก้วหรือเซรามิก การขจัดทรายออกจากชิ้นหล่อโลหะ การทำความสะอาดหินและหินอ่อน และใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นต้น

กลไกในการทำให้เกิดการบดเจ็บ

กรดไฮโดรฟลูออริกในสถานะแอนไฮดรัส (anhydrous) คือมีความเข้มข้นมากกว่า 90 % เป็นกรดแก่ที่ให้โปรตอน แต่ในภาวะเอควียส (aqueous) จะเป็นกรดอ่อนเนื่องจากมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีของฟลูออไรด์ไอออนสูง จึงค่อนข้างจะอยู่ในสถานะที่ไม่แตกตัว (non-ionized)

กรดไฮโดรฟลูออริกสามารถทำให้ผิวหนังไหม้ (burn) โดยไฮโดรเจนไอออนที่แตกตัว ทำให้เกิดการกัดกร่อน แต่ผลการทำลายผิวหนังนี้น้อยกว่ากรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ) และกรดซัลฟูริก ที่มีความเข้มข้นเท่ากัน กรดไฮโดรฟลูออริกสามารถผ่านไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์แล้วแพร่กระจายเข้าสู่เนื้อเยื่อได้อย่างรวดเร็ว พร้อมกับปล่อยฟลูออไรด์ไอออนอิสระออกมา ฟลูออไรด์ไอออนมีความเป็นพิษสูงเนื่องจากทำปฏิกิริยาได้ง่าย เป็นเหตุให้กรดไฮโดรฟลูออริกเป็นกรดที่ค่อนข้างอันตราย

ฟลูออไรด์เมื่อจับกับแมกนีเซียมและแคลเซียมไอออนจะเกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือซึ่งมีความเป็นกลางและจะตกตะกอนภายในเนื้อเยื่อเกิดการขัดขวางเมตาบอลิซึมระดับเซลล์ เกิดการเหนี่ยวนำให้เซลล์ตายและมีการตายเฉพาะส่วน (necrosis)

ฟลูออไรด์ไอออนทำให้เกิดเนื้อเยื่อตายแบบกลายเป็นของเหลว (liquefactive necrosis) ของเนื้อเยื่ออ่อนอย่างรุนแรง ละลายแร่ธาตุออกจากกระดูกและกักร่อนกระดูก การทำลายระดับทุติยภูมิ (secondary damage) นี้มีความสำคัญมากกว่าการเกิด corrosive burn ในระยะแรก เนื่องจากหากไม่ได้รับการรักษาอย่างทันที่ ปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดต่อเนื่องไปอีกหลายวัน ก่อให้เกิดการทำลายเนื้อเยื่อมากขึ้น โดยทั่วไปกรดต่าง ๆ มักทำให้เกิดเนื้อเยื่อตายแบบจับตัวเป็นก้อน (coagulative necrosis) ซึ่งเนื้อเยื่อตายเหล่านี้จะเป็นตัวขัดขวางการซึมผ่านของกรดไปยังเนื้อเยื่อชั้นที่ลึกกว่า แต่ต่างจะซึมผ่านลงไปเนื้อเยื่อชั้นที่ลึกลงไป กรดไฮโดรฟลูออริกมีพฤติกรรมเหมือนดั่งจึงแทรกซึมลงไปเนื้อเยื่อชั้นที่ลึกกว่า

อาการปวดจากการได้รับกรดไฮโดรฟลูออริก เกิดจากการขัดขวางการเคลื่อนที่ของแคลเซียมไอออนในเนื้อเยื่อ ทำให้โพแทสเซียมไอออนเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทแทนจึงเกิดอาการปวดขึ้นมา

อาการแสดงทางคลินิก

อาการทางคลินิกของแผลไหม้เหตุกรดไฮโดรฟลูออริกขึ้นกับเส้นทางที่รับกรดเข้าไป ความเข้มข้นของกรด ระยะเวลาที่สัมผัสกรด และความสามารถในการซึมผ่านหรือความต้านทานของเนื้อเยื่อ ผู้ที่ได้สัมผัสกรดจะมีอาการปวดรุนแรง มีการทำลายเนื้อเยื่ออย่างรวดเร็ว ซึ่งมีลักษณะเป็นเนื้อเยื่อสีขาวจับกลุ่มกันร่วมกับมีตุ่มพองภายหลังจากผ่านพ้นช่วงที่ผิวหนังเป็นผื่นแดงแล้ว นอกจากนั้นการหายใจของแผลมักจะช้า แผลไหม้จากการสัมผัสกรดที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 20 มักจะไม่ทำให้ปวดหรือมีผื่นแดงได้นานถึง 24 ชั่วโมง หากเป็นกรดที่มีความเข้มข้นระหว่างร้อยละ 20-50 จะปรากฏผลให้เห็นใน 1-8 ชั่วโมง แต่ถ้าเป็นกรดที่มีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไปจะเกิดอาการปวดและมีการทำลายเนื้อเยื่อทันที

กรดไฮโดรฟลูออริกเป็นกรดอ่อนแต่สามารถจับกับโปรตีนและปล่อยฟลูออไรด์ไอออนจับกับผิวหนัง แคลเซียมและเกลือที่ไม่ละลายน้ำจากเนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง เนื้อเยื่อจะเริ่มถูกทำลายนับตั้งแต่ฟลูออไรด์ไอออนเริ่มจับกับเกลือซึ่งไม่ละลายน้ำ ทำให้เกิด deep ulceration ลึกไปถึงกระดูกได้ ส่วนการทำปฏิกิริยากับโปรตีนที่ผิวหนัง จะทำให้เกิดเนื้อเยื่อซีดขาวร่วมกับการมีเลือดจับตัวเป็นก้อนและมีตุ่มพอง (blistering)

ส่วนอาการปวดอย่างรุนแรงนั้นเกิดจากแคลเซียมไอออนถูกปล่อยจากเนื้อเยื่อ ทำให้ความต่างศักย์ที่เยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนแปลง หากบริเวณที่สัมผัสโดนกรดเป็นบริเวณกว้างจะเกิดภาวะแคลเซียมในเลือดต่ำ (hypocalcemia) และทำให้หัวใจหยุดเต้นได้

วิธีการรักษามีขั้นตอนตามตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 การรักษาแผลไหม้เหตุกรดไฮโดรฟลูออริก (Fujimoto และคณะ, 2002)

1. ล้างด้วยน้ำเย็นปริมาณมากและพอกด้วยสบู่ที่เป็นด่างทันทีที่สัมผัสกรด
2. พั้นแผลด้วยผ้าแต่งแผลซึ่งชุ่มด้วย benzethonium chloride เย็น
3. หากกรดมีความเข้มข้นสูงหรือเป็นแผลลึกหรือปวดรุนแรง ให้ฉีดบริเวณที่ปวดด้วยแคลเซียมกลูโคเนตความเข้มข้นร้อยละ 8.5 (0.5 มิลลิลิตรต่อตารางเซนติเมตร)
4. ทำความสะอาดแผล (debride) บริเวณที่มีแผลไหม้รุนแรงอย่างระมัดระวัง
5. หากมีอาการปวดขึ้นมาอีก ให้ฉีดแคลเซียมกลูโคเนตเพิ่มเติม
6. ทำศัลยกรรมตกแต่งแผลตามความเหมาะสม

กรดไฮโดรฟลูออริกใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำ ใช้ในการทำ ความสะอาดและกัดแก้ว ทำความสะอาดอิฐและอะลูมิเนียม การพอกหนังและอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ตำแหน่งที่มักได้รับการบาดเจ็บจากการสัมผัสกรดคือนิ้วมือ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Fujimoto และคณะ (2002) เขาได้รายงานผู้ป่วย 2 รายซึ่งเป็นพนักงานทำความสะอาด มาพบแพทย์ที่ห้องฉุกเฉินด้วยอาการนิ้ววมแดงและมีอาการปวดแสบปวดร้อนจากการสัมผัสสารพอกสี ซึ่งมีส่วนผสมของกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 9.5 ผู้ป่วยได้รับการรักษาโดยการฉีด แคลเซียมกลูโคเนตความเข้มข้นร้อยละ 8.5 เข้าใต้ผิวหนังบริเวณนิ้วมือซึ่งสัมผัสกรดและพั้นแผลด้วย แผ่นผ้าโปร่งซุบเบนเซโทเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.025 เพื่อให้รู้สึกเย็นที่แผล ผู้ป่วยทั้งสอง รายมาที่ห้องฉุกเฉินด้วยอาการปวดแสบปวดร้อนอย่างรุนแรงที่นิ้วหลังจากทำความสะอาดพื้นแล้ว หลายชั่วโมง โดยนิ้วที่สัมผัสกรดระยะแรกจะไม่มีอาการบวม ไม่มีการขีดข่วนหรือมีตุ่มน้ำหรือแผล ถลอกแดงอันเป็นลักษณะของแผลไหม้จากการสัมผัสกรดทำให้การวินิจฉัยผิดพลาดได้ หลาย ชั่วโมงต่อมาจึงมีอาการบวมที่นิ้วพร้อมทั้งมีเนื้อหลุดลอกและมีสะเก็ดเลือดแห้ง ร่วมกับมีผื่นแดง รอบ ๆ แผล (surrounding erythemas) ผู้ป่วยรายแรกเจ็บหูดในสองสัปดาห์ต่อมา และแผลหาย หลังจาก 3 สัปดาห์ผ่านไป ส่วนผู้ป่วยรายที่สองแผลหายหลังจาก 1 เดือนผ่านไป

Wilson, Sanger และ Boswick (1979) ได้รายงานผู้ป่วยซึ่งเป็นนักศึกษาทันตแพทย์ ได้รับอุบัติเหตุเมื่อสัมผัสโดนกรดไฮโดรฟลูออริกโดยไม่ได้ตั้งใจ คือได้นำชิ้นโลหะหล่อ แขนปีกเกอร์บรรจุกรดไฮโดรฟลูออริกเพื่อทำความสะอาดด้วยเครื่องเขย่าความถี่เหนือเสียง (ultrasonic cleaner) โดยเข้าใจว่าเป็นน้ำเปล่าเนื่องจากใสไม่มีสี หลังทำความสะอาดเสร็จได้ใช้มือเปล่าล้างหยิบชิ้นโลหะหล่อ ในปีกเกอร์นานประมาณ 20-30 วินาที และนำชิ้นโลหะหล่อไปล้างน้ำก็อก ครึ่งชั่วโมงถัดมาหลังจากที่ยึดชิ้นงานในช่องปากผู้ป่วยเรียบร้อยแล้ว นักศึกษาทันตแพทย์รู้สึกปวดแสบปวดร้อนที่นิ้วมือข้างขวาเป็นอย่างมาก โดยรู้สึกปวดลึก ๆ ภายใต้วงนิ้วแต่มีลักษณะผิวหนังภายนอกเป็นปกติ เมื่อทราบว่าปีกเกอร์บรรจุสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก จึงรีบล้างมือและแขนด้วยน้ำสะอาดผสมโซดาทำขนมปัง (baking soda) แต่อาการปวดรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ จึงรีบไปพบแพทย์ที่คลินิกฉุกเฉิน แพทย์ได้ถ่ายรูป ฟันนิ้วและให้ยาแก้ปวดทางระบบ วันรุ่งขึ้นอาการปวดยังไม่ทุเลาแพทย์จึงได้ถ่ายรูปและถ่ายภาพรังสีแขนพร้อมทั้งใช้ marcain ฉีดสกัดความรู้สึกที่เส้นประสาทรับความรู้สึก และได้ฉีดแคลเซียมกลูโคเนตความเข้มข้นร้อยละ 10 ที่นิ้วจากนั้นได้ถอดเล็บออกทุกนิ้ว ภายหลังจากการรักษาสี่เดือนผู้ป่วยยังรู้สึกมีอาการชาปลายนิ้วอยู่บางส่วนและมีลักษณะโครงสร้างเล็บที่ถูกทำลายหลงเหลืออยู่

ผลของแอสิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ต่อพอร์ซเลน

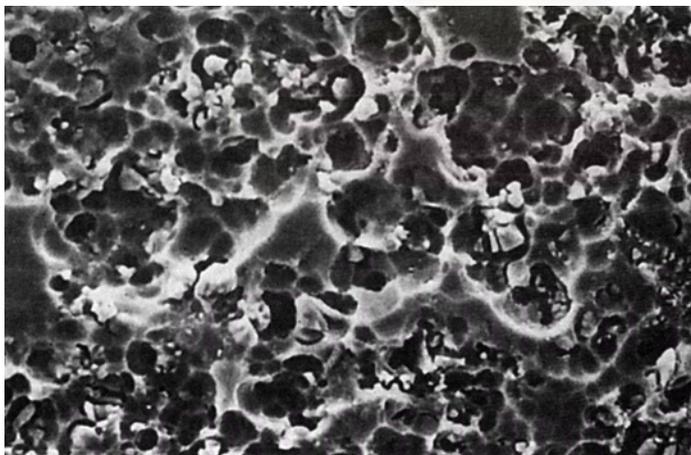
Jones (1985) ได้ศึกษาผลของแอสิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ต่อพอร์ซเลนซึ่งผ่านการเคลือบผิว โดยแช่แผ่นพอร์ซเลนในแอสิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมงจนถึง 5 วันโดยนำมาตรวจดูทุก 24 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าหากปล่อยให้แอสิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 สัมผัสกับพอร์ซเลนนานมากขึ้นจะยิ่งทำให้เกิดการติดสีย้อมบนพอร์ซเลนมากขึ้น จึงเป็นข้อแนะนำว่าไม่ควรใช้แอสิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 กับผู้ป่วยซึ่งใส่ครอบฟัน หากต้องการป้องกันฟันผุด้วยการใช้ฟลูออไรด์เฉพาะที่ ควรใช้ฟลูออไรด์รูปแบบอื่น ๆ แทนเช่น สแตนนัสฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 ซึ่งไม่ทำให้เกิดการติดสีบนพอร์ซเลน เป็นต้น

แอสิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 สามารถกัดแก้วได้ ความสามารถนี้น่าจะเกิดจากการไปดึงโซเดียมออกซิเจนออกมา ทำให้มีการทำลายเครือข่ายของซิลิกา (silica network) ในพอร์ซเลน เมื่อเฟลสปาติกพอร์ซเลนซึ่งผ่านขบวนการเคลือบผิวแล้วได้สัมผัสกับแอสิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 หรือ สแตนนัสฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 8 จะเกิด

ผิวขรุขระได้ภายใน 4 นาที หากทิ้งไว้นาน 30 นาที แอซีดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 จะเข้าไปทำลาย glass phase ของพอร์ซเลน เมื่อมองด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเป็นตะกอนสีขาวกระจายอยู่ทั่วไป (รูปที่ 15) แต่ถ้าหากทิ้งไว้นานถึง 300 นาที จะเกิดการสลายตัวอย่างรุนแรงของผิวพอร์ซเลน (Anusavice, 2003) (รูปที่ 16)



รูปที่ 15 ลักษณะผิวของ
เฟลสปาทิกพอร์ซเลน
ภายหลังการสัมผัสกับเจล
แอซีดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์
ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 เป็น
เวลานาน 30 นาที
(Anusavice, 2003)



รูปที่ 16 ลักษณะผิวของ
เฟลสปาทิกพอร์ซเลน
ภายหลังการสัมผัสกับเจล
แอซีดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์
ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 เป็น
เวลานาน 300 นาที
(Anusavice, 2003)

Barbosa และคณะ (1995) พบว่าแรงยึดที่ได้จากการทาแอซีดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 ทิ้งไว้นาน 5 นาที บนพอร์ซเลนซึ่งผ่านการเคลือบผิวและขัดผิวเคลือบมีค่าไม่แตกต่างกันโดยได้ค่าแรงยึดเพียง 0.99 ± 0.49 และ 1.30 ± 0.70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ซึ่งไม่เพียงพอกับการใช้งานทางคลินิก

ฟลูออไรด์ที่อยู่ในรูปของเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์เป็นสิ่งที่ใช้กันมากเพื่อป้องกันฟันผุ (Dijkman, Tak และ Arends, 1982) เจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ที่เป็นที่ยอมรับของสมาคมทันตแพทย์แห่งประเทศไทยส่วนใหญ่ประกอบด้วยฟลูออไรด์ไอออนความเข้มข้นร้อยละ 1.23 ซึ่งได้มาจากโซเดียมฟลูออไรด์หรือไฮโดรเจนฟลูออไรด์และกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 1 อยู่ในรูปของสารละลายผสมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethylcellulose) เพื่อให้มีสภาพเป็นเจล (Wei และ Hattab 1988) มีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 3-4 (Dijkman และคณะ, 1982) เจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ที่สมาคมทันตแพทย์แห่งประเทศไทยยอมรับในปี ค.ศ.1984 มีจำนวน 31 ยี่ห้อ (Naleway, 1985) (ตารางที่ 4)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 แอซีดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ที่ผลิตมาเพื่อจำหน่ายทางการค้า (Naleway, 1985)

Accepted Topical APF Preparation	Company
Butler Topical Fluoride Phosphate Anticaries Gel	John O. Butler Co.
Centra Guardian Angel Topical Fluoride Gel	Centra Dental Products
Fluorident Gel	Premier Dental Products Co.
Fluorident Liquid	Premier Dental Products Co.
Gell II	CoopperCare, Inc.
Gelution Topical Fluoride	Unitek Corp.
Healthco Fluoride Gel, VM	Healthco, Inc.
Healthco Topical Fluoride Gel	Healthco, Inc.
Iradicav Acidulated Phosphate Fluoride Solution	Janar Co., Inc.
Janar's Acidulated Phosphate Fluoride Rinse	Janar Co., Inc.
Karidium Phosphate Fluoride Topical Gel	Lorvic Corp.
Karidium Phosphate Fluoride Topical Solution	Lorvic Corp.
Karidium Thixotropic Acidulated Phosphate Fluoride Gel	Lorvic Corp.
Kerr Fluoride Gel	Sybron/Kerr
Luride Topical Gel	Hoyt Laboratories
Luride Topical Solution	Hoyt Laboratories
Nufleur Acidulated Phosphate Fluoride Topical Gel	Janar Co., Inc.
Pacemaker Topical Fluoride Gel	CoopperCare, Inc.
Pacemaker Topical Fluoride Solution	CoopperCare, Inc.
Pennwhite Topical Fluoride Gel	S.S. White Retail
Phos-Flour Oral Rinse Supplement	Hoyt Laboratories
Predent Topical Fluoride Treatment Gel	Harry J Bosworth Co.
Raflour New Age Gel	Pascal Co., Inc.
Raflour Topical Gel	Pascal Co., Inc.
Raflour Topical Solution	Pascal Co., Inc.
Sabragel	Sabra Dental Products, Inc.
Sultan Topical Fluoride Gel	Sultan Chemists, Inc.
Super-dent Topical Fluoride Gel	Rugby Laboratories, Inc.
Thera-Flur (acidulated) Gel-Drops	Hoyt Laboratories
Thixo-Flur Thixotropic Topical Gel	Hoyt Laboratories
Topical Fluoride Gel	Professional Way Corp.

Brudevold และคณะ (1963) ได้ทดลองพบว่า กรดฟอสเฟต (phosphate) จะทำให้เกิดการสะสมของฟลูออไรด์บนผิวเคลือบฟันมากที่สุด และละลายแร่ธาตุของผิวเคลือบฟันน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกรดแอสพาเตท (Aspartate) และกรดอะซิเตท (Acetate) ถ้าหากมีการเติมฟลูออไรด์ลงไปด้วยจะลดการละลายแร่ธาตุจากเคลือบฟันได้มากที่สุด เขาสรุปว่า สารละลายไฮเดียมฟลูออไรด์ในกรดไฮเดียมฟอสเฟตความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จะทำให้เกิดการละลายแร่ธาตุน้อยที่สุดคือไม่เกิดการกัดผิวเคลือบฟันเลยแม้ว่า pH จะต่ำถึง 2.8 ก็ตาม การทดลองนี้นำไปสู่การผลิตสารละลายแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ในเวลาต่อมา (Wellock และ Brudevold, 1963) โดยผลิตเป็นสารละลายที่มีส่วนผสมของฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 (1.23% fluoride) และกรดออร์โธฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (0.1 M orthophosphoric acid) ซึ่งเตรียมได้จากการนำไฮเดียมฟลูออไรด์ 20 กรัมมาละลายในสารละลายกรดออร์โธฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์จำนวน 1 ลิตรแล้วเติมกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) ความเข้มข้นร้อยละ 50 ลงไปจนกระทั่งได้ความเข้มข้นสุดท้ายของฟลูออไรด์ร้อยละ 1.23 และได้ค่า pH ประมาณ 3

เมื่อกรดไฮโดรฟลูออริกเข้มข้นทำปฏิกิริยากับกรดออร์โธฟอสฟอริกจะได้สารประกอบฟลูออโรฟอสเฟต (fluorophosphates) ดังสมการ

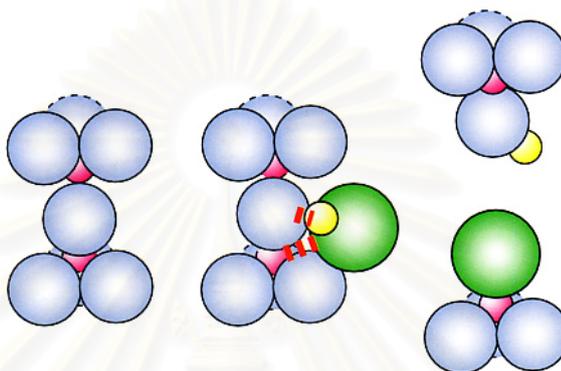


แต่ที่ pH ต่ำกว่า 5 จะพบฟลูออไรด์อย่างน้อย 3 รูปแบบคือ F^- , HF_2^- และ undissociated HF ซึ่งจะพบรูปแบบใดมากน้อยจะขึ้นกับค่า pH และค่า ionic strength เช่นที่ pH ต่ำกว่า 3 จะพบว่าฟลูออไรด์มากกว่าร้อยละ 50 อยู่ในรูปของ undissociated HF เป็นต้น

Copps และคณะ (1984) พบว่าเมื่อแช่พอร์ซเลนชนิดที่มีเคลือบผิวแบบปกติ (autoglazed) และชนิดที่ทำน้ำยาเคลือบเฉพาะ (overglazed) ในสารละลายฟลูออไรด์รูปแบบต่าง ๆ รวมทั้งแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์นาน 20 นาที ผลพบว่าสารละลายฟลูออไรด์รูปแบบอื่น ๆ ซึ่งมีค่า pH 4.1-7 ไม่เกิดการกัดกร่อนผิวพอร์ซเลนเลย แสดงว่า pH ไม่ได้มีผล แต่แอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ทำให้เกิดการกัดกร่อนที่ผิวพอร์ซเลน เมื่อมองดูด้วยตาเปล่าจะมีลักษณะเป็นฝ้ามัว (a hazy glossy surface) เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดจะพบเห็นผิวมีลักษณะเป็นเม็ดร่วน ๆ ร่วมกับเป็นหลุมลึกในบางตำแหน่ง ขนาดของเม็ดเล็ก ๆ เหล่านี้แตกต่างกันไปตามชนิดของพอร์ซเลน ผลนี้มาจากกรดไฮโดรฟลูออริกเข้าไปทำลายซิลิกา (silica glass) โดยเข้าทำปฏิกิริยา (รูปที่ 17) ดังสมการ



จากผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าแม้ว่าพอร์ซเลนจะมีผิวเคลือบด้วยการทาน้ำยาเคลือบเฉพาะก็สามารถถูกกัดกร่อนด้วยแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ได้ จึงควรระมัดระวังในการให้ฟลูออไรด์เฉพาะที่แก่ผู้ป่วยที่ใส่ครอบฟันที่มีส่วนประกอบของพอร์ซเลน



รูปที่ 17 ภาพแสดงการทำลายซิลลอกเซนบอนด์ของกรดไฮโดรฟลูออริก โครงสร้างอย่างง่ายของซิลิกา ประกอบด้วยอะตอมสีแดงคือซิลิกอน และสีน้ำเงินคือออกซิเจน(ซ้าย) สีเหลืองคือไฮโดรเจนประจุบวกส่วนสีเขียวคือฟลูออรีนอิออนประจุลบ ในโมเลกุลของกรดไฮโดรฟลูออริก ประจุลบจะจับกับประจุบวกของซิลิกอน(กลาง) และแยกพันธะซิลลอกเซนออกกลายเป็นกลุ่ม SiOH และกลุ่ม SiF (Eliades, 2003)

Borges และคณะ (2003) กล่าวว่ากรดไฮโดรฟลูออริกสามารถกัดผิวของพอร์ซเลนที่เป็นเฟลสปาทิกพอร์ซเลนได้เนื่องจากกรดไฮโดรฟลูออริกเข้าทำปฏิกิริยากับ silica phase เกิดเป็น hexafluorosilicates ซึ่งสามารถล้างออกได้ด้วยน้ำ ทำให้ผิวของพอร์ซเลนมีลักษณะพรุนคล้ายรังผึ้ง (honeycomb-like surface) ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเกาะเกี่ยวทางจุลภาค แต่ถ้าเป็นพอร์ซเลนประเภทอะลูมินัสปอร์ซเลนจะมี silicate glass น้อยกว่าร้อยละ 5 เมื่อกัดกรดไฮโดรฟลูออริกจึงไม่สามารถสร้างการเกาะเกี่ยวทางจุลภาคได้มากพอ

Zohairy และคณะ (2002) กล่าวว่าซีเมนต์จะให้ค่าแรงยึดบนพอร์ซเลนต่ำเมื่อไม่มีการปรับสภาพผิวของพอร์ซเลนหรือปรับสภาพผิวด้วยกรดฟอสฟอริก จากการทดลองนี้พบว่าการปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 8 เป็นเวลา 2 นาทีจะให้ค่าแรงยึดสูงกว่าการทาด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 เป็นเวลา 2 นาที ผลนี้เกิดจากการที่กรดไฮโดรฟลูออริกสามารถทำให้เกิดส่วนคอด (undercuts) และหลุม (surface pits) จำนวนมากมายตามผิวหน้า

โดยการไปละลาย glass phase ใน ceramic matrix เป็นการเพิ่มผิวสัมผัสสำหรับไฮเลนก่อนให้เกิดการเกาะเกี่ยวเชิงกลทางจุลภาคร่วมกับการเกาะเกี่ยวทางเคมีได้มากขึ้น ส่วนการทากรดฟอสฟอริกเป็นได้แค่เพียงการทำความสะดวกผิวหน้าของพอร์ซเลนเท่านั้นซึ่งเมื่อมองดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะพบว่าไม่มีร่องรอยของการกัด (etching pattern) บนผิวพอร์ซเลนเลย แต่อย่างไรก็ตามกรดฟอสฟอริกสามารถก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีบนผิวพอร์ซเลนโดยการ neutralizing ความเป็นด่างบนชั้นดูดซับน้ำ (adsorbed water layer) ของเซรามิกได้ ช่วยส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาของไฮเลนได้ (การทดลองนี้ใช้พอร์ซเลนด้วยกระดาษทรายร่วมกับน้ำก่อน จากนั้นนำไปปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกหรือกรดฟอสฟอริก และทาไฮเลนตามก่อนจะนำไปยึดด้วยเรซินซีเมนต์ และนำไปทดสอบค่าแรงดึงต่อไป)

Naleway (1985) ทดสอบการสะท้อนแสงของพอร์ซเลนเมื่อสัมผัสกับเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ 2 ชนิด คือ Luride 1.2% และ Gel II 1.23% พบว่าพอร์ซเลนต่างชนิดกันเมื่อทาแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ต่างชนิดกันจะมีการสะท้อนแสงลดลงไม่เท่ากัน แต่พบว่าพอร์ซเลนทั้ง 2 บริษัทเมื่อทาแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ทั้งไว้นาน 20 นาทีจะมีการสะท้อนแสงลดลงถึงร้อยละ 50 จากเริ่มต้น การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงที่พื้นผิวของพอร์ซเลน เมื่อมองดูด้วยตาเปล่าจะเห็นการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยถึงปานกลางเท่านั้น หากที่จะสังเกตเห็น ผลการทดลองครั้งนี้สรุปได้ว่าการกัดกร่อนที่ผิวของพอร์ซเลนเป็น primary effect ซึ่งเป็นผลกระทบน้อยมาก แต่จะมีผลต่อแนวโน้มการติดสีหรือเกิดการสะสมของแผ่นคราบจุลินทรีย์ในอนาคตมากกว่า

การยึดติดโดยตรงทางทันตกรรมจัดฟัน

การติดแบร็กเกตโดยตรงกับผิวฟันในทางทันตกรรมจัดฟันต้องอาศัยสารยึดติดเป็นตัวช่วยยึด การติดแบร็กเกตโดยตรงทางทันตกรรมจัดฟันเริ่มต้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ.1965 ด้วยการใช้อีพอกซี (epoxy) เป็นสารยึดติด (Newman, 1965) เมื่อมีการปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 50% และใช้อีพอกซีเป็นสารยึดติดสามารถให้แรงยึดติดแบร็กเกตเกินกว่า 600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แต่หากไม่มีการปรับสภาพผิวฟันก่อนจะได้แรงยึดต่ำกว่า 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Retief, Dryer และ Gavron, 1970)

คุณสมบัติของวัสดุยึดติดทางทันตกรรมในอุดมคติ (Retief และคณะ, 1970) มีดังนี้

1. ควรมีการก่อตัวเร็วที่อุณหภูมิกาย
2. ไม่ควรมีการหดตัวขณะก่อตัว
3. เมื่อเรซินแข็งตัวแล้วควรมีการเชื่อมไขว้ (cross-linked) ในเนื้อวัสดุเพื่อลดการดูดน้ำ
4. มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านทานแรงบดเคี้ยว
5. ควรมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อนใกล้เคียงกับโครงสร้างของฟัน
6. ไม่เป็นพิษต่อเนื้อเยื่อใน (pulp) และเนื้อเยื่ออ่อนในช่องปาก
7. ไม่ควรเสีกรูปร่างหรือเสื่อมสภาพเมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมของช่องปาก
8. ควรให้แรงยึดที่ทนนานทั้งกับเคลือบฟันและเนื้อฟัน

Reynolds (1975) ได้กล่าวถึงข้อดีและข้อด้อยของการยึดติดโดยตรงทางทันตกรรมจัดฟัน

ดังนี้

ข้อดีของการยึดติดโดยตรง

1. ให้ความสวยงาม
2. ทำงานและลดความไม่สบายที่เกิดขึ้นกับผู้ป่วย
3. ไม่ต้องมีขั้นตอนแยกฟัน
4. ผู้ป่วยสามารถดูแลความสะอาดช่องปากได้ง่ายโดยเฉพาะบริเวณขอบเหงือก
5. ลดการระคายเคืองเนื้อเยื่ออ่อน
6. ลดความเสี่ยงในการเกิดการละลายเคลือบฟันซึ่งมักเกิดได้ปลอกโลหะรัดฟัน
7. สามารถตรวจเห็นรอยผู้ได้ง่ายและรักษาได้
8. ไม่ต้องมีการปิดช่องว่างที่เกิดจากปลอกโลหะรัดฟันหลังจบการรักษา
9. สะดวกในการจัดวางตำแหน่งแบรคเกตที่ถูกต้อง
10. สามารถควบคุมฟันซึ่งขึ้นผิดตำแหน่งและฟันที่ขึ้นเพียงบางส่วนได้

ข้อเสียของการยึดติดโดยตรง

1. การทำความสะอาดสารยึดติดให้หมดจดทำได้ยาก
2. ลดพื้นที่ผิวในการยึดติดอุปกรณ์ต่าง ๆ ทำให้การติดอยู่ (retention) ลดลงมาก
3. ขาดการป้องกันผิวฟันด้านประชิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดฟันด้วยเทคนิคเบรคยะที่ 3 ซึ่งต้องใช้สปริงตั้งฟันทำให้การทำความสะอาดซอกฟันทำได้ยาก

Reynold (1975) ได้สรุปจากการทดลองของ Mizrahi และ Smith (1971) และการทดลองของ Newman (1965) ว่าแรงจากการบดเคี้ยวโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 12 กิโลกรัมและ 4.5 กิโลกรัมตามลำดับ ส่วนแรงสูงสุดจากการจัดฟันด้วยการใช้เฮดเกียร์คือ 1.5 กิโลกรัม ดังนั้นการยึดติดโดยตรงทางทันตกรรมจัดฟันน่าจะต้องทนแรงระดับนี้ได้ นอกจากนี้เขาได้สรุปจากการทดลองอีกหลายชิ้นได้แก่ Newman (1965, 1969), Mizrahi และ Smith (1971), Retief และคณะ (1970), Miura และคณะ (1971), Cohl และคณะ (1972), Dijkman และ Retief (1972), Mizrahi (1972) และการทดลองของ Silverman และคณะ (1972) ว่าค่ากำลังแรงยึดสูงสุด ของการยึดติดทางทันตกรรมที่มีค่าอยู่ระหว่าง 60-80 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จึงจะให้การยึดติดที่ประสบความสำเร็จทางคลินิกตลอดช่วงการรักษา 2 ปี ซึ่งเทียบได้กับแรงยึดประมาณ 5.9 ถึง 7.8 MPa (Yi, Dunn และ Taloumis, 2003) หรือ 5.88 ถึง 7.85 MPa (Carty และ Tyas 1993)

ระบบยึดติด (adhesive system)

ระบบยึดติดที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นวัสดุที่มีชื่อทางการค้าว่า ทรานส์บอนด์เอกซ์ที (Transbond XT) ของบริษัท 3M ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นวัสดุยึดติดประเภทคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสง มีส่วนประกอบดังนี้ (Lai, Woods และ Tyas, 1999; Dorminey, Dunn และ Taloumis, 2003)

1. เฟสต์ (paste)

มีลักษณะเป็นครีมข้น ประกอบด้วย BIS-GMA/TEGDMA monomer ร้อยละ 18 และไฮบริดฟิลเลอร์ร้อยละ 82 ซึ่งเป็นซิลิกาที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าไมครอน ผสมร่วมกับไมโครไฟน์คอมโพสิตขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 3 ไมครอน นอกจากนี้ได้เติมเอดิคิโตน (adiketone) และเอมีนอินทรีย์ (organic amine) เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวถูกกระตุ้นด้วยแสง (photoinitiators)

2. ลิกวิด (liquid)

เป็นส่วนเหลวประกอบด้วย BIS-GMA ผสมกับยูรีเทนโพลิโเมอร์ (urethane oligomer) วัสดุชนิดนี้ให้ค่ากำลังแรงยึดเพียงพอที่จะทนต่อแรงจัดฟันได้หลังจากบ่มตัวแล้ว 60 นาที นอกจากนั้นยังมีผู้ทดลองพบว่าแรงยึดประเภทแรงเฉือนที่เวลา 1 ชั่วโมงและ 24 ชั่วโมงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงอาจไม่จำเป็นต้องทดสอบแรงยึดแบบเฉือนที่เวลา 1 ชั่วโมงเมื่อใช้ทรานส์บอนด์เอกซ์ทีที่เป็นวัสดุยึดติด (Sharma-Sayal และคณะ, 2003)

การติดแบร็กเกตกับพอร์ซเลน

การยึดติดระหว่างแบร็กเกตกับพอร์ซเลนต้องอาศัยสารช่วยยึดหรือแอดฮีซีฟ ซึ่งการที่สารยึดประเภทเรซินจะไหลแผ่ไปบนผิวที่ต้องการยึดได้จะต้องมีมุมสัมผัส (contact angle) ระหว่างหยดของเหลวซึ่งเป็นเรซินกับผิวพื้นทำมุมกันน้อย เรซินจึงสามารถไหลแผ่ได้ดีและเกิดการยึดที่แน่น ในทางตรงกันข้ามหากมีมุมสัมผัสมากจะทำให้เรซินไหลแผ่ได้น้อยและแรงยึดระหว่างเรซินกับพื้นก็น้อยตามไปด้วย (Retief, 1978) การเพิ่มความขรุขระที่ผิวหน้าของพอร์ซเลนช่วยลดมุมสัมผัสของเรซินทำให้เรซินไหลเปียกดีขึ้น ส่งผลให้แรงยึดสูงกว่ากรณีไม่ขจัดผิวเคลือบของพอร์ซเลนออกก่อนการยึดติด (Oh และ Shen, 2003) การทำให้ผิวขรุขระด้วยการกรอผิวด้วยวิธีต่าง ๆ และการกัดด้วยกรดเช่นกรดไฮโดรฟลูออริกหรือเอพีเอฟ (APF) จะช่วยเพิ่มกำลังแรงยึดได้ นอกจากนี้กำลังแรงยึดยังลดลงเมื่อผ่านกระบวนการเทอร์โมไซเคิลหรือผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลานาน (Fan, 1991)

Dorminey และคณะ (2003) ได้วัดแรงยึดระหว่างแบร็กเกตโลหะของฟันกรามน้อยซี่ที่สองล่างรุ่น Victory Series ของบริษัท 3M กับฟันกรามแท้ซี่ที่สาม โดยใช้ระบบยึดติดทรานส์บอนด์เอกซ์ที การทดลองนี้ไม่ได้กำหนดแรงกดในการติดแบร็กเกต และฉายแสงที่ด้านไกลกลางและด้านใกล้กลางของแบร็กเกตโลหะด้านละ 20 วินาทีซึ่งต่างจากที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดให้ฉายแสงเพียงด้านละ 10 วินาที จากนั้นฟันตัวอย่างไปแช่น้ำลายเทียมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปวัดค่าแรงยึดแบบเฉือนด้วยเครื่องอินสตรอน ผลการวัดค่าแรงยึดเฉลี่ยเท่ากับ 11.3 ± 2.2 MPa

ส่วน Lai และคณะ (1999) ได้วัดค่าแรงยึดแบบเฉือนปอกระหว่างแบร็กเกตโลหะกับเรซินคอมโพสิตและใช้วัสดุทรานส์บอนด์เอกซ์ทีเป็นวัสดุยึดติด ในการทดลองนี้ใช้แบร็กเกตของฟันตัดคู่กลางรุ่น Victory Series ของบริษัท 3M และแบร็กเกตโลหะของฟันตัดคู่กลางรุ่น Mini Diamond Optimesh ของบริษัททอมโก ติดแบร็กเกตกับผิวเรซินคอมโพสิตด้วยผู้ทดลองคนเดียวกันโดยไม่มี การกำหนดแรงกดเพื่อให้เหมือนกับการใช้งานจริงในคลินิกและเพื่อให้แบร็กเกตแนบกับผิววัสดุมากที่สุด ใช้วัสดุยึดติดตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ผลการทดสอบพบว่าได้ค่าแรงยึดแบบเฉือน/ปอกเท่ากับ 14.5 ± 8.16 MPa และ 10.4 ± 7.15 MPa ตามลำดับเมื่อไม่ผ่านกระบวนการเทอร์โมไซเคิล แต่หากผ่านกระบวนการเทอร์โมไซเคิล จะได้ค่าแรงยึดแบบเฉือน/ปอกเท่ากับ 20.0 ± 10.5 MPa และ 26.8 ± 9.29 ตามลำดับ ผลการวิจัยนี้พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติระหว่างแรงยึดแบบเนียน/ปกของแบร็กเกตรุ่น Victory Series ที่ผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิก หรือผ่านการแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสโดยไม่ผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิก แต่กรณีเป็นแบร็กเกตรุ่น Mini Diamond Optimesh จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ในการทดลองนี้ได้มีการศึกษาค่าแรงยึดแบบ/เนียนปกเมื่อใช้ร่วมกับวัสดุยึดติดชนิดบ่มตัวเองคือ System 1+ อีกด้วย ผลการทดลองพบว่าแบร็กเกตรุ่น Optimesh ร่วมกับวัสดุยึดติดทรานส์บอนด์เอ็กซ์ที และแบร็กเกตรุ่น Victory Series ร่วมกับวัสดุยึดติด System 1+ ที่ผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิกจะให้ค่าแรงยึดแบบเนียน/ปกสูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (26.8 MPa และ 24.4 MPa ตามลำดับ) ผู้วิจัยได้สรุปผลการทดลองว่าค่าแรงยึดที่แตกต่างกันเป็นค่าแรงยึดที่เพียงพอต่อการใช้งานทางคลินิกและความแตกต่างกันนี้ไม่ได้เป็นผลมาจากชนิดของวัสดุยึดติดแต่เป็นความแตกต่างที่เกิดจากรุ่นของแบร็กเกตเอง

Cochran และคณะ (1997) ได้ศึกษาค่าแรงยึดแบบดึง (tensile force) ระหว่างพอร์ซเลนกับคอมโพสิต โดยมีการปรับสภาพผิวพอร์ซเลนก่อนการยึด 5 วิธีดังนี้ คือ การเป่าทราย การเป่าทรายร่วมกับการทาไฮเลน การกัดผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกชนิดเจลดความเข้มข้นร้อยละ 9.6 นาน 150 วินาที การกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกร่วมกับการทาไฮเลน และการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 ร่วมกับการทาไฮเลน หลังจากปรับสภาพผิวของพอร์ซเลนแล้วได้แบ่งกลุ่มออกเป็นอีก 3 กลุ่มย่อย คือ การไม่ทาสารช่วยยึด การทาด้วยสารช่วยยึดยี่ห้อ Optibond ของบริษัท Kerr และการทาด้วยสารช่วยยึดยี่ห้อ Scotchbond ของบริษัท 3M จากนั้นนำไปยึดด้วยคอมโพสิตซีเมนต์ชนิดที่ต้องผสมยี่ห้อ Consize ของบริษัท 3M ขึ้นทดสอบทุกชิ้นนำไปแช่น้ำอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำไปทดสอบค่าแรงดึง ผลการทดสอบพบว่า การเป่าทรายเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการใช้ไฮเลนร่วมด้วยให้ค่าแรงยึดต่ำสุด คืออยู่ระหว่าง 4.0 ถึง 6.5 MPa ทั้งกลุ่มซึ่งทาสารช่วยยึดและกลุ่มที่ไม่ทาสารช่วยยึด ซึ่งผู้วิจัยกล่าวว่าไม่เพียงพอต่อการใช้งานทางคลินิก ส่วนการปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกให้ค่าแรงยึดปานกลางคือ อยู่ระหว่าง 10.2 ถึง 17.8 MPa ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เป่าทรายเพียงอย่างเดียว ซึ่งผู้วิจัยอธิบายว่าเป็นเพราะการทากรดไฮโดรฟลูออริกทำให้เกิดรอยกัดบนผิวพอร์ซเลนลึกกว่าการเป่าทรายส่งผลให้เกิดการยึดเกาะที่ดีกว่า ส่วนกลุ่มที่มีการใช้ไฮเลนนั้นพบว่าไฮเลนช่วยเพิ่มแรงยึดทุกกลุ่มทดลองคือเพิ่มมากถึงร้อยละ 450 ถึงร้อยละ 820 ในกลุ่มที่เป่าทรายและเพิ่มร้อยละ 100 ถึงร้อยละ 130 ในกลุ่มที่ปรับสภาพผิวด้วยกรด แต่การใช้ไฮเลนร่วมด้วยก็เพิ่มการแตกหักในเนื้อพอร์ซเลนของกลุ่มทดลองทุกกลุ่มเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Thurmond และคณะ(1994) ที่พบว่าการยึดระหว่างคอมโพสิตกับพอร์ซเลนเมื่อมีการทาไฮเลน

ร่วมด้วยจะพบการแตกหักแบบ cohesive ในเนื้อพอร์ซเลนถึง 100% กับกลุ่มทดลอง 3 กลุ่ม
 ดังนี้ กลุ่มที่หนึ่งมีการปรับสภาพด้วยไฮเลน กลุ่มที่สองมีการทากรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้น
 ละ 8 ร่วมกับการทาไฮเลน และกลุ่มสุดท้ายเป่าด้วยผงลูมินัมออกไซด์ขนาดอนุภาค 50 ไมครอน
 ร่วมกับการทาไฮเลน

Hayakawa และคณะ (1992) ศึกษาผลของการปรับสภาพผิวของพอร์ซเลนและการทาไฮ
 เลนต่อการยึดติดระหว่างเรซินกับพอร์ซเลน ผลการศึกษาพบว่า การปรับสภาพผิวหน้าของพอร์
 ซเลนด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกนาน 60 วินาที ให้ค่ากำลังแรงยึดสูงกว่าการขัดผิวด้วยกระดาษทราย
 เบอร์ 1000 หรือการทากรดฟอสฟอริกนาน 60 วินาทีอย่างมีนัยสำคัญ แต่ที่น่าสังเกตคือทั้ง 3 กลุ่ม
 มีการขัดผิวพอร์ซเลนด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1000 มาก่อน จากการทดลองนี้พบว่าไฮเลนต่าง
 ชนิดกันให้ค่ากำลังแรงยึดแตกต่างกัน โดย Laminabond Porcelain Primer และ Optec Silane
 Coupling Agent ให้ค่ากำลังแรงยึดสูงเมื่อไม่สนใจวิธีการปรับสภาพผิวที่แตกต่างกัน แต่ในขณะที่
 Cosmotech Primer ให้ค่าแรงยึดต่ำสุด สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก Cosmotech Primer ทำ
 หน้าที่เพียงแค่การเพิ่มการไหลแผ่ของคอมโพสิตเท่านั้น ไม่ได้เกิดพันธะเคมีที่เรียกว่าพันธะซิลอก
 เซน (siloxane bond) ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการเกิดแรงยึดทางเคมี ผู้วิจัยได้แนะนำเป็นข้อสรุปว่า
 การปรับสภาพผิวร่วมกันระหว่างการทากรดไฮโดรฟลูออริกและการทาไฮเลนจะช่วยเพิ่มกำลังแรง
 ยึดระหว่างคอมโพสิตกับพอร์ซเลนมากกว่าการปรับสภาพด้วยกรดฟอสฟอริก

Thurmond, Barkmeir และ Wilwerding (1994) ทดลองพบว่า การยึดระหว่างพอร์ซเลน
 กับเรซินคอมโพสิตที่เวลา 24 ชั่วโมง เมื่อปรับสภาพผิวพอร์ซเลนด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก
 เปรียบเทียบกับการปรับสภาพผิวด้วยกรดร่วมกับการทาไฮเลนให้ค่าแรงเฉือนไม่แตกต่างกันอย่าง
 มีนัยสำคัญทางสถิติ (23.4 ± 4.2 MPa และ 22.7 ± 4.9 MPa ตามลำดับ) และไม่แตกต่างอย่างมี
 นัยสำคัญกับกลุ่มที่ทาไฮเลนเพียงอย่างเดียวเช่นกัน (ค่าแรงยึดเท่ากับ 25.0 ± 4.4 MPa) แต่
 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ปรับสภาพผิวด้วยหัวกรอกากเพชรชนิดหยาบปาน
 กลาง (16.4 ± 4.7 MPa) และได้สรุปผลการทดลองซึ่งพิจารณาจากความล้มเหลวในการยึดของ
 พอร์ซเลนกับคอมโพสิตว่าหากแรงยึดแบบเฉือนระหว่างพอร์ซเลนกับคอมโพสิตมีค่าต่ำกว่าหรือ
 เท่ากับ 13 MPa จะทำให้รูปแบบการแตกหักในเนื้อพอร์ซเลนเปลี่ยนไปเป็นการแตกหักในชั้นของ
 แอดฮีซีฟที่ยึดระหว่างพอร์ซเลนกับคอมโพสิต

White และ Tyas (1993) ทดสอบแรงยึดแบบเชื่อมระหว่างพอร์ซเลนกับแบร็กเกตโลหะ โดยพอร์ซเลนที่นำมาทดสอบไม่ผ่านการขัดผิวเคลือบ (glaze) แต่ปรับสภาพผิวด้วย 1.23% APF gel เป็นเวลา 4 นาทีนำมายึดด้วยวัสดุยึดซึ่งเป็นเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวเอง (System 1+) และชนิดบ่มตัวด้วยแสง (Sequence) การวิจัยพบว่าได้ค่าแรงยึดต่ำมากคือ 0.91 ± 1.55 MPa และ 0.76 ± 1.23 MPa ตามลำดับซึ่งไม่เพียงพอต่อการใช้งานทางคลินิกทันตกรรมจัดฟัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Schmage และคณะ (2003) ที่ว่าหากไม่มีการขัดผิวเคลือบของพอร์ซเลนออกก่อนการติดแบร็กเกต จะพบการหลุดของแบร็กเกตทุกตัวในขณะที่ผ่านกระบวนการเทอร์โมไซ-คลิง ทำให้ไม่สามารถนำมาวัดค่าแรงยึดได้

Schmage และคณะ (2003) ศึกษาค่าแรงยึดแบบเชื่อมระหว่างแบร็กเกตโลหะกับพอร์ซเลนซึ่งผ่านการปรับสภาพผิวด้วยวิธีต่าง ๆ ดังนี้ 1.ไม่ขัดผิวเคลือบ 2.กรวดด้วยหัวกรอกากเพชรชนิดละเอียดขนาดอนุภาค 30 ไมครอน 3.การเป่าทรายที่มีขนาดอนุภาค 10 ไมครอน 4.การทำกรวดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 5 นาน 90 วินาที และกลุ่มสุดท้ายผ่านกระบวนการ silication ร่วมกับการทำไซเลน (เป็นการเป่าผิวหน้าของพอร์ซเลนด้วยผงอลูมิเนียมออกไซด์ (aluminum oxide) ซึ่งผ่านการดัดแปร (modified) ด้วยกรดซิลิสิก (silicic acid) เพื่อให้ผิวหน้าของพอร์ซเลนไวต่อการทำปฏิกิริยากับเรซิน นอกจากนั้นยังแบ่งกลุ่มย่อยในกลุ่มที่ 3 และ 4 เพื่อนำไปปรับสภาพผิวด้วยไซเลนอีกครั้งหนึ่ง ผลการทดลองพบว่าหากไม่ขัดผิวหน้าของพอร์ซเลนจะเกิดความล้มเหลวของการยึดติดระหว่างแบร็กเกตกับพอร์ซเลนในระหว่างที่ทำเทอร์โมไซคลิงทำให้ไม่สามารถวัดแรงได้ และพบว่าค่าแรงยึดแบบเชื่อมระหว่างกลุ่มที่ใช้กรวดไฮโดรฟลูออริก กรวดไฮโดรฟลูออริกร่วมกับไซเลน และกลุ่มที่ทำ silication ร่วมกับการทำไซเลน ให้ค่าแรงยึดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือให้ค่าแรงยึด 14.7 ± 3.3 , 12.3 ± 3.4 และ 14.9 ± 3.8 MPa ตามลำดับ ในขณะที่การปรับสภาพผิวหน้าพอร์ซเลนด้วยการกรวดด้วยหัวกรอกากเพชรหรือการเป่าทรายต่างก็ให้แรงยึดต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ คือ 1.6 ± 0.8 และ 2.8 ± 1.5 MPa ตามลำดับ ซึ่งต่ำเกินกว่าที่จะนำไปใช้งานทางคลินิกได้ เมื่อวัดค่าความหยابที่ผิวพอร์ซเลนพบว่าการปรับสภาพผิวด้วยสารเคมีทำให้เกิดความหยابน้อยกว่าการปรับสภาพผิวด้วยวิธีการเชิงกล กลุ่มที่กรวดด้วยหัวกรอและเป่าทรายมีค่าความหยابสูงที่สุด (9.3 ไมครอนและ 9.7 ไมครอน ตามลำดับ) ซึ่งเสี่ยงต่อการทำให้เกิดความเสียหายบนผิวของเซรามิก

Pannes และคณะ (2003) แนะนำว่าหากต้องการติดแบร็กเกตกับพอร์ซเลนควรทำไซเลนไพรมอร์ร่วมด้วยเสมอเพื่อให้เกิดแรงยึดเพียงพอ จากการทดลองนี้พบว่าต้องกรอเปิดผิวพอร์ซเลนก่อนการทำไซเลนร่วมด้วยทุกกลุ่ม แต่ค่าแรงยึดที่ทำไซเลนจะแตกต่างกันไปตามวัสดุยึดติดของแต่ละ

ละบริษัท เนื่องจากมีบางบริษัทได้ค่าแรงยึดแบบเฉลี่ยต่ำสุดถึง 2.865 MPa ส่วนกลุ่มที่ให้แรงยึดเฉลี่ยสูงสุดมีค่า 8.727 MPa ซึ่งเมื่อวัดความล้มเหลวของการยึดติดพบว่าเป็นความล้มเหลวในการยึดติดชนิด adhesive failure ในชั้นของวัสดุยึดเท่านั้น หากพิจารณาแรงยึดจะพบว่าต่ำกว่า 13 MPa ทั้งสิ้นซึ่งจะไม่ทำให้เกิดการแตกหักในเนื้อพอร์ซเลน (Thurmond, Barkmeier และ Wilwerding, 1994)

การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์และกรดไฮโดรฟลูออริก

Tylka และ Stewart (1994) ได้ศึกษาเปรียบเทียบแรงยึดระหว่างพอร์ซเลนและคอมโพสิต เมื่อมีการปรับสภาพผิวพอร์ซเลนด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 9.5 เป็นเวลา 5 นาที และปรับสภาพผิวพอร์ซเลนด้วยแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 เป็นเวลา 10 นาที ทั้งสองกลุ่มมีการกรอขจัดผิวเคลือบของพอร์ซเลน เมื่อปรับสภาพผิวแล้วจึงทาด้วยไซเลนก่อนทาสารช่วยยึดซึ่งเป็นเรซินชนิดไม่มีเติมสารอัดแทรก (unfilled resin) หลังจากนั้นนำไปยึดกับเรซินคอมโพสิตชนิดเติมสารอัดแทรก (filled composite resin) ผลการวัดค่าแรงบิด (torsional load) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และผู้วิจัยยังได้ตรวจสอบลักษณะผิวทางกายภาพของพอร์ซเลนที่ผ่านการกัดด้วยกรดจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 3000 เท่า พบว่าลักษณะผิวหน้าของพอร์ซเลนเมื่อกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกมีลักษณะเป็นโครงร่างของฟองอากาศและร่องสานไปมาคล้ายตาข่าย (lattice of voids and channels) ส่วนผิวของพอร์ซเลนที่ผ่านการกัดด้วยแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 จะมีลักษณะเรียบและสม่ำเสมอ ซึ่งหากว่ากรดไฮโดรฟลูออริกสามารถทำให้เกิดการยึดเกาะทางจุลภาค (micromechanical retention) ได้มากกว่าการใช้แอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 ย่อมให้ค่ากำลังแรงยึดสูงกว่า แต่จากผลการทดลองนี้พบว่าค่าแรงยึดเมื่อมีการใช้ร่วมกับไซเลนไม่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงแนะนำว่าควรใช้แอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 ในการปรับสภาพผิวหน้าของพอร์ซเลนร่วมกับการทาไซเลนเนื่องจากมีอันตรายน้อยกว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก

Wunderlich และ Yaman (1986) ได้วัดผลของการทาฟลูออไรด์เฉพาะที่ชนิดต่าง ๆ 6 ชนิด (ตามตารางที่ 1) บนผิวพอร์ซเลนซึ่งผ่านการเคลือบผิว และได้วัดความหยาบที่เกิดขึ้นบนผิวด้วยเครื่อง Surf-analyzer 150 profile recorder พบว่าผิวพอร์ซเลนที่สัมผัสกับแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 และ สเตนเนสฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 8 มีความ

หยาบมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการสัมผัสนานตั้งแต่ 4 นาทีขึ้นไป จึงควรระมัดระวังในการใช้ฟลูออไรด์ประเภทนี้

Ghassemi-Tary (1979) ศึกษาค่าแรงเฉือน (shear) แรงดึง (tensile) และแรงหมุน (rotation) ระหว่างแบร็กเก็ตโลหะกับพอร์ซเลนซึ่งไม่มีผิวเคลือบ ผลการทดสอบพบว่าได้ค่าแรงยึดแบบเฉือนสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแรงดึงและแรงหมุน คือได้ค่าเท่ากับ 7.389 ± 2.161 , 4.640 ± 1.919 และ 3.045 ± 1.101 ปอนด์ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่าการทดลองนี้ไม่ได้คำนวณแรงต่อหน่วยพื้นที่และไม่มีการทดสอบความแตกต่างของกลุ่มด้วยวิธีการทางสถิติ

Bona และ Noort (1995) ทดสอบการยึดติดของคอมโพสิตกับพอร์ซเลน โดยการขัดผิวพอร์ซเลนด้วยหัวขัดกระดาษทรายเบอร์ 600 จากนั้นแบ่งเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกทากรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 9.6 นาน 2 นาที ส่วนกลุ่มที่สองทาปูนแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 นาน 2 นาที จากนั้นล้างน้ำออกและทาทับด้วยไซเลนทั้งสองกลุ่ม ผลการวัดค่าแรงดึงพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือได้ค่าแรงยึดเป็น 13.46 ± 2.18 และ 13.43 ± 4.46 MPa ตามลำดับ เมื่อศึกษารูปแบบการแตกหักพบว่าทุกชิ้นทั้งสองกลุ่มมีการแตกหักภายในชั้นของแอตชีซีฟ ซึ่งมักเกิดรอยแตกใกล้ตำแหน่งของรอยต่อระหว่างแอตชีซีฟกับเซรามิกหรือแตกตรงตำแหน่งรอยต่อของแอตชีซีฟกับเซรามิก

Canay และคณะ (1998) ศึกษาารูปแบบผิวหน้าของพอร์ซเลนซึ่งขัดผิวหน้าด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 จากนั้นกัดผิวหน้าของพอร์ซเลนด้วยแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 เป็นเวลานาน 10 นาที เปรียบเทียบกับการทากรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 9.5 นาน 1 นาทีและ 4 นาที ผลการศึกษาพบว่าแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์สามารถกัดผิวของพอร์ซเลนก่อให้เกิดการเกาะเกี่ยวทางกลในระดับจุลภาคได้แต่จะได้ผิวที่ค่อนข้างเรียบสม่ำเสมอ ส่วนการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกจะทำให้ผิวมีลักษณะเป็นร่องและหลุมมากกว่าการกัดด้วยแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์แม้ว่าใช้ระยะเวลาสั้นเพียง 1 นาที การกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกนาน 1 นาทีให้ลักษณะความขรุขระที่ผิวเพียงพอ หากเพิ่มเวลาเป็น 4 นาทีจะทำให้ผิวหน้าของพอร์ซเลนมีความขรุขระในลักษณะที่มีความแหลมและเรียงตัวไม่เป็นระเบียบมากขึ้น ส่งผลให้เป็นบริเวณที่สะสมความเค้นก่อให้เกิดการแตกหักในพอร์ซเลนตามมาในภายหลังได้ นอกจากนี้การทดลองนี้ยังพบอีกว่าการล้างผิวหน้าพอร์ซเลนด้วยน้ำกลั่นจะไม่เพียงพอที่จะขจัดตะกอนของแร่ธาตุที่เกิดจากการกัดของกรดทั้งสองชนิดได้เมื่อเทียบกับการทำความสะอาดด้วยเครื่องเขย่าความถี่เหนือเสียง

Vyver และคณะ (1996) กล่าวว่า การซ่อมแซมพอร์ซเลนด้วยการทาแอซิดูเลตฟอสเฟต ฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 4 นาน 2 นาที ให้ค่าแรงยึดต่ำกว่าการทาด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 9.6 นาน 2 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยได้ค่าแรงยึด 6.0 ± 2.1 และ 13.1 ± 3.9 MPa ตามลำดับ จึงไม่ควรนำมาใช้เพื่อการซ่อมแซมพอร์ซเลน

Zachrisson และคณะ (1996) ศึกษาแรงยึดระหว่างแบรคเกตกับพอร์ซเลนเมื่อใช้วิธีการเตรียมผิวที่แตกต่างกัน โดยมีการเป่าทรายขนาดอนุภาค 50 ไมครอนทุกกลุ่มก่อนการปรับสภาพผิวด้วยวิธีอื่น ผลการศึกษาพบว่าแรงยึดเมื่อมีการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 9.6 กัดผิว พอร์ซเลนนาน 10 นาที (11.5 ± 2.8 MPa) ไม่แตกต่างจากการทาไฮเลนไพรเมอร์ (11.6 ± 2.9 MPa) และไม่แตกต่างจากการทาไฮเลนไพรเมอร์ร่วมกับการทา intermediate resin (All-Bond 2 Primers A + B) (11.7 ± 2.8 MPa) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อกัดผิวพอร์ซเลนด้วยวุ้นแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 4 เป็นเวลานาน 2 นาทีพบว่าให้แรงยึดต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (3.4 ± 1.2 MPa)

Pameijer และคณะ (1996) กล่าวว่า การซ่อมพอร์ซเลนควรจะต้องกรอผิวเคลือบออกก่อนเสมอ เนื่องจากทดลองพบว่าแรงยึดระหว่างคอมโพสิตกับพอร์ซเลนซึ่งยังมีผิวเคลือบอยู่แม้ว่าจะผ่านการกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกและทาทับด้วยไฮเลนแล้ว ยังให้แรงยึดไม่เพียงพอต่อการใช้งานทางคลินิก (3.75 ± 0.3 MPa) ดังนั้นจึงแนะนำให้ขจัดผิวเคลือบของพอร์ซเลนออกก่อนการปรับสภาพผิว การวิจัยนี้พบว่าการเป่าทรายและการทาด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกให้ค่าแรงยึดไม่ต่างจากการทากรดไฮโดรฟลูออริกเพียงอย่างเดียวเมื่อใช้ไฮเลนร่วมด้วยทุกวิธี ผู้วิจัยได้แนะนำว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกมีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติมากที่สุดเนื่องจากทันตแพทย์ทั่วไปไม่มีเครื่องเป่าทรายขนาดเล็ก (microetching device) ไว้ใช้งานในคลินิก ซึ่งเหมือนกับคำแนะนำของ Ozcan และคณะ (2004) ที่กล่าวว่า การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกยังคงเป็นสิ่งที่เหมาะสมสำหรับเหตุผลทางทันตกรรมจัดฟัน เมื่อต้องนำไปใช้ในช่องปาก เพราะเขาพบว่าแรงยึดระหว่างแบรคเกตโพลีคาร์บอเนตกับพอร์ซเลนซึ่งผ่านการปรับสภาพผิวด้วยการพ่นผงอะลูมิเนียมไตรออกไซด์ (aluminium trioxide particles) ตามด้วยการทาไฮเลนให้ค่าแรงยึด (12 ± 2.9 MPa) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ การปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก (11.2 ± 2.3 MPa) ความเข้มข้นร้อยละ 9.5 เป็นเวลา 90 วินาที

Bourke และ Rock (1999) ศึกษาผลของการปรับสภาพผิวของพอร์ซเลนที่มีผิวเคลือบ และไม่มีผิวเคลือบต่อค่าแรงเฉือนที่ได้จากการติดแบร็กเกตโลหะกับพอร์ซเลน ผลการศึกษาพบว่า 1.) การขจัดผิวเคลือบของพอร์ซเลนหรือการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกก่อนการยึดแบร็กเกตไม่เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้เกิดแรงยึดได้มากพอเมื่อมีการใช้ไซเลนร่วมด้วย เพราะเมื่อดูค่าแรงยึดแบบเฉือนจะพบว่ากลุ่มที่ไม่ขจัดผิวเคลือบร่วมกับการทากรดฟอสฟอริกแล้วทาไซเลนเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ขจัดผิวเคลือบร่วมกับการทากรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 9.6 เป็นเวลานาน 3 นาทีร่วมกับไซเลนให้ค่าแรงยึดไม่แตกต่างกัน คือ 10.04 ± 2.84 MPa และ 10.29 ± 1.3 MPa ตามลำดับซึ่งไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณากรณีที่มีการขจัดผิวเคลือบออกแล้วใช้กรดฟอสฟอริกร่วมกับไซเลนและใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร่วมกับไซเลน ให้ค่าแรงยึดดังนี้ 8.52 ± 1.03 และ 18.69 ± 1.4 MPa ตามลำดับ จะพบว่าค่าแรงยึดในกลุ่มที่ทากรดฟอสฟอริกก็ให้ค่าแรงยึดเพียงพตามคำแนะนำของ Reynold (1975) แม้ว่าจะได้ค่าแรงยึดต่ำกว่ากลุ่มที่ทากรดไฮโดรฟลูออริกก็ตาม 2.) การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกสัมพันธ์กับความเสียหายของพอร์ซเลนมากขึ้นหากใช้ร่วมกับไซเลน แต่หากใช้กรดไฮโดรฟลูออริกปรับสภาพผิวโดยไม่ใช้ไซเลนจะไม่มีอาการแตกหักในเนื้อพอร์ซเลนเลย 3.) การทำเทอร์โมไซคลิกมีผลลดค่าแรงยึดแบบเฉือนอย่างมีนัยสำคัญ และได้สรุปข้อแนะนำไว้ว่าวิธีการที่ดีที่สุด (best regime) ในการติดแบร็กเกตกับเฟลสปาร์ติคพอร์ซเลนคือการทำด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 เป็นเวลา 60 วินาที ตามด้วยการทาไซเลนก่อนการยึดด้วยวัสดุยึดติด

Kao, Boltz และ Johnston (1988) ทดสอบแรงยึดระหว่างแบร็กเกตโลหะกับผิวพอร์ซเลนวีเนียร์ ผลการศึกษาพบว่าแรงยึดระหว่างพอร์ซเลนกับแบร็กเกตโลหะมีค่าใกล้เคียงกับแรงยึดระหว่างพันธธรรมชาติกับแบร็กเกต การใช้ไซเลนไพโรเมอร์ปรับสภาพผิวก่อนการติดแบร็กเกตจะช่วยเพิ่มการยึดติดทั้งกลุ่มที่ไม่กรอเปิดผิวหน้าของพอร์ซเลนกับกลุ่มที่กรอเปิดผิว แต่จะมีผลต่อกลุ่มที่กรอเปิดผิวหน้าของพอร์ซเลนมากกว่าคือพบว่าในกลุ่มที่ใช้วัสดุยึดติดชนิดมีสารอัดแทรกปริมาณสูงเมื่อกรอเปิดผิวและใช้ไซเลนจะได้แรงยึดเฉลี่ยสูงสุด (34.2 ปอนด์) เมื่อเทียบกับทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบการมีผิวเคลือบแล้วใช้ไซเลนกับการกรอผิวและไม่ใช้ไซเลนจะให้ค่าแรงยึดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (23.3 ปอนด์ และ 21.1 ปอนด์ตามลำดับ) แต่จะมีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการขจัดผิวเคลือบและไม่ทาไซเลน ซึ่งกลุ่มนี้จะได้ค่าแรงยึด 16.4 ปอนด์ พบว่าเกิดอุบัติเหตุการแตกหักของพอร์ซเลนสูงเมื่อถอดแบร็กเกตในกลุ่มที่ใช้สารยึดที่มีสารอัดแทรกปริมาณสูงร่วมกับการทาไซเลน หลังการถอดแบร็กเกตแนะนำให้ปรับผิวพอร์ซเลนให้เรียบด้วยหัวขัดเซรามิกของบริษัทโซฟู (Shofu

polishing Ceramist point) และหัวขัดรูปล้อผสมกากเพชร (diamond-impregnated polishing wheel) ตามด้วยครีมขัดผสมกากเพชร (diamond polishing paste) นอกจากนั้นการทดลองนี้ยังพบว่าหากมีค่าแรงยึดมากกว่า 20 ปอนด์จะพบการแตกหักของพอร์ซเลนได้มากถึงร้อยละ 30

Kao และ Johnston (1991) ศึกษาพบว่าการกรอเปิดผิวหน้าของพอร์ซเลนวีเนียร์ด้วยหัวกรอหินสีเขียว ต้องการแรงเฉือนโดยเฉลี่ยในการถอดแบร็กเกตสูงกว่าการไม่กรอเปิดผิวเมื่อไม่คำนึงถึงชนิดของเรซิน การทำไซเลนไพรเมอร์ หรือระยะเวลาก่อนถอดแบร็กเกต การศึกษานี้ได้ข้อสรุปว่าหากต้องการได้แรงยึดที่เพียงพอในกรณีที่ใช้วัสดุที่มีสารอัดแทรกปริมาณสูงก็ไม่จำเป็นต้องทำไซเลนถ้าได้กรอผิวด้วยหัวกรอหินสีเขียวแล้ว แต่ถ้าใช้วัสดุยึดประเภทที่มีสารอัดแทรกปริมาณน้อยจะต้องกรอเปิดผิวแล้วทำไซเลนไพรเมอร์ เหมือนกับคำแนะนำของ Wood และคณะ (1986) ที่ว่าหากกรอผิวด้วยหัวกรอหินสีเขียวแล้วใช้ไซเลนร่วมกับวัสดุยึดที่มีสารอัดแทรกปริมาณสูงจะให้ค่ากำลังแรงยึดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ก็พบการแตกหักของพอร์ซเลนเพิ่มขึ้นเช่นกัน

การศึกษาเปรียบเทียบการกรอเปิดผิวหน้าของพอร์ซเลนกับไม่กรอเปิดผิว

Eustaquio, Garner และ Moore(1988) ได้เปรียบเทียบแรงยึดระหว่างการกรอเปิดผิวด้วยหัวกรอหินสีเขียวกับไม่กรอเปิดผิวเคลือบของพอร์ซเลนเมื่อยึดแบร็กเกตกับพอร์ซเลนเมื่อยึดด้วยวัสดุยึด 4 ระบบซึ่งใช้สำหรับซ่อมพอร์ซเลน คือ 1.System 1+ ร่วมกับ porcelain bonding primer 2.Enamelite 500 enamel coating/porcelain repair 3.Isopast ร่วมกับ Silanit contact-resin และ 4.Concise ร่วมกับ Scotchprime ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีการใช้ไซเลนร่วมด้วยทั้งนั้น ส่วนกลุ่มที่ 5 ใช้วัสดุยึดชื่อ Ultra-bond restorative kit ซึ่งไม่มีไซเลนมากับชุดของผลิตภัณฑ์พบว่าให้แรงยึดเฉลี่ยต่ำสุดคือ 4.75 ± 4.71 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (กลุ่มที่กรอเปิดผิว) และ 6.05 ± 3.75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (กลุ่มที่ไม่กรอเปิดผิว) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมากกับค่าเฉลี่ยรวมของทั้ง 4 กลุ่มคือ 55.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อตรวจสอบความล้มเหลวในการยึดติดของวัสดุไม่พบว่ากลุ่มใดเกิดการแตกหักในเนื้อพอร์ซเลนเลย นอกจากนั้นยังตรวจพบว่าการขัดด้วยครีมขัดผสมกากเพชรจะทำให้ได้ผิวพอร์ซเลนเรียบกว่าการขัดด้วยชุดขัดหรือหัวกรอหิน ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าแรงยึดระหว่างแบร็กเกตและพอร์ซเลนซึ่งกรอเปิดผิวเคลือบและไม่กรอเปิดผิวเคลือบไม่มีความแตกต่างกันถ้าใช้ร่วมกับไซเลน

Wood และคณะ (1986) พบว่าแรงยึดที่เกิดระหว่างแบร็กเกตโลหะกับผิวพอร์ซเลนซึ่งผ่านการกรอผิวและยึดด้วยวัสดุยึดประเภทที่มีสารอัดแทรกปริมาณสูงมีค่าแรงยึดแบบเฉือน (30.6 ปอนด์) ใกล้เคียงกับการใช้กรัดกดบนฟันธรรมชาติและยึดด้วยวัสดุเรซินที่มีสารอัดแทรกปริมาณต่ำ (28.8 ปอนด์) แต่การใช้วัสดุยึดชนิดที่มีสารอัดแทรกปริมาณสูงยึดแบร็กเกตบนพอร์ซเลนซึ่งไม่ขัดผิวเคลือบโดยไม่ใช้ไซเลนร่วมด้วยก็อาจมีค่าแรงยึดที่เพียงพอต่อการใช้งานทางคลินิก หากต้องการให้แรงยึดสูงขึ้นอีกก็ให้ใช้ไซเลนร่วมด้วย ผลการวิจัยนี้ยังพบอีกว่าหากกรอผิวหน้าของพอร์ซเลนด้วยหัวกรอหินสีเขียวแล้วทำไซเลนก่อนนำยึดด้วยเรซินชนิดที่มีสารอัดแทรกปริมาณสูงจะให้ค่าแรงยึดสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ อย่างชัดเจน (ไซเลนทั้ง 3 ยี่ห้อให้ผลไม่แตกต่างกัน) แต่ก็ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มที่กรอเปิดผิวและทำอัลกอกอฮอลล์แทนไซเลน แต่สำหรับกลุ่มที่ไม่กรอเปิดผิวจะพบว่าการใช้อัลกอกอฮอลล์จะได้ค่าแรงยึดต่ำกว่าการไม่ใช้ไซเลนอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้ไซเลนกับพอร์ซเลนที่ไม่ขัดผิวเคลือบจะพบว่าไซเลนต่างยี่ห้อกันให้ค่าแรงยึดแตกต่างกันโดย Ormco Porcelain Primer และ Fusion ให้กำลังแรงยึดสูงกว่า Reliance อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อตรวจสอบลักษณะความล้มเหลวของวัสดุยึดเมื่อถอดแบร็กเกตออกจะพบว่า กรณีที่ไม่ขัดผิวเคลือบของพอร์ซเลนออกจะไม่พบการแตกหักให้เนื้อพอร์ซเลนเลย แต่จะพบการแตกหักมากกว่าในกลุ่มที่ใช้ไซเลนร่วมด้วย นอกจากนี้ยังได้สรุปเพิ่มเติมว่าเมื่อยึดแบร็กเกตโลหะกับพอร์ซเลนร่วมกับการใช้เรซินที่มีสารอัดแทรกปริมาณสูงจะให้กำลังแรงยึดมากกว่าการยึดด้วยเรซินซึ่งมีปริมาณสารอัดแทรกต่ำประมาณ 2 เท่า

Barbosa และคณะ (1995) พบว่าการทาแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 เป็นเวลานาน 5 นาทีบนผิวพอร์ซเลน ไม่สามารถให้แรงยึดที่มากพอต่อการใช้งานทางคลินิกได้ไม่ว่าจะกรอเปิดผิวด้วยหัวขัดกระดาษทรายหรือไม่กรอเปิดผิวพอร์ซเลนก็ตามเมื่อใช้ร่วมกับวัสดุเรซินชนิดบ่มตัวเอง (Concise) โดยได้ค่าแรงยึดเพียง 0.99 ± 0.49 และ 1.30 ± 0.70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ เมื่อมีการใช้ไซเลนร่วมด้วยก็ไม่สามารถให้แรงยึดที่เพียงพอเช่นกัน แต่ข้อดีของกลุ่มที่ทาแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์คือพบความล้มเหลวของการยึดเกาะที่รอยต่อระหว่างคอมโพสิตและพอร์ซเลนเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษานี้พบว่าการกรอเปิดผิวด้วยหัวกรอกากเพชรชนิดหยาบจะให้ค่ากำลังแรงยึดเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการกรอเปิดผิวด้วยหัวขัดกระดาษทรายหรือไม่กรอเปิดผิวใด ๆ เลย

Chay และคณะ (2005) ศึกษาค่าแรงยึดแบบเฉือน/ปอกระหว่างแบร็กเกตโลหะที่ใช้กับระบบเบกก์ (Begg stainless steel orthodontic bracket) กับเฟลสปาติกพอร์ซเลนและพอร์ซเลน

ยี่ห้อ Finesse และ Empress II ซึ่งใช้ทำครอบฟันชนิดปราศจากโลหะ (all-ceramic crown system) การทดสอบนี้ไม่ได้ขจัดผิวเคลือบออกแต่ทำด้วยไซเลนเพื่อเพิ่มการยึดติด ผลการศึกษาพบว่าทั้งสามกลุ่มให้ค่าแรงยึดที่ยอมรับได้ทางคลินิก ส่วนการพิจารณาจากค่า ARI (Adhesive Remnant Index Scores) หรือดัชนีการเหลืออยู่ของวัสดุยึดพบว่าให้ค่าไม่แตกต่างกันคือพบได้ทั้งการแตกหักระหว่างวัสดุยึดกับพอร์ซเลนหรือแตกหักในชั้นวัสดุยึด โดยไม่พบการร้าวหรือแตกหักของพอร์ซเลนเลย

Winchester (1991) กล่าวว่าการใช้ไซเลนทาบนผิวเคลือบของพอร์ซเลนและยึดด้วยวัสดุยึดสามารถให้ค่าแรงยึดที่มากพอต่อการใช้งานทางคลินิก การทดลองนี้ใช้ไซเลน 4 ชนิดคือ Command, Lee, Scotchprime และ Fusion ได้ค่าแรงยึดเฉลี่ยหลังจากแช่น้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และทำเทอร์โมไซคลิก 10 รอบก่อนการทดสอบ ดังนี้คือ 155.9, 165.8, 191.3 และ 242.3 นิวตันตามลำดับ ผู้วิจัยกล่าวอ้างว่าจากงานวิจัยของ Reynolds และ Von Fraunhofer (1976), Low และ Von Fraunhofer (1976) และ Dickinson และ Power (1980) กล่าวว่า ค่ากำลังแรงยึดไม่ได้ขึ้นกับพื้นที่ฐานของแบร็กเกต ดังนั้นจึงบันทึกค่าเป็นหน่วยนิวตันเพียงอย่างเดียว

การศึกษาเปรียบเทียบแรงยึดเมื่อไม่มีการใช้ไซเลนร่วมด้วย

Oh และ Shen (2003) กล่าวว่าการใช้ผงอะลูมินัมออกไซด์ขนาด 50 ไมครอนความดัน 0.24 MPa เป่าผิวพอร์ซเลนร่วมกับการกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลานาน 2 นาทีให้ค่าแรงดึงระหว่างคอมโพสิตและเซรามิกสูงกว่าการใช้กรดกัดหรือการพ่นผิวด้วยผงขัดเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Smith และคณะ (1988) ศึกษาแรงยึดระหว่างคอมโพสิตที่ใช้ในงานทันตกรรมจัดฟันสองชนิดกับพอร์ซเลน การทดลองนี้พอร์ซเลนทุกชิ้นได้รับการขัดผิวหน้าด้วยกระดาษทรายเบอร์ 240 กลุ่มที่ไม่มีการทำไซเลนพบว่าเมื่อยึดกับ System 1 ให้ค่าแรงเฉือน 1.8 MN/m^2 กลุ่มที่ยึดกับ Concise ให้ค่าแรงเฉือน 2.1 MN/m^2 ซึ่งมีค่าต่ำมากไม่เพียงพอต่อการใช้งานในทางคลินิก แต่เมื่อมีการทำไซเลนก่อนจะได้แรงยึดเป็น 8.6 MN/m^2 และ 8.1 MN/m^2 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแรงยึดเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาคุณลักษณะไม่มีการขัดผิวของพอร์ซเลนด้วยกระดาษทราย แต่ทำไซเลนก่อนการยึดด้วยคอมโพสิตพบว่าวัสดุยึด Concise จะให้แรงสูงถึง 11.1 MN/m^2 ในขณะที่ System 1 ให้ค่าแรงยึดเพียง 2.5 MN/m^2 ผู้วิจัยได้ให้เหตุผลว่าอาจเป็นเพราะเกิดปฏิกิริยาโพสิ

เมอร์ไรเซชันไม่สมบูรณ์จากความหนาของคอมโพสิตทำให้สารเคมีกระตุ้นการแข็ง (chemical initiator) ไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้เต็มที่ ผู้วิจัยได้สรุปว่ากำลังแรงยึดระหว่างพอร์ซเลนกับวัสดุยึดนอกจากจะขึ้นอยู่กับวิธีการปรับสภาพผิวพอร์ซเลนแล้วยังขึ้นอยู่กับวัสดุยึดเองด้วย เช่นถ้าจะใช้ System 1 ก็จะต้องขจัดผิวเคลือบออกก่อนที่จะทำไฮเลนเป็นต้น

การศึกษาเปรียบเทียบแรงยึดระหว่างเรซินชนิดบ่มตัวเองและชนิดบ่มตัวด้วยแสง

การใช้เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงยึดแบรกกะตกับฟันเพื่อการจัดฟันมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้เรซิน คอมโพสิตชนิดบ่มตัวเองคือ เพิ่มระยะเวลาการทำงาน สามารถกำหนดตำแหน่งและติดแบรกกะตได้อย่างถูกต้องตรงตามต้องการ ง่ายต่อการขจัดซีเมนต์ส่วนเกิน และมีค่าแรงยึดเริ่มต้นค่อนข้างจะสูงกว่าเรซินชนิดบ่มตัวเอง (Wendl และ Drosch, 2004)

Wendl และ Droschl (2004) ได้ศึกษาค่าแรงยึดแบบเฉือนระหว่างฟันมนุษย์กับวัสดุยึดติดแบบต่าง ๆ ได้แก่ วัสดุยึดเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวเอง (Concise ของบริษัท 3M) เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสง (Enlight LV ของบริษัท Ormco) และวัสดุกุลาสไอโอโนเมอร์ชนิดบ่มตัวด้วยแสง (Fuji Ortho LC ของบริษัท GC Europe) ผลการศึกษาพบว่าเรซินชนิดบ่มตัวเองและบ่มตัวด้วยแสงให้ค่าแรงยึดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้ร่วมกับแบรกกะตขนาดเล็กเช่นแบรกกะตของฟันตัดล่าง เนื่องจากสามารถกระตุ้นให้เริ่มเกิดปฏิกิริยา polymerization ได้ดี แต่หากใช้ร่วมกับแบรกกะตขนาดใหญ่ เช่น ฟันตัดกลางบน จะพบว่าเรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสงจะให้แรงยึดต่ำกว่าเรซินชนิดบ่มตัวเองอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงเป็นข้อแนะนำว่าเมื่อต้องการแรงยึดที่สูงมากในผู้ป่วยที่มีการสบกระแทกจากการบดเคี้ยวและต้องใช้ร่วมกับแบรกกะตขนาดใหญ่จะต้องเพิ่มระยะเวลาในการฉายแสงเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา polymerization และหากเป็นไปได้ควรฉายแสงให้ทั่วถึงทั้ง 4 ด้านของแบรกกะตหรือใส่ลวดภายในหลังจาก 24 ชั่วโมงไปแล้ว ส่วนการเปรียบเทียบค่าแรงยึดระหว่างกุลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปร(modified glass ionomer cement) กับเรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสงพบว่าให้ค่าไม่แตกต่างกัน แต่จะมีค่าต่ำกว่าเรซินชนิดบ่มตัวเองอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในบริเวณที่ต้องรับแรงมาก ๆ ควรใช้เรซินชนิดบ่มตัวเองเป็นสารช่วยยึด

Mandall และคณะ (2002) ได้ใช้วิธีการทบทวนวรรณกรรมอย่างมีระบบ (systematic review) เพื่อหาคำตอบว่าแอคทีฟชนิดใดที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟันแล้วให้ค่าแรงยึดระหว่างแบรกกะตกับฟันได้น่าเชื่อถือที่สุด โดยได้ศึกษาจากข้อมูลซึ่งตีพิมพ์ระหว่างปีค.ศ.1970 ถึงปีค.ศ.

2000 จากวารสารทางทันตกรรมจัดฟัน 4 ฉบับ คือ American Journal of Orthodontics (and Dentofacial Orthopedics), British Journal of Orthodontics, European Journal of Orthodontics และ Angle Orthodontist ผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการใช้เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวเองและบ่มตัวด้วยแสง พบว่าไม่สามารถหาข้อสรุปเพื่อใช้ทั่วไปได้ว่าควรใช้ชนิดใดจึงจะดี เนื่องจากมีวัสดุหลากหลายยี่ห้อที่ได้รับการศึกษาทดลองและขาดการรองรับจากลักษณะของประจักษ์พยานทางวิทยาศาสตร์ (scientific evidence) ในการยืนยันข้อดีทางคลินิกของวัสดุชนิดบ่มตัวด้วยแสง

เนื่องจากการทดสอบเกี่ยวกับแรงยึดของวัสดุยึดที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟันมีความหลากหลายมาก ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของวัสดุที่แตกต่างกันหรือวิธีการทดลองที่แตกต่างกัน ยากแก่การเปรียบเทียบผลที่ได้ ดังนั้น Fox, McCabe และ Buckley (1994) ได้ศึกษาผลการทดลองทางทันตกรรมจัดฟันที่เกี่ยวข้องกับค่าแรงยึดในระหว่างปีค.ศ.1965 ถึงปีค.ศ.1993 จำนวน 66 เรื่องที่ตรงตามเกณฑ์คัดเข้า (inclusion criteria) เพื่อหาข้อสรุปถึงวิธีการทดสอบที่เหมาะสม ผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เขาได้ให้เป็นข้อเสนอแนะเพื่อที่การศึกษาในอนาคตจะสามารถทดสอบได้ไปในทิศทางเดียวกัน คือ

1. ผิวเคลือบฟันของฟันกรามน้อยควรได้มาจากฟันของผู้ใหญ่ที่ถูกถอนด้วยเหตุผลทางทันตกรรมจัดฟัน
2. ควรนำฟันมาใช้หลังจาก 1 เดือนแต่ไม่เกิน 6 เดือนหลังถอน และควรแช่ไว้ในน้ำกลั่นก่อนการบอนด์ดิงก์
3. ภายหลังจากการบอนด์ดิงก์ ควรเก็บชิ้นตัวอย่างไว้ในน้ำอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสนาน 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ
4. การทดสอบควรทำด้วยเครื่อง Instron® หรือเครื่องมือที่เทียบเคียงกันได้ โดยมีอัตรา cross-head speed ที่ 0.1 มิลลิเมตรต่อวินาที
5. ตำแหน่งที่ให้แรงควรเป็นตำแหน่งเดียวกันในทุก ๆ ชิ้นตัวอย่าง
6. ควรใช้ชิ้นตัวอย่างอย่างน้อย 20 ชิ้น ถ้าจะให้เหมาะสมควรเป็น 30 ชิ้นต่อกลุ่ม
7. ควรระบุตำแหน่งที่เกิดความล้มเหลวของการยึดติดด้วย
8. ควรมีการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อทำนายความอยู่รอด (survival analysis) ของวัสดุในสถานการณ์จริงทางคลินิก ซึ่งผู้วิจัยได้แนะนำให้ใช้วิธีการที่เรียกว่า Weibull analysis
9. ควรระบุค่ากำลังแรงยึดเป็นนิวตันหรือเมกะปาสคาล

การกำหนดแรงกดแบรกเกิดขณะติดเครื่องมือ

พรชัย จรัสเจริญวิทยา (2537) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดขนาดต่าง ๆ ในการติดด้วยวิธีไดเรกบอนด์กับความต้านทานแรงเฉือน/ลอกของวัสดุยึดติดทางทันตกรรมจัดฟัน โดยใช้ฟันกรามน้อยของมนุษย์จำนวน 180 ซี่แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามชนิดของวัสดุยึดติด โดยแต่ละกลุ่มจะถูกแบ่งเป็น 5 กลุ่มย่อย สำหรับแรงที่ใช้กดขนาดต่าง ๆ ได้แก่ ขนาด 5 กรัม, 30 กรัม, 50 กรัม, 70 กรัม และ 95 กรัม วัสดุยึดติดทางทันตกรรมจัดฟันทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ร่วมกับแบรกเกิดโลหะที่มีฐานเป็นตะแกรงโลหะได้แก่วัสดุชนิดเพสต์สองส่วน วัสดุชนิดไม่ต้องผสม และวัสดุชนิดผสมของเหลวกับผง หลังติดแบรกเกิดกับฟันในแต่ละกลุ่มการทดลองแล้วนำกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอินสตรอน จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า

1. ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงเฉือน/ลอก ของวัสดุยึดติดเมื่อใช้แรงกดขนาดต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 ($p\text{-value} = .770$)
2. มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ของค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงเฉือน/ลอกของวัสดุ 3 ชนิด โดยที่วัสดุชนิดผสมของเหลวกับผง (Orthomite superbond) ให้ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงเฉือน/ลอก สูงกว่าวัสดุชนิดเพสต์สองส่วน (Concose) และวัสดุชนิดไม่ต้องผสม (System 1+) ($p\text{-value} < .0001$)
3. ดัชนีวัดจำนวนเศษวัสดุที่เหลืออยู่บนผิวเคลือบฟัน (Adhesive remnant index) หลังจากเกิดการแตกหักของวัสดุยึดติด ไม่มีความสัมพันธ์กับแรงกดขนาดต่าง ๆ แต่มีความสัมพันธ์กับชนิดและคุณสมบัติของวัสดุยึดติดทางทันตกรรมจัดฟัน

Evan และ Powers (1985) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังแรงยึดของวัสดุยึดติดทางทันตกรรมจัดฟัน ชนิดที่ไม่ต้องผสม 3 ยี่ห้อ คือ Mono-Lok, System 1+ และ Unite เปรียบเทียบกับวัสดุยึดติดที่ต้องผสมคือ Concise ผลการศึกษาพบว่าเมื่อกำหนดระยะห่างระหว่างแบรกเกิดกับผิวฟันมากขึ้นคือ ห่าง 0.25, 0.30, 0.33, 0.38 และ 0.51 มิลลิเมตรตามลำดับพบว่าค่ากำลังแรงยึดลดลงตามระยะห่างที่มากขึ้นในวัสดุยึดติดที่ต้องผสม และพบการแตกหักในชั้นของวัสดุยึดติดมากขึ้นในกลุ่มของวัสดุยึดติดไม่ต้องผสม เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันได้ไม่สมบูรณ์ นอกจากนั้นยังพบว่าในสภาพที่มีความชื้นค่ากำลังแรงยึดจะลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 1 นาทีถึง 2.5 นาทีขึ้นอยู่กับยี่ห้อของวัสดุยึดติด จึงเป็นข้อแนะนำสำหรับวัสดุยึดติดไม่ต้องผสมว่าควรมีการทาสารไพรเมอร์และสารยึดอย่างเร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ประชากร

ประชากรของการวิจัย คือ ฟันปลอมติดแน่นที่มีพอร์ซเลนเป็นส่วนประกอบภายนอก บริเวณฟันตัด ของผู้ป่วยที่รับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างของการวิจัย คือ ซึ้นพอร์ซเลนที่มีผิวเรียบมันจากกระบวนการเผา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สูง 4 มิลลิเมตร ผ่านขั้นตอนการผลิตของห้องปฏิบัติการทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 60 ซึ้น ซึ่งได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (simple random sampling) และใช้วิธีการจัดสรรแบบสุ่ม (random allocation) เพื่อจัดตัวอย่างกระจายเข้าสู่กลุ่มทดลองต่าง ๆ

การคำนวณขนาดตัวอย่าง

ทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับประชากรสองกลุ่ม (hypothesis testing for two population means) แบบสองทาง

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\text{สูตรคือ } n = \frac{2\sigma^2 (Z_{1-\alpha/2} + Z_{1-\beta})^2}{(\mu_1 - \mu_2)^2}$$

$$\text{เมื่อ } n_1 = n_2 \quad \sigma^2 = S_p^2 = (S_1^2 + S_2^2)/2$$

การทดลองนี้ กำหนดค่า $\alpha = .05$ และ $\beta = .01$

ดังนั้น $Z_{1-\alpha/2} = 1.96$ และ $Z_{1-\beta} = 1.282$

จากการทดลองของ White และ Tyas (1993)

กลุ่มที่ใช้พอร์ซเลน Duceram-LFC (เป็นเฟลสปาทิกพอร์ซเลน) ปรับสภาพแอซิดูเลต ฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 นาน 4 นาที โดยไม่ขัดผิวเคลือบของพอร์ซเลน และยึดแบร็กเกตด้วยเรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสง มีค่าเฉลี่ยของกำลังแรงยึด 0.760 ± 1.23 MPa

กลุ่มที่ใช้พอร์ซเลน Vitadur-N (เป็นอะลูมินัสมพอร์ซเลน) ปรับสภาพผิวด้วย Busch silent wheel เพื่อขจัดผิวเคลือบ (de-glazed) ของพอร์ซเลนและยึดแบรกกเกตด้วยเรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสง มีค่าเฉลี่ยของกำลังแรงยึด 3.52 ± 1.58 MPa

แทนค่าสูตร ดังนี้

$$\begin{aligned} S_p^2 &= (S_1^2 + S_2^2)/2 \\ &= [(1.58)^2 + (1.23)^2] / 2 \\ &= (2.49 + 1.51) / 2 \\ &= 2 \\ n/\text{กลุ่ม} &= \frac{2(2)(10.51)}{(3.52 - 0.76)^2} \\ &= 42.04 / 7.61 \\ &= 5.52 \text{ ขึ้นต่อกลุ่ม หรือ } 6 \text{ ขึ้นต่อกลุ่ม} \end{aligned}$$

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ยี่ห้อ System 1+ ของบริษัท Ormco สหรัฐอเมริกา (รูปที่ 18)
2. วัสดุยึดเรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสงและสารไพรเมอร์ยี่ห้อ Transbond XT ของ บริษัท 3M/Unitek สหรัฐอเมริกา (รูปที่ 19)
3. ผงเฟลสปาทิกพอร์ซเลนชนิดเดนทีน รุ่น VMK-95 บริษัท VITA เยอรมัน (รูปที่ 20)
4. เจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 บริษัท Pascal สหรัฐอเมริกา (รูปที่ 21)
5. ไซเลน ยี่ห้อ Porcelain Primer ของบริษัท Ormco สหรัฐอเมริกา (รูปที่ 22)

วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

แบรกกเกตโลหะสำหรับฟันตัดซี่กลางบนแบบมาตรฐาน ของบริษัท 3M ขนาดของร่อง 0.018 นิ้ว มีพื้นที่ฐานเฉลี่ย 15.25 ตารางมิลลิเมตร มีชื่อทางการค้า คือ ไดนาล็อก (Dyna-lock™) (รูปที่ 23)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1.เตาเผาพอร์ซเลน ยี่ห้อ ULTRA-MAT CDF ของบริษัท 3M สหรัฐอเมริกา (รูปที่ 24)
 - 2.กล้องจุลทรรศน์สามมิติ (Stereomicroscope) รุ่น EMZ-TR ยี่ห้อ MEIJI ของบริษัท MEIJI TECHNO CO.LTD ญี่ปุ่น เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสงส่องกระทบบนผิวของพอร์ซเลนที่ต้องการตรวจสอบ เพื่อให้เห็นลักษณะพื้นผิว ปรากฏเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ในการวิจัยนี้ใช้กำลังขยาย 20 เท่า (รูปที่ 25)
 - 3.เครื่องทดสอบความแข็งผิวไมโครฮาร์ดเนส (Microhardness Tester) โดยใช้หัวกดทดสอบแบบวิกเกอร์ (Vicker Indenter 136 degree square base) รุ่น FM-700e SER.NO. FMX 0074 บริษัท Future –Tech Corp. ประเทศญี่ปุ่น (รูปที่ 26)
- การใช้เครื่องมือนี้กระทำโดย
- 3.1 วางชิ้นงานที่ต้องการทดสอบ หันด้านที่จะวัดความแข็งผิวเข้าหาหัวกด
 - 3.2 กำหนดแรงกด ในการทดลองนี้กำหนดแรงกดที่ 1 กิโลกรัม
 - 3.3 ส่องชิ้นงานด้วยกำลังขยาย 50 เท่าเพื่อหาบริเวณที่เรียบไม่มีความต่างระดับกัน เนื่องจากความต่างระดับกันจะทำให้ลักษณะรอยกดอาจไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนที่ชัดเจน
 - 3.4 ตั้งค่าระยะห่างระหว่างสเกลเพื่อกำหนดค่าให้เป็นศูนย์ กระทำโดยหมุนเส้นแสดงระยะซ้ายและขวาให้เข้าใกล้กันมากที่สุด จนเห็นระยะห่างระหว่างสองเส้นบางที่สุด (ไม่ให้ปรับจนสองเส้นทับกันสนิท) จากนั้นกดปุ่มบันทึกค่าไว้
 - 3.5 กดปุ่มเดินเครื่องกดให้หัวกดกดลงบนชิ้นงาน หัวกดจะกดแช่ไว้เป็นเวลา 15 วินาทีต่อการกดหนึ่งครั้ง เมื่อกดครบระยะเวลาแล้วจะส่งสัญญาณเตือนพร้อมกับดึงหัวกดขึ้นไปตำแหน่งเริ่มต้น
 - 3.6 ส่องหารอยกดด้วยกำลังขยาย 50 เท่า เมื่อพบแล้วจึงปรับเป็นกำลังขยาย 500 เท่าซึ่งเป็นกำลังขยายสูงสุดปรับสเกลวัดระยะซ้ายและขวาจนเส้นทั้งสองครอบคลุมเส้นทแยงมุมด้านใดด้านหนึ่ง จากนั้นกดปุ่มบันทึกค่าครั้งที่ 1 เมื่อได้เส้นทแยงมุมเส้นแรกแล้วให้หมุนกล้องจนสเกลสามารถวัดระยะของเส้นทแยงมุมอีกเส้นหนึ่งได้ จากนั้นปรับระยะจนครอบคลุมเส้นทแยงมุมแล้วกดปุ่มบันทึกค่าครั้งที่ 2
 - 3.7 เครื่องจะคำนวณค่าตัวเลขออกมาให้อัตโนมัติ
- 4.ด้ามกรอใส่หัวกรอหินสีเขียวทรงกระบอก (รูปที่ 27)

5. เครื่องเขย่าความถี่เหนือเสียง (ultrasonic cleaner) รุ่น TRASSONIC DIGITALS บริษัท ELMA สหรัฐอเมริกา ใช้ทำความสะอาดชิ้นฟอร์ชเลนก่อนติดแบร็กเกต การทดลองนี้ใช้เวลาทำความสะอาด 10 นาที (รูปที่ 28)

6. เครื่องฉายแสง รุ่น Spectrum®800 ของบริษัท Dentsply สหรัฐอเมริกา สามารถปรับความเข้มแสงสูงสุด 800 mW/cm^2 ในการทดลองนี้ใช้ความเข้มแสง 550 mW/cm^2 ความยาวคลื่น 400-500 nm (รูปที่ 29)

7. ตู้อินคิวเบเตอร์ดิจิทัล (Digital Incubator) ยี่ห้อ Contherm รุ่น series five สหรัฐอเมริกา ใช้กระแสไฟฟ้าเป็นแหล่งให้กำเนิดความร้อน และควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ใช้ควบคุมอุณหภูมิของกลุ่มตัวอย่างที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบแรงเฉือน/ปอก (รูปที่ 30)

8. เครื่องทดสอบแรงทั่วไป (Instron universal testing machine ID 5566H1612 Instron Corp., USA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาคุณสมบัติเชิงกล (mechanical properties) ของวัสดุ โดยวัดค่าเป็นแรง ซึ่งมี 4 ลักษณะ คือ แรงดึง (tensile force) แรงอัด (compressive force) แรงดัดโค้ง (bending force) และแรงบิด (torsion force) เพื่อทดสอบค่ากำลังแรงยึดของแบร็กเกต (รูปที่ 31)

ส่วนประกอบของเครื่อง

8.1 fixed head เป็นส่วนของเครื่องมือซึ่งอยู่กับที่ เป็นส่วนที่ใช้ในการจับชิ้นงาน ในการทดลองซึ่งบรรจุอยู่ในท่อพีวีซี (PVC pipe)

8.2 cross head เป็นส่วนของเครื่องมือซึ่งเคลื่อนที่ และทำให้เกิดแรงต่อวัสดุ มีตุ้มน้ำหนัก (load cell) ให้เลือกได้หลายขนาดตามชิ้นงานที่ทดสอบ ในงานวิจัยนี้ใช้ตุ้มน้ำหนักขนาด 250 นิวตัน เลือกใช้ความเร็ว 0.5 มิลลิเมตร/นาที

8.3 เครื่องมือช่วยในการจับชิ้นงาน (testing jig) และช่วยในการกดของเครื่องทดสอบแรงทั่วไป เป็นเครื่องมือของบริษัท Instron คือ Dental shear fixture มีลักษณะดังนี้

8.3.1 มีรูเจาะตรงกลางเพื่อใส่ชิ้นงานในการทดลองซึ่งบรรจุอยู่ในท่อพีวีซี สามารถยึดชิ้นงานให้แน่นด้วยการไขสกรู

8.3.2 แผ่นเหล็กที่ใช้ในการกดอยู่ด้านบนของรูที่ใส่ชิ้นงาน สามารถให้แรงเฉือนแบบ 90 องศา แผ่นเหล็กนี้ไม่สามารถปรับระยะในแนวระนาบให้ห่างจากชิ้นงานตามต้องการได้ แต่สามารถปรับได้เฉพาะระยะในแนวตั้งเท่านั้น

การใช้เครื่องมือนี้ทดลองกระทำได้ด้วย

1. นำตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้ในท่อพีวีซี ใส่ลงในช่องของ Dental shear fixture
2. เลื่อนท่อพีวีซี เข้าออกจนกระทั่งปีกของแบริกเกตด้านบดเคี้ยว (occlusal wings) ขนานกับขอบด้านในของแผ่นเหล็กที่ใช้ในการกด (เพื่อให้ปีกของแบริกเกตสัมผัสกับแผ่นเหล็กที่ใช้ในการกดพร้อม ๆ กันในระหว่างการทดลอง) จากนั้นจึงยึดตัวอย่างด้วยการไขสกรูที่ใช้ในการจับยึดให้แน่น
3. เดินเครื่องให้ cross head เคลื่อนที่ลง เพื่อวัดแรงเฉือน/ปอก ที่เกิดขึ้นกับแบริกเกตบนตัวอย่างมีหน่วยของแรงเป็นนิวตัน

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. เตรียมชิ้นพอร์ซเลน โดยใช้แม่แบบซึ่งทำด้วยพลาสติก มีช่องทรงกระบอกสูง 4 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตรสำหรับใส่พอร์ซเลน (รูปที่ 32) ผสมผงพอร์ซเลนที่ใช้ทำบอดี้ รุ่น VMK-95 ของบริษัท VITA กับน้ำกลั่นใส่ในช่องทรงกระบอกของแม่แบบ กดให้แน่น ชับให้แห้ง ถอดชิ้นพอร์ซเลนนำมาวางบนแผ่นไฟเบอร์เทรย์ จากนั้นนำเข้าเตาเผาพอร์ซเลนยี่ห้อ ULTRA-MAT CDF ของบริษัท 3M อุณหภูมิ 965 องศาเซลเซียส ความดัน 700 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลา 5-7 นาที การเผาชิ้นพอร์ซเลนจะทำครั้งละ 12 ชิ้นต่อการเผาหนึ่งครั้งเนื่องจากมีข้อจำกัดด้านขนาดของเตาเผา ทำการเผาทั้งหมด 6 ครั้งได้ชิ้นงาน 72 ชิ้น
2. นำชิ้นพอร์ซเลนมาตรวจด้วยตาเปล่าเพื่อตรวจสอบความเสียหาย หากมีการบิ่นหักเป็นบริเวณกว้าง หรือมีรูลุพุนขนาดใหญ่จะไม่นำมาทดสอบ หากมีชิ้นพอร์ซเลนเสียหายจะนับรวมจำนวนที่เสียหายทั้งหมดและเผาใหม่โดยทำครั้งละ 12 ชิ้นเช่นเดิม (รูปที่ 33)
3. ขัดผิวหน้าของพอร์ซเลนทุกชิ้นให้เรียบจนเป็นระนาบเดียวกันด้วยหัวกรอหินสีเขียว ทรงกระบอก พร้อมกับใช้น้ำช่วยลดอุณหภูมิขณะกรอ ฉีดน้ำล้างให้สะอาด และเป่าให้แห้ง จะเปลี่ยนหัวกรอหินสีเขียวทุกครั้งเมื่อกรอพอร์ซเลนกลุ่มใหม่ (รูปที่ 34)

4. นำขึ้นพอร์ชเลนที่ได้ไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์สามมิติกำลังขยาย 20 เท่าทีละกลุ่ม เพื่อเลือกเฉพาะขึ้นพอร์ชเลนที่ไม่มีรอยร้าว ถ้าตรวจพบว่ามีความผิดปกติของผิวพอร์ชเลน เช่น มีหลุมซึ่งชัดเจนแล้วไม่หมด มีสีผิวผิดปกติ หรือมีรอยร้าวในเนื้อ เป็นต้น จะไม่นำพอร์ชเลนชิ้นนั้นไปทดลองหากไม่สามารถขัดให้หายได้ ทั้งนี้เป็นการควบคุมกลุ่มตัวอย่างโดยจะใช้เฉพาะขึ้นพอร์ชเลนที่มีลักษณะสมบูรณ์เท่านั้น หากมีขึ้นพอร์ชเลนเสียหายจะนับรวมจำนวนที่เสียหายทั้งหมดและเผาใหม่โดยทำครั้งละ 12 ชิ้นเช่นเดิม (รูปที่ 35, 36, 37 และ 38)

5. สุ่มขึ้นพอร์ชเลนจำนวน 2 ชิ้นจาก 12 ชิ้นในแต่ละกลุ่ม เพื่อเป็นตัวแทนสำหรับการทดสอบความแข็งผิวแบบวิกเกอร์ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งไมโครฮาร์ดเนส โดยการนำชิ้นตัวอย่างมายึดบนเครื่องทดสอบ จากนั้นกดหัวทดสอบด้วยแรงระหว่าง 1000 กรัม เป็นเวลานาน 15 วินาทีที่จะได้รูปร่างรอยกดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน (รูปที่ 39) บันทึกค่าความแข็งผิว มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร กดทดสอบชิ้นงานละ 3 ตำแหน่ง (สูตรการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก)

6. แบ่งกลุ่มขึ้นพอร์ชเลนที่ผ่านกระบวนการเผา จำนวน 60 ชิ้นเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 30 ชิ้น เพื่อใช้เป็นกลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม โดยปรับสภาพผิวพอร์ชเลนดังนี้

6.1 กลุ่มทดลอง : ทาเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 ทิ้งไว้นาน 10 นาที หลังจากนั้นล้างน้ำให้สะอาด เป่าให้แห้ง จากนั้นนำไปทำความสะอาดด้วยเครื่องเขย่าความถี่เหนือเสียงเป็นเวลา 10 นาที แล้วเป่าให้แห้ง

6.2 กลุ่มควบคุม : นำไปทำความสะอาดด้วยเครื่องเขย่าความถี่เหนือเสียงเป็นเวลา 10 นาที แล้วเป่าให้แห้ง ทากรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ทิ้งไว้นาน 1 นาทีไม่ต้องล้างน้ำ แล้วทาทับด้วยไซเลน ทิ้งไว้จนไล่น้ำบนผิวพอร์ชเลนออกหมด หลังจากนั้นทาทับด้วยไซเลนอีกครั้งหนึ่งนาน 1 นาที เมื่อครบเวลาล้างน้ำให้สะอาด เป่าให้แห้ง

7. นำแบรกกเกตโลหะมายึดกับพอร์ชเลนด้วยวัสดุยึดยี่ห้อ Transbond XT โดยทาไพรเมอร์ของวัสดุยึดที่มีมากับชุดของวัสดุยึดลงบนผิวพอร์ชเลน เป่าลมเบา ๆ ให้ไพรเมอร์ไหลแผ่เป็นแผ่นบาง ๆ แล้วป้ายวัสดุยึดบนฐานแบรกกเกต กดแบรกกเกตให้แนบกับบริเวณที่เตรียมผิวพอร์ชเลนให้มากที่สุด กำจัดเรซินส่วนเกินออก ฉายแสงด้านใกล้กลางและด้านไกลกลางของแบรกกเกตด้านละ 10 วินาที ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต (รูปที่ 40)

8. ใส่ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ที่ใช้ทางทันตกรรมจัดฟันขนาด 0.018x0.025 นิ้ว ความยาว 6 เซนติเมตร ลงในร่องแบร็กเกตแล้วยึดด้วยยางสำหรับยึดลวด เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของปีกแบร็กเกต และเพื่อจัดตำแหน่งพอร์ซเลนในท่อพีวีซี (รูปที่ 41)

9. นำลวดมายึดกับท่อพีวีซีวงนอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 4.8 เซนติเมตร สูง 3.8 เซนติเมตร หนา 2.5 มิลลิเมตร จัดตำแหน่งของชิ้นพอร์ซเลนที่จะฝังในท่อพีวีซี ให้ชิ้นพอร์ซเลนอยู่กึ่งกลางท่อ ยึดลวดด้วยขี้ผึ้งอรรถประโยชน์ (utility wax) นำท่อพีวีซีวงนอกมาสวมทับท่อพีวีซีวงในขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 2.2 เซนติเมตร สูง 3.3 เซนติเมตร หนา 2 มิลลิเมตร จากนั้นปรับความสูงของท่อวงในให้สูงมาสวมทับชิ้นพอร์ซเลนได้พอดี โดยการปรับความสูงของดินน้ำมันที่รองฐานท่อวงใน (รูปที่ 42 ก) เมื่อได้ความสูงพอดีแล้วจึงถอดท่อวงนอกออกเพื่อเตรียมผสมอะคริลิกต่อไป

10. ผสมผงอะคริลิกและน้ำมอโนเมอริสในท่อพีวีซีวงใน จนอะคริลิกเกือบถึงขอบด้านบน นำท่อพีวีซีวงนอกที่ยึดกับชิ้นพอร์ซเลนที่ติดแบร็กเกตเรียบร้อยแล้ว มาครอบท่อพีวีซีวงในให้ชิ้นพอร์ซเลนฝังลงในอะคริลิก โดยให้เหลือผิวพอร์ซเลนและแบร็กเกตโผล่พ้นขอบวงแหวนพีวีซีฐานแบร็กเกตจะขนานกับพื้น (รูปที่ 42 ข และ 42 ค)

11. เมื่ออะคริลิกแข็งตัวเต็มที่แล้ว จึงนำชิ้นงานพอร์ซเลนที่ติดแบร็กเกตเรียบร้อยแล้วไปใส่ในกล่องที่ละกลุ่ม (รูปที่ 43) เทน้ำกลั่นลงในกล่องจนท่วมชิ้นงาน (รูปที่ 44) ปิดฝากล่องให้เรียบร้อย นำไปใส่ในตู้อินคิวเบเตอร์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทดสอบ หาค่าแรงยึดแบบเฉือน/ปอกของแบร็กเกตโดยใช้เครื่องทดสอบแรงทั่วไป บันทึกข้อมูลมีหน่วยเป็นนิวตันเพื่อนำมาศึกษาเปรียบเทียบค่าแรงที่วัดได้ระหว่างการปรับสภาพผิวพอร์ซเลนแต่ละวิธี (รูปที่ 45 และ 46)



รูปที่ 18 กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ของบริษัท Ormco



รูปที่ 19 วัสดุยึดชนิดบ่มตัวด้วยแสงและสารไพรเมอร์ชื่อ Transbond XT



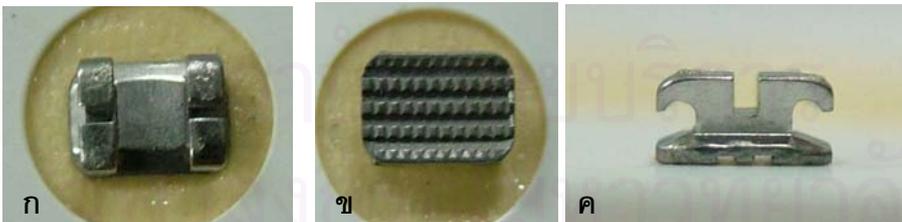
รูปที่ 20 ผงเฟลสปาทิกพอร์ซเลนชนิดเดนทีนรุ่น VMK 95



รูปที่ 21 เจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 ของบริษัท Pascal



รูปที่ 22 ไฮเลน (ซ้าย) และกรดฟอสฟอริก (ขวา)



รูปที่ 23 แบริกเกตโลหะ รุ่นไดนาล็ค ก.) ด้านบน ข.) ฐานแบริกเกต และ ค.) ลักษณะของร่องแบริกเกตเมื่อมองทางด้านข้าง



รูปที่ 24 เต้าเผาพอร์ซเลน
ยี่ห้อ ULTRA-MATE CDF



รูปที่ 25 กล้องจุลทรรศน์สาม
มิติ รุ่น EMZ-TR ของบริษัท
MEJI TECHNO CO.LTD



รูปที่ 26 เครื่องทดสอบความแข็งผิวแบบวิกเกอร์ ก.) ตัวเครื่อง และ ข.) หัวกดทำด้วย
เพชร และกล้องกำลังขยาย 50 เท่า 200 เท่า และ 500 เท่า



รูปที่ 27 หัวกรอหินสีเขียว
ทรงกระบอกพร้อมด้ามกรอซ้ำ



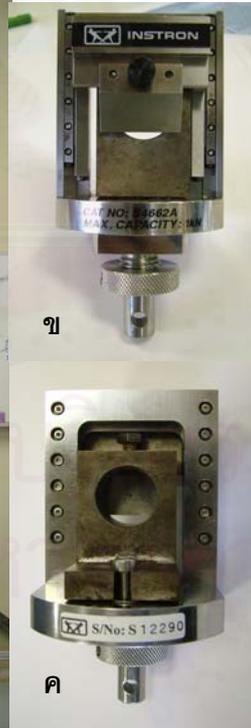
รูปที่ 28 เครื่องเขย่าความถี่เหนือ
เสียง รุ่น TRANSSONIC



รูปที่ 29 เครื่องฉายแสงรุ่น
Spectrum 800



รูปที่ 30 ตู้อินคิวเบเตอร์ดิจิทัลยี่ห้อ
Contherm



รูปที่ 31 เครื่องทดสอบแรงทั่วไป (Instron universal testing machine) ก.)
ตัวเครื่องภายนอก ข.) testing jig ด้านหน้า และ ค.) testing jig ด้านหลัง



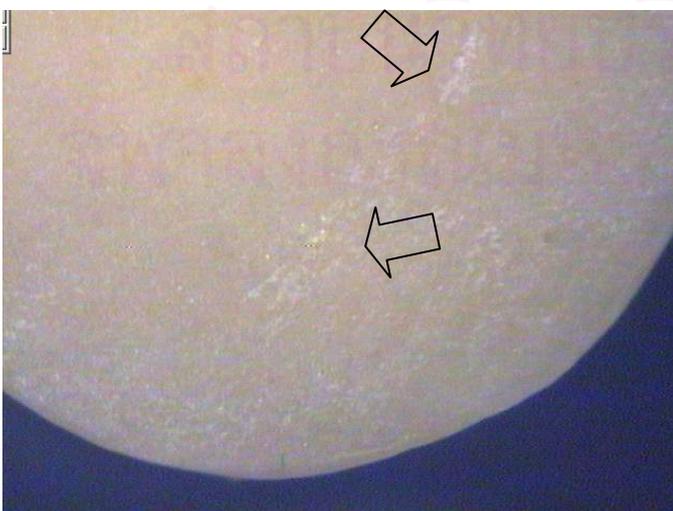
รูปที่ 32 แม่แบบซึ่งมีช่อง
ทรงกระบอกขนาด
เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม.
สูง 4 มม.



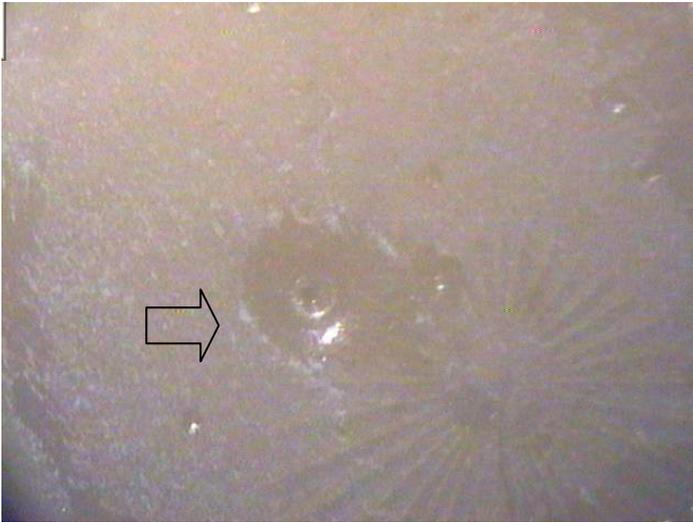
รูปที่ 33 พอร์ชเลนภายหลังการเผา
แสดงด้านที่สัมผัสไฟเบอร์เทรย์มี
ลักษณะผิวด้าน (ซ้าย) และด้านซึ่งหัน
เข้าหาเตาเผาที่มีลักษณะผิวมัน (ขวา)



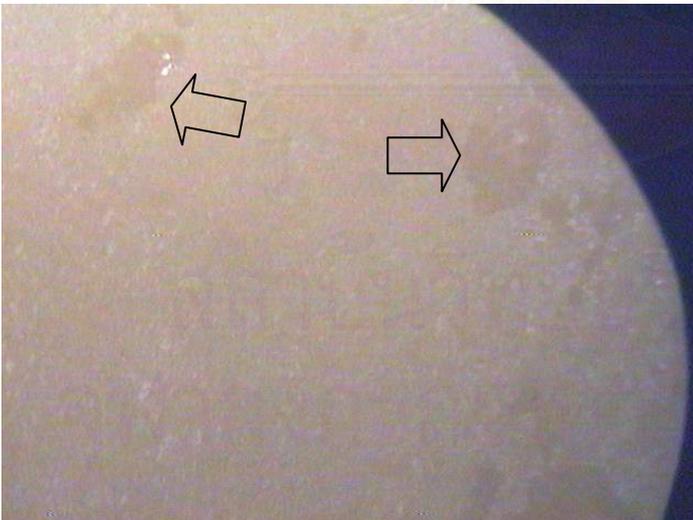
รูปที่ 34 ผิวพอร์ชเลนซึ่งขัดด้วยหัวกรอหิน
สีเขียว แสดงให้เห็นลักษณะผิวเรียบไม่มี
ความมัน



รูปที่ 35 ผิวพอร์ชเลนมีรอย
ต่างขาว (ครีซี) ซึ่งไม่นำมา
ทดลอง หากอยู่ตรงกับ
บริเวณที่จะติดแบร็กเกต
(กำลังขยาย 20 เท่า)



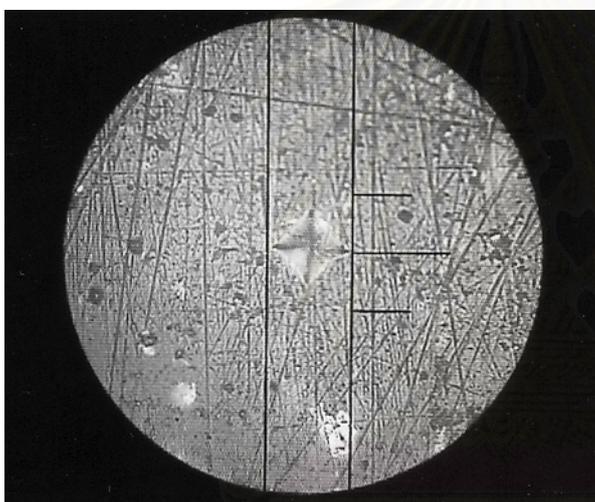
รูปที่ 36 ผิวนอร์ชเลนซึ่งมี
ลักษณะเป็นหลุม(ครรซึ้)
หากอยู่ในบริเวณที่จะติด
แบรคเกตจะไม่นำมา
ทดลอง (กำลังขยาย 20
เท่า)



รูปที่ 37 ผิวนอร์ชเลนซึ่งมี
ลักษณะเป็นหลุม (ครรซึ้)
ตามขอบ (กำลังขยาย 20
เท่า)



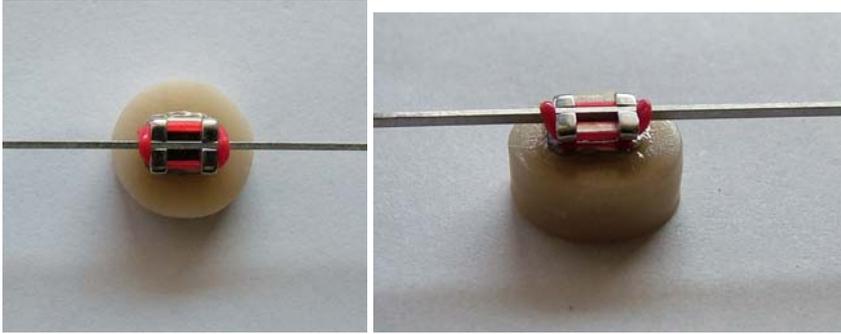
รูปที่ 38 ผิวพอร์ซเลน
ซึ่งมี ลักษณะเรียบ
เหมาะสมแก่การติด
แบรคเกต (กำลังขยาย
20 เท่า)



รูปที่ 39 แสดงลักษณะรอยกดจาก
เครื่องทดสอบความแข็งผิวแบบวิก
เกอร์ ซึ่งมีลักษณะรอยกดเป็นรูป
สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน



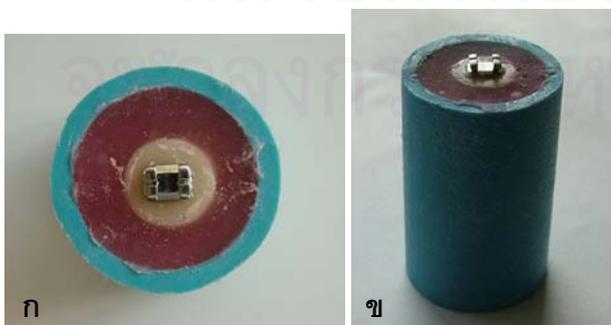
รูปที่ 40 แบรคเกตซึ่งติดบน
พอร์ซเลนเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 41 แสดงแบร็กเกตยึดบนลวด เมื่อมองจากด้านบน (ซ้าย) มองจากด้านข้าง (ขวา)



รูปที่ 42 ก.) การจัดตำแหน่งของท่อวงในและท่อวงนอก ก่อนใส่อะคริลิก ข.) หลังใส่อะคริลิกเมื่อมองจากด้านบน และ ค.) ด้านข้าง



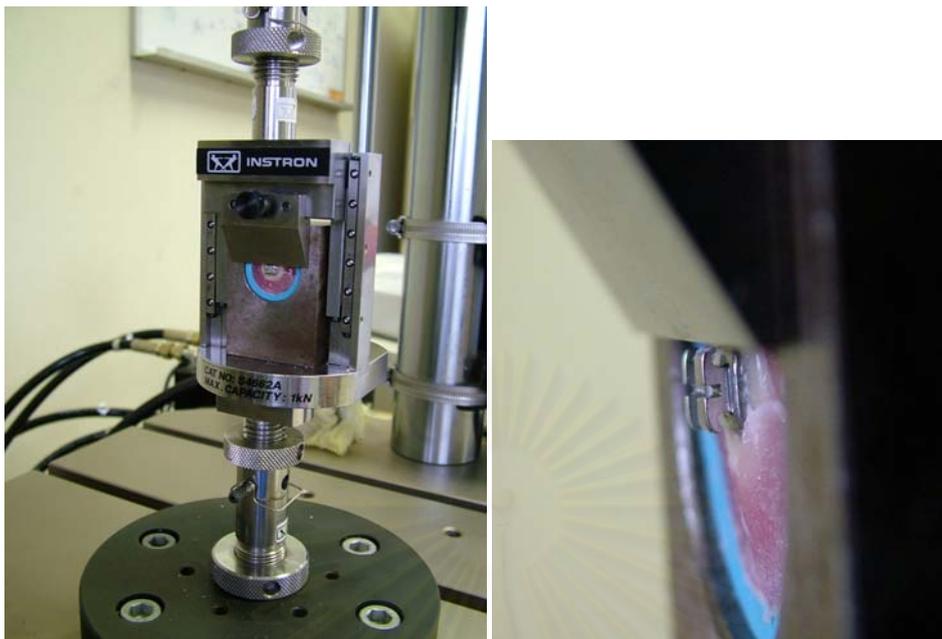
รูปที่ 43 ชิ้นงานที่พร้อมจะนำไปทดสอบ ก.) มองจากด้านบน ข.) มองจากด้านข้าง



รูปที่ 44 ชิ้นงานซึ่งแช่ในน้ำ
กลั่นก่อนนำไปเข้าสู่อินคิวเบ
เตอร์เพื่อควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 45 แสดงชิ้นงานขณะ
ติดตั้งเข้ากับเครื่องทดสอบ
แรงทั่วไป



รูปที่ 46 แสดงตำแหน่งของหัวกด ในขณะที่ทดสอบหัวกดจะค่อย ๆ เลื่อนลงมา สัมผัสแบรคเกิดจนกระทั่งแบรคเกิดหลุด

การวิเคราะห์ข้อมูล

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์ข้อมูลของค่าความแข็งผิวและการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึด

การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความแข็งผิว

เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความแข็งผิวของกลุ่มตัวอย่าง 6 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ค่าว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ด้วยสถิติ Kruskal-Wallis ที่ระดับนัยสำคัญ .05 หากพบว่าไม่มีความแตกต่างกันแสดงว่าชั้นพอร์ซเลนที่หล่อมาทั้ง 6 ครั้งมีคุณสมบัติไม่แตกต่างกัน แต่หากพบว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 กลุ่มจะต้องทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบพหุคูณระหว่างกลุ่ม (multiple comparison)

การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึด

ตัวแปรของการวิจัย

1. ตัวแปรอิสระ (independent variable)

ตัวแปรอิสระในการวิจัยครั้งนี้ คือ วิธีการปรับสภาพผิวพอร์ซเลน ได้แก่

- 1.1 วิธีปรับปรุงสภาพผิวพอร์ชเลนโดยการทาเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 นาน 10 นาที
- 1.2 วิธีปรับปรุงสภาพผิวพอร์ชเลนโดยการทากรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาทีร่วมกับไฮเลนตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

2. ตัวแปรตาม (dependent variable)

ตัวแปรตามของการวิจัยนี้ คือ กำลังแรงยึดแบบเฉือน/ปอก ซึ่งได้จากการคำนวณขนาดของแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/mm^2) และแปลงเป็นหน่วยเมกะปาสคาล (MPa)

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ค่ากำลังแรงยึดระหว่างแบร็กเกตกับพอร์ชเลนซึ่งมีหน่วยเป็นเมกะปาสคาลของกลุ่มทดลองซึ่งเป็นการปรับปรุงสภาพผิวด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ และกลุ่มควบคุมซึ่งเป็นการปรับปรุงสภาพผิวด้วยไฮเลน นำมาวิเคราะห์ ด้วยสถิติดังต่อไปนี้

- 1.1 การวัดค่ากลางของข้อมูล สถิติที่ใช้วัดจะใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (mean : \bar{x})
- 1.2 การวัดการกระจายของข้อมูล สถิติที่ใช้ประกอบด้วย
 - ค่าสูงสุด (maximum, Max) และค่าต่ำสุด (minimum, Min)
 - ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, S.D.)

2. ทดสอบการแจกแจงของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มว่ามีการแจกแจงแบบโค้งปกติ (normal distribution) หรือไม่ ด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov test หากพบว่ามี การแจกแจงแบบปกติให้ใช้สถิติในข้อที่ 3 ต่อซึ่งเป็นสถิติพาราเมตริก แต่หากพบว่าได้ไม่เป็น การแจกแจงแบบปกติจะต้องใช้สถิตินอนพาราเมตริกในข้อที่ 4 คำนวณ

3. ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบเฉือน/ปอก ของแบร็กเกตกับผิวพอร์ชเลนที่ผ่านการเตรียมผิวด้วยวิธีการต่างกัน ใช้สถิติ independent t-test วิเคราะห์ข้อมูลที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05

4. ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบเฉือน/ปอกของแบร็กเกตกับพอร์ชเลนที่ผ่านการเตรียมผิวด้วยวิธีการต่างกัน ใช้สถิติ Mann-Whitney U test วิเคราะห์ข้อมูลที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ.05

5.วิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการอยู่รอด (survival probability) ของแบร็กเกตซึ่งยึดกับพอร์ซเลนที่ผ่านการปรับสภาพผิวทั้งสองวิธีด้วยการวิเคราะห์ไวบูลล์(Weibull analysis) ตามรายละเอียดในภาคผนวก ช เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการปรับสภาพผิวพอร์ซเลนทั้งสองวิธีว่าหากนำไปใช้ในสถานการณ์ทางคลินิกจริงแล้วจะมีความใกล้เคียงกันหรือแตกต่างกัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1. การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงผิว
2. การวิเคราะห์ค่ากำลังแรงยึด

การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงผิว

การวิเคราะห์นี้ทำเพื่อช่วยในการยืนยันว่าชิ้นพอร์ซเลนที่มีการเผาคนละครั้งกันในการทดลองนี้มีคุณสมบัติเหมือนกัน

ผลการวัดพอร์ซเลนจำนวน 6 กลุ่ม กลุ่มละ 2 ชิ้น วัดค่าความแข็งแรงผิวแบบวิกเกอร์ชั้นละ 3 ครั้ง ดังตารางที่ 9 ในภาคผนวก ก ได้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงผิวแบบวิกเกอร์และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพอร์ซเลน 6 กลุ่ม

กลุ่มที่	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงผิวแบบวิกเกอร์ (กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)
1	499.18	8.88
2	506.35	19.77
3	510.38	17.77
4	493.30	30.08
5	504.31	15.72
6	488.25	25.03

โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของค่าความแข็งผิวเป็น 501.41 ± 19.04 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร

วัดความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติ Kruskal-Wallis ที่ระดับนัยสำคัญ .05 พบว่าค่าความแข็งผิวของทั้ง 6 กลุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ($p = .540$) การวิเคราะห์ทางสถิติแสดงในตารางที่ 10 และ 11 ในภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ค่ากำลังแรงยึด

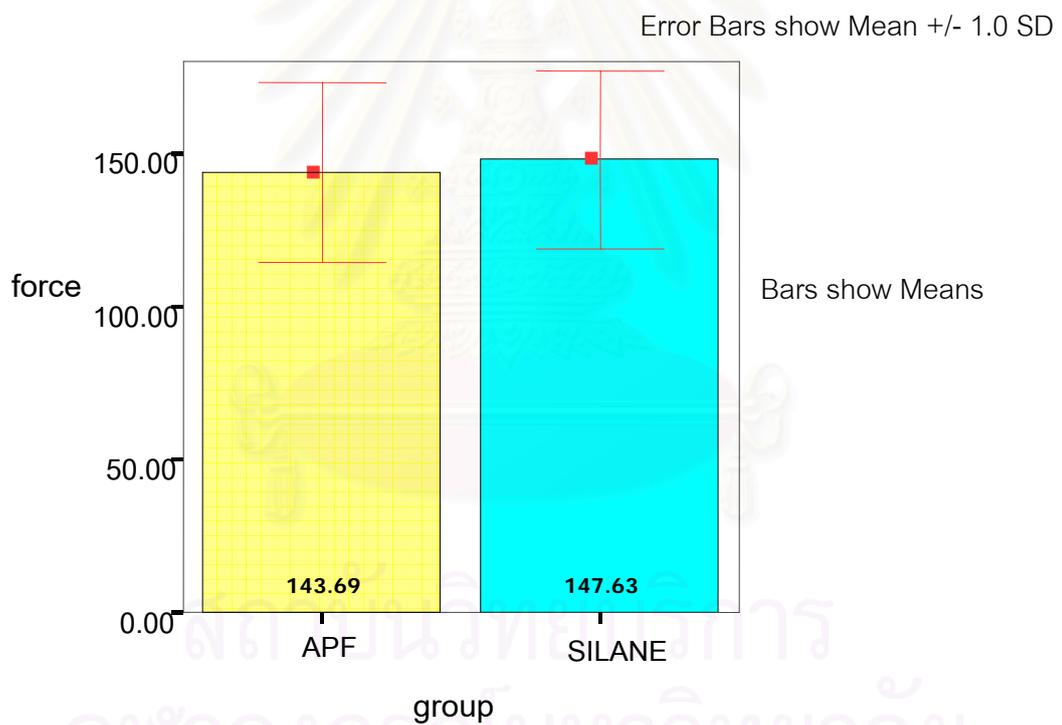
1.ผลการวัดค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือน/ปอกของแบร็กเกตโลหะต่อพอร์ซเลนทั้งสองกลุ่ม แสดงไว้ในตารางที่ 12 ในภาคผนวก ค และตารางที่ 13 ในภาคผนวก ง ส่วนค่ากลางและการกระจายแสดงในตารางที่ 14 ของภาคผนวก จ

ผลการทดลองได้ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error) และค่าสูงสุด/ต่ำสุดของค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือน/ปอก ดังตารางที่ 6 และแสดงเป็นแผนภูมิดังรูปที่ 47 และ 48 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสูงสุด/ต่ำสุด ของกำลังแรงยึดแบบเฉือน/ปอก ระหว่างกลุ่มที่ปรับสภาพผิวด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ กับกลุ่มซึ่งทาไซเลน

Treatment	Mean (MPa)	S.D.	Max.(MPa)	Mim.(MPa)
APF	9.421	1.929	14.212	6.144
Silane	9.680	1.913	14.225	6.980

รูปที่ 47 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยแรงยึดของการปรับสภาพพอร์ซเลนด้วย
เจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์และไซเลน (นิวตัน)



รูปที่ 48 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดของการปรับสภาพ
พอร์ชเลนด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์และไซเลน (เมกะปาสคาล)



1.1 กลุ่มที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์เป็นเวลานาน 10 นาที มีค่าเฉลี่ยของกำลังแรงยึดแบบเฉือน/ปอกเท่ากับ 9.421 เมกะปาสคาล และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.929 เมกะปาสคาล

1.2 กลุ่มที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยไซเลน มีค่าเฉลี่ยของกำลังแรงยึดแบบเฉือน/ปอกเท่ากับ 9.680 เมกะปาสคาล และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.913 เมกะปาสคาล

2. เมื่อทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) ของกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov ดังตารางที่ 15 ในภาคผนวก จ ผลการทดสอบพบว่า

2.1 กลุ่มที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์เป็นเวลา 10 นาที มีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ($p = .475$)

2.2 กลุ่มที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยไฮเลนไพรเมอร์ มีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ($p = .580$)

เมื่อกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้นจึงสามารถใช้สถิติ independent t-test ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มได้

3. ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มด้วยสถิติ independent samples t-test พบว่าวิธีการปรับสภาพผิวของพอร์ซเลนทั้งสองวิธี ระหว่างการทำด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์เป็นเวลา 10 นาทีกับการทำด้วยไฮเลนไพรเมอร์ของบริษัทออมโกให้ผล คือ ค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือน/ลอกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ($p = .604$) ค่าสถิติแสดงในตารางที่ 16 ของภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ไวบูลล์

ผลการคำนวณค่า α และ β ของกลุ่มที่มีการปรับสภาพผิวด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์และไฮเลนแสดงในตารางที่ 17 และ 18 ของภาคผนวก ข ตามลำดับ

ผลการคำนวณความน่าเชื่อถือ (reliability) ของวิธีการปรับสภาพผิวทั้งสองแบบเมื่อเปรียบเทียบกับแรงที่กระทำทำให้แบรกเกตหลุดแสดงไว้ในตารางที่ 7

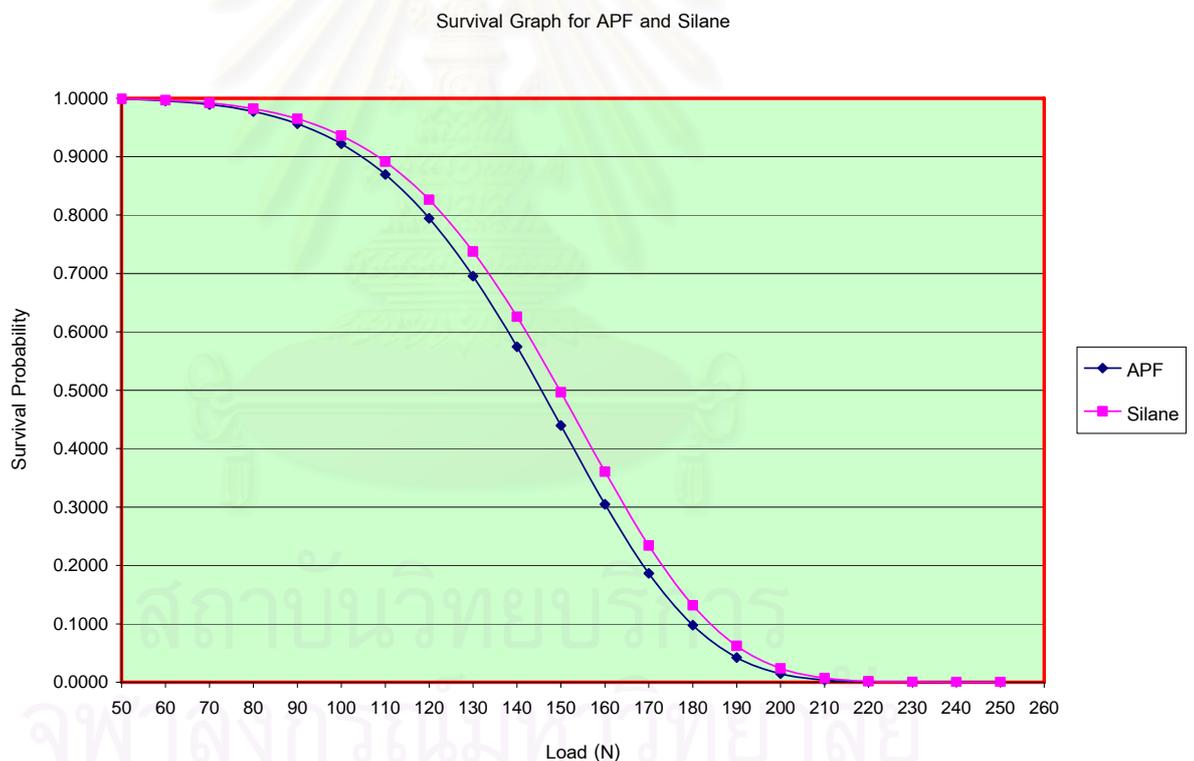
ตารางที่ 7 ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือเมื่อเปรียบเทียบกับแรงที่กระทำ
ให้แบรกเกตหลุด

Reliability	LOAD (N)	
	APF	SILANE
0.01	202.8509	207.2014
0.1	179.6551	183.9704
0.5	145.5786	149.7263
0.9	104.6566	108.3768
0.99	69.34034	72.42015

จากตารางอธิบายได้ว่าแรงที่ทำให้แบร็กเกตซึ่งยึดบนพอร์ชเลนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์และพอร์ชเลนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยไซเลนหลุดร้อยละ 50 คือแรงประมาณ 145.57 นิวตันและ 149.72 ตามลำดับซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก หรืออาจตีความได้ว่าที่แรงข้างต้นนี้ทำให้แบร็กเกตทั้งสองกลุ่มยังคงเหลือติดอยู่บนพอร์ชเลนหรืออยู่รอดร้อยละ 50

เมื่อนำมาเปรียบเทียบเป็นกราฟแสดงความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือหรือความน่าจะเป็นของการอยู่รอด ดังแสดงในรูปที่ 49

รูปที่ 49 กราฟแสดงความน่าจะเป็นของการอยู่รอดของแบร็กเกตซึ่งยึดบนผิวพอร์ชเลนซึ่งผ่านการปรับสภาพผิวสองวิธี



พิจารณาจากกราฟในรูปที่ 49 ร่วมกับค่าจากตารางที่ 7 และตารางที่ 19 ในภาคผนวก ข พบว่าทั้งสองกลุ่มมีค่าความน่าจะเป็นของการอยู่รอดไปในลักษณะเดียวกันและใกล้เคียงกัน เมื่อนำไปประกอบกับผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของกำลังแรงยึดแบบเฉือน/ปอกของการปรับสภาพผิวทั้งสองวิธีด้วยสถิติ independent sample t-test ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยของแรงยึดแบบเฉือน/ปอกไม่

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่าพฤติกรรมของแบรคเกตในทาง
คลินิกของทั้งสองกลุ่มมีความใกล้เคียงกัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือน/ปอก ของแบร็กเกตโลหะต่อผิวพอร์ซเลน ซึ่งผ่านการปรับสภาพผิวด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 เป็นเวลานาน 10 นาทีจำนวน 30 ตัวอย่าง เปรียบเทียบกับการปรับสภาพผิวด้วยไฮเลนไพรเมอร์จำนวน 30 ตัวอย่าง และยึดแบร็กเกตกับพอร์ซเลนด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสง ค่ากำลังแรงยึดวัดจากเครื่องทดสอบแรงทั่วไป (อินสตรอน) กำหนดแรงกดที่ 250 นิวตันและ cross head speed 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ทดสอบความแตกต่างของค่ากำลังแรงยึดที่วัดได้ในแต่ละกลุ่มด้วยสถิติทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย 2 ประชากรด้วยสถิติ independent samples t-test ที่ระดับนัยสำคัญ .05

สรุปผลการวิจัย

ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบเฉือน/ปอกระหว่างแบร็กเกตโลหะกับพอร์ซเลนซึ่งผ่านการปรับสภาพผิวด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 นาน 10 นาที (9.421 ± 1.929 MPa) กับการปรับสภาพผิวด้วยไฮเลน (9.680 ± 1.913 MPa) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ($p = .604$) ดังนั้นต้องการติดแบร็กเกตโลหะกับผิวพอร์ซเลนสามารถใช้เจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 นาน 10 นาทีในการปรับสภาพผิวแทนการใช้ไฮเลนได้

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีแนวคิดมาจากการซ่อมแซมพอร์ซเลนทางทันตกรรมประดิษฐ์ซึ่งมีวิธีการปรับสภาพผิวของพอร์ซเลนก่อนการซ่อมแซมด้วยคอมโพสิต (Pratt และ, 1989; Hayakawa และ, 1992; Thurmond และ, 1994; Yyver และ, 1996; Zohairy และ, 2003) ซึ่งวิธีการปรับสภาพผิวดังกล่าวที่มีทั้งการปรับเปลี่ยนผิวด้วยวิธีทางกลและวิธีทางเคมี (Kukiattrakoon, 2003) ซึ่งหนึ่งในวิธีการปรับสภาพผิวทางกลด้วยสารเคมี คือ การใช้เจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 เป็นวิธีหนึ่งในการปรับสภาพผิวให้เหมาะแก่การยึดเกาะในระดับจุลภาคของเรซิน ส่วนวิธีทางเคมีที่นิยมคือการใช้ไฮเลนซึ่งมีวิธีใช้แตกต่างกันไปตามคำแนะนำของ

บริษัทผู้ผลิต วิธีการดังกล่าวนิยมใช้ทั้งในการซ่อมแซมพอร์ชเลนและการติดแบรกกเกตกับพอร์ชเลน อย่างไรก็ตามไซเลนมีอายุใช้งานจำกัด โดยไซเลนจะเกิดการควบแน่นด้วยตัวเอง ทำให้คุณสมบัติที่จะเป็นสารค้ำปลิงหมดไป (Eliades, 2003; Matinlinna และ, 2004) แต่ถ้าหากสามารถใช้เจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ได้ จะเกิดความสะดอกกว่าเพราะคลินิกทันตกรรมแทบทุกแห่งตลอดจนโรงพยาบาลชุมชนต่างก็มีเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ ไว้ใช้ในการเคลือบฟลูออไรด์สำหรับเด็กเพื่อป้องกันฟันผุ ราคาถูก มีอายุการใช้งานประมาณ 2 ปีขึ้นไป และที่สำคัญคือมีความปลอดภัยเนื่องจากใช้กับช่องปากเป็นประจำอยู่แล้ว เพียงแต่ยังขาดการทดลองยืนยันประสิทธิภาพในการให้แรงยึดระหว่างแบรกกเกตกับพอร์ชเลนว่ามีค่าสูงพอกับการยึดด้วยไซเลนหรือไม่ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดระหว่างแบรกกเกตกับผิวพอร์ชเลนซึ่งผ่านการปรับสภาพผิวด้วยแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์เปรียบเทียบกับ การปรับสภาพผิวด้วยไซเลนซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เพื่อหาข้อสรุปว่ามีประสิทธิภาพเพียงพอในด้านกำลังแรงยึดหรือไม่

การศึกษาในครั้งนี้มีความแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมาในเรื่องของการเตรียมชิ้นตัวอย่างคือพอร์ชเลน เนื่องจากไม่มีงานวิจัยใดทดสอบชิ้นตัวอย่างพอร์ชเลนว่าไม่มีความแตกต่างกันในด้านการผลิตก่อนนำมาติดแบรกกเกต (Ghassemi-Tarry, 1979; Eustaquio และคณะ, 1988; Kao และคณะ, 1988; Winchester, 1990; White และ Tyas, 1993; Cochran, Keefe และ Turner, 1997; Chay และคณะ, 2005) ส่วนใหญ่แล้วจะอ้างว่าชิ้นพอร์ชเลนที่ผลิตมามีความเหมือนกันเนื่องจากทำโดยช่างปฏิบัติการคนเดียวกันด้วยวิธีที่เหมือนกัน เช่น การศึกษาของ นพปฏิพล จันทรพงศ์แสง (2539) และ ปิยะธิดา จิตตานันท์ (2540) เป็นต้น

ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงานเพื่อการทดสอบ พบว่าอาจทำให้ชิ้นงานที่เตรียมมีความแตกต่างกันได้ เนื่องจาก เตาเผาพอร์ชเลนมีช่องเผา (chamber) ขนาดจำกัด ทำให้การเผาพอร์ชเลนแต่ละครั้งทำได้น้อยชิ้นเช่นในห้องปฏิบัติการทันตกรรมของคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จะพบว่าเตาเผายี่ห้อ ULTRA-MAT CDF ซึ่งใช้เผา พอร์ชเลนในการวิจัยครั้งนี้เช่นกัน สามารถจุชิ้นพอร์ชเลนเพื่อเผาในคราวเดียวกันได้เพียง 12-15 ชิ้น (คิดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยชิ้นละ 10 มิลลิเมตร) หากต้องการเตรียมชิ้นพอร์ชเลนกลุ่มละ 30 ชิ้นจะต้องเผาอย่างน้อย 5 ครั้ง ดังนั้นจึงควรจะมีการทดสอบความเหมือนกันของชิ้นตัวอย่างด้วย โดยอาจนำค่าคุณสมบัติบางค่ามาเป็นเกณฑ์ เช่น ค่าความแข็งผิว เนื่องจากการทดสอบค่าความแข็งผิวเป็นตัวแทนที่แสดงให้เห็นถึงลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของเซรามิก เช่น การผลิตไฮดรอกซีอะปา

ไทต์ผสมกับกลาสฟิลเลอร์ จะมีค่าความแข็งผิวแบบวิกเกอร์ต่างกันไปขึ้นอยู่กับขนาด ชนิด และ ปริมาณของสารอัดแทรก การทดสอบค่าความแข็งผิวยังเป็นตัวแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของ กระบวนการผลิต(processing technique)อีกด้วย(Silva และคณะ, 2003)

White และ Tyas(1993) ทดสอบแรงยึดแบบเฉือนระหว่างพอร์ซเลนกับแบร็กเกตโลหะ โดยพอร์ซเลนที่นำมาทดสอบไม่ผ่านการขัดผิวเคลือบ (glaze) แต่ปรับสภาพผิวด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 เป็นเวลา 4 นาทีนำมายึดด้วยวัสดุยึดซึ่งเป็นเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวเอง (System 1+) และชนิดบ่มตัวด้วยแสง (Sequence) การวิจัยพบว่าได้ค่าแรงยึดต่ำมากคือ 0.91 ± 1.55 MPa และ 0.76 ± 1.23 MPa ตามลำดับซึ่งไม่เพียงพอต่อการใช้งานทางคลินิกทันตกรรมจัดฟันซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ Barbosa และคณะ (1995) ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงเพิ่มระยะเวลา ที่เจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 สัมผัสกับผิว พอร์ซเลนเป็น 10 นาทีเพียงค่าเดียวเนื่องจากคิดว่าน่าจะเป็นเวลาทำงานที่ไม่นานเกินไปสำหรับการจัดฟันในคลินิกทันตกรรม เพราะทันตแพทย์จัดฟันอาจเลือกติดเครื่องมือในอีกขากรรไกรหนึ่งก่อนหรืออาจใช้เวลาตัดเตรียมลวดขณะระออคอย จึงไม่น่าจะเสียเวลาในคลินิกมากเกินไป

การกำหนดตำแหน่งในการฉายแสงอาศัยตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตที่แนะนำให้ฉายแสงด้านไกลกลางและด้านใกล้กลางของแบร็กเกตด้านละ 10 วินาที แต่มีบางการทดลองซึ่งใช้วัสดุยึด Transbond XT เช่นกันได้กำหนดการฉายแสงเป็นด้านละ 10 วินาที ฉายแสงจำนวน 4 ด้านโดยรอบแบร็กเกต รวมเป็น 40 วินาที(Sharma-Sayal และคณะ, 2003) หรือฉายแสงด้านใกล้กลางและด้านไกลกลางของแบร็กเกตด้านละ 20 วินาที(Dorminey และคณะ, 2003)ซึ่งอาจทำให้การบ่มตัวของวัสดุไม่เท่ากัน การทดลองนี้ไม่ได้กำหนดระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงจากเครื่องฉายแสงแต่วางไว้ใกล้กับชิ้นงานมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้โดยไม่สัมผัสกับแบร็กเกต (ปกติแล้วความเข้มแสงจะลดลงเมื่อระยะทางไกลขึ้น) เหมือนกับการทดลองของ Wendl และ Drosch (2004), Pannes และคณะ (2003) ซึ่งบางการทดลองได้กำหนดระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสงกับแบร็กเกตแตกต่างกันไป เช่น 1-3 มิลลิเมตร (Klocke และคณะ, 2003) 2 มิลลิเมตร (Carty และ Tyas, 1993) เป็นต้น

ในระหว่างที่มีการบดเคี้ยวก่อนอาหารจะผ่านไปมาระหว่างด้านบดเคี้ยว ระหว่างฟัน และ ลวดทำให้เกิดทั้งแรงเฉือนและแรงดึงร่วมกัน (Kao และคณะ, 1988) ซึ่งเป็นการยากที่จะจำลอง

การทดลองให้มีสภาพเหมือนกับแรงในช่องปาก ดังนั้นการทดลองนี้จึงวัดเฉพาะค่าแรงยึดแบบแรงเฉือนซึ่งเป็นการวัดที่แพร่หลายที่สุด (Yi และคณะ, 2003)

การวิจัยนี้เลือกทดสอบแรงยึดที่เวลา 24 ชั่วโมงเนื่องจากเป็นการทดลองที่แพร่หลายมากที่สุดเมื่อพิจารณาจากงานทดลองนอกช่องปากที่ผ่านมาแล้ว ทำให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบผลการทดลอง (Aljubouri, Millett และ Gilmour, 2003)

วิธีการทดสอบแรงเฉือนทำได้หลายวิธี บางการทดลองใช้ลวดคล้องใต้ปีกแบรกเกตและให้แรงดึงในทิศทางขนานกับผิวหน้าของพอร์ซเลน (Ghassemi-Tarry 1979; Aljubouri และคณะ, 2003) หรือให้แรงกดจากด้านบนของปีกแบรกเกต (Kao และคณะ, 1988; Kao และ Johnston, 1991; Ozcan และคณะ, 2004) ในการทดลองนี้เป็นการวัดค่าแรงยึดแบบเฉือน/ปอก เนื่องจากให้แรงลงบนปีกแบรกเกตไม่ได้ผ่านที่วัสดุยึดโดยตรง ดังนั้นจะเกิดการเสียรูปของปีกแบรกเกตเล็กน้อยและเกิดแรงปอกวัสดุออกจากผิวพอร์ซเลนเกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการเกิดแรงเฉือน ดังนั้นค่าที่วัดได้จึงเป็นค่าแรงเฉือน/ปอก เหมือนการทดลองของ นพปฏิล จันทรฝ่องแสง (2539) ปิยะธิดา จิตตานันท์ (2540) และ Patanaariyangkul (2004) ซึ่งเป็นการวัดค่าแรงยึดแบบเฉือน/ปอกเช่นกัน แต่มีทิศทางการให้แรงต่างจากการวิจัยนี้

Hocevar และ Vincent (1988) ได้ทดสอบแรงเฉือนระหว่างแบรกเกตกับฟันมนุษย์ โดยให้แรงกดลงบนปีกแบรกเกตจากด้านบนในการทดลองนี้มีสิ่งต่างจากการทดลองอื่นและแตกต่างจากงานวิจัยฉบับนี้คือ มีการใช้ลวดที่มีขนาดใหญ่เต็มร่องของแบรกเกตใส่ในร่องของแบรกเกต ในขณะที่ให้แรงกดบนปีกแบรกเกต ผู้วิจัยอ้างว่าเพื่อลดการเสียรูปของแบรกเกตให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด แต่งานวิจัยฉบับนี้ไม่จำเป็นต้องทำเช่นนั้นเพราะต้องการวัดค่าแรงยึดแบบเฉือน/ปอกนั่นเอง ซึ่ง Katona (1994) อธิบายถึงสาเหตุของการใช้คำว่าแรงเฉือน/ปอก ว่าเกิดจากการที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยง inherent bending moment เมื่อให้แรงกระทำบนปีกแบรกเกต จึงไม่สามารถให้แรงที่เป็นแรงเฉือนเพียงอย่างเดียว (pure shear load) กระทำบนแบรกเกตได้

การวิจัยนี้ไม่ได้กำหนดแรงกดในการติดแบรกเกตเนื่องจากมีงานวิจัยของพรชัย จรัสเจริญวิทยา (2537) พบว่าค่าแรงยึดแบบเฉือน/ปอกของวัสดุยึดติด 3 ชนิดเมื่อใช้แรงกดขนาดต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 ($p = .770$) และงานวิจัยส่วนมากซึ่งวัดแรงยึดระหว่างแบรกเกตกับฟันผิวมักไม่กำหนดแรงกด เช่น งานวิจัยของ White และ Tyas (1993), Carty และ Tyas (1993), Phijaisanit และ Tyas (1996), Chunhacheevachaloke และ Tyas (1997)

และการทดลองของ Lai และคณะ (1998) ซึ่งต่างก็มี Tyas เป็นอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ไม่มีการกำหนดแรงกดในการติดแบร็กเกตกับพื้นผิวต่าง ๆ ที่นำมาศึกษาค่าแรงยึดระหว่างแบร็กเกตกับพื้นผิวที่นำมาทดสอบ นอกจากนี้ยังมีอีกหลายการทดลองที่ไม่มีการกำหนดแรงกดในการติดแบร็กเกตกับพอร์ซเลนหรือฟัน (Bourke และ Rock, 1999; Harari และคณะ, 2003; Klocke และคณะ, 2003; Ozcan และคณะ, 2004; Wendl และ Drosch, 2004) บางการทดลองก็กล่าวว่าใช้แรงกดปานกลางด้วยแรงจากมือแต่ก็ไม่ได้ระบุแรงที่ใช้ (Ghassemi-Tarry, 1979) หรือออกแรงกดในขนาดที่พอดีให้มีซีเมนต์ส่วนเกินทะลักออกมา และกำจัดออกด้วยเครื่องมือเหมือนที่ใช้ในคลินิก (Fox และคณะ, 1991) ส่วนกลุ่มที่กำหนดแรงกดพบว่ามักกำหนดที่ 5 นิวตันโดยไม่กำหนดระยะเวลาของการกด (Schmage และคณะ, 2003) หรือกำหนดแรงที่ 5 นิวตันร่วมกับกำหนดระยะเวลา 10 วินาทีก่อนการขจัดวัสดุส่วนเกิน (Chay และคณะ, 2005)

Kato และคณะ (2001) พบว่า การปรับสภาพผิวมีผลต่อแรงยึดระหว่างพอร์ซเลนกับคอมโพสิตมากกว่าผลจาก luting agent ส่วนการทำให้เกิดการยึดเกาะเชิงกลหรือการยึดเกาะทางเคมีเป็นสิ่งที่จำเป็นเช่นกัน โดยแนะนำว่าให้ปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกและใช้ไซเลนร่วมกับ luting agent ที่เป็น 4-META/MMA-TBB resin จะให้ค่าแรงยึดที่ทนทานมากที่สุดแม้จะผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิง 100,000 รอบก็ยังเหลือแรงยึดแบบเฉือนมากถึง 33.3 MPa

การทดลองส่วนใหญ่แนะนำให้ใช้หัวกรอหินสีเขียวกรอขจัดผิวเคลือบของพอร์ซเลนก่อนการติดด้วยวัสดุยึดเนื่องจากจะให้ค่าแรงยึดสูงขึ้น (Wood และคณะ, 1986; Kao และ Johnston, 1991) แต่มีบางการทดลองแนะนำให้ใช้หัวกรอกากเพชรกรอชนิดหยาบเนื่องจากพบว่าให้ค่าแรงยึดสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มที่กรอเปิดผิวด้วยหัวขัดกระดาษทรายความหยาบปานกลางทั้งในกลุ่มที่ใช้ไซเลนร่วมด้วยและไม่ใช้ไซเลนร่วมด้วย (Barbosa และคณะ, 1995)

ถึงแม้ว่าการขัดผิวเคลือบของพอร์ซเลนออกก่อนการยึดติดด้วยสารยึดยังเป็นที่ยกเถียงกันอยู่ เนื่องจากพบว่าการใช้ไซเลนไพรเมอร์ทาบนผิวเคลือบของพอร์ซเลนก็สามารถให้แรงยึดที่เพียงพอ (Eustaquio และคณะ, 1988; Kao และคณะ, 1988) แต่การกรอผิวเคลือบออกอย่างระมัดระวังในบริเวณที่จะติดแบร็กเกตจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการยึดติดทางกลและการยึดติดทางเคมีได้ (Zachrisson, Zachrisson และ Buyukyilmaz, 1996; Kato และคณะ, 2001) และเพิ่มความขรุขระ ทำให้เรซินมีมุมสัมผัสกับผิวพอร์ซเลนลดลงส่งเสริมการทำให้ผิวเปียกของแอดฮีซีฟ

เรซิน ทำให้การยึดติดดีขึ้น (Oh และ Shen, 2003) ดังนั้นการวิจัยนี้จึงกรอขจัดผิวเคลือบของพอร์ซเลนออก

งานวิจัยบางฉบับได้สรุปเป็นข้อแนะนำว่าการยึดติดแบร็กเกตกับพอร์ซเลนควรจะต้องทำไฮเลนร่วมด้วยเสมอจึงจะได้แรงยึดที่พอแก่การใช้งานทางคลินิก แต่เมื่อพิจารณาการทดลองแล้วจะพบว่าต้องมีการกรอเปิดผิวด้วยหัวกรอหินร่วมด้วย ไม่ได้ทำไฮเลนบนผิวเคลือบของพอร์ซเลนโดยตรง (Pannes และคณะ, 2003) จึงเป็นข้อควรระวังว่าต้องมีการปรับสภาพผิวด้วยวิธีเชิงกลก่อนเสมอ ดังจะเห็นได้จากคำแนะนำของหลายการทดลอง (Ghassemi-Tarry, 1979; Wood และคณะ, 1986; Kao และคณะ, 1988; Kao และ Johnston, 1991) แต่บางการทดลองแนะนำว่าการกรอเปิดผิวร่วมกับการทำไฮเลนและใช้วัสดุเรซินที่มีสารยึดแทรกปริมาณสูงสามารถให้ค่าแรงยึดสูงจริง แต่ก็เสี่ยงต่อการแตกหักของพอร์ซเลนมากขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงผลนี้อาจจะใช้ พอร์ซเลนที่ไม่ขจัดผิวเคลือบร่วมกับการทำไฮเลนและใช้เรซินชนิดที่มีสารยึดแทรกปริมาณสูงก็สามารถให้ค่าแรงยึดเพียงพอต่อการใช้งานในคลินิกได้ (Wood และคณะ, 1986; Bourke และ Rock, 1999)

เนื่องจากแบร็กเกตโลหะไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อให้เกิดการยึดติดกับเคลือบฟันหรือเรซินได้ จึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มการยึดเกาะเชิงกลด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่นการออกแบบฐานแบร็กเกตที่มีรูปแบบหลากหลาย Sharma-Sayal และคณะ (2003) ศึกษาอิทธิพลของรูปแบบฐานแบร็กเกตกับกำลังแรงยึดพบว่าแบร็กเกตที่มีฐานแบบ 60-gauge foil-mesh หรือ integral undercut machined จะให้ค่ากำลังแรงยึดสูงกว่ารูปแบบอื่น แบร็กเกตที่ใช้ในการทดลองนี้คือแบร็กเกตโลหะรุ่นไดนาล็คคของบริษัท 3M ซึ่งมีฐานเป็นร่องรูปตัววีและร่องในแนวนอนจากการกลึงตัด ร่องเหล่านี้มีลักษณะตื้นทำให้ได้แรงยึดต่ำ หากต้องการแรงยึดที่สูงขึ้นควรเพิ่มจำนวนร่องให้มากขึ้น (Patanaariyangkul, 2004) หรือใช้ร่วมกับวัสดุยึดที่มีสารยึดแทรกปริมาณสูง (Sharma-Sayal และคณะ, 2003) ในการทดลองนี้ได้ใช้วัสดุ Transbond XT เป็นวัสดุยึด วัสดุตัวนี้มีสารยึดแทรกปริมาณสูง จึงน่าจะทำให้ค่าแรงที่ได้สูงขึ้นเป็นการชดเชยข้อด้อยของลักษณะฐานแบร็กเกต ดังนั้นค่าแรงยึดที่ได้จากการทดลองนี้น่าจะมีความเป็นกลางพอสมควรคือไม่ต่ำจนเกินไปหรือไม่สูงจนเกินไป แต่อย่างไรก็ตามหากจะนำผลการทดลองไปอ้างอิงกับแบร็กเกตรุ่นอื่นที่มีลักษณะของฐานแตกต่างไปจากแบร็กเกตไดนาล็คคหรือใช้วัสดุยึดรุ่นอื่น ค่าแรงยึดที่ได้ อาจมีค่าสูงขึ้นหรือต่ำลงได้อย่างชัดเจน

อย่างไรก็ตามค่าแรงยึดที่ได้จากการทดลองนี้อาจสูงกว่าความเป็นจริงในทางคลินิกเพราะการทดลองนี้ทำความสะอาดผิวหน้าของพอร์ซเลนด้วยเครื่องเขย่าความถี่เหนือเสียงเป็นเวลานาน

10 นาที ซึ่งสามารถจัดตะกอนของแร่ธาตุที่เกิดจากการกัดของแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ได้มากกว่าการล้างด้วยน้ำกลั่น ตะกอนเหล่านี้จะขัดขวางการยึดติดของวัสดุยึดทำให้ค่าแรงยึดต่ำกว่าความเป็นจริงได้ แต่ในทางคลินิกเราไม่สามารถใช้เครื่องเขย่าความถี่เหนือเสียงในช่องปากได้ (Canay, Hersek และ Ertan, 1998)

การทดสอบค่าแรงยึดระหว่างแบร็กเกตกับพอร์ซเลนยากแก่การหาข้อสรุปแม้ว่าจะใช้ระบบยึดติดชนิดเดียวกันร่วมกับแบร็กเกตแบบเดียวกันก็ตาม เนื่องจากมีปัจจัยเกี่ยวข้องของหลายประการ ได้แก่ ชนิดของพอร์ซเลน, รูปแบบของฐานแบร็กเกต, เครื่องมือทดสอบ, วิธีการทดสอบ และทิศทางของการถอดแบร็กเกตและ Cross head speed เป็นต้น (Kitayama และคณะ, 2003) เช่น ใช้น้ำหนัก 1 กิโลนิวตัน (Titley และคณะ, 2003) 10 กิโลกรัม (White และ Tyas, 1993) หรือมากที่สุดคือ 100 กิโลกรัม (Lai และคณะ, 1999) ในขณะที่บางงานวิจัยไม่ได้กล่าวถึงน้ำหนักที่ใช้แต่ระบุเพียง cross head speed (Aljubouri และคณะ, 2003; Ozcan และคณะ, 2004) ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ cross head speed 0.5 มม.ต่อนาทีใช้น้ำหนัก 250 นิวตัน เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากข้อมูลดิบของงานวิจัยของนพภูฏ จันทร่ม่องแสง (2539) ปิยะธิดา จิตตานันท์ (2540) และ Patanaariyangkul (2004) ไม่พบว่ามีค่าแรงยึดในหน่วยนิวตันค่าใดที่มีค่าสูงกว่า 150 นิวตันเลย ทั้ง ๆ ที่บางการทดลองเป็นการยึดระหว่างแบร็กเกตโลหะกับฟันจริง ในขณะที่มีการใช้น้ำหนักมากถึง 10 กิโลนิวตัน การใช้น้ำหนักมากเพื่อตรวจจับแรงขนาดน้อยจะทำให้ได้ข้อผิดพลาดได้ ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงกำหนดน้ำหนักที่ใช้กดแบร็กเกตเพียง 250 นิวตันเท่านั้น ผลการวัดค่าแรงในหน่วยนิวตันพบว่ามีความแข็งแรงยึดบางค่ามีค่าสูงกว่า 200 นิวตันแต่ไม่เกิน 250 นิวตัน เมื่อคำนวณแรงต่อหน่วยพื้นที่แล้วพบว่ากลุ่มที่มีการปรับสภาพด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ให้ค่าแรงยึดเฉลี่ย 9.421 ± 1.929 MPa ในขณะที่กลุ่มซึ่งทาด้วยไฮเลนไพรเมอร์ให้ค่าแรงยึดเฉลี่ยเป็น 9.680 ± 1.913 MPa ซึ่งมีค่าสูงกว่าแรงยึดระหว่างแบร็กเกตโลหะกับผิวฟันกรามน้อยที่ปิยะธิดา จิตตานันท์ (2540) และ Patanaariyangkul (2004) วัดไว้ (3.77 MPa และ 7.41 MPa ตามลำดับ) แต่ได้ค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยที่นพภูฏ จันทร่ม่องแสง (2539) ทำไว้คือ 11.87 MPa

เนื่องจากยังไม่มีข้อตกลงที่ชัดเจนในแง่ของวัสดุและวิธีการทดสอบแรงยึดทางทันตกรรมจัดฟัน ดังนั้นการประเมินการยึดติดจึงต้องอาศัยทั้งการพิจารณาจากค่าที่ได้จากการทดลองและการทดลองใช้งานทางคลินิก (Kitayama และคณะ, 2003; Yi และคณะ, 2003)

จากการศึกษาของ Kitayama และคณะ (2003) แนะนำว่าควรใช้แรงดึงในการถอด แปรรกเกตหรือทำให้แปรรกเกตหลุดจากผิวพอร์ซเลน แทนการใช้แรงเฉือนเนื่องจากพบว่าการใช้แรงเฉือนทำให้เกิดความถี่ของการแตกหักในพอร์ซเลนอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับการใช้แรงดึง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้วัสดุยึดชนิดเรซินคอมโพสิต ในการทดลองนี้ใช้วัสดุยึดชนิดบ่มตัวเองยี่ห้อ Concise ของบริษัท 3M เป็นตัวแทนของวัสดุยึดประเภทเรซินคอมโพสิต เปรียบเทียบกับวัสดุยึดชนิดกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดบ่มตัวเองยี่ห้อ Fuji ORTHO และกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปรด้วยเรซินยี่ห้อ Fuji ORTHO LC ของบริษัท GC แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าพอร์ซเลนซึ่งผ่านการเคลือบผิวต่างก็ต้องปรับสภาพผิวด้วยไฮเลนเพื่อช่วยเพิ่มการยึดเกาะ ส่วน Thurmond และคณะ (1994) พบว่าเมื่อใช้แรงเฉือนเพื่อทำให้เรซินคอมโพสิตหลุดจากผิวพอร์ซเลนจะทำให้พอร์ซเลนแตกหักแบบ cohesive ได้ร้อยละ 100 ของกลุ่มทดลอง 3 กลุ่มที่มีการใช้ไฮเลนร่วมด้วยทุกกลุ่ม

การทำเทอร์โมไซคลิกทำให้กำลังแรงยึดระหว่างพอร์ซเลนกับเรซินลดลงเนื่องจากมีความแตกต่างกันระหว่างสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อน (Pratt และคณะ, 1989) การทดสอบค่าแรงยึดควรทำเทอร์โมไซคลิก 2400 รอบ ใช้อุณหภูมิระหว่าง 5 องศาเซลเซียสถึง 55 องศาเซลเซียส และจำลองการเคี้ยว 480,000 รอบด้วยเครื่องจำลองการบดเคี้ยวเทียบได้กับการใช้งานในช่องปากเป็นเวลา 2 ปี (Leibrock และคณะ, 1999) ซึ่งอาจเทียบเคียงได้กับระยะเวลาการรักษาโดยเฉลี่ยในผู้ป่วยจัดฟัน

Thurmond และคณะ (1994) ศึกษาเปรียบเทียบแรงยึดแบบเฉือนระหว่างพอร์ซเลนกับเรซินคอมโพสิตที่เวลา 24 ชั่วโมงและที่เวลา 3 เดือนร่วมกับการทำเทอร์โมไซคลิก พบว่า แรงยึดของทุกกลุ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 8 กับกลุ่มที่ทำไฮเลน พบว่ากลุ่มที่ปรับสภาพผิวด้วยกรดมีค่าแรงยึดแบบเฉือนมากกว่ากลุ่มที่ทำไฮเลนอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าแรงยึดเมื่อเวลา 3 เดือนเหลือเพียง 7.7 ± 1.7 MPa และ 0.9 ± 0.8 MPa ตามลำดับเปรียบเทียบกับแรงยึดเมื่อเวลา 24 ชั่วโมงคือ 23.4 ± 4.2 และ 25.0 ± 4.4 MPa ตามลำดับ ทำให้เห็นได้ว่ากระบวนการทำเทอร์โมไซคลิกมีอิทธิพลอย่างมากต่อค่าแรงยึดที่ลดลง

จากผลการศึกษาของ Schmage และคณะ (2003) ซึ่งพบว่า การปรับสภาพผิวพอร์ซเลนด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกร่วมกับการทำไฮเลนหรือไม่ทำต่างให้ค่าแรงยึดไม่แตกต่างกัน ดังนั้นหากปรับสภาพผิวด้วยกรดแล้วจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องทำไฮเลนซ้ำ แต่หากใช้วิธีเป่าทรายร่วมกับ

ไฮเลนจะได้ค่าแรงยึดสูงที่สุดแต่ก็ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ทากรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน (15.8 ± 4.2 , 14.7 ± 3.3 MPa ตามลำดับ) เมื่อพิจารณาความหยาบที่ผิวจะพบว่ากลุ่มที่ทากรดทำให้เกิดความหยาบที่ผิวน้อยกว่ากลุ่มที่เป่าทราย อย่างมีนัยสำคัญ (4.3 ไมครอน และ 9.7 ไมครอน ตามลำดับ) ซึ่งการมีความหยาบที่ผิวมากจะ เสี่ยงต่อการแตกหักของพอร์ซเลนเมื่อถอดแบร็กเกต ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในคลินิก ดังนั้นการเลือกปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกจึงน่าจะเป็นทางเลือกแรกเพียงแต่ต้องระวังอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อในช่องปาก แต่ข้อควรระวังอีกประการหนึ่งคือหากแรงยึดมากกว่า 13 MPa จะเกิดการแตกหักแบบ cohesive ในเนื้อพอร์ซเลน (Thurmond และคณะ, 1994) ในการวิจัยนี้ได้ค่าแรงยึดแบบเฉือน/ปอกโดยเฉลี่ยต่ำกว่า 13 MPa ทั้งสองกลุ่มจึงน่าจะปลอดภัยเพียงพอ

ในทางทันตกรรมจัดฟันการยึดระหว่างแบร็กเกตกับพอร์ซเลนไม่จำเป็นต้องได้แรงยึดสูงสุด (maximum bond strength) แต่วัสดุยึดในอุดมคติควรให้แรงยึดที่มากพอสำหรับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันจนถึงสิ้นสุดการรักษา และสามารถบูรณะผิวพอร์ซเลนภายหลังจากการถอดแบร็กเกตได้ง่าย (Bourke และ Rock 1999)

Reynold (1975) กล่าวว่าค่ากำลังแรงยึดสูงสุดของการยึดติดทางทันตกรรมที่มีค่าอยู่ระหว่าง $60-80$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรจึงจะให้การยึดติดที่ประสบความสำเร็จทางคลินิกตลอดช่วงการรักษา 2 ปี ซึ่งเทียบได้กับแรงยึดประมาณ 5.9 ถึง 7.8 MPa (Yi และคณะ, 2003) หรือ 5.88 ถึง 7.85 MPa (Carty และ Tyas, 1993) ในงานวิจัยนี้ได้ค่าแรงยึดแบบเฉือน/ปอกระหว่างแบร็กเกตกับพอร์ซเลนซึ่งผ่านการปรับสภาพผิวด้วยแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 นาน 10 นาที เท่ากับ 9.421 ± 1.299 เมกะปาสคาล ส่วนกลุ่มที่ปรับสภาพผิวด้วยไฮเลนได้ค่าแรงยึดเท่ากับ 9.68 ± 1.913 เมกะปาสคาล ซึ่งทั้งสองกลุ่มต่างก็มีค่าแรงยึดมากกว่าที่ Reynold (1975) ได้แนะนำไว้ ดังนั้นจึงน่าจะให้การยึดติดที่ประสบความสำเร็จในคลินิกได้ และเมื่อไปพิจารณาร่วมกับกราฟในรูปที่ 49 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือหรือการคงอยู่ของแบร็กเกตทั้งสองกลุ่มเมื่อได้รับแรงในขนาดต่าง ๆ กัน พบว่าให้ค่าใกล้เคียงกันและมีรูปร่างของกราฟสอดคล้องกัน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าสามารถใช้แอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 ปรับสภาพผิวพอร์ซเลนนาน 10 นาที แทนการใช้ไฮเลนได้ ตารางที่ 8 แสดงค่ากำลังแรงยึดระหว่างแบร็กเกตกับพอร์ซเลนซึ่งผ่านการปรับสภาพผิวด้วยวิธีต่าง ๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมา โดยเน้นเฉพาะการติดแบร็กเกตกับพอร์ซเลน ส่วนการทดลองเกี่ยวกับการติดระหว่างคอมโพสิตกับพอร์ซเลนด้วยสารยึดติดไม่ได้นำมาแสดงไว้

ตารางที่ 8 ตัวอย่างของกำลังแรงยึดจากรายงานการทดลองบางฉบับ D=จัดผิวเคลือบของพอร์ซเลน HF=กรดไฮโดรฟลูออริก Si=ไซเลนซึ่งใช้กรดกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา S=ไซเลนซึ่งไม่ใช้กรดกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา Sb=เป่าทราย P=ขัดด้วยผงหินพัมมิส Gr=ขัดด้วยหัวกรอหินสีเขียว APF=แอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ และG=ไม่จัดผิวเคลือบ T=พื้นธรรมชาติ

ผู้วิจัย	วิธีการติด	ชนิดแบร็กเกต	วัสดุยึด	แรงยึด (MPa)	SD (MPa)
Kao (1988)	D+Si	โลหะ	Concise	20.31	not report
	G+Si	โลหะ	Concise	13.84	not report
Kao (1991)	D+Si	โลหะ	Concise	18.89	2.67
	G+Si	โลหะ	Concise	13.78	1.78
Lamour (2006)	G+Si	โลหะ	Transbond XT	7.9	not report
	G+HF+Si	โลหะ	Transbond XT	9.7	not report
นพปฎล (1996)	P+HF+Si	โลหะ	Concise	12.06	0.81
	Gr+HF+Si	โลหะ	Concise	12	1.11
	Sb+HF+Si	โลหะ	Concise	12.49	1.63
	T	โลหะ	Concise	11.87	not report
ปิยะธิดา (1997)	G+Si	โลหะ	Concise	4.96	0.92
	Gr	โลหะ	Concise	2.32	0.55
	Gr+Si	โลหะ	Concise	4.56	1.07
	T	โลหะ	Concise	3.77	0.84
Patanaariyangkul (1999)	T	โลหะ	Concise	7.41	0.99
Dorminey (2002)	T	โลหะ	Transbond XT	11.3	2.2
Ozan (2004)	G+Si	โพลีคาร์บอเนต	Transbond XT	8.5	2.8
	G+HF+Si	โพลีคาร์บอเนต	Transbond XT	11.2	2.3
Pannes (2003)	D+Si	โลหะ	Transbond	7.636	not report
Schmage(2003)	G+HF	โลหะ	Concise	14.7	3.3
	G+HF+Si	โลหะ	Concise	12.2	3.4
White (1993)	G+APF (4 min)	โลหะ	System 1+	0.91	1.55
	G	โลหะ	System 1+	0.168	0.334

Barbosa (1995) (กน./ตร.ชม.)	G+APF (5 min)	โลหะ	Concise	1.3	0.7
	D+APF (5 min)	โลหะ	Concise	0.99	0.49
	D+S	โลหะ	Concise	47.1	6.74
	G+APF+S	โลหะ	Concise	0.28	0.52
	D+APF+S	โลหะ	Concise	5.18	9.22
Eustaquio (1988)	G+Si	โลหะ	System 1+	6.58	0.776
	D+Si	โลหะ	System 1+	5.77	0.907
Zachrisson (1996)	Sb+HF	โลหะ	Concise	11.5	2.8
	Sb+APF (2 min)	โลหะ	Concise	11.6	2.9
	Sb+Si	โลหะ	Concise	3.4	1.2
	Sb	โลหะ	Concise	2.8	0.7
Bourke (1999)	G+HF	โลหะ	Right on	3.52	0.24
	D+HF	โลหะ	Right on	6.16	1.42
	G+Si	โลหะ	Right on	10.04	2.84
	D+Si	โลหะ	Right on	8.52	1.03
	G+HF+Si	โลหะ	Right on	10.29	1.3
	D+HF+Si	โลหะ	Right on	9.53	1.48
Harari (2003)	G+HF	โลหะ	Ideal 1	7.7	3
	G+HF+Si	โลหะ	Right on	7.1	2.6

การได้ค่าแรงยึดที่สูงเกินไปอาจทำให้เกิดการแตกหักในเนื้อของพอร์ซเลนภายหลังการถอดแบรคเกตโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีค่าแรงยึดสูงเช่นในกรณีที่มีการใช้เซเลนร่วมด้วย (Wood และคณะ, 1986) แต่หากมีความเสียหายเกิดขึ้นไม่มาก สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ชุดขัดเฉพาะร่วมกับครีมขัดผสมกากเพชรจะทำให้ผิวหน้าของพอร์ซเลนเรียบและดูแววคล้ายการเคลือบเงาได้ (Kao และคณะ, 1988) สอดคล้องกับรายงานของ Bourke และ Rock (1999) ที่แนะนำให้กรอขัดแอตตีซีฟส่วนใหญ่ด้วยหัวกรอคาร์ไบด์ (twelve-fluted tungsten carbide bur) ก่อน จากนั้นจึงขัดด้วยครีมขัดผสมกากเพชรร่วมกับหัวขัดรูปล้อ ซึ่งหากมีร่องรอยของความเสียหายเกิดขึ้นในชั้นดิน ๆ ของผิวพอร์ซเลน การทำวิธีนี้จะได้ผิวที่เรียบมันคล้ายกับการเคลือบผิวของพอร์ซเลน ผู้วิจัยได้ยืนยันโดยการนำชิ้นตัวอย่างที่ขัดแล้ว ไปส่องกล้องจุลทรรศน์หักเหแสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเพื่อตรวจสอบสภาพผิว ซึ่งตรงกับรายงานของ Eustaquio และคณะ(1988) ที่ได้

แนะนำว่าการขัดด้วยครีมขัดผสมกากเพชรทำให้ผิวพอร์ซเลนเรียกว่าการขัดด้วยหัวกรอหิน และตรงกับรายงานของ Wood และคณะ (1986) ด้วย ซึ่งพบว่าเมื่อขัดด้วยครีมขัดผสมกากเพชร จะให้ผิวที่เรียบมันคล้ายผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการเคลือบผิวแล้ว เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 200 เท่าก็ยากที่จะแยกความแตกต่างได้ วิธีการขัดผิวให้เรียบมันภายหลังการถอด แบริกเกตเหล่านี้ต่างจากความเห็นของ Smith และคณะ (1988) ที่พบว่า การขัดผิวด้วยหัวกรอหินสี่ เหลี่ยมรูปล้อ ตามด้วยผงหินพัมมิสชนิดละเอียดซึ่งทาบนหัวขัดผ้ารูปล้อ และขัดซ้ำด้วยทินออกไซด์ (tin oxide) เปียกน้ำร่วมกับหัวขัดผ้าจะให้ผิวพอร์ซเลนที่เรียบมันเหมือนกับพอร์ซเลนที่ยังมีผิว เคลือบอยู่ (ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 500 เท่า) ในขณะที่การใช้ชุดขัดของ บริษัทโซฟูไม่สามารถให้ความเรียบมันได้เท่าวิธีการดังกล่าว อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะได้ใช้ความ ระมัดระวังในการขัดผิวเพื่อบูรณะให้พอร์ซเลนมีลักษณะคล้ายของเดิมมากที่สุด Lamour และ คณะ (2006) แนะนำว่าควรเตือนผู้ป่วยถึงปัญหาการแตกหักของพอร์ซเลนตั้งแต่อ่อนการติดแบริก เกตและอธิบายให้ผู้ป่วยทราบว่าอาจจะต้องมีการซ่อมพอร์ซเลนหรือบูรณะเป็นชิ้นใหม่ภายหลัง การจัดฟันเสร็จ

Winchester (1990) ยืนยันว่าการขัดผิวพอร์ซเลนหลังการถอดแบริกเกตด้วยการใช้ครีม ขัดผสมกากเพชรจะให้ผิวเรียกว่าการใช้หัวกรอหินของบริษัทโซฟู นอกจากนั้นยังได้แนะนำว่าแรง ที่ใช้ในการถอดแบริกเกตออกจากผิวพอร์ซเลนควรเป็นแรงดึง/ปอก (tensile/peel force) โดยการ ใช้คีม Lift-Off plier เนื่องจากพบว่าเกิดความล้มเหลวของการยึดติดที่บริเวณร่องของฐานแบริก เกตกับชั้นวัสดุยึดทุกชั้นทดสอบ ส่วนการใช้แรงเฉือน/ปอกสำหรับการถอดแบริกเกตนั้นไม่แนะนำ เนื่องจากแรงเฉือนจะทำให้เกิดการแตกหักเริ่มจากขอบของฐานแบริกเกตใกล้กับจุดให้แรง แนว เส้นของการแตกหักนี้มักจะเป็นการแตกหักในชั้นวัสดุยึดโดยเริ่มที่รอยต่อระหว่างแบริกเกตกับวัสดุ ยึด (bracket-cohesive interface) และลุกลามต่อไปยังจุดที่มีความต้านทานน้อยที่สุดซึ่งมักเป็น พอร์ซเลน เกิดการแตกหักของพอร์ซเลนตามมา

การตีความผลของค่ากำลังแรงยึดควรมีการตีความด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากมีตัว แปรหรือปัจจัยเกี่ยวข้องหลายประการ ตลอดจนจำนวนของชิ้นตัวอย่างต้องมากพอ ดังนั้นเมื่อ พิจารณาเปรียบเทียบผลการศึกษาของรายงานแต่ละฉบับจึงควรพิจารณาวิธีการทดสอบอย่าง ละเอียดด้วย นอกจากนั้นการพิจารณาการกระจายด้วย Weibull distribution จะเป็นสิ่งที่ เหมาะสมกว่าการพิจารณาทางสถิติทั่ว ๆ ไป เนื่องจากบางครั้งผลการทดสอบบอกว่าค่าแรงยึด ของวัสดุชนิดหนึ่งสูงกว่าอีกชนิดหนึ่ง แต่เมื่อวิเคราะห์แบบ Weibull แล้วอาจพบว่าวัสดุสองชนิดนี้

มีพฤติกรรมทางคลินิกเหมือนกันก็ได้ในแง่ของความน่าเชื่อถือของแรงยึดและชนิดของความล้มเหลวในการยึดติด ดังนั้นการกล่าวว่ามี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจึงไม่อาจตีความได้โดยอัตโนมัติว่าวัสดุดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางคลินิกด้วย (Fox, McCabe et al. 1991)

ข้อเสนอแนะ

1. การวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือน/ปอกของแบร็กเกตต่อผิวพอร์ซเลนในห้องปฏิบัติการ ทำให้ลดปัจจัยต่าง ๆ ที่จะมีผลทำให้ค่ากำลังแรงยึดต่ำลงซึ่งพบได้ในคลินิก เช่น การปนเปื้อนน้ำลาย ความชื้น คราบจุลินทรีย์ อุณหภูมิที่แตกต่างกันของอาหารแต่ละประเภท แรงบิดเคี้ยว เทคนิคในการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟัน เป็นต้น การลดปัจจัยเหล่านี้ในทางคลินิกย่อมทำไม่ได้ ดังนั้นควรศึกษาเพิ่มเติมในคลินิกเพื่อเลียนแบบภาวะจริงให้มากที่สุด หรือศึกษาในห้องปฏิบัติการโดยการเพิ่มปัจจัยต่าง ๆ ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงในช่องปากมากขึ้น

2. การทดลองนี้ใช้วัสดุยึดเพียงชนิดเดียวคือวัสดุยึดชนิดบ่มตัวเองชนิดมีสารอัดแทรกปริมาณสูงยี่ห้อ Transbond XT ของบริษัท 3M เท่านั้น จึงควรมีการศึกษาเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุยึดชนิดอื่นที่มีสัดส่วนของสารอัดแทรกต่างออกไป เพื่อสามารถให้ข้อแนะนำหรือข้อกำหนดในการใช้วัสดุยึดได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

3. การทดลองนี้ใช้ไซเลนไพรเมอร์ของบริษัท Ormco เพียงชนิดเดียว หากได้มีการศึกษาเพิ่มเติมถึงการใส่ไซเลนยี่ห้ออื่น ๆ ด้วยจะสามารถประยุกต์ในทางคลินิกได้มั่นใจขึ้นเพราะมีบางการทดลองพบว่าไซเลนไพรเมอร์บางยี่ห้อทำหน้าที่เป็นแค่ตัวช่วยการไหลแผ่ของเรซินเสียเป็นส่วนใหญ่ ส่วนคุณสมบัติของการเป็นสารคัปปลิงมีน้อยมาก

4. ความสำเร็จในการยึดติดไม่ได้พิจารณาจากค่าแรงยึดเพียงอย่างเดียว ยังพิจารณาถึงความเสียหายของพอร์ซเลนเมื่อถอดแบร็กเกตด้วย ดังนั้นหากได้มีการศึกษาเกี่ยวกับความล้มเหลวในการยึดด้วยน่าจะเป็นประโยชน์ในการประกอบการอ้างอิงเพื่อใช้งานทางคลินิกได้อย่างเต็มที่

5. งานวิจัยขึ้นต่อ ๆ ไปควรมีการพิสูจน์คุณสมบัติของพอร์ซเลนซึ่งผลิตมาคนละครั้งด้วย ดังเช่นที่ทำให้การวิจัยครั้งนี้ โดยอาจหาค่ากลสมบัติบางประการมาเป็นตัวแทนในการวัดและพิสูจน์ จะทำให้ผู้วิจัยและผู้อ่านงานวิจัยเกิดความมั่นใจในผลการทดลองมากขึ้น

6. การวิจัยนี้ใช้เวลาในการปรับสภาพผิวพอร์ซเลนด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์นาน 10 นาทีเพียงเวลาเดียว เนื่องจากเป็นเสมือนการทดลองนำร่องว่าสามารถให้ค่าแรงยึดที่

เพียงพอ ดังนั้นหากมีการทดลองครั้งต่อ ๆ ไปควรศึกษาค่ากำลังแรงยึดเมื่อลดระยะเวลาในการทาเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ อยู่ในช่วง 6-9 นาที เพื่อลดระยะเวลาการทำงานในคลินิก

6. ผลการวิจัยนี้ ให้คำแนะนำในการติดแบร็กเก็ตกับพอร์ซเลนได้ว่าสามารถนำแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 นาน 10 นาทีมาใช้แทนการปรับสภาพผิวด้วยไซเลนได้ แม้ว่าจะจะเป็นเพียงการปรับสภาพทางกลที่ผิวพอร์ซเลนเท่านั้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2548. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม(ประมวลผลด้วย MINITAB). เล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).
เจน รัตน์ไพศาล. 2533. ทันตวัสดุศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.
- นพปฎล จันทร์ส่องแสง. 2539. การศึกษาเปรียบเทียบกำลังแรงเฉือน/ปอกในการยึดแบร็กเก็ตโลหะกับผิวพอร์ซเลนโดยใช้ไซเลนไพรเมอร์ต่างชนิดร่วมกับการเตรียมผิวพอร์ซเลน 3 วิธี. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. สาขาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิยะธิดา จิตตานันท์. 2540. การเปรียบเทียบกำลังแรงยึดแบบเฉือน/ปอกของแบร็กเก็ตโลหะต่อผิวพอร์ซเลน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. สาขาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรชัย จรัสเจริญวิทยา. 2537. การศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงเฉือน/ปอกของวัสดุทางทันตกรรมจัดฟัน 3 ชนิด ที่สัมพันธ์กับแรงกดขนาดต่าง ๆ ในวิธีไดเร็กบอนด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. สาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- รัชกมล กบิลจิตต์. 2545. ความน่าจะเป็น ทฤษฎีและการประยุกต์. นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ภาษาอังกฤษ

- Aljubouri, Y. D., D. T. Millett, and W. H. Gilmour. 2003. Laboratory evaluation of a self-etching primer for orthodontic bonding. Eur. J. Orthod. 25: 411-5.
- Anusavice, K. J. 2003. Phillip's science of dental materials. St. Louis, Missouri, Elsevier.
- Barbosa, V. L. T. , M. A. Almeda, and O. Chevitarese, and O. Keith. 1995. Direct bonding to porcelain. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 107: 159-64.
- Berry, T., N. Barghi, and K. Chung. 1999. Effect of water storage on the silanization in porcelain repair strength. J. Oral Rehab. 26: 459-63.

- Bona, A. D., and R. V. Noort. 1995. Shear vs tensile bond strength of resin composite bonded to ceramic. J. Dent. Res. 74(9): 1591-6.
- Borges, G. A., A. M. Sophr, M. F. Goes, L. C. Sobrinho, and D. C. N. Chan. 2003. Effect of etching and airborne particle abrasion on the microstructure of different dental ceramics. J. Prosthet. Dent. 89: 479-88.
- Bourke, B. M., and W. P. Rock. 1999. Factors affecting the shear bond strength of orthodontic brackets to porcelain. Br. J. Orthod. 26: 285-90.
- Brudevold, F., A. Savory, D. E. Gardner, M. Spinelli, and P. Speirs. 1963. A study of acidulated fluoride solutions-I : In vitro effects on enamel. Arch Oral Biol. 8: 167-77.
- Buonocore, M. G. 1975. The use of Adhesivie in Dentistry. Illinois, Charles C Thomas.
- Canay, S., N. Hersek, and A. Ertan. 1998. Effect of different acid treatments on a porcelain surface. J. Oral Rehabil. 28: 95-101.
- Carty, G., and M. J. Tyas. 1993. Shear bond strength of a mechanically retained ceramic bracket. Aust. J. Orthod. 11: 13-8.
- Chay, H., P. Wattanapayungkul, A. J. Yap, P. L. Loh, and S. M. Chung. 2005. Comparision of the bond strength of stainless steel orthodontic brackets bonded to crown porcelains. Aust. J. Orthod. 21: 19-23.
- Chunhacheevachaloke, E., and M. J. Tyas. 1997. Sheer bond strength of ceramic brackets to resin-composite surfaces. Aust. J. Orthod. 15(1): 10-5.
- Cochran, D., K. L. Keefe, and D. T. Turner. 1997. Bond strength of orthodontic composite cement to treated porcelain. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 111: 297-300.
- Combe, E. C. 1986. Note on Dental Materials. Edinburgh, Churchill Livingstone.
- Copps D. P., A. M. Lacy, T. Curtis, and J. E. Carman. 1984. Effects of topical fluorides on five low-fusing dental porcelains. J. Prosthet. Dent. 52: 340-3.
- Culler, S. R., D. D. Krueger, and R. W. Joos. 1986. Investigations of silanepriming solution to repair fractureed porcelain crowns. J. Dent. Res. 65: 191, อ้างถึงใน ปิยะธิดา จิตตานนท์. 2540. การเปรียบเทียบกำลังแรงยึดแบบเค้น/ลอกของแบรคเกต

โลหะต่อผิวพอร์ซเลน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาทันตกรรมจัดฟัน คณะ
ทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- Dijkman, A. G., J. Tak, and J. Arends. 1982. Comparison of fluoride uptake by human enamel from acidulated phosphate fluoride gels with different fluoride concentrations. Caries Res. 16: 197-200.
- Dorminey, J., W. Dunn, and L. J. Taloumis. 2003. Shear bond strength of orthodontic brackets bonded with a modified 1-step etchant-and-primer technique. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 124: 410-3.
- Dorner, W. 1999 . Using Microsoft Excel for Weibull analysis[Online]. Available from: http://www.qualitydigest.com/jan99/html/body_weibull.html[2006, March 20]
- Eliades, G. 2003. Dental materials In vivo aging and related phenomenon. Hong Kong, Quintessence Publishing.
- Eustaquio, R., L. D. Garner, and K. Moore. 1988. Comparative tensile strengths of brackets bonded to porcelain with orthodontic adhesive and porcelain repair systems. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 94: 421-5.
- Evans, L. B., and J. M. Powers. 1985. Factors affecting in vitro bond strength of no-mix orthodontic cements. Am. J. Orthod. 87(6): 508-12.
- Fan, P. L. 1991. Porcelain repair materials. J. Am. Dent. Assoc. 122: 124-9.
- Fox, N. A., J. McCabe, and P. Gordon. 1991. Bond strengths of orthodontic bonding materials: An In-vitro study. Br. J. Orthod. 18: 125-30.
- Fox, N. A., J. F. McCabe, and J. G. Buckley. 1994. A critique of bond strength testing in orthodontics. Br. J. Orthod. 21: 33-43.
- Fujimoto, K., N. Yasuhara, and H. Kawarada, S. Kosaka, and S. Kawana. 2002. Burns caused by dilute hydrofluoric acid in the bleach. J. Nippon Med. Sch. 69(2): 180-4.
- Ghassemi-Tarry, B. 1979. Direct bonding to porcelain: An in vitro study. Am. J. Orthod. 76(1): 80-3.
- Harari, D., S. Shapira-David, I. Gillis, I. Roman, and M. Redlich. 2003. Tensile bond strength of ceramic brackets bonded to porcelain facets. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 123: 551-4.

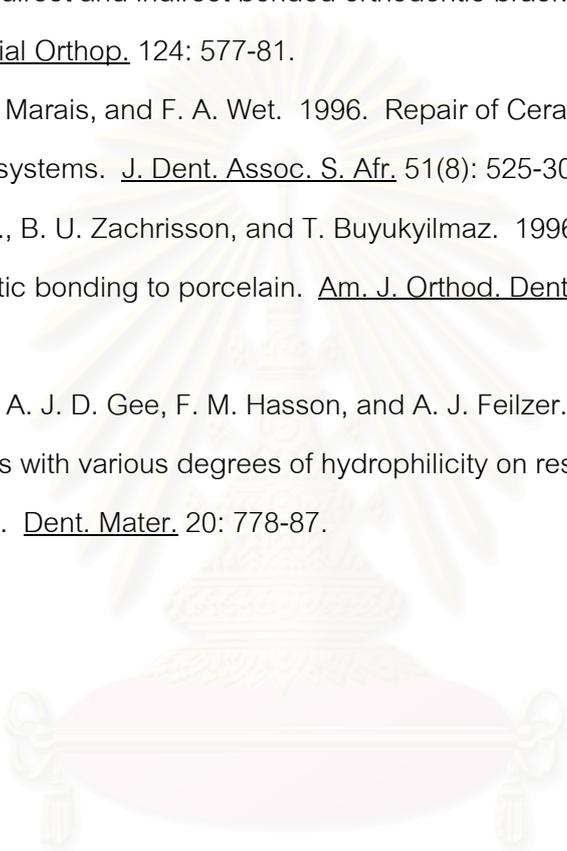
- Hayakawa, T., K. Horie, M. Aida, H. Kanaya, T. Kobayashi, and Y. Murata. 1992. The influence of surface conditions and silane agents on the bond of resin to dental porcelain. Dent. Mater. 8: 238-40.
- Hocevar, R. A., and H. F. Vincent. 1988. Indirect versus direct bonding : Bond strength and failure location. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 94: 364-71.
- Ibsen, R. L., and K. Neville. 1974. Adhesive restoration dentistry. United States of America, WB Saunders Company.
- Jones, D. A. 1985. Effect of topical fluoride preparations on glazed porcelain surfaces. J. Prosthet. Dent. 53: 483-4.
- Kao, E. C., K. C. Boltz, and W. M. Johnston. 1988. Direct bonding of orthodontic brackets to porcelain veneer laminates. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 94: 458-68.
- Kao, E. C. and W. M. Johnston. 1991. Fracture incidence on debonding of orthodontic brackets from porcelain veneer laminates. J. Prosthet. Dent. 66: 631-7.
- Kato, H., H. Matsumura, T. Ide, and M. Atsuta. 2001. Improved bonding of adhesive resin to sintered porcelain with the combination of acid etching and a two-liquid silane conditioner. J. Oral Rehabil. 28: 102-8.
- Katona, T. R. 1994. The effects of load location and misalignment on shear/peel testing of direct bonded orthodontic brackets-a finite element model. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 106:395-402.
- Kirkpatrick, J. J. R., D. S. Enion, and D. A. R. Burd. 1995. Hydrofluoric acid burns: a review. Burns 21(7): 483-93.
- Kitayama, Y., A. Komori, and R. Nakahara. 2003. Tensile and shear bond strength of resin-reinforced glass ionomet cement to glazed porcelain. Angle Orthod. 73: 451-6.
- Klocke, A., H. M. Korbmacher, L. G. Huck, J. Ghosh, and B. Kahl-Nieke. 2003. Plasma arc curing of ceramic brackets: An evaluation of shear bond strength and debonding characteristics. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 124: 309-15.

- Kukiattrakoon, B. 2003. Repairing of fractured porcelain metal-ceramic restorations.1.Surface treatment of porcelain and alloy. J. Dent. Assoc. Thai 53(3): 196-208.
- Lai, P., M. Woods, and M. Tyas. 1999. Bond strengths of orthodontic brackets to restorative resin composite surfaces. Aust. J. Orthod. 15(4): 235-246.
- Larmour, C.J., G. Bateman, and D. R. Stirrups. 2006. An investigation into the bonding of orthodontic attachments to porcelain. Eur. J. Orthod. 28:74-7.
- Lee, H., and J. A. Orlowski. 1974. Adhesive dental composite restoratives. California, Lee Pharmaceuticals.
- Leibrock, A., M. Degenhart, M. Behr, M. Rosentritt, and G. Handel. 1999. In vitro study of the effect of thermo- and loas-cycling on the bond strength of porcelain repair systems. J. Oral Rehab. 26: 130-7.
- Mandall, N. A., D. T. Millett, C. R. Mattick, J. Hickman, H. V. Worthington, and T. V. Macfarlane. 2002. Orthodontic adhesives: a systematic review. J. Orthod. 29: 205-10.
- Matinlinna, J. P., L. V. Lassila, M. Ozan, A. Yli-Urpo, and P. K. Vallittu. 2004. An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. Int. J. Prosthodont. 17: 155-64.
- McLaughlin, G. 1986. Direct bonded retainers. The advanced alternative. Pennsylvania, JB Lippincott company.
- Naleway, C. A. 1985. Laboratory methods of assesing fluoride dentrifices and other topical fluoride agents. Clinical uses of fluoride agents. S. H. Wei. Philadelphia, Lea & Febiger.
- Naylor, W. P. 1992. Introduction to metal ceramic technology. Illinois, Quintessence Publishing Co, Inc.
- Newburg, R. and C. H. Premeijer. 1978. Composite resins bonded to porcelain with silane solution. J. Am. Dent. Assoc. 96: 288-91.
- Newman, G. 1965. Epoxy adhesives for orthodontic attachments. Am. J. Orthod. 51: 901-912.
- Noort, R. 2002. Introduction to dental materials. London, Mosby.

- O'Brien, W. J. 2002. Dental material and their selection. Canada, Quintessence publishing.
- Oh, W., and C. Shen. 2003. Effect of surface topography on the bond strength of a composite to three different types of ceramic. J. Prosthet. Dent. 90(3): 241-6.
- Ozcan, M., P. K. Vallittu, T. Peltomaki, M. Huysmans, and W. Kalk. 2004. Bonding polycarbonate brackets to ceramic: Effect of substrate treatment on bond strength. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 126: 220-7.
- Pannes, D. D., D. K. Bailey, J. Y. Thompson, and D. M. Pietz. 2003. Orthodontic bonding to porcelain : a comparison of bonding systems. J. Prosthet. Dent. 89: 66-9.
- Patanaariyangkul, O., V. Phetcharakupt, and C. Hanirattisai. 2004. Mechanical retention of 3 ceramic bracket base designs. J. Tha. A. O. 3:17-24.
- Phijaisanit, P., and M. Tyas. 1997. Comparision of the shear bond strength of so-called 'dual-cured glass-ionomer cement and a convensional resin composite used in orthodontic bonding. Aust. J. Orthod. 15(1): 23-9.
- Pratt, R. C., J. O. Burgess, R. S. Schwartz, and J. H. Smith. 1989. Evaluation of bond strength of six porcelain repair systems. J. Prosthet. Dent. 62: 11-3.
- Retief, D., C. Dryer, and G. Gavron. 1970. The direct bonding of orthodontic attachments to teeth by means of an epoxy resin adhesive. Am. J. Orthod. 58(1): 21-39.
- Retief, D. H. 1978. The mechanical bond. Int. Dent. J. 28: 18-27.
- Reynolds, I. R. 1975. A review of direct orthodontic bonding. Br. J. Orthod. 2: 71-8.
- Schmage, P., I. Nergiz, W. Herrmann, and M. Ozcan. 2003. Influence of various surface-conditioning methods on the bond strength of metal brackets to ceramic surfaces. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 123: 540-6.
- Semmelman, J. O., and P. R. Kulp. 1968. Silane bonding porcelain teeth to acrylic. J. Am. Dent. Assoc. 76: 69-73.
- Sharma-Sayal, S. K., P. E. Rossouw, G. V. Kulkarni, and K. C. Titley. 2003. The influence of orthodontic bracket base design on shear bond strength. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 124: 74-82.

- Silva, M. H. P., A. F. Lemos, J. M. Fonte Ferreira, and J. D. Santos. 2003. Mechanical characterisation of porous glass reinforced hydroxyapatite ceramics-Bonlike®. Mat. Res. 6(3): 321-25.
- Smith, G. A., P. McInness-Ledoux, W. R. Ledoux, and R. Weinberg. 1988. Orthodontic bonding to porcelain-Bond strength and finishing. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 94: 245-52.
- Thurmond, J. W., W. W. Barkmeier, and T. M. Wilwerding. 1994. Effect of porcelain surface treatments on bond strengths of composite resin bonded to porcelain. J. Prosthet. Dent. 72: 355-9.
- Titley, K. C., R.-D. Mahal, P. E. Roussouw, and G. V. Kulkarni. 2003. Shear bond strengths of orthodontic brackets cemented to bovine enamel with composite and resin-modified glass ionomer cements. Pediatric Dent. 25: 263-9.
- Tylka, D. F., and G. P. Stewart. 1994. Comparison of acidulated phosphate fluoride gel and hydrofluoric acid etchants for porcelain-composite repair. J. Prosthet. Dent. 72: 121-7.
- Wei, S. H., and F. N. Hattab. 1988. Time dependence of enamel fluoride acquisition from APF gels. I. In vitro study. Pediatric Dent. 10(3): 168-72.
- Wellock, W. D., and F. Brudevold. 1963. A study of acidulated fluoride solutions-II : The caries inhibiting effect of single annual topical applications of an acidic fluoride and phosphate solution. A two year experience. Arch Oral Biol. 8: 179-82.
- Wendl, B., and H. Drosch. 2004. A comparative in vitro study of the strength of directly bonded brackets using different curing techniques. Eur. J. Orthod. 26(5): 535-44.
- White, G. J., and M. J. Tyas. 1993. The bond strength of orthodontic resins to porcelain. Aust. J. Orthod. 11: 8-12.
- Wilson, G. A., R. G. Sanger, and J. A. Boswick. 1975. Accidental hydrofluoric acid burns of the hand. J. Am. Dent. Assoc. 55: 57-8.
- Winchester, L. 1990. Direct orthodontic bonding to porcelain: An in vitro study. Br. J. Orthod. 18: 299-308.

- Wood, D. P., R. E. Jordan, D. C. Way, and K. A. Galil. 1986. Bonding to porcelain and gold. Am. J. Orthod. 89: 194-205.
- Wunderlich, R. C., and P. Yaman. 1986. In vitro effect of topical fluoride on dental porcelain. J. Prosthet. Dent. 55: 385-8.
- Yi, G. K., W. J. Dunn, and L. J. Taloumis. 2003. Shear bond strength comparison between direct and indirect bonded orthodontic brackets. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 124: 577-81.
- Yyver, P. J., J. T. Marais, and F. A. Wet. 1996. Repair of Cerac porcelain with seven different systems. J. Dent. Assoc. S. Afr. 51(8): 525-30.
- Zachrisson, Y. O., B. U. Zachrisson, and T. Buyukyilmaz. 1996. Surface preparation for orthodontic bonding to porcelain. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 109: 420-30.
- Zohairy, A. A. E., A. J. D. Gee, F. M. Hasson, and A. J. Feilzer. 2003. The effect of adhesives with various degrees of hydrophilicity on resin ceramic bond durability. Dent. Mater. 20: 778-87.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางที่ 9 ค่าความแข็งผิว (HV) ของพอร์ซเลนทั้ง 6 กลุ่ม

Hardness	test point 1	test point 2	test point 3
Gr.1 1	498.3	497.9	494.4
2	488.8	515.3	500.4
Gr.2 1	490.7	525.5	482.9
2	533.7	505.7	499.6
Gr.3 1	525.1	502.2	508.2
2	493.7	494.9	538.2
Gr.4 1	506.2	506.5	533.5
2	510.0	471.0	490.9
Gr.5 1	505.0	526.9	494.5
2	515.8	501.5	482.2
Gr.6 1	518.2	458.9	505.0
2	498.0	456.9	492.3

ทดสอบกลุ่มละ 2 ชิ้น ชิ้นละ 3 ตำแหน่ง ใช้กำลังขยาย 500 เท่า แรงกด 1000 กรัม กดแช่นาน 15 วินาทีต่อตำแหน่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ตารางที่ 10 ค่ากลางและการกระจายของค่าความแข็งผิวรวมของพอร์ชเลน 6 กลุ่ม

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
HARDNESS	36	501.4111	19.04242	456.90	538.20
GROUP	36	3.50	1.732	1	6

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบค่ากลางของค่าความแข็งผิวทั้ง 6 กลุ่ม ด้วยสถิติ Kruskal-Wallis ที่ระดับนัยสำคัญ .05

Ranks

	GROUP	N	Mean Rank
HARDNESS	group1	6	14.17
	group2	6	20.17
	group3	6	23.00
	group4	6	20.33
	group5	6	20.08
	group6	6	13.25
	Total	36	

Test Statistics^{a,b}

	HARDNESS
Chi-Square	4.067
df	5
Asymp. Sig.	.540

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: GROUP

สมมติฐาน H_0 : ค่ากลางของค่าความแข็งผิวของทั้ง 6 กลุ่มไม่แตกต่างกัน

H_1 : ค่ากลางของค่าความแข็งผิวแตกต่างกันอย่างน้อย 2 กลุ่ม

สถิติทดสอบ Chi-Square = 4.067, df=5 และได้ค่า Asymp. Sig. = .540

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ถ้า Asymp. Sig $< \alpha$ ในที่นี้กำหนด $\alpha = .05$ ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐานว่าค่าความแข็งผิวของทั้ง 6 กลุ่มไม่แตกต่างกัน

ภาคผนวก ค

ตารางที่ 12 ค่าแรงยึดแบบเฉือน/ปอกของแบร็กเกตกับพอร์ซเลน ซึ่งผ่านการปรับสภาพ
ผิวด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.23

ชั้นที่	แรงยึด (นิวตัน)	MPa
1	177.62	11.647
2	204.93	13.438
3	129.20	8.472
4	119.19	7.815
5	157.53	10.329
6	99.18	6.503
7	216.74	14.212
8	139.12	9.122
9	130.24	8.540
10	166.85	10.940
11	191.14	12.533
12	125.82	8.250
13	184.46	12.095
14	132.62	8.696
15	158.09	10.366
16	125.08	8.201
17	140.57	9.217
18	97.83	6.415
19	124.44	8.160
20	144.50	9.475
21	131.88	8.647
22	144.63	9.483
23	142.52	9.345
24	93.71	6.144
25	127.38	8.352
26	140.11	9.187
27	155.68	10.208
28	132.05	8.659
29	122.66	8.043
30	154.89	10.156

ภาคผนวก ง

ตารางที่ 13 ค่าแรงยึดแบบเฉือน/ปอกของแบร็กเก็ตกับพอร์ชเลนซึ่งผ่านการปรับสภาพ
ผิวด้วยไซเลน

ชั้นที่	แรงยึด (นิวตัน)	MPa
1	139.57	9.152
2	180.77	11.853
3	116.29	7.625
4	121.73	7.982
5	153.46	10.062
6	118.08	7.742
7	145.42	9.535
8	138.47	9.080
9	120.06	7.872
10	184.74	12.114
11	120.55	7.904
12	133.86	8.777
13	182.57	11.971
14	121.13	7.942
15	180.23	11.818
16	178.74	11.720
17	121.66	7.977
18	136.19	8.930
19	160.65	10.534
20	128.33	8.415
21	176.20	11.554
22	106.45	6.980
23	133.34	8.743
24	159.29	10.445
25	130.80	8.577
26	216.94	14.225
27	155.29	10.182
28	144.71	9.489
29	116.32	7.627
30	207.17	13.584

ภาคผนวก จ

ตารางที่ 14 แสดงค่ากลางและการกระจายของข้อมูลของกลุ่มที่ปรับสภาพผิวด้วยเจล แอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์และไซเลน

Descriptive Statistics

	N	Mean (MPa)	Std. Deviation	Minimum	Maximum
APF	30	9.42167	1.929846	6.144	14.212
SILANE	30	9.68037	1.913923	6.980	14.225

ตารางที่ 15 แสดงการทดสอบการแจกแจงของค่าแรงยึดทั้ง 2 กลุ่มด้วยสถิติ One-Sample Kolmogorov-Smirnov

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		APF	SILANE
N		30	30
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	9.42167	9.68037
	Std. Deviation	1.929846	1.913923
Most Extreme Differences	Absolute	.154	.142
	Positive	.154	.142
	Negative	-.104	-.108
Kolmogorov-Smirnov Z		.843	.778
Asymp. Sig. (2-tailed)		.475	.580

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

สมมติฐาน H_0 : APF มีการแจกแจงปกติ H_0 : Silane มีการแจกแจงปกติ
 H_1 : APF ไม่ได้มีการแจกแจงปกติ H_1 : Silane ไม่ได้มีการแจกแจงปกติ

สถิติทดสอบ APF มีค่าสถิติ Kolmogorov-Smirnov=.843 และมีค่า Asymp. Sig.(2-tailed) =.475 ส่วน Silane มีค่าสถิติ Kolmogorov-Smirnov=.778 และมีค่า Asymp. Sig.(2-tailed) =.580

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ถ้า Asymp. Sig $< \alpha$ ในที่นี้กำหนด $\alpha = .05$
 ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐานว่าทั้ง APF และ Silane มีการแจกแจงปกติ

ตารางที่ 16 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแรงยึดแบบเนียน/ปอกระหว่าง การปรับสภาพผิวด้วยแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์และไซเลนด้วยสถิติ Independent t-test

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
FORCE	Equal variances assumed	.223	.638	-.521	58	.604	-.25870	.496233	-1.2520	.734618
	Equal variances not assumed			-.521	57.996	.604	-.25870	.496233	-1.2520	.734619

แบ่งการทดสอบออกเป็นสองส่วนคือ

1. การทดสอบค่าความแปรปรวนของสองกลุ่มว่าเท่ากันหรือไม่
2. การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทั้งสองกลุ่ม

การทดสอบค่าความแปรปรวน

สมมติฐาน H_0 : ค่าความแปรปรวนแรงยึดกลุ่ม APF = ค่าความแปรปรวนแรงยึดกลุ่ม Silane

H_1 : ค่าความแปรปรวนแรงยึดกลุ่ม APF \neq ค่าความแปรปรวนแรงยึดกลุ่ม Silane

สถิติทดสอบ อ่านค่าจาก Levene's test for Equality of variances พบว่าได้ $F = .223$ และค่า Sig. = .638

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ถ้า Sig $< \alpha$ ในที่นี้กำหนด $\alpha = .05$ ดังนั้นจึงยอมรับ H_0 และสรุปว่าค่าความแปรปรวนของแรงยึดทั้งสองกลุ่มมีค่าเท่ากัน

การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดของทั้งสองกลุ่ม

สมมติฐาน H_0 : ค่าเฉลี่ยของกำลังแรงยึดในกลุ่ม APF = ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดในกลุ่ม Silane

H_1 : ค่าเฉลี่ยของกำลังแรงยึดในกลุ่ม APF \neq ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดในกลุ่ม Silane

สถิติทดสอบ ค่า $t = -.521$, $df = 58$ และค่า Sig.(2-tailed) = .604

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ถ้า Sig.(2-tailed) $< \alpha$ ในที่นี้กำหนด $\alpha = .05$ ดังนั้นยอมรับ H_0 ที่ว่าค่าเฉลี่ยของกำลังแรงยึดในกลุ่ม APF เท่ากับค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดในกลุ่ม Silane

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

การทดสอบค่าความแข็งผิวแบบวิกเกอร์

หลักการคือใช้น้ำหนักกดผ่านหัวกดบนผิวของวัสดุ หัวกดแบบวิกเกอร์เป็นรูปพีระมิดทำด้วยเพชร (Diamond pyramid) ยอดพีระมิดทำมุม 136 องศา (รูปที่ 50) ดังนั้นรอยบุ๋มเป็นรูปพีระมิดเหมาะสำหรับวัสดุที่เปราะ (เจน รัตนไพศาล, 2533)

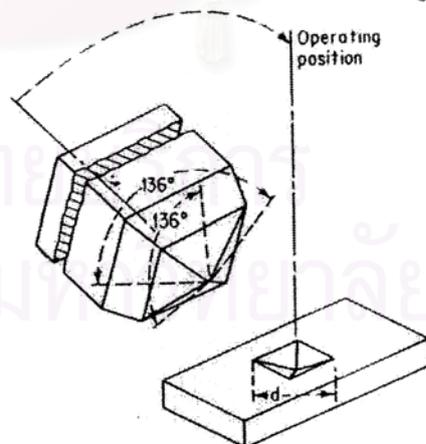
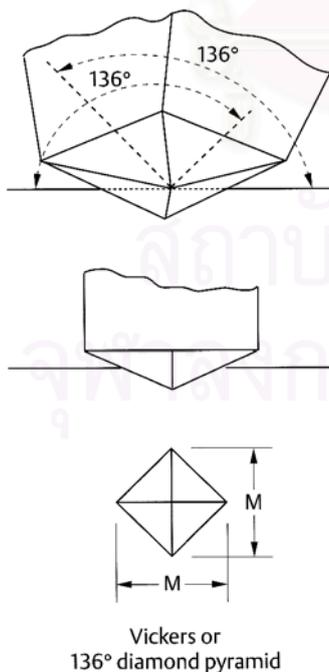
$$\text{ค่าของหน่วยแรง} = \frac{P}{A}$$

เมื่อ P คือ น้ำหนักที่กดเป็นกิโลกรัม

A คือ รอยบุ๋มรูปพีระมิดของหัวกด $= D^2/1.854$

D คือ เส้นทแยงของรอยบุ๋มรูปพีระมิดเป็นมิลลิเมตร

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ค่าความแข็งวิกเกอร์ (VHN)} &= \frac{P}{D^2/1.854} \\ &= \frac{1.854P}{D^2} \end{aligned}$$



รูปที่ 50 ลักษณะของหัวกดวิกเกอร์ (เจน รัตนไพศาล, 2533)

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ไวบูลล์ (Weibull analysis)

การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มชนิดต่อเนื่องมีหลายวิธี เช่น การแจกแจงปกติ การแจกแจงแบบเอกโปเนนเชียล และการแจกแจงแบบไวบูลล์ เป็นต้น กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2548) กล่าวว่า การวิเคราะห์ไวบูลล์ ใช้มากทางวิศวกรรม ที่เกี่ยวกับความสนใจโอกาสของการพัง (probability of failure) ของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรก่อนช่วงเวลาที่กำหนดค่าหนึ่ง, t โดยโอกาสดังกล่าวจะมีค่าเท่ากับ t เท่าของ อัตราคงที่, λ เรียกโอกาสที่จะไม่มีการพังในช่วงเวลาดังกล่าวว่า “ความน่าเชื่อถือ”(reliability) หรือ $R(T)$ โดยที่

$$R(T) = e^{-\lambda t}$$

รัชกมล กบิลจิตต์ (2545) อธิบายว่า การแจกแจงไวบูลล์นำมาประยุกต์กับการแจกแจงระยะเวลาที่สิ่งของนั้น ๆ จะมีอายุการใช้งานไปได้อีกนานเท่าไร หลังจากใช้งานได้ดีจนถึงเวลา t ที่กำหนดขึ้น (time of failure or life length) โดยที่ค่าเฉลี่ยอายุใช้งานหลังจากใช้งานไปแล้ว t หน่วยเวลาไม่คงที่ ตรงกันข้ามกับการแจกแจงแบบเอกโปเนนเชียล ซึ่งค่านี้คงที่

α คือ ค่าเฉลี่ยของอายุการใช้งานหลังจากใช้งานไปแล้ว t หน่วยเวลา (failure rate) ถ้าไม่มี β มาก่อน ($\beta=1$) ก็จะได้การแจกแจงเอกโปเนนเชียล การที่ $\beta=1$ หมายความว่า failure rate มีค่าคงที่ ดังนั้น β ซึ่งเป็นค่าคงที่ของอัตราความเร่งของ failure rate ว่าช้าลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น หรือเร็วขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น จากนั้นไปจะขออนุญาตนิยาม failure rate ว่าอัตราเฉลี่ยของอายุการใช้งาน

อัตราเฉลี่ยของอายุการใช้งานจะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น คือ เมื่อ $\beta < 1$ และจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น เมื่อ $\beta > 1$ เมื่อ $\beta = 1$ จะได้ $Z(t) = \alpha$ ซึ่งมีค่าคงที่ ดังนั้นอัตราเฉลี่ยของอายุการใช้งานมีค่าคงที่ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการแจกแจงเอกโปเนนเชียล

การวิเคราะห์ไวบูลล์ เป็นการวิเคราะห์ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสม (cumulative distribution function) เขียนในรูปสมการได้ดังนี้ (Dorner 1999)

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta}, \text{ for } x > 0$$

โดยที่ α = characteristic life

β = shape parameter ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าอัตราความล้มเหลว (failure rate) มีค่าเพิ่มขึ้น คงที่ หรือลดลง โดยที่ $\beta < 1$ บ่งชี้ว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีอัตราความล้มเหลวลดลง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนในกรณีที่พิจารณาถึงอัตราการตายของทารกแรกคลอด (infant mortality) หรือความล้มเหลวในช่วงทดลองใช้งาน (burn-in) ของเครื่องยนต์ หาก $\beta = 1$ จะหมายถึงการมีอัตราความล้มเหลวคงที่ เช่น ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่สามารถผ่านช่วงทดลองใช้งานได้ จะมีอัตราความล้มเหลวคงที่ แต่ถ้า $\beta > 1$ จะเป็นการบ่งชี้ว่าอัตราความล้มเหลวเพิ่มขึ้น ซึ่งมักพบในผลิตภัณฑ์ที่มีการสึกหรอ เช่น ขดสปริงในตุ๊กตาสปริง

ความน่าเชื่อถือ (reliability) ของการแจกแจงไวบูลล์ มีสูตรดังนี้

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$

โดยที่ X เป็นระยะเวลา (หรือขนาดของแรง) จนเกิดความล้มเหลว (failure)

ยกตัวอย่างจากงานวิจัยนี้ เช่น ต้องการทราบว่าที่ระดับแรง 150 นิวตัน การใช้เจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์เป็นตัวปรับสภาพผิวของพอร์ซเลน จะมีความน่าเชื่อถือแค่ไหนหรือมีโอกาสล้มเหลวคือหลุดก็เปอร์เซ็นต์ ทำได้โดยการแทนค่าสูตร

$$R(150) = e^{-[150/155.2327]^{5.7}} = 0.4394$$

หมายความว่า เมื่อได้รับแรง 150 นิวตันแบรกเกตที่ยึดบนพอร์ซเลนซึ่งผ่านการปรับสภาพผิวด้วยแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์จะไม่หลุดออกจากพอร์ซเลนร้อยละ 43.94 หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเมื่อได้รับแรง 150 นิวตันแบรกเกตจะหลุดออกจากพอร์ซเลนคิดเป็นร้อยละ 56.06

จากการวิจัยนี้พบว่ากลุ่มที่ปรับสภาพผิวด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์มีค่า α และ β ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ค่าอัลฟาและเบต้าของการวิเคราะห์ไวบูลล์ในกลุ่มที่ปรับสภาพผิวพอร์ซเลนด้วยเจลแอซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์

Beta (or Shape Parameter)=	5.708101
Alpha (or Characteristic Life)=	155.2327

สำหรับกลุ่มที่ปรับสภาพผิวพอร์ซเลนด้วยไฮเลน มีค่า α และ β ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ค่าอัลฟาและเบต้าของการวิเคราะห์ไวบูลล์ในกลุ่มที่ปรับสภาพผิวพอร์ซเลนด้วยไฮเลน

Beta (or Shape Parameter)=	5.828852
Alpha (or Characteristic life)=	159.4432

เมื่อคำนวณความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือเมื่อแบรกเกตทั้งสองกลุ่มได้รับแรงในปริมาณต่าง ๆ ได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 19 และกราฟในรูปที่ 49 ในบทที่ 4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 19 ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือเมื่อแบรกเกตได้รับแรงใน

ขนาดต่าง ๆ

LOAD (N)	APF	Silane
0	1.0000	1.0000
50	0.9984	0.9988
60	0.9956	0.9966
70	0.9894	0.9918
80	0.9775	0.9822
90	0.9564	0.9650
100	0.9220	0.9362
110	0.8694	0.8915
120	0.7945	0.8263
130	0.6954	0.7377
140	0.5743	0.6259
150	0.4394	0.4963
160	0.3047	0.3604
170	0.1864	0.2338
180	0.0975	0.1316
190	0.0420	0.0621
200	0.0143	0.0236
210	0.0037	0.0069
220	0.0007	0.0015
230	0.0001	0.0002
240	0.0000	0.0000
250	0.0000	0.0000

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสุชนม์ วัตรจีกฤต เกิดเมื่อวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2516 ที่โรงพยาบาลสงขลา จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาปริญญาทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่ ในปีการศึกษา 2539 และสำเร็จการศึกษาปริญญารัฐศาสตรบัณฑิต (ทฤษฎีและเทคนิคทางรัฐศาสตร์) จากมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เมื่อปีพ.ศ.2544 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อระดับหลังปริญญา ที่คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จนสำเร็จการศึกษาหลักสูตรประกาศนียบัตรบัณฑิตทางวิทยาศาสตร์การแพทย์คลินิก สาขาทันตกรรมประดิษฐ์เมื่อปี พ.ศ.2546 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปีพ.ศ.2547 ผู้เขียนเริ่มรับราชการครั้งแรกในตำแหน่งทันตแพทย์ 4 สังกัดสถาบันพระบรมราชชนก สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข ปฏิบัติราชการภาควิชาทันตภิบาล วิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธรจังหวัดยะลา เมื่อปี พ.ศ.2540 ต่อมาในปีพ.ศ.2542 ได้ย้ายไปปฏิบัติราชการที่โรงพยาบาลบันนังสตา จังหวัดยะลาซึ่งเป็นพื้นที่กั้นดารระดับ 2 ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข และได้ย้ายไปปฏิบัติราชการที่โรงพยาบาลกระแสสินธุ์ จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นพื้นที่กั้นดารระดับ 1 ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขเมื่อปีพ.ศ.2543 ปัจจุบันได้ปฏิบัติราชการที่โรงพยาบาลสะเดา จังหวัดสงขลา ในตำแหน่งทันตแพทย์ 6 ตั้งแต่ปีพ.ศ.2546 เป็นต้นมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย