

ผลของทิศทางการฉายแสงที่มีต่อความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนและระดับการบ่มของ
วัสดุยึดติดทางทันตกรรมที่บ่มด้วยแสง

นางสาวเสาวลักษณ์ ผดุงวรรณศาสตร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EFFECT OF LIGHT CURING DIRECTION ON THE SHEAR BOND STRENGTH AND
DEGREE OF CURE OF A LIGHT-CURED ORTHODONTIC ADHESIVE

Miss Saowaluk Padungvorasart

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของทิศทางการฉายแสงที่มีต่อความแข็งแรงการยึด
ติดทนแรงเฉือนและระดับการบ่มของวัสดุยึดติดทาง
ทันตกรรมที่บ่มตัวด้วยแสง

โดย

นางสาวเสาวลักษณ์ ผดุงวรรณศาสตร์

สาขาวิชา

ทันตกรรมจัดฟัน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์

ดร. ไพบุลย์ เตชะเลิศไพศาล

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง วัชรภรณ์ ทศจันทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ วัชระ เพชรคุปต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. ไพบุลย์ เตชะเลิศไพศาล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ทันตแพทย์ ดร. พีรพงศ์ สันติวงศ์)

เสวาลักษณ์ ผดุงวรรณศาสตร์ : ผลของทิศทางการฉายแสงที่มีต่อความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนของแบร์กเกตจัดฟันโลหะและระดับการบ่มของวัสดุยึดติดเรซินที่บ่มตัวด้วยแสง .
(EFFECT OF LIGHT CURING DIRECTION ON THE SHEAR BOND STRENGTH AND DEGREE OF CURE OF A LIGHT-CURED ORTHODONTIC ADHESIVE)
อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ทพ.ดร. ไพบุลย์ เตชะเลิศไพศาล, 85 หน้า.

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาผลของทิศทางการฉายแสงที่มีต่อความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนและระดับการบ่มของวัสดุยึดติดที่บ่มตัวด้วยแสง

วัสดุและวิธีการ: ใช้ฟันกรามน้อยมนุษย์ที่ถอนแล้ว 72 ซี่ กลุ่มละ 12 ซี่ ยึดแบร์กเกตโลหะด้วยวัสดุยึดติดเรซินที่บ่มตัวด้วยแสง ฉายแสงใน 3 ลักษณะคือ 1) ฉายจากด้านใกล้กลางและไกลกลาง 2) ด้านแก้ม และ 3) ด้านบดเคี้ยวของผิวฟัน ทดสอบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนด้วยเครื่องยูนิเวอร์แซลเทสติงแมชชีน ภายหลังการฉายแสง 5 นาทีและ 24 ชั่วโมง และในการศึกษาระดับการบ่มของวัสดุยึดติด ใช้ฟันกรามน้อย 1 ซี่ ยึดแบร์กเกตโลหะด้วยวัสดุยึดติดเรซินที่บ่มตัวด้วยแสง ฉายแสงในลักษณะเช่นเดียวกับการศึกษาความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน ทำการวิเคราะห์ระดับการบ่มด้วยเครื่องโฟเวียร์ทรานสฟอรั่มอินฟราเรดสเป กโทรสโกปี ทำการทดสอบกลุ่มละ 5 ตัวอย่าง ภายหลังการฉายแสง 5 นาทีและ 24 ชั่วโมง

ผลการศึกษา : พบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละทิศทางการฉายแสง ทั้งในกลุ่มทดสอบ 5 นาทีและ 24 ชั่วโมงหลังการฉายแสง แต่พบระดับการบ่มของวัสดุยึดติด มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยระดับการบ่มของวัสดุยึดติดในกลุ่มที่ฉายแสงจากด้านใกล้กลางและไกลกลางมีค่ามากกว่ากลุ่มที่ฉายแสงจากด้านแก้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งกลุ่มทดสอบ 5 นาทีและ 24 ชั่วโมงหลังการฉายแสง ในขณะที่กลุ่มที่ฉายแสงจากด้านบดเคี้ยวมีค่าระดับ การบ่มตัวของวัสดุยึดติดไม่แตกต่างจากทั้ง 2 กลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สรุป: ทิศทางการฉายแสงมีผลต่อระดับการบ่มของวัสดุยึดติดที่บ่มตัวด้วยแสงแต่ไม่มีผลต่อความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน

ภาควิชา.....ทันตกรรมจัดฟัน..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....ทันตกรรมจัดฟัน..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2554.....

5376133032 : MAJOR ORTHODONTICS

KEYWORDS : LIGHT CURING DIRECTION/ SHEAR BOND STRENGTH/ DEGREE OF
CURE

SAOWALUK PADUNGVORASART : EFFECT OF LIGHT CURING DIRECTION ON
THE SHEAR BOND STRENGTH AND DEGREE OF CURE OF A LIGHT-CURED
ORTHODONTIC ADHESIVE. ADVISOR : ASST.PROF. PAIBOON
TECHALERTPAISARN, Ph.D., 85pp.

Objective To study the effect of light curing direction on the shear bond strength and degree of cure of a light-cured orthodontic adhesive.

Methods 72 extracted human premolar teeth, 12 teeth in each group, were bonded to stainless steel brackets with a light-cured adhesive, cured by light in 3 different direction; 1) mesial & distal direction 2) buccal direction and 3) occlusal direction. The samples were tested for the shear bond strength by a universal testing machine at 5 minutes and 24 hours after light activation. In the degree of cure study, a sample tooth was bonded to stainless steel brackets with a light-cured adhesive, by curing with 3 different light as mentioned in the shear bond strength study. The adhesive was tested for the degree of cure by Fourier transform infrared spectroscopy 5 samples repeatedly at 5 minutes and 24 hours after light activation.

Results The shear bond strengths of all light direction testing groups were not significantly different in both 5 minute and 24 hours after bonding. The degree of cures of a light-cured adhesive, cured by mesial & distal light direction, were significantly higher than those cured by buccal light direction. However the degree of cures by occlusal light direction were not significantly different from those two groups.

Conclusion Light curing direction has an effect on degree of cure of a light-cured orthodontic adhesive but it has no effect on the shear bond strength.

Department : ..Orthodontics..... Student's Signature.....

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

Academic Year : ..2010.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความสนับสนุนอย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทนตแพทย์ ดร. ไพบุลย์ เตชะเลิศไพศาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ พร้อมทั้งช่วยเหลือในด้านการเขียนและการแก้ไขวิทยานิพนธ์ด้วยดีเสมอมา ผู้เขียนวิทยานิพนธ์จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ไพพรรณ พิทยานนท์ สำหรับคำปรึกษาและข้อเสนอแนะด้านสถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านสำหรับคำแนะนำในการทำวิจัย การเขียนและการแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน สำหรับคำแนะนำ การสนับสนุน และการให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ และศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับคำแนะนำ และความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนวิทยานิพนธ์ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา สำหรับการช่วยเหลือในด้านต่างๆ รวมทั้งกำลังใจที่ได้ให้แก่ผู้เขียนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
คำถามการวิจัย.....	4
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
สมมติฐานการวิจัย.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
ขอบเขตของการวิจัย.....	6
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	7
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	8
คำสำคัญ.....	9
คำจำกัดความ.....	9
วิธีดำเนินการวิจัย.....	9
ลำดับขั้นตอนในการเสนองานวิจัย.....	10
กรอบความคิดในการวิจัย.....	11
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	12
ชนิดวัสดุยึดติดที่ใช้ในการยึดติดแบร์กเกต.....	12
วัสดุยึดติดประเภทเรซิน อะคริลิก.....	12
วัสดุยึดติดประเภทไดอะครีเลต เรซิน.....	13
การแบ่งชนิดวัสดุยึดติดประเภทไดอะครีเลต เรซิน ตามลักษณะการปม	
ปฏิกริยา.....	17

	หน้า
ชนิดของแหล่งกำเนิดแสงของวัสดุยึดติดเรซินที่บ่มตัวด้วยแสงที่มองเห็น	19
ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนและระดับการบ่มของวัสดุยึดติด ที่เกี่ยวกับการฉายแสง.....	21
ชนิดของเครื่องฉายแสง.....	21
ความเข้มแสงของเครื่องฉายแสง.....	22
ระยะเวลาการฉายแสง.....	23
ระยะห่างของแนวนำแสงกับแบร์ริกเกต.....	23
ขนาดและชนิดของแนวนำแสงของเครื่องฉายแสง.....	24
วิธีการฉายแสง.....	24
ทิศทางการฉายแสง.....	24
การศึกษาความแข็งแรงการยึดติด.....	26
การศึกษาระดับการบ่ม.....	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	29
ประชากร.....	29
กลุ่มตัวอย่าง.....	29
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	31
การรวบรวมข้อมูล.....	39
การทดสอบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนและตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว	39
การทดสอบระดับการบ่มของวัสดุยึดติดเรซิน.....	43
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	47
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	48
ผลทดสอบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน.....	48
ผลทดสอบระดับการบ่มของของวัสดุยึดติดเรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสง	50
ผลการทดสอบตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว.....	53
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	57
อภิปรายผลการวิจัย.....	57
สรุปผลการวิจัย.....	61
ข้อเสนอแนะ.....	62

	หน้า
รายการอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก.....	73
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	85

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้จากการศึกษานำร่องการทดสอบ ความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน.....	30
ตารางที่ 2 แสดงจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้จากการศึกษานำร่องการทดสอบ ระดับการป่นของวัสดุยึดติด.....	30
ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าน้อยที่สุด ค่ากลาง และค่ามากที่สุด ของความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน.....	48
ตารางที่ 4 ผลของการทดสอบการกระจายแบบปกติของความแข็งแรงการยึดติดทนแรง เฉือนโดยใช้การทดสอบสถิติ Kolmogorov-Smirnov method.....	74
ตารางที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของกลุ่มทดลองความแข็งแรงการยึดติด ทนแรงเฉือน.....	76
ตารางที่ 6 แสดงการวิเคราะห์ผลของทิศทางการฉายแสงที่มีต่อความแข็งแรงการยึดติด ทนแรงเฉือนของแบร์กเกตจัดฟันโลหะด้วยสถิติ one way ANOVA.....	77
ตารางที่ 7 แสดงผลของระยะเวลาการทดสอบหลังฉายแสงที่มีต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรง การยึดติดทนแรงเฉือนของแบร์กเกตจัดฟันโลหะด้วยสถิติ Independent t test.....	78
ตารางที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความ แข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนด้วยสถิติ one way ANOVA และ Independent t test.....	50
ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าน้อยที่สุด ค่ากลาง และค่ามากที่สุด ของระดับการป่นตัวของวัสดุยึดติดเรซิน.....	51
ตารางที่ 10 แสดงผลของทิศทางการฉายแสงที่มีต่อระดับการป่นตัวของวัสดุยึดติดเรซิน ด้วย nonparametric Kruskal-Wallis test.....	79
ตารางที่ 11 แสดงการวิเคราะห์ multiple comparison แสดงผลของทิศทางการฉายแสง ที่มีต่อระดับการป่นตัวของวัสดุยึดติดเรซิน ที่เวลาการทดสอบหลังฉายแสง 5 นาที.....	80

ตารางที่ 12 แสดงการวิเคราะห์ multiple comparison แสดงผลของทิศทางการฉายแสง ที่มีต่อระดับการป่มตัวของวัสดุยึดติดเรซิน ที่เวลาทดสอบหลังฉายแสง 24 ชั่วโมง.....	81
ตารางที่ 13 แสดงผลของระยะเวลาทดสอบหลังการฉายแสงที่มีต่อระดับการป่มตัว ของวัสดุยึดติดเรซิน ด้วยสถิติ nonparametric Mann Whitney U test.....	82
ตารางที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับ การป่มตัวของวัสดุยึดติด nonparametric Kruskal-Wallis test และ nonparametric Mann Whitney U test.....	53
ตารางที่ 15 แสดงความถี่ของค่า ARI score.....	54
ตารางที่ 16 แสดงผลของทิศทางการฉายแสงที่มีต่อ ARI score ด้วยสถิติ Chi square.....	83
ตารางที่ 17 แสดงผลของระยะเวลาทดสอบหลังฉายแสงที่มีต่อ ARI score ด้วยสถิติ Chi square.....	84

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 โครงสร้างของ 2,2-bis[4(2-hydroxy-3-methacryloxy propyloxy)phenyl] Propane.....	14
ภาพที่ 2 โครงสร้างของ triethylene glycol dimethacrylate.....	15
ภาพที่ 3 โครงสร้างของ urethane dimethacrylate.....	15
ภาพที่ 4 โครงสร้างของ camphoroquinone.....	18
ภาพที่ 5 แสดงกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 35 และวัสดุยึดเรซินชนิดบ่มตัวด้วย แสงและสารบอนด์ดิงที่ใช้ในการทดลอง.....	31
ภาพที่ 6 ลวดเหล็กม้วนนำ.....	32
ภาพที่ 7 โกร่งและสาก.....	33
ภาพที่ 8 แผ่นร้อนและเครื่องปั่นผสม.....	34
ภาพที่ 9 เครื่องตัดฟันความเร็วต่ำ.....	35
ภาพที่ 10 เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด Universal Testing Machine, Shimadzu.....	35
ภาพที่ 11 เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี Fourier transform infrared Spectroscopy.....	36
ภาพที่ 12 เครื่องอัดแผ่น Rotary vacuum pump.....	36
ภาพที่ 13 เครื่องฉายแสง LED.....	37
ภาพที่ 14 เครื่องวัดความเข้มแสง.....	37
ภาพที่ 15 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ.....	38
ภาพที่ 16 กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (Stereo microscope).....	38
ภาพที่ 17 แสดงพื้นกรามน้อยตัวอย่างที่ฝังลงในท่อพลาสติกพีวีซี.....	40
ภาพที่ 18 แสดงทิศทางการฉายแสงที่ใช้ในการทดลอง.....	42
ภาพที่ 19 การยึดพื้นกรามน้อยตัวอย่างลงบนบล็อกเรซินใสโดยใช้เครื่องสำรวจแบบ จำลองฟัน.....	43
ภาพที่ 20 พื้นกรามน้อยตัวอย่างที่ฝังในบล็อกเรซินใส.....	44
ภาพที่ 21 แผ่นกลมโพแทสเซียมโบรมาด์.....	45
ภาพที่ 22 แสดงตัวอย่างของฟัน ARI score 4.....	54

	หน้า
ภาพที่ 23 แสดงตัวอย่างของพื้น ARI score 3.....	55
ภาพที่ 24 แสดงตัวอย่างของพื้น ARI score 2.....	55

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเคลื่อนฟันไปยังทิศทางและตำแหน่งที่ต้องการในการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันโดยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น (Fixed orthodontics appliance) อาศัยการให้แรงผ่านลวดโค้งไปยังแบร็กเกต (bracket) หรือท่อจัดฟัน (tube) ที่ยึดติดกับแถบรัดจัดฟันไร้สนิม (Stainless steel band) ซึ่งยึดติดกับฟันด้วยซีเมนต์ หรือใช้วิธียึดติดกับผิวฟันโดยตรงด้วยวัสดุยึดติด (Direct bonding technique) แล้วจึงถ่ายทอดแรงสู่ฟัน ดังนั้นความแข็งแรงการยึดติดของเครื่องมือกับผิวฟันจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้แรงดังกล่าวนี้กระทำต่อฟันและเคลื่อนฟันไปได้

ทันตวัสดุมีวิวัฒนาการและการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง วัสดุยึดติดเครื่องมือกับผิวฟันโดยตรงได้รับการพัฒนาจนได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย (Eliades, 2006) เนื่องจากช่วยให้งานง่ายขึ้น มีการยึดอยู่ที่ดี มีความสวยงาม ผู้ป่วยรู้สึกสบาย สามารถดูแลและทำความสะอาดได้ง่ายขึ้น จนปัจจุบันการยึดเครื่องมือให้แรงเคลื่อนฟันกับตัวฟันด้วยแถบรัดจัดฟันหลงเหลือเฉพาะกรณีเท่านั้น เช่น ฟันที่ต้องรับแรงมาก ฟันกรามบนซี่แรกทางด้านแรงจากเครื่องมือภายนอกช่องปาก ฟันที่ต้องการการยึดติดของเครื่องมือทั้งด้านแก้มและด้านลิ้น ฟันที่ตัวฟันทางคลินิกสั้น และฟันที่ยากต่อการยึดด้วยวัสดุยึดติดฟันโดยตรง เช่น ฟันตกกระ (fluorosis) เป็นต้น (Proffit, 2000) จากการสำรวจการใช้แถบรัดจัดฟันพบว่าเหลือเพียงฟันกรามบนและล่างซี่ที่หนึ่งที่ใช้เป็นประจำ และการใช้แถบรัดจัดฟันในฟันกรามและฟันกรามน้อยลดน้อยลงจากอดีต (Keim, Gottlieb et al., 2002)

ความนิยมการยึดติดเครื่องมือจัดฟันกับผิวเคลือบฟันโดยตรงเป็นประจำเกิดขึ้นในช่วงปี 1980 การยึดติดดังกล่าวอาศัยการเชื่อมต่อเชิงกลระหว่างวัสดุยึดติดกับผิวเคลือบฟัน และระหว่างวัสดุยึดติดกับฐานของเครื่องมือจัดฟัน (Proffit, 2000) พื้นฐานการยึดติดดังกล่าวได้มาจากการใช้กรดฟอสฟอริกกัดผิวเคลือบฟัน ทำให้เกิดลักษณะขรุขระบนผิวเคลือบฟันซึ่งเป็นการ

เพิ่มการยึดติดของวัสดุอุดฟัน (Buonocore, 1955) และต่อมามีการแนะนำเทคนิคนี้ในการยึดติดแบร็กเกตโดยตรงกับผิวฟัน (Newman, 1965)

มีวัสดุยึดติดหลายประเภทสำหรับใช้ใน การยึดติดแบร็กเกตกับผิวฟัน ที่นิยมใช้ได้แก่ เรซิน ไดอะคริเลต (Diacrylate resin) ซึ่งเป็นอะคริลิกที่ถูกดัดแปลงด้วยเรซินอีพ็อกซี (Epoxy resin) เป็นที่รู้จักในนามบิส จีเอ็มเอ (Bis GMA; Bisphenylglycidyl dimethacrylate) ซึ่งมีข้อดีเหนือเรซินอะคริลิกคือ ภายหลังปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์หรือพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) โมเลกุลจะยึดกันเป็นโครงสร้าง 3 มิติ ทำให้มีความแข็งแรงมากกว่า ดูนํ้าน้อย และมีการหดตัวน้อยกว่า (Reynolds, 1975) โดยเรซินนี้ยังถูกแบ่งตามลักษณะตามการบ่มตัว โดยวัสดุที่นิยมใช้ได้แก่ วัสดุยึดติดเรซิน ที่บ่มตัวทางเคมี (chemically-polymerized adhesives) และวัสดุยึดติดเรซินที่บ่มตัวด้วยแสง (light-polymerized adhesives) ปัจจุบันวัสดุที่ได้รับความนิยมในการยึดติดแบร็กเกตกับฟัน ได้แก่ วัสดุยึดติดที่บ่มตัวด้วยแสง ซึ่งแนะนำโดย Tavas และ Watts (Tavas and Watts, 1979) จากการศึกษาพบว่าวัสดุดังกล่าวมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับวัสดุยึดติดที่บ่มตัวทางเคมีที่มีเริ่มใช้มาก่อน (Tavas and Watts, 1984; O'Brien, Read et al., 1989) อีกทั้งยังเพิ่มความสะดวกในการทำงาน มีระยะเวลาการทำงานที่เพิ่มขึ้นในการวางแบร็กเกตตำแหน่งที่ต้องการ มีการบ่มของวัสดุอย่างรวดเร็วเมื่อฉายแสง มีความแข็งแรงการยึดติดสูงตั้งแต่ช่วงต้น (Eliades, Viazis et al., 1991; Toledano, Osorio et al., 2003) จากการศึกษาพบการใช้วัสดุยึดติดเรซินที่บ่มตัวด้วยแสงถึง 75% ของทันตแพทย์จัดฟันซึ่งมากกว่าการใช้ระบบวัสดุยึดติด ที่บ่มตัวทางเคมี ทั้งชนิดผสมและไม่ผสม (Keim, Gottlieb et al., 2002)

อย่างไรก็ตาม ข้อด้อยของการยึดติดแบร็กเกตหรือท่อจัดฟันโดยตรงกับผิวฟันที่เป็นปัญหาอยู่บ่อยบ่อยในการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน ได้แก่ การหลุดของแบร็กเกต เป็นผลให้การรักษาล่าช้า จำนวนครั้งในการรักษา เพิ่มขึ้น และสิ้นเปลืองวัสดุอุปกรณ์ จากการศึกษาพบอัตราการยึดติดล้มเหลว (bond failure rate) 5-6% (Millett, Hallgren et al., 1998; Keim, Gottlieb et al., 2002) และพบฟันหลังมีอัตราการยึดติดล้มเหลวมากกว่าฟันหน้า อย่างมีนัยสำคัญ (Keim, Gottlieb et al., 2002; Koupis, Eliades et al., 2008) เพื่อไม่ให้เกิดความล้มเหลวนี้ ความแข็งแรงการยึดติดระหว่างแบร็กเกตกับผิวฟันต้องมีค่าเพียงพอที่จะส่งผ่านแรงจากลวดโค้งไปยังฟันโดยที่แบร็กเกตไม่หลุดจากผิวฟัน จากการศึกษาของความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนควรมีค่าอย่างน้อยระหว่าง 60-80 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือเท่ากับ 5.88-7.85 เมกกะปาสคาล (Reynolds, 1975) ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อลดอัตราการยึดติดล้มเหลวมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มความ

แข็งแรงการยึดติด การพัฒนาระบบสารยึดติดเรซิน การลดขั้นตอนให้ง่ายขึ้น และแม้แต่การใช้วัสดุที่สามารถใช้ในสภาพที่มีน้ำลาย

การยึดติดล้มเหลวของเครื่องมือเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย (Rossouw, 2010) เช่น ลักษณะผิวฟัน ได้แก่ ฟันตกกระ (fluorosis) (Adanir, Turkkahraman et al., 2009) ฟันที่ผ่านการฟอกสีฟันหรือทาสารลดอาการเสียวฟัน (Turkkahraman, Adanir et al., 2007) ลักษณะฐานแบร็กเกตที่มีการยึดอยู่ไม่เพียงพอ (Sharma-Sayal, Rossouw et al., 2003) ปัญหาทางเทคนิคระหว่างขั้นตอนการใช้กรดกัด การใช้วัสดุยึดติด การฉายแสง การปนเปื้อนจากเลือดและ น้ำลาย (Oztoprak, Isik et al., 2007) การปนเปื้อนวัสดุต่างๆระหว่างการรักษาจัดฟัน เช่น ซี้ผึ้ง ผงแป้ง จากถุงมือ ผงฟันทราย น้ำมัน (Rossouw, Penuvchev et al., 1996) เป็นต้น การยึดติดล้มเหลวที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นผลมาจากความไม่ถูกต้องของเทคนิคการยึดติด (Graber and Vanarsdall, 2005) ซึ่งจากหลากหลายปัจจัยนี้ บางปัจจัยควบคุมได้ และบางปัจจัยควบคุมไม่ได้ แต่หากสามารถควบคุมปัจจัยที่ควบคุมได้ เช่น การตัดสินใจเลือกชนิดวัสดุและปฏิบัติตามเทคนิคการยึดติดที่เหมาะสม ก็จะสามารถลดความเสี่ยงการหลุดของแบร็กเกตที่อาจเกิดขึ้นได้

การศึกษานี้ผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาในขั้นตอนการฉายแสงของวัสดุยึดติดที่บ่มตัวด้วยแสงเมื่อฉายแสงบ่มวัสดุยึดติดจากทิศทางต่างๆ จากการศึกษาวรรณกรรมปริทัศน์นี้ การศึกษาความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนเมื่อฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงชนิดต่างๆ ใช้ระยะเวลาฉายแสงต่างๆ ที่ระยะห่างต่างๆ จากแนวนำแสงของเครื่องฉายแสงไปยังแบร็กเกตขนาดและชนิดของแนวนำแสงต่างๆของเครื่องฉายแสง แต่จาก การศึกษาที่ผ่านมา ยังไม่มีการศึกษาถึงความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนระหว่างแบร็กเกตโลหะและผิวเคลือบฟันของวัสดุบ่มตัวด้วยแสง เมื่อฉายแสงในทิศทางที่ต่างไปจากคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตซึ่งแนะนำให้ฉายแสงโดยให้แนวนำแสงอยู่ด้านข้างและตั้งฉากกับซี่ฟัน แต่การปฏิบัติงาน ในคลินิกพบลักษณะการฉายแสงในทิศทางดังกล่าว ทำได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฟันหลัง ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาประสิทธิภาพการกระตุ้นปฏิกิริยาด้วยแสงเมื่อฉายแสงในทิศทางต่างๆ ที่ต่างออกไปจากคำแนะนำของผู้ผลิตที่เข้าทำงานได้ง่ายกว่า โดยศึกษาจากค่า ความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน (shear bond strength) และตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว (Failure site) โดยพิจารณาจากดัชนีส่วนที่เหลืออยู่ของวัสดุยึดติด (Adhesive remnant index; ARI score) (Olsen, Bishara et al., 1997)

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังมีความสนใจศึกษาระดับการบ่ม (degree of cure) ของวัสดุยึดติดที่บ่มตัวด้วยแสงเมื่อฉายแสงในทิศทางที่ต่างออกไปนี้ด้วย เนื่องจากในการเกิดปฏิกิริยา

พอลิเมอร์ที่ขึ้นของวัสดุยึดติดเรซิน มอนอเมอร์ไม่ถูกเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ทั้งหมด ดังนั้นจึงยังมี ส่วนของมอนอเมอร์เหลือในวัสดุหลังการบ่มปฏิกิริยา (Ferracane and Greener, 1986; Chung, 1990) ซึ่งระดับการบ่มนี้มีผลกับทั้งคุณสมบัติเชิงกล (Ferracane and Greener, 1986) คุณสมบัติ ทางกายภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการถูกละลายได้และการเสื่อมสลาย (Eliades, Eliades et al., 1995) และคุณสมบัติทางชีวภาพ โดยพบมอนอเมอร์ที่เหลืออยู่และสารอื่นๆละลายออกมาด้วยกัน ได้แก่ สารตั้งต้นปฏิกิริยาพอร์โมโรเซชัน (initiator) พลาสติไซเซอร์ (plasticizer) สารยับยั้ง ปฏิกิริยา (inhibitor) เป็นต้น (Gioka, Bourauel et al., 2005) ซึ่งการละลายออกมาของสาร ดังกล่าว พบมีการตอบสนองแสดงความเป็นพิษต่อเซลล์ในเนื้อเยื่อ (Tell, Sydiskis et al., 1988; Jonke, Franz et al., 2008) ดังนั้นการพิจารณาระดับการบ่มของวัสดุยึดติดเรซินจึงควรได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง

คำถามการวิจัย

คำถามการวิจัยหลัก

1. ทิศทางการฉายแสง มีผลต่อ ความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน ของ แบริกเกตจัดฟันโลหะหรือไม่
2. ทิศทางการฉายแสง มีผลต่อระดับการบ่มของวัสดุยึดติดเรซินชนิดบ่มตัวด้วย แสงหรือไม่

คำถามการวิจัยรอง

- ทิศทางการฉายแสงมีผลต่อตำแหน่งการยึดติดล้มเหลวหรือไม่
- ระยะเวลาภายหลังการฉายแสงมีผลต่อความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน ของแบริกเกตจัดฟันโลหะ ระดับการบ่มของวัสดุยึดติดเรซินชนิดบ่มตัวด้วย แสง และตำแหน่งการยึดติดล้มเหลวหรือไม่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความแข็งแรงการยึดติดทน แรงเฉือนของ แบริกเกตจัดฟันโลหะ เมื่อฉายแสงในทิศทางต่างกัน
2. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับการบ่มของวัสดุยึดติดที่บ่มตัวด้วยแสง เมื่อฉายแสงในทิศทางต่างกัน
3. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว เมื่อฉายแสงในทิศทางต่างกัน
4. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของ ความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน ของ แบริกเกตจัดฟันโลหะ ระดับการบ่มของวัสดุยึดติด เรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสง และตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว เมื่อทดสอบที่ ระยะเวลาภายหลังการฉายแสงต่างกัน

สมมติฐานการวิจัย

1. มีความแตกต่างกันของความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน ของ แบริกเกตจัดฟันโลหะ เมื่อฉายแสงในทิศทางต่างกัน
2. มีความแตกต่างกันของระดับการบ่มของวัสดุยึดติด เรซินที่บ่มตัวด้วยแสง เมื่อฉายแสงในทิศทางต่างกัน
3. มีความแตกต่างกันของตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว เมื่อฉายแสงทิศทางต่างกัน
4. มีความแตกต่างกันของ ความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน ของ แบริกเกตจัดฟันโลหะ ระดับการบ่มของวัสดุยึดติดเรซินที่บ่มตัวด้วยแสง และตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว เมื่อทดสอบที่ระยะเวลาภายหลังการฉายแสงต่างกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นแนวทางสำหรับทันตแพทย์ในการพิจารณาเลือกเทคนิคการฉายแสงให้มีทิศทางที่เหมาะสมในขั้นตอนการติดแบร็กเกตกับผิวฟัน เพื่อให้เกิดการยึดติดอย่างมีประสิทธิภาพ มีความแข็งแรงการยึดติดที่เพียงพอ ทำให้ลดความล้มเหลวการยึดติดจากการหลุดของแบร็กเกตที่อาจเกิดขึ้นซึ่งเป็นผลเสียต่อการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน และมีระดับการบ่มที่เหมาะสมของวัสดุยึดติดเรซิน ซึ่งจะมีผลทั้งต่อคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนของแบร็กเกตโลหะจัดฟัน ระดับการบ่มของวัสดุยึดติดเรซินที่บ่มตัวด้วยแสง และตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว โดยทดสอบภายหลังการฉายแสง 5 นาทีและ 24 ชั่วโมง เมื่อฉายแสง ในระยะทางที่เท่ากัน 3 ทิศทาง ได้แก่

ทิศทางที่ 1 แนวนำแสงตั้งฉากระนาบแบร็กเกตด้านใกล้กลางและด้านไกลกลางของผิวฟัน ฉายแสงด้านละ 10 วินาที

ทิศทางที่ 2 แนวนำแสงตั้งฉากระนาบแบร็กเกตด้านแก้มของผิวฟัน ฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที

ทิศทางที่ 3 แนวนำแสงตั้งฉากระนาบแบร็กเกตด้านบดเคี้ยวของผิวฟัน ฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที

2. กลุ่มตัวอย่างเป็นฟันกรามน้อยของผู้ป่วยซึ่งถูกถอนออกเพื่อการจัดฟัน เป็นฟันที่ไม่มีพยาธิสภาพและไม่เคยได้รับการเตรียมผิวฟันด้วยวิธีใดๆมาก่อน

3. แบร็กเกตที่ใช้ในการทดลองเป็นแบร็กเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดมาตรฐานสำหรับฟันกรามน้อยของบริษัท 3M ขนาดร่อง 0.018 นิ้ว มีพื้นที่ฐานเฉลี่ย 15.25 ตารางมิลลิเมตร (Dyna-Lock™ standard edgewise, 3M/Unitek, USA)

4. กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 35 (Gluma, Heraeus Kulzer GmbH, Germany)

5. วัสดุยึดติดที่ใช้ในการทดลองเป็นวัสดุยึดติดเรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสงและสารบอนด์ดิงยี่ห้อย Transbond XT, 3M/Unitek, USA

6. เครื่องฉายแสง Elipar S10, 3M/ESPE, USA เป็นเครื่องฉายแสง LED ขอบเขตความยาวคลื่นสูงสุด 430-480 นาโนเมตร ความหนาแน่นสูงสุดของไฟ 1,200 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (750 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เมื่อวัดด้วย curing radiometer Model 100 Kerr, USA)

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. การศึกษานี้เป็นการจำลองการยึดติดแบร์กเกตโลหะกับผิวฟันด้วยวัสดุยึดติดเรซินที่บ่มตัวด้วยแสงเมื่อฉายแสงในทิศทางต่างๆกันในช่องปาก เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเค้นระหว่างแบร์กเกตโลหะกับผิวฟัน โดยจะทดลอง ภายหลังจากการยึดติดแบร์กเกต 5 นาที และ 24 ชั่วโมง

2. การศึกษานี้เป็นการจำลองการบ่มของวัสดุยึดติดเรซินที่บ่มตัวด้วยแสง เมื่อฉายแสงในทิศทางต่างๆในช่องปาก เพื่อศึกษาเปรียบเทียบระดับบ่มของวัสดุยึดติดเรซินที่บ่มตัวด้วยแสง โดยจะทดลองภายหลังจากการยึดติดแบร์กเกต 5 นาที และ 24 ชั่วโมง

3. การศึกษานี้เป็นการจำลองการหลุดของแบร์กเกตในช่องปาก เพื่อศึกษาเปรียบเทียบตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว เมื่อฉายแสงในทิศทางต่างๆกัน โดยตรวจดูภายหลังจากการหลุดของแบร์กเกตภายหลังจากทดสอบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเค้น

4. กลุ่มตัวอย่างเป็นฟันกรามน้อยของผู้ป่วยซึ่งถูกถอนออกเพื่อการจัดฟัน เป็นตัวแทนของฟันในช่องปากผู้ป่วยจัดฟัน โดยเก็บในสารชนิดเดียวกัน ได้แก่ สารละลายไทมอลในน้ำกลั่น 0.5 เปอร์เซ็นต์ และเตรียมฟันก่อนการทดลองด้วยวิธีการเดียวกัน โดยผู้ทดลองคนเดียวกัน ถือว่ามีคุณสมบัติเหมือนกัน

5. แบริกเกตที่ใช้ในการทดลองเป็นแบริกเกตเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมชนิดมาตรฐาน สำหรับฟันกรามน้อยของบริษัท 3M ขนาดร่อง 0.018 นิ้ว มีพื้นที่ฐานเฉลี่ย 15.25 ตารางมิลลิเมตร (Dyna-Lock™ standard edgewise) ซึ่งมีค่าทิป (tip) และค่าทอร์ก (torque) ในร่องแบริกเกตเป็น 0 องศา มีขนาดและรูปร่างเหมือนกันทุกตัว โดยแบริกเกตสำหรับฟันกรามน้อยทั้งซี่และขา บน และล่างมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ

6. ขั้นตอนการยึดติดแบริกเกตกับผิวฟันด้วยวัสดุยึดติดเรซินที่บ่มตัวด้วยแสงถือเป็นมาตรฐานเดียวกัน เนื่องจากกระทำโดยบุคคลเดียวกัน โดยผ่านการฝึกกระทำซ้ำหลายครั้ง เพื่อให้ทุกขั้นตอนของการทดลองเป็นไปตามมาตรฐานเดียวกัน

7. ค่ากำลังแรงยึดเฉือนมีหน่วยเป็นเมกะปาสคาล (MegaPascal; MPa) (PE Rossouw 2010) ศึกษาโดยเครื่องทดสอบแรงดึงรังอัด (Universal Testing Machine, SHIMADZU, EZTest EZ-L/EZ-S Series) ที่ความเร็ว (crosshead speed) 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที ตุ่มน้ำหนัก 500 นิวตัน

8. ค่าระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติดเรซินคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ศึกษาด้วยเครื่อง FT-IR Spectrometer, Spectrum One, PerkinElmer) โดยพิจารณาที่ 2 ความถี่ส่วนกลับของความยาวคลื่น การยึดหดของพันธะอะลิฟาติก (C=C) ที่ 1636 ต่อเซนติเมตร ถือเป็นความถี่วิเคราะห์ (analytical frequency) และการยึดหดของพันธะอะโรมาติก (C-C) ที่ 1608 ต่อเซนติเมตรเป็นความถี่อ้างอิง (reference frequency)

9. ตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (Stereo microscope) รุ่น ML 9300 MEIJI, JAPAN ที่กำลังขยาย 10 เท่า โดยพิจารณาจากดัชนีส่วนที่เหลืออยู่ของวัสดุยึดติด (Adhesive remnant index; ARI score) ระดับ 1-5 เป็นดัชนีพิจารณา

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. การวิจัยนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งต่างจากสภาพจริงในช่องปากที่ประกอบด้วยองค์ประกอบอื่น ๆ ที่อาจส่งผลต่อความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน ระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติด และตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว เช่น การปนเปื้อนจากคราบเลือดและน้ำลาย เวลาในการปรับตำแหน่งแบริกเกตก่อนฉายแสง ลักษณะการเรียงตัวของฟัน เป็นต้น

2. ผลการวิจัยไม่สามารถอ้างอิงไปถึงฟันซี่อื่น แบริกเกตชนิดอื่น ระบบวัสดุยึดติดชนิดอื่น เครื่องฉายแสงชนิดอื่น ซึ่งแตกต่างไปจากที่ใช้ในการศึกษานี้

คำสำคัญ

ทิศทางการฉายแสง, ความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน, ระดับการบ่ม

Light curing direction, Shear bond strength, Degree of cure

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1. แรงเฉือน (shear force) หมายถึง แรงที่กระทำต่อแบริกเกตที่ยึดกับผิวเคลือบฟันในทิศทางที่ขนานกับฐานของแบริกเกตในแนวดิ่ง

2. ความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน (Shear bond strength) หมายถึง ความเค้นสูงสุดที่แบริกเกตสามารถต้านทานได้เมื่อมีแรงเฉือนมากกระทำ

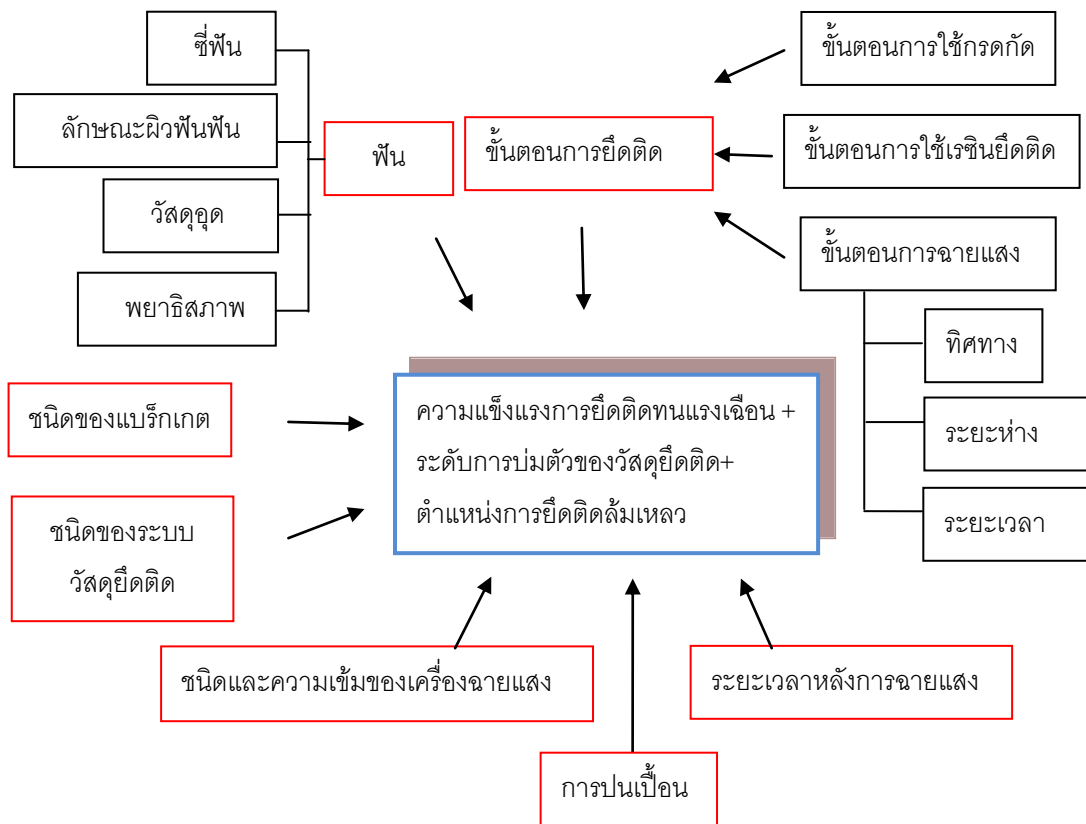
3. ระดับการบ่ม (degree of cure) หมายถึง ปริมาณการเปลี่ยนแปลงจากมอนอเมอร์ไปเป็นพอลิเมอร์ ซึ่งวัดจากปริมาณคาร์บอนพันธะคู่ที่แปลงสภาพเป็นคาร์บอนพันธะเดี่ยวของวัสดุยึดติดเรซิน

4. ตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว (Failure site) หมายถึง ตำแหน่งที่เกิดการหลุดของแบริกเกตภายหลังจากให้แรงกระทำ ซึ่งอาจเกิดภายในเนื้อวัสดุ (cohesive failure) หรือเกิดระหว่างฟันกับวัสดุยึดติด หรือวัสดุยึดติดกับฐานแบริกเกต (adhesive failure)

วิธีดำเนินการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory experimental research)

กรอบแนวคิดในการวิจัย



บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในระยะแรกเริ่ม เครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟันชนิดติดแน่นยึดอยู่กับแถบรัดจัดฟันแล้วจึงยึดกับตัวฟันด้วยซีเมนต์ วิธีการดังกล่าวพบว่ามีข้อเสียหลายประการ ได้แก่ ต้องทำการแยกฟันให้ห่างก่อนจึงสามารถใส่ปลอกโลหะรัดฟันได้ วิธีการยุ่งยากและใช้เวลาในการทำงานมาก ทำให้ความยาวของโค้งขากรรไกรเพิ่มมากขึ้น หลังจากการถอดเครื่องมือพบมีช่องว่างระหว่างฟัน เนื่องจากความหนาของแถบรัดจัดฟัน และอาจทำให้เกิดฟันผุหรือการระคายเคืองต่อเหงือก โดยเฉพาะกรณีที่ใช้แถบรัดจัดฟันหลวมหรือหลุด

การแนะนำเทคนิคการใช้กรดกัดผิวเคลือบฟันเริ่มขึ้นเมื่อ Buonocore (Buonocore, 1955) ได้เสนอวิธีการปรับสภาพผิวเคลือบฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 ประมาณ 60 วินาที เมื่อล้างเป่าแห้งและยึดด้วยวัสดุประเภทเรซินอะคริลิก พบว่าการยึดมีความแข็งแรงมากกว่าการไม่ใช้กรดกัดเคลือบฟัน เนื่องจากการละลายแร่ธาตุออกจากเคลือบฟันทำให้เกิดสภาพผิวขรุขระ ดังนั้นจึงมีความนิยมนำเทคนิคนี้มาใช้ในการบูรณะฟันเพื่อเพิ่มการยึดติดของวัสดุบูรณะ ต่อมา Newman(Newman, 1965) เป็นบุคคลแรกที่นำวิธีการใช้กรดกัดผิวเคลือบฟันมาใช้ทางทันตกรรมจัดฟันโดยใช้แบร์กเกตโลหะยึดกับผิวฟันที่ถูกกรดกัดด้วยเรซิน เรียกวิธีการติดแบร์กเกตเข้ากับผิวฟันโดยตรงนี้ว่า “วิธีไดเร็กบอนด์” (Direct bonding technique)

ชนิดวัสดุยึดติดที่ใช้ในการยึดติดแบร์กเกตกับผิวเคลือบฟัน

1. วัสดุยึดติดประเภทเรซิน อะคริลิก ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ (Powers and Sakaguchi, 2006)

1.1 ส่วนผง ประกอบด้วย

- เม็ดละเอียดของโพลีเมทิลเมทาไครเลต (poly methyl methacrylate: PMMA) ขนาด 50-250 ไมโครเมตร, มีการเติมปริมาณน้อยของเอทิล

(ethyl), บิวทิล (butyl) หรือ อัลคิล เมทาคริเลตอื่นๆ เพื่อเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหัก

- ตัวเริ่มต้น (initiator) ได้แก่ เบนโซอิล เปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide)
- ส่วนผสมของสารอื่นๆ เช่น สี สารทึบแสง ฯลฯ

1.2 ส่วนเหลว ประกอบด้วย

- เมทิลเมทาคริเลต โมโนเมอร์ (methylmethacrylate monomer)
- ตัวกระตุ้น (activator) ได้แก่ สารเคมีพวกเทอร์ติเอรี เอมีน (Tertiary amine) เพื่อให้เกิดพอลิเมอร์ในปฏิกิริยาบ่มเอง (self curing reaction)
- สารอื่นๆ เช่น สารยับยั้งปฏิกิริยา (inhibitor) สารพลาสติกไซเซอร์ ฯลฯ

เมื่อผสมส่วนน้ำและส่วนผง มอนอเมอร์จะทำปฏิกิริยาต่อกันกลายเป็นพอลิเมอร์ เรียกปฏิกิริยานี้ว่า พอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ซึ่งปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของอะคริลิกนี้ จะไม่มีการขับโมเลกุลเล็กๆออกมาในภายหลัง เรียกปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบนี้ว่า พอลิเมอร์ไรเซชันแบบลูกโซ่หรือแบบเติม (chain or addition polymerization) เริ่มจากตัวกระตุ้นที่กระตุ้นตัวเริ่มต้น ได้ตัวแทนที่ (initiator fragment radical) ทำปฏิกิริยาเปลี่ยนพันธะคู่ของคาร์บอนมอนอเมอร์ (C=C) เป็นพันธะเดี่ยว (C-C) แล้วให้อนุมูลของมอนอเมอร์ซึ่งมีแอกทีฟ เซนเตอร์ (active center) ติดท้ายพร้อมจะทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์อื่นเป็นสายโซ่ต่อไปโดยลักษณะการจับตัวพอลิเมอร์ของอะคริลิกเป็นโครงสร้างแบบเส้นตรง (linear structure) (เจน รัตนไพศาล, 2533) จากการศึกษาพบอะคริลิก เรซิน มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวมากกว่าพันประมาณ 10 เท่า และหดตัว 6-10 เปอร์เซ็นต์ (Newman, 1965)

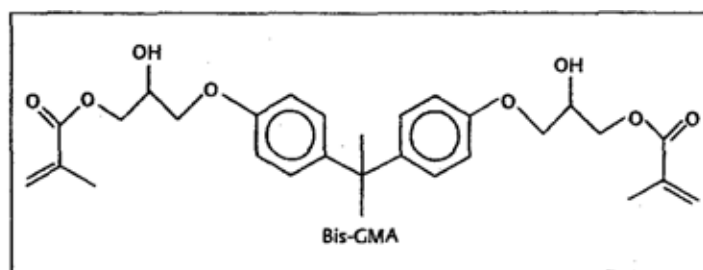
2. วัสดุยึดติดประเภทไดอะคริเลต เรซิน (Diacrylate resin) เป็นอะคริลิกที่ถูกดัดแปลงด้วยเรซินอีพ็อกซี (Epoxy resin) ที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่าเรซิน บิส จีเอ็มเอ (Bis-GMA : Bisphenol a Glycidyl dimethacrylate) หรือเรซิน ของโบเวน (Bowen's resin) (Bowen, 1963) ซึ่งมีทั้งในรูปมีและไม่มีสารเติม แต่ที่นิยมนำมาเป็นสารยึดติดทางทันตกรรมจัดฟันได้แก่ ไดอะคริเลต เรซินชนิดที่มีสารเติม หรือที่เรียกว่า เรซิน คอมโพสิต (หมายถึง วัสดุที่เกิดจากของที่แตกต่างกันมารวมกัน มีวิฤภาคคงตัว ไม่ทำปฏิกิริยาต่อกัน คงลักษณะเฉพาะทางกายภาพของ

สารนั้นในที่นี้คือพอลิเมอร์และวัสดุอุดแทรก) ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก(Brantley and Eliades, 2001) ได้แก่

2.1 ส่วนอินทรีย์วัฏภาคหรือเมทริกซ์อินทรีย์สาร (organic phase, organic matrix)

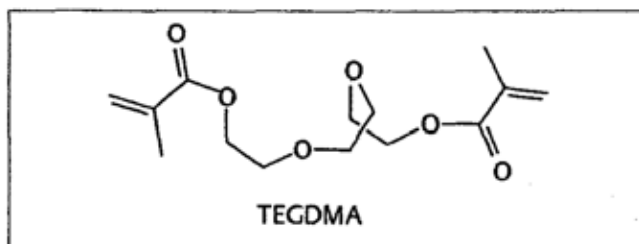
2.1.1 มอนอเมอร์ชนิดต่างๆ ได้แก่ อะโรมาติกหรือยูรีเทน

ไดเมทาไครเลต (aromatic or urethane dimethacrylate) ซึ่งส่วนใหญ่เป็น อะโรมาติก ไดเมทาไครเลต มอนอเมอร์ ได้แก่ บิส จีเอ็มเอ (Bis-GMA: bis-glycidyl methacrylate ชื่อเต็มคือ 2,2-bis[4(2-hydroxy-3-methacryloxy-propyloxy)phenyl]-propane



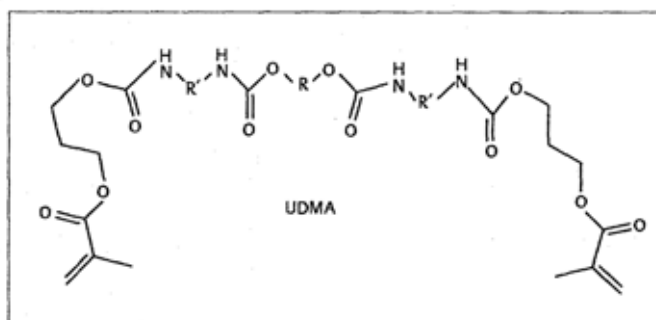
ภาพที่ 1 โครงสร้างของ 2,2-bis[4(2-hydroxy-3-methacryloxy propyloxy)phenyl] propane (Brantley and Eliades 2001)

2.1.2 สารมอนอเมอร์ลดความหนืด (diluent) เนื่องจาก บิสจีเอ็มเอ มีความหนืดสูง จึงมีการเติมมอนอเมอร์บางชนิดผสมให้ใสขึ้น ได้แก่ ไดเอทิลลีน ไกลคอล ไดเมทาคริเลต (diethylene glycol dimethacrylate: DEGMA) หรือ ไตรเอทิลลีน ไกลคอล ไดเมทาคริเลต (triethylene glycol dimethacrylate: TEGDMA) ซึ่งสูตรตัวอย่างได้แก่ บิส จีเอ็มเอ 75 เปอร์เซ็นต์ และ ทีอีจีดีเอ็มเอ 25 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 2 โครงสร้างของ triethylene glycol dimethacrylate (Brantley and Eliades 2001)

เรซิน คอมโพสิตบางยี่ห้อที่ใช้โมโนเมอร์ระบบอื่น เช่น บางส่วนหรือทั้งหมดของบิส จีเอ็มเอ ถูกแทนที่ด้วย อะลิฟาติก หรือ อะโรมาติก ยูรีเทน ไดเมทาคริเลต (aliphatic or aromatic urethane dimethacrylate: UDMA) ซึ่งมีความหนืดน้อยกว่า จึงลดส่วนผสมของทีอีจีดีเอ็มเอลง เพิ่มประสิทธิภาพการบ่มตัวด้วยแสง คุณค่าน้ำน้อยลง แข็งแรงขึ้น สูตรตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ คือ 50 ต่อ 50 โดยน้ำหนักของ ยูรีเทน ไดเมทาคริเลต และทีอีจีดีเอ็มเอ



ภาพที่ 3 โครงสร้างของ urethane dimethacrylate (Brantley and Eliades, 2001)

2.1.3 สารเริ่มปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (initiators) และสารกระตุ้น (activators) ตามระบบการบ่มปฏิกิริยา

2.2 ส่วนอนินทรีย์วิภาคหรือส่วนวัสดุอัดแทรก (inorganic phase) เป็นวัสดุอัดแทรกที่อยู่ในสภาพเฉื่อยมีหลายชนิด เช่น พวกเซรามิกออกไซด์ (ceramic oxide) ได้แก่ ซิลิกา (silica) อะลูมินา (alumina) ควอตซ์ (quartz) ลิเทียม อะลูมินัม ซิลิเกต (lithium aluminum

silicate) ซึ่งมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเป็นศูนย์ หรือ แบริยม (barium glass) สทรอนเทียม (strontium glass) ที่ทึบแสง ซึ่งปัจจุบันมักใส่วัสดุอัดแทรกที่แข็งขึ้นและอัตราส่วนมากขึ้นเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและลดการหดตัวหลังเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน

นอกจากนี้ มีสารเชื่อมติด (coupling agent) เนื่องจากวัสดุทั้งสองวัสดุนี้ไม่ยึดเกาะกัน (Soderholm and Shang, 1993) ดังนั้นจึงมีการปรับสภาพวัสดุอัดแทรกก่อนด้วยการใช้สารเชื่อมติด ประเภทเมทิล (methyl) ไวนิล (vinyl) หรือ อีพ็อกซี ไฮไลน (Epoxy silane) ซึ่งสารดังกล่าวนี้ปลายด้านหนึ่งของโครงสร้างจะเป็นซิล็อกเซน (siloxane) ซึ่งจะยึดกับกลุ่มไฮดรอกซิลในวัสดุอัดแทรก ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันกับ มอนอเมอร์ต่างๆในส่วนเมทริกซ์

การเกิดพอลิเมอไรเดอะคริเลตเรซินเป็น ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน เป็นแบบ เดิม เช่นเดียวกับเรซิน อะคริลิก โดยพอลิเมอร์ของไดอะคริเลตเรซินมีการจับตัว กันเป็นโครงสร้าง 3 มิติ ทำให้มีความแข็งแรงกว่า ควบแน่นอยู่ หดตัวภายหลังการเกิดพอลิเมอไรเดต่ำกว่า (Reynolds, 1975) ขยายตัวเมื่อถูกความร้อนน้อยกว่าและสะท้อนสีเคลือบฟันได้ดีกว่าเรซิน อะคริลิก (เจน รัตนไพศาล , 2533) และจากการศึกษาพบว่า ไดอะคริเลต เรซิน ชนิด บิส จีเอ็มเอ ที่มีวัสดุอัดแทรกมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุดและเป็นวัสดุยึดติดที่แข็งแรงที่สุดสำหรับยึดแบรคเก็ตโลหะ (Zachrisson and Brobakken, 1978; Jost-Brinkmann, Schiffer et al., 1992) ส่วนเรซิน อะคริลิกมีความเหมาะสมในการยึดแบรคเก็ตพลาสติก ซึ่งวัสดุอัดแทรกในคอมโพสิต เรซิน มีขนาดต่างๆกัน ชนิดที่ใสอนุภาคควอทซ์หรือแก้วซิลิกาหยาบ ขนาดใหญ่ต่างๆกันตั้งแต่ 3 ถึง 20 ไมโครเมตร จะมีความต้านทานต่อการสึกสูง (Brobakken and Zachrisson, 1981) สำหรับชนิดที่ใสวัสดุอัดแทรกขนาดเล็กที่มีอนุภาคเท่าๆกัน คือ 0.2 และ 0.3 ไมโครเมตร จะมีพื้นที่เรียบกว่าและการสะสมของคราบจุลินทรีย์น้อยกว่า (Zachrisson and Brobakken, 1978) Brantley และ Eliades (Brantley and Eliades, 2001) กล่าวถึงการรวมเอาข้อดีของวัสดุอัดแทรกที่มีขนาดใหญ่และขนาดเล็กโดยมีขนาดอยู่ในช่วง 0.5-5 ไมโครเมตร เรียกว่าวัสดุที่มีความหลากหลายของขนาดและรูปร่างของวัสดุอัดแทรกนี้ว่าไฮบริด (hybrid) และการพัฒนาของเทคโนโลยีทำให้เพิ่มการบดและการกระจายของวัสดุอัดแทรก ทำให้สามารถใส่วัสดุอัดแทรกได้มากถึง 87 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หรือ 70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

การแบ่งชนิดวัสดุยึดติดประเภทไดอะครีเลต เรซิน ตามลักษณะการบ่ม ปฏิกิริยา (Brantley and Eliades, 2001)

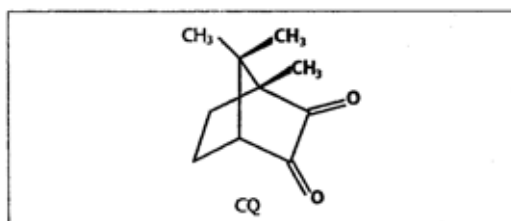
1. เรซินชนิดบ่มด้วยสารเคมีหรือบ่มเอง (Chemically activated orthodontic adhesive systems, Auto-cured, Self-cured): มีเบนโซอิล เปอร้ออกไซด์เป็นสารตั้งต้น เทอเทียรีอะโรมาติก เอมีน เป็นตัวกระตุ้น เช่น ไดเมทิล พี โทลูดีน (dimethyl-p-toluidine) หรือ ไดไฮดรอกซีเอทิล พี โทลูดีน (dihydroxyethyl-p-toluidine) แบ่งตามลักษณะการใส่ 2 ระบบ ได้แก่

ชนิดผสม (two-paste): เป็นระบบแรก ที่ใช้ในการยึดติดเค รื่องมือจัดฟัน โดยตรงกับผิวฟัน การเกิดพอลิเมอร์เริ่มขึ้นเมื่อผสมส่วนผงกับส่วนน้ำ เนื่องจากขั้นตอนการใช้อาศัยวิธีการผสมจึงต้องใช้เวลา และอาจก่อให้เกิดข้อบกพร่อง ได้แก่ รั่วซึมที่พื้นผิว มีฟองอากาศในเนื้อวัสดุ ตัวอย่างวัสดุ เช่น Concise (3M)

ชนิดไม่ผสม (one-paste, no-mix adhesive): วัสดุจะแข็งตัวภายใต้แรงกดเมื่อส่วนครีมที่ป้ายวัสดุยึดติดที่ฐานแบรคเก็ตแล้วนำไปติดบนตัวฟันที่เตรียมไว้สัมผัสกับ ส่วนเหลว (liquid) ซึ่งทาบนผิวเคลือบฟันที่กัดด้วยกรดแล้วและฐานแบรคเก็ต จะเกิดการแข็งตัวของ วัสดุ ลักษณะแบบแซนวิช คือมีวัสดุส่วนครีม อยู่ตรงกลางระหว่างส่วนเหลว บนฐานแบรคเก็ตและผิวฟัน ปกติติดประมาณ 30-60 วินาที เช่น Rely-a-bond (Reliance Orthodontics) System1+ (Ormco Corporation) ถึงแม้ว่าชนิดไม่ผสมจะเป็นการลดขั้นตอนของระบบผสมลง แต่มีรายงานข้อมูลการเปรียบเทียบกำลังแรงยึดเทียบกับระบบเดิมอยู่น้อย และนอกจากนี้ ในส่วนเหลวของระบบไม่ผสม มีรายงานความเป็นพิษอย่างมาก (Fredericks, 1981; Thompson, Miller et al., 1982)

2. เรซินชนิดบ่มด้วยแสง (Light-cured bonding systems) เป็นวัสดุชนิดไม่ผสม และเป็นระบบสารยึดติดที่เป็นที่นิยมที่สุดของทันตแพทย์จัดฟัน (Keim, Gottlieb et al., 2002) ซึ่งในช่วงแรก ใช้เรซินที่บ่มตัวด้วย รังสีเหนือม่วง หรืออัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) ในการกระตุ้นปฏิกิริยา มีการนำมา ใช้ในการอุดหลุมร่องฟัน อุดฟัน และ ติดแบร็กเกตกับผิวฟัน (Brown, 1988) แต่ความนิยมในระบบ บยึดติดนี้มีเพียงช่วงเวลาหนึ่ง เนื่องจากอาศัยระยะเวลาในการบ่มปฏิกิริยานานถึง 90 วินาที และแสงเหนือม่วงมีความสามารถในการส่องผ่านตัวฟันต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้แบร็กเกตพลาสติก หรือแบร็กเก็ตที่มีรูพรุน (Read, 1984) และยังมีรายงานถึงอันตรายจากรังสีเหนือม่วงทั้งต่อผิวหนังและดวงตา (Birdsell, Bannan et al., 1977)

จากข้อเสียของรังสีเหนือม่วง มีการพัฒนาใช้แสงที่มองเห็นได้ (visible light) ในการบ่มปฏิกิริยาการแข็งตัวของคอมโพสิต เรซิน ซึ่งมีสารตั้งต้นปฏิกิริยาไวแสง (photoinitiator) ได้แก่ เบนซิล (benzyl) หรือ แคมฟอโรควิโนน (camphoroquinone) และ ตัวรีดิวซ์เอมีน (reducing agent) เช่น ไดเมทิล อะมิโน เอทิล เมทาคริเลต (dimethyl- amino-ethyl- methacrylate: DMAEMA) เป็นตัวกระตุ้น



ภาพที่ 4 โครงสร้างของ camphoroquinone (Brantley and Eliades, 2001)

อัตราส่วนของสารไวแสงแคมฟอโรควิโนนอยู่ในช่วง 0.17-1.03 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วน DMAEMA อยู่ในช่วง 0.86-1.39 เปอร์เซ็นต์ Tavas and Watts เป็นบุคคลแรกที่นำเรซินคอมโพสิต ชนิดบ่มด้วยแสงที่ตามองเห็นมาใช้ติดแบร็กเกต ต่กับผิวฟันทางทันตกรรมจัดฟัน และแม้การ บ่มด้วยแสงอาจเป็นปัญหาในการใช้ยึดติดแบร็กเกต ต่โลหะ แต่ แสงที่ส่องผ่านฟันก็สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ได้(Tavas and Watts, 1979)

ข้อดีของคอมโพสิต เรซินที่บ่มปฏิกิริยาด้วยแสงที่ตามองเห็นเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดบ่มปฏิกิริยาด้วยสารเคมี ได้แก่ เป็นการใช้งา ระบบไม่ผสม ควบคุมเวลาการทำงานได้ กำหนดเวลาแข็งตัวได้ตามต้องการ ทำให้ มีเวลาเพียงพอที่จะจัดวางแบร็กเกตให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องและสามารถกำจัดวัสดุส่วนเกินรอบๆฐานแบร็กเกตออกทำให้ไม่เป็นที่สะสมของเศษอาหาร และแผ่นคราบจุลินทรีย์(Tavas and Watts, 1979) และเนื่องจากการเกิดพอลิเมอร์อย่างรวดเร็วของวัสดุ เมื่อได้รับแสงความยาวคลื่นที่เหมาะสมและ ฉายแสงตามเวลาที่กำหนด วัสดุจะแข็งตัวสามารถใส่ลวดโค้งได้ทันทีหลังการติดแบร็กเกต ต่(Read, 1984) นอกจากนี้การศึกษา ความแข็งแรง การยึดติดทนแรงเฉือน พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างเรซินคอมโพสิต ที่บ่มด้วยแสงและที่บ่มทางเคมี(Tavas and Watts, 1984; Knoll, Gwinnett et al., 1986; O'Brien, Read et al., 1989) และพบอัตราการยึดอยู่มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ทั้งวัสดุยึดติดเรซินที่แข็งตัวด้วยแสงและบ่มทางเคมีเมื่อใช้ติดแบร็กเกตกับผิวฟัน(Sonis, 1988; O'Brien, Read et al., 1989)

ชนิดของแหล่งกำเนิดแสงของวัสดุยึดติดเรซินที่บ่มตัวด้วยแสงที่มองเห็น

(Graber and Vanarsdall, 2005; Eliades, 2010)

1. แสงฮาโลเจน เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปในการให้แสงสีฟ้า แสงจากหลอดฮาโลเจนมาจากการได้รับพลังงานไฟฟ้าเข้ากระตุ้นหลอดทั้ง สเตนให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น มี แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดไฟฮาโลเจนที่ทำด้วยควอทซ์ เช่น Ortholux XT, 3M/Unitek โดยมีการศึกษาแนะนำระยะเวลาการฉายแสง 20 หรือ 40 วินาที (Oesterle, Messersmith et al., 1995; Sfondrini, Cacciafesta et al., 2001) เนื่องจากต้องการลดระยะเวลาการฉายแสง มีการใช้เครื่องฉายฮาโลเจนที่ปล่อยความเข้มแสงสูงมากกว่า 1000 mW/cm^2 เช่น Optilux 501 หรือ Dematron จาก Kerr, Orange, California แต่อย่างไรก็ตาม หลอดฮาโลเจนมีข้อเสียอยู่หลายอย่าง เช่น พลังงานแสงที่ปล่อยออกมา น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานไฟฟ้า ที่รับเข้าไป และอายุการใช้งานที่ จำกัดประมาณ 100 ชั่วโมงเนื่องจากการเสื่อมของหลอดจากความร้อนที่เกิดขึ้น
2. อาร์กอน เลเซอร์ (Argon laser) ให้แสงที่ระดับความเข้ม $700\text{-}1000 \text{ mW/cm}^2$ ที่ความยาวคลื่นสเปกตรัมเดียว (monochromatic) ได้แก่ 454, 458, 466, 472, 477, 488 และ 497 นาโนเมตร มีราคาสูง และมีอายุการใช้งานยาวนาน จากการศึกษพบว่าเมื่อฉายแสงด้วย อาร์กอน เลเซอร์ 5 วินาที ให้ค่าความ แข็งแรงการยึดอยู่เทียบเท่าแสงฮาโลเจน (Talbot, Blankenau et al., 2000) แต่ไม่มีความนิยมการใช้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากราคาที่สูงและความลำบาก ในการพกพา
3. แสงพลาสมา อาร์ค (Plasma arc light) มีให้หลอดที่แอโนดเป็นทั้งสเตนและ แคโทดเป็นควอทซ์ ภายในหลอดบรรจุด้วยก๊าซซีนอน (xenon gas) เมื่อได้รับ กระแสไฟฟ้าผ่านซีนอน เกิดแสงจ้าสีขาวและจะมีการกรองให้เป็นแสงสีฟ้า ช่วงความยาวคลื่น 450-500 นาโนเมตร เมื่อเทียบกับ บฮาโลเจน พลาสมา อาร์คมีความเข้มแสงสูงมาก คือ $1600\text{-}2100 \text{ mW/cm}^2$ มีอายุการใช้งานถึง 5000 ชั่วโมง และมีราคาสูงกว่ามาก จากการศึกษการใช้แสงพลาสมาเมื่อ ฉาย 5 และ 10 วินาที พบว่าสามารถใช้บ่มปฏิกิริยาวัสดุยึดติดโดยให้ค่า ความ

แข็งแรงการ ยึดติดทนแรง เหมือนไม่ต่างจากการ ใช้หลอดไฟฮาโลเจนเมื่อฉายแสง 20 วินาที (Sfondrini, Cacciafesta et al., 2001) และมีการแนะนำการฉายแสง 6 วินาทีในการใช้เครื่องฉายแสงพลาสมา อาร์ค (Klocke, Korbmacher et al., 2002)

4. แสงไดโอด (Light-emitting diodes; LED) เป็นแหล่งกำเนิดแสงล่าสุดที่แนะนำให้ใช้ในปัจจุบัน มีการแนะนำเทคนิคนี้ในการกระตุ้นการบ่มปฏิกิริยามีข้อดีเหนือหลอดฮาโลเจน (Mills, Jandt et al., 1999) ไดโอดเปล่งแสงเป็นสารกึ่งตัวนำที่สามารถเปล่งแสงในช่วงสเปกตรัมแคบช่วงความยาวคลื่น 410-500 นาโนเมตร มีอายุการใช้งานมากกว่า 10,000 ชั่วโมงและมีการเสื่อมถอยของแสงน้อยตลอดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ LED ยังไม่ต้องอาศัยตัวกรองแสงและใช้กำลังน้อยในการปฏิบัติงาน ดังนั้นจึงสามารถใช้แบตเตอรี่แบบชาร์จใหม่ได้หลายครั้ง (rechargeable batteries) ทำให้สามารถออกแบบรูปร่างลักษณะให้มีความกะทัดรัด สะดวกต่อการใช้งานและมีน้ำหนักเบา เช่น Elipar Freelight, 3M/ESPE และในปัจจุบันมี LED รุ่นใหม่ที่มีความเข้มแสงเพิ่มขึ้นที่สามารถลดระยะเวลาการฉายแสงลงได้ เช่น Ortholux LED 3M/Unitek ที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำว่าสามารถฉายแสง 10 วินาทีสำหรับแบร็กเกตโลหะ และ 5 วินาทีสำหรับแบร็กเกตเซรามิก

3. Dual-cured systems: เป็นการรวมข้อดีของการเริ่มพอลิเมอไรเซชันทันทีเมื่อกระตุ้นปฏิกิริยาด้วยแสง และมีการบ่มตัวทั้งก่อนของวัสดุจากปฏิกิริยาเคมีที่ แต่อย่างไรก็ตาม มีขั้นตอนการใช้ที่อาศัยเวลานาน เนื่องจากมีทั้งขั้นตอนการผสมและการฉายแสง

สารยึดติดหรือบอนด์ติง (bonding agents) เป็นสารที่ถูกทาที่เคลือบฟันภายหลังจากการถูกรัดกัดและเป่าแห้ง โดยสารนี้มีความต่างจากเรซิน คอมโพสิตตรงที่ไม่มีวัสดุอุดแทรก (Unfilled resin) และมีการเพิ่มส่วนประกอบมอนอเมอร์ร่วม (comonomer) เช่น TEGDMA เทียบกับมอนอเมอร์ ซึ่งทำให้เรซินนี้มีความหนืดต่ำ ดังนั้นจึงมีความสามารถเหนือกว่าในการซึมสู่แท่งเคลือบฟัน (enamel rod) ส่งผลพัฒนาความแนบของลักษณะผิวสัมผัสระหว่างผิวเคลือบฟันกับวัสดุยึดติดเรซิน (Brantley and Eliades, 2001)

ส่วนประกอบของวัสดุยึดติดที่บ่มปฏิกิริยาด้วยแสงที่ตามองเห็น ยี่ห้อ Transbond XT ของบริษัท 3M/Unitek สหรัฐอเมริกา ที่ใช้ในการศึกษานี้ (Horiuchi, Kaneko et al., 2009; Retamoso, Collares et al., 2009)

1. สารบอนด์ดีนิงหรือไพรเมอร์ (bonding agent, primer) ได้แก่ TEGDMA (45–55%), Bis-GMA (45–55%)
2. เฟสท์ (paste) มีลักษณะเป็นครีมข้น ได้แก่ BisGMA/TEGDMA (10–20%), silane-treated quartz (70–80%), amorphous silica, Camphoroquinone

ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนและระดับการบ่มของวัสดุยึดติดเรซินที่เกี่ยวข้องกับการฉายแสง

1. ชนิดของเครื่องฉายแสง

ดังที่กล่าวมาแล้ว มีแหล่งกำเนิดแสงหลายชนิดที่ นำมาใช้การกระตุ้นการบ่มปฏิกิริยาของวัสดุยึดติด ซึ่งแต่ละชนิดของเครื่องฉายแสง มีความเข้มแสงต่างกัน ดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่นต่างกัน ดังนั้นระยะเวลาการฉายแสงที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนและระดับการบ่มของวัสดุยึดติดเรซินที่เพียงพอจึง ึ่งต่างกัน โดยการวิจัยนี้เลือกแหล่งกำเนิดแสงชนิด LED ในการศึกษาความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน และระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติดเรซิน

Dunn และ Taloumis (Dunn and Taloumis, 2002) ศึกษาความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนของเครื่องฉายแสง LED ยี่ห้อ LumaCure และ VersaLux ที่มีความเข้มแสง 150 mW/cm^2 กับเครื่องฉายแสงฮาโลเจน ยี่ห้อ Optilux 501 และ ProLite ที่มีความเข้มแสง 1030 และ 400 mW/cm^2 พบว่าเมื่อฉายแสง 40 วินาทีในทุกกลุ่มทดลอง ค่ากำลังแรงยึดเฉือนไม่แตกต่างกัน

Usumez และคณะ (Usumez, Buyukyilmaz et al., 2004) ศึกษาการใช้แหล่งกำเนิดแสง LED (Elipar Freelight, 3M) ที่มีความเข้มแสง 400 mW/cm^2 พบว่าเมื่อฉายเป็นเวลา 20 และ 40 วินาที มีความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนไม่แตกต่างกับการฉายแสงด้วยหลอดไฟฮาโลเจน (XL 3000, 3M) ที่มีความเข้มแสง 550 mW/cm^2 เป็นเวลา 40 วินาที และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่า ARI score ระหว่างกลุ่ม ซึ่งส่วนใหญ่ทั้งหมดของวัสดุยึดติดติดอยู่ที่ผิวฟันภายหลังการยึดติดล้มเหลว

Rego และ Romano(Rego and Romano, 2007) ศึกษาโดยใช้เครื่องฉายแสง Ortholux LED ที่มีความเข้มแสง 1000 mW/cm^2 พบว่าเมื่อฉายแสง 40, 10 และ 5 วินาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนกับการฉายด้วยเครื่องฉายแสงฮาโลเจนที่มีความเข้มแสง 600 mW/cm^2 เมื่อฉายแสง 40 วินาที ต่างจากการศึกษาของ Mavropoulos และคณะ(Mavropoulos, Staudt et al., 2005) ที่พบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อฉายด้วย Ortholux LED 5 วินาที แต่ไม่แตกต่างเมื่อฉาย 10 วินาที และมีการศึกษาพบอัตราการยึดติดแบร็กเก็ตล้มเหลวทางคลินิกเมื่อฉายด้วยแสง LED (Ortholux LED) 10 วินาที ไม่แตกต่างจากการฉายแสงฮาโลเจน (Ortholux XT) 20 วินาที (Koupis, Eliades et al., 2008)

Niepraschk และคณะ(Niepraschk, Rahiotis et al., 2007) ศึกษาระดับการบ่มของวัสดุยึดติด พบมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงต่างชนิดกัน โดยการฉายด้วยแสงฮาโลเจนที่มีความเข้มแสง 20 วินาที มีค่าระดับการบ่มตัวสูงกว่าเมื่อฉายด้วยแสงพลาสมา อาร์คและ LED 10 วินาที

2. ความเข้มแสงของเครื่องฉายแสง

Rueggeberg และคณะ(Rueggeberg, Caughman et al., 1994) แนะนำความเข้มแสงที่น้อยที่สุด 400 mW/cm^2 ในการกระตุ้นปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเรซิน คอมโพสิต

Staudt และคณะ(Staudt, Krejci et al., 2006) ศึกษาการฉายแสงจากเครื่องฉายแสงฮาโลเจนที่มีความเข้มแสงต่างๆกัน พบว่าความแข็งแรง การยึดติดทนแรงเฉือน เพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มแสงของเครื่องฉายแสง โดยมีความสัมพันธ์กันตามโมเดลเอกซ์โปเนนเชียล โดยมีความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน อิมิต์วที่ความเข้มแสง 4000 mW/cm^2 ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องเพิ่มความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงขึ้นอีก และจากการศึกษา ARI scores ภายหลังการยึดติดล้มเหลว พบว่าเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น การยึดอยู่ระหว่างแบร็กเก็ตและวัสดุยึดติดมีมากขึ้น สอดคล้องกับ Mavropoulos และคณะ(Mavropoulos, Cattani-Lorente et al., 2008) ศึกษาพบ ค่ากำลังแรงยึดเฉือน เพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มแสงของเครื่องฉายแสง โดยความเข้มแสงมากที่สุดที่มีประโยชน์ของเครื่องฉายแสงคือ 3000 mW/cm^2

Kauppi และ Compe(Kauppi and Combe, 2003) ศึกษาระดับการบ่มโดยการ ใช้เครื่องฉายแสง ฮาโลเจนความเข้มแสงสูง (มากกว่า 1000 mW/cm^2) เทียบกับฮาโลเจนดั้งเดิม

Ortholux XT ที่มีความเข้มแสง 440 mW/cm^2 พบค่าระดับการบ่มตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ต่างจากคุณสมบัติเชิงกล พบการฉายแสงความเข้มสูงให้ค่าความแข็งมากกว่าในระยะเวลาฉายแสงที่น้อยกว่า

3. ระยะเวลาการฉายแสง

Wang และ Meng (Wang and Meng, 1992) พบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนเมื่อฉายแสงเป็นเวลา 40 และ 60 วินาที ด้วยแสงฮาโลเจน มีค่าสูงกว่าวัสดุยึดติดที่บ่มตัวทางเคมีและวัสดุยึดติดที่บ่มตัวด้วยแสงเมื่อฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาทีอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับการศึกษาการใช้แหล่งกำเนิดแสง LED พบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการฉายแสง (Swanson, Dunn et al., 2004; Usumez, Buyukyilmaz et al., 2004; Mavropoulos, Staudt et al., 2005)

Eliades และคณะ (Eliades, Eliades et al., 1995) พบค่าระดับการบ่มของวัสดุยึดติดเรซินเพิ่มขึ้นทันทีภายหลังการฉายแสงฮาโลเจน 20 วินาที เมื่อฉายแสง 40 และ 60 วินาที ค่าระดับการบ่มเพิ่มขึ้นแต่ในปริมาณที่น้อยกว่า Kauppi และ Combe (Kauppi and Combe, 2003) พบค่าระดับการบ่มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้ แสงฮาโลเจน (ทั้งชนิดดั้งเดิมและชนิดความเข้มแสงสูง) ฉายจาก 3 วินาที เป็น 20 วินาที เช่นเดียวกับ Niepraschk และคณะ (Niepraschk, Rahiotis et al., 2007) พบการฉายแสง LED 20 วินาที มีค่าระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติดเรซินสูงกว่าฉาย 10 วินาที อย่างมีนัยสำคัญ

4. ระยะห่างของแนวนำแสงกับแบร์กเกต

Cacciafesta และคณะ (Cacciafesta, Sfondrini et al., 2005) พบเมื่อฉายแสง LED ที่ 6 มม. ให้ความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนน้อยกว่าที่ 0 มม. อย่างมีนัยสำคัญ

Koupis และคณะ (Koupis, Eliades et al., 2008) พบอัตราการหลุดของแบร์กเกตพื้นหลังมากกว่าพื้นหน้าอย่างมีนัยสำคัญ โดยส่วนหนึ่งมาจากพื้นหลังมีความยากต่อการเข้าถึงมากกว่าในขั้นตอนการติดแบร์กเกต

5. ขนาดและชนิดของแนวนำแสงของเครื่องฉายแสง

Frost และคณะ(Frost, Norevall et al., 1997) พบไม่มีความแตกต่างของความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนอย่างมีนัยสำคัญระหว่างขนาดแนวนำแสงปกติ 11 มม. และ ขนาดกว้างรูปไข่ 19 มม. อย่างไรก็ตาม ขนาดแนวนำแสงที่ใหญ่กว่าสามารถลดระยะเวลาการฉายแสงลงได้

Evans และคณะ(Evans, Peters et al., 2002) ศึกษาการใช้แนวนำแสงที่มีลักษณะขนานสามารถช่วยเพิ่มระดับความเข้มแสง ดังนั้นจึง สามารถลดระยะเวลาฉายแสงบ่มปฏิกิริยาได้

6. วิธีการฉายแสง (mode of emission) เช่น ฉายต่อเนื่องคงที่ เริ่มด้วยแสงความเข้มต่ำ เพิ่มความเข้มแสงเป็นระดับ เป็นต้น(Rahiotis, 2010)

7. ทิศทางการฉายแสง

เนื่องจากข้อจำกัดในการทะลุทะลวงของแสงเมื่อใช้ปมวัสดุเรซินในกา รยึดติดแบร์ริกเกตโลหะ ในทางปฏิบัติจึงใช้แสงส่องผ่านฟันไปยังวัสดุเรซินซึ่งอยู่ใต้ฐานแบร์ริกเกตจากทิศทางต่างๆ โดย Tavas และ Watts(Tavas and Watts, 1979) เป็นบุคคลแรกที่นำเรซิน คอมโพสิต ชนิดบ่มตัวด้วยแสงที่ตามองเห็นมาใช้ยึดแบร์ริกเกตกับผิวฟัน ด้วยวิธีการฉายแสงส่องผ่านฟัน (transillumination) โดยวางแนวนำแสง 45 องศา ต่อด้านบดเคี้ยวของฟันแต่ละซี่ ดังนั้นแสงจะส่องผ่านภายในลักษณะรูปลิ้มของปุ่มฟันด้านแก้ม และเมื่อทดสอบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนพบว่ามีความเพียงพอต่อแรงทางทันตกรรมจัดฟัน

Tavas และ Watts(Tavas and Watts, 1984) ทำการศึกษาพบว่าความแข็งแรงการยึดอยู่ทนแรงเฉือนของแบร์ริกเกตโลหะกับผิวฟันเมื่อใช้เรซิน คอมโพสิตที่บ่มตัวด้วยแสงโดยฉายแสงส่องผ่านฟันไม่มีความแตกต่างจากเรซิน คอมโพสิตที่บ่มตัวทางเคมี

Cheng และคณะ(Cheng, Ferguson et al., 1989) ศึกษาความแข็งพื้นผิวเพื่อศึกษาระดับปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน พบว่าเมื่อฉายแสงผ่านฟันโดยทดลองฉายแสงจากด้านบนปลายฟัน โดยมีแบบหล่อทรงกรวยบอกลักษณะกันแสงจากเครื่องฉายแสงต่อวัสดุยึดติดทั้งหมด มีค่า

น้อยกว่าฉายแสงโดยตรงแม้เพิ่มระยะเวลาเป็น 60 วินาทีก็ตาม และยังพบว่าความแข็งแรงผิวค่อยๆ ลดลงจากด้านปลายฟันมายังด้านคอฟัน

Oesterle และ Shellhart(Oesterle and Shellhart, 2001) แนะนำการฉายแสง ทิศทางผ่านฟันทางด้านใกล้ลิ้น วิธีนี้แนะนำเพื่อฉายแสงบ่มวัสดุอุดที่มีโลหะปะกคลุมเรซินคอมโพสิต เช่น ยึดฟันปลอมบางส่วนติดแน่น หรือ ติดแบร็กเกตโลหะ ซึ่งพบว่าความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเค้นมีค่าลดลงเมื่อฉายแสงผ่านฟันทางด้านใกล้ลิ้น และสรุปว่าหากต้องการฉายแสงผ่านฟันหน้าบนทางด้านลิ้นควรเพิ่มระยะเวลาการฉายแสงจาก 40 วินาที เป็น 50 วินาที

Joiner(Joiner, 2004) กล่าวถึงคุณสมบัติทางแสง (optical properties) ของฟันว่าเมื่อแสงตกกระทบที่ ฟัน แสงอาจส่งผ่านฟัน หรืออาจสะท้อนที่พื้นผิว หรืออาจดูดกลืนและกระเจิงแสงภายในซี่ฟันได้ และ Lim และคณะ(Lim and Lee, 2007) พบว่าการสะท้อนแสงของฟันมีอิทธิพลกับระดับการบ่มของวัสดุยึดติดเรซินมากกว่าคุณสมบัติการส่งผ่านแสง (diffuse light transmittance) ของแบร็กเกต

ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตแนะนำให้ฉายแสงโดยให้แนวหน้าแสงอยู่ด้านข้าง และตั้งฉากกับซี่ฟัน (ด้านใกล้กลางและไกลกลาง) ห่างแบร็กเกตประมาณ 1-2 มม. สอดคล้องกับ Oesterle และคณะ(Oesterle, Messersmith et al., 1995) ที่แนะนำการฉายแสงที่เหมาะสมต่อวัสดุยึดติดบ่มตัวด้วยแสงว่าควรแบ่งระยะเวลาการฉายแสงให้เท่ากันโดยฉายแสงด้านใกล้กลาง 20 วินาทีและไกลกลาง 20 วินาที และการวิจัยต่างๆที่ใช้วิธีฉายแสงด้านใกล้กลางและไกลกลาง (Usumez, Buyukyilmaz et al., 2004; Mavropoulos, Staudt et al., 2005; Nisalak, Jaochakarasiri et al., 2006) แต่อย่างไรก็ตามมีการแนะนำการฉายแสงจากทั้ง 4 ด้าน (ด้านใกล้กลาง ไกลกลาง ด้านบนเคี้ยว และด้านใกล้เหงือก)(Wendl and Droschl, 2004)

Eliades และคณะ(Eliades, Eliades et al., 1995) ทำการศึกษาพบเมื่อฉายแสงโดยอ้อมจากด้านปลายฟันและด้านคอฟัน ด้านละ 10 วินาที ให้ค่าระดับการบ่มตัวของเรซินที่บ่มตัวด้วยแสงมากกว่าเมื่อฉายแสงโดยตรงผ่านแบร็กเกตโลหะด้านแก้ม 20 วินาทีอย่างมีนัยสำคัญ

Dall'Igna และคณะ(Dall'Igna, Marchioro et al., 2011) ศึกษาผลของเวลาของการฉายแสงที่มีต่อความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเค้น จากวิธีทดลองมีการเปลี่ยนทิศทางการฉายแสง ผลคือ เมื่อฉายด้วยแสง LED ที่มีความเข้มแสง 800 mW/cm^2 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อฉายแสง 5 วินาที (ฉายด้านปลายฟัน) 10 วินาที (ฉายด้านใกล้และไกล

กลางด้านละ 5 วินาที) และ 15 วินาที (จากทั้ง 3 ด้าน ด้านละ 5 วินาที) และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่า ARI score ในแต่ละกลุ่ม

ในการศึกษานี้ผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาปัจจัยทิศทางการฉายแสง จากการศึกษาที่ผ่านมา ยังไม่มีการศึกษาวิจัยถึงความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนระหว่าง แบริกเกตโลหะและผิวเคลือบฟันของวัสดุบ่มตัวด้วยแสง เมื่อฉายแสงในทิศทาง ที่แตกต่างออกไป โดยฉายแสงจากด้านแก้มผ่านแบริกเกตโลหะ และฉายเฉพาะด้านบดเคี้ยว

นอกจากนี้ การศึกษานี้จะทำการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน และระดับการบ่มภายหลังการฉายแสง 5 นาที และ 24 ชั่วโมง เนื่องจากการศึกษา พบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยหลังจากเริ่มบ่มตัว 5 นาที มีค่าประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ ของหลังจากบ่มตัว 24 ชั่วโมง (Tavas and Watts, 1984) สอดคล้องกับ การศึกษาที่พบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน มีค่าเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มระยะเวลาทดสอบหลังติดแบริกเกต และแนะนำระยะเวลา 5 นาทีหลังฉายแสงก่อนใส่ลวดจัดฟัน (Oesterle, Messersmith et al., 1995)

การศึกษาความแข็งแรงการยึดติดในภาวะเทียมนอกร่างกาย (in vitro bond strength testing)

ทดสอบค่าโดยใช้ฟันที่ถอนแล้วเพื่อเป็นแบบจำลองจำลองลักษณะที่เกิดขึ้นทางคลินิก โดยความแข็งแรงการยึดติดมักวัดจากความทนแรงเฉือนหรือความทนแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบสากล ซึ่งการทดสอบทั้ง 2 ชนิดเป็นการทดสอบที่มีความถูกต้องเหมาะสมในการศึกษาความแข็งแรงการยึดติดแบริกเกตทางทันตกรรมจัดฟัน โดยการศึกษานี้จะทำการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน หน่วยของความแข็งแรงการยึดติด ได้แก่ เมกะปาสคาล (MPa) หรือ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/mm^2) ซึ่งคือแรงยึดติด (bonding force) ทหารด้วยพื้นผิวยึดติด (bonding surface) และหลังการหลุดของแบริกเกตควรศึกษาตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว เนื่องจากอาจสามารถระบุสาเหตุของความล้มเหลวที่น่าจะเป็น ได้ ซึ่งตำแหน่งยึดติดล้มเหลวภายในเนื้อวัสดุ เรียกว่า การเชื่อมแน่นล้มเหลว (cohesive failure) การยึดติดล้มเหลวระหว่างฟันและวัสดุยึดติด หรือ วัสดุยึดติดและฐานแบริกเกต เรียกว่า การยึดไม่ติด (adhesive failure) และ

เปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งการยึดติดล้มเหลวพิจารณาได้จากดัชนีที่หลงเหลืออยู่ของวัสดุยึดติด (adhesive remnant index)(Powers, Kim et al., 1997)

การศึกษาปริมาณการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน : ระดับการบ่ม (degree of cure, degree of conversion: DC)

ระดับการบ่ม คือ ปริมาณการเปลี่ยนแปลงจากมอนอเมอร์ไปเป็นพอลิเมอร์ โดยระดับการบ่มของวัสดุเรซินคอมโพสิตเป็นการวัดปริมาณคาร์บอนพันธะคู่ของมอนอเมอร์ที่แปลงสภาพเป็นคาร์บอนพันธะเดี่ยว เพื่อประกอบเป็นพอลิเมอร์ในปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Brantley and Eliades, 2001)

วิธีในการวัดระดับการบ่มตัว(Rahiotis, 2010)

- วิธีโดยอ้อม ได้แก่ การวัดความแข็งผิวระดับจุลภาค (microhardness of the surface)
- วิธีโดยตรง ได้แก่ วิธีวิเคราะห์สเปกตรัมอินฟราเรด Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

การศึกษานี้จะทำการศึกษาระดับการบ่มโดยวิธีวิเคราะห์สเปกตรัมอินฟราเรด (FTIR) การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ นิยมนำมาใช้ตรวจสอบและศึกษาโมเลกุลของสาร โดยวัดจากการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง พิจารณาในช่วงอินฟราเรดของ แถบสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่วนกลับของความยาวคลื่น 4,000 ถึง 200 cm^{-1} เมื่อสารตัวอย่างถูกฉายด้วยรังสีอินฟราเรดจะเกิดการสั่นของพันธะโมเลกุล เปลี่ยนแปลงโมเมนต์ขั้วคู่ของโมเลกุล โมเลกุลจะดูดกลืนแสง จากนั้นวัดแสงที่ส่งผ่านออกมา เรียกว่าอินฟราเรด สเปกตรัม (IR spectrum) เนื่องจากพันธะที่ต่างกันจะเกิดการสั่นในช่วงความถี่ที่ต่างกัน ดังนั้นจะสามารถใช้ศึกษา พันธะโมเลกุลของสารได้ (Skoog, Holler et al., 1998; Boon, 2001)

ค่าระดับของการบ่มประเมินเป็นเปอร์เซ็นต์โดยพิจารณาที่ 2 ความถี่ส่วนกลับของความยาวคลื่น (wavelength) และใช้วิธีเส้นฐานสัมผัส แทนเจนต์(Rueggeberg, Hashinger et

al., 1990) ซึ่งการยืดหดของพันธะอะลิฟาติก (C=C) ที่ 1638 ต่อเซนติเมตร ถือเป็นความถี่วิเคราะห์ (analytical frequency) และการยืดหดของพันธะอะโรมาติก (C-C) ที่ 1605 ต่อเซนติเมตรซึ่งไม่ได้รับผลกระทบจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเป็นความถี่อ้างอิง (reference frequency)(Gioka, Bourauel et al., 2005) โดยทั่วไประดับการบ่มตัวของวัสดุเรซินมีค่าประมาณ 45-70 เปอร์เซ็นต์(Chung, 1990)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากร

ประชากรของการวิจัย คือ ฟันแท้ทุกซี่ของผู้ป่วยที่รับการรักษาทางทันตกรรม จัดฟันด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างของการวิจัย คือ ฟันกรามน้อยที่ถูกถอนจากผู้ป่วยซึ่งเข้ารับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันในคลินิกและโรงพยาบาลในเขตกรุงเทพมหานคร เป็นฟันที่ไม่มีพยาธิสภาพ ไม่มีรอยร้าว ไม่มีวัสดุบูรณะ และไม่เคยได้รับการเตรียมผิวฟันใดๆมาก่อน ระยะเวลาตั้งแต่ถูกถอนออกจากช่องปากไม่เกิน 6 เดือน โดยเก็บไว้ในสารละลายไทมอล 0.5 เปอร์เซ็นต์ แบ่งฟันดังกล่าวด้วยวิธีการจัดสรรแบบสุ่ม (random allocation) ออกเป็น 6 กลุ่ม เพื่อศึกษาทดสอบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนและและศึกษาตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว และอีก 1 ซี่ เพื่อศึกษาระดับการบ่มของวัสดุยึดติดเรซินที่บ่มตัวด้วยแสง

การคำนวณขนาดตัวอย่าง

จาก pilot

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

เมื่อทำการศึกษานำร่องการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนโดยมีกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 5 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งสามารถนำมาคำนวณค่ากลุ่มตัวอย่างได้ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้จากการศึกษานำร่องการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน

กลุ่ม	μ_1	S_1	S_1^2	μ_2	S_2	S_2^2	σ^2	$Z_{1-\alpha/2}$	$Z_{1-\beta}$	n
M+D/B	11.5505	0.56744	0.32	11.7191	2.35268	5.54	2.93	1.96	0.842	11.50
M+D/Oc	11.5505	0.56744	0.32	11.1905	2.64746	7.01	3.67	1.96	0.842	444.12
B/Oc	11.7191	2.35268	5.54	11.1905	2.64746	7.01	6.27	1.96	0.842	352.47

พบว่าจำนวนตัวอย่างในแต่ละกลุ่มที่ได้จากการคำนวณคือ 444 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่คำนวณได้จากตาราง แต่ด้วยข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ การเก็บซีพิน และเวลาในการทำงาน จึงกำหนดจำนวนตัวอย่าง $n = 12$ ในแต่ละกลุ่ม ในการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนและตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว

เมื่อทำการศึกษานำร่องการทดสอบระดับการบ่มของวัสดุยึดติดเรซินโดยมีกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 3 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งสามารถนำมาคำนวณค่ากลุ่มตัวอย่างได้ดังนี้

ตารางที่ 2 แสดงจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้จากการศึกษานำร่องการทดสอบระดับการบ่มของวัสดุยึดติด

กลุ่ม	μ_1	S_1	S_1^2	μ_2	S_2	S_2^2	σ^2	$Z_{1-\alpha/2}$	$Z_{1-\beta}$	N
M+D/B	66.1545	1.7312	3.00	63.2735	5.2816	27.90	15.45	1.96	0.842	29.22
M+D/Oc	66.1545	1.7312	3.00	60.7453	3.5226	12.41	7.70	1.96	0.842	4.13
B/Oc	63.2735	5.2816	27.90	60.7453	3.5226	12.41	20.15	1.96	0.842	49.51

พบว่าจำนวนตัวอย่างในแต่ละกลุ่มที่ได้จากการคำนวณคือ 50 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่คำนวณได้จากตาราง แต่ด้วยข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ และเวลาในการทำงาน จึงกำหนดจำนวนตัวอย่าง $n = 5$ ในแต่ละกลุ่ม ในการทดสอบระดับการบ่มของวัสดุยึดติดเรซิน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. สารละลายไทมอล 0.5 เปอร์เซ็นต์ในน้ำกลั่น
2. กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 35 ยี่ห้อ Gluma, Heraeus Kulzer GmbH, Germany
3. วัสดุยึดเรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสงและสารบอนด์ ดิง ยี่ห้อ Transbond XT ของบริษัท 3M/Unitek สหรัฐอเมริกา
4. โฟแทสเซียมโบรมาйд

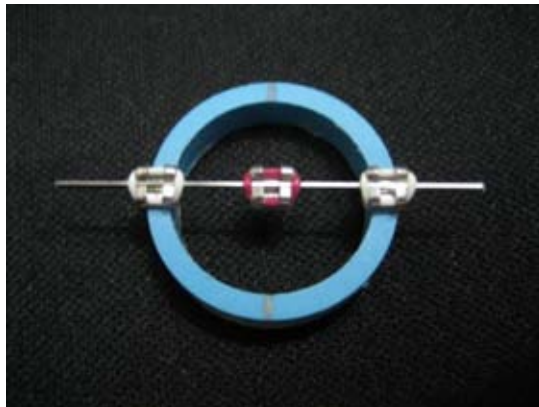


ภาพที่ 5 แสดงกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 35 และวัสดุยึดเรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสง และสารบอนด์ดิงที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. แบริกเกตโลหะสำหรับฟันกรามน้อยแบบมาตรฐาน ของบริษัท 3M ขนาดร่อง 0.018 นิ้ว มีพื้นที่ฐานเฉลี่ย 15.25 ตารางมิลลิเมตร (Dyna-Lock™ standard edgewise)

2. ท่อน้ำพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 มิลลิเมตร
3. ลวดเหล็ยมนำ ขนาด 0.018 นิ้ว x 0.025 นิ้ว และ ยางอีลาสโตเมอร์
4. อะคริลิกชนิดบ่มตัวเอง
5. แผ่นฟิล์มใส (polyvinyl-chloride; M wrap)
6. เครื่องมือชุดแต่งอะมัลกัม (amalgam carver)
7. เครื่องสำรวจแบบจำลองพื้น (surveyor)
8. เวย์นไซด์
9. โกร่งและสาก (mortar and pestle)



ภาพที่ 6 ลวดเหล็ยมนำ



ภาพที่ 7 โกร่งและสาก (mortar and pestle)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แผ่นร้อนและเครื่องปั่นผสม hot plate and stirrer, Stuart Scientific รุ่น SM 26
2. เครื่องตัดพื้นความเร็วต่ำ (Low speed Cutting machine) ISOMET 1000, BUEHLER, USA
3. เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด Universal Testing Machine, Shimadzu, EZTest EZ-L/EZ-s Series ในงานวิจัยนี้ใช้ตุ้มน้ำหนักขนาด 500 นิวตัน ความเร็ว 0.5 มิลลิเมตร/นาที
4. เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy; FT-IR Spectrometer, Spectrum One, PerkinElmer) ในช่วงความยาวคลื่น 400-4000 ต่อเซนติเมตร ความคมชัด 4 ต่อเซนติเมตร จำนวน 16 สแกน
5. เครื่องอัดแผ่น Rotary vacuum pump, SHIMADZU, JAPAN
6. เครื่องฉายแสง LED ยี่ห้อ Elipar S10, 3M, ESPE ขอบเขตความยาวคลื่นสูงสุด 430-480 นาโนเมตร ความหนาแน่น สูงสุดของไฟ 1,200 มิลลิวัตต์ต่อ

ตารางเซนติเมตร (750 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เมื่อวัดด้วยเครื่องวัด
ความเข้มแสง)

7. เครื่องวัดความเข้มแสง รุ่น 100 Curing Radiometer, SdsKerr, USA
8. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator)
9. กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (Stereo microscope) รุ่น ML 9300 MEIJI ใช้
ตรวจดูบริเวณการยึดติดล้มเหลว



ภาพที่ 8 แผ่นร้อนและเครื่องปั่นผสม hot plate and stirrer, Stuart Scientific รุ่น SM 26



ภาพที่ 9 เครื่องตัดพื้นความเร็วต่ำ (Low speed Cutting machine) ISOMET 1000,
BUEHLER, USA



ภาพที่ 10 เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด Universal Testing Machine, Shimadzu, EZTest EZ-
L/EZ-s Series



ภาพที่ 11 เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy; FT-IR Spectrometer, Spectrum One, PerkinElmer)



ภาพที่ 12 เครื่องอัดแผ่น Rotary vacuum pump, SHIMADZU, JAPAN



ภาพที่ 13 เครื่องฉายแสง LED ยี่ห้อม Elipar S10, 3M, ESPE



ภาพที่ 14 เครื่องวัดความเข้มแสง รุ่น 100 Curing Radiometer, SdsKerr, USA



ภาพที่ 15 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator)



ภาพที่ 16 กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (Stereo microscope) รุ่น ML 9300 MEIJI

การรวบรวมข้อมูล

1. เตรียมสารละลายไทมอลในน้ำกลั่น 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยผสมไทมอล 10 กรัม กับน้ำกลั่น 1990 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยเครื่องแผ่นร้อนและเครื่องปั่นผสม hot plate and stirrer, Stuart Scientific รุ่น SM 26

2. เก็บพืชมาน้อยที่ถอนจากผู้ป่วยเพื่อการจัดฟันได้ทั้งหมด 90 ซี่ โดยพืชมที่เก็บได้รับการยินยอมจากผู้ป่วย เก็บพืชมในสารละลายไทมอลในน้ำกลั่น 0.5 เปอร์เซ็นต์ที่เตรียมไว้ (Chang, Lim et al., 2005) เป็นเวลาไม่เกิน 6 เดือน (Rueggeberg, 1991; Soderholm, 1991) จากเกณฑ์การคัดออกที่กำหนด คัดออกจนเหลือ 73 ซี่

การเก็บรวบรวมข้อมูลการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน และตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว

1. ทำความสะอาดพืชมาน้อยตัวอย่างทั้งหมด โดยล้างคราบเลือดและขูดเศษเนื้อเยื่อที่ติดอยู่กับรากฟันออก ใช้เครื่องตัดฟันความเร็วต่ำตัดรากฟันออก ให้เหลือส่วนของรากฟันติดอยู่กับตัวฟัน 3 มิลลิเมตร จากรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน สุ่มพืชมตัวอย่าง 72 ซี่ เข้า 6 กลุ่ม (12 ซี่ในแต่ละกลุ่ม)

2. หุ้มพืชมตัวอย่างด้านใกล้แก้มให้เรียบตึงด้วยแผ่นฟิล์มใส ติดแบร์ริกเกตด้วยวัสดุยึดติดเรซินที่บ่มตัวด้วยแสงตรงกลางซี่ฟัน (ไม่มีขั้นตอนการใช้กรดกัดและการทาบอนดีดิง) ฉายแสงทิศทางใกล้กลางและไกลกลางด้านละ 10 วินาที ตรวจซ้ำการยึดอยู่ของแบร์ริกเกต (การติดแบร์ริกเกตขั้นตอนนี้ ทำเพื่อช่วยในขั้นตอนการยึดซี่ฟันลงในท่อพลาสติกพีวีซี)

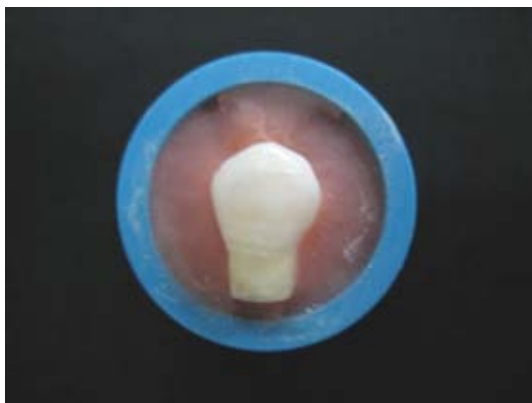
3. เตรียมท่อพลาสติกพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 มิลลิเมตร ความยาว 1 นิ้ว ฝนหน้าตัดให้เรียบ และตั้งฉากกับแนวแกนตามยาวของท่อด้วยกระดาษทรายและเครื่องขัดเรียบ เทปุนให้สูงประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวท่อ

4. เตรียมลวดนำเพื่อการยึดฟันลงในท่อพลาสติกพีวีซีให้ตำแหน่งแบร์ริกเกตตั้งฉากกับหน้าตัดท่อพลาสติกพีวีซี โดยตัดท่อพลาสติกพีวีซีหนา 0.5 เซนติเมตร ฝนหน้าตัดให้เรียบ และตั้งฉากกับแนวแกนตามยาวของท่อด้วยกระดาษทรายและเครื่องขัดเรียบ ติดแบร์ริกเกตที่ชอบ

หน้าตัดของท่อทั้ง 2 ข้าง ยึดลวดเหล็กม้วนนำ ขนาด 0.018 นิ้ว x 0.025 นิ้ว ในร่องแบร์ริกเกตด้วย ยางอีลาสโตเมอร์

5. นำฟันตัวอย่างที่ได้ทำการติดแบร์ริกเกตไว้แล้วมายึดกับลวดเหล็กม้วนนำด้วย ยางอีลาสโตเมอร์ ให้แบร์ริกเกตที่ติดอยู่บนฟันตัวอย่างอยู่กึ่งกลางระหว่างแบร์ริกเกตทั้งสอง ซึ่ง ประโยชน์ของลวดม้วนนำนี้ทำให้ตำแหน่งของแบร์ริกเกตบนฟันตัวอย่างอยู่ตำแหน่งเดียวกันของท่อ พลาสติกพีวีซีทุกชิ้นงาน และทำให้ฐานแบร์ริกเกตตั้งฉากกับแนวแกนของท่อพลาสติกพีวีซี

6. ผสมอะคริลิกชนิดบ่มตัวเองเหลวในท่อพลาสติกพีวีซี จากนั้นนำฟันตัวอย่างที่ ยึดติดกับลวดเหล็กม้วนนำมาฝังในอะคริลิกตามความยาวของแนวฟัน โดยให้ครึ่งหนึ่งทางด้าน เพดานของฟัน (Palatal half) ฝังลงในอะคริลิกจนถึงร่องกลาง (Central groove) รอยนกระทั้ง อะคริลิกแข็งตัวเต็มที่



ภาพที่ 17 แสดงฟันกรามน้อยตัวอย่างที่ฝังลงในท่อพลาสติกพีวีซี

7. เมื่อได้ฟันชิ้นงานเพื่อการทดลองที่ยึดลงในท่อพลาสติกพีวีซีแล้ว แกะเอา แผ่นฟิล์มใสและแบร์ริกเกตออก ทำความสะอาดฟันโดยขัดฟันด้วยหัวขัดยางและผงขัดพัมมิช 10 วินาที ล้างด้วยน้ำสะอาดจากทริปเปิลไชรินจ์ 10 วินาที เป่าให้แห้งด้วยลมที่ปราศจากความชื้น

8. เตรียมผิวเคลือบฟันโดยทา กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 35 ที่ด้านใกล้ แก้มของผิวฟันเป็นเวลา 15 วินาที ล้างด้วยน้ำสะอาดจากทริปเปิลไชรินจ์ 10 วินาที เป่าให้แห้งด้วย ลมที่ปราศจากความชื้นจนผิวเคลือบฟันขาวขุ่น ทาบนดิงเรซินที่ผิวเคลือบฟัน

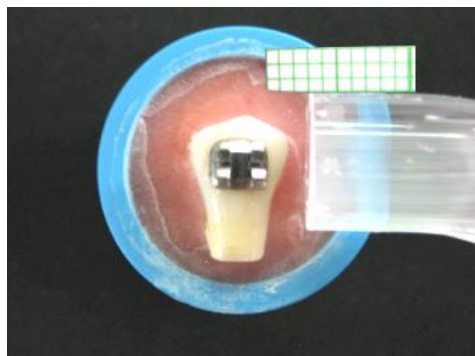
9. ยึดแบร์ริกเกตด้วยวัสดุยึดติดเรซินที่บ่มตัวด้วยแสง โดยบีบวัสดุลงบนฐานของแบร์ริกเกต กำหนดปริมาณให้เท่าๆกันในแต่ละชิ้นงาน เปลี่ยนให้ทั่วให้มีความหนาสม่ำเสมอ แล้วกดลงบนผิวพื้นที่ตำแหน่งกึ่งกลางพื้นตาม ที่กำหนดไว้ เชี่ยววัสดุยึดติดส่วนเกินออกด้วยเครื่องมือชุดแต่งอะมัลกัม

10. ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสง LED ที่มีความเข้มแสง 750 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

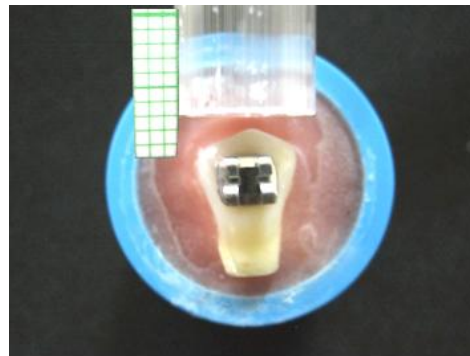
กลุ่ม 1, 4 หน้าตัดของแนวนำแสงตั้งฉากระนาบแบร์ริกเกตด้านใกล้กลางและไกลกลางของผิวพื้น ห่างจากฐานแบร์ริกเกต 3 มม. ฉายแสงด้านละ 10 วินาที

กลุ่ม 2, 5 หน้าตัดของแนวนำแสงตั้งฉากระนาบแบร์ริกเกตด้านแก้มของผิวพื้น ห่างจากฐานแบร์ริกเกต 3 มม. ฉายแสง 20 วินาที

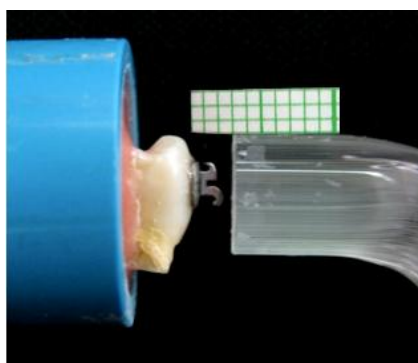
กลุ่ม 3, 6 หน้าตัดของแนวนำแสงตั้งฉากระนาบแบร์ริกเกตด้านบดเคี้ยวของผิวพื้น ห่างจากฐานแบร์ริกเกต 3 มม. ฉายแสง 20 วินาที



A.



B.



C.

ภาพที่ 18 แสดงทิศทางการฉายแสงที่ใช้ในการทดลอง; A. หน้าตัดของแนวนำแสงตั้งฉากระนาบแบร์ริกเกตด้านใกล้กลางและไกลกลางของผิวฟัน, B. หน้าตัดของแนวนำแสงตั้งฉากระนาบแบร์ริกเกตด้านแก้มของผิวฟัน, C. กลุ่ม 3, 6 หน้าตัดของแนวนำแสงตั้งฉากระนาบแบร์ริกเกตด้านบดเคี้ยวของผิวฟัน

11. ทดสอบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนด้วย เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด Shimadzu ตูมน้ำหนักขนาด 500 นิวตัน ความเร็ว 0.5 มิลลิเมตร/นาที ภายหลังการฉายแสง 5 นาที ใน กลุ่ม 1, 2 และ 3 และภายหลังการยึดติดแบร์ริกเกต 24 ชั่วโมง ในกลุ่ม 4, 5 และ 6 โดยเก็บฟันตัวอย่างที่ติดแบร์ริกเกตก่อนทดสอบในน้ำกลั่น ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

12. หลังจากแบร์ริกเกตหลุด นำฐานแบร์ริกเกตและผิวเคลือบฟันมาส่องดูด้วย กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (stereoscopic microscope) รุ่น ML 9300 MEIJI, Japan ที่กำลังขยาย 10 เท่า เพื่อศึกษาตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว ตามการประเมินดัชนีส่วนที่เหลือของวัสดุยึดติด (Adhesive remnant index; ARI score) (Olsen, Bishara et al., 1997) คะแนนเรียงจาก 1 ถึง 5

คะแนน 1 = วัสดุยึดติดทั้งหมดอยู่บนผิวฟัน (ปรากฏรอยพิมพ์ของฐานแบร์กเกต)

คะแนน 2 = วัสดุยึดติดมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์อยู่บนผิวฟัน

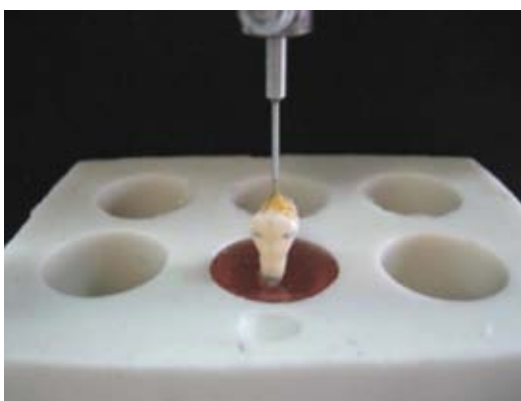
คะแนน 3 = วัสดุยึดติดมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ แต่น้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์อยู่บนผิวฟัน

คะแนน 4 = วัสดุยึดติดน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ อยู่บนผิวฟัน

คะแนน 5 = ไม่มีวัสดุยึดติดหลงเหลืออยู่บนผิวฟัน

การเก็บรวบรวมข้อมูลการทดสอบระดับการบ่มของวัสดุยึดติดเรซิน

1. ทำความสะอาดฟันกรามน้อยตัวอย่าง 1 ซี่ โดยล้างคราบเลือด และขูดเศษเนื้อเยื่อที่ติดอยู่กับรากฟันออก นำมายึดลงบล็อกเรซินใสโดยใช้เครื่องสำรวจแบบจำลองฟัน (surveyor) เป็นแนวทาง



ภาพที่ 19 ยึดฟันกรามน้อยตัวอย่างลงบล็อกเรซินใสโดยใช้เครื่องสำรวจแบบจำลองฟันเป็นแนวทาง



ภาพที่ 20 ฟันกรามน้อยตัวอย่างที่ฝังในบล็อกเรซินใส

2. เตรียมแบร์ริกเกตที่ใช้ในการทดลองระดับการบ่มตัวโดยการกรอเอาส่วนของตะแกรงที่ฐานแบร์ริกเกตโลหะออกจนเรียบ
3. หุ้มฟันตัวอย่างด้านใกล้แก้มให้เรียงตั้งด้วยแผ่นฟิล์มใส ยึดแบร์ริกเกตด้วยวัสดุยึดติดเรซินที่บ่มตัวด้วยแสง ยี่ห้อ Transbond XT ของบริษัท 3M/Unitek สหรัฐอเมริกา โดยบีบวัสดุลงบนฐานของแบร์ริกเกต กำหนดปริมาณให้เท่าๆกัน เคลือบให้ทั่วให้มีความหนาสม่ำเสมอ แล้วกดลงบนผิวฟันที่ตำแหน่งกึ่งกลางฟันตามที่กำหนดไว้ เชี่ยววัสดุยึดติดส่วนเกินออกด้วยเครื่องมือชุดแต่งอะมัลกัม (ไม่มีขั้นตอนการใช้กรดกัดและการทาบอนด์ติง)
4. ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสง LED ยี่ห้อ Elipar S10, 3M, ESPE ที่มีความเข้มแสง 750 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เพื่อเตรียมชั้นวัสดุยึดติดเรซินเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ตัวอย่าง โดยทำการทดลองด้วยฟันกรามน้อยตัวอย่างและแบร์ริกเกตเดิม
 - กลุ่ม 1, 4 หน้าตัดของแนวนำแสงตั้งฉากระนาบแบร์ริกเกตด้านใกล้กลางและไกลกลางของผิวฟัน ห่างจากฐานแบร์ริกเกต 3 มม. ฉายแสงด้านละ 10 วินาที
 - กลุ่ม 2, 5 หน้าตัดของแนวนำแสงตั้งฉากระนาบแบร์ริกเกตด้านแก้มของผิวฟัน ห่างจากฐานแบร์ริกเกต 3 มม. ฉายแสง 20 วินาที
 - กลุ่ม 3, 6 หน้าตัดของแนวนำแสงตั้งฉากระนาบแบร์ริกเกตด้านบดเคี้ยวของผิวฟัน ห่างจากฐานแบร์ริกเกต 3 มม. ฉายแสง 20 วินาที

จากนั้นแกะเอาแผ่นฟิล์มใสและแบร์ริเกตออก จะได้แผ่นวัสดุยึดติดเรซินที่มีขนาดประมาณฐานแบร์ริเกต

5. ทดสอบระดับการบ่ม ภายหลังจากฉายแสง 5 นาที ในกลุ่ม 1, 2 และ 3 และภายหลังจากยึดติดแบร์ริเกต 24 ชั่วโมง ในกลุ่ม 4, 5 และ 6

6. ทำการวิเคราะห์ระดับการบ่มโดยเตรียมตัวอย่างในรูปแผ่นกลมโพแทสเซียมโบรมาйд (KBr pellet) โดยนำแผ่นวัสดุยึดติดเรซินมาบดรวมกับโพแทสเซียมโบรมาйдด้วยโกร่งและสาก โดยปริมาณของโพแทสเซียมโบรมาйдต่อสารตัวอย่างเท่ากับ 9:1 จนมีความละเอียดเหมือนผงแป้ง จากนั้นอัดสารตัวอย่างให้เป็นแผ่นบางเพื่อให้แสงผ่านได้ด้วยเครื่องอัดแผ่น Rotary vacuum pump, SHIMADZU, JAPAN



ภาพที่ 21 แผ่นกลมโพแทสเซียมโบรมาйд

7. นำแผ่นสารตัวอย่างวัดระดับการบ่มด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR Spectrometer, Spectrum One, PerkinElmer) โดยศึกษาในช่วงความยาวคลื่น 400-4000 ต่อเซนติเมตร ความคมชัด 4 ต่อเซนติเมตร จำนวน 16 สแกน

8. ระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติดเรซินจากกราฟอินฟราเรด สเปกตรัม จะพิจารณาที่ 2 ความถี่ ส่วนกลับ ของความยาวคลื่น (wavelength) โดยการยึดติดของพันธะคาร์บอนอะลิฟาติก (C=C) ที่ 1636 ต่อเซนติเมตร ถือเป็นความถี่วิเคราะห์ (analytical frequency) และการยึดติดของพันธะคาร์บอนอะโรมาติก (C..C) ที่ 1608 ต่อเซนติเมตรเป็นความถี่อ้างอิง (reference frequency) สูตรเปอร์เซ็นต์ระดับการบ่ม คือ

$$\%DC = 100 (1 - RDB)$$

ซึ่ง RDB = พันธะคู่ที่เหลืออยู่ (residual double bonds) คิดจาก

$$RDB = \frac{A_p (C=C) \cdot A_m (C..C)}{A_m (C=C) \cdot A_p (C..C)}$$

$A_p (C=C)$ คือ พื้นที่การดูดกลืนสูงสุดของวัสดุที่บ่มตัวแล้วที่ความถี่
1638 ต่อเซนติเมตร

$A_m (C=C)$ คือ พื้นที่การดูดกลืนสูงสุดของวัสดุก่อนบ่มตัวที่ความถี่
1638 ต่อเซนติเมตร

$A_m (C..C)$ คือ พื้นที่การดูดกลืนสูงสุดของวัสดุก่อนบ่มตัวที่ความถี่
1605 ต่อเซนติเมตร

$A_p (C..C)$ คือ พื้นที่การดูดกลืนสูงสุดของวัสดุที่บ่มตัวแล้วที่ความถี่
1605 ต่อเซนติเมตร (Gioka, Bourauel et al., 2005)

9. ทำ positive control โดยฉายแสงโดยตรง (ไม่มีแบร์ริกเกตโลหะเป็นตัวขัดขวางแสง) บ่มวัสดุยึดติดเรซินที่บ่มตัวด้วยแสง เป็นเวลา 20 วินาที แล้วนำไปวัดระดับการบ่มด้วยวิธีเดียวกันกับการทดลองข้างต้น

การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรม SPSS software, version 17

ค่าความแข็งแกร่งการยึดติดทนแรงเฉือน นำมาทดสอบการกระจายของข้อมูลด้วย Kolmogorov-Smirnov method

มีการกระจายแบบปกติ : ทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มด้วยการใช้สถิติ one-way ANOVA และ Independent t test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ไม่มีการกระจายแบบปกติ : ทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มด้วยการใช้สถิติ nonparametric test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ARI score นำมาเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยค่าสถิติ Chi square ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติดเรซิน ทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มด้วยการใช้สถิติ nonparametric Kruskal-Wallis และ Mann Whitney U ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จริยธรรมการวิจัย (Ethical consideration)

พื้นที่ใช้ในการทดลองนี้ได้รับความยินยอมจากผู้ป่วยและจากสถานประกอบการคลินิก โดยมีการจัดเอกสารแจ้งถึงการศึกษาและผลที่จะได้รับจากการเข้าร่วมการวิจัย ซึ่งได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาทางจริยธรรมของคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การทดสอบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน

จากการศึกษาค่าความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนของแบร์ริกเกตจัดฟันโลหะ โดยทดสอบภายหลังการฉายแสง 5 นาที และ 24 ชั่วโมง เมื่อฉายแสงใน 3 ทิศทาง โดยมีขนาดกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 12 ตัวอย่าง พบว่ามีค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) ค่าน้อยที่สุด (minimum, min) ค่ากลาง (median) และค่ามากที่สุด (maximum, max) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าน้อยที่สุด ค่ากลาง และค่ามากที่สุด ของแบร์ริกเกตจัดฟันโลหะ (หน่วย: เมกะปาสคาล) โดยทดสอบภายหลังการฉายแสง 5 นาที และ 24 ชั่วโมง เมื่อฉายแสงใน 3 ทิศทาง

เวลาทดสอบ หลังฉายแสง	ทิศทางการฉาย แสง	Mean	SD	Min	Median	Max
5 นาที	ด้านใกล้กลางและ ไกลกลาง	13.25	2.20	10.33	12.54	17.45
	ด้านแก้ม	13.08	1.24	10.90	13.23	14.99
	ด้านบดเคี้ยว	13.45	1.55	11.51	13.18	16.96
24 ชั่วโมง	ด้านใกล้กลางและ ไกลกลาง	21.90	2.29	18.74	21.68	26.20
	ด้านแก้ม	21.62	1.73	19.50	20.97	24.50
	ด้านบดเคี้ยว	20.06	2.82	13.59	20.52	23.29

เมื่อทำการทดสอบการกระจายแบบปกติโดยใช้การทดสอบสถิติด้วย Kolmogorov-Smirnov method ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha=0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS version 17 พบว่าข้อมูลค่าเฉลี่ยของทุกกลุ่มตัวอย่างมีการกระจายเป็นปกติ ดังตารางที่ 4 (ภาคผนวก)

ผลของทิศทางการฉายแสงที่มีต่อความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนของแบร์ริกเกตจัดฟันโลหะ เนื่องจากข้อมูลมีการกระจายเป็นปกติ และมีค่าความแปรปรวนของข้อมูลที่เท่ากันทั้งสองระยะเวลาการทดสอบ ดังตารางที่ 5 (ภาคผนวก) จึงใช้สถิติ one way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha=0.05$) วิเคราะห์ผลของทิศทางการฉายแสงที่มีต่อความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนของแบร์ริกเกตจัดฟันโลหะตามตารางที่ 6 (ภาคผนวก)

ผลของระยะเวลาทดสอบหลังฉายแสงที่มีต่อความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนของแบร์ริกเกตจัดฟันโลหะ เนื่องจากข้อมูลมีการกระจายเป็นปกติ ดังตารางที่ 4 (ภาคผนวก) จึงใช้สถิติ Independent t test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha=0.05$) วิเคราะห์ผลของระยะเวลาทดสอบหลังฉายแสงที่มีต่อความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนของแบร์ริกเกตจัดฟันโลหะตาม ตารางที่ 7 (ภาคผนวก)

จากการศึกษาผลของทิศทางการฉายแสงด้วยสถิติ one way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนระหว่างแต่ละทิศทางการฉายแสง ทั้งการทดสอบหลังฉายแสง 5 นาทีและ 24 ชั่วโมง แต่จากการศึกษาผลของระยะเวลาการทดสอบหลังฉายแสงด้วย Independent t test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่ากลุ่มตัวอย่างที่ทดสอบหลังการฉายแสง 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนมากกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ทดสอบหลังการฉายแสง 5 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทุกกลุ่มทิศทางการฉายแสง ทั้งหมดแสดงตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน (เมกะปาสคาล, MPa)

Light direction	Testing time	
	5 Minutes Mean \pm SD	24 hours Mean \pm SD
Mesial & Distal	13.25 \pm 2.20	21.90 \pm 2.29
Buccal	13.08 \pm 1.24	21.62 \pm 1.73
Occlusal	13.45 \pm 1.55	20.06 \pm 2.82

*** ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $P < 0.001$

2. การทดสอบระดับการบ่มของของวัสดุยึดติดเรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสง

จากการศึกษาค่าระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติดเรซิน โดยทดสอบภายหลังการฉายแสง 5 นาที และ 24 ชั่วโมง เมื่อฉายแสงใน 3 ทิศทาง โดยมีขนาดกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 5 ตัวอย่าง พบว่ามีค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) ค่าน้อยที่สุด (minimum, min) ค่ากลาง (median) และค่ามากที่สุด (maximum, max) และค่าระดับการบ่มตัวของกลุ่มควบคุมเชิงบวกดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติดเรซิน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าน้อยที่สุด ค่ากลาง และค่ามากที่สุด ของแบร์กเกตจัดฟันโลหะ (% , เปอร์เซ็นต์) โดยทดสอบภายหลังจากฉายแสง 5 นาที และ 24 ชั่วโมง เมื่อฉายแสงใน 3 ทิศทาง

เวลาทดสอบ หลังฉายแสง	ทิศทางการฉายแสง	Mean	SD	Min	Median	Max
5 นาที	กลุ่มควบคุมเชิงบวก	79.57	-	-	-	-
	ด้านใกล้กลางและ ไกลกลาง	65.91	3.27	60.55	67.45	68.44
	ด้านแก้ม	57.07	4.97	48.42	59.06	60.93
	ด้านบดเคี้ยว	60.18	3.97	55.29	60.88	65.52
24 ชั่วโมง	กลุ่มควบคุมเชิงบวก	86.45	-	-	-	-
	ด้านใกล้กลางและ ไกลกลาง	83.17	0.44	82.71	83.21	83.65
	ด้านแก้ม	79.31	2.60	75.88	70.37	82.32
	ด้านบดเคี้ยว	82.54	3.52	76.79	82.65	85.56

ผลของทิศทางการฉายแสง ที่มีต่อระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติด เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างของการศึกษามีจำนวนน้อย ได้แก่ 5 ตัวอย่างในแต่ละกลุ่ม ดังนั้นจึงทำการ ศึกษาผลของ ทิศทางการฉายแสง ที่มีต่อระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติดเรซินด้วยสถิติ nonparametric Kruskal-Wallis test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$) ตามตารางที่ 10 (ภาคผนวก) และการ วิเคราะห์เปรียบเทียบพหุคูณระหว่างกลุ่ม (multiple comparison) เพื่อให้ทราบว่าการฉายแสง โดยทิศทางคู่ใดที่แตกต่างกัน โดยใช้โปรแกรม StatsDirect version 2.7.8 ด้วยวิธี Dwass-Steel-

Chritchlow-Fligner ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$) ตามตารางที่ 11 และ 12 (ภาคผนวก)

ผลของระยะเวลาการทดสอบหลังฉายแสงที่มีต่อระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติดเรซิน เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างของการศึกษามีจำนวนน้อย ได้แก่ 5 ตัวอย่างในแต่ละกลุ่ม ดังนั้นจึงทำการศึกษาค่าผลของทิศทางการฉายแสง ที่มีต่อระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติดเรซินด้วยสถิติ nonparametric Mann Whitney U test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$) ตามตารางที่ 13 (ภาคผนวก)

จากการศึกษาผลของทิศทางการฉายแสงด้วยสถิติ ด้วยสถิติ nonparametric Kruskal-Wallis ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติดในแต่ละทิศทางการฉายแสงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าเฉลี่ยของระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติดที่ฉายแสงจากทิศใกล้กลางและไกลกลาง มีค่ามากกว่าที่ฉายแสงจาก ทิศใกล้ แก้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งกลุ่มทดสอบภายหลังการฉายแสง 5 นาที และ 24 ชั่วโมง ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มการฉายแสงอื่นๆ และในการศึกษาผลของระยะเวลาการทดสอบหลังฉายแสงด้วย สถิติ Mann Whitney U test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าค่าเฉลี่ยระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติดเรซินเมื่อทดสอบภายหลังการฉายแสง 24 ชั่วโมงมีค่ามากกว่าเมื่อทดสอบหลังฉายแสง 5 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทุกกลุ่ม ทิศทางการฉายแสง ทั้งหมดแสดงตามตารางที่ 14

ตารางที่ 14 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติด (เปอร์เซ็นต์, %)

Light direction	Testing time	
	5 minutes Mean \pm SD	24 Hours Mean \pm SD
Mesial & Distal	65.91 \pm 3.27	83.17 \pm 0.44
Buccal	57.07 \pm 4.97	79.31 \pm 2.60
Occlusal	60.18 \pm 3.97	82.54 \pm 3.52

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

3. การทดสอบตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว

ผลของทิศทางการฉายแสงที่มีต่อตำแหน่งการยึดติดล้มเหลวโดยพิจารณาจากค่า ARI score ที่ทดสอบหลังจากการศึกษาค่าความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนของการฉายแสง 5 นาที และ 24 ชั่วโมง เมื่อฉายแสงใน 3 ทิศทาง โดยมีขนาดกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 12 ตัวอย่าง พบว่ามีความถี่ของค่า ARI score ดังแสดงในตารางที่ 15 และรูปที่ 21, 22 และ 23 แสดง ARI score ที่พบในการทดลอง

ตารางที่ 15 แสดงความถี่ของค่า ARI score เมื่อทดสอบหลังฉายแสง 5 นาทีและ 24 ชั่วโมง ฉายแสงจากด้านใกล้กลางและไกลกลาง (M+D) ด้านใกล้แก้ม (B) และด้านบดเคี้ยว (Oc)

Light direction		ARI score				
		1	2	3	4	5
Mesial & Distal	5 Minutes	0	1	6	5	0
	24 Hours	0	1	8	3	0
Buccal	5 Minutes	0	0	6	6	0
	24 Hours	0	0	7	5	0
Occlusal	5 Minutes	0	0	4	8	0
	24 Hours	0	0	7	5	0

คะแนน 1 = วัสดุยึดติดทั้งหมดอยู่บนผิวฟัน (ปรากฏรอยพิมพ์ของฐานแบร์ริกเกต)

คะแนน 2 = วัสดุยึดติดมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์อยู่บนผิวฟัน

คะแนน 3 = วัสดุยึดติดมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ แต่น้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์อยู่บนผิวฟัน

คะแนน 4 = วัสดุยึดติดน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ อยู่บนผิวฟัน

คะแนน 5 = ไม่มีวัสดุยึดติดหลงเหลืออยู่บนผิวฟัน



ภาพที่ 22 แสดงตัวอย่างของฟันที่ ARI score = 4 มีวัสดุยึดติดน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ อยู่บนผิวฟัน



ภาพที่ 23 แสดง ARI score =3 มีวัสดุยึดติดมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ แต่น้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ อยู่บนผิวฟัน



ภาพที่ 24 แสดง ARI score = 2 วัสดุยึดติดมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์อยู่บนผิวฟัน

จากการวิเคราะห์ ด้วยสถิติ Chi square ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$) ตามตารางที่ 16 (ภาคผนวก) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของทิศทางการฉายแสง ที่มีต่อตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว พบว่าทิศทางการฉายแสงไม่มีความสัมพันธ์กับค่า ARI score หรือตำแหน่งการยึดติดล้มเหลวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งกลุ่มที่ทดสอบหลังการฉายแสง 5 นาที ($p = 0.693$) และ 24 ชั่วโมง ($p = 0.748$) เช่นเดียวกับการศึกษาเปรียบเทียบผลของระยะเวลา ทดสอบหลังการฉายแสง ที่มีต่อตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว จากการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Chi square ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$) ตามตารางที่ 17 (ภาคผนวก) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของระยะเวลาทดสอบหลังการฉายแสงที่มีต่อตำแหน่งการยึดติดล้มเหลว พบว่า

ระยะเวลาทดสอบหลังการฉายแสง ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า ARI score หรือตำแหน่งการยึดติด ล้มเหลวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทุกกลุ่มทิศทางการฉายแสง ($p = 0.822$ ในกลุ่มที่ฉายแสงด้าน ไกล่กลางและไกลกลาง $p = 1.000$ ในกลุ่มที่ฉายแสงจากด้านแก้มและ $p = 0.414$ ในกลุ่มที่ฉายแสงจากด้านบดเคี้ยว)

บทที่ 5

อภิปรายผลการวิจัย สรุปผล และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยนี้เลือกศึกษาในพื้นที่ที่ถูกถอนออกมาแล้วและทดสอบในห้องทดลอง (In vitro study) เพื่อความสะดวกในการทดลอง สามารถออกแบบชุดการทดลองให้ฉายแสงในทิศทางต่างๆ ในระยะทางที่เท่ากันได้ ในพื้นที่ทุกซี่ แต่อย่างไรก็ตามทดลองภายนอกช่องปากก็มีข้อจำกัด คือไม่สามารถเลียนแบบกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในช่องปากได้ทั้งหมด จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าค่าความแข็งแรงการยึดติดในสิ่งมีชีวิต (In vivo study) มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง เนื่องจากการเสื่อมสลายทางชีวภาพที่เกิดขึ้นในช่องปาก (Pickett, Sadowsky et al., 2001; Murray and Hobson, 2003) และนอกจากนี้ในช่องปากยังมีอัตราเร็วของแรงบดเคี้ยวมากกว่าอัตราเร็วของการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสากลที่มักตั้งความเร็ว crosshead speed ที่ 0.5 มิลลิเมตร/นาที (Eliades and Brantley, 2000) และเหตุที่เลือกทดลองในพื้นที่กรามน้อยเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่หาได้ง่าย โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันที่มีการถอนฟันร่วมการรักษา ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ที่ไม่มีพยาธิสภาพ ไม่มีวัสดุบูรณะและไม่เคยได้รับการเตรียมผิวฟันใดๆ มาก่อน และเก็บฟันมาไม่เกิน 6 เดือน ซึ่งมีการศึกษาพบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความแข็งแรงการยึดติดระหว่างผิวฟันและคอมโพสิต ของพื้นที่ถูกเก็บเป็นระยะเวลา 3 เดือนถึง 5 ปีภายหลังการถอน (Williams and Svare, 1985) และก่อนการทดลองพื้นที่กรามน้อยถูกแช่ในสารละลายไทมอล เพื่อ ให้อิทธิพลของความชุ่มชื้นและยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่ง Aquilino และคณะ ศึกษาพบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่างกลุ่มที่เก็บฟันใน 0.9% NaCl, 0.05% สารละลายไทมอลในน้ำกลั่น และน้ำกลั่นอย่างเดียว (Aquilino, Williams et al., 1987)

การศึกษาความแข็งแรงการยึดติด สามารถทดสอบได้ด้วยหลายแนวแรงกระทำ การวิจัยนี้เลือกใช้การทดสอบด้วยแรงเฉือน เนื่องจากเป็นแรงที่คล้ายคลึงกับแรงบดเคี้ยวที่เกิดขึ้นในช่องปากที่มีแนวโน้มทำให้เกิดความล้มเหลวของการยึดอยู่ของแบร็กเกต เช่นเดียวกับหลายการศึกษาก่อนหน้านี้ (Eliades and Brantley, 2000; Wendl and Droschl, 2004; Dall'Igna, Marchioro et al., 2011) โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด ที่ความเร็ว 0.5 มิลลิเมตร/นาที ซึ่งเป็น

ความเร็วส่วนใหญ่จากการศึกษาวิเคราะห์อภิมาน (Finnema, Ozcan et al., 2000) แต่หากเพิ่มความเร็วของเครื่องทดสอบมากกว่านี้ ค่าความแข็งแรงการยึดติดที่ได้อาจลดลง ดังการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วเครื่องทดสอบจาก 0.5 ถึง 5.0 มิลลิเมตร/นาที และ 1 ถึง 200 มิลลิเมตร/นาที ค่าความแข็งแรงการยึดติดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Eliades, Katsavrias et al., 2004; Bishara, Soliman et al., 2005)

จากผลการวิจัยนี้พบว่า ทิศทางการฉายแสงทั้งสามไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับ Dall'Igna และคณะ ทำการศึกษาผลของระยะเวลาการฉายแสงที่มีต่อความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน ก็ พบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อฉายแสงจากด้านปลายฟัน 5 วินาที ด้านใกล้และไกลกลางด้านละ 5 วินาที และจากทั้งสามด้าน ด้านละ 5 วินาที (Dall'Igna, Marchioro et al., 2011) และเมื่อพิจารณาตำแหน่งการยึดติดล้มเหลวหรือค่า ARI score จากผลการวิจัยพบว่าทั้งทิศทางการฉายแสงและระยะเวลาทดสอบหลังการฉายแสงไม่มีความสัมพันธ์กับ ค่า ARI score อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับ การศึกษาก่อนหน้า (Nisalak, Jaochakarasiri et al., 2006; Dall'Igna, Marchioro et al., 2011)

ค่า ARI score ถูกกำหนดโดยหลายปัจจัย เช่น ความแข็งแรงการยึดติด ระดับการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ตามการศึกษาของ Evans และคณะ (Evans, Peters et al., 2002) จากการทดสอบตำแหน่งยึดติดล้มเหลวพบว่า ในกลุ่มทดสอบที่มี ความแข็งแรงการยึดติดสูง จะพบการยึดติดของวัสดุยึดติดที่ฐานแบร์กเกต เพิ่มขึ้น ตรงข้ามกับกลุ่มที่มีความแข็งแรงการยึดติดน้อย พบตำแหน่งยึดติดล้มเหลวที่ระหว่างแบร์กเกตกับวัสดุยึดติด และในการศึกษาของ Nisalak และคณะ (Nisalak, Jaochakarasiri et al. 2006) ทดสอบความแข็งแรงการยึดติดทนแรงดึง พบว่าในกลุ่มที่ทำการทดสอบหลังการฉายแสง 1-4 นาที การยึดติดล้มเหลวจะเกิดขึ้นที่ระหว่างแบร์กเกตกับวัสดุยึดติด แตกต่างกับกลุ่มที่ทดสอบหลังการฉายแสง 24 ชั่วโมง ที่วัสดุยึดติดมีการพอลิเมอร์ไรเซชันเพิ่มขึ้น การล้มเหลวเกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุยึดติดหรือระหว่างวัสดุยึดติดกับผิวฟัน สำหรับการศึกษานี้ เนื่องจากค่าความแข็งแรงการยึดติดอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างมาก จึงพบลักษณะการล้มเหลวของวัสดุยึดติด มากที่ ARI score ระดับ 3 และ 4 ซึ่งหมายถึงมีวัสดุยึดติดที่ฟัน 10-90% หรือน้อยกว่า 10% ซึ่งเป็นการล้มเหลว ลักษณะเดียวกับกลุ่มที่มีความแข็งแรงการยึดติดสูงและมีปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันที่มากในการศึกษาก่อนหน้า นอกจากนี้ ค่า ARI score ยัง

ขึ้นอยู่กับลักษณะฐานแบร็กเกตและลักษณะผิวพื้น (O'Brien, Watts et al., 1988) จึงอาจกล่าวได้ว่าแบร็กเกตที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะฐานที่ทำให้เกิดการยึดอยู่ของวัสดุยึดติดสูง

ผลของระยะเวลาการทดสอบหลังฉายแสง พบค่าความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเพิ่มระยะเวลาทดสอบหลังการฉายแสง สอดคล้องกับการศึกษาที่ก่อนหน้านี้ (Oesterle, Messersmith et al., 1995; Usumez, Buyukyilmaz et al., 2004; Mavropoulos, Staudt et al., 2005; Nisalak, Jaochakarasiri et al., 2006) โดยพบค่าความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนหลังจากบ่มตัว 5 นาที มีค่าประมาณ 60 – 70 เปอร์เซ็นต์ของหลังบ่มตัว 24 ชั่วโมง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Tavas และ Watts (Tavas and Watts, 1984) แต่อย่างไรก็ตามความแข็งแรงการยึดติดและระดับการบ่มควรมีค่าเพียงพอเพื่อต้านแรงที่จะทำให้เกิดการหลุดของแบร็กเกตและมีคุณสมบัติที่เหมาะสมตั้งแต่ช่วงแรกคือช่วง 5 นาที เพื่อการใช้งานทางคลินิก แม้ว่ามีบางการศึกษาที่กล่าวว่า ความแข็งแรงการยึดติดมีค่าไม่เพียงพอในช่วงแรกหลังการฉายแสง (Greenlaw, Way et al., 1989) และมีคำแนะนำว่าควรใส่ลวดชั่วคราวใส่หลังติดเครื่องมือเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Bishara, VonWald et al., 1999) แต่จากการวิจัยนี้พบว่า การฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสง LED ที่มีความเข้มแสง 750 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 20 วินาที ทุกทิศทางการฉายแสงก่อให้เกิดค่าความแข็งแรงการยึดติดที่เพียงพอเมื่อทำการทดลองหลังฉายแสง 5 นาที โดยค่าความแข็งแรงการยึดติดที่น้อยที่สุดที่ได้จากการทดลอง คือ 10.32 เมกะปาสคาล เมื่อเทียบกับค่าที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ที่แนะนำโดย Reynolds (Reynolds, 1975) ได้แก่ 5.9-7.8 เมกะปาสคาล

การศึกษาระดับการบ่มของวัสดุยึดติด ใช้วิธีการวิเคราะห์สเปกตรัมอินฟราเรด ซึ่งเป็นวิธีการวัดโดยตรง เป็นการปล่อยรังสีอินฟราเรดผ่านเนื้อวัสดุเพื่อ ตรวจสอบและศึกษาโมเลกุลของสาร มีความแม่นยำในการวิเคราะห์ค่าระดับการบ่มตัวของวัสดุมากกว่าการวัดความแข็งแรงการยึดติดหรือความแข็งผิวระดับจุลภาคซึ่งเป็นวิธีการวัดโดยอ้อม (Eliades, Eliades et al., 1995; Rahiotis, 2010) แต่อย่างไรก็ตาม มีการตั้งสมมติฐานว่าการวัดระดับการบ่มจากก่อนคอมโพสิตโดยวิธี FTIR อาจมีความไม่ถูกต้องเนื่องจากการบ่มของชิ้นตัวอย่างเกิดขึ้นไม่เท่ากันทั้งก้อน การวิจัยนี้ใช้วิธีบดทั้งชิ้นตัวอย่างอย่างละเอียด และสุ่มใช้ผงปริมาณเล็กน้อยในการวิเคราะห์ ดังนั้นสิ่งที่นำไปทดลองจึงถือเป็นตัวแทนของชิ้นตัวอย่างทั้งก้อนได้ และจากการวิจัยนี้พบค่าระดับการบ่มของวัสดุยึดติดมีค่าเฉลี่ย 57.07-83.17 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับหลายการศึกษาที่ผ่านมาที่มีค่า

ระดับการบ่มอยู่ในช่วง 50-80 เปอร์เซ็นต์ (Kauppi and Combe, 2003; Catalbas, Uysal et al., 2010)

จากการศึกษานี้พบว่าทิศทางการฉายแสง มีผลต่อระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติด โดยค่าเฉลี่ยของ ระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติดเรซิน ที่ฉายแสงจากด้าน ไกลกลางและไกลกลาง ($65.91 \pm 3.27\%$) มีค่ามากกว่าด้านแก้ม ($57.07 \pm 4.97\%$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Eliades (Eliades, Eliades et al., 1995) ที่ศึกษาพบว่า การฉายแสงจากด้าน ปลายฟันและคอฟัน ให้ค่าระดับการบ่มตัวของเรซินมากกว่าเมื่อฉายแสงโดยตรงผ่านแบร์ริเกต โลหะด้านแก้มอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากแบร์ริเกตจัดฟัน โลหะเป็นตัวขัดขวางแสงที่ใช้บ่ม ปฏิกริยาของวัสดุยึดติดที่บ่มตัวด้วยแสงโดยเฉพาะทิศทางด้านแก้ม ดังนั้นโดยทั่วไปจึงแนะนำการ ฉายแสงทางด้านข้างของแบร์ริเกต แต่ระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติดใต้แบร์ริเกตโลหะเมื่อฉาย จากทางด้านแก้มซึ่งก็อยู่ในระดับที่ค่อนข้างเป็นปกติ เช่นเดียวกับหลายการศึกษาที่ผ่านมาที่มีค่า ระดับการบ่มอยู่ในช่วง 50-80 เปอร์เซ็นต์ (Kauppi and Combe, 2003; Catalbas, Uysal et al., 2010) แม้ว่าจะไม่ได้รับแสงหลักจากเครื่องฉายแสงโดยตรง แต่ได้ยังรับแสงรองจากการกระจาย แสงของพื้นผิวเคลือบฟัน ดังนั้นจึงอาจใช้อธิบายการ บ่มปฏิกริยาของวัสดุยึดติดด้าน ฐานของ แบร์ริเกต ที่ไม่โดนแสงโดยตรงได้ หรือฉายแสงแต่เพียงด้านเดียวจากทางด้านบดเคี้ยวก็แสดง ระดับของการบ่มภายหลังจากการฉายแสงแล้ว 5 นาที ($60.18 \pm 3.97\%$) แม้ว่าจะมีค่าน้อยกว่า การฉายแสงจากด้านไกลกลางและไกลกลางแต่ก็ไม่มีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

แม้ว่าการระดับการบ่มตัวจะส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงการยึด ติด แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าระดับการเกิดปฏิกริยาพอลิเมอร์เซชั่นจะแปรผันตามความแข็งแรงการ ยึดติดเสมอไป (Eliades, Eliades et al., 2000; Eliades, 2006) หรือค่าความแข็งแรงการยึดติดจะ ใช้ทำนายค่าระดับการบ่มได้ (Gioka, Bourauel et al., 2005) เนื่องจากระดับการบ่มของวัสดุยึด ติดที่บ่มตัวด้วยแสงขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปริมาณแสงบ่มวัสดุยึดติด ระยะเวลาการฉายแสง พลังงานความร้อนของระบบ และคุณสมบัติเฉพาะตัวของแต่ละชนิดวัสดุยึด ติด (Eliades, 2010) ส่วนความแข็งแรงการยึดติดที่ อาจจะได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น ลักษณะการ ออกแบบของฐานแบร์ริเกต ความหลากหลายของการให้แรง ลักษณะผิวฟัน กระบวนการเก็บและ เตรียมฟัน และเงื่อนไขต่างๆของการทดสอบ เป็นต้น

ซึ่งจากผลการวิจัยนี้ ในกลุ่มการฉายแสง ด้านใกล้ แก้ม แสงจะไม่สามารถส่อง โดยตรงไปที่วัสดุยึดติด ดังนั้นวัสดุยึดติดที่อยู่ตรงกลางใต้แบร์ริเกตจึงไม่สามารถเกิดการ

พอลิเมอไรเซชันได้สมบูรณ์ (Nisalak, Jaochakarasiri et al., 2006) สอดคล้องกับการวิจัยนี้ที่ค่าระดับการบ่มของกลุ่มที่ฉายแสงด้านใกล้ กลางและไกลกลางมีค่ามากกว่ากลุ่มที่ฉายแสงด้านใกล้ แก้มผ่านแบร็กเก็ตอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อคำนึงถึงความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน กลุ่มการฉายแสงด้านใกล้แก้มและกลุ่มการฉายแสงด้านบดเคี้ยวก็สามารถให้ค่าความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนได้ไม่แตกต่างกับกลุ่มการฉายแสงด้านข้างของแบร็กเก็ตที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าเราสามารถฉายแสงจากด้านแก้มหรือด้านบดเคี้ยวก็ได้ ซึ่งจะช่วยให้เข้าทำงานง่ายขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในฟันหลัง

สรุปผลการวิจัย

1. ทิศทางการฉายแสงมีผลต่อระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติดเรซิน โดยค่าเฉลี่ยของระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติดเรซินที่ฉายแสงจากทิศใกล้กลางและไกลกลางมีค่ามากกว่าเมื่อฉายแสงจากทิศใกล้แก้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามทิศทางการฉายแสงไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนของแบร็กเก็ตจัดฟันโลหะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
2. เวลาที่เพิ่มขึ้นหลังการฉายแสง มีผลเพิ่มความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือนและระดับการบ่มตัวของวัสดุยึดติด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
3. ทิศทางการฉายแสงและระยะเวลาทดสอบหลังการฉายแสงไม่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งการยึดติดล้มเหลวหรือค่า ARI score อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
4. ทุกทิศทางการฉายแสงให้ค่าความแข็งแรงการยึดติดที่เพียงพอแม้ในกลุ่มที่ทดลองหลังการฉายแสง 5 นาที นั่นคือ สามารถฉายแสงจากด้านใกล้กลางและไกลกลาง หรือด้านแก้ม หรือด้านบดเคี้ยวก็ได้ ทำให้การทำงานง่ายขึ้นโดยเฉพาะฟันที่เข้าทำงานยาก เช่น ในฟันหลัง

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาต่อไป ถึงผลของทิศทางการฉายแสง ในวัสดุยึดติดที่บ่มตัวด้วยแสงชนิดอื่น เครื่องฉายแสงที่มีความเข้มแสงระดับอื่น ฉายแสงระยะเวลาต่างๆ และอาจมีการทดสอบในฟันกรามโดยใช้ทวิปีแทนแบร์ิกเกต เพื่อนำผลไปใช้ต่อไป

นอกจากนี้ในการศึกษาดำแหน่งยึดติดล้มเหลวในโอกาสต่อไป ควรมีการกำหนดขอบเขตพื้นที่แบร์ิกเกตให้ชัดเจน มีการย้อมสีวัสดุ ดุยึดติดที่หลงเหลือบนฟัน ทั้งนี้ เพื่อความชัดเจน และถูกต้องยิ่งขึ้นในการพิจารณาค่า ARI score

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เจน รัตน์ไพศาล (2533). ทันตวัสดุศาสตร์. ไทยวัฒนาพานิชย์ หน้า 118, 123-124, 208-209

ภาษาอังกฤษ

Adanir, N., H. Turkkahraman, et al. (2009). Effects of adhesion promoters on the shear bond strengths of orthodontic brackets to fluorosed enamel. Eur J Orthod 31(3): 276-80.

Aquilino, S. A., V. D. Williams, et al. (1987). The effect of storage solutions and mounting media on the bond strengths of a dentinal adhesive to dentin. Dent Mater 3(3): 131-5.

Birdsell, D. C., P. J. Bannon, et al. (1977). Harmful effects of near-ultraviolet radiation used for polymerization of a sealant and a composite resin. J Am Dent Assoc 94(2): 311-4.

Bishara, S. E., M. Soliman, et al. (2005). Effect of changing a test parameter on the shear bond strength of orthodontic brackets. Angle Orthod 75(5): 832-5.

Bishara, S. E., L. VonWald, et al. (1999). Effect of time on the shear bond strength of glass ionomer and composite orthodontic adhesives. Am J Orthod Dentofacial Orthop 116(6): 616-20.

Boon, T. W. (2001). Fourier transform infrared spectroscopy. Singapore, Perkin Elmer instruments.

Bowen, R. L. (1963). Properties of a silica-reinforced polymer for dental restorations. J Am Dent Assoc 66: 57-64.

- Brantley, W. A. and T. Eliades (2001). Orthodontic Materials: Scientific and Clinical Aspects. Stuttgart, Thieme.
- Brobakken, B. O. and B. U. Zachrisson (1981). Abrasive wear of bonding adhesives: studies during treatment and after bracket removal. Am J Orthod 79(2): 134-47.
- Brown, D. (1988). Orthodontic bonding adhesives. Br J Orthod 15(4): 277-8.
- Buonocore, M. G. (1955). A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. J Dent Res 34(6): 849-53.
- Cacciafesta, V., M. F. Sfondrini, et al. (2005). Effect of light-tip distance on the shear bond strengths of composite resin. Angle Orthod 75(3): 386-91.
- Catalbas, B., T. Uysal, et al. (2010). Effects of thermocycling on the degree of cure of two lingual retainer composites. Dent Mater J 29(1): 41-6.
- Chang, W. G., B. S. Lim, et al. (2005). Effects of salicylic-lactic acid conditioner on the shear bond strength of brackets and enamel surfaces. J Oral Rehabil 32(4): 287-95.
- Cheng, L., J. W. Ferguson, et al. (1989). An investigation of the polymerization of orthodontic adhesives by the transillumination of tooth tissue. Br J Orthod 16(3): 183-8.
- Chung, K. H. (1990). The relationship between composition and properties of posterior resin composites. J Dent Res 69(3): 852-6.
- Dall'Igna, C. M., E. M. Marchioro, et al. (2011). Effect of curing time on the bond strength of a bracket-bonding system cured with a light-emitting diode or plasma arc light. Eur J Orthod 33(1): 55-9.
- Dunn, W. J. and L. J. Taloumis (2002). Polymerization of orthodontic resin cement with light-emitting diode curing units. Am J Orthod Dentofacial Orthop 122(3): 236-41.

- Eliades, T. (2006). Orthodontic materials research and applications: part 1. Current status and projected future developments in bonding and adhesives. Am J Orthod Dentofacial Orthop 130(4): 445-51.
- Eliades, T. (2010). Polymerization lamps and photocuring in orthodontics. Semin Orthod 16(1): 83-90.
- Eliades, T. and W. A. Brantley (2000). The inappropriateness of conventional orthodontic bond strength assessment protocols. Eur J Orthod 22(1): 13-23.
- Eliades, T., G. Eliades, et al. (2000). Degree of cure of orthodontic adhesives with various polymerization initiation modes. Eur J Orthod 22(4): 395-9.
- Eliades, T., G. Eliades, et al. (1995). Polymerization efficiency of chemically cured and visible light-cured orthodontic adhesives: degree of cure. Am J Orthod Dentofacial Orthop 108(3): 294-301.
- Eliades, T., E. Katsavrias, et al. (2004). Effect of loading rate on bond strength. J Orofac Orthop 65(4): 336-42.
- Eliades, T., A. D. Viazis, et al. (1991). Bonding of ceramic brackets to enamel: morphologic and structural considerations. Am J Orthod Dentofacial Orthop 99(4): 369-75.
- Evans, L. J., C. Peters, et al. (2002). A comparison of shear bond strengths of orthodontic brackets using various light sources, light guides, and cure times. Am J Orthod Dentofacial Orthop 121(5): 510-5.
- Ferracane, J. L. and E. H. Greener (1986). The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins. J Biomed Mater Res 20(1): 121-31.

- Finnema, K. J., M. Ozcan, et al. (2000). In-vitro orthodontic bond strength testing: a systematic review and meta-analysis. Am J Orthod Dentofacial Orthop 137(5): 615-622 e3.
- Fredericks, H. E. (1981). Mutagenic potential of orthodontic bonding materials. Am J Orthod 80(3): 316-24.
- Frost, T., L. I. Norevall, et al. (1997). Bond strength and clinical efficiency for two light guide sizes in orthodontic bracket bonding. Br J Orthod 24(1): 35-40.
- Gioka, C., C. Bourauel, et al. (2005). Light-cured or chemically cured orthodontic adhesive resins? A selection based on the degree of cure, monomer leaching, and cytotoxicity. Am J Orthod Dentofacial Orthop 127(4): 413-9; quiz 516.
- Graber, T. M. and R. L. Vanarsdall (2005). Orthodontics, Current Principles and Techniques. St. Louis, Mosby Inc.
- Greenlaw, R., D. C. Way, et al. (1989). An in vitro evaluation of a visible light-cured resin as an alternative to conventional resin bonding systems. Am J Orthod Dentofacial Orthop 96(3): 214-20.
- Horiuchi, S., K. Kaneko, et al. (2009). Enamel bonding of self-etching and phosphoric acid-etching orthodontic adhesives in simulated clinical conditions: debonding force and enamel surface. Dent Mater J 28(4): 419-25.
- Joiner, A. (2004). Tooth color: a review of the literature. J Dent 32(suppl 1): 3-12.
- Jonke, E., A. Franz, et al. (2008). Cytotoxicity and shear bond strength of four orthodontic adhesive systems. Eur J Orthod 30(5): 495-502.
- Jost-Brinkmann, P. G., A. Schiffer, et al. (1992). The effect of adhesive-layer thickness on bond strength. J Clin Orthod 26(11): 718-20.

- Kauppi, M. R. and E. C. Combe (2003). Polymerization of orthodontic adhesives using modern high-intensity visible curing lights. Am J Orthod Dentofacial Orthop 124(3): 316-22.
- Keim, R. G., E. L. Gottlieb, et al. (2002). 2002 JCO study of orthodontic diagnosis and treatment procedures. Part 1. Results and trends. J Clin Orthod 36(10): 553-68.
- Klocke, A., H. M. Korbmacher, et al. (2002). Plasma arc curing lights for orthodontic bonding. Am J Orthod Dentofacial Orthop 122(6): 643-8.
- Knoll, M., A. J. Gwinnett, et al. (1986). Shear strength of brackets bonded to anterior and posterior teeth. Am J Orthod 89(6): 476-9.
- Koupis, N. S., T. Eliades, et al. (2008). Clinical evaluation of bracket bonding using two different polymerization sources. Angle Orthod 78(5): 922-5.
- Evans, L. J., C. Peters, et al. (2002). A comparison of shear bond strengths of orthodontic brackets using various light sources, light guides, and cure times. Am J Orthod Dentofacial Orthop 121(5): 510-5.
- Lim, Y. K. and Y. K. Lee (2007). Influence of light transmittance and background reflectance on the light curing of adhesives used to bond esthetic brackets. Am J Orthod Dentofacial Orthop 132(1): 5 e17-24.
- Mavropoulos, A., M. Cattani-Lorente, et al. (2008). Kinetics of light-cure bracket bonding: power density vs exposure duration. Am J Orthod Dentofacial Orthop 134(4): 543-7.
- Mavropoulos, A., C. B. Staudt, et al. (2005). Light curing time reduction: in vitro evaluation of new intensive light-emitting diode curing units. Eur J Orthod 27(4): 408-12.

- Millett, D. T., A. Hallgren, et al. (1998). A 5-year clinical review of bond failure with a light-cured resin adhesive. Angle Orthod 68(4): 351-6.
- Mills, R. W., K. D. Jandt, et al. (1999). Dental composite depth of cure with halogen and blue light emitting diode technology. Br Dent J 186(8): 388-91.
- Murray, S. D. and R. S. Hobson (2003). Comparison of in vivo and in vitro shear bond strength. Am J Orthod Dentofacial Orthop 123(1): 2-9.
- Newman, G. V. (1965). Epoxy adhesives for orthodontic attachments: progress report. Am J Orthod 51(12): 901-12.
- Niepraschk, M., C. Rahiotis, et al. (2007). Effect of various curing lights on the degree of cure of orthodontic adhesives. Am J Orthod Dentofacial Orthop 132(3): 382-4.
- Nisalak, P., P. Jaochakarasiri, et al. (2006). Initial tensile bond strength among various types of ortodontic adhesives. วทันต. 56(5): 301-309.
- O'Brien, K. D., M. J. Read, et al. (1989). A visible light-activated direct-bonding material: an in vivo comparative study. Am J Orthod Dentofacial Orthop 95(4): 348-51.
- O'Brien, K. D., D. C. Watts, et al. (1988). Residual debris and bond strength--is there a relationship? Am J Orthod Dentofacial Orthop 94(3): 222-30.
- Oesterle, L. J., M. L. Messersmith, et al. (1995). Light and setting times of visible-light-cured orthodontic adhesives. J Clin Orthod 29(1): 31-6.
- Oesterle, L. J. and W. C. Shellhart (2001). Bracket bond strength with transillumination of a light-activated orthodontic adhesive. Angle Orthod 71(4): 307-11.
- Olsen, M. E., S. E. Bishara, et al. (1997). Evaluation of Scotchbond Multipurpose and maleic acid as alternative methods of bonding orthodontic brackets. Am J Orthod Dentofacial Orthop 111(5): 498-501.

- Oztoprak, M. O., F. Isik, et al. (2007). Effect of blood and saliva contamination on shear bond strength of brackets bonded with 4 adhesives. Am J Orthod Dentofacial Orthop 131(2): 238-42.
- Pickett, K. L., P. L. Sadowsky, et al. (2001). Orthodontic in vivo bond strength: comparison with in vitro results. Angle Orthod 71(2): 141-8.
- Powers, J. M., H. B. Kim, et al. (1997). Orthodontic adhesives and bond strength testing. Semin Orthod 3(3): 147-56.
- Powers, J. M. and R. L. Sakaguchi (2006). CRAIG's Restorative Dental Materials. St. Louis, Mosby Elsevier Inc.
- Proffit, W. R. (2000). Contemporary Orthodontics. St. Louis, Mosby Inc.
- Rahiotis, C. (2010). Degree of cure and monomer leaching from orthodontic adhesive resins: in vitro and in vivo evidences. Semin Orthod 16(4): 266-273.
- Read, M. J. (1984). The bonding of orthodontic attachments using a visible light cured adhesive. Br J Orthod 11(1): 16-20.
- Rego, E. B. and F. L. Romano (2007). Shear bond strength of metallic brackets photo-activated with light-emitting diode (LED) at different exposure times. J Appl Oral Sci 15(5): 412-5.
- Retamoso, L. B., F. M. Collares, et al. (2009). Shear bond strength of metallic brackets: influence of saliva contamination. J Appl Oral Sci 17(3): 190-4.
- Reynolds, I. R. (1975). A review of direct orthodontic bonding. Br J Orthod 2: 171-178.
- Rossouw, P. E. (2010). A historical overview of the development of the acid-etch bonding system in orthodontics. Semin Orthod 16(1): 2-23.

- Rossouw, P. E., A. V. Penuvchev, et al. (1996). The influence of various contaminants on the bonding of orthodontic attachments. Ont Dent 73(7): 15-22.
- Rueggeberg, F. A. (1991). Substrate for adhesion testing to tooth structure - review of the literature. Dent Mater 7(1): 2-10.
- Rueggeberg, F. A., W. F. Caughman, et al. (1994). Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. Oper Dent 19(1): 26-32.
- Rueggeberg, F. A., D. T. Hashinger, et al. (1990). Calibration of FTIR conversion analysis of contemporary dental resin composites. Dent Mater 6(4): 241-9.
- Sfondrini, M. F., V. Cacciafesta, et al. (2001). Effects of conventional and high-intensity light-curing on enamel shear bond strength of composite resin and resin-modified glass-ionomer. Am J Orthod Dentofacial Orthop 119(1): 30-5.
- Sharma-Sayal, S. K., P. E. Rossouw, et al. (2003). The influence of orthodontic bracket base design on shear bond strength. Am J Orthod Dentofacial Orthop 124(1): 74-82.
- Skoog, D. A., J. F. Hollel, et al. (1998). Principles of instrumental analysis. Philadelphia, Saunders College Publishers.
- Soderholm, K. J. (1991). Correlation of in vivo and in vitro performance of adhesive restorative materials: a report of the ASC MD156 Task Group on Test Methods for the Adhesion of Restorative Materials. Dent Mater 7(2): 74-83.
- Soderholm, K. J. and S. W. Shang (1993). Molecular orientation of silane at the surface of colloidal silica. J Dent Res 72(6): 1050-4.
- Sonis, A. L. (1988). Comparison of a light-cured adhesive with an autopolymerizing bonding system. J Clin Orthod 22(11): 730-2.

- Staudt, C. B., I. Krejci, et al. (2006). Bracket bond strength dependence on light power density. J Dent 34(7): 498-502.
- Swanson, T., W. J. Dunn, et al. (2004). Shear bond strength of orthodontic brackets bonded with light-emitting diode curing units at various polymerization times. Am J Orthod Dentofacial Orthop 125(3): 337-41.
- Talbot, T. Q., R. J. Blankenau, et al. (2000). Effect of argon laser irradiation on shear bond strength of orthodontic brackets: an in vitro study. Am J Orthod Dentofacial Orthop 118(3): 274-9.
- Tavas, M. A. and D. C. Watts (1979). Bonding of orthodontic brackets by transillumination of a light activated composite: an in vitro study. Br J Orthod 6(4): 207-8.
- Tavas, M. A. and D. C. Watts (1984). A visible light-activated direct bonding material: an in vitro comparative study. Br J Orthod 11(1): 33-7.
- Tell, R. T., R. J. Sydiskis, et al. (1988). Long-term cytotoxicity of orthodontic direct-bonding adhesives. Am J Orthod Dentofacial Orthop 93(5): 419-22.
- Thompson, L. R., E. G. Miller, et al. (1982). Leaching of unpolymerized materials from orthodontic bonding resin. J Dent Res 61(8): 989-92.
- Toledano, M., R. Osorio, et al. (2003). Bond strength of orthodontic brackets using different light and self-curing cements. Angle Orthod 73(1): 56-63.
- Turkkahraman, H., N. Adanir, et al. (2007). Bleaching and desensitizer application effects on shear bond strengths of orthodontic brackets. Angle Orthod 77(3): 489-93.
- Usumez, S., T. Buyukyilmaz, et al. (2004). Effect of light-emitting diode on bond strength of orthodontic brackets. Angle Orthod 74(2): 259-63.

- Wang, W. N. and C. L. Meng (1992). A study of bond strength between light- and self-cured orthodontic resin. Am J Orthod Dentofacial Orthop 101(4): 350-4.
- Wendl, B. and H. Droschl (2004). A comparative in vitro study of the strength of directly bonded brackets using different curing techniques. Eur J Orthod 26(5): 535-44.
- Williams, V. D. and C. W. Svare (1985). The effect of five-year storage prior to bonding on enamel/composite bond strength. J Dent Res 64(2): 151-4.
- Zachrisson, B. U. and B. O. Brobakken (1978). Clinical comparison of direct versus indirect bonding with different bracket types and adhesives. Am J Orthod 74(1): 62-78.

ภาคผนวก

ตารางที่ 4 ผลของการทดสอบการกระจายแบบปกติของความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน โดยใช้การทดสอบสถิติ Kolmogorov-Smirnov method

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test				
Time	light direction		Strength	
5 mins	M+D	N	12	
		Normal Parameters ^{a,b}	Mean	13.245433
			Std. Deviation	2.2026090
		Most Extreme Differences	Absolute	.197
			Positive	.197
			Negative	-.093
		Kolmogorov-Smirnov Z		.684
		Asymp. Sig. (2-tailed)		.738
		B	N	N
Normal Parameters ^{a,b}	Mean			13.078083
	Std. Deviation			1.2365692
Most Extreme Differences	Absolute			.152
	Positive			.152
	Negative			-.146
Kolmogorov-Smirnov Z				.526
Asymp. Sig. (2-tailed)				.944
Oc	N			N
		Normal Parameters ^{a,b}	Mean	13.454517
			Std. Deviation	1.5494509
		Most Extreme Differences	Absolute	.235
			Positive	.235
			Negative	-.127
		Kolmogorov-Smirnov Z		.815
		Asymp. Sig. (2-tailed)		.520

ตารางที่ 4 (ต่อ) ผลของการทดสอบการกระจายแบบปกติของความแข็งแรงการยึดติดทนแรงเฉือน
โดยใช้การทดสอบสถิติ Kolmogorov-Smirnov method

Light direction			Strength		
Time					
24 hrs	M+D	N	12		
		Normal Parameters ^{a,b}	Mean	21.903283	
			Std. Deviation	2.2943786	
		Most Extreme Differences	Absolute	.162	
			Positive	.162	
			Negative	-.088	
		Kolmogorov-Smirnov Z	.559		
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.913		
		B	N	N	12
				Normal Parameters ^{a,b}	Mean
Std. Deviation	1.7307377				
Most Extreme Differences	Absolute			.198	
	Positive			.198	
	Negative			-.169	
Kolmogorov-Smirnov Z	.685				
Asymp. Sig. (2-tailed)	.735				
Oc	N			N	12
				Normal Parameters ^{a,b}	Mean
		Std. Deviation	2.8246223		
		Most Extreme Differences	Absolute	.205	
			Positive	.127	
			Negative	-.205	
		Kolmogorov-Smirnov Z	.711		
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.693		

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

ตารางที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของกลุ่มทดลองความแข็งแรงการยืดติดทนแรง
 ฉะนั้นระหว่างการฉายแสงทิศทางต่างๆ เมื่อทดสอบหลังการฉายแสง 5 นาทีและ
 24 ชั่วโมง

Test of Homogeneity of Variances

Strength

Time	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5 mins	2.875	2	33	.071
24 hrs	.609	2	33	.550

ตารางที่ 6 แสดงการวิเคราะห์ผลของทิศทางการฉายแสงที่มีต่อความแข็งแรงการยึดติดทนแรง
 ฉีกของแบร์กเกตจัดฟันโลหะด้วยสถิติ one way ANOVA ที่การทดสอบหลังฉายแสง
 5 นาทีและ 24 ชั่วโมง

ANOVA

Strength

Time		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
5 mins	Between Groups	.854	2	.427	.146	.865
	Within Groups	96.595	33	2.927		
	Total	97.449	35			
24 hrs	Between Groups	23.551	2	11.775	2.175	.130
	Within Groups	178.619	33	5.413		
	Total	202.170	35			

ตารางที่ 10 แสดงผลของทิศทางการฉายแสงที่มีต่อระดับการป่มตัวของวัสดุยึดติดเรซิน โดยแบ่งตามระยะเวลาทดสอบหลังการฉายแสงด้วย nonparametric Kruskal-Wallis test

Test Statistics^{a,b}

Time		degree of cure
5 mins	Chi-Square	6.500
	Df	2
	Asymp. Sig.	.039
24 hrs	Chi-Square	7.020
	Df	2
	Asymp. Sig.	.030

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: light direction

ตารางที่ 11 แสดงการวิเคราะห์ multiple comparison ด้วยวิธี Dwass-Steel-Christlow-Fligner ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$) แสดงผลของทิศทางการฉายแสงที่มีต่อระดับการป่นตัวของวัสดุยึดติดเรซิน ที่เวลาการทดสอบหลังฉายแสง 5 นาที

Kruskal-Wallis: all pairwise comparisons (Dwass-Steel-Christlow-Fligner)
Critical q (range) = 3.314493

T1L1 vs. T1L2 (-3.397325 > 3.314493)	significant P = 0.043
T1L1 vs. T1L3 (-2.511066 > 3.314493)	not significant P = 0.1778
T1L2 vs. T1L3 (1.033969 > 3.314493)	not significant P = 0.745

ตารางที่ 12 แสดงการวิเคราะห์ multiple comparison ด้วยวิธี Dwass-Steel-Christlow-Fligner ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$) แสดงผลของทิศทางการฉายแสงที่มีต่อระดับการป่นตัวของวัสดุยึดติดเรซิน ที่เวลาการทดสอบหลังฉายแสง 24 ชั่วโมง

Kruskal-Wallis: all pairwise comparisons (Dwass-Steel-Christlow-Fligner)
Critical q (range) = 3.314493

T2L1 vs. T2L2 (-3.692745 > 3.314493)	significant P = 0.0245
T2L1 vs. T2L3 (-0.738549 > 3.314493)	not significant P = 0.8605
T2L2 vs. T2L3 (2.511066 > 3.314493)	not significant P = 0.1778

ตารางที่ 13 แสดงผลของระยะเวลาทดสอบหลังการฉายแสงที่มีต่อระดับการบ่มตัวของวัสดุ
 ยึดติดเรซิน โดยแบ่งตามแต่ละทิศทางการฉายแสง โดยการวิเคราะห์ด้วย
 สถิติ nonparametric Mann Whitney U test

light direction		degree of cure
M+D	Mann-Whitney U	.000
	Wilcoxon W	15.000
	Z	-2.611
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.009
	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.008 ^a
B	Mann-Whitney U	.000
	Wilcoxon W	15.000
	Z	-2.611
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.009
	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.008 ^a
Oc	Mann-Whitney U	.000
	Wilcoxon W	15.000
	Z	-2.611
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.009
	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.008 ^a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: time

ตารางที่ 16 แสดงผลของทิศทางการฉายแสงที่มีต่อ ARI score โดยแบ่งตามกลุ่มทดสอบหลังฉายแสง 5 นาที และ 24 ชั่วโมง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Chi square

Time		Value	Df	Asymp. Sig. (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
5 mins	Pearson Chi-Square	3.237 ^a	4	.519	.693	
	Likelihood Ratio	3.448	4	.486	.693	
	Fisher's Exact Test	3.082			.693	
	Linear-by-Linear Association	2.121 ^b	1	.145	.204	.102
	N of Valid Cases	36				
24 hrs	Pearson Chi-Square	2.706 ^c	4	.608	.748	
	Likelihood Ratio	2.943	4	.567	.748	
	Fisher's Exact Test	2.608			.748	
	Linear-by-Linear Association	1.313 ^d	1	.252	.343	.171
	N of Valid Cases	36				

a. 3 cells (33.3%) have expected count less than 5. The minimum expected count is .33.

b. The standardized statistic is 1.456.

c. 6 cells (66.7%) have expected count less than 5. The minimum expected count is .33.

d. The standardized statistic is 1.146.

ตารางที่ 17 แสดงผลของระยะเวลาทดสอบหลังฉายแสงที่มีต่อ ARI score โดยแบ่งตามกลุ่ม
ทิศทางการฉายแสง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Chi square

		Chi-Square Tests				
light direction		Value	Df	Asymp. Sig. (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
M+D	Pearson Chi-Square	.786 ^a	2	.675	.822	
	Likelihood Ratio	.792	2	.673	.822	
	Fisher's Exact Test	1.032			.822	
	Linear-by-Linear Association	.451 ^b	1	.502	.739	.370
	N of Valid Cases	24				
B	Pearson Chi-Square	.168 ^c	1	.682	1.000	.500
	Continuity Correction ^d	.000	1	1.000		
	Likelihood Ratio	.168	1	.682	1.000	.500
	Fisher's Exact Test				1.000	.500
	Linear-by-Linear Association	.161 ^e	1	.688	1.000	.500
N of Valid Cases	24					
Oc	Pearson Chi-Square	1.510 ^c	1	.219	.414	.207
	Continuity Correction ^d	.671	1	.413		
	Likelihood Ratio	1.527	1	.217	.414	.207
	Fisher's Exact Test				.414	.207
	Linear-by-Linear Association	1.448 ^f	1	.229	.414	.207
N of Valid Cases	24					

a. 4 cells (66.7%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 1.00.

b. The standardized statistic is -.672.

c. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 5.50.

d. Computed only for a 2x2 table

e. The standardized statistic is -.401.

f. The standardized statistic is -1.203.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว เสาวลักษณ์ ผดุงวรรณศาสตร์ เกิดวันที่ 18 มิถุนายน พ.ศ. 2526 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จากคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2549 จากนั้นเข้าทำงานเป็นทันตแพทย์ประจำโรงพยาบาล ปรานบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เป็นเวลา 1 ปี จากนั้นได้ลาออกจากราชการและทำงานเป็นทันตแพทย์เอกชนเป็นเวลา 2 ปี และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553