

ช่องว่างของการบูรณะเรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนในโพรงฟันชนิดคลาสทู



นายชินเดช จิระอานนท์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

VOIDS OF BULK FILL RESIN COMPOSITE RESTORATION IN CLASS II CAVITY

Mr. Chinnadate Jiraanon



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

Department of Operative Dentistry

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ช่องว่างของการบูรณะเรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อน
ในโพรงฟันชนิดคลาสทู

โดย

นายชินเดช จิระอานนท์

สาขาวิชา

ทันตกรรมทันตการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. ชัยวัฒน์ มณีนุชย์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. สุจิต พูลทอง)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ปิยาณี พาณิชวิสัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. ชัยวัฒน์ มณีนุชย์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. วรณธนะ สัตตบรรณสุข)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ซินเดซ จิระอานนท์ : ช่องว่างของการบูรณะเรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนในโพรงฟัน ชนิดคลาสทู (VOIDS OF BULK FILL RESIN COMPOSITE RESTORATION IN CLASS II CAVITY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ทพ. ดร. ชัยวัฒน์ มณีบุษย์, หน้า.

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินถึงผลของวิธีการบูรณะวัสดุเรซิน คอมโพสิต ชนิดบูรณะทั้งก้อนที่มีรูปแบบผลิตภัณฑ์และลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันในโพรงฟันชนิดคลาสทู ต่อช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณะ ด้วยเครื่องมือโครคอมพิวเตดโทโมกราฟี โดยทำการเตรียมโพรงฟัน ชนิดคลาสทูในฟันกรามน้อยซึ่งที่หนึ่งทั้งหมด 40 ซี่ และแบ่งตามกลุ่มของการบูรณะเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 บูรณะด้วยฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โปสทีเรียแบบหลอด (Filtek Bulk Fill Posterior, Syringes) โดยตัดวัสดุใส่โพรงฟันเพียงครั้งเดียว กลุ่มที่ 2 บูรณะด้วยฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โปสทีเรียแบบหลอด (Filtek Bulk Fill Posterior, Syringes) โดยตัดวัสดุใส่โพรงฟันสองครั้ง กลุ่มที่ 3 บูรณะด้วยฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โปสทีเรียแบบแคปซูล (Filtek Bulk Fill Posterior, Capsule) โดยฉีควัสดุเพียงครั้งเดียว และกลุ่มที่ 4 ทำการบูรณะด้วยโซนิคฟิลล์แบบแคปซูล (SonicFill 2, Capsule) โดยฉีควัสดุเพียงครั้งเดียวจากเครื่องมือฉีดสำหรับวัสดุโซนิคฟิลล์ (SonicFill Handpiece) สารยึดติด OptiBond FL ถูกใช้เตรียมพื้นผิวโพรงฟันก่อนบูรณะ ภายหลังบูรณะเก็บชิ้นตัวอย่างไว้ในตู้ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นประเมินร้อยละของช่องว่างที่เกิดขึ้น ทั้งหมดภายในโพรงฟันที่บูรณะแล้วด้วยเครื่องมือโครคอมพิวเตดโทโมกราฟี วิเคราะห์ข้อมูลด้วย One-way ANOVA ร่วมกับ Tukey Post-hoc test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการศึกษา พบว่า ร้อยละของช่องว่างในกลุ่มที่ 2 ซึ่งบูรณะด้วยการตัดวัสดุสองครั้ง (1.62 %) มากกว่ากลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ร้อยละของช่องว่างของกลุ่มที่ 1 ซึ่งตัดวัสดุเพียงครั้งเดียวหรือกลุ่มที่ 3 และ 4 ซึ่งฉีควัสดุใส่โพรงฟันเพียงครั้งเดียวไม่แตกต่างกัน (0.49 %, 0.33 % และ 0.21 % ตามลำดับ) สรุปผลการศึกษาได้ว่า การบูรณะโพรงฟันชนิดคลาสทูด้วยเรซิน คอมโพสิต ชนิดบูรณะทั้งก้อน โดยวิธีตัดวัสดุใส่โพรงฟันสองครั้งเกิดช่องว่างในการบูรณะมากที่สุด

ภาควิชา ทันตกรรมหัตถการ ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา ทันตกรรมหัตถการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2560

5775804732 : MAJOR OPERATIVE DENTISTRY

KEYWORDS: BULK FILL RESIN COMPOSITE / MICRO-COMPUTED TOMOGRAPHY / VOIDS / CLASS II CAVITY / RESTORATION / เรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อน / ไมโครคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี / ช่องว่าง / โพรงฟันชนิดคลาสทู / การบูรณะ

CHINNADATE JIRAANON: VOIDS OF BULK FILL RESIN COMPOSITE RESTORATION IN CLASS II CAVITY. ADVISOR: ASSOC. PROF. CHAIWAT MANEENUT, Ph.D., pp.

The aim of this study was to evaluate voids formation in Class II cavity restored with different placement methods of bulk-fill resin composites using micro-computed tomography (micro-CT). Standardized Class II cavities were prepared in 40 extracted human premolars which were divided into 4 groups. Group1: one bulk placement with syringe type (Filtek Bulk Fill Posterior, Syringes); Group2: incremental placement with syringe type (Filtek Bulk Fill Posterior, Syringes); Group3: one bulk placement with injection capsule type (Filtek Bulk Fill Posterior, Capsule); Group4: one bulk placement with injection SonicFill Handpiece type (SonicFill 2, Capsule). Adhesive system (Optibond FL) was applied before restoration. Percent of voids (%Voids) in restored cavity was evaluated with micro-CT after storage in 100% relative humidity at 37 degrees Celsius for 24 hours. Statistical analysis was done using One-way ANOVA and Tukey post hoc test at confidential level of 95 %. Results: Percent of voids in group 2 (1.62 %) was significant higher ($p = 0.05$) than the other groups (0.49 %, 0.33 % and 0.21 %, respectively). Conclusion: Incremental placement created the highest voids when restore Class II cavity with bulk-fill resin composite.

Department: Operative Dentistry

Student's Signature

Field of Study: Operative Dentistry

Advisor's Signature

Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.ชัยวัฒน์ มณีบุษย์ อาจารย์ที่ปรึกษา
สำหรับคำปรึกษาและคำแนะนำตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณ รศ.ทพ.ชาญชัย โห้
สงวน สำหรับคำปรึกษาด้านสถิติ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์และศูนย์วิจัยชีววิทยาช่อง
ปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุเคราะห์เครื่องมือทำวิจัย และ
ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ผู้ให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือต่าง ๆ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญแผนภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
คำถามการวิจัย	2
วัตถุประสงค์การวิจัย	3
สมมุติฐานของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	3
รูปแบบวิธีวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	5
1. วัสดุบุรณะเรซิน คอมโพสิต	5
1.1 ส่วนประกอบของเรซิน คอมโพสิต	5
1.1.1 เรซิน เมทริกซ์	5
1.1.2 วัสดุอัดแทรก.....	6
1.1.3 สารเชื่อมติด	6
1.2 การหดตัวและความเค้นจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์	7
1.2.1 ระดับการเกิดพอลิเมอร์	7

1.2.2 โมโนเมอร์.....	8
1.2.3 วัสดุอัดแทรก.....	10
1.2.4 รูปร่างของโพรงฟัน.....	11
1.2.5 ความเข้มแสงและวิธีการฉายแสง.....	11
1.2.6 วิธีการบูรณะ.....	12
2. เรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อน.....	12
2.1 ส่วนประกอบของเรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อน.....	12
2.1.3 เรซิน โมโนเมอร์.....	13
2.1.1 วัสดุอัดแทรก.....	13
2.1.2 ระบบการบ่มตัว.....	14
2.2 ระดับความลึกของการบ่มตัว.....	14
2.3 ความเค้นจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์.....	16
3. ช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณะด้วยเรซิน คอมโพสิต.....	17
3.1 ระบบสารยึดติดและความเค้นจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์.....	17
3.2 ลักษณะการใช้งานวัสดุและวิธีการบูรณะ.....	18
3.3 ลักษณะโพรงฟัน.....	19
3.4 การเตรียมวัสดุเรซิน คอมโพสิต.....	19
4. วิธีการทดสอบช่องว่างของการบูรณะ.....	19
4.1 ออพติคอลโคฮีเรนโทโมกราฟี.....	20
4.2 ไมโครคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี.....	22
บทที่ 3 วิธีการวิจัย.....	28
วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	28
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	29

วิธีวิจัย	30
การเตรียมพื้นที่ตัวอย่าง	30
การเตรียมแบบพิมพ์ซิลิโคน	33
การบูรณะฟัน	33
การวิเคราะห์ช่องว่างที่เกิดขึ้นภายหลังบูรณะด้วยเครื่องมือโครคอมพิวเตดโทโมกราฟี	34
การวิเคราะห์ทางสถิติ	36
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	37
บทที่ 5 บทวิจารณ์.....	43
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	48
ข้อเสนอแนะ	48
รายการอ้างอิง	49
ภาคผนวก.....	59
ตารางแสดงมิติโพรงฟันในแต่ละชั้นตัวอย่าง.....	60
ตารางแสดงกลุ่มและร้อยละของช่องว่างในแต่ละชั้นตัวอย่าง	62
ตารางแสดงสถิติเชิงพรรณนา (Descriptives Statistics) ของข้อมูลแต่ละกลุ่ม	63
ตารางแสดงการวิเคราะห์สถิติ One way ANOVA	65
ตารางแสดงการวิเคราะห์สถิติ Tukey HSD.....	65
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	66

สารบัญแผนภาพ

แผนภาพที่ 1 แสดงการยึดติดของโซเลนกับวัสดุอัดแทรกและเรซิน เมทริกซ์	7
แผนภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างของโมโนเมอร์แต่ละชนิด	10
แผนภาพที่ 3 ลักษณะการทำงานของ Michelson type interferometer	21
แผนภาพที่ 4 หลักการสร้างภาพของออปติคอลโคฮีเรนโทโมกราฟี	22
แผนภาพที่ 5 แสดงเทคนิคถ่ายภาพรังสีแบบโทโมกราฟี	24
แผนภาพที่ 6 แสดงส่วนประกอบของไมโครคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี	25
แผนภาพที่ 7 แสดงการกำหนดขอบเขตที่สนใจ	26
แผนภาพที่ 8 แสดงรอยขีดด้านบดเคี้ยว	30
แผนภาพที่ 9 แสดงรอยขีดด้านประชิด	31
แผนภาพที่ 10 แสดงการใช้งานเครื่องกรอฟันที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์	31
แผนภาพที่ 11 แสดงโพรงฟันภายหลังการเตรียม และการตรวจสอบมิติโพรงฟันด้วยดิจิตอลเวอร์ เนียร์คาลิเปอร์	32
แผนภาพที่ 12 แสดงการยึดเมทริกซ์กับฟันที่เตรียมโพรงฟันไว้	32
แผนภาพที่ 13 แสดงการกำหนดขอบเขตที่สนใจ ตั้งแต่ขอบโพรงฟันครอบคลุมวัสดุบูรณะทั้งหมด	35
แผนภาพที่ 14 แสดงภาพถ่ายของขอบเขตที่สนใจโดยผู้วิจัย	36
แผนภาพที่ 15 แผนภาพฮิสโทแกรมแสดงการแจกแจงข้อมูลลอการิทึม ของร้อยละช่องว่างที่ของ การบูรณะ	37
แผนภาพที่ 16 ตัวอย่างภาพตัดขวางของกลุ่มที่ 1	38
แผนภาพที่ 17 ตัวอย่างภาพตัดขวางของกลุ่มที่ 3	38
แผนภาพที่ 18 ตัวอย่างภาพตัดขวางของกลุ่มที่ 4	39
แผนภาพที่ 19 ตัวอย่างภาพตัดขวางของกลุ่มที่ 2	39
แผนภาพที่ 20 ตัวอย่างช่องว่างที่เกิดขึ้นในกลุ่มต่าง ๆ ในลักษณะ 3 มิติ	40
แผนภาพที่ 21 แสดงร้อยละของช่องว่างของการบูรณะของกลุ่มต่าง	41

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน วัสดุเรซิน คอมโพสิต ได้รับการยอมรับและนิยมนำมาใช้บูรณะทั้งหน้าและฟันหลัง เพราะมีความสวยงาม สามารถลอกเลียนสีฟันธรรมชาติได้ดี มีความแข็งแรงเพียงพอในการรับแรงบดเคี้ยว รวมทั้งความกังวลเกี่ยวกับความเป็นพิษของปรอทในวัสดุอะมัลกัม (1, 2) แต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาทางคลินิกของ Ishibashi และคณะ (3) พบว่า ส่วนใหญ่ของการบูรณะฟันด้วยวัสดุเรซิน คอมโพสิตมีช่องว่างขนาดใหญ่ภายในเนื้อวัสดุและพบช่องว่างระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะพร้อมกับความไม่แนบสนิทตามขอบวัสดุบูรณะ มีการบูรณะเพียงร้อยละ 18.9 เท่านั้นที่ไม่พบปัญหาเหล่านี้

ช่องว่างที่เกิดขึ้นจากความไม่แนบกับผิวด้านในของโพรงฟันของเรซิน คอมโพสิต อาจเกิดจากการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization shrinkage) ทำให้ปริมาตรของวัสดุลดลง (4) และเกิดความเค้นจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization stress) บริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและโครงสร้างฟัน (5, 6) นอกจากนี้ ความหนืดของวัสดุและรูปแบบการใส่วัสดุเข้าโพรงฟัน ก็อาจมีผลต่อการเกิดช่องว่างระหว่างผนังด้านในของโพรงฟันและวัสดุเรซิน คอมโพสิตด้วยเช่นกัน (7) หากความแนบสนิทกับผิวด้านในของโพรงฟันไม่สมบูรณ์ จะมีผลทำให้แรงยึดติดระหว่างวัสดุบูรณะและโพรงฟันลดลง (8) และอาจมีผลทำให้ผู้ป่วยเสียฟันภายหลังการบูรณะเมื่อเคี้ยวอาหารหรือทานน้ำเย็นได้ (9) นอกจากนี้ การเคลื่อนที่ของน้ำภายในท่อเนื้อฟัน (dentinal fluid) เข้ามาเติมเต็มในช่องว่างเหล่านี้ อาจทำให้เกิดการทำลายสารยึดติดบริเวณนั้นได้ ในขณะที่ช่องว่างภายในของวัสดุหรือความพรุน (porosity) จะมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุบูรณะ และอาจทำให้วัสดุแตกหักได้เมื่อใช้งาน (10) การศึกษาช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณะมีหลายหลายวิธี เช่น การย้อมสีภายหลังการตัดแบ่งชิ้นงานเพื่อตรวจสอบรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและโพรงฟัน วิธีการนี้ใช้เวลาน้อยทำ แต่จะตรวจสอบได้เฉพาะบริเวณที่ถูกตัดเท่านั้น ไม่สามารถดูช่องว่างที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้ หรือการใช้ฮอปติคอลลโคฮีเรนซ์โทโมกราฟี (optical coherence tomographic; OCT) ซึ่งสามารถสร้างแผนภาพสามมิติโดยไม่ต้องตัดชิ้นตัวอย่าง แต่วิธีนี้สามารถวัดความแนบในโพรงฟันที่ลึกเพียง 2-3 มิลลิเมตรเท่านั้น (11) ในขณะที่การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี (micro-

computed tomography) เป็นวิธีการศึกษาที่สามารถให้แผนภาพสามมิติของวัตถุที่เราต้องการศึกษาโดยไม่ต้องตัดชิ้นตัวอย่าง และสามารถวิเคราะห์ปริมาตรของช่องว่างที่เกิดขึ้นในลักษณะสามมิติ ทำให้มีความน่าเชื่อถือและถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิจัยทางทันตกรรมอย่างหลากหลาย

ในปัจจุบัน การบูรณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม (conventional resin composite) ได้รับการแนะนำให้บูรณะแบบชั้น ๆ (incremental technique) ชั้นละไม่เกิน 2 มิลลิเมตร เพื่อการลดความเค้นที่เกิดขึ้นมาจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ เนื่องจากทำให้สัดส่วนพื้นผิวที่ยึดติดกับโครงสร้างฟันต่อพื้นผิวที่ไม่มีการยึดติดกับโครงสร้างฟันหรือ “ซีแฟกเตอร์” (Configuration factor; C-factor) ลดลง (12, 13) และลดปัญหาเกี่ยวกับระดับความลึกของการเกิดพอลิเมอร์ (14) แต่วิธีการบูรณะแบบชั้น ๆ นี้มีข้อด้อยคือ ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการบูรณะมากขึ้นและมีโอกาสที่จะเกิดช่องว่างระหว่างการบูรณะแต่ละชั้น ดังนั้น จึงมีการพัฒนาวัสดุเรซิน คอมโพสิตที่สามารถบูรณะทีเดียวทั้งก้อน (bulk-fill resin composite) เพื่อลดระยะเวลาการทำงาน และลดความเสี่ยงที่จะเกิดช่องว่างระหว่างชั้นของการบูรณะ

เรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนมีหลายผลิตภัณฑ์และมีวิธีการใช้งานแตกต่างกันไป (15) วัสดุที่มีความหนืดต่ำ (low viscosity) จะอยู่บรรจุในภาชนะลักษณะหลอดฉีดขนาดเล็ก (capsule or compute) ใช้งานโดยฉีดวัสดุเข้าโพรงฟันแล้วจึงบูรณะด้านบดเคี้ยวด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดอื่นที่มีความแข็งแรงมากกว่า ในขณะที่วัสดุที่มีความหนืดสูง (high viscosity) อาจจะบรรจุในหลอดฉีดเล็กใช้งานโดยฉีดออกจากเข้าโพรงฟันโดยตรง หรือใช้เครื่องมือให้พลังงานไปสั่นสะเทือนเพื่อให้วัสดุมีความหนืดต่ำก่อนฉีดเข้าไปโพรงฟัน บางผลิตภัณฑ์บรรจุในหลอด (syringe) โดยบีบออกมาจากหลอดก่อนแล้วใช้เครื่องมือตักใส่เข้าไปโพรงฟัน เรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนที่มีความหนืดสูงไม่จำเป็นต้องบูรณะด้านบดเคี้ยวด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดอื่นอีก ซึ่งลักษณะและรูปแบบการใช้งานที่แตกต่างกันอาจมีผลต่อช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณะฟัน (7, 16, 17) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในการบูรณะโพรงฟันชนิดคลาสซุ (class II cavity) ซึ่งมีตำแหน่งและลักษณะโพรงฟันที่ยากในการใส่วัสดุ

คำถามการวิจัย

วิธีการบูรณะวัสดุเรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนที่แตกต่างกันในโพรงฟันชนิดคลาสซุ มีผลให้ช่องว่างของการบูรณะแตกต่างกันหรือไม่

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาถึงผลของวิธีการบุงนระวัสดุเรซิน คอมโพสิตชนิดบุงนระทั้งกัอนที่มีรูปแบบผลิถภณัถ์และลักษณะการใชงงานที่แตกต่ากันในโพรงฟันชนิดคลาสทุ ต่อช่องว่างที่เกดิขึ้นในการบุงนระ

สมมุติฐานของการวิจัย

วิธีการบุงนระวัสดุเรซิน คอมโพสิตชนิดบุงนระทั้งกัอนในโพรงฟันชนิดคลาสทุไม่มีผลต่อช่องว่างที่เกดิขึ้นในการบุงนระ

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (experimental research) โดยศึกษาช่องว่างที่เกดิขึ้นในการบุงนระโพรงฟันชนิดคลาสทุด้วยวัสดุเรซิน คอมโพสิตชนิดบุงนระทั้งกัอนที่มีรูปแบบผลิถภณัถ์และลักษณะการใชงงานที่แตกต่ากัน ได้แก่ การบุงนระด้วยวัสดุเรซิน คอมโพสิตชนิดบุงนระทั้งกัอนในรูปแบบลหอด โดยตักวัสดุเพียงครั้งเดียว การบุงนระด้วยวัสดุเรซิน คอมโพสิตชนิดบุงนระทั้งกัอนในรูปแบบลหอด โดยตักวัสดุสองครั้ง การบุงนระด้วยวัสดุเรซิน คอมโพสิตชนิดบุงนระทั้งกัอนในรูปแบบแคปซูล โดยฉิถวัสดุเพียงครั้งเดียว และการบุงนระด้วยวัสดุเรซิน คอมโพสิตชนิดบุงนระทั้งกัอนในรูปแบบแคปซูล โดยฉิถวัสดุเพียงครั้งเดียวด้วยเครื่องมือฉิถวัสดุ SonicFill

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ทันตแพทยผู้ทำการทดลองในงานวิจัยนี้ต้องได้รับการฝึกฝนจนมีความชำนาญในการเตรียมขึ้นตัวอย่าง การบุงนระฟัน รวมถึงเข้าใจวิธีการใช้เครื่องมือต่า ๆ ได้เป็นอย่างดี และเป็นบุคคลเดียวกันตลอดการวิจัย
2. เลือกใช้วัสดุเรซิน คอมโพสิตชนิดบุงนระทั้งกัอนที่เคยในการวิจัยอื่น ๆ (18-27)
3. ช่องว่างที่เกดิขึ้นภายหลังกบุงนระ (voids) ในการวิจัยนี้ หมายถึงช่องว่างที่อยู่ระหว่าโพรงฟันและวัสดุบุงนระ และช่องว่างที่อยู่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งปรากฏเป็นพื้นที่สีด่าภายในโพรงฟันของ

แต่ละภาพตัดขวางเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี (micro-CT) เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีลักษณะโปร่งรังสี (radiolucent)

รูปแบบวิธีวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (experimental laboratory research)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับช่องว่างที่เกิดขึ้นภายหลังการบูรณะ เมื่อใช้วิธีการบูรณะวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนที่แตกต่างกัน
2. เป็นแนวทางการเลือกวิธีบูรณะได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้ลดการเกิดช่องว่างที่เกิดขึ้นภายหลังการบูรณะ



บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

1. วัสดุบูรณะเรซิน คอมโพสิต

เรซิน คอมโพสิต ได้รับการพัฒนาทั้งทางด้านคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพ มีความสวยงามสามารถลอกเลียนสีฟันธรรมชาติได้ดี ประกอบกับการพัฒนาสารยึดติด ทำให้เรซิน คอมโพสิต สามารถยึดติดกับโครงสร้างฟันและเพิ่มความคงทนของวัสดุบูรณะโดยไม่ต้องมีการกรอแต่งฟันมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น การบูรณะที่สนับสนุนแนวทางการรักษาเชิงอนุรักษ์ (minimal invasive approach) ส่งผลให้เรซิน คอมโพสิตได้รับความนิยมนำมาบูรณะทั้งฟันหน้าและฟันหลัง

1.1 ส่วนประกอบของเรซิน คอมโพสิต

เรซิน คอมโพสิตประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก (28) ส่วนแรกคือเรซิน เมทริกซ์ (resin matrix) ส่วนที่สองคือวัสดุอัดแทรก (filler) เช่น อนุภาคของแก้ว ซิลิกาหรือออกไซด์ของโลหะ เป็นต้น และส่วนสุดท้ายคือสารเชื่อมติด (coupling agent) ซึ่งทำการเชื่อมคือเรซิน เมทริกซ์และวัสดุอัดแทรกเข้าไว้ด้วยกัน

1.1.1 เรซิน เมทริกซ์

เรซิน เมทริกซ์ มีส่วนประกอบย่อย ๆ หลายส่วนได้แก่ เรซิน โมโนเมอร์ (resin monomer) ระบบการบ่มตัว (initiator system) สารยับยั้งการเกิดพอลิเมอร์ (inhibitor) และสารสีต่าง ๆ โดยเรซิน โมโนเมอร์ที่นิยมใช้มีหลายชนิด เช่น บิสจีเอ็มเอ (bis-GMA) ยูรีเทนไดเมทาครีเลท (urethane dimethacrylate; UDMA) ไตรเอทิลีนไกลคอลไดเมทาครีเลท (triethylene glycol dimethacrylate; TEGDMA) เป็นต้น ภายหลังจากกระตุ้นสารตั้งต้นการบ่มตัวด้วยแสงหรือสารตั้งต้นการบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี เรซิน โมโนเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้าม (cross-link polymerization) ทำให้วัสดุมีความแข็งผิวและมีคุณสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น (28) ส่วนสารยับยั้งการเกิดพอลิเมอร์ เช่น ไฮโดรควิโนน (Hydroquinone) บีเอชที (BHT; 2,6-di-t-butyl-4-methylphenol) จะทำให้อายุ

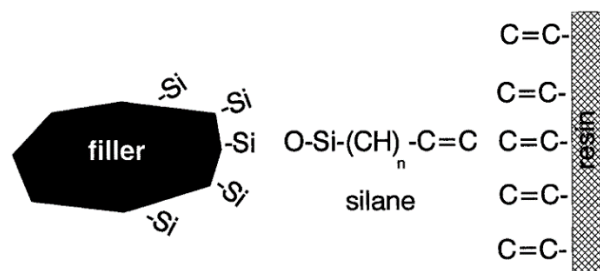
การเก็บรักษาของวัสดุงานขึ้น สารสีต่าง ๆ เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide) จะทำให้วัสดุมีสีหลายหลาย สามารถเลือกใช้เพื่อลอกเลียนสีฟันธรรมชาติ

1.1.2 วัสดุอัดแทรก

วัสดุอัดแทรกเป็นสารอนินทรีย์ซึ่งไม่เกิดปฏิกิริยา (inert) กับส่วนประกอบอื่น ๆ วัสดุอัดแทรกมีหลายชนิด เช่น ควอทซ์ (quartz) คอลลอยด์ซิลิกา (colloidal silica) แบเรียมกลาส (barium glass) เซอร์โคเนียกลาส (zirconia glass) เป็นต้น การเติมวัสดุอัดแทรกเข้าไปในเรซิน เมทริกซ์ส่งผลให้คุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุเรซิน คอมโพสิตดีขึ้น จากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณของวัสดุอัดแทรกเพิ่มขึ้น(29-31) จะช่วยลดการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ลดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวจากอุณหภูมิ (coefficient of thermal expansion) ลดการดูดน้ำ (water absorption) เพิ่มค่าความแข็งผิว (hardness) เพิ่มค่าคงทนต่อแรงดัด (flexural strength) และสัมประสิทธิ์แรงดัด (flexural modulus)

1.1.3 สารเชื่อมติด

สารเชื่อมติดทำหน้าที่เชื่อมติดเรซิน เมทริกซ์และวัสดุอัดแทรกเข้าด้วยกัน การเชื่อมติดที่ดีส่งผลให้วัสดุเรซิน คอมโพสิตมีคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ดีขึ้น ในปัจจุบันนิยมใช้สารไซเลน (silane) เป็นสารยึดติดเนื่องจากโมเลกุลของสารไซเลนมีปลายด้านหนึ่งเป็นกลุ่มไฮดรอกซิล (silanol group; Si-OH) และปลายอีกด้านเป็นกลุ่มเมทาคริเลต (methacrylate groups) (ดังแผนภาพที่ 1) ทำให้โมเลกุลนี้มีความสามารถในการเกิดพันธะโคเวเลนต์กับวัสดุอัดแทรกที่มีพื้นฐานจากซิลิกา (silica-based fillers) ด้วยกลุ่มไฮดรอกซิล และเรซิน เมทริกซ์ด้วยกลุ่มเมทาคริเลต (32)



แผนภาพที่ 1 แสดงการยึดติดของไซเลนกับวัสดุอัดแทรกและเรซิน เมทริกซ์ (32)

1.2 การหดตัวและความเค้นจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์

โดยทั่วไปการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของเรซิน คอมโพสิตอยู่ที่ร้อยละ 2-5 (33) แต่เนื่องจากโพรงฟันเป็นบริเวณที่มีพื้นที่จำกัดและมีความยืดหยุ่นน้อย เมื่อเรซิน คอมโพสิตที่มีการยึดติดกับโพรงฟันด้วยสารยึดติดเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ความพยายามหดตัวของวัสดุส่งผลให้เกิดความเค้นกระทำกับบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะ และโพรงฟัน ความเค้นบริเวณดังกล่าวจะก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวเข้าหากันของปุ่มฟัน (cuspal deflection) (12, 13) และอาจก่อให้เกิดช่องว่างบริเวณรอยต่อ เกิดการรั่วซึมตามขอบวัสดุ (6) ความแนบของวัสดุลดลง (5) เป็นต้น

ความเค้นที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของเรซิน คอมโพสิต มีความสัมพันธ์กับปัจจัยต่าง ๆ อันได้แก่ ระดับการเกิดพอลิเมอร์ (degree of conversion) โมโนเมอร์ วัสดุอัดแทรก รูปร่างของโพรงฟัน ความเข้มแสงและวิธีการฉายแสง และวิธีการบูรณะ เป็นต้น

1.2.1 ระดับการเกิดพอลิเมอร์

ระดับการเกิดพอลิเมอร์คือปริมาณของโมโนเมอร์ที่เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ (34) จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเริ่มต้นจากการกระตุ้นสารตั้งต้นการบ่มตัว สารตั้งต้นจะปลดปล่อยอนุมูลอิสระ (free radical) ออกมาเปลี่ยนพันธะคู่ (C=C) ในหมู่เมทาคริเลต (methacrylate group) ของเรซิน โมโนเมอร์ไปเป็นพันธะเดี่ยว (C-C) พร้อมทั้งสร้างพันธะโคเวเลนต์กับโมเลกุลข้างเคียง มีลักษณะเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) เกิดสายพอลิเมอร์เส้นตรง (linear polymer) ซึ่งต่อมาจะเชื่อมต่อกันเกิดเป็นโครงข่ายของพอลิเมอร์

(crosslinked network) ส่งผลให้เรซิน คอมโพสิตมีความหนืดสูงขึ้นและคุณสมบัติเชิงกลดีขึ้น (35) การเกิดพันธะโคเวเลนต์กับโมเลกุลข้างเคียงเป็นสายพอลิเมอร์ ส่งผลให้ระยะทางระหว่างโมเลกุลลดลงจึงเกิดการหดตัวของวัสดุตามมา ดังนั้นระดับการเกิดพอลิเมอร์มีสัมพันธ์โดยตรงกับการหดตัวของวัสดุ ซึ่งก็คือเมื่อระดับการเกิดพอลิเมอร์มากวัสดุจะมีการหดตัวมากขึ้น (33)

ระบบการบ่มตัวด้วยแสงประกอบด้วยสารตั้งต้นการบ่มตัวด้วยแสง (photoinitiator) และสารตั้งต้นร่วม (co-initiator) โดยทั่วไปนิยมใช้แคมฟอร์ควิโนนเป็นสารตั้งต้นการบ่มตัวด้วยแสง และใช้สารประกอบเอมีนเป็นสารตั้งต้นร่วม แคมฟอร์ควิโนนสามารถกระตุ้นด้วยแสงที่มีความยาวคลื่น 400-550 นาโนเมตร ทำให้เกิดการปลดปล่อยอนุภาคอิสระออกมา (35) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคมฟอร์ควิโนน จะทำให้ระดับการเกิดพอลิเมอร์และความแข็งผิวสูงขึ้น แต่หากความเข้มข้นเกินระดับที่เหมาะสมกลับส่งผลให้ระดับการเกิดพอลิเมอร์ลดลง โดยอาจเกิดจากการที่แสงถูกดูดกลืนบริเวณพื้นผิวด้านบนมาก ทำให้แสงที่ทะลุผ่านเข้ามาถึงวัสดุที่อยู่ในระดับลึกกว่าลดลง (36)

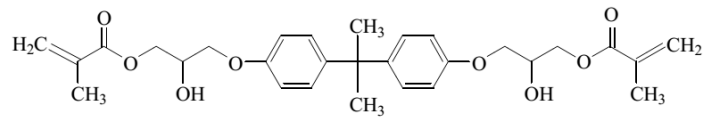
1.2.2 โมโนเมอร์

ลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติต่าง ๆ ของโมโนเมอร์ภายในเรซิน เมทริกซ์ มีความสัมพันธ์การหดตัวของวัสดุ ระดับการบ่มตัว รวมถึงความเค้นที่เกิดขึ้น โมโนเมอร์แต่ละชนิดมีขนาดของโมเลกุลและความหนืดที่ไม่เท่ากัน โมโนเมอร์พื้นฐานที่นิยมคือบิสจีเอ็มเอ (bis-GMA) เป็นโมโนเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่โดยมีน้ำหนักโมเลกุล 512 กรัมต่อโมล แต่ด้วยความหนืดสูงของโมโนเมอร์ชนิดนี้ทำให้ไม่เหมาะสมในการใช้งาน จำเป็นต้องผสมกับโมโนเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดต่ำอย่างทีอีจีดีเอ็มเอ (TEGDMA) ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 286 กรัมต่อโมล ทำให้ได้วัสดุที่ใช้งานได้ง่ายขึ้น อีกทั้งมีเหมาะสมต่อการผสมวัสดุอัดแทรกเข้ากับเรซิน เมทริกซ์ (34, 37) จากการศึกษาพบว่า การหดตัวของบิสจีเอ็มเอ น้อยกว่ายูดีเอ็มเอ ทีอีจีดีเอ็มเอ มีการหดตัวมากที่สุด (Bis-GMA < UDMA < TEGDMA) และเมื่อผสมโมโนเมอร์โดยให้สัดส่วนของบิสจีเอ็มเอต่อทีอีจีดีเอ็มเอมากขึ้น จะทำให้

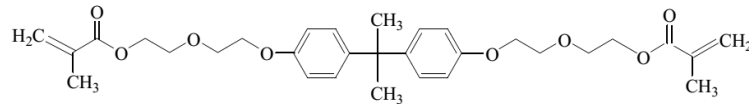
ส่วนประกอบโมโนเมอร์มีการหดตัวลดลงเช่นกัน เนื่องจากโมโนเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่มีจำนวนพันธะคู่ที่เปลี่ยนเป็นพันธะเดี่ยวต่อปริมาตรลดลงดังนั้นวัสดุจึงมีการหดตัวลดลง(38) แต่อย่างไรก็ตามการหดตัวของโมโนเมอร์แต่ละชนิดก็มีความสัมพันธ์กับระดับการเกิดพอลิเมอร์ที่แตกต่างกัน

ความยืดหยุ่นและความหนืดของโมโนเมอร์ส่งผลต่อระดับการเกิดพอลิเมอร์ (23) หากกระตุ้นโมโนเมอร์ให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์จะพบว่าระดับการเกิดพอลิเมอร์ของบิสจีเอ็มเอน้อยที่สุด บิสอีเอ็มเอมี ยูดีเอ็มเอ และทีอีจีดีเอ็มเอมากที่สุด โดยเรียงจากน้อยไปมากตามลำดับ (Bis-GMA < Bis-EMA < UDMA < TEDMA) เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากบิสจีเอ็มเอมีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่างโมเลกุล (39) ส่งผลให้มีความหนืดมากแตกต่างกับบิสอีเอ็มเอที่แม้จะน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า แต่ทว่ามีความหนืดน้อยกว่าเนื่องจากภายในโครงสร้างไม่มีหมู่ไฮดรอกซิลจึงไม่เกิดพันธะไฮโดรเจน ส่วนยูดีเอ็มเอแม้จะมีการเกิดพันธะไฮโดรเจนจากหมู่ยูรีเทรน(urethane group) แต่ด้วยอะตอมไนโตรเจนเป็นประจุลบที่ไม่แข็งแรงจึงเกิดพันธะไฮโดรเจนที่ไม่แข็งแรงเท่ากับหมู่ไฮดรอกซิล (39) ประกอบด้วยไม่มีวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) ทำให้ยูดีเอ็มเอมีความหนืดน้อยกว่าและมีความยืดหยุ่นมากกว่า บิสจีเอ็มเอ ดังนั้นระดับการเกิดพอลิเมอร์จึงมากกว่าบิสจีเอ็มเอ ส่วนทีอีจีดีเอ็มเอเป็นโมโนเมอร์ขนาดเล็ก ความหนืดน้อย จึงมีระดับการเกิดพอลิเมอร์มากที่สุด โครงสร้างของโมโนเมอร์แต่ละชนิดแสดงดังแผนภาพที่ 2

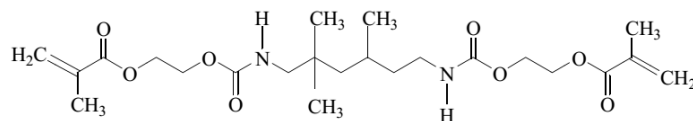
เมื่อผสมโมโนเมอร์ที่มีความหนืดต่ำอย่างทีอีจีดีเอ็มเอเข้ากับโมโนเมอร์ที่มีความหนืดสูงอย่างบิสจีเอ็มเอ จะทำให้ระดับการเกิดพอลิเมอร์สูงขึ้น เนื่องจากเกิดเชื่อมโยงข้ามระหว่างสายพอลิเมอร์ (crosslinking) และลดปริมาณการชะละลายโมโนเมอร์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาออกมาสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก แต่ผลเสียที่ตามมาคือเพิ่มการหดตัวโดยปริมาตร (volumetric shrinkage) และลดความแข็งแรงเชิงกล (40)



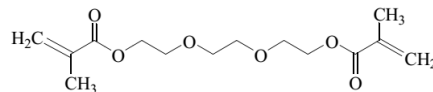
Bis-GMA



Bis-EMA



UDMA



TEGDMA

แผนภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างของโมโนเมอร์แต่ละชนิด

1.2.3 วัสดุอัดแทรก

การเติมวัสดุอัดแทรกช่วยเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลให้แก่วัสดุ แม้ว่าวัสดุอัดแทรกซึ่งมีความเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาไม่ได้เกี่ยวข้องกับการปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ แต่ปริมาณและรูปร่างของวัสดุอัดแทรกมีความสัมพันธ์กับการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุ

เมื่อเรซิน คอมโพสิตมีปริมาณของวัสดุอัดแทรกมากส่งผลให้วัสดุมีการหดตัวที่ลดลง เนื่องจากมีส่วนประกอบของเรซิน เมทริกซ์ที่เป็นส่วนที่ทำให้เกิดการหดตัวลดลง อีกทั้งรูปร่างของวัสดุอัดแทรกก็มีผลเช่นกัน จากการศึกษาพบว่าเมื่อเรซิน คอมโพสิตมีวัสดุอัดแทรกรูปทรงกลมจะเกิดความเค้นน้อยกว่าวัสดุอัดแทรกที่ไม่ใช่รูปทรงกลม เนื่องจากเมื่อเกิดการหดตัวในส่วนของเรซิน เมทริกซ์จะเกิดแรงมากระทำต่อวัสดุอัดแทรก ด้วยความสามารถในการเคลื่อนที่ได้ดีกว่าของวัสดุอัดแทรกรูปทรงกลม ทำให้เกิดการกระจายความเค้นได้มากกว่า (41)

1.2.4 รูปร่างของโพรงฟัน

รูปร่างของโพรงฟัน (cavity geometry) สัมพันธ์กับความเค้นที่เกิดขึ้นในการบูรณะด้วยเรซิน คอมโพสิต โดย Feilzer และคณะนำเสนอค่าซีแฟคเตอร์ (C-factor) ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนของพื้นที่ผิวที่มีการยึดติดและพื้นที่ผิวที่ไม่มีการยึดติด (42) ดังสมการนี้

$$C\text{-factor} = \frac{\text{Bonded area}}{\text{Unbonded area}}$$

ค่าซีแฟคเตอร์น้อย แสดงถึงพื้นที่ผิวที่ไม่มีการยึดติดมากและเป็นบริเวณที่วัสดุสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อย่างอิสระเนื่องจากไม่มีการจำกัดด้วยผนังโพรงฟัน ส่งผลลดความเค้นที่เกิดขึ้น

1.2.5 ความเข้มแสงและวิธีการฉายแสง

การฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงที่มีความเข้มแสงสูงจะทำให้เรซินคอมโพสิตเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์อย่างรวดเร็ว วัสดุจะมีสถานะเจลสั้น ส่งผลให้สามารถกระจายแรงที่เกิดจากการหดตัวได้น้อยและเกิดความเค้นสูงกว่าการใช้เครื่องฉายแสงที่มีความเข้มแสงต่ำที่วัสดุจะอยู่ในสถานะเจลนานกว่า(43) ด้วยเหตุนี้จึงมีการดัดแปรวิธีการฉายแสง โดยให้ความเข้มแสงต่ำในการฉายช่วงแรกเพื่อให้เรซิน คอมโพสิตค่อย ๆ เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ลดความเค้นที่เกิดขึ้น เช่น การฉายแสงแบบพัลส์ดีเลย์ (pulse-delay mode) การฉายแสงแบบสเต็ป (step curing mode) การฉายแสงแบบแรมพ์ (ramp curing mode) เป็นต้น จากการศึกษาของ Souza-Junior และคณะ(44) พบว่าใช้เทคนิคการใช้แสงแบบสเต็ปและแบบพัลส์ดีเลย์สามารถลดช่องว่างบริเวณขอบของวัสดุบูรณะได้ และเพิ่มความแนบภายในโพรงฟัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Alonso และคณะ (45)

1.2.6 วิธีการบุงนระ

การบุงนระแบบเป็นชั้น ๆ ได้รับความแนะนำในการบุงนระพินด้วยเรซิน คอมโพลิตชนิดทั่วไป ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าวัสดุในบริเวณที่ลิกของโพรงพินจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์อย่างเพียงพอ และลดความเค้นที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ เนื่องจากค่าซีแพคเตอร์ลดลงจากการมีพื้นที่ผิวไม่ยึดติดกับโพรงพินมากขึ้นในระหว่างการบุงนระแต่ละชั้น เมื่อเทียบกับวิธีการบุงนระแบบกึ่งเดียว พบว่า วิธีการบุงนระแบบเป็นชั้น ๆ ช่วยลดการเคลื่อนตัวเข้าหากันของปุ่มพิน (12, 13) และความแนบระหว่างโพรงพินและวัสดุบุงนระสูงกว่า (8, 46)

การรองพินโพรงพินด้วยวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง เช่น เรซิน คอมโพลิตที่มีไหลแผ่ได้ ความยืดหยุ่นที่สูงของวัสดุช่วยกระจายแรงที่เกิดขึ้นจากการหดตัวของเรซิน คอมโพลิตที่บุงนระในชั้นถัดมา แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าจะสามารถลดความเค้นที่เกิดขึ้นได้หรือไม่ ในบางการศึกษาพบว่าสามารถช่วยลดความเค้นได้ (47) ขณะที่บางการศึกษากลับพบความเค้นมากขึ้น อาจเนื่องจากเรซิน คอมโพลิตที่มีความหนืดต่ำเหล่านี้มีการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์มากกว่าเรซิน คอมโพลิตที่มีความหนืดสูง (12)

2. เรซิน คอมโพลิตชนิดบุงนระทั้งก้อน

การบุงนระเรซิน คอมโพลิตชนิดทั่วไป ได้รับความแนะนำให้บุงนระแบบชั้น ๆ ชั้นละไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ดังเหตุผลที่กล่าวข้างต้น แต่ทว่าการบุงนระด้วยวิธีนี้ต้องใช้ระยะเวลาบุงนระนาน อีกทั้งอาจทำให้เกิดช่องว่างภายในวัสดุระหว่างการใส่วัสดุในแต่ละชั้น จึงได้มีการพัฒนาวัสดุเรซิน คอมโพลิตชนิดบุงนระทั้งก้อนขึ้นมาซึ่งสามารถบุงนระได้หนา 4-5 มิลลิเมตรต่อการบุงนระเพียงชั้นเดียว

2.1 ส่วนประกอบของเรซิน คอมโพลิตชนิดบุงนระทั้งก้อน

ส่วนประกอบของเรซิน คอมโพลิตชนิดบุงนระทั้งก้อนมีส่วนประกอบคล้ายคลึงกับเรซิน คอมโพลิตชนิดทั่วไปคือประกอบไปด้วยเรซิน เมทริกซ์ วัสดุอัดแทรก และสารเชื่อมติด แต่เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมแก่บุงนระทั้งก้อนจึงได้มีการปรับปรุงโดยมีการเติมโมโนเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากและลดปริมาณโมโนเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย

การปรับปรุงด้านปริมาตร ขนาดและค่าดัชนีหักเหแสงของวัสดุอัดแทรก บางผลิตภัณฑ์ได้มีการเติมสารตั้งต้นการบ่มตัวที่มีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยอนุมูลอิสระมากขึ้นหรือทำให้วัสดุมีระดับความลึกของการบ่มตัวที่มากขึ้นและความเค้นที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ลดลง

2.1.3 เรซิน โมโนเมอร์

เรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก่อนหลายผลิตภัณฑ์ลดการใช้หรือไม่ใช้ที่อีซีดีเอ็มเอซึ่งเป็นโมโนเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย เช่น Filtek Bulk Fill (3M EPSE) Surefil SDR (Dentsply) Tetric EvoCeram Bulk Fill (Ivoclar Vivadent) Venus Bulk Fill (Heraeus) เป็นต้น นอกจากนี้ Surefil SDR (Dentsply) ได้มีการเติมยูดีเอ็มเอที่ได้รับการปรับเปลี่ยนโครงสร้าง (modified UDMA) ซึ่งเป็นโมโนเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก ทำให้การหดตัวและความเค้นจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์น้อยกว่าเรซิน คอมโพสิตชนิดทั่วไป (48)

2.1.1 วัสดุอัดแทรก

การลดปริมาตรของวัสดุอัดแทรกส่งผลให้การกระเจิงของแสงลดลง แสงจึงสามารถทะลุผ่านวัสดุได้ดีมากขึ้น (49) และวัสดุมีความหนืดลดลง เรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก่อนที่ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกคือ Surefil SDR ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความหนืดต่ำ แต่อย่างไรก็ตามการที่วัสดุมีปริมาตรของวัสดุอัดแทรกน้อยส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ไม่สูง ดังนั้นผู้ผลิตจึงแนะนำให้ทำการบูรณะบริเวณส่วนบนของโพรงฟันด้วยเรซิน คอมโพสิตชนิดทั่วไปภายหลังบูรณะด้วยวัสดุชนิดนี้ ในส่วนของขนาดของวัสดุอัดแทรกนั้นพบว่าเมื่อวัสดุอัดแทรกมีขนาดใหญ่ ส่งผลให้มีรอยต่อระหว่างวัสดุอัดแทรกและเรซิน เมทริกซ์ลดลง เกิดการหักเหของแสงลดลง ผลิตภัณฑ์ที่ใช้วิธีการเพิ่มขนาดวัสดุอัดแทรกได้แก่ X-tra fill, X-tra base, Surefil SDR, SonicFill เป็นต้น (26)

ค่าความแตกต่างของดัชนีการหักเหแสง (reflective index) ระหว่างวัสดุอัดแทรกและเรซิน เมทริกซ์มีผลต่อการหักเหแสงที่เกิดขึ้น หากค่าความแตกต่างนี้มี

ค่าน้อยทำให้เกิดการกระเจิงแสงลดลง ส่งผลให้ระดับความลึกของการบ่มตัวสูงขึ้น (50) และทำให้วัสดุมีลักษณะโปร่งแสงมากขึ้น (translucent)

2.1.2 ระบบการบ่มตัว

มีการเพิ่มสารตั้งต้นการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ซึ่งมีความไวมากกว่า แคมฟอร์ควิโนน ถึงแม้ว่าแคมฟอร์ควิโนนและสารประกอบเอมีนจะเป็นที่นิยมใช้ในเรซิน คอมโพสิตในปัจจุบัน แต่ก็มีข้อเสียคือสารประกอบเอมีนมีความเป็นพิษ ประกอบกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้เรซิน คอมโพสิตมีสีเหลืองส่งผลต่อความสวยงามของการบูรณะ (51) จึงมีความพยายามค้นคว้าสารตั้งต้นชนิดอื่นเพื่อนำมาใช้ทดแทนแคมฟอร์ควิโนน โดยต้องเป็นสารที่ดูดกลืนแสงมากขึ้น (molar absorptivity) และเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดพอลิเมอร์ สารเหล่านี้ได้แก่ เอ็มเอพีโอ (MAPO; monoacryphophine oxide) บีเอพีโอ (BAPO; bisacryphophine oxide) พีพีดี (PPD; phenylpropanedione) บีทีจี (BTG; benzoyltrimethylgermane) และดีบีทีจี (DBTG; dibenzoyldiethylgermane) เป็นต้น (35)

ผลิตภัณฑ์เรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก่อนที่มีการปรับปรุงส่วนของสารตั้งต้นการบ่มตัวคือ Tetric EvoCeram Bulk Fill โดยมีการเติมสารที่มีชื่อทางการค้าว่าไอโวเซอร์ริน (Ivocerine) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นการบ่มตัวที่มีพื้นฐานมาจากเจอร์มาเนียม (germanium based initiator) มีความสามารถให้การดูดกลืนแสงมากกว่าแคมฟอร์ควิโนน ช่วงความยาวแสงที่ดูดกลืนได้คือ 400-450 นาโนเมตรสามารถใช้สารประกอบเอมีนเป็นสารตั้งต้นร่วมหรือไม่ก็ได้ ไอโวเซอร์รินเมื่อได้รับการกระตุ้นจะปลดปล่อยอนุมูลอิสระอย่างน้อย 2 โมเลกุล มากกว่าแคมฟอร์ควิโนนที่ปลดปล่อยได้เพียงโมเลกุลเดียว (52, 53)

2.2 ระดับความลึกของการบ่มตัว

คุณสมบัติที่สำคัญของเรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก่อนคือต้องเกิดพอลิเมอร์อย่างเพียงพอในบริเวณที่ลึกๆของโพรงฟัน เช่น บริเวณผนังด้านเหนือกในการบูรณะคลาสทู เป็นต้น หากระดับการเกิดพอลิเมอร์น้อย วัสดุบูรณะจะดูดน้ำได้มากขึ้น (water

absorption) (37) โมเลกุลของโมโนเมอร์จะเกิดการละลายตัวออกมา (54, 55) ทำให้เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อข้างเคียงได้ (56) นอกจากนี้ยังทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางกลลดลง (57) อาจส่งผลต่ออายุการใช้งานของวัสดุบูรณะ

ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตส่วนใหญ่มักระบุว่าเรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก่อนจะมีระดับความลึกของการบ่มตัวมากกว่า 4 มิลลิเมตรขึ้นไป หมายความว่าต้องเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ที่เพียงพอในระดับความลึกดังกล่าว วิธีการทดสอบระดับความลึกของการบ่มตัวของเรซิน คอมโพสิตที่นิยมมี 3 วิธี วิธีแรกเป็นวิธีที่องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (The International Organization for Standardization: ISO) กำหนดขึ้น โดยทำการกระตุ้นวัสดุให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ภายในเป้าหมายโลหะ แล้วทำการใช้เครื่องมือชูดเนื้อวัสดุที่ไม่แข็งตัวออก (scrap test method) แล้วจึงวัดความยาวของวัสดุที่เหลืออยู่ แต่ทว่าวิธีนี้อาจให้ระดับความลึกของการบ่มตัวที่มีค่าสูงไป (58) วิธีที่สองคือการวัดค่าความแข็งผิวที่ระดับความลึกต่าง ๆ ระดับความลึกของการบ่มตัวต้องมีค่าความแข็งผิวไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของค่าความแข็งผิวด้านที่ใกล้กับเครื่องฉายแสง (19) วิธีสุดท้ายคือการวัดระดับการเกิดพอลิเมอร์ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) (59) เป็นต้น

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระดับความลึกของการบ่ม ได้แก่ ความเข้มแสง ระยะเวลาการฉายแสง และระยะห่างระหว่างวัสดุและเครื่องฉายแสง (20, 60) เมื่อความเข้มแสงสูงขึ้น และระยะเวลาการฉายแสงนานขึ้น ส่งผลให้มีระดับความลึกของการบ่มมากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาที่ทำการฉายแสงตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต พบว่าระดับความลึกของการบ่มตัวขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ละผลิตภัณฑ์ หากพิจารณาจากความหนืดของเรซิน คอมโพสิตที่นำมาใช้ศึกษาสามารถแบ่งลักษณะของเรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก่อนได้ 2 ลักษณะ วัสดุที่มีความหนืดต่ำ (low viscosity) สามารถไหลแผ่ได้ (flowable) ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้ได้แก่ Surefil SDR, Filtek Bulk Fill, X-tra base เป็นต้น แต่เนื่องจากมีคุณสมบัติเชิงกลไม่สูงจึงต้องบูรณะบริเวณที่ต้องรับแรงบดเคี้ยวด้วยเรซิน คอมโพสิตชนิดทั่วไป ในขณะที่วัสดุที่มีความหนืดสูง (high viscosity) จะมีลักษณะเป็นก้อน สามารถตกแต่งรูปร่างได้และมีคุณสมบัติเชิงกลสูงกว่า (18)

เมื่อฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (light-emitting diode, LED) ที่มีความเข้มแสงประมาณ $1,000 \text{ mW/cm}^2$ หรือมากกว่าบนเรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนเป็นเวลา 20 วินาที หลายการศึกษาพบว่าเรซิน คอมโพสิตที่มีความหนืดต่ำจะมีระดับความลึกของการบ่มตัวได้มากกว่าหรือเท่ากับ 4 มิลลิเมตร (26, 61) ในขณะที่เรซิน คอมโพสิตที่มีความหนืดสูงยังไม่ได้ข้อสรุปที่แน่ชัด เนื่องจากผลการศึกษายังขัดแย้งกัน โดยบางการศึกษาพบว่าเรซิน คอมโพสิตที่มีความหนืดสูง เช่น SonicFill, Tetric EvoCeram Bulk Fill มีระดับความลึกของการบ่มตัวไม่ถึง 4 มิลลิเมตร (22, 58, 60) ขัดแย้งกับผลการศึกษ่อื่น ๆ (26) แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาการฉายแสงเป็น 2 เท่าหรือ 40 วินาที พบว่าสามารถทำให้เรซิน คอมโพสิตที่มีความหนืดสูงมีระบบความลึกของการบ่มตัวมากกว่าหรือเท่ากับ 4 มิลลิเมตร ได้ (20)

2.3 ความเค้นจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์

นอกจากคุณสมบัติด้านความลึกของการบ่มตัวที่เพียงพอแล้ว อีกปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความสำเร็จของการรักษาคือความเค้นจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ เมื่อนำเรซิน คอมโพสิตชนิดทั่วไปมาทำการบูรณะทั้งก้อนทำให้เกิดการเคลื่อนตัวเข้าหากันของปุ่มฟันมากกว่าการบูรณะแบบชั้น ๆ (12, 13) โดยความเค้นที่เกิดขึ้นสัมพันธ์กับปัจจัยต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น

เรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อน ได้มีการปรับปรุงส่วนของเรซิน โมโนเมอร์เพื่อลดความเค้นที่เกิดขึ้น จากการศึกษาพบว่า การเคลื่อนตัวเข้าหากันของปุ่มฟันที่บูรณะทั้งก้อนด้วยเรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนไม่แตกต่างจากการบูรณะแบบชั้น ๆ ด้วยเรซิน คอมโพสิตชนิดทั่วไป อีกทั้งยังพบว่าการเคลื่อนตัวเข้าหากันของปุ่มฟันน้อยกว่าการบูรณะทั้งก้อนด้วยเรซิน คอมโพสิตชนิดทั่วไป (62) ในการศึกษาอื่น ๆ เมื่อบูรณะฟันด้วยเรซิน คอมโพสิตชนิดอุดทั้งก้อนในโพรงฟันที่มีซีแพคเตอร์สูงพบว่าค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค (microtensile bond strength) ระหว่างวัสดุและผนังด้านโพรงประสาทฟันไม่แตกต่างจากการบูรณะแบบชั้น ๆ ด้วยเรซิน คอมโพสิตชนิดทั่วไป (63) ส่วนการรั่วซึมระดับจุลภาคในการบูรณะโพรงฟันชนิดคลาสซุ ไม่มีความแตกต่างระหว่างเรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนและชนิดทั่วไป (64)

3. ช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณะด้วยเรซิน คอมโพสิต

ช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างโพรงฟันและวัสดุบูรณะของเรซิน คอมโพสิตส่งผลให้ค่าแรงยึดติดระหว่างโพรงฟันและวัสดุบูรณะลดลง (8) หรืออาจทำให้เกิดอาการเสียวฟันภายหลังการบูรณะจากการเคี้ยวอาหารหรือดื่มน้ำเย็นได้ (9) ขณะที่ช่องว่างที่เกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุ ก็ส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกล โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุที่มีลักษณะเปราะอย่างเซรามิก อย่างไรก็ตามวัสดุที่มีความยืดหยุ่นอย่างเรซิน คอมโพสิตซึ่งแม้ว่ายอมให้เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (plastic deformation) ก่อนเกิดการแตกหัก ช่องว่างภายในวัสดุก็มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกล โดยพบว่าความคงทนต่อแรงกด (compressive strength) และความต้านทานต่อความล้า (fatigue limit) ลดลง อาจเนื่องจากอากาศที่อยู่ภายในรูพรุนทำให้ระดับการเกิดพอลิเมอร์ลดลง อีกทั้งช่องว่างเหล่านี้เป็นจุดรวมความเค้นส่งผลทำให้เกิดการแตกหักได้ง่าย และวัสดุมีความเปราะมากขึ้น (65)

ช่องว่างของการบูรณะสัมพันธ์กับหลายปัจจัย เช่น ระบบสารยึดติด (adhesive system) (21, 66) ความเค้นจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (61) ลักษณะการใช้งานวัสดุ (handling characteristic) (7) วิธีการบูรณะ (67-69) ลักษณะของโพรงฟัน (70) การเตรียมวัสดุเรซิน คอมโพสิต (70, 71) เป็นต้น

3.1 ระบบสารยึดติดและความเค้นจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์

ระบบสารยึดติดได้ถูกนำมาใช้ร่วมกับเรซิน คอมโพสิต ทำให้วัสดุบูรณะมีการยึดติดมากขึ้น ลดการรั่วซึมระดับจุลภาพ อีกทั้งใช้ส่งต่อแรงที่กระทำสู่โครงสร้างฟัน เมื่อเรซิน คอมโพสิตหดตัวภายในโพรงฟันที่ใช้สารยึดติด แรงยึดติดจะพยายามยึดวัสดุให้ติดอยู่กับผนังโพรงฟันในทิศทางตรงข้ามกับแรงที่เกิดจากการหดตัว หากความเค้นจากการหดตัวมีค่ามากกว่าความแข็งแรงยึดติด (bond strength) จะให้วัสดุทำให้เกิดช่องว่างระหว่างวัสดุบูรณะและเนื้อฟันได้ (66) หากความเค้นของการเกิดพอลิเมอร์มีค่ามากขึ้นส่งผลให้ความแนบของวัสดุลดลงและเกิดช่องว่างมากขึ้น (61) ในหลายการศึกษาที่ใช้สารยึดติดระบบเอทซ์ แอน รินซ์ ซึ่งแรงยึดติดในบริเวณเคลือบฟันมากกว่าเนื้อฟันจึงพบว่าเคลือบฟันมีความแนบของวัสดุมากกว่าเนื้อฟัน (21, 66) หากพิจารณาให้ส่วนของเนื้อฟันพบว่าผนังด้านเหงือกของโพรงฟันซึ่งขนานกับการเรียงตัวของท่อเนื้อฟันส่งผลให้เกิดแรงยึดติดน้อย จะพบช่องว่างมากกว่าผนังด้าน axial ซึ่งตั้งฉากกับท่อเนื้อฟันทำให้มีแรงยึดติดมากกว่า (72)

3.2 ลักษณะการใช้งานวัสดุและวิธีการบูรณะ

คุณสมบัติในการใช้งานของเรซิน คอมโพสิตขึ้นอยู่กับความหนืดของวัสดุ โดยวัสดุควรมีความหนืดที่เหมาะสมทำให้นำเข้าสู่โพรงฟันได้ง่าย แนบกับโพรงฟัน ไม่ติดเครื่องมือ และตกแต่งเป็นรูปร่างที่ต้องการได้ง่าย ช่วยลดระยะเวลาในการทำงาน ทำให้วัสดุบูรณะมีคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพที่ดี (73)

เรซิน คอมโพสิตที่มีความหนืดสูงในการศึกษาพบว่าความแนบของวัสดุต่อโพรงฟันน้อยกว่าวัสดุที่มีความหนืดปานกลางหรือต่ำ เนื่องจากวัสดุที่มีความหนืดสูงทำให้ใช้เครื่องมือกดวัสดุให้แนบกับผนังโพรงฟันได้ยาก (7)

นอกจากนี้หลายศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการใช้เรซิน คอมโพสิตที่มีความหนืดต่ำ เช่น เรซิน คอมโพสิตที่ไหลแผ่ได้ (flowable resin composite) เป็นวัสดุรองพื้นสามารถช่วยเพิ่มความแนบของวัสดุบูรณะได้ และลดการเกิดการรั่วซึมตามขอบวัสดุบูรณะในโพรงฟันชนิดคลาสทูได้ (67-69) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่นำพลังงานจากการสั่นสะเทือนด้วยเสียง (ultrasound) เพื่อลดความหนืดของวัสดุก่อนมาใช้ในการอุดโพรงฟันคลาสทูพบว่าให้ความแนบสนิทตามขอบที่ดี (74) เรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนอย่าง SonicFill™ (Kerr, Orange, CA, USA) ก็ใช้เครื่องมือส่งพลังงานจากการสั่นด้วยเสียง (sonic energy) เพื่อลดความหนืดของวัสดุลดช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยไม่ลดปริมาตรของวัสดุอัดแทรก

ส่วนวิธีการบูรณะหรือการใส่วัสดุเข้าไปในโพรงฟันแตกต่างกันตามความหนืดของวัสดุและรูปแบบบรรจุภัณฑ์ของวัสดุ เช่น เรซิน คอมโพสิตที่มีความหนืดต่ำมีลักษณะไหลแผ่ได้ (flowable resin composite) จะอยู่ให้รูปแบบของหลอดฉีดมีวิธีการใช้งานโดยการฉีดเข้าโพรงฟัน ส่วนวัสดุที่มีความหนืดสูง จะอยู่ให้รูปแบบบรรจุภัณฑ์แบบแคปซูลหรือไซริงค์บรรจุภัณฑ์แบบแคปซูลใช้วิธีการฉีดวัสดุเข้าโพรงฟันด้วยปืนฉีด ส่วนบรรจุภัณฑ์แบบไซริงค์ใช้เครื่องมือตักวัสดุใส่เข้าไปในโพรงฟันแทน ซึ่งรูปแบบการใช้งานเหล่านี้มีผลต่อความช่องว่างภายในวัสดุบูรณะ

ในการศึกษาที่ผ่านมา การฉีดวัสดุจากแคปซูลพบว่าเกิดช่องว่างภายในของวัสดุน้อยกว่าการใช้เครื่องมือตักวัสดุใส่เข้าไปในโพรงฟัน อีกทั้งช่องว่างดังกล่าวมีขนาดเล็กกว่าอีก

ด้วย (7, 75) นอกจากนี้วิธีการใส่วัสดุแบบชั้น ๆ พบว่ามีการเกิดช่องว่างระหว่างของวัสดุในแต่ละชั้น (70)

3.3 ลักษณะโพรงฟัน

หากมุมระหว่างผนังโพรงฟัน (line angle) หรือมุมระหว่างผนังโพรงฟันและแผ่นเมทริกซ์ (matrix band) มีลักษณะแหลม (sharp angle) การใส่วัสดุให้แนบกับเนื้อฟันบริเวณมุมเหล่านี้ทำได้ลำบากกว่ามุมที่มีลักษณะมน (round angle) (70) จึงแนะนำให้การเตรียมโพรงฟันสำหรับการบูรณะด้วยเรซิน คอมโพสิต มุมภายในโพรงฟัน (internal line angle) ควรจะมีลักษณะที่มน

3.4 การเตรียมวัสดุเรซิน คอมโพสิต

เรซิน คอมโพสิตที่มีการบ่มตัวเอง (self-cured resin composite) มีลักษณะเป็นครีมหนืดข้น (paste) ประกอบด้วยเบส (base) และสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ต้องผสมวัสดุด้วยมือซึ่งพบว่าขั้นตอนการผสมวัสดุทำให้มีอากาศติดอยู่ภายในเนื้อของวัสดุ ช่องว่างภายในวัสดุอยู่ระหว่างร้อยละ 2-3 ส่งผลต่อคุณสมบัติของวัสดุตามมา พบว่าการเตรียมวัสดุด้วยวิธีการอัด (condensation) มีช่องว่างภายในวัสดุมากกว่าการเตรียมวัสดุภายใต้ความดัน (70, 71)

ในปัจจุบันเรซิน คอมโพสิตที่มีการบ่มตัวด้วยแสง (light-cured resin composite) เป็นที่นิยมเนื่องจากสามารถใช้งานได้ง่ายกว่าไม่ต้องผสมวัสดุ ลดโอกาสเกิดช่องว่างภายในวัสดุ โดยพบว่าช่องว่างภายในวัสดุประเภทนี้เกิดขึ้นน้อยกว่าร้อยละ 1 เนื่องจากการเตรียมวัสดุทำภายใต้ภาวะสุญญากาศ(70)

4. วิธีการทดสอบช่องว่างของการบูรณะ

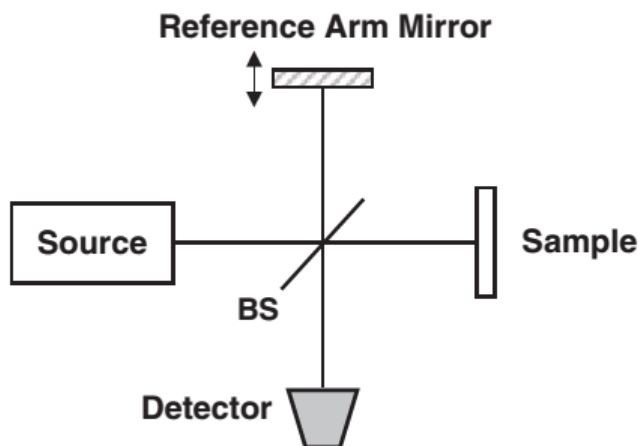
การตรวจสอบช่องว่างของการบูรณะมีหลายหลายวิธี เช่นการย้อมสีภายหลังการตัดแบ่งชิ้นงานเพื่อตรวจสอบรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและโพรงฟัน วิธีการนี้ใช้เวลาน้อยทำให้มีความรวดเร็วในการทดสอบ แต่ทว่าการใช้วิธีการนี้จะตรวจสอบได้เฉพาะบริเวณที่ถูกตัดเท่านั้นอีกทั้งเนื่องจากจำเป็นต้องตัดแบ่งชิ้นงานทำให้ไม่สามารถทดสอบได้อีกต่อไป หรือการใช้ฮอพอติคอลโคฮีเรนซ์โทโมกราฟี (optical coherence tomographic; OCT) ซึ่งสามารถสร้างแผนภาพสามมิติโดยไม่ต้องตัว

ชิ้นตัวอย่าง แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้สามารถวัดความหนาในโพรงฟันที่ลึกเพียง 2-3 มิลลิเมตรเท่านั้น (11) ขณะที่การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี (micro-computed tomography) สามารถให้แผนภาพสามมิติของวัตถุที่เราต้องการศึกษาโดยไม่ต้องตัดชิ้นตัวอย่างแต่ต้องใช้ระยะเวลาทดสอบนาน

4.1 ออปติคอลโคฮีเรนซ์โทโมกราฟี

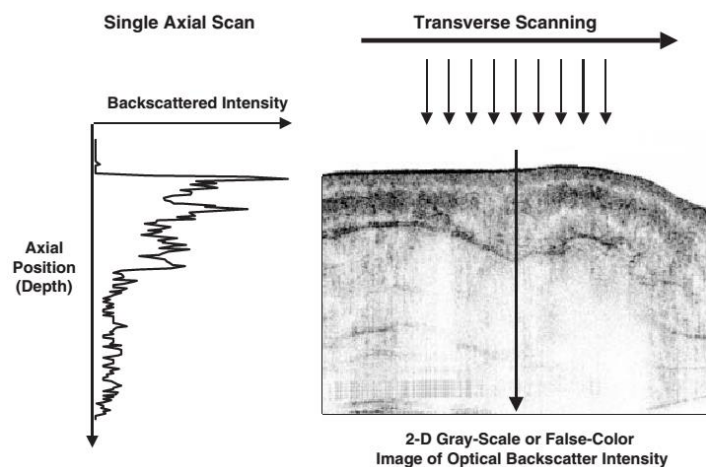
ออปติคอลโคฮีเรนซ์โทโมกราฟีได้รับการพัฒนาในช่วงต้นของทศวรรษที่ 1990 สำหรับการสร้างภาพโดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงวัตถุนั้น ๆ ถูกใช้ทางจักษุวิทยาเป็นครั้งแรกเนื่องจากลักษณะที่โปร่งใสของอวัยวะตาส่วนหน้าและเรติน่า

วิธีการสร้างภาพภายในวัตถุหรือเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต มีความคล้ายคลึงกับวิธีใช้คลื่นเสียงความถี่สูง (ultrasound) คืออาศัยหลักการสะท้อนของคลื่นเมื่อมีการผ่านรอยต่อของส่วนประกอบที่มีค่าดัชนีหักเหที่ต่างกัน แต่วิธีออปติคอลโคฮีเรนซ์โทโมกราฟีจะทำการปล่อยลำแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอินฟราเรดแบบคลื่นสั้น (near-infrared light) แทนที่จะเป็นคลื่นเสียงเข้าเนื้อเยื่อหรือวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ อีกทั้งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความเร็วที่สูงกว่าคลื่นเสียงมากจึงไม่สามารถวัดการสะท้อนของคลื่นจากการหน่วงของเวลา (time delay) โดยตรงได้ จำเป็นต้องใช้เทคนิคอินเตอร์เฟียโรเมตริกซ์ (interferometric technique) วิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้คือโลว์โคฮีเรนซ์อินเตอร์เฟียโรเมตรี (low-coherence interferometry) ด้วยไมเคิลสัน อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ (Michelson type interferometer)



แผนภาพที่ 3 ลักษณะการทำงานของ Michelson type interferometer (76)

จากแผนภาพที่ 3 ลำแสงจากแหล่งกำเนิดจะถูกแยกเป็นสองทางที่ beam splitter ครึ่งหนึ่งสะท้อนไปทางด้านบนสู่กระจกอ้างอิงที่ทราบระยะห่าง อีกครึ่งหนึ่งทะลุผ่าน beam splitter ไปยังวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ จากนั้นลำแสงจะสะท้อนกลับจากทั้งกระจกอ้างอิง และวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ ทะลุผ่านหรือสะท้อนกับ beam splitter ไปถึงตัวรับสัญญาณ (detector) และมีบางส่วนที่ทะลุผ่านหรือสะท้อนไปถึงแหล่งกำเนิดลำแสง เนื่องจากการใช้ ลำแสงแบบโลว์คอฮีเรนซ์ (low-coherence light) การแทรกสอดของแสงจะเกิดขึ้นเมื่อ ระยะทางที่แสงเดินทางระหว่างกระจกอ้างอิงและวัตถุที่ต้องการตรวจสอบเข้ากัน ด้วยเหตุนี้ ตำแหน่งของกระจกอ้างอิงเป็นสิ่งที่กำหนดความลึกภายในวัตถุจากขนาด (Magnitude) ของ คลื่นที่ถูกสะท้อนกลับ จากนั้นขนาดของคลื่นที่สะท้อนกลับจะถูกแปลงเป็นสเกลสีเทาบนภาพ ออพติคอลโคฮีเรนซ์โทโมกราฟีและตำแหน่งของลำแสงที่กราดตรวจในทิศทางแนวขวาง หรือในหลายๆทิศทางเพื่อให้ได้ข้อมูลลักษณะสองหรือสามมิติ ดังแผนภาพที่ 4



แผนภาพที่ 4 หลักการสร้างภาพของออปติคัลโคฮีเรนซ์โทโมกราฟี (76)

ความละเอียดเชิงลึกถูกกำหนดด้วยความยาวโคฮีเรนซ์ของแหล่งกำเนิดลำแสง และแปรผกผันกับความกว้างแถบความถี่ของสเปกตรัม (spectral bandwidth) ดังสมการนี้

$$\Delta z = \frac{2 \ln 2}{\pi} \cdot \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda}$$

λ คือความยาวคลื่นกลาง (center wavelength) และ $\Delta \lambda$ คือความกว้างแถบความถี่ของสเปกตรัม จากสมการหากต้องการให้มีความละเอียดเชิงลึกสูง แหล่งกำเนิดลำแสงจะต้องมีความกว้างแถบความถี่ของสเปกตรัมสูง แต่อย่างไรก็ตามความยาวคลื่นที่น้อยกว่าจะเกิดการกระเจิงสูงกว่า ส่งผลให้เกิดการแทรกซึมของลำแสงเข้าไปวัตถุลดลงและระดับความลึกของภาพน้อยลง ระดับความลึกของภาพที่ได้มีความหลายหลายตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ถึง 3 มิลลิเมตร นอกจากความยาวคลื่นแล้วระดับความลึกของภาพที่ได้ยังขึ้นอยู่กับวัตถุหรือเนื้อเยื่อที่ต้องการตรวจสอบ (76)

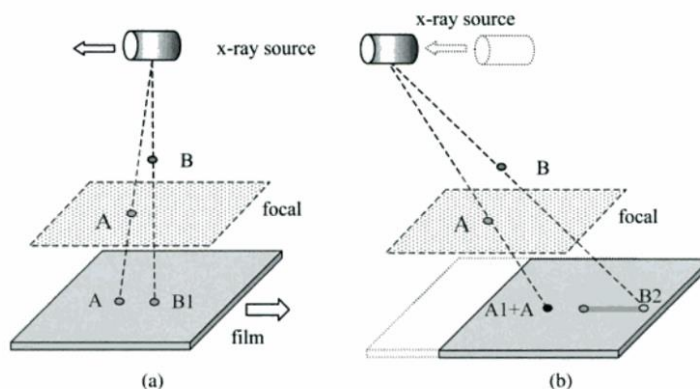
4.2 ไมโครคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี

ในปี 1895 วิลเฮล์ม คอนราด เรินต์เกน (Wilhelm Conrad Röntgen) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ค้นพบรังสีเอ็กซ์ ซึ่งมีความสามารถทะลุผ่านวัตถุหรือร่างกายมนุษย์เผยให้เห็นภาพของส่วนประกอบหรืออวัยวะภายในได้ การค้นพบครั้งนี้เป็นการปฏิวัติวงการแพทย์และทันตกรรมในการตรวจและวินิจฉัยโรค (77)

รังสีเอ็กซ์ (X-radiation) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ซึ่งเป็นเคลื่อนที่ของพลังงานที่มีลักษณะเหมือนคลื่น (wavelike energy) และไม่มีมวล ขณะที่เคลื่อนที่จะพบสนามไฟฟ้า (electric field) และสนามแม่เหล็ก (magnetic field) ตั้งฉากกัน และเคลื่อนที่ไปยังทิศทางเดียวกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเดินทางได้ด้วยความเร็วเทียบเท่าความเร็วแสง รังสีเอ็กซ์มีทั้งคุณสมบัติของคลื่น เช่น ความถี่และความยาวคลื่น และคุณสมบัติของอนุภาค โดยมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนพลังงานที่เรียกว่าโฟตอน (photon) (77)

หลักการทำงานของรังสีเอ็กซ์เพื่อแสดงส่วนประกอบภายในของวัตถุ เมื่อรังสีเอ็กซ์ผ่านวัตถุที่ต้องการตรวจ ความเข้ม (intensity) ของรังสีเอ็กซ์จะลดลง เนื่องจากโฟตอนของรังสีเอ็กซ์ถูกการดูดกลืน (absorption) การกระเจิง (scattering) และมีเพียงบางส่วนที่ทะลุผ่านวัตถุไปถึงแผ่นรับรังสีเกิดเป็นภาพถ่ายรังสี ความเข้มของรังสีที่ลดลงคำนวณได้จากสมการ $I_x = I_0 e^{-\mu x}$; I_0 คือค่าความเข้มรังสีเอ็กซ์เริ่มต้น, x คือระยะทางจากแหล่งกำเนิดรังสี I_x คือค่าความเข้มแสงที่ระยะทาง x สุดท้าย μ คือค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน (linear attenuation coefficient) ของวัตถุ การลดทอนความเข้มรังสีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุ และพลังงานจากแหล่งกำเนิด ภาพถ่ายรังสีที่ได้สามารถระบุความหนาแน่นของวัตถุหรือเนื้อเยื่อที่สำรวจได้ (78)

แต่เนื่องจากเทคนิคการถ่ายภาพรังสีทั่วไปให้ภาพแบบสองมิติ ในขณะที่ร่างกายมีลักษณะแบบสามมิติภาพที่ได้จึงมีการซ้อนทับกันของอวัยวะต่าง ๆ ยากต่อการวินิจฉัยโรค ในปี 1921 นายแพทย์ฝรั่งเศสโบเคจ (Bocage) ได้นำเสนอเทคนิคการถ่ายภาพรังสีแบบโทโมกราฟี (tomography) ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของแท่งกำเนิดรังสีพร้อมกับการเคลื่อนที่ของแผ่นรับรังสี เป็นทำให้ได้ภาพของโครงสร้างภายในร่างกายชัดเจนเพียงระนาบใดระนาบหนึ่งเท่านั้น โดยภาพเงาของระนาบอื่นที่อยู่เหนือหรือใต้ต่อระนาบที่สนใจจะปรากฏซ้อนทับออกมาด้วยแต่ไม่คมชัด (79)

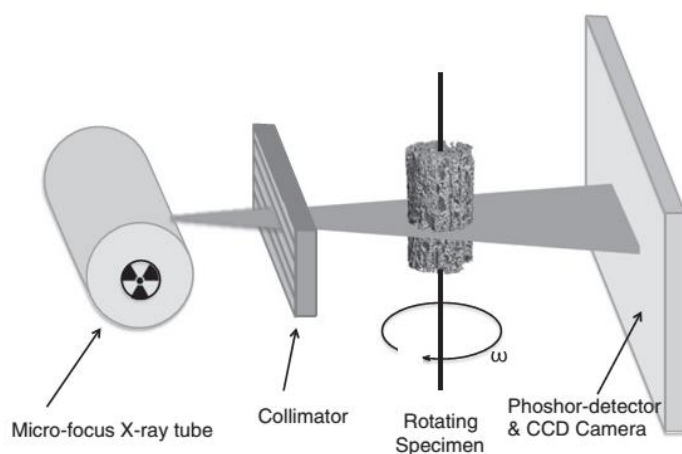


แผนภาพที่ 5 แสดงเทคนิคถ่ายภาพรังสีแบบโทโมกราฟี (79)

จากแผนภาพที่ 5 จุด A อยู่บนระนาบที่สนใจ (focus plane) และจุด B ไม่ได้อยู่บนระนาบที่สนใจ เงาของ A ก่อนมีการเคลื่อนที่ของแผ่นรับรังสีและแหล่งกำเนิดรังสีเป็นเงา A ส่วนจุด B จะได้เงา B1 เมื่อมีการเคลื่อนที่ของแผ่นรับรังสีและแหล่งกำเนิดรังสีเงาใหม่ของจุด A คือเงา A1 จะซ้อนทับกับเงา Aพอดี ทำให้ได้ภาพที่ชัด ในขณะที่จุด B จำได้เงา B2 ซึ่งไม่ซ้อนทับกับเงา B1 เกิดเป็นภาพที่ไม่คมชัด(79) แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ให้ภาพที่มีความคอนทราสต์ต่ำ (contrast)

ต่อมามีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน (attenuation coefficient) จากข้อมูลความเข้มรังสีที่วัดได้จากการที่รังสีทะลุผ่านร่างกายของผู้ป่วยออกมา เมื่อคำนวณด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์โดยใช้คอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถสร้างภาพที่ภายในร่างกายผู้ป่วยได้ เรียกเทคนิคนี้ว่าคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี (computed tomography) (79) เทคนิคนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาในช่วงต้นของ ค.ศ. 1970 เมื่อทำการเก็บรวบรวมภาพวัตถุจากหลาย ๆ มุม แล้วใช้คอมพิวเตอร์คำนวณและนำมาสร้างเป็นแผนภาพ 3 มิติ (80) ทำให้ง่ายต่อการวินิจฉัยเมื่อเทียบกับภาพถ่ายรังสีเป็นเดิมซึ่งภาพที่ได้เป็น 2 มิติ

คอมพิวเตอร์โทโมกราฟีทั่วไปให้ภาพที่มีปริมาตรที่เล็กที่สุดที่รวมตัวกันเป็นภาพ (volume element) หรือวอกเซล (voxels) ขนาด 1 mm^3 ขณะที่ไมโครคอมพิวเตอร์โทโมกราฟีจะให้ภาพที่ประกอบไปด้วยวอกเซลขนาด $5-50 \mu\text{m}^3$ หรือขนาดเล็กกว่าคอมพิวเตอร์โทโมกราฟีทั่วไปประมาณ 1,000,000 เท่า (81) ด้วยวอกเซลขนาดเล็กทำให้ได้แผนภูมิภาพสามมิติที่มีความละเอียดสูงกว่าภาพที่ได้จากการใช้คลื่นเสียงความถี่สูง (ultrasound) หรือการสร้างภาพด้วยเรโซแนนซ์แม่เหล็ก (magnetic resonance imaging; MRI)



แผนภาพที่ 6 แสดงส่วนประกอบของไมโครคอมพิวเตดโทโมกราฟี

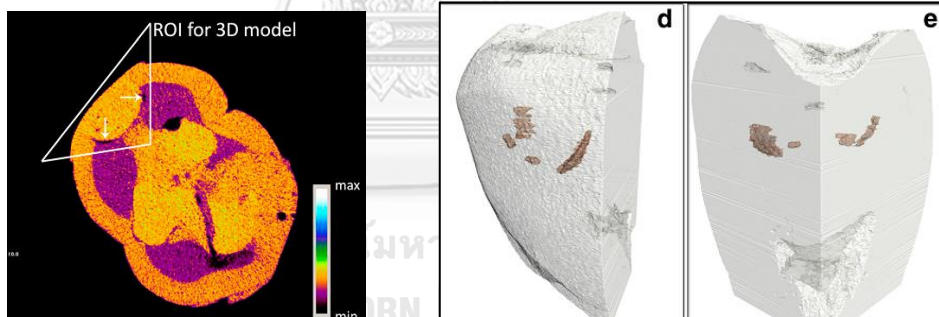
ส่วนประกอบหลักของไมโครคอมพิวเตดโทโมกราฟี ได้แก่ หลอดรังสี Micro-focus , ตัวจำกัดขอบเขตรังสี (collimator) ทำให้รังสีที่ฉายออกไปมีลักษณะทรงกรวยหรือเป็นรูปพัด (fan or cone projection), แท่นยึดวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ และสุดท้ายคือ เซนเซอร์รับรังสีเอ็กซ์ (phosphor-detector/charge-coupled device camera) ดังแผนภาพที่ 6 (78)

ไมโครคอมพิวเตดโทโมกราฟี ได้รับความนิยมและน่าเชื่อถือในการใช้งานทางทันตกรรม มีการนำมาประยุกต์ใช้อย่างหลากหลาย เช่น การตรวจสอบการหดตัวของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (82) ความเหมาะสมบริเวณขอบและพื้นผิวด้านในของชิ้นงานเซรามิก (83) การสึกของฟันคู่สบจากจำลองแบบการบดเคี้ยว (84) ตรวจสอบการรั่วระดับจุลภาคตามขอบวัสดุบูรณะ (85-87) รวมไปถึงการวิเคราะห์ช่องว่างของวัสดุบูรณะ (88-94) เป็นต้น

การวิเคราะห์ช่องว่างระหว่างโพรงฟันและวัสดุบูรณะด้วยไมโครคอมพิวเตดโทโมกราฟี หลายการศึกษา(89-91) คำนวณร้อยละความยาวของช่องว่างระหว่างโพรงฟันและวัสดุบูรณะต่อความยาวทั้งหมดของด้านดั่งที่สนใจในแต่ละภาพตัดขวาง ทำการเลือกภาพตัดขวางที่นำมาวิเคราะห์ห่ากันเป็นระยะที่เท่ากัน แล้วเฉลี่ยร้อยละของช่องว่างที่เกิดขึ้น

ขณะที่บางการศึกษาวิเคราะห์ช่องว่างที่เกิดขึ้นในลักษณะร้อยละปริมาตรของช่องว่างต่อปริมาตรทั้งหมดในขอบเขตที่สนใจ (Volume fraction) (25, 92, 94) เช่น

Gaintantzopoulou และคณะ(25) ทำการศึกษาช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างโพรงฟันและวัสดุบูรณะในโพรงฟันชนิดคลาสสิกด้วยไมโครคอมพิวเตอร์โทโมกราฟีและวิธีตัดชิ้นตัวอย่าง ได้ทำการบูรณะฟันที่เตรียมไว้ด้วยเรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อน (SonicFill) วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ (EQUIA Fil) และวัสดุเรซิน มอดิไฟด์ กลาสไอโอโนเมอร์ (Vitremar) โดยกำหนดขอบเขตที่สนใจ (region of interest; ROI) เป็นลักษณะสามเหลี่ยมห่างจากขอบโพรงฟันเข้าไปในบริเวณเนื้อฟันหรือเคลือบฟัน 100 ไมโครเมตร แล้วทำการวิเคราะห์ร้อยละปริมาตรช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างวัสดุบูรณะและโพรงฟันต่อปริมาตรของขอบเขตที่สนใจ ดังแผนภาพที่ 7 จากผลการศึกษาพบว่าด้วยเรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนและวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์เกิดช่องว่างน้อยกว่าวัสดุเรซิน มอดิไฟด์ กลาสไอโอโนเมอร์ สอดคล้องกับผลที่ได้จากวิธีการตัดชิ้นตัวอย่าง



แผนภาพที่ 7 แสดงการกำหนดขอบเขตที่สนใจ (ซ้าย) และแผนภาพสามมิติจากด้านนอกและด้านในของฟัน(ขวา) โดยช่องว่างระหว่างโพรงฟันและวัสดุบูรณะถูกระบุด้วยสีน้ำตาล

ในขณะที่ Kakaboura A. และ Papadogiannis D. (92, 94) ได้ทำการศึกษาปริมาตรช่องว่างระหว่างวัสดุบูรณะและโพรงฟันด้วยไมโครคอมพิวเตอร์โทโมกราฟีเช่นกัน แต่กำหนดขอบเขตของบริเวณที่สนใจตั้งแต่ขอบโพรงฟันเข้าภายในวัสดุ 100 ไมโครเมตร แตกต่างจากการศึกษาของ Gaintantzopoulou

จากการศึกษาพบว่าช่องว่างระหว่างวัสดุบุผนังและโพรงฟันที่ได้จากไมโครคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี มีความสอดคล้องกับช่องว่างที่ได้ด้วยวิธีอื่น ๆ (25, 89, 93) รวมไปถึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเค้นและการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ (90, 92, 94)



บทที่ 3

วิธีการวิจัย

วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. วัสดุบูรณะเรซิน คอมโพสิต ชนิดบูรณะทั้งก้อน
 - 1.1. Filtek Bulk Fill Posterior (3M ESPE, Minnesota, USA) รูปแบบหลอด
 - 1.2. Filtek Bulk Fill Posterior (3M ESPE, Minnesota, USA) รูปแบบแคปซูล
 - 1.3. SonicFill 2 (Kerr, Washington DC, USA) รูปแบบแคปซูล

แสดงรายละเอียดวัสดุเรซิน คอมโพสิตที่ใช้ในการวิจัย (95, 96)

ผลิตภัณฑ์	บริษัท	ความหนาที่ บริษัท แนะนำ	ส่วนประกอบ
Filtek Bulk Fill Posterior	3M ESPE	4 mm	AUDMA, UDMA and 1, 12-dodecane-DMA. non-agglomerated 20 nm silica filler, non-agglomerated 4 to 11 nm zirconia filler, aggregated zirconia/silica cluster filler, agglomerated ytterbium trifluoride filler 100 nm, Inorganic filler loading is about 76.5% by weight
SonicFill 2	Kerr	5 mm	Bis- GMA, Bis- EMA, TEGDMA, Glass, oxide, silicon dioxide, Inorganic filler loading is about 83.5% by weight

2. สารยึดติด 1 ผลิตภัณฑ์ คือ OptiBond™ FL (Kerr, Washington, DC, USA) (97)

ผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบ	บริษัทผู้ผลิต
OptiBond™ FL	Primer: 2 (hydroxyethyl) methacrylate (HEMA) , Glycerol phosphate dimethacrylate (GPDM) , 2- [2- (methacryloyloxy) ethoxycarbonyl] benzoic acid, Ethyl alcohol, Water Bonding resin: Bis- Phenol- A- bis- (2- hydroxy- 3- methacryloxy propyl) ether (BisGMA) , 2-Hydroxyethylmethacrylate (HEMA) , Barium aluminoborosilicate, ytterbium trifluoride, Disodium hexafluorosilicate, Fumed Silica	Kerr

3. กรดปรับสภาพผิวฟัน Kerr gel etchant (Kerr, Washington, DC, USA) (95)

ผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบ	บริษัทผู้ผลิต
Kerr gel etchant	37.5% Phosphoric Acid, Water, fumed silica, dye colorant	Kerr

4. น้ำกลั่น
5. สารละลายไทมอล ความเข้มข้นร้อยละ 0.1
6. กระดาษทราย
7. หัวกรอกกากเพชรทรงกระบอกชนิดกรอเร็ว
8. เรซินใส

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

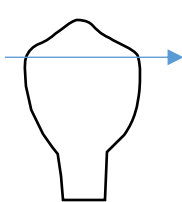
1. เครื่องฉายแสง DEMI PLUS (Kerr, Washington, DC, USA)
2. เครื่องกรอฟันควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์
(CNC Specimen Former, Former A-11, IMT, Thailand)
3. เครื่องขัดอัตโนมัติ (Polishing Machine, DPS 3200, IMTECH, South Africa)
4. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี (μ CT 35, Scanco Medical, Bassersdorf, Switzerland)

5. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator, Contherm 1200® , Contherm, New Zealand)
6. คอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ผลการสแกน
7. ปืนฉีดวัสดุ
8. เครื่องมือฉีดสำหรับโซนิคฟิลล์ (SonicFill Handpiece)
9. เครื่องมือยึดเมทริกซ์ชนิดทัฟเฟอร์มาย (Tofflemire band holder)
10. แผ่นเมทริกซ์ชนิดโลหะ (metal matrix band)
11. พลั๊กเกอร์ปลายเรียบ (plugger)
12. เครื่องมือตกแต่งคอมโพสิต (composite instrument)
13. เอ็กซ์พลอเรอร์ (explorer)
14. หัวเป่าลมและน้ำสามทาง (triple syringe)
15. ปากกาเคมี (permanent marker)

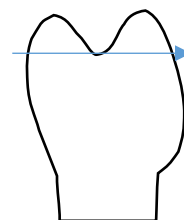
วิธีวิจัย

การเตรียมฟันตัวอย่าง

1. จัดเก็บฟันกรามน้อยบนซี่ที่หนึ่งที่ถูกถอนเพื่อการจัดฟัน ซึ่งปราศจากรอยผุ อุดหรือร้าว จำนวน 40 ซี่ ทำความสะอาดฟัน และเก็บฟันในน้ำกลั่นผสมไทโมล ความเข้มข้นร้อยละ 0.1
2. แบ่งฟันแบบสุ่มเป็น 4 กลุ่ม ตามวิธีบูรณะ กลุ่มละ 10 ซี่ ด้วยหลักการแบ่งแบบสุ่มอย่างง่าย (simple randomization)
3. ขัดบริเวณด้านบดเคี้ยวของฟันจนถึงระดับจุดลึกสุดของหลุมร่องฟันด้วยเครื่องขัดอัตโนมัติ โดยให้รอยขัดขนานกับด้านบดเคี้ยวของฟัน ดังแผนภาพที่ 8



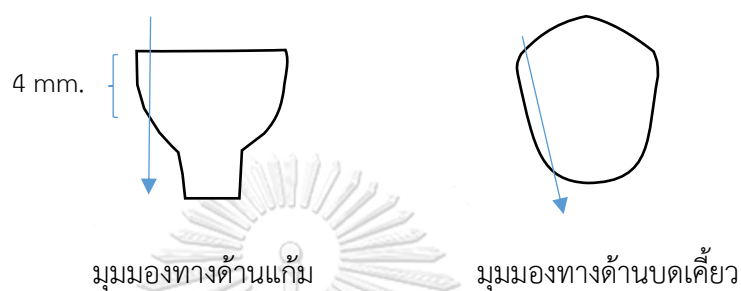
มุมมองทางด้านแก้ม



มุมมองทางด้านประชิด

แผนภาพที่ 8 แสดงรอยขัดด้านบดเคี้ยว

4. ขัดด้านประชิดของฟันด้านใดด้านหนึ่งด้วยเครื่องขัดอัตโนมัติให้เรียบและตั้งฉากกับรอยขีดแรก ระบายการขัดขนานกับพื้นผิวแนวใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้นของด้านประชิดนั้น โดยระยะสิ้นสุดของรอยขัดด้านประชิดอยู่ต่ำกว่ารอยขัดด้านบดเคี้ยวไม่น้อยกว่า 4 มิลลิเมตร ดังแผนภาพที่ 9

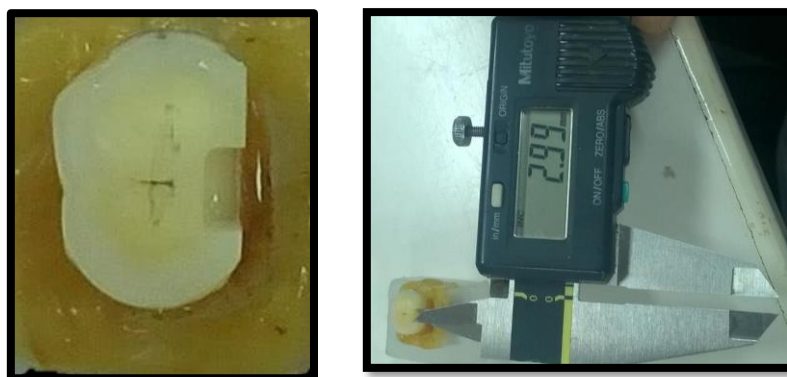


แผนภาพที่ 9 แสดงรอยขัดด้านประชิด

5. ยึดฟันเข้ากับบล็อกเรซินใส และเตรียมโพรงฟันชนิดคลาสทูบนด้านประชิดที่ขัดเรียบร้อยแล้วด้วยหัวกรอกากเพชรทรงกระบอกชนิดกรอเร็วร่วมกับเครื่องกรอฟันควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ กำหนดจุดเริ่มต้นบริเวณกึ่งกลางด้านประชิด ดังภาพที่ 10 ตั้งค่าการกรอฟันกำหนดโพรงฟันให้มีความลึกในแนวด้านบดเคี้ยว-ด้านเหงือก 4 มิลลิเมตร ความกว้างในแนวใกล้กลาง-ใกล้กลาง 1.5 มิลลิเมตร และความกว้างในแนวใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้น 3 มิลลิเมตร แล้วจึงดำเนินการกรอฟัน และตรวจสอบมิติโพรงฟันด้วยดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์



แผนภาพที่ 10 แสดงการใช้งานเครื่องกรอฟันที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์



แผนภาพที่ 11 แสดงโพรงฟันภายหลังการเตรียม และการตรวจสอบมิติโพรงฟันด้วย
ดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

- เตรียมแผ่นเมทริกซ์ชนิดโลหะกับเครื่องมือยึดเมทริกซ์ชนิดทึบเฟอร์มาล ทำการยึดเมทริกซ์กับฟันที่เตรียมโพรงฟันไว้แล้วโดยให้แผ่นเมทริกซ์แนบและครอบคลุมโพรงฟันทั้งหมด ตรวจสอบด้วยการใช้เอ็กซ์พลอเรอร์ ขอบบนอยู่เหนือโพรงฟันประมาณ 1 มิลลิเมตร



แผนภาพที่ 12 แสดงการยึดเมทริกซ์กับฟันที่เตรียมโพรงฟันไว้ โดยขอบบนของเมทริกซ์
อยู่เหนือโพรงฟันประมาณ 1 มิลลิเมตร

- ทากรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37.5 ในโพรงฟันเป็นระยะเวลา 15 วินาที แล้วล้างด้วยน้ำเป็นเวลา 15 วินาที โดยไม่มีกรดหลงเหลือ ทำการเป่าลมเบาๆ 3 วินาที โดยผนังโพรงฟันยังคงมีความชื้นอยู่ ใช้สารยึดติด OptiBond FL ตามคำแนะนำของผู้ผลิต โดยทาผนังโพรงฟันด้วยสารไพรเมอร์ (OptiBond FL Prime) พร้อมกวาดเบาๆ เป็นระยะเวลา 15 วินาที เป่าลมเบาๆ 5 วินาที ให้ได้ลักษณะของผนังโพรงฟันที่เงาและทาสารเรซินแอดฮีซีฟ (OptiBond FL Adhesive) บาง ๆ ให้ทั่วโพรงฟันแล้วฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสง (Demi™ Plus) ซึ่งมีระดับความเข้มแสง 1,100-1,330 mw/mm²

เป็นเวลา 20 วินาที โดยปลายแท่งนำแสงวางอยู่บนขอบบนของแผ่นเมทริกซ์และ
ครอบคลุมโพรงฟัน แล้วทำการบ่มด้วยวัสดุบ่ม

การเตรียมแบบพิมพ์ซิลิโคน

ผู้วิจัยได้เตรียมแบบพิมพ์ซิลิโคนสำหรับควบคุมปริมาตรของวัสดุเรซิน คอมโพสิต
ก่อนนำเข้าสู่โพรงฟัน โดยเตรียมวัสดุเรซิน คอมโพสิตให้มีรูปทรงสี่เหลี่ยมแล้วฉายแสงให้วัสดุ
แข็งตัว จากนั้นยัดวัสดุเข้ากับเครื่องกรอฟันควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ กรอตกแต่งรูปร่าง
วัสดุด้วยหัวกรอกากเพชรทรงกระบอกชนิดกรอเร็ว ให้วัสดุมีขนาด 6x1.5x3 มม. นำวัสดุออก
จากเครื่องกรอฟันควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์แล้วขัดแต่งวัสดุให้เรียบด้วยกระดาษทราย
กรอตัดวัสดุหัวกรอกากเพชรทรงกระบอกชนิดกรอเร็ว ให้วัสดุมีขนาด 5x1.5x3 มม. ซึ่งเป็น
ปริมาตรที่มากกว่าขนาดของโพรงฟันเล็กน้อย

นำแท่งเรซิน คอมโพสิตที่เตรียมรูปร่างไว้แล้ววางบนวัสดุซิลิโคน กดวัสดุเรซิน
คอมโพสิตด้วยแผ่นแก้วใสให้จมพอดีวัสดุซิลิโคน รอยวัสดุซิลิโคนแข็งตัวแล้วดึงแท่งเรซิน
คอมโพสิตออกแล้วนำแบบพิมพ์ซิลิโคนที่ได้นำไปใช้ในขั้นตอนบ่มฟันต่อไป

การบ่มฟัน

กลุ่มที่ 1 บ่มด้วยฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โปสทีเรีย (Filtek Bulk Fill Posterior) แบบหลอด
โดยตัดวัสดุใส่เพียงครั้งเดียว

ตัดวัสดุใส่ในแบบพิมพ์ซิลิโคนให้เต็ม แล้วเอาวัสดุทั้งหมดออกจากแบบพิมพ์ไปใส่
โพรงฟันและพยายามกดให้วัสดุแนบกับโพรงฟันด้วยพלקเกอร์ปลายเรียบ ตบแต่งวัสดุ
ส่วนเกินด้วยเครื่องมือตบแต่งคอมโพสิต และฉายแสง 40 วินาที ภายหลังถอดเมทริกซ์โลหะ
ออกแล้วทำการฉายแสงด้านใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้นโดยวางให้เครื่องฉายแสงขนานกับผนังโพรงฟัน
ด้านนั้น ฉายแสงด้านละ 20 วินาทีทั้งสองด้าน

กลุ่มที่ 2 บ่มด้วยฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โปสทีเรีย (Filtek Bulk Fill Posterior) แบบหลอด
โดยตัดวัสดุสองครั้ง

ตัดวัสดุใส่ในแบบพิมพ์ให้เต็ม ตัดวัสดุครึ่งหนึ่งออกจาก แบบพิมพ์แล้วใส่โพรงฟันครึ่ง
แรกให้วัสดุมีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร พยายามกดให้วัสดุแนบกับโพรงฟันด้วย

ปลั๊กเกอร์ปลายเรียบกำจัดส่วนเกินบริเวณผนังโดยรอบ ๆ ออกด้วยเครื่องมือตบแต่งคอมโพสิต กดให้วัสดุแนบกับโพรงฟันด้วยปลั๊กเกอร์ปลายเรียบอีกครั้ง

ตักวัสดุที่เหลือใส่ในโพรงฟันให้เต็ม จากนั้นตบแต่งวัสดุส่วนเกินด้วยเครื่องมือตบแต่งคอมโพสิต แล้วทำการฉายแสง 40 วินาที ภายหลังถอดเมทริกซ์โลหะแล้วทำการฉายแสงด้านใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้นโดยวางให้เครื่องฉายแสงขนานกับผนังโพรงฟันด้านนั้น ฉายแสงด้านละ 20 วินาทีทั้งสองด้าน

กลุ่มที่ 3 บูรณะด้วยฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โพสทีเรีย (Filtek Bulk Fill Posterior) แบบแคปซูล โดยฉีดวัสดุเพียงครั้งเดียว

ติดตั้งแคปซูลเข้ากับปืนฉีดวัสดุ วางปลายแคปซูลไว้อยู่เหนือโพรงฟันแล้วทำการฉีดเข้าโพรงฟันให้เต็มจนมีแรงดันกลับ ตบแต่งวัสดุส่วนเกินด้วยเครื่องมือตบแต่งคอมโพสิต แล้วทำการฉายแสง 40 วินาที ภายหลังถอดเมทริกซ์โลหะแล้วทำการฉายแสงด้านใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้นโดยวางให้เครื่องฉายแสงขนานกับผนังโพรงฟันด้านนั้น ฉายแสงด้านละ 20 วินาทีทั้งสองด้าน

กลุ่มที่ 4 บูรณะด้วยโซนิคฟิลล์ (SonicFill) แบบแคปซูล โดยฉีดวัสดุเพียงครั้งเดียว

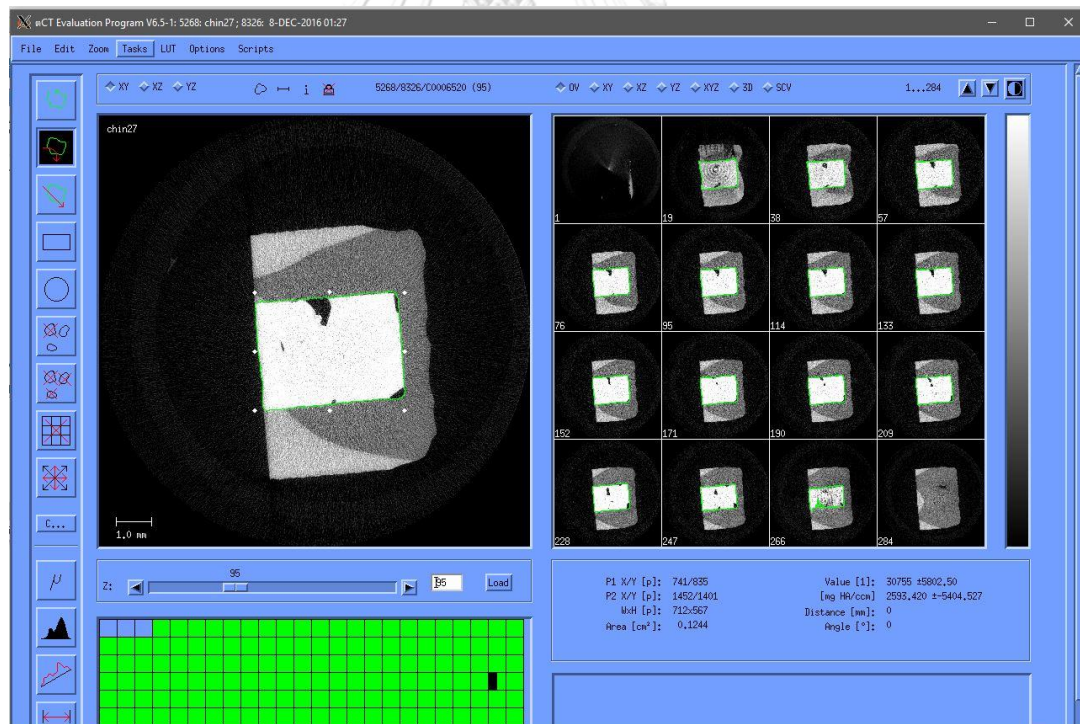
ติดตั้งแคปซูลกับเครื่องมือฉีดสำหรับวัสดุโซนิคฟิลล์ (SonicFill Handpiece) วางปลายแคปซูลไว้ใกล้กับผนังด้านเหงือกมากที่สุด ทำการฉีดวัสดุพร้อมกับเคลื่อนปลายแคปซูลมาทางด้านบดเคี้ยว ให้วัสดุเกินโพรงฟัน ตบแต่งวัสดุส่วนเกินด้วยเครื่องมือตบแต่งคอมโพสิต แล้วทำการฉายแสง 40 วินาที ภายหลังถอดเมทริกซ์โลหะแล้วทำการฉายแสงด้านใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้นโดยวางให้เครื่องฉายแสงขนานกับผนังโพรงฟันด้านนั้น ฉายแสงด้านละ 20 วินาทีทั้งสองด้าน

ภายหลังจากบูรณะทำการเก็บขึ้นตัวอย่างทั้งหมดไว้ในตู้ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

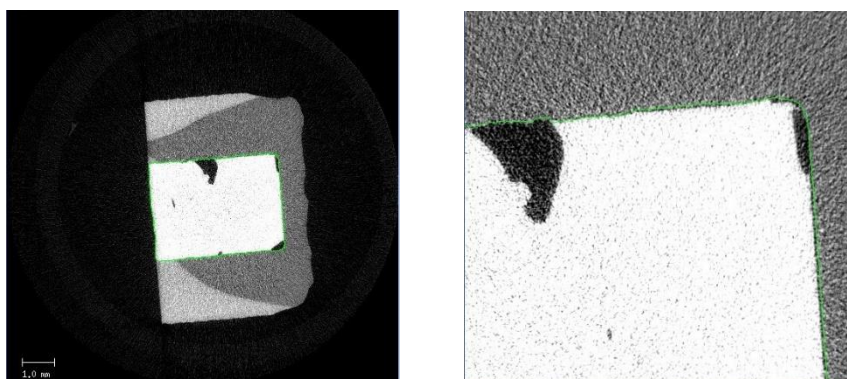
การวิเคราะห์ช่องว่างที่เกิดขึ้นภายหลังบูรณะด้วยเครื่องมือโครคอมพิวเตดโทโมกราฟี

1. กรอตัดรากฟันใต้ต่อผนังโพรงฟันด้านเหงือกประมาณ 1-2 มิลลิเมตรด้วยหัวกรอกากเพชรทรงกระบอกชนิดกรอเร็ว และกรอตัดฟันผิวด้านแก้มและด้านลิ้นของฟันห่างจากผนังด้านใกล้แก้มและใกล้ลิ้น ประมาณ 1-2 มิลลิเมตรด้วยหัวกรอกากเพชร

- ทรงกระบอกชนิดกรอเร็ว เพื่อให้ชิ้นตัวอย่างมีขนาดเหมาะสมในการวางไว้ภายในหลอด holder ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร
- วางชิ้นตัวอย่างไว้ภายในหลอด holder ยึดไม่ให้เคลื่อนไหวด้วยฟองน้ำ ติดตั้งหลอด holder กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี กำหนดความต่างศักย์ 70 กิโลโวลต์ กระแสไฟฟ้า 100 ไมโครแอมแปร์ ขนาดวอกเซลเท่ากับ 6 ไมโครเมตร กรองรังสีด้วยอลูมิเนียมขนาด 0.5 มิลลิเมตร
 - สร้างภาพสามมิติของทั้งช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างโพรงฟันและวัสดุบูรณะหรือช่องว่างภายในวัสดุบูรณะ กำหนดขอบเขตที่สนใจ (region of interest) ตั้งแต่ขอบโพรงฟันครอบคลุมวัสดุบูรณะทั้งหมด และคำนวณร้อยละของปริมาตรช่องว่างที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อปริมาตรของขอบเขตที่สนใจ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ไมโครซีที (μ CT-evaluation, Scanco Medical, Bassersdorf, Switzerland) ดังแผนภาพที่ 13 และ 14



แผนภาพที่ 13 แสดงการกำหนดขอบเขตที่สนใจ ตั้งแต่ขอบโพรงฟันครอบคลุมวัสดุบูรณะทั้งหมด



แผนภาพที่ 14 แสดงภาพถ่ายของขอบเขตที่สนใจ โดยผู้วิจัยเป็นผู้กำหนดขอบเขตในแต่ละภาพตัดขวางด้วยตนเอง

การวิเคราะห์ทางสถิติ

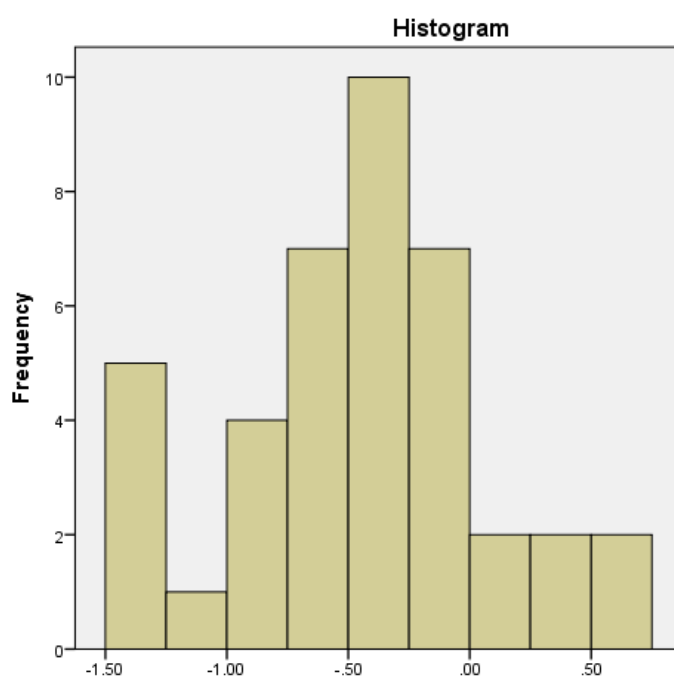
การวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เอส พี เอส เอส (SPSS version for Windows; SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) โดยกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการศึกษาดังต่อไปนี้

- i. วิเคราะห์ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของร้อยละของช่องว่างที่เกิดขึ้นทั้งหมด จากนั้นทำตรวจสอบการแจกแจงข้อมูลโดยใช้สถิติ Kolmogorov-Smirnov test
- ii. วิเคราะห์ความแตกต่างของวิธีการบูรณะแต่ละกลุ่ม
 - กรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ วิเคราะห์ร้อยละของช่องว่างที่เกิดขึ้นทั้งหมดด้วยสถิติ วันเวย์แอนโนวา (one-way ANOVA) ร่วมกับ Tukey Post-hoc test
 - กรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติ จะวิเคราะห์ด้วยสถิติครุสคัล-วัลลิสเทส (Kruskal-Wallis Test)

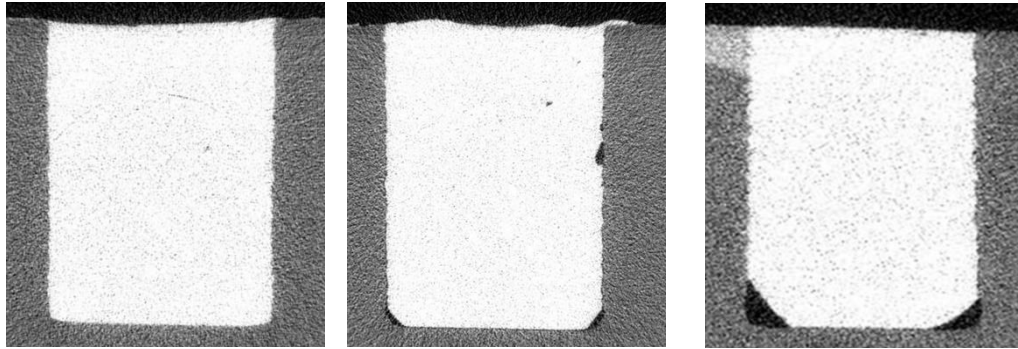
บทที่ 4

ผลการศึกษา

จากการศึกษาครั้งนี้ พบช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการบูรณะในชั้นตัวอย่างทุกชั้น ทดสอบการแจกแจงข้อมูลลอการิทึมของร้อยละช่องว่างที่เกิดขึ้น ด้วยสถิติทดสอบของโคโมโกรอฟ-สมิรนอฟ (Kolmogorov-Smirnov test) พบแจกแจงแบบปกติดังแผนภาพฮิสโทแกรมนี้



แผนภาพที่ 15 แผนภาพฮิสโทแกรมแสดงการแจกแจงข้อมูลลอการิทึม ของร้อยละช่องว่างที่ของการบูรณะ



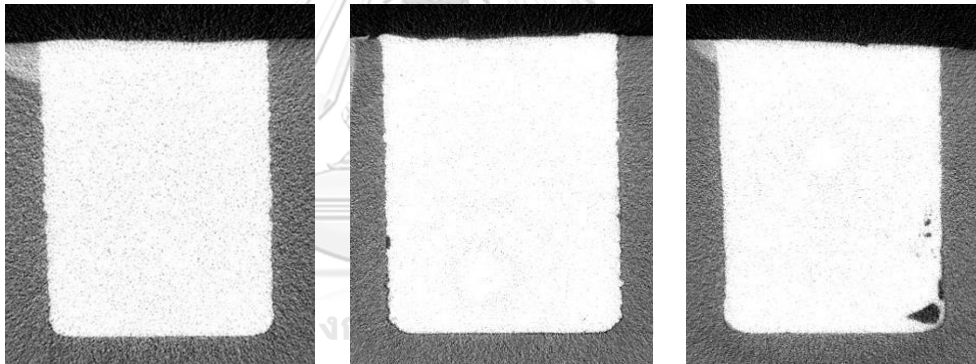
(ก)

(ข)

(ค)

แผนภาพที่ 16 ตัวอย่างภาพตัดขวางของกลุ่มที่ 1

ภาพ ก. ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดช่องว่างน้อยที่สุดของกลุ่ม ภาพ ข. ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดร้อยละของช่องว่างใกล้เคียง กลุ่ม ค. ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดช่องว่างมากที่สุดของกลุ่ม



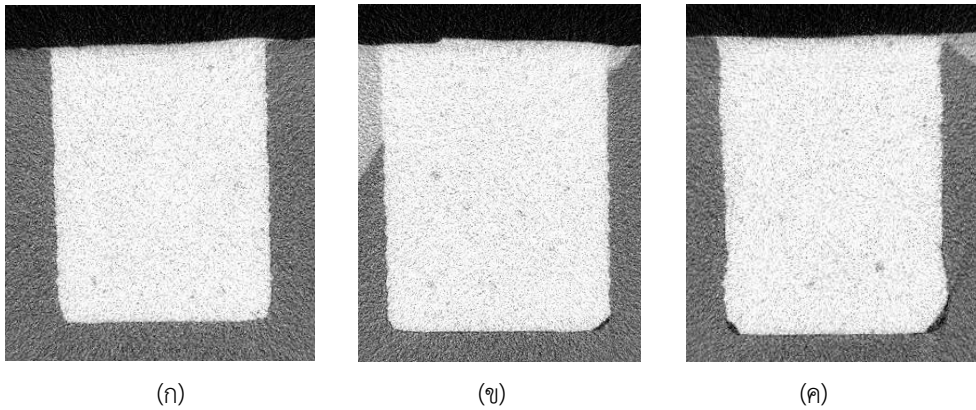
(ก)

(ข)

(ค)

แผนภาพที่ 17 ตัวอย่างภาพตัดขวางของกลุ่มที่ 3

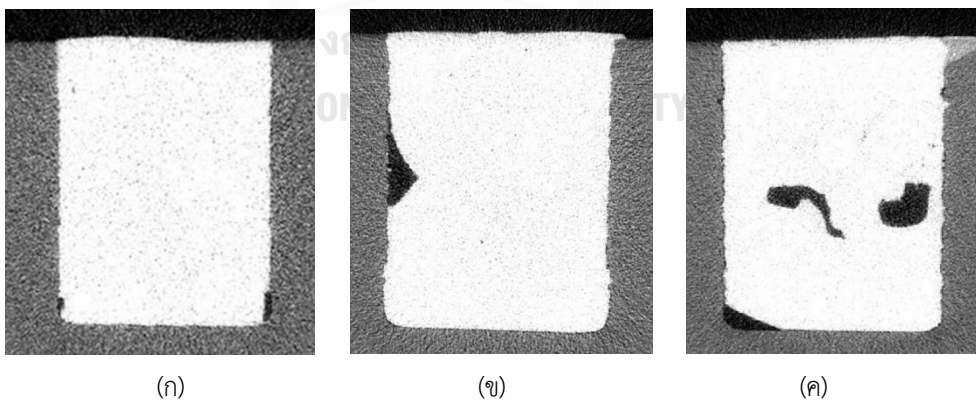
ภาพ ก. ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดช่องว่างน้อยที่สุดของกลุ่ม ภาพ ข. ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดร้อยละของช่องว่างใกล้เคียง กลุ่ม ค. ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดช่องว่างมากที่สุดของกลุ่ม



แผนภาพที่ 18 ตัวอย่างภาพตัดขวางของกลุ่มที่ 4

ภาพ ก. ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดช่องว่างน้อยที่สุดของกลุ่ม ภาพ ข. ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดร้อยละของช่องว่างใกล้เคียง กลุ่ม ค. ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดช่องว่างมากที่สุดของกลุ่ม

จากแผนภาพที่ 16-18 แสดงภาพตัดขวางจากกลุ่มที่ 1, 3 และ 4 พบว่ามีช่องว่างเกิดขึ้นบริเวณผนังของโพรงฟันและบริเวณมุมบรรจบ ไม่พบช่องว่างภายในวัสดุบูรณะหรือหากพบมักเป็นช่องว่างขนาดเล็กและมีจำนวนไม่มาก ช่องว่างต่าง ๆ บริเวณผนังของโพรงฟันและบริเวณมุมบรรจบนั้นอาจมีขนาดเล็ก ขนาดกลาง หรือขนาดใหญ่ ในชิ้นตัวอย่างที่ร้อยละของช่องว่างน้อย ช่องว่างมักมีขนาดเล็ก ขณะที่ชิ้นตัวอย่างที่ร้อยละของช่องว่างมากขึ้น ช่องว่างดังกล่าวมักมีขนาดใหญ่กว่า

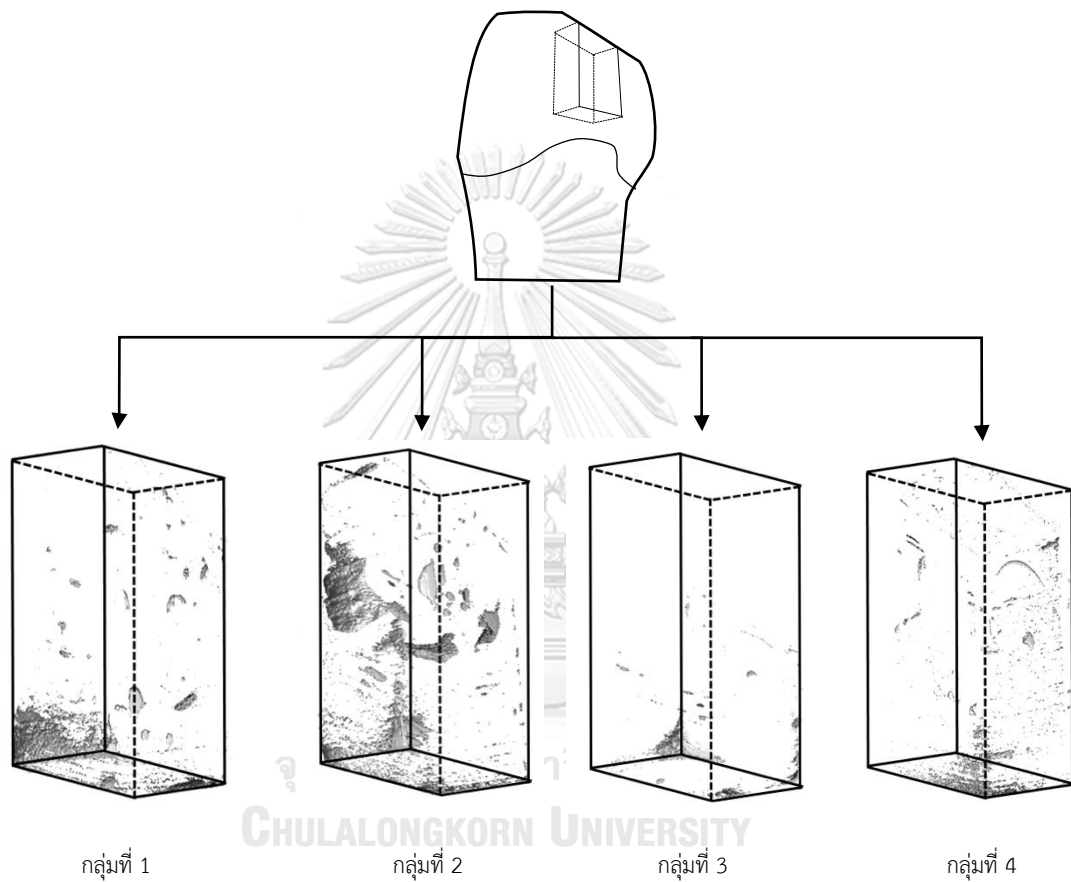


แผนภาพที่ 19 ตัวอย่างภาพตัดขวางของกลุ่มที่ 2

ภาพ ก. ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดช่องว่างน้อยที่สุดของกลุ่ม ภาพ ข. ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดร้อยละของช่องว่างใกล้เคียง กลุ่ม ค. ภาพตัดขวางจากชิ้นตัวอย่างที่เกิดช่องว่างมากที่สุดของกลุ่ม

จากแผนภาพที่ 19 แสดงภาพตัดขวางจากกลุ่มที่ 2 พบว่ามีช่องว่างเกิดขึ้นบริเวณผนังของโพรงฟัน บริเวณมุมบรรจบ และภายในวัสดุบูรณะด้วย มักพบช่องว่างขนาดใหญ่ภายในวัสดุบูรณะ

เมื่อประมวลภาพของช่องว่างในลักษณะ 3 มิติ โดยทั่วไปจะพบช่องว่างบริเวณช่องว่างบริเวณมุมบรรจบ/จุดบรรจบของด้านต่าง ๆ และร่องซุซุระบริเวณผนังโพรงฟัน ขณะที่กลุ่มที่ 2 พบช่องว่างภายในวัสดุบูรณะบริเวณกึ่งกลางของวัสดุ ดังที่แสดงในแผนภาพที่ 20

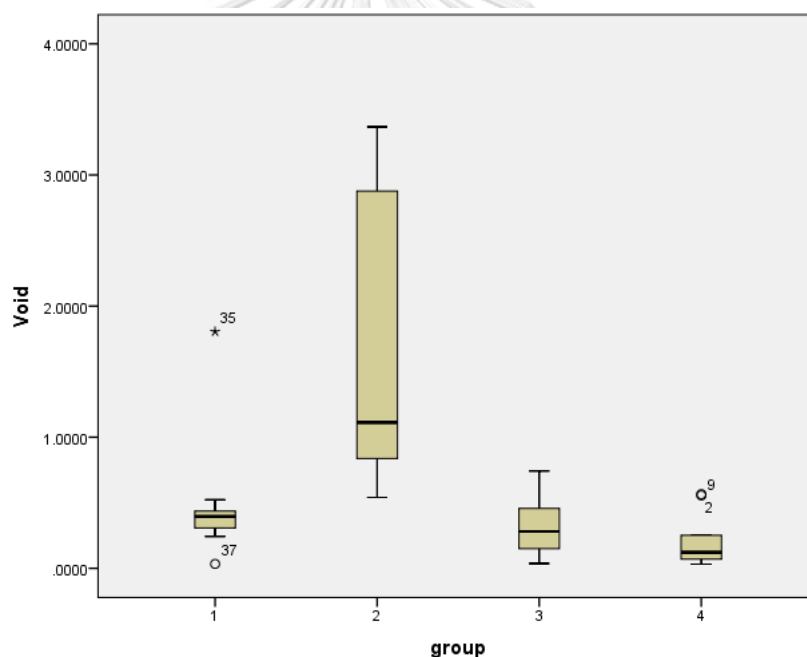


แผนภาพที่ 20 ตัวอย่างช่องว่างที่เกิดขึ้นในกลุ่มต่าง ๆ ในลักษณะ 3 มิติ

ค่าเฉลี่ยของร้อยละของช่องว่างที่เกิดขึ้นทั้งหมดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงในตารางที่ 1 และแผนภาพที่ 21

กลุ่ม	ค่าเฉลี่ย (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)
1	0.487252 (0.481677) ^b
2	1.615359 (1.1136211) ^a
3	0.329878 (0.2375264) ^b
4	0.208143 (0.1971202) ^b

ตารางที่ 1 แสดงร้อยละและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบурณะ ของกลุ่มต่าง ๆ อักษรตัวกแสดงค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



แผนภาพที่ 21 แสดงร้อยละของช่องว่างของการบурณะของกลุ่มต่าง

เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของช่องว่างในการบурณะระหว่างกลุ่ม ด้วยสถิติวันเวย์ แอนโนวา (one-way ANOVA) ร่วมกับ Tukey Post-hoc test พบว่า กลุ่มที่บурณะด้วยฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โปสทีเรียแบบหลอดโดยตักใส่โพรงพันวัสดุสองครั้ง (กลุ่มที่ 2) มีความเฉลี่ยของร้อยละช่องว่างในการบурณะมากกว่ากลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่กลุ่มอื่น ๆ ได้แก่ กลุ่มที่บурณะด้วยฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โปสทีเรียแบบหลอดโดยตักใส่โพรงพันวัสดุเพียงครั้งเดียว (กลุ่มที่ 1) กลุ่มที่บурณะ

ด้วยฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โปสทีเรียแบบแคปซูล โดยฉีดวัสดุเพียงครั้งเดียว (กลุ่มที่ 3) และสุดท้ายกลุ่มที่
บุงรณะด้วยโซนิคฟิลล์แบบแคปซูล โดยฉีดวัสดุเพียงครั้งเดียว(กลุ่มที่ 4) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมุติฐานที่ว่า วิธีการบุงรณะวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบุงรณะทั้งก่อน
ในโพรงฟันชนิดคลาสทูไม่มีผลต่อช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบุงรณะ



บทที่ 5

บทวิจารณ์

ในการศึกษานี้ ผู้ทำการศึกษาได้ออกแบบโพรงฟันเป็นแบบคลาสทุสองด้าน ซึ่งเป็นลักษณะโพรงฟันที่ยากต่อการใส่วัสดุลงในโพรงฟัน โดยควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจส่งผลต่อผลการศึกษา เช่น รูปร่างมิติโพรงฟัน โดยการเตรียมโพรงฟันด้วยเครื่องกรอฟันควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (CNC Specimen Former) และตรวจสอบมิติโพรงฟันด้วยดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ เพื่อให้ปริมาณของวัสดุบูรณะใกล้เคียงกันในทุกชิ้นตัวอย่าง มีการควบคุมระยะเวลาและระยะทางการฉายแสงให้เท่ากันในทุกตัวอย่าง รวมทั้งการเลือกใช้สารยึดติดผลิตภัณฑ์ OptiBond™ FL (Kerr, Washington, DC, USA) ซึ่งได้รับการยอมรับเป็นมาตรฐาน (Gold standard) (98) เนื่องจากให้ค่าแรงยึดที่ดีทั้งการศึกษาทางคลินิกและในห้องปฏิบัติการ สารยึดติดนี้มีวัสดุอัดแทรก ทำให้ชั้นของสารยึดติดหนาประกอบด้วยมีมอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (elastic modulus) ที่ต่ำ ทำให้มีความสามารถในการลดความเค้นจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ได้

เรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก่อนควรต้องเกิดพอลิเมอร์อย่างเพียงพอในบริเวณที่ลึกของโพรงฟัน การหดตัวและความเค้นจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์สัมพันธ์กับระดับการเกิดพอลิเมอร์ (33) และอาจมีผลต่อการเกิดช่องว่างของการบูรณะ (61) โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระดับความลึกของการบ่ม ได้แก่ ความเข้มแสง ระยะเวลาการฉายแสงและระยะห่างระหว่างวัสดุและเครื่องฉายแสง (20, 60) ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้ทำการควบคุมระยะเวลาและระยะทางการฉายแสงให้เท่ากันในทุกชิ้นตัวอย่าง ใช้เครื่องฉายแสงซึ่งเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มแสงแบบช่วง ๆ (Periodic level shifting) ความเข้มพื้นฐานที่ 1,100 mw/mm² และสูงสุดที่ 1,330 mw/mm² ทำการฉายแสงวัสดุเป็นระยะเวลา 40 วินาที แทนที่ฉายแสงเพียง 20 วินาที ตามคำแนะนำจากบริษัท เนื่องจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า เมื่อฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (light-emitting diode, LED) ที่มีความเข้มแสงประมาณ 1,000 mW/cm² หรือมากกว่า บนเรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก่อนเป็นเวลา 20 วินาที คอมโพสิตที่มีความหนืดสูง เช่น SonicFill และ Tetric EvoCeram Bulk Fill มีระดับความลึกของการบ่มตัวไม่ถึง 4 มิลลิเมตร (22, 58, 60) แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาการฉายแสงเป็น 40 วินาที พบว่าสามารถทำให้เรซินคอมโพสิตที่มีความหนืดสูงมีความลึกของการบ่มตัวมากกว่าหรือเท่ากับ 4 มิลลิเมตรได้ (20)

ผลการศึกษาคั้งนี้พบช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงปฏิเสธสมมุติฐานที่ว่า วิธีการบูรณะวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนในโพรงฟันชนิดคลาสทูไม่มีผลต่อช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณะ โดยกลุ่มที่ 2 ซึ่งบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต ชนิดบูรณะทั้งก้อนแบบหล่อด้วยวิธีตัดวัสดุใส่โพรงฟันสองครั้งเกิดช่องว่างของการบูรณะสูงที่สุด ขณะที่กลุ่มอื่น ๆ ช่องว่างของการบูรณะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ช่องว่างส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในกลุ่มที่ 2 พบว่าอยู่บริเวณกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่าง (แผนภาพที่ 17 และ 20) ผู้วิจัยคาดว่า เกิดการกักเก็บอากาศภายในวัสดุระหว่างการบูรณะชั้นแรกและชั้นที่สอง ซึ่งคล้ายคลึงกับผลการศึกษาของ Vandewalker และคณะที่พบว่าช่องว่างภายในวัสดุของการบูรณะแบบชั้น ๆ โดยฉายแสงในแต่ละชั้นด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดไมโครไฮบริด ฟิลเทคซี 250 (Filtek Z250, 3M ESPE) มีมากกว่าการบูรณะแบบก้อนเดียวอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากวิธีการบูรณะแล้ว ลักษณะการใช้งานของวัสดุ (handling characteristics) อาจมีผลต่อการศึกษาเช่นกัน ผู้วิจัยพบว่าเรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อน ฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โปสทีเรีย (Filtek Bulk Fill Posterior) ที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้ มีความเหนียวไม่สูงนัก ในการบูรณะกลุ่มที่ 2 หลายครั้งพบว่าวัสดุถูกดึงออกจากผนังด้านเหงือกขณะใส่วัสดุชั้นแรกเข้าสู่โพรงฟันแล้วนำเครื่องมือกดออก แต่ไม่พบเหตุการณ์ดังกล่าวในการบูรณะกลุ่มที่ 1 และการบูรณะชั้นที่ 2 ของกลุ่มที่ 2 อาจเนื่องด้วยการบูรณะชั้นแรกจำเป็นต้องนำเครื่องมือกดออกในทิศทางตั้งฉากกับด้านบดเคี้ยว เมื่อบูรณะมาถึงขอบด้านบดเคี้ยวของโพรงฟันสามารถนำเครื่องมือในทิศทางอื่นได้ทำให้วัสดุไม่ถูกดึงออกจากผนังโพรงฟันอีก การที่วัสดุมีความเหนียวต่ำและติดเครื่องมือ ความพยายามกดวัสดุเพื่อให้แนบกับโพรงฟันหลายๆ ครั้ง จึงมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้มีอากาศเข้าไปเก็บกักในเนื้อของวัสดุมากขึ้น ซึ่งการศึกษาของ Balthazard และคณะ (99) ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน แตกต่างจากวัสดุที่มีความเหนียวสูงหรือปานกลางการกดวัสดุด้วยเครื่องมือสามารถลดการเกิดช่องว่างที่ภายในวัสดุบูรณะ

นอกจากนี้ยังพบช่องว่างบริเวณแนวบรรจบระหว่างผนังด้านต่าง ๆ (line angle) และมุมบรรจบ (point angle) ในทุก ๆ กลุ่ม รวมไปถึงร่องซุซุระบริเวณผนังโพรงฟันที่เกิดจากการกรอเตรียมโพรงฟันด้วยเข็มกรอกากเพชร ซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่แคบและเป็นมุมที่ยากต่อการใส่วัสดุให้แนบกับโพรงฟัน (70) ดังแสดงในแผนภาพที่ 16-20

โซนิคฟิลล์ ถูกแนะนำโดยบริษัทผู้ผลิตว่าเป็นเรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะแบบทั้งก้อนที่เป็นทั้งวัสดุที่มีความความเหนียวต่ำสามารถไหลแผ่ได้และเป็นวัสดุที่มีความความเหนียวสูงทำให้สามารถตกแต่งให้มี

รูปร่างตามต้องการได้ ทำให้ง่ายแก่การบูรณะ เครื่องมือชนิดสำหรับโซนิคฟิลล์ (SonicFill Handpiece) จะให้พลังงานสั่นสะเทือน (sonic energy) ทำให้วัสดุมีความหนืดลดลงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งคาดว่า การไหลแผ่ได้จะช่วยเพิ่มความแนบบริเวณผนังโพรงฟัน แล้วเมื่อพลังงานสั่นสะเทือนหายไปวัสดุจะหนืดขึ้น (95) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาที่พบว่า ช่องว่างของการบูรณะของกลุ่มที่ 4 ซึ่งบูรณะด้วยโซนิคฟิลล์ ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มที่ 1 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญ ผลการศึกษานี้มีความคล้ายคลึง และแตกต่างจากการศึกษาของ Chaidarun และคณะ (17) ที่ทำการศึกษาระหว่างช่องว่างของการบูรณะด้วยเรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนด้วยเครื่องมือโครคอมพิวเตดโทโทกราฟี โดยความคล้ายคลึงก็คือ ในโพรงฟันขนาดเล็ก ร้อยละพื้นที่ช่องว่างการบูรณะด้วยโซนิคฟิลล์ และฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โปสทีเรีย แบบแคปซูลไม่แตกต่างกัน แต่การบูรณะด้วยฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โปสทีเรียแบบหลอดพบร้อยละพื้นที่ช่องว่างมากกว่ากลุ่มอื่น สำหรับความแตกต่างนั้นคือ ผลการศึกษาของผู้วิจัยครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของร้อยละช่องว่างของกลุ่มที่บูรณะด้วยฟิลเทค บัลค์ฟิลล์ โปสทีเรียแบบหลอดชนิดที่ตักวัสดุใส่โพรงฟันครั้งเดียวและแบบแคปซูล ซึ่งผู้วิจัยคาดว่า เนื่องจากการกำหนดปริมาตรของวัสดุด้วยแบบพิมพ์ซิลิโคนช่วยลดความผิดพลาดจากการตักวัสดุมากเกินไปจนทำให้วัสดุเข้าสู่โพรงฟันและกดวัสดุให้แน่นได้ยาก หรือตักวัสดุน้อยเกินไปจนต้องตักวัสดุมาใส่เพิ่ม นอกจากเหตุผลข้างต้นแล้ว ความแตกต่างของผลการศึกษาอาจมาจากการศึกษานี้วิเคราะห์ช่องว่างจากภาพแบบสามมิติ ไม่ใช้การคำนวณพื้นที่ช่องว่างในแต่ละภาพตัดขวาง จึงทำให้ได้ผลที่สมบูรณ์มากกว่า

ในการศึกษานี้พบช่องว่างของการบูรณะในทุกชั้นตัวอย่าง สอดคล้องกับการศึกษาอื่น ๆ ที่ทำการศึกษาการเกิดช่องว่างในการบูรณะที่เกิดในโพรงฟันลักษณะต่าง ๆ เช่น การศึกษาทางคลินิกของ Ishibashi และคณะ (3) ที่ใช้วัสดุบูรณะเรซิน คอมโพสิตในโพรงฟันชนิดคลาสไฟฟ์ พบว่ามีเพียงร้อยละ 18.9 เท่านั้นที่ไม่พบช่องว่างหรือปัญหาใด ๆ การศึกษาในห้องปฏิบัติการของ Opdam และคณะ (100) ในการบูรณะโพรงฟันชนิดคลาสวันด้วยลักษณะการใช้งานวัสดุที่แตกต่างกัน พบว่า กลุ่มที่บูรณะเพียงชั้นเดียวด้วยเรซิน คอมโพสิตความหนืดปานกลาง เกิดช่องว่างระหว่างการบูรณะ 16 ซีใน 19 ซี ในขณะที่กลุ่มที่บูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดเหลวและความหนืดสูงเกิดช่องว่างระหว่างการบูรณะทุกซี ดังนั้น จึงพอที่จะสรุปได้ว่า การบูรณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิตมักพบช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบูรณะ

การบูรณะฟันแต่ละครั้ง ทันตแพทย์ควรเข้าใจสาเหตุและตระหนักถึงผลเสียของการเกิดช่องว่าง รวมถึงรู้จักคุณสมบัติของวัสดุบูรณะและวิธีการบูรณะของวัสดุแต่ละชนิด ฝึกฝนจนชำนาญ ค้นเคยลักษณะการใช้งานของวัสดุ และบูรณะฟันด้วยความระมัดระวัง เพื่อให้เกิดช่องว่างของการ

บรูณะน้อยที่สุด โดยสาเหตุของการเกิดช่องว่างมิได้หลายสาเหตุ ทั้งความเค้นที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ (61) รูปร่างโพรงฟัน(70) ลักษณะการใช้งานวัสดุ(7) รวมถึงวิธีการใส่วัสดุเข้าสู่โพรงฟัน (67-69) ช่องว่างเหล่านี้ก่อให้เกิดผลเสียต่าง ๆ ต่อวัสดุบรูณะ หากช่องว่างของการบรูณะเกิดบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุบรูณะและโพรงฟัน จะส่งผลให้แรงยึดติดลดลง(8) จนอาจทำให้วัสดุหลุดออกจากโพรงฟัน หรือมีการเคลื่อนตัวของน้ำจากท่อเนื้อฟันเข้ามาบริเวณช่องว่าง เกิดการทำลายชั้นของสารยึดติดตามมา และอาจก่อให้เกิดอาการเสียวฟันภายหลังการบรูณะ (9) ช่องว่างที่เกิดบริเวณมุมบรรจบระหว่างของโพรงฟันและพื้นผิวฟัน (Cavosurface angle) จะทำให้เกิดการสะสมของคราบจุลินทรีย์ (Dental plaque) และเกิดรอยโรคฟันผุตามมา หากช่องว่างของการบรูณะเกิดภายในวัสดุบรูณะจะ คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุบรูณะลดลง (65) อีกทั้งอาจสามารถมองเห็นช่องว่างซึ่งส่งผลต่อความสวยงามของการบรูณะ จะเห็นได้ว่าผลเสียต่าง ๆ ของช่องว่าง อาจทำให้วัสดุบรูณะมีอายุการใช้งานลดลงหรือส่งผลให้วัสดุบรูณะฟันนั้นเกิดความล้มเหลว

ทันตแพทย์มักได้รับคำแนะนำให้บรูณะแบบขั้น ๆ หากทำการบรูณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดทั่วไป เนื่องจากข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับการบรูณะแบบทั้งก้อน เช่น การลดความเครียดจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ การเคลื่อนตัวเข้าหากันของปุ่มฟันลดลง (12, 13) เพิ่มความแนบกับโพรงฟัน และค่าแรงยึดติดดีกว่า (8) ลดการรั่วซึมบริเวณขอบเขตด้านเหงือกของโพรงฟันชนิดคลาสสิก อีกทั้งวิธีการบรูณะนี้ทำให้วัสดุในบริเวณที่ลึกมีปฏิกิริยาพอลิเมอร์สมบูรณ์ (101) อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาในครั้งนี้ของกลุ่มที่ 2 วิธีการบรูณะเป็นขั้น ๆ มีความเสี่ยงทำให้เกิดช่องว่างในการบรูณะแต่ละชั้น คล้ายคลึงการผลการศึกษาที่ผ่านมา (102) อีกทั้งวิธีการนี้ผู้วิจัยต้องใช้ระยะเวลาการบรูณะสูงขึ้นด้วย ดังนั้น เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าววัสดุเรซิน คอมโพสิตต้องได้รับการพัฒนาคุณสมบัติให้เหมาะสมแก่การบรูณะแบบทั้งก้อน โดยมีความลึกของการบ่มตัวมากกว่าหรือเท่ากับ 4 มม. (20) ประกอบกับความเค้นจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์น้อยกว่าเรซินคอมโพสิตแบบเดิม (103)

คุณสมบัติที่เหมาะสมแก่การบรูณะแบบทั้งก้อนของเรซินคอมโพสิตชนิดชนิดบรูณะแบบทั้งก้อนมาจากส่วนประกอบที่แตกต่างจากเรซิน คอมโพสิตแบบทั่วไป ทั้งวัสดุอัดแทรกที่มีขนาดใหญ่กว่าและปริมาตรน้อยกว่า รอยต่อระหว่างวัสดุอัดแทรกและเรซินเมทริกซ์จึงน้อยลง ทำให้การกระเจิงของแสงลดลง หรือค่าดัชนีการหักเหแสง (reflective index) ระหว่างวัสดุอัดแทรกและเรซิน เมทริกซ์มีความแตกต่างน้อยทำให้เกิดการกระเจิงแสงลดลงเช่นกัน (38) และทำให้วัสดุมีลักษณะโปร่งแสงมากขึ้น (translucent) เป็นเหตุให้แสงจากเครื่องฉายแสงสามารถทะลุผ่านวัสดุได้ลึกขึ้น (49) ส่งผลให้

ระดับความลึกของการบ่มตัวสูงขึ้น นอกจากวัสดุอัดแทรกแล้ว ยังมีการปรับปรุงด้านสารตั้งต้น ปฏิกิริยา เช่น การใช้ไอโวเซอร์ริน (Ivocerine) ที่ปลดปล่อยอนุมูลอิสระมากกว่าแคมฟอร์ควิโนน (52, 53) หรือการปรับปรุงโมโนเมอร์ให้มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นเพื่อลดความเค้นจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ เช่น ยูดีเอ็มเอ (UDMA) ที่ถูกปรับเปลี่ยนโครงสร้าง (Modified UDMA) เป็นต้น

การศึกษาการบูรณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนพบว่า การเคลื่อนตัวเข้าหากันของปุ่มฟันน้อยกว่าหรือเท่ากับเรซินคอมโพสิตทั่วไป (62, 104) ในขณะที่การรั่วซึมบริเวณขอบของวัสดุ (marginal leakage) และความสมบูรณ์ของขอบวัสดุ (marginal integrity) ไม่มีความแตกต่างจากเรซินคอมโพสิตชนิดทั่วไป (64, 104, 105) การศึกษาทางคลินิกของ Hickey และคณะ (106) พบอาการเสียวฟันของคนไข้ภายหลังการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดทั้งบูรณะแบบทั้งก้อนไม่มีความแตกต่างจากบูรณะแบบชั้น ๆ ด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดทั่วไป ดังนั้น จากผลการศึกษาที่กล่าวมาน่าจะลดความกังวลของการนำเรซินคอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนมาเป็นตัวเลือกของการบูรณะทดแทนเรซิน คอมโพสิตชนิดทั่วไป โดยเฉพาะการนำวัสดุชนิดนี้มาบูรณะฟันโพรงฟันที่มักมีความลึกของโพรงฟันมากอย่างโพรงฟันคลาสซู เพื่อการลดเวลาการรักษา และลดความเสี่ยงในการเกิดช่องว่างของการบูรณะแบบชั้น ๆ

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการบูรณะโพรงฟันชนิดคลาสซูด้วยวัสดุเรซิน คอมโพสิตชนิดบูรณะทั้งก้อนแบบหลอดโดยการตัดวัสดุใส่โพรงฟันสองครั้งพบช่องว่างสูงกว่าวิธีการบูรณะแบบอื่น ทันตแพทย์ผู้ทำการบูรณะต้องมีความระมัดระวังตั้งแต่การตัดวัสดุออกจากหลอดให้ไม่มีการกักอากาศเข้าสู่เนื้อวัสดุ และปริมาณของวัสดุควรจะไม่มากเกินไปจนกวดวัสดุเข้าโพรงฟันลำบากหรือหากปริมาตรวัสดุน้อยเกินไปไม่เพียงพอแก่การใส่ให้เต็มโพรงฟันและจำเป็นต้องตัดวัสดุใส่โพรงฟันเพิ่มเติม หรือทันตแพทย์สามารถเลือกใส่ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบแคปซูลเพื่อลดความเสี่ยงของการเกิดช่องว่างระหว่างตัดวัสดุออกจากหลอด หรือการคาดคะเนปริมาตรวัสดุผิดพลาดจนต้องใส่วัสดุหลายครั้ง

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษานี้สรุปได้ว่า วิธีการบรูณะวัสดุเรซิน คอมโพสิตชนิดบรูณะทั้งก่อนในโพรงฟันชนิดคลาสทึมมีผลต่อช่องว่างที่เกิดขึ้นในการบรูณะ โดยการบรูณะด้วยเรซิน คอมโพสิตชนิดบรูณะแบบทั้งก่อนชนิดที่อยู่ในหลอด ด้วยวิธีการใส่วัสดุสองชั้น ทำให้เกิดช่องว่างของการบรูณะมากกว่าการบรูณะด้วยวิธีการใส่วัสดุเพียงชั้นเดียว และมากกว่าการบรูณะด้วยเรซิน คอมโพสิตชนิดบรูณะแบบทั้งก่อนในรูปแบบแคปซูล

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยในห้องปฏิบัติการที่มีความแตกต่างจากการทำงานจริงในคลินิกอยู่หลายประการ ทั้งรูปร่างโพรงฟันที่มีแบบเดียว อุณหภูมิระหว่างการบรูณะ การควบคุมความชื้นและความดันภายในท่อเนื้อฟัน ดังนั้น ผลการศึกษานี้จึงไม่สามารถบอกถึงช่องว่างของการบรูณะที่เกิดขึ้นภายใต้การทำงานในช่องปากได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งเรซิน คอมโพสิตชนิดบรูณะแบบทั้งก่อนของการศึกษานี้ที่มีความหนืดไม่สูงนักและไม่ได้จำลองการใช้งานภายหลังการบรูณะด้วยวิธีการเปลี่ยนของอุณหภูมิ (thermocycling) ดังนั้น สำหรับการศึกษานในอนาคตอาจศึกษาเรซิน คอมโพสิตชนิดบรูณะแบบทั้งก่อนที่มีความหนืดแตกต่างกัน ลักษณะโพรงฟันที่มีหลายมิติมากขึ้น รวมถึงผลของการเปลี่ยนของอุณหภูมิต่อช่องว่างที่เกิดขึ้น ความแข็งแรงของวัสดุบรูณะภายหลังการบรูณะด้วยวิธีการต่าง ๆ กันด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบรูณะแบบทั้งก่อนและหาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของวัสดุบรูณะและช่องว่างที่เกิดขึ้น

รายการอ้างอิง

1. Roulet JF. Benefits and disadvantages of tooth-coloured alternatives to amalgam. *J Dent.* 1997;25(6):459-73.
2. Leistevuo J, Leistevuo T, Helenius H, Pyy L, Osterblad M, Huovinen P, et al. Dental amalgam fillings and the amount of organic mercury in human saliva. *Caries Res.* 2001;35(3):163-6.
3. Ishibashi K, Ozawa N, Tagami J, Sumi Y. Swept-source optical coherence tomography as a new tool to evaluate defects of resin-based composite restorations. *J Dent.* 2011;39(8):543-8.
4. Ferracane JL. Developing a more complete understanding of stresses produced in dental composites during polymerization. *Dent Mater.* 2005;21(1):36-42.
5. Yoshimine N, Shimada Y, Tagami J, Sadr A. Interfacial Adaptation of Composite Restorations Before and After Light Curing: Effects of Adhesive and Filling Technique. *J Adhes Dent.* 2015;17(4):329-36.
6. Boaro LC, Froes-Salgado NR, Gajewski VE, Bicalho AA, Valdivia AD, Soares CJ, et al. Correlation between polymerization stress and interfacial integrity of composites restorations assessed by different in vitro tests. *Dent Mater.* 2014;30(9):984-92.
7. Opdam NJ, Roeters JJ, Peters TC, Burgersdijk RC, Teunis M. Cavity wall adaptation and voids in adhesive Class I resin composite restorations. *Dent Mater.* 1996;12(4):230-5.
8. Bakhsh TA, Sadr A, Shimada Y, Mandurah MM, Hariri I, Alsayed EZ, et al. Concurrent evaluation of composite internal adaptation and bond strength in a class-I cavity. *J Dent.* 2013;41(1):60-70.
9. Opdam NJ, Feilzer AJ, Roeters JJ, Smale I. Class I occlusal composite resin restorations: in vivo post-operative sensitivity, wall adaptation, and microleakage. *Am J Dent.* 1998;11(5):229-34.
10. Ogden AR. Porosity in composite resins--an Achilles' heel? *J Dent.* 1985;13(4):331-40.

11. Bakhsh TA, Sadr A, Shimada Y, Tagami J, Sumi Y. Non-invasive quantification of resin-dentin interfacial gaps using optical coherence tomography: validation against confocal microscopy. *Dent Mater.* 2011;27(9):915-25.
12. Kwon Y, Ferracane J, Lee IB. Effect of layering methods, composite type, and flowable liner on the polymerization shrinkage stress of light cured composites. *Dent Mater.* 2012;28(7):801-9.
13. Lee MR, Cho BH, Son HH, Um CM, Lee IB. Influence of cavity dimension and restoration methods on the cusp deflection of premolars in composite restoration. *Dent Mater.* 2007;23(3):288-95.
14. Liebenberg WH. Assuring restorative integrity in extensive posterior resin composite restorations: pushing the envelope. *Quintessence Int.* 2000;31(3):153-64.
15. Chesterman J, Jowett A, Gallacher A, Nixon P. Bulk-fill resin-based composite restorative materials: a review. *Br Dent J.* 2017;222(5):337-44.
16. Almeida LJ, Penha KJS, Souza AF, Lula ECO, Magalhaes FC, Lima DM, et al. Is there correlation between polymerization shrinkage, gap formation, and void in bulk fill composites? A muCT study. *Braz Oral Res.* 2017;31:e100.
17. Chaidarun S, Leevailoj C. Evaluation of Voids in Class II Restorations Restored with Bulk-fill and Conventional Nanohybrid Resin Composite. *J Dent Assoc Thai.* 2018 68 (2):132-43.
18. Ilie N, Bucuta S, Draenert M. Bulk-fill resin-based composites: an in vitro assessment of their mechanical performance. *Oper Dent.* 2013;38(6):618-25.
19. MM AL, Haenel T, Sullivan B, Labrie D, Alqahtani MQ, Price RB. Effect of a broad-spectrum LED curing light on the Knoop microhardness of four posterior resin based composites at 2, 4 and 6-mm depths. *J Dent.* 2016;45:14-8.
20. Ilie N, Stark K. Curing behaviour of high-viscosity bulk-fill composites. *J Dent.* 2014;42(8):977-85.
21. Furness A, Tadros MY, Looney SW, Rueggeberg FA. Effect of bulk/incremental fill on internal gap formation of bulk-fill composites. *J Dent.* 2014;42(4):439-49.
22. Goracci C, Cadenaro M, Fontanive L, Giangrosso G, Juloski J, Vichi A, et al. Polymerization efficiency and flexural strength of low-stress restorative composites. *Dent Mater.* 2014;30(6):688-94.

23. Garoushi S, Sailynoja E, Vallittu PK, Lassila L. Physical properties and depth of cure of a new short fiber reinforced composite. *Dent Mater.* 2013;29(8):835-41.
24. Alrahlah A, Silikas N, Watts DC. Post-cure depth of cure of bulk fill dental resin-composites. *Dent Mater.* 2014;30(2):149-54.
25. Gaintantzopoulou MD, Gopinath VK, Zinelis S. Evaluation of cavity wall adaptation of bulk esthetic materials to restore class II cavities in primary molars. *Clin Oral Investig.* 2016.
26. Bucuta S, Ilie N. Light transmittance and micro-mechanical properties of bulk fill vs. conventional resin based composites. *Clin Oral Investig.* 2014;18(8):1991-2000.
27. Menees TS, Lin CP, Kojic DD, Burgess JO, Lawson NC. Depth of cure of bulk fill composites with monowave and polywave curing lights. *Am J Dent.* 2015;28(6):357-61.
28. Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. *Phillips' Science of Dental Materials*: Elsevier Health Sciences; 2014.
29. Kim KH, Ong JL, Okuno O. The effect of filler loading and morphology on the mechanical properties of contemporary composites. *J Prosthet Dent.* 2002;87(6):642-9.
30. Kim KH, Park JH, Imai Y, Kishi T. Microfracture mechanisms of dental resin composites containing spherically-shaped filler particles. *J Dent Res.* 1994;73(2):499-504.
31. Chen MH. Update on dental nanocomposites. *J Dent Res.* 2010;89(6):549-60.
32. Ferracane JL. Current trends in dental composites. *Crit Rev Oral Biol Med.* 1995;6(4):302-18.
33. Braga RR, Ballester RY, Ferracane JL. Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: a systematic review. *Dent Mater.* 2005;21(10):962-70.
34. Peutzfeldt A. Resin composites in dentistry: the monomer systems. *Eur J Oral Sci.* 1997;105(2):97-116.
35. Leprince JG, Palin WM, Hadis MA, Devaux J, Leloup G. Progress in dimethacrylate-based dental composite technology and curing efficiency. *Dent Mater.* 2013;29(2):139-56.

36. Musanje L, Ferracane JL, Sakaguchi RL. Determination of the optimal photoinitiator concentration in dental composites based on essential material properties. *Dent Mater.* 2009;25(8):994-1000.
37. Gajewski VE, Pfeifer CS, Froes-Salgado NR, Boaro LC, Braga RR. Monomers used in resin composites: degree of conversion, mechanical properties and water sorption/solubility. *Braz Dent J.* 2012;23(5):508-14.
38. Atai M, Watts DC, Atai Z. Shrinkage strain-rates of dental resin-monomer and composite systems. *Biomaterials.* 2005;26(24):5015-20.
39. Lemon MT, Jones MS, Stansbury JW. Hydrogen bonding interactions in methacrylate monomers and polymers. *J Biomed Mater Res A.* 2007;83(3):734-46.
40. Floyd CJ, Dickens SH. Network structure of Bis-GMA- and UDMA-based resin systems. *Dent Mater.* 2006;22(12):1143-9.
41. Satterthwaite JD, Maisuria A, Vogel K, Watts DC. Effect of resin-composite filler particle size and shape on shrinkage-stress. *Dent Mater.* 2012;28(6):609-14.
42. Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL. Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *J Dent Res.* 1987;66(11):1636-9.
43. Tantbirojn D, Versluis A, Pintado MR, DeLong R, Douglas WH. Tooth deformation patterns in molars after composite restoration. *Dent Mater.* 2004;20(6):535-42.
44. Souza-Junior EJ, de Souza-Regis MR, Alonso RC, de Freitas AP, Sinhoreti MA, Cunha LG. Effect of the curing method and composite volume on marginal and internal adaptation of composite restoratives. *Oper Dent.* 2011;36(2):231-8.
45. Alonso RC, Correr GM, Cunha LG, De Moraes Souto Pantoja CA, Puppim-Rontani RM, Sinhoreti MA. Modulated photoactivation methods--effect on marginal and internal gap formation of restorations using different restorative composites. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2007;82(2):346-51.
46. Miguez PA, Pereira PN, Foxton RM, Walter R, Nunes MF, Swift EJ, Jr. Effects of flowable resin on bond strength and gap formation in Class I restorations. *Dent Mater.* 2004;20(9):839-45.
47. Choi KK, Condon JR, Ferracane JL. The effects of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composite. *J Dent Res.* 2000;79(3):812-7.

48. Zorzin J, Maier E, Harre S, Fey T, Belli R, Lohbauer U, et al. Bulk-fill resin composites: polymerization properties and extended light curing. *Dent Mater.* 2015;31(3):293-301.
49. Moore BK, Platt JA, Borges G, Chu TM, Katsilieri I. Depth of cure of dental resin composites: ISO 4049 depth and microhardness of types of materials and shades. *Oper Dent.* 2008;33(4):408-12.
50. Shortall AC, Palin WM, Burtscher P. Refractive index mismatch and monomer reactivity influence composite curing depth. *J Dent Res.* 2008;87(1):84-8.
51. Arikawa H, Takahashi H, Kanie T, Ban S. Effect of various visible light photoinitiators on the polymerization and color of light-activated resins. *Dent Mater J.* 2009;28(4):454-60.
52. Moszner N, Fischer UK, Ganster B, Liska R, Rheinberger V. Benzoyl germanium derivatives as novel visible light photoinitiators for dental materials. *Dent Mater.* 2008;24(7):901-7.
53. Ilie N, Kessler A, Durner J. Influence of various irradiation processes on the mechanical properties and polymerisation kinetics of bulk-fill resin based composites. *J Dent.* 2013;41(8):695-702.
54. Polydorou O, Trittler R, Hellwig E, Kummerer K. Elution of monomers from two conventional dental composite materials. *Dent Mater.* 2007;23(12):1535-41.
55. Tuna EB, Aktoren O, Oshida Y, Gencay K. Elution of residual monomers from dental composite materials. *Eur J Paediatr Dent.* 2010;11(3):110-4.
56. Brackett MG, Lockwood PE, Messer RL, Lewis JB, Bouillaguet S, Wataha JC. In vitro cytotoxic response to lithium disilicate dental ceramics. *Dent Mater.* 2008;24(4):450-6.
57. Lazarchik DA, Hammond BD, Sikes CL, Looney SW, Rueggeberg FA. Hardness comparison of bulk-filled/transtooth and incremental-filled/occlusally irradiated composite resins. *J Prosthet Dent.* 2007;98(2):129-40.
58. Flury S, Hayoz S, Peutzfeldt A, Husler J, Lussi A. Depth of cure of resin composites: is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials? *Dent Mater.* 2012;28(5):521-8.

59. Al-Ahdal K, Ilie N, Silikas N, Watts DC. Polymerization kinetics and impact of post polymerization on the Degree of Conversion of bulk-fill resin-composite at clinically relevant depth. *Dent Mater.* 2015;31(10):1207-13.
60. AlQahtani MQ, Michaud PL, Sullivan B, Labrie D, AlShaafi MM, Price RB. Effect of High Irradiance on Depth of Cure of a Conventional and a Bulk Fill Resin-based Composite. *Oper Dent.* 2015;40(6):662-72.
61. Fronza BM, Rueggeberg FA, Braga RR, Mogilevych B, Soares LE, Martin AA, et al. Monomer conversion, microhardness, internal marginal adaptation, and shrinkage stress of bulk-fill resin composites. *Dent Mater.* 2015;31(12):1542-51.
62. Do T, Church B, Verissimo C, Hackmyer SP, Tantbirojn D, Simon JF, et al. Cuspal flexure, depth-of-cure, and bond integrity of bulk-fill composites. *Pediatr Dent.* 2014;36(7):468-73.
63. Van Ende A, De Munck J, Van Landuyt KL, Poitevin A, Peumans M, Van Meerbeek B. Bulk-filling of high C-factor posterior cavities: effect on adhesion to cavity-bottom dentin. *Dent Mater.* 2013;29(3):269-77.
64. Heintze SD, Monreal D, Peschke A. Marginal Quality of Class II Composite Restorations Placed in Bulk Compared to an Incremental Technique: Evaluation with SEM and Stereomicroscope. *J Adhes Dent.* 2015;17(2):147-54.
65. McCabe JF, Ogden AR. The relationship between porosity, compressive fatigue limit and wear in composite resin restorative materials. *Dent Mater.* 1987;3(1):9-12.
66. Davidson CL, de Gee AJ, Feilzer A. The Competition between the Composite-Dentin Bond Strength and the Polymerization Contraction Stress. *Journal of Dental Research.* 1984;63(12):1396-9.
67. Olmez A, Oztas N, Bodur H. The effect of flowable resin composite on microleakage and internal voids in class II composite restorations. *Oper Dent.* 2004;29(6):713-9.
68. Korkmaz Y, Ozel E, Attar N. Effect of flowable composite lining on microleakage and internal voids in Class II composite restorations. *J Adhes Dent.* 2007;9(2):189-94.

69. Aggarwal V, Singla M, Yadav S, Yadav H. Effect of flowable composite liner and glass ionomer liner on class II gingival marginal adaptation of direct composite restorations with different bonding strategies. *J Dent*. 2014;42(5):619-25.
70. Ironside JG, Makinson OF. Resin restorations: causes of porosities. *Quintessence Int*. 1993;24(12):867-73.
71. van Dijken JWV, Ruyter IE, Holland RI. Porosity in posterior composite resins. *Scandinavian Journal of Dental Research*. 1986;94(5):471-8.
72. Purk JH, Dusevich V, Glaros A, Eick JD. Adhesive analysis of voids in Class II composite resin restorations at the axial and gingival cavity walls restored under in vivo versus in vitro conditions. *Dent Mater*. 2007;23(7):871-7.
73. Lee IB, Son HH, Um CM. Rheologic properties of flowable, conventional hybrid, and condensable composite resins. *Dent Mater*. 2003;19(4):298-307.
74. Schmidlin PR, Wolleb K, Imfeld T, Gygax M, Lussi A. Influence of beveling and ultrasound application on marginal adaptation of box-only Class II (slot) resin composite restorations. *Oper Dent*. 2007;32(3):291-7.
75. Medlock JW, Zinck JH, Norling BK, Sisca RF. Composite resin porosity with hand and syringe insertion. *J Prosthet Dent*. 1985;54(1):47-51.
76. Boppart SA. Optical coherence tomography: technology and applications for neuroimaging. *Psychophysiology*. 2003;40(4):529-41.
77. Iannucci J, Howerton LJ. *Dental Radiography: Principles and Techniques*: Elsevier Health Sciences; 2013.
78. Boerckel JD, Mason DE, McDermott AM, Alsberg E. Microcomputed tomography: approaches and applications in bioengineering. *Stem Cell Res Ther*. 2014;5(6):144.
79. Hsieh J. *Computed Tomography: Principles, Design, Artifacts, and Recent Advances*: SPIE Press; 2003.
80. Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. Description of system. *Br J Radiol*. 1973;46(552):1016-22.
81. Swain MV, Xue J. State of the art of Micro-CT applications in dental research. *Int J Oral Sci*. 2009;1(4):177-88.

82. Sun J, Eidelman N, Lin-Gibson S. 3D mapping of polymerization shrinkage using X-ray micro-computed tomography to predict microleakage. *Dent Mater.* 2009;25(3):314-20.
83. Seo D, Yi Y, Roh B. The effect of preparation designs on the marginal and internal gaps in Cerec3 partial ceramic crowns. *J Dent.* 2009;37(5):374-82.
84. Johnsen GF, Taxt-Lamolle SF, Haugen HJ. Wear model simulating clinical abrasion on composite filling materials. *Dent Mater J.* 2011;30(5):739-48.
85. Carrera CA, Lan C, Escobar-Sanabria D, Li Y, Rudney J, Aparicio C, et al. The use of micro-CT with image segmentation to quantify leakage in dental restorations. *Dent Mater.* 2015;31(4):382-90.
86. Neves AA, Jaecques S, Van Ende A, Cardoso MV, Coutinho E, Luhrs AK, et al. 3D-microleakage assessment of adhesive interfaces: exploratory findings by muCT. *Dent Mater.* 2014;30(8):799-807.
87. Zhao XY, Li SB, Gu LJ, Li Y. Detection of marginal leakage of Class V restorations in vitro by micro-computed tomography. *Oper Dent.* 2014;39(2):174-80.
88. Nazari A, Sadr A, Saghiri MA, Campillo-Funollet M, Hamba H, Shimada Y, et al. Non-destructive characterization of voids in six flowable composites using swept-source optical coherence tomography. *Dent Mater.* 2013;29(3):278-86.
89. Han SH, Sadr A, Tagami J, Park SH. Non-destructive evaluation of an internal adaptation of resin composite restoration with swept-source optical coherence tomography and micro-CT. *Dent Mater.* 2016;32(1):e1-7.
90. Kim HJ, Park SH. Measurement of the internal adaptation of resin composites using micro-CT and its correlation with polymerization shrinkage. *Oper Dent.* 2014;39(2):E57-70.
91. Han SH, Park SH. Micro-CT evaluation of internal adaptation in resin fillings with different dentin adhesives. *Restor Dent Endod.* 2014;39(1):24-31.
92. Kakaboura A, Rahiotis C, Watts D, Silikas N, Eliades G. 3D-marginal adaptation versus setting shrinkage in light-cured microhybrid resin composites. *Dent Mater.* 2007;23(3):272-8.
93. Li H, Li J, Yun X, Liu X, Fok AS. Non-destructive examination of interfacial debonding using acoustic emission. *Dent Mater.* 2011;27(10):964-71.

94. Papadogiannis D, Kakaboura A, Palaghias G, Eliades G. Setting characteristics and cavity adaptation of low-shrinking resin composites. *Dent Mater.* 2009;25(12):1509-16.
95. Kerr Corporation. SonicFill™ 2 [cited 2016 10 June]. Available from: <https://www.kerrdental.com/resource-center/sonicfill-2-instructions-use>.
96. 3M ESPE. Filtek™ Bulk Fill Posterior Restorative [cited 2016 10 June]. Available from: <http://multimedia.3m.com/mws/media/976634O/filtek-bulk-fill-posterior-restorative-technical-product-profile.pdf>.
97. Kerr Corporation. OptiBond™ FL bonding agent [cited 2016 10 June]. Available from: <https://www.kerrdental.com/kerr-restoratives/optibond-fl-filled-light-cure-total-etch-dental-adhesive#docs>.
98. De Munck J, Mine A, Poitevin A, Van Ende A, Cardoso MV, Van Landuyt KL, et al. Meta-analytical review of parameters involved in dentin bonding. *J Dent Res.* 2012;91(4):351-7.
99. Balthazard R, Jager S, Dahoun A, Gerdolle D, Engels-Deutsch M, Mortier E. High-resolution tomography study of the porosity of three restorative resin composites. *Clin Oral Investig.* 2014;18(6):1613-8.
100. Opdam NJ, Roeters JJ, de Boer T, Pesschier D, Bronkhorst E. Voids and porosities in class I micropreparations filled with various resin composites. *Oper Dent.* 2003;28(1):9-14.
101. Poskus LT, Placido E, Cardoso PE. Influence of placement techniques on Vickers and Knoop hardness of class II composite resin restorations. *Dent Mater.* 2004;20(8):726-32.
102. Vandewalker JP, Casey JA, Lincoln TA, Vandewalle KS. Properties of dual-cure, bulk-fill composite resin restorative materials. *Gen Dent.* 2016;64(2):68-73.
103. El-Damanhoury H, Platt J. Polymerization shrinkage stress kinetics and related properties of bulk-fill resin composites. *Oper Dent.* 2014;39(4):374-82.
104. Moorthy A, Hogg CH, Dowling AH, Grufferty BF, Benetti AR, Fleming GJ. Cuspal deflection and microleakage in premolar teeth restored with bulk-fill flowable resin-based composite base materials. *J Dent.* 2012;40(6):500-5.

105. Al-Harbi F, Kaisarly D, Bader D, El Gezawi M. Marginal Integrity of Bulk Versus Incremental Fill Class II Composite Restorations. *Oper Dent.* 2016;41(2):146-56.
106. Hickey D, Sharif O, Janjua F, Brunton PA. Bulk dentine replacement versus incrementally placed resin composite: A randomised controlled clinical trial. *J Dent.* 2016;46:18-22.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางแสดงมิติโพรงฟันในแต่ละชั้นตัวอย่าง (มิลลิเมตร)

ชั้นตัวอย่าง	ความกว้างในแนว ใกล้กลาง-ไกลกลาง	ความกว้างในแนว ใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้น	ความกว้างในแนว ด้านบดเคี้ยว-ด้านเหงือก
5125	1.44	2.95	4.1
5126	1.41	3.1	4.01
5127	1.45	2.96	3.91
5131	1.46	2.93	4.06
5132	1.56	3	4
5186	1.5	2.94	3.92
5187	1.47	2.91	4.01
5188	1.46	2.95	4.02
5189	1.4	2.96	3.9
5261	1.47	2.92	3.99
5262	1.4	2.9	4.1
5263	1.52	2.91	3.9
5265	1.45	2.9	3.98
5266	1.43	2.93	3.97
5268	1.47	2.99	3.92
5283	1.51	3.09	3.98
5284	1.47	3.07	3.97
5285	1.45	3.04	4.06
5286	1.51	3.08	4.06
5288	1.47	2.91	3.97
5289	1.46	2.98	3.98
5300	1.52	3.06	3.94
5301	1.51	3.07	3.93
5302	1.48	3.05	3.92
5303	1.53	2.94	3.94
5304	1.45	3.02	3.93
5305	1.5	2.99	3.95

ชิ้นตัวอย่าง	ความกว้างในแนว ใกล้กลาง-ไกลกลาง	ความกว้างในแนว ใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้น	ความกว้างในแนว ด้านบดเคี้ยว-ด้านเหงือก
5329	1.54	3.96	3.02
5330	1.55	3.97	3.02
5331	1.46	3.93	3
5332	1.45	3.95	2.98
5333	1.44	4.03	2.99
5334	1.49	3.92	3
5335	1.49	4.1	2.97
5338	1.48	4.05	3.04
5339	1.47	3.9	2.99
5340	1.41	3.94	2.96
5341	1.5	3.96	2.98
5342	1.47	3.9	3
5343	1.44	4.01	3

ตารางแสดงกลุ่มและร้อยละของช่องว่างในแต่ละชั้นตัวอย่าง

ชั้นตัวอย่าง	กลุ่ม	ร้อยละของช่องว่าง	ชั้นตัวอย่าง	กลุ่ม	ร้อยละของช่องว่าง
5125	3	0.4216	5288	4	0.1346
5126	4	0.2042	5289	3	0.7416
5127	3	0.2488	5300	4	0.0557
5131	3	0.6413	5301	4	0.0705
5132	3	0.3144	5302	1	0.0335
5186	2	3.3667	5303	1	0.4119
5187	1	0.4362	5304	4	0.2515
5188	1	0.2429	5305	2	0.5411
5189	3	0.0385	5329	4	0.102
5261	1	0.4094	5330	2	3.2752
5262	2	1.463	5331	2	0.9395
5263	2	0.9922	5332	2	0.838
5265	1	0.3076	5333	4	0.5561
5266	2	0.6289	5334	3	0.0367
5267	1	1.8048	5335	1	0.5233
5268	2	2.8771	5338	1	0.3813
5283	4	0.5649	5340	3	0.1497
5284	4	0.11	5341	4	0.0321
5285	2	1.2321	5342	3	0.4571
5286	1	0.3216	5343	3	0.2491

ตารางแสดงสถิติเชิงพรรณนา (Descriptives Statistics) ของข้อมูลแต่ละกลุ่ม

Group		Statistic	Std. Error	
1	Mean	0.487252	0.1523197	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	0.142681	
		Upper Bound	0.831823	
	5% Trimmed Mean	0.439264		
	Median	0.395377		
	Variance	0.232		
	Std. Deviation	0.4816773		
	Minimum	0.0335		
	Maximum	1.8048		
	Range	1.7713		
	Interquartile Range	0.1665		
	Skewness	2.693	0.687	
	Kurtosis	8.073	1.334	
2	Mean	1.615359	0.3521579	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	0.818722	
		Upper Bound	2.411996	
	5% Trimmed Mean	1.577745		
	Median	1.112117		
	Variance	1.24		
	Std. Deviation	1.1136211		
	Minimum	0.5411		
	Maximum	3.3667		
	Range	2.8257		

	Interquartile Range	2.1909	
	Skewness	0.872	0.687
	Kurtosis	-1.138	1.334
3	Mean	0.329878	0.0751124
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound Upper Bound	0.159962 0.499794
	5% Trimmed Mean	0.323293	
	Median	0.281767	
	Variance	0.056	
	Std. Deviation	0.2375264	
	Minimum	0.0367	
	Maximum	0.7416	
	Range	0.7049	
	Interquartile Range	0.3813	
	Skewness	0.476	0.687
	Kurtosis	-0.622	1.334
	4	Mean	0.208143
95% Confidence Interval for Mean		Lower Bound Upper Bound	0.067131 0.349154
5% Trimmed Mean		0.198104	
Median		0.122309	
Variance		0.039	
Std. Deviation		0.1971202	
Minimum		0.0321	
Maximum		0.5649	

Range	0.5328	
Interquartile Range	0.2608	
Skewness	1.332	0.687
Kurtosis	0.426	1.334

ตารางแสดงการวิเคราะห์สถิติ One way ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.207	3	1.736	10.758	.000
Within Groups	5.808	36	.161		
Total	11.015	39			

ตารางแสดงการวิเคราะห์สถิติ Tukey HSD

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-.58531*	.17964	.013	-1.0691	-.1015
	3	.17516	.17964	.764	-.3086	.6590
	4	.38420	.17964	.160	-.0996	.8680
2	1	.58531*	.17964	.013	.1015	1.0691
	3	.76047*	.17964	.001	.2767	1.2443
	4	.96951*	.17964	.000	.4857	1.4533
3	1	-.17516	.17964	.764	-.6590	.3086
	2	-.76047*	.17964	.001	-1.2443	-.2767
	4	.20903	.17964	.653	-.2748	.6928
4	1	-.38420	.17964	.160	-.8680	.0996
	2	-.96951*	.17964	.000	-1.4533	-.4857
	3	-.20903	.17964	.653	-.6928	.2748

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

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายชินเดช จิระอานนท์ เกิดเมื่อวันที่ 12 กันยายน พ.ศ. 2529 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาทันตแพทยศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อปี พ.ศ. 2553 และเข้ารับราชการที่โรงพยาบาลกุดข้าวปุ้น อำเภอกุดข้าวปุ้น จังหวัดอุบลราชธานี ในตำแหน่งทันตแพทย์ปฏิบัติการ ต่อมาในปี พ.ศ. 2554 ย้ายมาปฏิบัติราชการที่โรงพยาบาล ๕๐ พรรษา มหาวชิราลงกรณ อำเภอเมืองอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี และได้เข้ารับการศึกษาคือต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 2557

