

การศึกษาวัดศุเคลือบหลุมร่องฟันที่ผลิตในประเทศภายหลังทดสอบการแปรง



นางสาว วิไลพรรณ เดชาภิมุขกุล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

WEAR OF DOMESTIC PIT AND FISSURE SEALANTS AFTER SIMULATED BRUSHING



Miss Wilaipan Dechapimukkul

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Pediatric Dentistry

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University



วิไลพรรณ เดชาภิมุขกุล : การสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ผลิตในประเทศภายหลังทดสอบการแปรง (WEAR OF DOMESTIC PIT AND FISSURE SEALANTS AFTER SIMULATED BRUSHING) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ทพญ.สุภาภรณ์ จงวิศาล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ทพ.ดร.สุชิต พูลทอง, 95 หน้า.

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพในเรื่องการสึกจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่พัฒนาขึ้นในประเทศ กับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ โดยศึกษาปริมาตรและความลึกที่ลดลงไปภายหลังการแปรง ขึ้นตัวอย่างประกอบด้วยวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่อยู่ในแบบพิมพ์โลหะ จำนวน 120 ชิ้น แบ่งเป็น 4 กลุ่ม โดยการสุ่ม ได้แก่ Prevocare opaque, Prevocare clear (Chulalongkorn University, Thailand) Concise white sealant (3M ESPE, USA) และ Delton clear (Dentsply, USA) ก่อนการทดสอบเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 37°C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 นำขึ้นตัวอย่างแปรงด้วยเครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ (V-8 Cross Brushing Machine, SABRI Dental Enterprises, Inc., USA) โดยใช้ขึ้นตัวอย่างจำนวน 8 ชิ้นต่อการแปรง 1 ครั้ง จำนวนรอบในการแปรง 20,000 รอบ ความเร็วแปรง 90 รอบต่อนาที แรงกด 200 กรัม ร่วมกับสารสำหรับขัดอ้างอิง (Reference abrasive slurry) ซึ่งเตรียมตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 11609: 1995 วัดความแตกต่างของปริมาตรและความลึกของแต่ละชิ้นตัวอย่างภายหลังการแปรง โดยใช้เครื่องวัดความหยابพื้นผิว (TalyScan 150, Taylor Hobson Ltd., England) อ่านค่าพื้นผิวขนาดพื้นที่ 3x1 มิลลิเมตร นำค่าเฉลี่ยของปริมาตรและความลึกที่ลดลงแต่ละกลุ่มมาเปรียบเทียบด้วยสถิติ ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ผลการศึกษาพบว่าทั้งค่าเฉลี่ยของปริมาตรและความลึกที่ลดลง หลังจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการศึกษาสรุปว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่พัฒนาขึ้นโดยคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีคุณสมบัติทางกายภาพในเรื่องการสึกจากการแปรง ใกล้เคียงกับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก  
สาขาวิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก  
ปีการศึกษา 2549

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

# # 4776123932 : MAJOR PEDIATRIC DENTISTRY

KEY WORD: Pit and fissure sealant / Brushing wear / Volume loss / Profilometer / Simulated brushing

WILAIPAN DECHAPIMUKKUL : WEAR OF DOMESTIC PIT AND FISSURE SEALANTS AFTER SIMULATED BRUSHING. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SUPAPORN CHONGVISAL, THESIS COADVISOR : ASSIST. PROF. SUCHIT POOLTHONG, PhD., 95 pp.

The purpose of this study was to compare the physical property in abrasive wear of domestic and imported pit and fissure sealants by measuring the volume loss and the depth change after simulated brushing. A hundred and twenty samples of pit and fissure sealants were prepared in metal molds. The samples were randomly divided into four groups according to materials tested; Prevocare opaque, Prevocare clear (Chulalongkorn University, Thailand) Concise White Sealant (3M ESPE, USA) and Delton clear (Dentsply, USA). Prior to testing, the specimens were stored in an incubator at 37<sup>0</sup>C and 100% relative humidity. Using eight samples per cycle, the specimen were subjected to 20,000 strokes at 90 cycles per minute, with a brush-head pressure of 200 gram on V-8 Cross Brushing Machine (SABRI Dental Enterprises, Inc., USA) in the reference abrasive slurry (ISO 11609:1995). Changes in volume and depth of each sample after brushing cycles were determined by a Profilometer (TalyScan 150, Taylor Hobson Ltd., England), scanned in the area of 3×1 mm. The data of volume loss and depth changes was analyzed by one-way analysis of variance (ANOVA) at a significant level of .05. The results showed no significant differences in either volume loss or depth changes between material groups. It was concluded that the domestic sealants were similar in brushing wear property to the imported materials.

Department Pediatric dentistry  
Field of study Pediatric dentistry  
Academic year 2006

Student's signature.....*D. Wilaipan*.....  
Advisor's signature.....*S. Chongvisal*.....  
Co-advisor's signature.....*Suchit Poolthong*.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ ต้องขอกราบขอบพระคุณความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง สุภาภรณ์ จงวิศาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. สุจิต พูลทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยมาด้วยดีตลอด

ขอกราบขอบพระคุณครูอาจารย์ทุกท่าน ทั้งที่คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเฉพาะคณาจารย์ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก ที่ได้สั่งสอนอบรมวิชาความรู้ต่างๆ รวมทั้งคุณธรรมและจรรยาบรรณแก่ผู้วิจัย

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ไพพรรณ พิทยานนท์ สำหรับคำปรึกษาและคำแนะนำทางสถิติที่เป็นประโยชน์อย่างสูง

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ และศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก สำหรับคำแนะนำในการใช้เครื่องมือต่างๆ การอำนวยความสะดวกในการใช้ห้อง และความช่วยเหลือต่างๆ ตลอดเวลาที่ทำงานวิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งสนับสนุนทุนวิจัยบางส่วน สำหรับงานวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และทุกคนในครอบครัวของผู้วิจัย รวมทั้งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิงบุญจิรา อนุกุล นายกฤษฎา สันติศักดิ์ เพื่อนๆ พี่ๆ และผู้มีพระคุณที่ไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมด ที่ช่วยเหลือในการทำงาน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ประโยชน์และความดีใดๆ อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่ผู้มีพระคุณและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

# สารบัญ

หน้า

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

บทที่

1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
คำถามการวิจัย.....	4
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
สมมุติฐานการวิจัย.....	5
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	5
คำสำคัญ.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	6
รูปแบบการวิจัย.....	6
รายละเอียดงบประมาณการวิจัย.....	7
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน.....	8
ส่วนประกอบสำคัญของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน.....	9
วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพีวีแคร์.....	11
ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสูญหายไปของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน.....	12
การสีก.....	12
วิธีประเมินลักษณะการสีกของวัสดุ.....	15
การวัดความหยาบพื้นผิว.....	17

บทที่	ช หน้า
การวัดด้วยเครื่องมือที่มีการสัมผัสพื้นผิวโดยเข็มลากลาก.....	17
เกณฑ์ที่ใช้เปรียบเทียบตำแหน่งของเข็มลากลาก.....	19
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	40
ตัวอย่าง.....	40
คำจำกัดความที่ใช้.....	40
ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง.....	41
สิ่งแทรกแซง.....	43
วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	43
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	45
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	57
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	60
4 ผลการศึกษา.....	61
ผลการทดสอบการสึกจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน.....	61
5 อภิปรายผล ข้อเสนอแนะ และสรุปผลการวิจัย.....	66
อภิปรายผลการวิจัย.....	66
สรุปผลการวิจัย.....	73
รายการอ้างอิง.....	74
ภาคผนวก.....	80
ภาคผนวก ก วิธีวัดความแม่นยำของการวิจัย.....	81
ภาคผนวก ข ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำวิจัยนำร่อง.....	83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	84



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1 สรุปผลการศึกษาศึกษาการสึกจากการแปรงพื้นของวัสดุทนตกรรมในห้องปฏิบัติการ.....	29
ตารางที่ 2 สรุปผลการศึกษาศึกษาการสึกจากการแปรงของพื้นในห้องปฏิบัติการ.....	32
ตารางที่ 3 สรุปผลการศึกษาศึกษาการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องพื้นในห้องปฏิบัติการ.....	35
ตารางที่ 4 สรุปผลการศึกษาศึกษาการยึดติดและการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องพื้นทางคลินิก.....	37
ตารางที่ 5 แสดงผลของปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการแปรงพื้น ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน.....	42
ตารางที่ 6 แสดงผลการคำนวณค่า $S_p^2$ , $(\mu_1 - \mu_2)^2$ และจำนวนตัวอย่างต่อกลุ่ม.....	42
ตารางที่ 7 แสดงขนาดกลุ่มตัวอย่างจากการศึกษาที่ผ่านมา.....	43
ตารางที่ 8 แสดงปริมาตรที่ลดลงของวัสดุเคลือบหลุมร่องพื้นภายหลังการแปรง.....	58
ตารางที่ 9 แสดงความลึกที่ลดลงของวัสดุเคลือบหลุมร่องพื้นภายหลังการแปรง.....	59
ตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาตรและความลึกที่ลดลงหลังจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องพื้นชนิดต่างๆ พร้อมทั้งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุด.....	61
ตารางที่ 11 แสดงการวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลของค่าเฉลี่ยของปริมาตรที่ลดลง หลังจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องพื้นทั้ง 4 ชนิด.....	63
ตารางที่ 12 แสดงการวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลของค่าเฉลี่ยของความลึกที่ลดลง หลังจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องพื้นทั้ง 4 ชนิด.....	63
ตารางที่ 13 แสดงการทดสอบค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของปริมาตรและความลึกที่ลดลงหลังจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องพื้นทั้ง 4 ชนิด.....	64
ตารางที่ 14 แสดงการวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาตรที่ลดลง หลังจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องพื้นทั้ง 4 ชนิด โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว.....	64
ตารางที่ 15 แสดงการวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความลึกที่ลดลง หลังจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องพื้นทั้ง 4 ชนิด โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว.....	65
ตารางที่ 16 แสดงผลการวัดความเที่ยงตรงของเครื่อง.....	81
ตารางที่ 17 แสดงผลการวัดความแม่นยำของผู้วัดในการใช้เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว.....	82
ตารางที่ 18 แสดงปัญหาที่พบจากการทำวิจัยนำร่อง.....	87

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 1 แสดงจุดสูง (Peaks) และจุดลึก (Valleys).....	17
ภาพที่ 2 แสดงการทำงานร่วมกันของเข็มลาก และ ตัวค้ำ.....	18
ภาพที่ 3 แสดงส่วนประกอบของเข็มลาก.....	18
ภาพที่ 4 แสดงการเคลื่อนที่ของตัวค้ำบนพื้นผิวชิ้นงานที่มีความถี่ของความหยาบพื้นผิวปกติ.....	19
ภาพที่ 5 แสดงการทำงานของร่องเท้าบนพื้นผิวชิ้นงานที่มีความถี่ของความหยาบพื้นผิวไม่ปกติ.....	19
ภาพที่ 6 แสดงกรณีการใช้แบบอิสระ.....	19
ภาพที่ 7 แสดงองค์ประกอบของพื้นผิว.....	20
ภาพที่ 8 แสดงแถบสีที่บอกระดับความสูงต่ำของพื้นผิวขนาด 3×1 มิลลิเมตร.....	21
ภาพที่ 9 แสดงภาพการอ่านพื้นผิวรูปแบบ 3 มิติ.....	21
ภาพที่ 10 แสดงค่าการคำนวณพื้นผิวเป็นตัวเลขดิจิทัล.....	21
ภาพที่ 11 แสดงตัวอย่างกราฟ 1 ตำแหน่ง (1 Profile) .....	22
ภาพที่ 12 แบบพิมพ์โลหะก่อนและหลังประกบกัน.....	45
ภาพที่ 13 ฐานโลหะและแบบพิมพ์โลหะ.....	45
ภาพที่ 14 ชิ้นตัวอย่างก่อนการทดสอบ.....	46
ภาพที่ 15 แสดงการสุ่มตำแหน่งเครื่องแปร่งพื้น.....	47
ภาพที่ 16 เครื่องทดสอบความหยาบพื้นผิว.....	48
ภาพที่ 17 ช่องบริเวณฐานโลหะ.....	48
ภาพที่ 18 ฐานของเครื่องกับแท่งเหล็กและชิ้นตัวอย่างที่ยึดบนฐานเครื่อง.....	48
ภาพที่ 19 เข็มลากสัมผัสชิ้นตัวอย่างในระดับที่พอเหมาะ.....	49
ภาพที่ 20 หน้าต่างที่ใช้ในการกำหนดค่าเริ่มต้นและพื้นที่ที่จะวัด.....	49
ภาพที่ 21 แผนภาพบริเวณชิ้นตัวอย่างที่ถูกวัด.....	50
ภาพที่ 22 แสดงภาพพื้นผิวที่เครื่องอ่านค่าเสร็จ.....	50
ภาพที่ 23 แสดงภาพพื้นผิวที่ปรับระดับด้านข้างแล้ว.....	50
ภาพที่ 24 แปร่งสีพื้นที่ยุติการปฏิบัติงาน.....	51
ภาพที่ 25 การเตรียมสารเจือจางอ้างอิง.....	52
ภาพที่ 26 การเตรียมสารสำหรับขัดอ้างอิง.....	52
ภาพที่ 27 เครื่องแปร่งพื้นอัตโนมัติ.....	52
ภาพที่ 28 การวัดแรงกดของแปร่ง.....	53

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 29 อุปกรณ์ติดตั้งสมบรูณ์ก่อนการแปร่งพื้น.....	53
ภาพที่ 30 ภาพพื้นผิวใหม่ที่แสดงความแตกต่างของก่อนและหลังการแปร่ง.....	54
ภาพที่ 31 ภาพพื้นผิว 3 มิติ ที่แสดงความแตกต่างของก่อนและหลังการแปร่ง.....	54
ภาพที่ 32 ภาพพื้นผิวส่วนที่มีการเลือกพื้นที่ส่วนที่ต้องการแก้ไข.....	54
ภาพที่ 33 ภาพพื้นผิวที่แก้ไขบริเวณรอยต่อของวัสดุและแบบพิมพ์โลหะ.....	55
ภาพที่ 34 ภาพพื้นผิว 3 มิติ ที่แก้ไขบริเวณรอยต่อของวัสดุและแบบพิมพ์โลหะ.....	55
ภาพที่ 35 แสดงพื้นที่ ปริมาตร และความลึกเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปของชั้นตัวอย่าง.....	55
ภาพที่ 36 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	56
ภาพที่ 37 ขั้นตอนการเตรียมสารสำหรับขัดอ้างอิง.....	57
ภาพที่ 38 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	60
ภาพที่ 39 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยปริมาตรที่ลดลงภายหลังจากการแปร่งของ วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิด โดยเรียงลำดับจากน้อยไปมาก.....	62
ภาพที่ 40 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยความลึกที่ลดลงภายหลังจากการแปร่งของ วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิด โดยเรียงลำดับจากน้อยไปมาก.....	62

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรคฟันผุ เป็นปัญหาสุขภาพช่องปากที่สำคัญปัญหาหนึ่ง นอกจากจะมีผลเสียโดยตรงต่อสุขภาพช่องปากแล้ว ยังมีผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายและโรคทางระบบอีกด้วย จะเห็นได้ว่าการส่งเสริมสุขภาพและการรับบริการ เพื่อการป้องกันโรคฟันผุยังคงเป็นสิ่งจำเป็น กระบวนการเกิดโรคฟันผุเป็นกระบวนการพลวัต (Dynamic) ระหว่างการสูญเสียแร่ธาตุ (Demineralization) และการคืนกลับแร่ธาตุ (Remineralization) ซึ่งการดำเนินของโรคเริ่มต้นที่ชั้นผิวเคลือบฟัน และจะดำเนินไปเรื่อยๆ จนเกิดรอยผุที่สามารถสังเกตเห็นได้ เมื่อการสูญเสียแร่ธาตุเกิดขึ้นมากกว่าการคืนกลับแร่ธาตุ (1) เป็นที่ทราบกันดีว่าโรคฟันผุสามารถป้องกันได้โดยการใช้สารฟลูออไรด์ การส่งเสริมการคืนกลับของแร่ธาตุ การกำจัดแผ่นคราบจุลินทรีย์ การใช้สารเคมีกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมกรรมการบริโภค ร่วมกับการใช้วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันเพื่อป้องกันฟันผุ (2, 3)

การเคลือบหลุมร่องฟัน ทำหน้าที่เป็นสิ่งกีดขวางป้องกันการละลายของผิวเคลือบฟันจากกรด ที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ในช่องปากผลิตขึ้น ทำให้หลุมและร่องฟันตื้นขึ้นง่ายต่อการทำความสะอาด สามารถลดอัตราการเกิดฟันผุได้อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับฟันที่ไม่ได้รับการเคลือบหลุมร่องฟัน (4) โดยได้รับการยอมรับจากสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา (ADA) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1976 ให้มีการจำหน่ายในท้องตลาดและได้รับการพัฒนาเรื่อยมา (5) และในปี ค.ศ. 1983 National Institute of Health (NIH) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้จัดการประชุมระดมสมอง มีผลสรุปว่าการเคลือบหลุมร่องฟันเป็นการป้องกันโรคฟันผุด้านบดเคี้ยวที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัย (6) ให้ผลการป้องกันฟันผุ ตราบเท่าที่ยังมีการยึดติดของสารเคลือบหลุมร่องฟันกับตัวฟัน แม้ว่าอัตราการยึดติดแน่นจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ทั้งนี้การเคลือบหลุมร่องฟันสามารถทำได้ทั้งฟันที่ไม่ได้ผุ และฟันที่เริ่มมีรอยโรคฟันผุระยะแรก (Incipient caries) (7, 8)

สำหรับในประเทศไทย กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ได้ให้ความสำคัญในเรื่องการเคลือบหลุมร่องฟัน โดยมีการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับการเคลือบหลุมร่องฟันอย่างต่อเนื่องมาตลอด ตั้งแต่แผนพัฒนาสาธารณสุขแห่งชาติ ฉบับที่ 7 (พ.ศ.2535-2539) (9) ได้มีการนำมาตรการเคลือบหลุมร่องฟันมาใช้ในการป้องกันฟันผุ ในฟันกรามแท้ซี่แรกของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ตามโครงการเฝ้าระวังและส่งเสริมทันตสุขภาพนักเรียนวัยประถมศึกษา และต่อเนื่องมาจนถึงแผนพัฒนาสาธารณสุขแห่งชาติ ฉบับที่ 9 (พ.ศ.2545-2549) (10) ซึ่งในปัจจุบันการเคลือบหลุม

ร่องฟัน จัดเป็นบริการส่งเสริมป้องกันในชุดสิทธิประโยชน์ของผู้รับบริการ ตามแนวทางเวชปฏิบัติ ในโครงการหลักประกันสุขภาพถ้วนหน้าด้านทันตกรรม ที่ทันตบุคลากรในสถานบริการสาธารณสุข ทุกระดับ ทั้งหน่วยคู่สัญญาระดับปฐมภูมิ (CUP) ศูนย์สุขภาพชุมชน (PCU) และสถานอนามัย ได้ จัดบริการแก่ประชาชนในพื้นที่รับผิดชอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเด็กวัยเรียนระดับประถมศึกษา (11)

ปัจจุบันมีผู้ผลิตและจำหน่ายวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันจำนวนมาก หลากหลายรูปแบบ ซึ่ง แบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท ได้แก่ ชนิดเรซิน (Resin) และกลาสไอโอโนเมอร์ (Glass ionomer) โดยวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันแต่ละบริษัท มีความแตกต่างในองค์ประกอบของวัสดุ ทั้ง ชนิดที่มีสารอัดแทรก (Filler) และไม่มีสารอัดแทรก หรือต่างกันที่โมโนเมอร์ (Monomer) และการ แข็งตัวมีทั้งชนิดที่แข็งตัวโดยใช้แสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Light cured) บางชนิดด้วยปฏิกิริยาเคมี (Self cured) นอกจากนี้สีของวัสดุมีทั้งชนิดใส (Clear) และทึบ (Opaque)

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดแข็งตัวด้วยแสง ที่พัฒนาขึ้นโดยคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้ชื่อ PrevoCare™ (พรีโวแคร์) ได้รับการทดสอบว่ามีคุณสมบัติทางกล และทางกายภาพใกล้เคียงกับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ และอยู่ในเกณฑ์ มาตรฐานขององค์การมาตรฐานนานาชาติที่ 6874:1988 และ 4049: 2000 (12) มีความปลอดภัย สำหรับการใช้งานในช่องปาก คือ ไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ทั้งทางตรงและทางอ้อม และสามารถ เข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในสัตว์ทดลอง (13) โดยผิวเคลือบฟันที่ได้รับการปรับสภาพด้วยกรดฟอสฟอริกชนิดเจด ให้การยึดติดดีเมื่อใช้ร่วมกับพรีโวแคร์ (14) รวมทั้งการศึกษาเพื่อประเมินผลการยึดติด ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทางคลินิก ที่ระยะเวลา 6 18 และ 24 เดือน ไม่พบความแตกต่าง ระหว่างพรีโวแคร์ กับวัสดุที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ (15-17) และการศึกษาภาคสนามเพื่อ ประเมินผลการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ที่ระยะเวลา 6 และ 12 เดือน ไม่พบความ แตกต่างระหว่างพรีโวแคร์ชนิดใส กับ วัสดุที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ (18, 19) การติดตามผลระยะ ยาวยังคงดำเนินอยู่ รวมทั้งมีการปรับปรุงคุณภาพในด้านต่างๆ อาทิ รูปแบบการใช้งานที่สร้าง ความพึงพอใจต่อผู้ใช้ คุณสมบัติทางกายภาพที่สูงขึ้น ความทึบแสง ความชันหนืด รวมไปถึงการ เติมวัสดุอัดแทรกซึ่งจะเป็นพื้นฐานของการผลิตวัสดุบูรณะฟันคอมโพสิตในอนาคต (20-22)

เกณฑ์มาตรฐานขององค์การมาตรฐานนานาชาติ ที่ใช้ในการประเมินคุณสมบัติทาง กายภาพของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันกำหนดโดย ISO 6874:1988 – Dental resin-based pit and fissure sealants (23) และการประเมินในเรื่องการละลายและการดูดน้ำของวัสดุอยู่ใน ISO 4049:2000 – Dentistry-Polymer-based filling, restorative and luting materials (24) ซึ่งทั้ง สองเป็นการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ แต่เนื่องจากในทางคลินิกวัสดุยังต้องรับแรงกระแทก จากการเคี้ยวอาหาร และการขัดสีจากการแปรงฟันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นเรื่องของความ

แข็งแรงหรือคุณสมบัติทางกลของวัสดุจึงมีความสำคัญเช่นกัน วัสดุที่มีความแข็งแรงสูงจะสามารถต้านทานต่อการสึกและแตกหักได้มากกว่า โดยทั่วไปแล้ววัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่มีวัสดุอัดแทรกจะมีคุณสมบัติที่ทั่วไป เช่น ความแข็งแรงดึงในแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diametral tensile strength) และ ความแข็งผิว (Surface hardness) ดีกว่าวัสดุพวกที่ไม่มีวัสดุอัดแทรก แต่การเติมวัสดุอัดแทรกในวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันจะมีผลทำให้ความหนืดของวัสดุเพิ่มมากขึ้น ส่วนในเรื่องคุณสมบัติการดูดน้ำของวัสดุ ขึ้นอยู่กับชนิดของเรซินที่ใช้ และคุณสมบัติการละลายน้ำของวัสดุ ขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน (Degree of conversion) โดยวัสดุที่มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันสูงจะมีการละลายน้อยกว่า

การสูญหายไปของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน มีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องอย่างเช่น การปนเปื้อนของความชื้น เวลาที่ใช้ในการแข็งตัวของวัสดุไม่เพียงพอ ขั้นตอนการทำไม่ถูกต้อง ลักษณะของฟันในขากรรไกร และการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ฯลฯ จากการศึกษารายงานของ Jensen และคณะ ในปี ค.ศ.1985 รายงานว่ามีการสูญเสียปริมาณของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันถึงร้อยละ 50 ภายใน 1 เดือนหลังจากการเคลือบหลุมร่องฟัน และเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 75 ที่เวลา 2 ปี (25) เช่นเดียวกันกับรายงานของ Simonsen ในปี ค.ศ.1987 พบว่าที่เวลา 10 ปี อัตราการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ร้อยละ 56.7 และพบว่าบริเวณพื้นที่มีการสูญหายของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันเกิดฟันผุ ร้อยละ 15.6 (26) และ ที่เวลา 15 ปี พบอัตราการยึดติดเป็นร้อยละ 28 (4) จะเห็นว่าการหายไปของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันอย่างมากเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น แต่มีคำถามในเรื่องการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน (Sealant wear) ว่าเป็นการสึกที่แท้จริงหรือเกิดจากการสูญหายของวัสดุอันเนื่องมาจากสาเหตุปัจจัยข้างต้น ซึ่งวิธีที่ใช้ในการประเมินลักษณะการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันมี 2 วิธี คือ วิธีวัดในเชิงคุณภาพ (Qualitative methods) และวิธีวัดในเชิงปริมาณ (Quantitative methods) (27)

การศึกษาทางคลินิกถึงการเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน โดยใช้เครื่องทดสอบความหยาบพื้นผิวและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ภายหลังจากการทำเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาตรของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่หายไปคิดเป็นร้อยละ 13.99 ของปริมาตรทั้งหมด ซึ่งความแตกต่างของการสึกของฟันแต่ละซี่ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งและรูปร่างของฟันในขากรรไกร ลำดับการขึ้นของฟันในช่องปาก และลักษณะการเคี้ยวอาหาร (Masticatory function) (27) และการศึกษาเดียวกันที่ระยะเวลา 30 เดือน พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาตรของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่หายไปเพิ่มขึ้น และการที่จะอธิบายถึงลักษณะของการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันในช่องปาก ไม่สามารถอ้างถึงด้วยตัวแปรเพียงชนิดเดียว (28)

ปัจจุบันมีวิธีวัดปริมาณการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันเป็นจำนวนมาก ทั้งทางห้องปฏิบัติการและทางคลินิก ที่แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน

เมื่อระยะเวลาผ่านไป โดยไม่ว่าจะเป็นการศึกษาทางใดก็ตาม ส่วนใหญ่มักจะวิเคราะห์ผลโดยใช้เครื่องทดสอบความหยาบพื้นผิวร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับองค์การมาตรฐานนานาชาติ (International Organization for Standardization) ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบความต้านทานการสึกจากการแปร่งฟันของวัสดุทันตกรรม ไว้ใน ISO 14569-1:1999 (29) กล่าวถึงเกณฑ์และวิธีการทดสอบการสึกในห้องปฏิบัติการ โดยเน้นการคำนวณน้ำหนักที่หายไป (Worn mass) ปริมาตรการสึก (Worn volume) และปริมาตรการสึกสัมพัทธ์ (Relative worn volume)

คุณสมบัติในการต้านทานต่อการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน เป็นปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาประกอบในเรื่องความแข็งแรงหรือคุณสมบัติทางกลของวัสดุ เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สามารถบอกถึงอายุการใช้งานของวัสดุในช่องปากของผู้ป่วยได้ เมื่อวัสดุมีการสึกและการละลายตัวจะทำให้เกิดผลเสียตามมา เช่น ทำให้เกิดการสูญเสียของวัสดุ การรั่วซึมบริเวณขอบ และเกิดการผุตามมาได้ ทั้งนี้การสึกที่เกิดขึ้นในช่องปาก เป็นขบวนการที่ซับซ้อนและยังมีความแตกต่างกันในแต่ละบุคคล จึงเป็นการยากที่จะสร้างให้เกิดสภาวะต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการสึกได้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพียงครั้งเดียว ด้วยเหตุนี้ปัญหาการสึกจากการแปร่งฟันของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันจึงถูกพิจารณา เนื่องจากเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการสึก อีกทั้งยังไม่มีการศึกษาในเรื่องนี้โดยการทดสอบการสึกจากการแปร่งของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันในห้องปฏิบัติการ เมื่อใช้ร่วมกับเครื่องทดสอบความหยาบพื้นผิวกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะทำให้ทราบปริมาตรการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันจากการแปร่งได้ ซึ่งผลที่ได้สามารถใช้เป็นเกณฑ์เบื้องต้นในการพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งแรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เรื่องความต้านทานต่อการสึกจากการแปร่งของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ที่พัฒนาขึ้นโดยคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (พีวีไอแคร์) เปรียบเทียบกับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

### คำถามการวิจัย

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่พัฒนาขึ้นโดยคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (พีวีไอแคร์) มีคุณสมบัติทางกายภาพในเรื่องการสึกจากการแปร่ง แตกต่างจากวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่นำเข้ามาจากต่างประเทศหรือไม่

## วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพในเรื่องการสึกจากการแปรง ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่พัฒนาขึ้นโดยคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (พีวีแคร์) กับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศ

## สมมติฐานการวิจัย

คุณสมบัติทางกายภาพในเรื่องการสึกจากการแปรง ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่พัฒนาขึ้นโดยคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (พีวีแคร์) กับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศ ไม่มีความแตกต่างกัน

## ข้อตกลงเบื้องต้น

1. การเตรียมชิ้นตัวอย่าง และการทดสอบจะกระทำโดยผู้วิจัยเพียงคนเดียว
2. ผู้ทำการวิจัยได้รับการฝึกฝนการใช้เครื่องมือต่างๆ เป็นอย่างดี (วิธีวัดความแม่นยำอยู่ในภาคผนวก)
3. จุดอ้างอิงที่อยู่บนแบบพิมพ์โลหะก่อนและหลังการแปรงฟันเป็นจุดเดียวกัน
4. แบบพิมพ์โลหะ ไม่ถูกทำให้สึกโดยการแปรงด้วยเครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ

## คำสำคัญ

วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟัน, การสึกจากการแปรงฟัน, ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลง, เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว, การทดสอบการแปรง

Pit and fissure sealant, Brushing wear, Volume loss, Profilometer, Simulated brushing

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสมบัติทางกายภาพในเรื่องความต้านทานต่อการสึกจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน



2. เป็นข้อมูลในการเลือกใช้วัสดุ เนื่องจากวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่การสึกกร่อนน้อย จะมีอายุการใช้งานของวัสดุในช่องปากของผู้ป่วยได้นานขึ้น
3. เพื่อพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน และมีประโยชน์ในด้านการทดแทนการนำเข้าทันตวัสดุจากต่างประเทศ

### ข้อจำกัดของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยผลที่ได้จะเป็นแนวทางบ่งบอกถึงการสึกจากการแปรงเพียงปัจจัยเดียว แต่การสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ซึ่งเกิดขึ้นจากสภาวะภายในช่องปากของผู้ป่วยมีปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น แรงจากการบดเคี้ยว ความเป็นกรดต่างในช่องปาก ฯลฯ ดังนั้นจึงไม่สามารถนำผลการวิจัยที่ได้ สรุปเป็นการสึกกร่อนของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันในสภาวะการใช้งานในช่องปากได้

### รูปแบบการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายละเอียดงบประมาณการวิจัย

1. หมวดค่าใช้สอย			
1.1. ค่าถ่ายเอกสาร และจัดทำรูปเล่มรายงาน			
- ค่าถ่ายเอกสารและจัดหาเอกสารอ้างอิง		1,500	บาท
- รายงานการวิจัย ถ่ายเอกสารพร้อมปก		4,000	บาท
2. หมวดค่าวัสดุ			
2.1. วัสดุทันตกรรม			
- วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน Prevocare™ Clear จำนวน 2 ชุด		2,400	บาท
- วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน Prevocare™ Opaque จำนวน 2 ชุด		2,400	บาท
- วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน Delton® Clear จำนวน 2 ชุด		7,084	บาท
- วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน Concise™ จำนวน 1 ชุด		3,766	บาท
2.2. วัสดุสิ้นเปลือง			
- แปรงสีฟัน Premium	250 อัน × 5.5 =	1,375	บาท
- แคลเซียมไพโรฟอสเฟต (Calcium Pyrophosphate) 3,000 กรัม		3,909	บาท
- กลีเซอริน (Glycerin) 1,500 มิลลิลิตร		1,500	บาท
- คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethylcellulose) 100 กรัม		262	บาท
- แผ่นปิดสไลด์ (Cover slip) จำนวน 2 กล่อง		200	บาท
- ไบมีด เบอร์ 11		100	บาท
- แอลกอฮอล์ 70%		50	บาท
- ผ้าก๊อซ (Gauze)		50	บาท
2.3. วัสดุสำนักงาน		2,000	บาท
3. หมวดค่าจัดทำและค่าเช่าครุภัณฑ์			
3.1. ค่าใช้บริการเครื่องทดสอบความหยาบพื้นผิว	120 ชั่วโมง × 67.5 =	8,100	บาท
3.2. ค่าใช้บริการเครื่องทดสอบการขัดสี จำนวน	70 ชั่วโมง × 10 =	700	บาท
3.3. ค่าจ้างทำแบบพิมพ์โลหะ 8 ชิ้น		6,400	บาท
	<b>รวมทั้งหมด</b>	<b>45,796</b>	<b>บาท</b>

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน (Pit and fissure sealant)

การเคลือบหลุมร่องฟัน เป็นวิธีการป้องกันฟันผุด้านบดเคี้ยวที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สำหรับฟันหลุมร่องลึกที่มีโอกาสเกิดการผุ โดยการพัฒนายุคเคลือบหลุมร่องฟันเริ่มตั้งแต่ Buonocore ได้แนะนำวิธีการเพิ่มแรงยึดระหว่างวัสดุเรซินกับฟันโดยใช้กรดกัดฟัน ในปี ค.ศ. 1955 (30) และผลงานชิ้นแรกที่มีประโยชน์ทางคลินิกสำหรับการเคลือบหลุมร่องฟัน คือ Nuva-Seal (L.D. Caulk) ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 1971 อย่างไรก็ตามผลงานทางคลินิกอื่นๆ ในหลายปีต่อมา ก็เป็นผลมาจากการเริ่มต้นของ Buonocore (31) การเคลือบหลุมร่องฟันจัดเป็นมาตรการในการป้องกันฟันผุด้านบดเคี้ยวที่มีประสิทธิภาพสูง ทำหน้าที่เป็นสิ่งกีดขวางป้องกันการละลายของผิวเคลือบฟันจากกรดที่เชื้อจุลินทรีย์ในช่องปากผลิตขึ้น ทำให้หลุมและร่องฟันตื้นขึ้นง่ายต่อการทำความสะอาด สามารถลดอัตราการเกิดฟันผุได้อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับฟันที่ไม่ได้รับการเคลือบหลุมร่องฟัน (4) และเป็นวิธีการทางคลินิกที่ได้รับการยอมรับจากสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา (ADA) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1976 โดยอนุญาตให้มีการจำหน่ายในท้องตลาดและได้รับการพัฒนาต่อมา (5) วิธีการยึดติดแน่นของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน เป็นวิธีที่อนุรักษ์โครงสร้างของฟันรบกวนเนื้อฟันน้อยที่สุด สามารถทำได้ทั้งฟันที่ไม่ได้ผุ และฟันที่เริ่มมีรอยโรคฟันผุระยะแรก (Incipient caries) (7, 8) อีกทั้งเป็นวิธีการทางคลินิกที่สามารถทำซ้ำเมื่อใดก็ได้ โดยไม่ทำลายเนื้อฟัน และไม่จำเป็นต้องใช้ยาชา

ในปี ค.ศ. 1983 National Institute of Health (NIH) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้จัดการประชุมระดมสมอง เรื่อง "Dental sealants in the prevention of tooth decay" ซึ่งมีผลสรุปว่าการเคลือบหลุมร่องฟันเป็นการป้องกันโรคฟันผุด้านบดเคี้ยวที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัย (6) สามารถให้ผลในการป้องกันฟันผุได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ตราบเท่าที่ยังมีการยึดติดของสารเคลือบหลุมร่องฟันกับตัวฟัน สรุปได้ว่าการเคลือบหลุมร่องฟันเป็นวิธีการป้องกันฟันผุที่ดีและรบกวนเนื้อฟันน้อยที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ในการควบคุมและป้องกันฟันผุด้านบดเคี้ยวเป็นที่น่าพอใจ

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันแบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ๆ 2 ประเภท ได้แก่ ชนิดเรซิน (Resin) และกลาสไอโอโนเมอร์ (Glass ionomer) ในปัจจุบันนิยมใช้เป็นชนิดเรซิน ซึ่งมีผู้ผลิตและจำหน่ายวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันจำนวนมาก หลากหลายรูปแบบ โดยวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันแต่ละบริษัทยังมีความแตกต่างกันองค์ประกอบของวัสดุ มีทั้งชนิดที่มีสารอัดแทรก (Filler) และไม่มีสารอัด

แทรก หรือต่างกันในโมโนเมอร์ (Monomer) การแข็งตัวมีทั้งชนิดที่แข็งตัวโดยใช้แสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Light cured) บางชนิดด้วยปฏิกิริยาเคมี (Self cured) นอกจากนี้สีของวัสดุมีทั้งชนิดใส (Clear) และขุ่น (Opaque)

### ส่วนประกอบสำคัญของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน (32)

- โมโนเมอร์หลัก (Principle monomer)
- โมโนเมอร์ที่มีความหนืดต่ำ (Low viscosity monomer)
- สารเริ่มปฏิกิริยา และสารกระตุ้นปฏิกิริยา (Initiators and Catalysts)

#### โมโนเมอร์หลัก (Principle monomer)

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันโดยทั่วไป จะประกอบด้วยโมโนเมอร์หลัก คือ บิสจีเอ็มเอ (Bis-GMA) ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีอะโรมาติกริง (Aromatic ring) เป็นส่วนประกอบ โดยเป็นสารประกอบที่มีการเชื่อมต่อเป็นโครงสร้างร่างแห ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาของ Bis-phenol A และ Glycidyl methacrylate ทำให้วัสดุมีการหดตัวน้อยเมื่อเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน (Polymerization) แต่การที่บิสจีเอ็มเอมีขนาดโมเลกุลใหญ่ ทำให้มีความหนืดสูง จึงจำเป็นต้องใช้โมโนเมอร์ที่มีความหนืดต่ำ (Diluents) มาผสมเพื่อลดความหนืด และให้ได้ลักษณะวัสดุที่ง่ายต่อการใช้งาน

โมโนเมอร์หลักอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ คือ ยูรีเทนไดเมทาครีเลท (Urethane dimethacrylate) หรือ ยูดีเอ็มเอ (UDMA) ซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่แต่ไม่มีอะโรมาติกริง เมื่อเทียบกับบิสจีเอ็มเอแล้ว ยูดีเอ็มเอมีความหนืดต่ำกว่าและมีการดูดซึมน้ำน้อยกว่า แต่การผลิตก็ยังคงต้องผสมโมโนเมอร์ความหนืดต่ำ เพื่อให้วัสดุมีการไหลแผ่ที่ดีขึ้น

#### โมโนเมอร์ที่มีความหนืดต่ำ (Low viscosity monomer)

เป็นพวกสารเมทาครีเลท โมโนเมอร์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก (Low molecular weight monomer) ซึ่งเป็นสารผสมเพื่อลดความหนืดของโมโนเมอร์หลัก ที่นิยมใช้ คือ ไตรเอทิลีนไกลคอลไดเมทาครีเลท (Triethylene glycol dimethacrylate or TEGDMA)

#### สารเริ่มปฏิกิริยา และสารกระตุ้นปฏิกิริยา (Initiators and Catalysts)

การแข็งตัวของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน เกิดจากปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันของโมโนเมอร์ กลายเป็นโมโนเมอร์ร่างแห ในลักษณะโพลิเมอไรเซชันแบบเชื่อมขวาง (Cross linked polymerization) โดยมีการกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอ

โรเซชัน ปัจจุบันวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน อาจจัดเป็นประเภทตามวิธีการทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ คือ

1. วัสดุชนิดใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (Self cure or Chemical cure)

สารที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี จะแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหนึ่งจะมีเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide) และอีกส่วนจะมีสารประกอบเอมีน (Amine) เช่น Dimethyl-p-toluidine เมื่อผสมสองส่วนเข้าด้วยกันจะเกิดปฏิกิริยาให้อนุมูลอิสระ เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน

2. วัสดุชนิดใช้การกระตุ้นด้วยแสง (Visible light cured)

จะใช้แสงสีฟ้าที่มีความยาวคลื่น 450-470 นาโนเมตรเป็นตัวกระตุ้น โดยมีสารเริ่มปฏิกิริยาเป็นสารประกอบแอลฟา-ไดคีโตน ( $\alpha$ -Diketone) เช่น Camphoroquinone และสารประกอบเอมีน เช่น Dimethylamine Ethylmethacrylate ทำให้มีปฏิกิริยาให้อนุมูลอิสระ

นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ ที่มีผลทำให้มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น สารยับยั้งปฏิกิริยา (Inhibitors) เพื่อช่วยให้อายุการใช้งานของวัสดุ (Shelf life) นานขึ้น การเติมรงควัตถุ (Pigment) เช่น Titanium dioxide ที่ช่วยทำให้วัสดุมีสีขาวขุ่น หรือ Inorganic pigment เพื่อให้วัสดุมีสีตามที่คุณผลิตต้องการ การใส่วัสดุอัดแทรก (Filler) เพื่อให้วัสดุมีความแข็งแรง หรือมีความชื้นเหลว (Consistency) เปลี่ยนไป

การพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ควรมีความสมบัติอย่างน้อยไม่ต่ำกว่าเกณฑ์ขององค์การมาตรฐานนานาชาติที่ 6874 (International Organization for Standardization (ISO) No. 6874: 1988) (23) ซึ่งพอสรุป คือ

- ระยะเวลาทำงาน (Working time) ของวัสดุชนิดใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (Self cure) คือ ภายหลังจากผสมวัสดุแล้ว วัสดุควรมีลักษณะเหลวไหลแผ่ได้ดีก่อนที่จะเริ่มแข็งตัวอย่างน้อย 45 วินาที
- ระยะเวลาแข็งตัว (Setting time) ของวัสดุชนิดใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ไม่ควรเกิน 5 นาที ส่วนวัสดุชนิดใช้การกระตุ้นด้วยแสง ควรแข็งด้วย Visible light ภายในเวลาฉายแสง ไม่เกิน 60 วินาที
- ความไวต่อแสงของวัสดุ (Sensitivity to ambient light) ของวัสดุชนิดใช้การกระตุ้นด้วยแสง หมายถึง ความไวของวัสดุต่อแสงในห้องทำงานหรือแสงสว่างทั่วไป ซึ่งกำหนดไว้ว่าควรสามารถหยุดวัสดุจากขวด แล้ววางทิ้งไว้ได้นานอย่างน้อย 25 วินาที โดยไม่มีการแข็งตัวก่อนการใช้งาน

- ความลึกที่แสงผ่าน (Depth of cure) วัสดุควรมีความลึกที่แสงผ่านลงไป และทำให้เกิดการแข็งตัวได้ดี ที่ระดับไม่น้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร
- ความหนาของชั้นผิวหน้าที่ไม่เกิดปฏิกิริยา (Uncured film thickness) ของวัสดุที่ปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันถูกยับยั้งด้วยออกซิเจน (Oxygen inhibited layer) ไม่ควรเกิน 0.1 มิลลิเมตร

จะเห็นว่าคุณสมบัติของวัสดุที่กำหนดไว้ในเกณฑ์มาตรฐาน ISO 6874 นี้ กล่าวถึงเพียงคุณสมบัติทางกายภาพ เนื่องจากแนวคิดที่ว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันไม่จำเป็นต้องรับแรงจากการบดเคี้ยว ความแข็งแรงหรือคุณสมบัติทางกลของวัสดุจึงสำคัญน้อยกว่า อย่างไรก็ตามในทางคลินิก วัสดุยังต้องรับแรงกระแทกจากการเคี้ยวอาหารอย่างเลี่ยงไม่ได้ วัสดุที่มีความแข็งแรงสูงจะแตกหักได้ยากกว่า ดังนั้นคุณสมบัติทางกลที่ไม่ได้กำหนดในเกณฑ์มาตรฐาน ISO:6874 เช่น ความแข็งแรงดึงในแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diametral tensile strength) และความแข็งผิว (surface hardness) จึงมีความสำคัญเช่นกัน โดยทั่วไปแล้ววัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่มีวัสดุอัดแทรกจะมีคุณสมบัติที่วูไป เช่น ความแข็งแรงดึงในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางและความแข็งผิวดีกว่าวัสดุพวกที่ไม่มีวัสดุอัดแทรก แต่การเติมวัสดุอัดแทรกในวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน จะมีผลทำให้ความหนืดของวัสดุเพิ่มมากขึ้น ส่วนคุณสมบัติการดูดน้ำ ขึ้นอยู่กับชนิดของเรซินที่ใช้ และคุณสมบัติการละลายน้ำ ขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน (Degree of conversion) ของวัสดุแต่ละชนิด โดยวัสดุที่มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันสูง ก็จะมีการละลายน้อยกว่า

### วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพรีโวแคร์ (PrevoCare)

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดแข็งตัวด้วยแสง ชื่อการค้า "พรีโวแคร์" พัฒนาขึ้นโดยคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้รับการทดสอบว่ามีคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพใกล้เคียงกับวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานขององค์การมาตรฐานนานาชาติที่ 6874:1988 เรื่องความลึกที่แสงผ่านและความหนาของชั้นผิวหน้าที่ไม่เกิดปฏิกิริยา และเกณฑ์มาตรฐานขององค์การมาตรฐานนานาชาติที่ 4049:2000 เรื่องคุณสมบัติการดูดน้ำและการละลายน้ำ อีกทั้งคุณสมบัติเรื่องความแข็งผิวของวัสดุและอัตราการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน ไม่มีความแตกต่างจากวัสดุที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ (12) มีความปลอดภัยสำหรับการใช้งานในช่องปาก คือ ไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ทั้งทางตรงและทางอ้อม และสามารถเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในสัตว์ทดลอง (13) โดยผิวเคลือบฟันที่ได้รับการปรับสภาพด้วยกรดฟอสฟอริกชนิดเจลด ให้การยึดติดดีเมื่อใช้ร่วมกับพรีโวแคร์ (14) รวมทั้งการศึกษาเพื่อประเมินผล

การยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทางคลินิก ที่ระยะเวลา 6 18 และ 24 เดือน ไม่พบความแตกต่างระหว่างฟริโวแคร์ กับ วัสดุที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ (15-17) และการศึกษาภาคสนามเพื่อประเมินผลการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ระยะเวลา 6 และ 12 เดือน ไม่พบความแตกต่างระหว่างฟริโวแคร์ชนิดใส กับ วัสดุที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ (18, 19) การติดตามผลระยะยาวยังคงดำเนินอยู่ รวมทั้งมีการปรับปรุงคุณภาพในด้านต่างๆ อาทิ รูปแบบการใช้งานที่สร้างความพึงพอใจต่อผู้ใช้ คุณสมบัติทางกายภาพที่สูงขึ้น ความทึบแสง ความขุ่นหนืด รวมไปถึงการเติมวัสดุอุดแทรกซึ่งจะเป็นพื้นฐานของการผลิตวัสดุบูรณะฟันคอมโพสิตในอนาคต (20-22)

**ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสูญหายไปของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน (25, 27, 28)**

- การปนเปื้อนของความชื้น
- เวลาที่ใช้ในการแข็งตัวของวัสดุไม่เพียงพอ
- ขั้นตอนการทำให้ถูกต้อง
- ตำแหน่งของฟันในขากรรไกร
- การสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน

### **การสึก (Wear)**

การสึก เป็นปรากฏการณ์ที่พบได้เสมอในทางทันตกรรม เกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวสองพื้นผิวเคลื่อนที่เสียดหรือไถลผ่านกันคล้ายกับได้รับแรงกระทำ สถาบันวิศวกรรมเครื่องกลแห่งราชอาณาจักร (The Institution of Mechanical Engineers of The United Kingdom) ได้ให้คำนิยามของการสึกว่า “เป็นการสูญเสียวัสดุบางส่วนจากบริเวณพื้นผิวของวัตถุโดยการทำงานทางกลศาสตร์” โดยขบวนการทางกลศาสตร์ที่สามารถทำให้เกิดการสึกได้แก่ การถู (Rubbing) การอัด (Impact) การขูด (Scraping) และการกร่อน (Erosion) รูปแบบของการสึกอาจเกิดขึ้นได้หลายขบวนการ เช่น การสึกจากการขัดสี การเกาะติด การกร่อน การล้าของพื้นผิว และการสึกชนิดอื่นๆ อีกมากมาย นอกจากนี้การใช้ความร้อน สารเคมี หรือไฟฟ้า ก็สามารถทำให้เกิดขบวนการสึกบนพื้นผิววัตถุได้เช่นกัน (33)

Mair และคณะ (34, 35) ได้กล่าวว่า การสึกเป็นขบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เมื่อพื้นผิวของวัตถุเคลื่อนที่มาสัมผัสกัน การสึกนั้นไม่ได้เกิดขึ้นจากขบวนการเพียงขบวนการเดียว แต่เป็นผลรวมของหลายขบวนการที่เกิดขึ้นอย่างอิสระบนพื้นผิววัตถุ โดยปัจจัยสำคัญที่ใช้วัดปริมาณการสึก คือระยะเวลาที่พื้นผิวของวัตถุเคลื่อนที่สัมผัสกัน

สรุปแล้วการสึก คือ การเสื่อมลงของพื้นผิววัตถุ ซึ่งมีสาเหตุมาจากแรงและการเคลื่อนที่ โดยขบวนการจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ แต่สม่ำเสมอและเกิดตลอดเวลา การสึกมีหลายชนิด ได้แก่ การสึกจากการกัดกร่อน (Corrosive wear) การสึกจากการเกาะติดหรือการยึดติด (Adhesive wear) การสึกจากการกัดเซาะ (Erosive wear) การสึกจากการกระแทกหรือการเคาะ (Impact wear or Percussive wear) การสึกจากความล้าของพื้นผิว (Surface Fatigue) และการสึกจากการขัดสี (Abrasive wear)

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการสึกของวัสดุที่ใช้ในการบูรณะทางทันตกรรมมีมากมาย เช่น แรงและการเคลื่อนที่ของระบบบดเคี้ยว การแปร่งฟัน สารหล่อลื่นในช่องปาก ซึ่งเป็นผลรวมของทั้งน้ำลายและความเป็นกรด-ด่าง สิ่งแปลกปลอมภายในช่องปาก การอยู่ในสภาวะหรือบรรยากาศที่เอื้อให้เกิดการสึกเป็นเวลานาน พฤติกรรมของผู้ป่วย อาหารที่รับประทาน สุขภาพช่องปาก และปัจจัยสุดท้าย คือ พื้นผิวและชนิดของวัสดุที่ใช้ในการบูรณะ (34, 36, 37)

การสึกจากการกัดกร่อน (Corrosive wear) เป็นการสึกที่เกิดร่วมกับการขัดสี (Friction) ในสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการกร่อน โดยผลของการกร่อนจะทำให้เกิดเยื่อบางๆ (Protective film) ทำหน้าที่ป้องกันพื้นผิววัตถุ แต่ถ้าหากเยื่อบางนี้ถูกไถลจนสึกหมดไปการกร่อนก็จะเกิดขึ้นอีก การสึกชนิดนี้มีความสำคัญมากต่อการกร่อนของโลหะผสมในช่องปาก (38) Pugh ในปี ค.ศ.1973 ได้ให้คำนิยามของการสึกชนิดนี้ว่า เป็นการสึกจากสารเคมีซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาระหว่างสิ่งแวดล้อมและพื้นผิวที่ลื่นทำให้เกิดการหลุดออกของผลผลิต (By product) จากปฏิกิริยานี้ การกัดกร่อนจะเกิดอย่างรวดเร็วในระยะแรกและช้าลงหรือหยุดอย่างสมบูรณ์ หลังจากมีการสร้างเยื่อบางเชื่อมแน่น (Cohesive film) เกาะติดบนผิวของวัตถุ แต่เมื่อใดที่เยื่อบางถูกกำจัดออกไป พื้นผิววัตถุจะปรากฏและเกิดการกัดกร่อนจากสารเคมีต่อไป โดยสภาวะที่เอื้อให้เกิดการกัดกร่อนของวัสดุทางทันตกรรมภายในช่องปาก ได้แก่ แรงในการสบฟันที่มากเกินไป ชนิดของแรง การเคี้ยวที่เร็วเกินไป ผลของการหล่อลื่นจากน้ำลาย คุณภาพของวัสดุที่ใช้ เช่น องค์ประกอบ ความแข็ง คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ การมีสิ่งแปลกปลอมในเนื้อวัสดุ พื้นผิวของวัสดุ สุดท้ายคือสภาวะทางเคมีและอุณหภูมิภายในช่องปาก โดยผลของการกัดกร่อนจะต้องไม่ทำให้การทำหน้าที่และความสวยงามของวัสดุลดลง และไม่ก่อให้เกิดผลผลิตที่เป็นพิษต่อร่างกาย

การสึกจากการเกาะติดหรือการยึดติด (Adhesive wear) เป็นการสึกที่พบได้บ่อยที่สุดเกิดขึ้นเมื่อวัสดุที่มีความแข็งเคลื่อนไถลไปบนพื้นผิวของวัสดุชนิดอื่น หรือมีแรงกดต่อวัสดุชนิดนั้น ทำให้มีการหลุดออกของอนุภาคเล็กๆ จากพื้นผิวที่ถูกถู (33) โดยการสึกชนิดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุสองชิ้นเคลื่อนที่เคลื่อนไถลบนพื้นผิวซึ่งกันและกัน ทำให้การการยึดติดกันนั้นถูกทำลายไม่ใช่ที่รอยต่อระหว่างพื้นผิวเดิม แต่เป็นที่ภายในเนื้อวัตถุนั้น ส่งผลให้มีอนุภาคบางส่วนแตกหลุดออกมาเกาะติดไปกับวัตถุอีกชิ้นที่เคลื่อนไถลผ่านกัน และปรากฏการณ์นี้สามารถทำให้ลดลงได้หากมีการ



ใช้สารหล่อลื่น (38) สรุปคือ เป็นการสึกที่เกิดขึ้นขณะที่มีการเสียดระหว่างพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว (37, 39)

การสึกจากการกัดเซาะ (Erosive wear) เป็นการสึกที่เกิดขึ้นเมื่อมีอนุภาคที่เป็นของแข็งหรือของเหลวกระทบบนพื้นผิววัสดุ ทำให้เกิดการกัดเซาะพื้นผิวบริเวณที่อนุภาคนั้นกระทบ และพื้นผิวที่ถูกกัดเซาะนั้นจะมีความขรุขระมากกว่าการสึกที่เกิดจากการขัดสี โดยในทางทันตกรรมสามารถใช้กล่าวถึงได้ทั้งการสึกของวัสดุทันตกรรมและการสึกของฟัน จำแนกออกเป็น 2 ชนิด คือ การกัดเซาะที่เกิดจากการกระทำของทันตแพทย์ (Idiopathic erosion) โดยการขัดฟันผิวบางส่วนของฟัน และการกัดเซาะที่เกิดจากกลเคมี (Chemicomechanical erosion) เกิดจากการกัดเลือนไกลบนพื้นผิวฟัน หรือเกิดจากสารละลายที่มีค่า pH ต่ำในช่องปาก หรือทั้งสองอย่างร่วมกัน (33)

การสึกจากการกระแทกหรือการเคาะ (Impact wear or Percussive wear) เป็นรูปแบบของการสึกที่เกิดจากการกระแทกซ้ำๆ ของพื้นผิวที่มีความแข็งสองพื้นผิว แตกต่างจากการสึกจากการกัดเซาะ เนื่องจากการสึกจากการกัดเซาะเกิดจากการกระแทกของอนุภาคของแข็งขนาดเล็กบนพื้นผิว ในทางทันตกรรมการสึกจากการกระแทกสามารถเกิดขึ้นขณะเคี้ยว กลืน และการกัดแน่นฟัน นั่นคือมีการเคลื่อนที่ของฟันในขากรรไกรล่าง เข้ามาใกล้กับฟันในขากรรไกรบน (33)

การสึกจากความล้าของพื้นผิว (Surface Fatigue) เป็นการสึกชนิดหนึ่งที่ทำให้เกิดการแตกหักของวัสดุ เมื่อพื้นผิวหรือเนื้อของวัสดุใต้พื้นผิวเกิดรอยร้าว และพัฒนาไปเป็นการแตกหักของพื้นผิว โดยความล้าเกิดขึ้นจากความเค้นที่ได้รับเป็นเวลานานและมีความเค้นที่ปล่อยออกมา การสึกชนิดนี้เกิดขึ้นได้มาก ในวัสดุที่มีความแข็งแรงดิ่งน้อยกว่าหนึ่งในสามของความแข็งแรงกด (38)

การสึกจากการขัดสี (Abrasive wear) เป็นการสึกที่เกิดขึ้นจากพื้นผิวที่แข็งและขรุขระหรือมีอนุภาคที่แข็งมาก ไถไปบนวัสดุที่มีความอ่อนนุ่มกว่า ดังนั้นพื้นผิววัสดุที่มีการสึกชนิดนี้จะมีอนุภาคที่หลุดออกมาจากการสึกอัดอยู่ที่พื้นผิวด้วย สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งบนตัวฟันและวัสดุที่ใช้ในการบูรณะฟัน โดยมีประโยชน์ทางทันตกรรม เช่น ใช้ในการขัดแต่งวัสดุต่างๆ ทางทันตกรรม และใช้ในการตะไบเพื่อรักษาคลองรากฟัน กระบวนการเกิดการสึกนั้นจะมีองค์ประกอบที่ทำให้เกิดการสึกอยู่ 2 หรือ 3 องค์ประกอบ ในกรณีที่มีการสึกเกิดจาก 2 องค์ประกอบ คือจะเกิดจากพื้นผิวที่มีความแข็งต่างกันมาสัมผัสกัน ทำให้พื้นผิวที่แข็งกว่าครูดพื้นผิวที่นุ่มกว่าเกิดเป็นร่องจำนวนมากเรียงกัน แต่ถ้ามีองค์ประกอบ 3 องค์ประกอบ การสึกจะเกิดจากการมีอนุภาคขนาดเล็กที่มีความแข็งแทรกอยู่ระหว่างพื้นผิวที่สัมผัสกัน ส่วนการสึกที่มีสาเหตุมาจากการแปรงฟัน ถือว่าเป็นการสึกที่มี 3 องค์ประกอบ โดยการสึกขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน ได้แก่ ชนิดของขนแปรง ลักษณะของผงขัดในยาสีฟัน รวมทั้งความแรงและความถี่ในการแปรงฟันของแต่ละบุคคล (33)

## วิธีการประเมินลักษณะการสึกของวัสดุ มี 2 วิธี (27)

### • วิธีวัดเชิงคุณภาพ (Qualitative methods)

- การตรวจด้วยสายตาและการสัมผัส (Visual-tactile exam)

เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด ตามข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุข ประเทศสหรัฐอเมริกา (USPH criteria) โดยกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนตามลักษณะของวัสดุ ทันตกรรมที่ตรวจแบ่งออกเป็น ยึดติดอย่างสมบูรณ์ (Intact) สูญหายบางส่วน (Partially lost) และสูญหายทั้งหมด (Completely lost) ซึ่งวิธีนี้เหมาะสำหรับการศึกษาประชากรกลุ่มใหญ่ๆ ในชุมชน

- การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron microscopy)

วิธีนี้มีประโยชน์อย่างมากในเรื่องการบรรยายลักษณะของพื้นผิวในเชิงคุณภาพ และบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิว

### • วิธีวัดเชิงปริมาณ (Quantitative methods)

- การชั่งน้ำหนัก (Weight)

สามารถใช้ในการศึกษาประเมินการสึกเชิงปริมาณ ทั้งในห้องปฏิบัติการและทางคลินิก ซึ่งการศึกษาทางห้องปฏิบัติการทำโดยชั่งน้ำหนักของวัสดุ หลังจากเตรียมเป็นชิ้นตัวอย่างจะได้เป็นน้ำหนักก่อน แล้วนำชิ้นตัวอย่างไปทดสอบการสึก หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งได้เป็นน้ำหนักหลัง และคำนวณหาปริมาตรของวัสดุที่สูญหายไปจากน้ำหนักที่หายไป ส่วนการศึกษาทางคลินิกโดยชั่งน้ำหนักวัสดุที่ใช้พิมพ์ปาก แล้วทำเป็นชุดของแบบจำลองแต่ละระยะของการศึกษา วิธีนี้มีข้อเสียคือมีขั้นตอนในการทำหลายขั้น แต่ผลที่ได้ไม่ให้ออกข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งและการลุกลามของการสึก

- การวัดการเปลี่ยนแปลงความสูงของวัสดุ (Measure change in vertical height of restoration) โดยวัดความลึกของการสึกได้จากการลากเส้นพื้นผิวด้านข้าง (Surface profile) ก่อนและหลังแล้วนำมาหาความแตกต่างของความสูงก่อนและหลัง ของแต่ละพื้นผิวประมาณ 3 ตำแหน่งมาหาค่าเฉลี่ยของพื้นผิวนั้น

- การใช้ภาพถ่ายอิเล็กตรอนิกก่อนและหลัง (Electronic images before/after)

วิธีนี้จะเปรียบเทียบภาพถ่ายอิเล็กตรอนิกก่อนและหลัง ตามระยะเวลาที่ศึกษา ซึ่งวิธีการถ่ายภาพมีมากมายหลายวิธี ค่าที่ได้มีความละเอียดและข้อมูลต่างกัน เช่น การใช้เครื่องวัดความหยาบพื้นผิวร่วมกับกล้องจุลทรรศน์ (Profilometry using a measuring microscope) การวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเลเซอร์ (Laser fringe pattern

analysis) และการใช้เครื่องวัดความหยาบพื้นผิวชนิดที่มีการสัมผัสพื้นผิวโดยเข็ม  
ลาก (Stylus profilometry)

สำหรับองค์กรรมมาตรฐานนานาชาติ กำหนดเกณฑ์ในการวัดความต้านทานต่อการสึกของ  
วัสดุทางทันตกรรม ดังนี้

- เกณฑ์ขององค์กรรมมาตรฐานนานาชาติที่ 14569-1 (International Organization for Standardization (ISO) No. 14569-1: 1999) กำหนดข้อปฏิบัติในการทดสอบความต้านทานต่อการสึกของวัสดุทันตกรรมจากการแปรงฟัน (Dental materials - Guidance on testing of wear resistance - Wear by tooth brushing) (29)

เกณฑ์ในการทดสอบจะกำหนดสภาวะที่ต้องควบคุมต่างๆ การเตรียมชิ้นตัวอย่างจากวัสดุที่ต้องการทดสอบเปรียบเทียบกับวัสดุอ้างอิง (Polymethylmethacrylate-PMMA) อย่างน้อยชนิดละ 6 ชิ้น พื้นผิวที่จะทดสอบควรเรียบและขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1000 และชิ้นตัวอย่างทั้งหมดเก็บในน้ำที่อุณหภูมิ  $37 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วันก่อนการทดสอบ ส่วนเครื่องมือที่ใช้ทดสอบคือเครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ กำหนดแรงกดของแปรงได้ตั้งแต่ 0.5-2.5 นิวตัน (50-250 กรัม) ยาสีฟันที่ผสมแล้วควรเก็บในอุณหภูมิ  $23 \pm 3$  องศาเซลเซียส และคำนวณหาปริมาตรของวัสดุที่สึกได้จากน้ำหนักที่หายไป

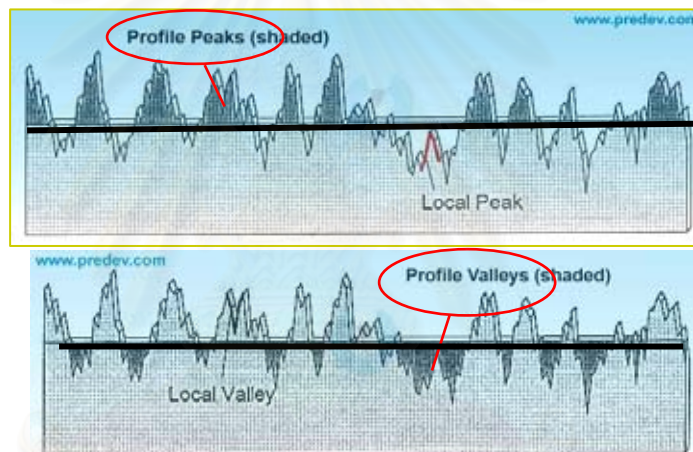
- เกณฑ์ขององค์กรรมมาตรฐานนานาชาติที่ 14569-2 (International Organization for Standardization (ISO) No. 14569-2: 2001) กำหนดข้อปฏิบัติในการทดสอบความต้านทานต่อการสึกของวัสดุทันตกรรมที่เกิดจาก 2 หรือ 3 องค์ประกอบ (Dental materials - Guidance on testing of wear resistance - Wear by two- and/or three body contact) (40)

การทดสอบนี้เป็นการประเมินความต้านทานการสึกของวัสดุด้านบดเคี้ยว หรือการสึกจากการบดเคี้ยว โดยหลักการทำงานของเครื่องมือที่ทดสอบ คือ พื้นผิวของวัสดุที่สัมผัสกัน 2 ชนิดมาเคลื่อนที่ภายในสารละลายกลาง (Medium) ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานนี้กำหนดวิธีการทดสอบที่แตกต่างกันหลายวิธี โดยความแตกต่างของแต่ละวิธีขึ้นอยู่กับข้อกำหนด วัสดุที่ใช้เป็นคู่สบ (Antagonist) สารละลายกลาง ลักษณะการเคลื่อนที่ (Movement) วัสดุที่ใช้เปรียบเทียบกับอ้างอิง (Reference) และเครื่องมือหรือวิธีการวัด (Measurement) โดยส่วนใหญ่เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ คือ เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว (Profilometer or laser scanner) ผลที่ได้คือเครื่องจะหาความสูงที่เปลี่ยนไปของวัสดุ (Worn height of specimens) นำไปคำนวณหาปริมาตรของวัสดุที่สึก (Worn volume) และหาความสูงที่เปลี่ยนไปของวัสดุที่ใช้เป็นคู่สบ (Worn height of the antagonists)

## การวัดความหยาบพื้นผิว

- เครื่องมือที่ไม่มีการสัมผัส (Non-contact equipment) เช่น เลเซอร์  
สำหรับการใช้ลำแสงเลเซอร์ในการอ่านค่าพื้นผิวนั้น ไม่เหมาะที่จะใช้กับพื้นผิวที่มีความ  
หยาบ เช่น รูปร่างของพื้น หรือวัสดุบวมที่มีความมันวาวและสะท้อนแสง
- เครื่องมือที่มีการสัมผัสกับพื้นผิว (Contact equipment) เช่น เครื่องมือที่มีการสัมผัสพื้นผิว  
โดยเข็มลาก

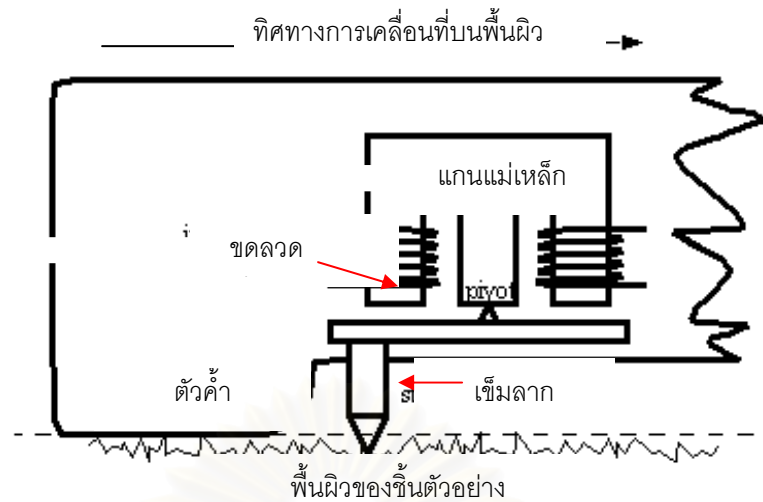
ผลของการวัดด้วยเครื่องดังกล่าว จะได้ค่าของจุดสูงและจุดลึก (Peaks and Valleys) ดัง  
ภาพที่ 1 และต้องมีการหาค่าเฉลี่ยของจุดสูงและจุดลึกของพื้นผิวนั้นๆ



ภาพที่ 1 แสดงจุดสูง (Peaks) และจุดลึก (Valleys)

## การวัดด้วยเครื่องมือที่มีการสัมผัสพื้นผิวโดยเข็มลาก (Stylus based equipment)

โดยพื้นฐานแล้วเทคนิคนี้ จะใช้เข็มลาก (Stylus) ลากไปตามพื้นผิว ซึ่งแสดงการ  
เปลี่ยนแปลงความสูงเพียงเล็กน้อย (Small changes in surface height) และ ตัวค้ำ (Skid) ซึ่ง  
ลากไปตามการเปลี่ยนแปลงความสูงที่มาก (Large changes in surface height) ทั้งนี้เพื่อลดผล  
ของพื้นผิวที่ไม่ได้แบนราบต่อการวัดความหยาบบนพื้นผิวนั้นๆ ดังภาพที่ 2

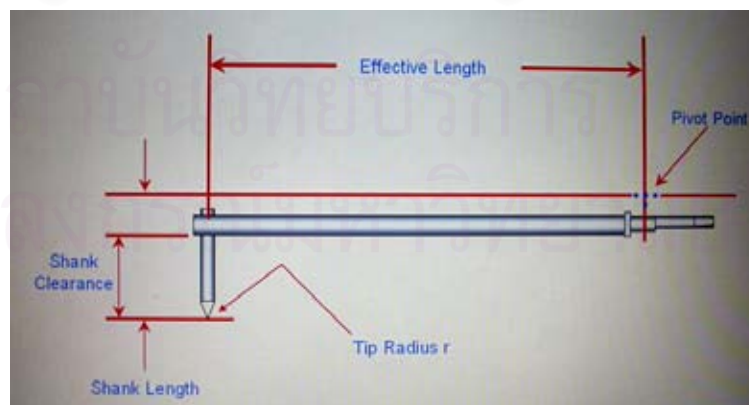


ภาพที่ 2 แสดงการทำงานร่วมกันของเข็มลากล และ ตัวค้ำ

ลักษณะพื้นผิวที่อ่านค่าได้จากเข็มลากลจะถูกส่งเป็นสัญญาณเข้าสู่ฮาร์ดแวร์ (Hardware) แล้วอ่านตัวเลขออกมาเป็นระบบดิจิทัล รวมทั้งแสดงกราฟออกมาโดยขยายขนาดทั้งความสูงและความยาวเพื่อให้เหมาะกับตาของมนุษย์

ลักษณะโดยทั่วไปของเข็มลากล (Stylus) (41) ดังภาพที่ 3 ประกอบด้วย

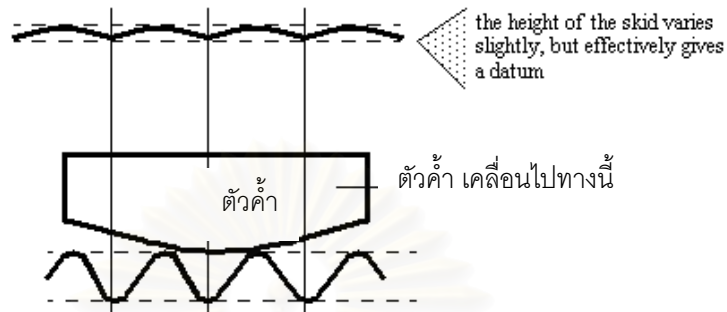
- ความยาวเข็มลากล (Effective length)
- ความสูงเข็มลากล (Shank length)
- รูปร่างและขนาดของส่วนปลายเข็มลากล (Tip radius)
- จุดหมุน (Pivot point)



ภาพที่ 3 แสดงส่วนประกอบของเข็มลากล

เกณฑ์ที่ใช้เปรียบเทียบตำแหน่งของเข็มลาก สามารถเทียบได้กับอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้

1. ตัวค้ำ (Skid) ใช้ในกรณีความถี่ของความหยาบพื้นผิวเป็นปกติ (Regular frequency roughness) ดังภาพที่ 4 ตัวอย่างเช่น พื้นผิวของแผ่นไม้ขัดเรียบ (42)



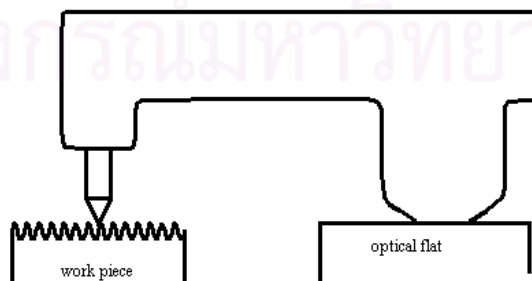
ภาพที่ 4 แสดงการเคลื่อนที่ของตัวค้ำบนพื้นผิวชิ้นงานที่มีความถี่ของความหยาบพื้นผิวปกติ

2. รองเท้า (Shoe) ใช้ในกรณีความถี่ของความหยาบพื้นผิวไม่ปกติ (Irregular frequency roughness) ดังภาพที่ 5 เช่นพื้นผิวของกรวด (42)



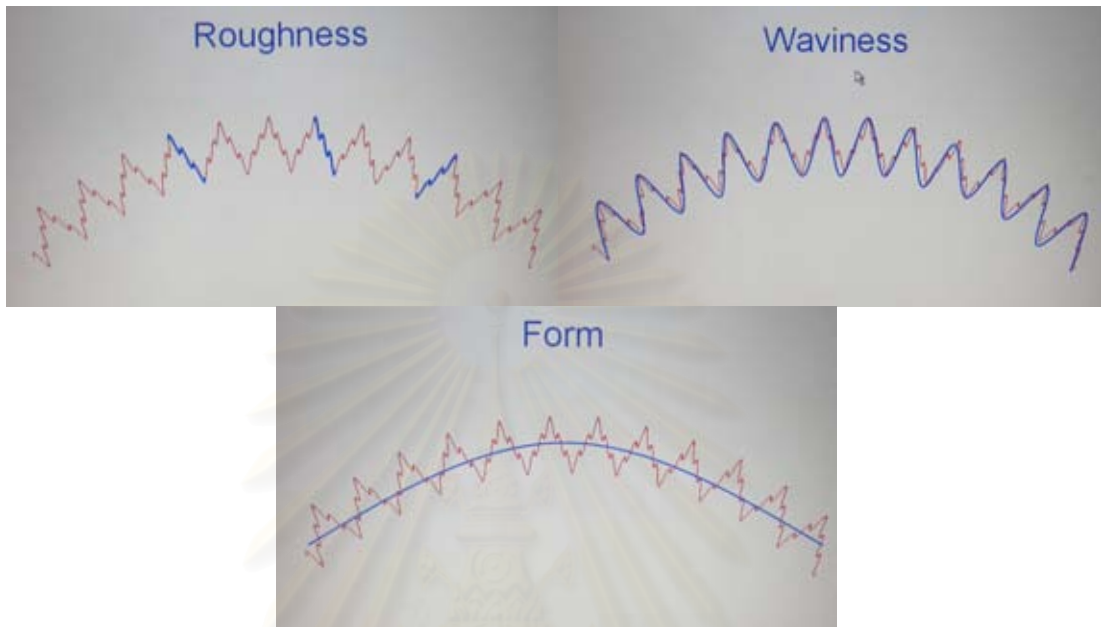
ภาพที่ 5 แสดงการทำงานของรองเท้านบนพื้นผิวชิ้นงานที่ความถี่ของความหยาบพื้นผิวไม่ปกติ

3. อิสระ (Independent) ใช้ในกรณีที่ตัวค้ำวางบนพื้นผิวที่ดูด้วยตาเปล่าแล้วแบนราบ (Optical flat) และส่วนเข็มลากอยู่แยกกัน ใช้ในห้องปฏิบัติการได้เป็นอย่างดี ดังภาพที่ 6 เช่น พื้นผิวของแผ่นกระจก (42)



ภาพที่ 6 แสดงกรณีการใช้แบบอิสระ

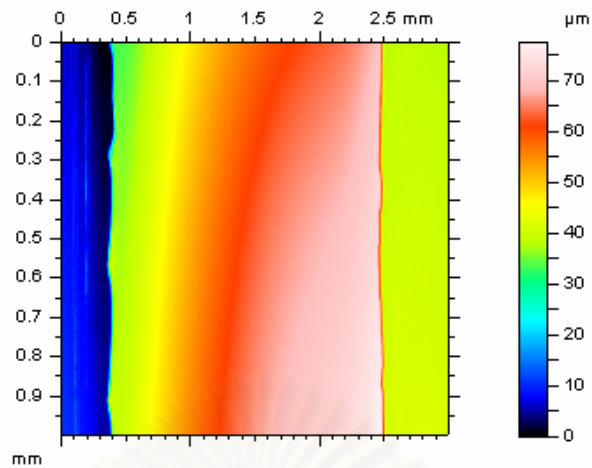
ลักษณะพื้นผิวทางวิศวกรรมเกิดจากการใช้วัสดุหลายๆชนิดขัดถู ลักษณะที่ได้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 องค์ประกอบ ดังภาพที่ 7 คือ ความหยาบ (roughness) การเป็นลอนคลื่น (waviness) และรูปแบบ (form)



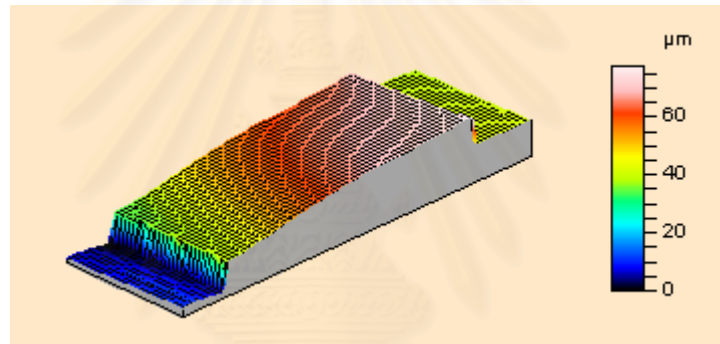
ภาพที่ 7 แสดงองค์ประกอบของพื้นผิว

การศึกษานี้ใช้วิธีการวัดความหยาบพื้นผิว โดยเครื่องวัดความหยาบของพื้นผิว (Surface roughness tester) ประเภท 3 มิติ โดยมีหัวลากชนิดปลายเข็มเพชร (Diamond stylus) ลากผ่านพื้นผิวที่ต้องการทดสอบ ด้วยแรงที่มากกระทำอย่างสม่ำเสมอ

เครื่องวัดความหยาบของพื้นผิวที่ใช้ สามารถวัดความแบนของพื้นผิว (Surface flatness) ความหยาบพื้นผิว (Surface roughness) ความเป็นคลื่นของพื้นผิว (Surface waviness) คุณภาพพื้นผิว (Surface quality) สภาพพื้นผิวโดยรวม (Surface topography) และลักษณะพื้นผิว (Surface characterization) ซึ่งเครื่องสามารถทำการวัดได้เป็น 3 มิติ คือ แกน x แกน y และแกน z โดยเครื่องจะทำการวิเคราะห์พื้นผิวแล้ว แสดงผลออกมาเป็นแถบสีซึ่งบอกความสูงต่ำของพื้นผิวดังภาพที่ 8 รวมทั้งการแสดงผลภาพในรูปแบบ 3 มิติ ดังภาพที่ 9 เมื่อเครื่องสามารถวิเคราะห์พื้นผิวออกมาได้แล้ว จึงใช้คำสั่งให้เครื่องคำนวณค่าพื้นที่ ปริมาตร และความลึกเฉลี่ยออกมา แสดงค่าเป็นตัวเลขดิจิทัลบนหน้าจอต่อไป ดังภาพที่ 10 และสามารถเลือกให้แสดงตัวอย่างกราฟที่ตำแหน่งต่างๆ โดยกราฟ 1 ภาพจะแสดงถึงพื้นผิว 1 ตำแหน่ง (1 Profile) ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 8 แสดงแถบสีซึ่งบอกความสูงต่ำของพื้นผิวขนาด 3×1 มิลลิเมตร ของวัสดุเคลือบหลุมร่อง  
พื้นที่เตรียมอยู่ระหว่างแบบพิมพ์โลหะ



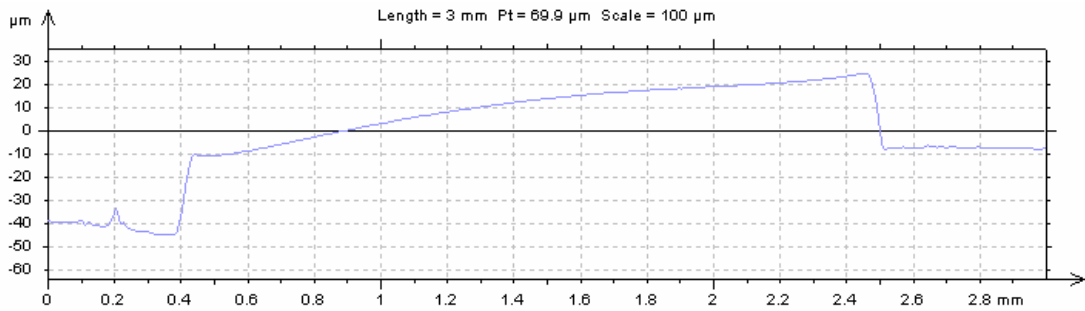
ภาพที่ 9 แสดงภาพการอ่านพื้นผิวรูปแบบ 3 มิติ (พื้นผิวเดียวกับ ภาพที่ 8)



	Hole	Peak
Surface (mm <sup>2</sup> )	0.37	2.62
Volume (mm <sup>3</sup> )	0.00189	0.0741
Max. depth/height (μm)	10.4	42
Mean depth/height (μm)	4.56	28.3

ภาพที่ 10 แสดงค่าการคำนวณพื้นผิวเป็นตัวเลขดิจิทัล (พื้นผิวเดียวกับ ภาพที่ 8)





ภาพที่ 11 แสดงตัวอย่างกราฟ 1 ตำแหน่ง (1 Profile) ที่เลือกจากพื้นผิวเดียวกับ ภาพที่ 8

### ประโยชน์ของเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวแบบ 3 มิติ ที่เหนือกว่า 2 มิติ

1. สามารถอ่านค่าพื้นผิวได้ละเอียดกว่า
2. ค่าทางสถิติที่ได้มีความคงที่กว่า (More statistically stable)
3. สามารถตรวจสอบและวิเคราะห์หาความผิดปกติ (Defects) ของพื้นผิวได้ดีกว่า
4. สามารถนำข้อมูลที่ตรวจสอบได้ไปคำนวณวิเคราะห์ได้หลายวิธี

### ข้อดีของเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวแบบ 3 มิติ

1. การวัดแต่ละรอบใช้ระยะเวลาสั้น
2. ข้อมูลที่วัดได้มีขนาดใหญ่ (Large data files)
3. ราคาแพง

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเกี่ยวกับการสึกในห้องปฏิบัติการ พบว่ามีการใช้เครื่องมือทดสอบหลายแบบ โดยถ้าพิจารณาจากเครื่องมือและวิธีการที่ใช้ทดสอบสามารถจำแนกได้เป็น การทดสอบการสึกจากการแปรงฟันเพียงอย่างเดียว (Toothbrush wear) (43-52) การทดสอบการสึกที่เกิดจาก 3 องค์ประกอบ (Three-body wear test) หรือการสึกจากการบดเคี้ยว (Simulated occlusal wear) (53) และสุดท้ายคือการทดสอบทั้งสองอย่างร่วมกัน (54-56)

ส่วนการจำแนกตามวัสดุที่ใช้ในการทดสอบการสึก สามารถแบ่งออกเป็นการสึกของวัสดุทันตกรรมและการสึกของตัวฟัน ในที่นี้พิจารณาทั้งสองปัจจัยร่วมกันโดยจำแนกเป็น การศึกษาเกี่ยวกับการสึกจากการแปรงของวัสดุทันตกรรม (ตารางที่ 1) การศึกษาเกี่ยวกับการสึกจากการแปรงของฟัน (ตารางที่ 2) และการศึกษาเกี่ยวกับการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน (ตารางที่ 3)

สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบความต้านทานการสึกจากการแปรงฟัน แต่ละงานวิจัยจะมีการกำหนดค่าความเร็วของการแปรง แรงกดหัวแปรง และจำนวนรอบที่ใช้แตกต่างกัน

กัน โดยการศึกษาเรื่องการทดสอบการสึกจากการแปรงของวัสดุทันตกรรม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (สรุปผลการศึกษาในตารางที่ 1)

Wang และคณะ ปี ค.ศ.2004 ศึกษาดูน้ำหนักที่หายไปและความหยาบพื้นผิวของวัสดุอุดฟันเรซินคอมโพสิตชนิดอัดตัวได้ (Packable resin composite) 5 ชนิด ได้แก่ SureFil, Alert, Filtek P60, Prodigy Condensable และ Solitaire กลุ่มควบคุมคือเรซินคอมโพสิต 2 ชนิด (Control resin composite) ได้แก่ Z100 และ Silux Plus ทั้งหมด 7 ชนิด ชนิดละ 12 ชิ้นตัวอย่าง โดยกำหนดจำนวนรอบในการแปรงเท่ากับ 100,000 รอบ แรงกดหัวแปรง 200 กรัม พบว่าน้ำหนักที่หายไปและความหยาบพื้นผิวที่วัดได้จากเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวยี่ห้อ Hommel tester T1000 ภายหลังจากการแปรง มีความแตกต่างจากก่อนแปรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ SureFil and Alert มีความต้านทานต่อการสึก (น้ำหนักหายไปน้อยกว่า) มากกว่าวัสดุอื่นๆ แต่ SureFil มีความหยาบพื้นผิวมากกว่าวัสดุอื่น (43) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกันกับการศึกษาของ Frazier และคณะ ปี ค.ศ.1998 ศึกษาความต้านทานของการสึกจากการแปรงฟัน โดยใช้เครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ ยี่ห้อ V-8 Crossbrushing machine โดยดูน้ำหนักที่หายไปของวัสดุประเภทคอมโพเมอร์ (Compomer) 3 ชนิด ได้แก่ Compoglass, Dyract และ Hytac วัสดุประเภทเรซินโมดิฟายด์ไอออนเมอร์ (Resin-modified glass ionomer – RMGI) 3 ชนิด ได้แก่ Fuji II LC, Photac-Fil และ Vitremer วัสดุประเภทคอมโพสิตเรซิน (Composite resin) 2 ชนิด ได้แก่ Herculite XRV และ Silux Plus รวมทั้งหมด 8 ชนิด ชนิดละ 7 ชิ้นตัวอย่าง จำนวนรอบในการแปรง 120,000 รอบ ความเร็ว 90 รอบต่อนาที แรงกดหัวแปรง 200 กรัม พบว่าน้ำหนักที่หายไปภายหลังจากการแปรง มีค่าแตกต่างจากก่อนแปรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และคอมโพเมอร์เป็นวัสดุที่มีความต้านทานต่อการสึกทั้งน้อยที่สุดและมากที่สุด ส่วนเรซินโมดิฟายด์ไอออนเมอร์มีความต้านทานต่อการสึกใกล้เคียงกับคอมโพสิตเรซินทั้งสองชนิด สรุปได้ว่าวัสดุเหล่านี้ไม่สามารถทำนายน้ำหนักที่หายไปจากการแปรง โดยใช้ส่วนประกอบของวัสดุอุดแทรกเพียงอย่างเดียว (44)

Momoi และคณะ ปี ค.ศ.1997 เปรียบเทียบอัตราการสึกจากการแปรงและความหยาบพื้นผิวที่เปลี่ยนไปของวัสดุเรซินโมดิฟายด์ไอออนเมอร์ (RMGI) 2 ชนิด ได้แก่ Fuji II LC, Photac-Fil Aplicap และวัสดุกระจกไอออนเมอร์ (GI) 2 ชนิด ได้แก่ Fuji II, Ketac-Fil Aplicap เทียบกับ อมัลกัม (Amalgam-Spherical-D) และ คอมโพสิต (Composite-Z100) กลุ่มละ 3 ชิ้นตัวอย่าง ทดสอบการแปรงด้วยเครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ ความเร็ว 160 รอบต่อนาที จำนวนรอบ 20,000 รอบ แรงกดหัวแปรง 340 กรัม ศึกษาความต้านทานต่อการสึกโดยดูปริมาณของวัสดุที่หายไปในแนวตั้ง ด้วยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว (Surfcom-4A, Japan) วัดความแข็งผิว (Surface hardness) ด้วย Knoop hardness (MVK-E, Japan) และดูลักษณะพื้นผิว (Surface

microstructure) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าความต้านทานต่อการสึกของวัสดุเรซินโมดิฟายด์นาโนฟิลคอมโพสิตไฮโอโนเมอร์ต่ำกว่าอัมัลกัมและคอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความต้านทานต่อการสึกและความแข็งผิวของวัสดุเรซินโมดิฟายด์นาโนฟิลคอมโพสิตไฮโอโนเมอร์ ต่ำกว่ากลาสไฮโอโนเมอร์ และความต้านทานต่อการสึกจากการแปร่งที่มีค่าต่ำ มีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งที่น้อยด้วย (45)

Teixeira และคณะ ปี ค.ศ.2005 ศึกษาประเมินการสึกและความหยาบพื้นผิวของวัสดุประเภทเรซินคอมโพสิต 2 ชนิด ได้แก่ ไมโครไฮบริด คอมโพสิต (Microhybrid composite) คือ Filtek Z250 และ นาโนฟิล คอมโพสิต (Nanofill composite) คือ Filtek Supreme โดยทดสอบการแปร่งด้วยเครื่องแปร่งฟันอัตโนมัติ กลุ่มละ 10 ซึ้นตัวอย่าง ความเร็ว 90 รอบต่อนาที แรงกดหัวแปร่ง 250 กรัม วัดความหนาของวัสดุและความหยาบพื้นผิวทั้งหมด 5 ครั้ง คือ วัดค่าเริ่มต้น และวัดเมื่อแปร่งครบ 10,000, 20,000, 50,000 และ 100,000 รอบ การวัดความหนาด้วยไมโครมิเตอร์ วัดความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยด้วยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว (Profilometer, Surfalyzer system 5000, USA) คุณลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด และศึกษารูปร่างพื้นผิว (Surface morphology) ด้วย Atomic force microscopy พบว่าค่าความลึกของการสึกของนาโนฟิล คอมโพสิต (Filtek Supreme) น้อยกว่า ไมโครไฮบริด คอมโพสิต (Filtek Z250) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากการแปร่งครบ 20,000, 50,000 และ 100,000 รอบ ค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ย Filtek Supreme สูงกว่า Filtek Z250 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากการแปร่งครบ 50,000 และ 100,000 รอบ และค่าความหยาบพื้นผิวของวัสดุทั้งสองชนิดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากการแปร่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้น (46)

การศึกษาของ Suzuki และ Minami ปี ค.ศ.2005 คล้ายกับการศึกษา Wakamatsu และคณะ ปี ค.ศ.2003 ในเรื่องการทดสอบความต้านทานต่อการสึก ซึ่งเชื่อว่าการสึกของวัสดุควรจะมีทั้งการสึกจากการแปร่งฟันและการสึกจากการบดเคี้ยว จึงออกแบบให้มีการทดสอบการสึกทั้งสองชนิด โดยการศึกษาของ Suzuki และ Minami ประเมินอัตราการสึกจากการแปร่งและการสึกทั่วไป (Generalized wear) ของวัสดุที่ใช้ในการยึดชนิดต่างๆ (Luting materials) ทั้งหมด 5 ชนิด ทดสอบชนิดละ 16 ซึ้นตัวอย่าง แบ่งเป็นทดสอบการสึกจากการแปร่งและการสึกทั่วไปอย่างละ 8 ซึ้น ทดสอบการสึกจากการแปร่งใช้เครื่องแปร่งฟันอัตโนมัติ แรงกด 1.47 นิวตัน (147 กรัม) เป็นเวลา 100 นาที และการทดสอบการสึกทั่วไป ใช้แรงกด 75 นิวตัน ความเร็ว 72 รอบต่อนาที จำนวนรอบ 133,333 รอบ วัดความลึกของการสึกและลักษณะพื้นผิวของด้วยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว (Surfalyzer 4000) ผลจาก 2-way ANOVA พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างกับชนิดของวัสดุที่ใช้ในการยึด และรูปแบบการสึก (Wear mode) ในเรื่องความลึกของการสึก แต่ไม่พบความแตกต่างของผลกระทบระหว่างวัสดุที่ใช้ในการยึด และรูปแบบการสึก (54) ส่วนการศึกษาของ

Wakamatsu ได้ออกแบบเครื่องทดสอบการสึกแบบรวม (Combined wear test) ที่สามารถทดสอบได้ทั้งการสึกจากการแปร่งและการสึกจากการบดเคี้ยว ของวัสดุประเภทเรซินคอมโพสิต 2 ชนิด ได้แก่ Z100 และ APX เปรียบเทียบกับ Polymethylmethacrylate (PMMA) โดยการทดสอบการแปร่ง ใช้แรงกดหัวแปร่ง 150 กรัม ความเร็วแปร่ง 40 รอบต่อนาที จำนวนรอบ 12,000 รอบ และการทดสอบการสึกจากการบดเคี้ยว ใช้แรงกด 40 นิวตัน ความเร็ว 60 รอบต่อนาที จำนวนรอบ 12,000 รอบ เพื่อศึกษารูปร่างพื้นผิว (Surface profile) ด้วยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว (Surfcom 300A, Japan) ศึกษาพื้นที่ของวัสดุที่หายไปด้วย Planimeter (X-PLAN360i, Japan) และดูลักษณะพื้นผิวที่สึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (S800, Japan) สรุปค่าพื้นที่ส่วนที่หายไปของวัสดุทั้งสามชนิด พบว่าการสึกจากการแปร่งและการสึกแบบรวมของวัสดุทั้งสามมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการสึกจากการบดเคี้ยวไม่มีความแตกต่างกัน และวัสดุที่หายไปของ PMMA และคอมโพสิต มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากสารอัดแทรกที่อยู่ในคอมโพสิต ทำให้มีความต้านทานต่อการสึกจากการขัดสี (55)

ส่วนการศึกษาเกี่ยวกับการสึกจากการแปร่งของตัวฟันในห้องปฏิบัติการ มีทั้งการศึกษาโดยใช้ผิวเคลือบฟันและเนื้อฟันปกติ (47, 48) หรือผิวเคลือบฟันที่ถูกกัดกร่อน (49-51, 56) รวมทั้งการศึกษากับเนื้อฟันที่ถูกกัดกร่อน (52) ซึ่งสรุปรายละเอียดดังในตารางที่ 2

การศึกษาเกี่ยวกับการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันในห้องปฏิบัติการ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (สรุปผลการศึกษาในตารางที่ 3) โดยระยะแรกเป็นการศึกษาของ Ulvestad ปี ค.ศ.1977 วัดความแข็งพื้นผิวของวัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ Concise E.B., Delton, EpoxyLite 9075, Kerr, Nuva-Seal, Adaptic diluted และ Concise diluted โดยมี Adaptic และ Concise ซึ่งเป็นคอมโพสิตเรซินเป็นตัวควบคุม วัดความแข็งผิว 4 ตำแหน่งต่อชิ้น ตัวอย่าง ด้วย Brinell hardness แรงกด 1.953 kp เวลาที่ใช้กด 15 วินาที พบว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เตรียมจากการเจือจางคอมโพสิตเรซิน และวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เติมวัสดุอัดแทรก (Kerr) มีความแข็งผิวสูงกว่าวัสดุที่ไม่มีวัสดุอัดแทรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (57) และการศึกษาของ Roberts และคณะในปี ค.ศ.1977 เกี่ยวกับการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่จำหน่าย ได้แก่ วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เติมวัสดุอัดแทรก (Kerr) และวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ไม่เติมวัสดุอัดแทรก (Delton, Nuvo-seal) โดยทดสอบการสึกแบบ 2 องค์ประกอบ (Two-body abrasion test) ส่วนที่เป็นคู่สับเป็นกระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์ (Silicon carbide paper) เบอร์ 600 ค่าเฉลี่ยของการสึก (Abrasive wear) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างค่าเฉลี่ยของการสึกของวัสดุทั้งสามชนิด แต่ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าลักษณะการเกิดความเสียหายต่อพื้นผิวหรือรอยขีดข่วนของวัสดุทั้งสามต่างกัน วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เติมวัสดุอัดแทรก (Kerr) มีความต้านทานต่อการเกิดรอยที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อพื้นผิวมากที่สุด (58)

ต่อมาในปี ค.ศ.1978 Raadal ศึกษาความต้านทานต่อการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ชนิดไม่เติมวัสดุอุดแทรก (Adaptic Glaze และ Delton) วัสดุที่เตรียมจากการเจือจางคอมโพสิตเรซิน ความเข้มข้น 3 ระดับ (Adaptic diluted with Adaptic bonding agent) และคอมโพสิตเรซินที่ไม่เจือจาง (Adaptic) ทดสอบโดยใช้เครื่องขัดพื้นผิว (Surface grinder) ความเร็ว 19.03 มิลลิเมตรต่อวินาที จำนวน 200 รอบ หลังจากนั้นนำมาส่องกล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง (Light microscope) ศึกษาความต้านทานต่อการสึก พบว่าการเติมวัสดุอุดแทรก (Inorganic filler) ลงในเรซินเพียงเล็กน้อย จะทำให้ความต้านทานต่อการสึกดีขึ้นมาก (59)

Futatsuki และคณะ ปี ค.ศ.2001 ศึกษาเกี่ยวกับการสึกของวัสดุเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ (RMGI) 2 ชนิด (Fuji II LC, Fuji III LC) กลาสไอโอโนเมอร์ (GI) 2 ชนิด (Fuji II, Fuji III) วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดเรซิน (Concise) และ คอมโพสิตเรซิน (Z-100) กลุ่มละ 4 ชั้น ทดสอบการสึกแบบ 3 องศาประกอบ ซึ่งเลียนแบบลักษณะการบดเคี้ยว แรงกด 4 กิโลกรัมฟุตต่อตารางเซนติเมตร ( $\text{kgf/cm}^2$ ) จำนวน 20,000 รอบ วัดความลึกของการสึกด้วยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวชนิดเลเซอร์ (Computerized laser surface scanner) พบว่ากลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ มีการสึกมากกว่าคอมโพสิตเรซินและวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดเรซิน ส่วนวัสดุเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์มีการสึกไม่แตกต่างจากกลาสไอโอโนเมอร์ (53)

สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับการยึดติดและการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทางคลินิก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (สรุปผลการศึกษาในตารางที่ 4) โดยรายงานของ Jensen และคณะ ปี ค.ศ.1985 ศึกษาดูปริมาตรที่หายไปของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน 4 ชนิด ของฟันกรามและฟันกรามน้อยแท้ 381 ซี่ จากเด็ก 53 คน โดยใช้วิธีพิมพ์ปากเพื่อทำแบบพิมพ์ หลังจากนั้นคำนวณหาปริมาตรที่หายไปจากการซึมน้ำหนักวัสดุที่ใช้พิมพ์ พบว่ามีการสูญเสียปริมาตรของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันถึงร้อยละ 50 ภายใน 1 เดือน หลังจากการเคลือบหลุมร่องฟัน และเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 75 ที่เวลา 2 ปี (25) เช่นเดียวกันกับรายงานของ Simonsen ในปี ค.ศ.1987 ว่ามีการหายไปของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันอย่างมากเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น โดยที่เวลา 10 ปี พบว่ามีการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ร้อยละ 56.7 และพบว่าเกิดฟันผุบริเวณฟันที่มีการสูญเสียของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันร้อยละ 15.6 (26) ต่อมาในปี ค.ศ.1995 Aranda และ Garcia-Godoy ประเมินการยึดติดและการสึกทางคลินิกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดแข็งตัวด้วยแสง พบว่าอัตราการยึดติดจากการตรวจโดยใช้สายตาที่ระยะเวลา 12 เดือน มีวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยึดติดอย่างสมบูรณ์ 20 เปอร์เซ็นต์ วัสดุสูญเสียบางส่วน 70 เปอร์เซ็นต์ และวัสดุสูญเสียทั้งหมด 10 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งมีการประเมินลักษณะการสึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) โดยพิมพ์ปากทันทีหลังจากเคลือบหลุมร่องฟันเสร็จ และที่เวลา 3, 6, 9 และ 12 เดือน พบว่าที่ระยะเวลา 12 เดือน ถึงแม้ว่าทางคลินิกจะมีการสูญเสียของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน แต่

จาก SEM จะพบวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันอยู่ในส่วนลึกสุดของหลุมและร่องฟันทุกซี่ และไม่พบว่าเกิดการผุของฟันที่ได้รับการเคลือบหลุมร่องฟันด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ (60)

การศึกษาทางคลินิกเรื่องการเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ชนิดแข็งตัวด้วยแสง (concrete) โดยใช้เครื่องทดสอบความหยาบพื้นผิวและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของ Conry และคณะ ในปี ค.ศ.1990 ประเมินวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่สูญหายไป ภายหลังจากการทำเป็นเวลา 6 เดือน ทำโดยพิมพ์ปากก่อนและหลังเคลือบหลุมร่องฟัน และที่เวลา 6 เดือน หลังจากนั้น ทำแม่แบบ (die) และ ดัชนีพลาสติกเรซิน (stone index) จากวัสดุที่พิมพ์ได้แต่ละช่วงเวลา แล้วนำไปดูพื้นผิวด้วยเครื่อง Computer-guided stylus และนำภาพที่อ่านได้มาซ้อนทับกันโดยใช้โปรแกรม goodness of fit คอมพิวเตอร์จะคำนวณปริมาตร พื้นที่ และความลึก พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาตรของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่หายไป คิดเป็นร้อยละ 13.99 ของปริมาตรทั้งหมด ซึ่งความแตกต่างของการสึกของฟันแต่ละซี่ ขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งและรูปร่างของฟันในขากรรไกร ลำดับการขึ้นของฟันในช่องปาก และลักษณะการเคี้ยวอาหาร (Masticatory function) (27) และการศึกษาของ Pintado และคณะ ในปี ค.ศ.1991 ประเมินการสูญหายไปของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ระยะเวลา 30 เดือน ไม่พบความแตกต่างระหว่างฟันแต่ละกลุ่ม ในเรื่องปริมาตรที่หายไป ความลึกและพื้นที่ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน โดยค่าเฉลี่ยของปริมาตรของวัสดุที่หายไปคือ  $0.43 \pm 0.24$  ลูกบาศก์มิลลิเมตร ( $\text{mm}^3$ ) และค่าเฉลี่ยของความลึกสูงสุดของการสึกคือ  $221.8 \pm 115.1$  ไมโครเมตร และการที่จะอธิบายถึงลักษณะของการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันในช่องปาก ไม่สามารถอ้างถึงด้วยตัวแปรเพียงชนิดเดียว ปริมาตรหรือความลึกที่หายไปไม่ใช่ตัวบอกลักษณะทางคลินิกโดยตรง (28)

ปัจจุบันมีวิธีวัดปริมาณการสึกกร่อนของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันเป็นจำนวนมาก ทั้งทางห้องปฏิบัติการและทางคลินิก ที่แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันเมื่อระยะเวลาผ่านไป โดยไม่จำเป็นการศึกษาทางใดก็ตาม ส่วนใหญ่มักจะวิเคราะห์ผลในเชิงปริมาณโดยใช้เครื่องทดสอบความหยาบพื้นผิวร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์

คุณสมบัติในการต้านทานต่อการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน เป็นปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาประกอบในเรื่องความแข็งแรงหรือคุณสมบัติทางกลของวัสดุ เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สามารถบอกถึงอายุการใช้งานของวัสดุในช่องปากของผู้ป่วยได้ เมื่อวัสดุมีการสึกและการละลายตัวจะทำให้เกิดผลเสียตามมา เช่น ทำให้เกิดการสูญหายของวัสดุ การรั่วซึมบริเวณขอบ และเกิดการผุตามมาได้ ทั้งนี้การสึกที่เกิดขึ้นภายในช่องปาก เป็นขบวนการที่ซับซ้อนและยังมีความแตกต่างกันในแต่ละบุคคล จึงเป็นการยากที่จะสร้างให้เกิดสภาวะต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการสึกได้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพียงครั้งเดียว ด้วยเหตุนี้ปัญหาการสึกจากการแปร่งฟันของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันจึงถูกพิจารณา เนื่องจากเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการสึก อีกทั้งยังไม่มีการศึกษาการทดสอบการสึกจากการแปร่งของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันในห้องปฏิบัติการ เมื่อใช้

ร่วมกับเครื่องทดสอบความหยาบพื้นผิวกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะทำให้ทราบปริมาณการสึก  
ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันจากการแปร่งได้ ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงออกแบบให้มีการทดสอบความ  
ต้านทานการสึกจากการแปร่งด้วยเครื่องแปร่งฟันอัตโนมัติ (V-8 Cross Brushing Machine)  
จำนวนรอบ 20,000 รอบ ความเร็ว 90 รอบต่อนาที แรงกดหัวแปร่ง 200 กรัม และประเมินปริมาตร  
ที่หายไปด้วยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวชนิดสามมิติ แบบที่มีการสัมผัสกับพื้นผิวด้วยเข็มลาก  
(TalyScan 150) วัดอุปสรรคเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เรื่องความต้านทานต่อการสึก  
จากการแปร่งของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่พัฒนาขึ้นโดยคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย (พีวีไอแคร์) เปรียบเทียบกับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 สรุปผลการศึกษาศึกษาการสึกจากการแปรงฟันของวัสดุทันตกรรมในห้องปฏิบัติการ

ผู้ศึกษาวิจัย	อุปกรณ์และวิธีการ	ตัววัด	วัสดุที่ใช้ทดสอบ	ผลการศึกษา
Wang L. et al, 2004	- เครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ (100,000 รอบ แรงกด 200 กรัม ) - แปรงสีฟันขนแปรงนุ่ม (Colgate Classic)	- น้ำหนักที่หายไป - ความหยาบพื้นผิว (Hommel Tester T 1000)	- Packable resin composites 5 ชนิด - Control resin composites 2 ชนิด - กลุ่มละ 12 ซึ้นตัวอย่าง	- น้ำหนักที่หายไปและความหยาบพื้นผิว - หลังจากการแปรง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
Frazier KB, Rueggeberg FA, Mettenburg DJ, 1998	- ทดสอบการสึกใช้เครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ (V-8 Crossbrushing machine) จำนวนรอบ 120,000 รอบ - ความเร็วหัวแปรง 90 รอบ/นาที แรงกด 200 กรัม - แปรงสีฟัน (Oral B 35-soft)	- น้ำหนักที่หายไปด้วยเครื่องชั่ง Balance (MP8 Sartorius Corp., USA) - ความแข็งผิว ด้วย Knoop hardness (MVK-E, Japan) - ลักษณะพื้นผิว ด้วย SEM	- Compomers 3ชนิด - RMGI 3 ชนิด - Composites 2 ชนิด - กลุ่มละ 7 ซึ้น	- น้ำหนักที่หายไปภายหลังจากการแปรง มีค่าแตกต่างจากก่อนแปรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ - วัสดุเหล่านี้ไม่สามารถทำนายน้ำหนักที่หายไปจากการแปรง จากส่วนประกอบของวัสดุอุดแทรกเพียงอย่างเดียว
Momoi Y. et al, 1997	- ทดสอบการสึก โดยใช้ Camshaft driven ความเร็ว 160 รอบต่อนาที จำนวน 20,000 รอบ แรงกด 340 กรัม - แปรงสีฟันไนลอน (GC Prospec, medium)	- คุบปริมาณของวัสดุที่หายไปในแนวตั้ง ด้วย Profilometer (Surfcom-4A, Japan) - ความแข็งผิว ด้วย Knoop hardness (MVK-E, Japan) - ลักษณะพื้นผิว ด้วย SEM	- RMGI 2 ชนิด - GI 2 ชนิด - Amalgam 1 ชนิด - Composite 1 ชนิด - กลุ่มละ 3 ซึ้น	- ความต้านทานต่อการสึกของ RMGI ต่ำกว่า Amalgam และ Composite อย่างมีนัยสำคัญ - ความต้านทานต่อการสึกและความแข็งผิว RMGI ต่ำกว่า GI - ความต้านทานต่อการสึกจากการแปรงต่ำ จะสัมพันธ์กับความแข็งผิวต่ำด้วย



ผู้ศึกษาวิจัย	อุปกรณ์และวิธีการ	ตัววัด	วัสดุที่ใช้ทดสอบ	ผลการศึกษา
Teixeira EC. et al, 2005	ทดสอบการสึกด้วยเครื่องแปรง ฟัน ครั้งละ 10 ซั้่น ความเร็ว 90 รอบ/นาที แรงกด 250 กรัม แปรงสีฟัน (Oral-B Indicator 40 Soft)	ความหนาวัสดุ ด้วย Precision micrometer ความหยาบพื้นผิวเฉลี่ย ด้วย Profilometer Surface microstructure ด้วย SEM Surface morphology วัดด้วย Atomic force microscopy (AFM)	Microhybrid (Filtek Z250) Nanofill composite (Filtek Supreme) กลุ่มละ 10 ซั้่น	ค่าความหยาบพื้นผิวของวัสดุทั้งสองชนิด สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากการแปรงเมื่อ เทียบกับค่าเริ่มต้น
Suzuki S, Minami H. 2005	ทดสอบการสึกจากการแปรงด้วย เครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ (เวลา 100 นาที แรงกด 1.47 นิวตัน) ทดสอบ Three-body generalized wear test (แรง 75 นิวตัน ความเร็ว 72 รอบ/นาที จำนวน 133,333 รอบ)	การสึก และพื้นผิวโดยใช้เครื่อง Profilometer (Surfanalyzer 4000, Federal products, USA)	Resin-based composite (Variolink II) Self-adhesive compomer (Principle) Hybrid GI (Rely-X Luting) Conventional GI (Fuji I) Zinc phosphate (Fleck's cement) กลุ่มละ 16 ซั้่น โดยแบ่งเป็น ทดสอบ การแปรง 8 ซั้่น และ Three body wear test 8 ซั้่น	ความลึกของการสึก มีความแตกต่างอย่างมี นัยสำคัญ ระหว่างวัสดุสำหรับยึดติด และ สั้กษณะการสึก (Wear mode) การสึกจากการแปรงฟัน พบว่า Composite & Compomer มีการสึกต่ำกว่า Hybrid GI & Conventional GI & Zinc อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ส่วน Generalized wear test พบว่า Composite มีการสึกต่ำกว่า Zinc & hybrid GI อย่างมีนัยสำคัญ แต่ต่ำกว่า Compomer & GI อย่างไม่มีนัยสำคัญ

ผู้ศึกษาวิจัย	อุปกรณ์และวิธีการ	ตัววัด	วัสดุที่ใช้ทดสอบ	ผลการศึกษา
Wakamatsu Y. et al, 2003	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เครื่องทดสอบการสึกแบบรวมที่สามารถทดสอบได้ทั้งการแปรงพื้นและการสึกจากการบดเคี้ยว</li> <li>- Simulated occlusal wear แรงกด 40 นิวตัน ความเร็ว 60 รอบ/นาที จำนวน 12,000 รอบ</li> <li>- Toothbrush wear แรงกด 150 กรัม ความเร็ว 40 รอบ/นาที จำนวน 12,000 รอบ</li> <li>- แปรงสีฟัน (Butler #211)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Surface profile ด้วย Profilometer (Surfcom 300A, Japan)</li> <li>- พื้นที่ของวัสดุที่หายไป ด้วย Planimeter (X-PLAN360i, Japan)</li> <li>- ลักษณะพื้นผิวที่สึก ด้วย SEM (S800, Japan)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Polymethylmethacrylate (PMMA)</li> <li>- Two resin composites (Z100, APX)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Surface profile ของการสึกจากการแปรงและการบดเคี้ยว มีลักษณะแตกต่างกัน</li> <li>- การสึกจากการแปรงของวัสดุแต่ละชนิด มีความแตกต่างกันในเรื่องพื้นที่ของวัสดุที่หายไป</li> <li>- การสึกจากการบดเคี้ยวของวัสดุทั้งสาม ไม่มีความแตกต่างกันในเรื่องพื้นที่ของวัสดุที่หายไป</li> <li>- การสึกแบบรวมของวัสดุทั้งสาม มีความแตกต่างกันในเรื่องของพื้นที่ของวัสดุที่หายไป</li> </ul>

ตารางที่ 2 สรุปผลการศึกษาศึกษาการสึกจากการแปรงของฟันในห้องปฏิบัติการ

ผู้ศึกษาวิจัย	อุปกรณ์และวิธีการ	ตัววัด	ส่วนที่ทดสอบ	ผลการศึกษา
Philpotts CJ. et al, 2005	- ทดสอบการสึกจากการแปรงของผิวเคลือบฟันและเนื้อฟัน ด้วยยาสีฟันที่มีค่าความสามารถในการขัดสีต่างกัน ด้วยเครื่องแปรงฟัน (Wira brushing machine) แรงกด 375 กรัม เวลา 6 นาที ความเร็ว 150 รอบ/นาที รวมเป็น 900 รอบ	- ความแข็งผิว ด้วย Knoop indent length - ลักษณะพื้นผิว (Surface topography) ก่อนและหลังแปรงฟัน ด้วย Interference microscopy แล้วใช้ White light interferometry สร้างภาพ 3 มิติ	- รากฟันหน้าและฟันกรามของมนุษย์ นำมาขัดผิวให้ได้หน้าตัดเรียบ และมีพื้นที่ของชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟันเท่าๆกัน - ยาสีฟัน 7 ชนิด - กลุ่มละ 8 ซึ้น	- ยาสีฟันที่มีค่าความสามารถในการขัดสีสูง ก็จะทำให้เกิดการสึกได้มาก
Vieira A, Overweg E, Ruben JL, Huysmans MC. 2005	- การทดสอบโดยจำลองสภาวะของการดื่ม น้ำ (ที่มีการกัดกร่อนฟัน) แล้วตามด้วยการสัมผัสแรง เช่น toothbrush abrasion, attrition and tongue friction - Erosion step – แช่ชิ้นตัวอย่างในสาร Demin. 50 ml. 10 นาที - Abrasion step – แรงแรง 150 กรัม แปรง 1 นาที (200 รอบ)	- ปริมาตรเคลือบฟันที่หายไป (Volume loss) และความลึกเฉลี่ย ด้วย Optical profilometry (Proscan 2000, England) scan กว้าง 5 มม. สูง 3 มม.	- Bovine enamel (eroded) - กลุ่มละ 6 ซึ้นแบ่งออกเป็น 7 กลุ่ม ได้แก่ (er/remin); (abr/remin); (er/abr/remin); (at/remin); (er/at/remin); (tg/remin); (er/tg/remin)	- มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างปริมาณเคลือบฟันที่หายไป เนื่องจากการสึกวิธีต่างๆ - ความลึกของการสึกของ er/at/remin and er/tg/remin สูงกว่ากลุ่มของ er/remin อย่างมีนัยสำคัญ

ผู้ศึกษาวิจัย	อุปกรณ์และวิธีการ	ตัววัด	ส่วนที่ทดสอบ	ผลการศึกษา
Eisenburger M. et al, 2003	ทดสอบการสึกของเคลือบฟันที่ถูกกัดกร่อนและถูกขัดสี ด้วยเครื่องแปรงฟัน แรงกด 200 กรัม ความเร็ว 50 รอบต่อนาที วัดการสึกที่ 1,000 2,000 3,000 และ 4,000 รอบ	การสึกของผิวเคลือบฟัน ด้วยเครื่อง Profilometer	ฟันกรามแท้ซี่ที่สาม (Eroded enamel) กลุ่มละ 4 ซี่	เคลือบฟันที่ถูกกัดกร่อนร่วมกับการขัดสี จะมีการสึกมากกว่าฟันที่ถูกกัดกร่อนเพียงอย่างเดียว อย่างมีนัยสำคัญ - ไม่มีความแตกต่างในเรื่องการสึกหลังจากการแปรงโดยมีและไม่มีการขัด - การแปรงในสภาวะที่มีทั้งกรดและผงขัด ทำให้เกิดการสึกมากกว่าฟันที่ถูกกรดแล้วค่อยตามด้วยการแปรงถึง 50%
Turssi CP. et al, 2005	ทดสอบการแปรงฟันบนผิวเคลือบฟันปกติและที่ถูกกัดกร่อน จำนวน 5,000 รอบ (ไม่บอกความเร็วและแรง) - Acidic drink (Sprite Diet, pH 2.73) - แปรงสีฟันขนนุ่ม (Colgate classic)	ความลึกของการสึก และความหยาบพื้นผิว (Ra) ด้วย Profilometer (Surfcorder SE-1700, Japan)	Bovine enamel slabs (eroded) - ทดสอบทั้งหมด 10 กลุ่ม กลุ่มละ 15 ซี่ - ยาสีฟัน 4 ชนิด ได้แก่ Regular (RE), Baking soda (BS), Tartar control (TC), Whitening (WT) และน้ำกลั่น (CO) เป็นตัวควบคุม	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสภาวะของเคลือบฟัน (ถูกกัดกร่อนและปกติ) และยาสีฟัน ทั้งในเรื่องของความหยาบพื้นผิวและการสึก

ผู้ศึกษาวิจัย	อุปกรณ์และวิธีการ	ตัววัด	ส่วนที่ทดสอบ	ผลการศึกษา
Sorensen JA, Nguyen HK, 2002	- ทดสอบการสึกจากการแปรง 2 แบบ คือ 1. Manual toothbrush แรงกด 250 กรัม ความเร็ว 120 รอบต่อนาที 2. Powered toothbrush แรงกด 90- 150 กรัม	- ปริมาณเนื้อฟันที่หายไป ด้วยเครื่อง Profilometry (Surfanalyzer 4000 system, USA)	- Human dentin - กลุ่มละ 12 ซี่น	- การประเมินการสึกของเนื้อฟันเกี่ยวข้องกับ แปรงสีฟันที่ใช้ จากการศึกษพบว่า การสึก ขึ้นอยู่กับวิธีและทิศทางที่แปรง และการ แปรงด้วยแปรงสีฟันไฟฟ้าจะมีระดับการสึก ของเนื้อฟันที่แตกต่างกัน
Kielbassa AM, et al, 2005	- ทดสอบการสึกจากการแปรงของผิว เคลือบฟันปกติและที่ถูกทำให้ผุ ร่วมกับผลของฟลูออไรด์เจล ด้วย เครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ (VDD Electronic, Germany) จำนวน 16,000 รอบ แรงกด 275 กรัม ความเร็ว 200 รอบต่อนาที	- การสึกจากการขัดสี (Abrasion) ด้วย Laser profilometer	- Bovine enamel (eroded)	- ฟันปกติ มีการสึกน้อยกว่าฟันที่ถูกทำให้ผุ อย่างมีนัยสำคัญ ประมาณ 50% - การแปรงด้วยน้ำและฟลูออไรด์เจลที่ไม่มีผง ขัด เกิดการสึกน้อยมากจนถือว่าไม่เกิดการ สึก - สรุปว่าการแปรงบนฟันที่ถูกทำให้ผุ จะถูก ขัดสีได้มากกว่าฟันปกติ
Attin T. et al, 1998	- ทดสอบการสึกด้วยเครื่องแปรง ของ เนื้อฟันที่ถูกกัดกร่อน แล้วแช่ สารละลายโซเดียมฟลูออไรด์ความ เข้มข้น 250 และ 2,000 ppm	- การสึกของฟัน ด้วย Profilometer	- Bovine incisors (Dentin eroded) - กลุ่มละ 15 ซี่น	- การใช้สารละลายโซเดียมฟลูออไรด์ ช่วย เพิ่มความต้านทานต่อการสึกของเนื้อฟันที่ ถูกกัดกร่อน - ฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้นสูง จะเพิ่มความ ต้านทานต่อการสึกได้ดีกว่าอย่างมี นัยสำคัญ

ตารางที่ 3 สรุปผลการศึกษาศึกษาการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันในห้องปฏิบัติการ

ผู้ศึกษาวิจัย	อุปกรณ์และวิธีการ	ตัววัด	วัสดุที่ใช้ทดสอบ	ผลการศึกษา
Ulvestad H., 1977 Hardness testing of some fissure-sealing materials.	วัดความแข็งผิว 4 ตำแหน่ง ต่อชิ้นตัวอย่าง แรงกด 1.953 kp เวลาที่ใช้กด 15 วินาที	ความแข็งผิว ด้วย Brinell hardness	วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน 7 ชนิด (Concise E.B., Delton, Kerr, EpoxyLite 9075, Nuva-Seal, Adaptic diluted, Concise diluted) Control composite (Adaptic, Concise)	วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เตรียมจากการเจือจางคอมโพสิตเรซิน และวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เติมวัสดุอุดแทรก (Kerr) มีความแข็งผิวสูงกว่าวัสดุที่ไม่มีวัสดุอุดแทรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
Roberts JC, et al, 1977 Wear of commercial pit and fissure sealants.	Two body abrasion test คู่สับ เป็น Silicon carbide paper 600 grit	ค่าเฉลี่ยของการสึก (Abrasive wear) ความเสียหายของพื้นผิว (Surface failure) ด้วย SEM	Filled sealant (Kerr) Unfilled sealant (Delton, Nuvo-seal) กลุ่มละ 5 ชิ้น	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างค่าเฉลี่ยของการสึกของวัสดุทั้งสามชนิด แต่จาก SEM พบว่าลักษณะรอยขีดของวัสดุทั้งสามต่างกัน โดย Kerr มีความต้านทานต่อการเกิดรอยที่พื้นผิวมากที่สุด
Raadal M, 1978 Abrasive wear of filled and unfilled resins in vitro.	ทดสอบโดยใช้ เครื่องขัดผิว (Surface grinder) ความเร็ว 19.03 มิลลิเมตรต่อวินาที จำนวน 200 รอบ	ความต้านทานต่อการสึก ด้วย Light microscope	- Unfilled resins (Adaptic Glaze and Delton) - Three degrees of diluted composite (Adaptic diluted) Undiluted composite (Adaptic) กลุ่มละ 10 ชิ้น	การเติมวัสดุอุดแทรก (Inorganic filler) ลงในเรซินเพียงเล็กน้อย จะทำให้ความต้านทานต่อการสึกดีขึ้นมาก

ผู้ศึกษาวิจัย	อุปกรณ์และวิธีการ	ตัววัด	วัสดุที่ใช้ทดสอบ	ผลการศึกษา
Futatsuki M, et al, 2001 Wear of resin-modified glass ionomers: an in vitro study.	ทดสอบ Three body wear เป็น Simulated masticatory action แรงกด 4 kgf/cm <sup>2</sup> จำนวน 20,000 รอบ	ความลึกของการสึก ด้วย Computerized laser surface scanner	RMGI (Fuji II LC, Fuji III LC) GI (Fuji II, Fuji III) Resin-based sealant (Concise) Composite resin (Z-100) กลุ่มละ 4 ชิ้น	กลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ มีการสึกมากกว่า คอมโพสิตเรซิน และวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน RMGI มีการสึกไม่แตกต่างจาก GI

ตารางที่ 4 สรุปผลการศึกษการยึดติดและการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทางคลินิก

ผู้ศึกษาวิจัย	วัสดุที่ใช้ทดสอบ	อุปกรณ์และวิธีการ	ตัววัด	ผลการศึกษา
Jensen OE, et al, 1985 Occlusal wear of four pit and fissure sealants over two years.	ฟันกรามและฟันกรามน้อยแท้ 381 ซี่ จากเด็ก 53 คน อายุ 12-16 ปี วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน 4 ชนิด ได้แก่ Delton, Kerr, Nuva-Cote, Nuva-Seal	คัดเลือกฟันและเคลือบหลุมร่องฟันตามคำแนะนำของบริษัทแบบสุ่ม พิมพ์ปากก่อนและหลังเคลือบหลุมร่องฟันทันทีและ ที่เวลา 1, 6, 12, 18, 24 เดือน รวม 7 ครั้ง ทำ silver coping จาก die ของวัสดุที่พิมพ์ทันทีหลังจากเคลือบหลุมร่องฟัน ใช้ silver coping เป็นภาคพิมพ์ในแต่ละครั้ง	ปริมาณของวัสดุที่หายไปจากการซั้หน้าหนักวัสดุที่ใช้พิมพ์จาก die แต่ละครั้ง	ที่เวลา 1 เดือน ปริมาณของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันสูญหายไปถึงร้อยละ 50 ที่เวลา 2 ปี มีการสูญหายเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 75 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในเรื่องอัตราการสึกทางคลินิกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันระหว่างวัสดุที่เติมและไม่เติมสารอัดแทรก หรือระหว่างวัสดุที่แข็งตัวได้เองและแข็งตัวโดยการกระตุ้นจากแสงยูวี
Simonsen RJ, 1987 Retention and effectiveness of a single application of white sealant after 10 years.	ผู้ป่วยอายุ 5-15 ปี จำนวน 28 คน ที่มีฟันกรามแท้ซี่ที่หนึ่งครบทั้ง 4 ซี่ white sealant (ไม่ระบุนยี่ห้อ)	แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ sealed group (28คน) และ unsealed group (12 คน)	การยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน อัตราการเกิดฟันผุ	ที่เวลา 10 ปี มีการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ร้อยละ 56.7 พบว่าเกิดฟันผุ บริเวณฟันที่มีการสูญหายของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ร้อยละ 15.6 กลุ่มที่ไม่ได้เคลือบหลุมร่องฟันเกิดฟันผุ ร้อยละ 68.3



ผู้ศึกษาวิจัย	วัสดุที่ใช้ทดสอบ	อุปกรณ์และวิธีการ	ตัววัด	ผลการศึกษา
Aranda M, Garcia-Godoy F, 1995 Clinical evaluation of the retention and wear of a light-cured pit and fissure glass ionomer sealant.	ผู้ป่วยอายุ 25 คน อายุ 7-14 ปี GC experimental glass ionomer for pit and fissures	ปรับสภาพผิวฟันด้วย GC Dentin Conditioner ล้างและเป่าลม ผสม GC glass ionomer ตามอัตราส่วนที่กำหนด พิมพ์ปากหลังจากเคลือบหลุมร่องฟันเสร็จทันที และที่เวลา 3, 6, 9 และ 12 เดือน เพื่อเตรียม epoxy models ใช้ประเมินการสึก	อัตราการรียดติดจากการตรวจโดยใช้สายตาที่ระยะ เวลา 12 เดือน ประเมินลักษณะการสึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM)	ที่ระยะเวลา 12 เดือน มีวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยึดติดอย่างสมบูรณ์ร้อยละ 20 วัสดุสูญเสียบางส่วนร้อยละ 70 และวัสดุสูญเสียทั้งหมดร้อยละ 10 จาก SEM พบวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันอยู่ในส่วนลึกสุดของหลุมร่องฟันทุกซี่ และไม่พบว่าการผูกของฟันที่ได้รับการเคลือบด้วยกลาสไอโอโนเมอร์
Conry JP, et al, 1990 Quantitative changes in fissure sealant six months after placement.	ฟันกรามน้อยแท้ 22 ซี่ Concise	พิมพ์ปากก่อนและหลังเคลือบหลุมร่องฟัน และที่เวลา 6 เดือน ทำ die และ stone index ดูพื้นผิวด้วยเครื่อง Computer-guided stylus และนำภาพที่อ่านได้มาซ้อนทับกันโดยใช้ goodness of fit โดยคอมพิวเตอร์จะคำนวณปริมาตร ฟันที่และความลึก	ประเมินวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่สูญเสียไปหลังจาก 6 เดือน	ที่เวลา 6 เดือน ค่าเฉลี่ยของปริมาตรของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่หายไป คิดเป็นร้อยละ 13.99 ของปริมาตรทั้งหมด

ผู้ศึกษาวิจัย	วัสดุที่ใช้ทดสอบ	อุปกรณ์และวิธีการ	ตัววัด	ผลการศึกษา
Pintado MR, et al, 1991 Fissure sealant wear at 30 months: new evaluation criteria.	- ฟันกรามน้อยแท้ 18 ซี่ - Concise	- ขั้นตอนการศึกษาเหมือนกับการศึกษาก่อนหน้านี้ (Conry JP,1990)	- ประเมินวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่สูญหายไปหลังจาก 30 เดือน	- ไม่พบความแตกต่างระหว่างฟันแต่ละกลุ่มในเรื่องปริมาตรที่หายไป ความลึกและพื้นที่ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน - ค่าเฉลี่ยของปริมาตรของวัสดุที่หายไปคือ $0.43 \pm 0.24 \text{ mm}^3$ - ค่าเฉลี่ยของความลึกสูงสุดของการสึกคือ $221.8 \pm 115.1 \text{ }\mu\text{m}$

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### ตัวอย่าง (Sample)

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน 4 ชนิด ได้แก่

1. วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพรีโวกเรซชนิดทึบ (Prevocare™ opaque, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Thailand)
2. วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพรีโวกเรซชนิดใส (Prevocare™ clear, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Thailand)
3. วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันคอนไซส์ (Concise™ white sealant, 3M ESPE, St.Paul, USA)
4. วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันเดลตัน (Delton® clear, Dentsply, USA)

#### คำจำกัดความที่ใช้

1. **ชิ้นตัวอย่าง** หมายถึง วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งอยู่ในแบบพิมพ์โลหะที่วางบนฐานโลหะ
2. **แบบพิมพ์โลหะ** หมายถึง แม่แบบสำหรับเตรียมวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน มีลักษณะเป็นแผ่นโลหะ 2 แผ่นวางประกบกัน ตรงกลางเป็นช่องว่างซึ่งเป็นบริเวณสำหรับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน
3. **ฐานโลหะ** หมายถึง ฐานรับแบบพิมพ์โลหะ มีขนาดพอดีสามารถวางบนเครื่องแปร่งฟันอัตโนมัติได้ และบริเวณข้างใต้ฐานโลหะเจาะเป็นช่อง 2 ช่อง เป็นที่สำหรับยึดกับแท่งเหล็กที่ติดกับเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว
4. **การสึกจากการแปร่งฟัน** หมายถึง การสึกที่เกิดจากการขัดสี (Abrasive wear) หลังแปร่งด้วยเครื่องแปร่งฟันอัตโนมัติ 20,000 รอบ
5. **ปริมาตรของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ลดลง** หมายถึง ปริมาตรของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ลดลงหลังจากการแปร่ง คำนวณโดยนำพื้นผิวที่เครื่องอ่านค่าได้ก่อนการแปร่งลบด้วยพื้นผิวที่อ่านค่าได้หลังการแปร่ง โดยใช้คำสั่ง Surface subtraction คำนวณหาปริมาตรจากพื้นผิวใหม่ที่เกิดจากการลบกัน

6. ความลึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ลดลง หมายถึง ความลึกที่เกิดจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน คำนวณโดยนำพื้นผิวที่เครื่องอ่านค่าได้ก่อนการแปรงลบด้วยหลังการแปรง โดยใช้คำสั่ง Surface subtraction คำนวณหาความลึกจากพื้นผิวใหม่ที่เกิดจากการลบกัน

### ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (Sample size)

ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณจากผลการวิจัยนำร่อง (ภาคผนวก) และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่ยอมรับทั้งที่สมมุติฐานเป็นจริง (Type I error,  $\alpha$ ) เท่ากับ 0.05 และค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับทั้งที่สมมุติฐานไม่เป็นจริง (Type II error,  $\beta$ ) 0.2 โดยคำนวณจากสูตรการหาขนาดตัวอย่าง เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับประชากร 2 กลุ่ม โดยทดสอบแบบสองทาง (61) ดังนี้

$$\text{จำนวนตัวอย่างต่อกลุ่ม} = \frac{2Sp^2 (Z_{1-\alpha/2} + Z_{1-\beta})^2}{D^2}$$

$$\text{เมื่อ} \quad D^2 = (\mu_1 - \mu_2)^2$$

$$\text{กรณีที่ } n_1 = n_2 : \quad Sp^2 = \frac{S_1^2 + S_2^2}{2}$$

$$\text{กรณีที่ } n_1 \neq n_2 : \quad Sp^2 = \frac{(n_1 - 1) S_1^2 + (n_2 - 1) S_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}$$

จากผลการวิจัยนำร่อง ทดสอบการสีกทั้งหมด 4 รอบ กลุ่มละ 8 ซึ้นตัวอย่าง (Concise และ Delton เกิดการชำรุดชนิดละ 1 ซึ้นตัวอย่าง) ปริมาตรของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการแปรงฟัน แสดงในตารางที่ 5 รวมทั้งแสดงผลการคำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาตรที่เปลี่ยนไปของวัสดุแต่ละชนิด ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความแปรปรวน ( $S^2$ )

การคำนวณจำนวนตัวอย่าง ทำโดยการจับคู่ที่เป็นไปได้ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน 4 ชนิด เพื่อใช้คำนวณจำนวนตัวอย่าง ได้ทั้งหมด 6 คู่ และเมื่อแทนค่าในสูตรคำนวณ จะได้ค่า  $Sp^2$ ,  $(\mu_1 - \mu_2)^2$  และจำนวนตัวอย่างต่อกลุ่ม ดังตารางที่ 6

หมายเหตุ : A คือ Concise

B คือ Prevocare opaque

C คือ Delton

D คือ Prevocare clear

N หมายถึง จำนวนตัวอย่างต่อกลุ่ม

ตารางที่ 5 แสดงผลของปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการแปรงพัน ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบน  
มาตรฐาน

ลำดับที่	ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการแปรงพัน ( $\mu\text{m}^3$ )			
	Concise	Prevocare opaque	Delton	Prevocare clear
1	203,074	315,063	159,898	416,067
2	160,574	447,202	345,712	253,443
3	-	762,302	-	571,659
4	357,108	484,395	384,642	816,884
5	372,764	385,724	226,787	240,296
6	358,762	354,682	436,513	828,490
7	120,260	126,802	341,448	176,505
8	164,921	234,209	547,025	354,581
จำนวน	7	8	7	8
ผลรวม	1,737,463	3,110,379	2,442,025	3,657,925
ค่าเฉลี่ย	248,209	388,797	348,861	457,241
SD	101,854	177,202	118,867	239,767
$S^2$	10,374,257,861	31,400,614,466	14,129,438,511	57,488,277,447

ตารางที่ 6 แสดงผลการคำนวณค่า  $S_p^2$ ,  $(\mu_1 - \mu_2)^2$  และจำนวนตัวอย่างต่อกลุ่ม

คู่ที่	วัสดุ	$S_p^2$	$(\mu_1 - \mu_2)^2$	N
1	A, B	21,696,142,187	19,765,091,185	23.05
2	A, C	12,251,848,186	10,130,767,589	25.39
3	A, D	35,743,345,330	43,694,220,250	17.17
4	B, C	23,429,302,487	1,594,936,869	308.42
5	B, D	44,444,445,957	4,684,478,471	199.19
6	C, D	37,476,505,630	11,746,205,046	66.99

การคำนวณกลุ่มตัวอย่างจากผลการวิจัยนักร้อง ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 17-309 ตัวอย่างต่อกลุ่ม จากการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการสึกของฟันและวัสดุทางทันตกรรมประเภทเรซินในห้องปฏิบัติการ มีการใช้ขนาดตัวอย่างต่อกลุ่มตั้งแต่ 4-15 ตัวอย่าง ดังในตารางที่ 7 ตารางที่ 7 แสดงขนาดกลุ่มตัวอย่างจากการศึกษาที่ผ่านมา

จำนวน	ปี	ผู้วิจัย
15 ตัวอย่าง	1998	Attin และคณะ (52)
12 ตัวอย่าง	2004	Wang และคณะ (43)
	2002	Sorensen และ Nguyen (48)
	2001	Mandikos และคณะ (62)
10 ตัวอย่าง	1978	Raadal (59)
8 ตัวอย่าง	2005	Philpotts และคณะ (47)
6 ตัวอย่าง	1999	ISO 14569-1 (29)
	2001	ISO 14569-2 (40)
4 ตัวอย่าง	2001	Futatsuki และคณะ (53)

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงเลือกใช้กลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 30 ตัวอย่างต่อกลุ่ม เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องเวลา และงบประมาณ

### สิ่งแทรกแซง (Intervention)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบการสึกจากการแปรง โดยดูจากความลึกและปริมาตรที่ลดลงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดบ่มตัวด้วยแสง ภายหลังจากการแปรงโดยใช้เครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ (V-8 Cross Brushing Machine)

### วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย (Materials and Equipments)

#### 1. อุปกรณ์ที่ใช้การทดลอง

- 1.1. เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว (Surface Roughness Tester, TalyScan 150, Taylor Hobson Ltd., England)
- 1.2. เครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ (V-8 Cross Brushing Machine, SABRI Dental Enterprises, Inc., USA)

- 1.3. เครื่องฉายแสงที่ให้แสงสีน้ำเงิน (Elipar® Trilight 3M ESPE, USA) มีความยาวคลื่น 400-515 นาโนเมตร พร้อมอุปกรณ์ตรวจสอบความเข้มของแสง
- 1.4. เครื่องกวนโดยระบบแม่เหล็กและแผ่นร้อน (Magnetic stirrer and Hot plate, รุ่น 1266-1, Lab-line Instruments, Inc., Melrose Park, Italy)
- 1.5. เครื่องกวนแบบใช้ใบพัด (Blade Mixer, IKA®, รุ่น RW 20n, Labortechnik, Germany)
- 1.6. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator, Contherm 160M, Contherm Scientific Ltd., New Zealand.) ที่ 37 องศาเซลเซียส
- 1.7. เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิในระบบดิจิทัลแบบใช้ขดลวด (Thermocouple with recorder, รุ่น MODEL 407401, EXTECH, USA.)
- 1.8. เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger, รุ่น testo 175, USA)
- 1.9. เครื่องวัดปริมาณความตึง (Dontrix tension gauge, Dontrix®, รุ่น 16 OZ, E.T.M. Corporation, 3M Unitek, Monrovia, California, USA.)
- 1.10. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง (A&D®, รุ่น HF-3000GD, A&D Instruments Ltd, UK) สำหรับชั่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์
- 1.11. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง (Balance®, รุ่น BP-3100S, Sartorius AG, Germany) สำหรับชั่งคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส
- 1.12. แบบหล่อโลหะสำหรับเตรียมชิ้นตัวอย่าง
- 1.13. ด้ามมีด (Blade holder) และ ใบมีด เบอร์ 11
- 1.14. ขวดพลาสติกชนิดมีฝาปิด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 เซนติเมตร

## 2. วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

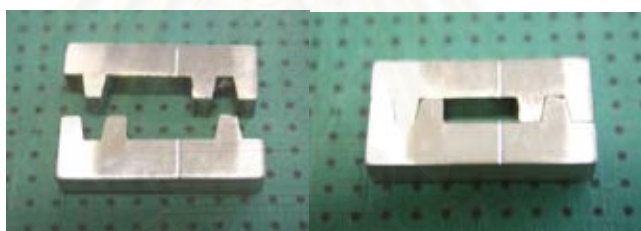
- 2.1. วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน
  - ปรีโวกแคร์ชนิดทึบ (Prevocare™ opaque, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Thailand)
  - ปรีโวกแคร์ชนิดใส (Prevocare™ clear, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Thailand)
  - คอนไซส์ (Concise™ white sealant, 3M ESPE, USA)
  - เดลตัน (Delton® clear, Dentsply, USA)
- 2.2. วัสดุที่ใช้เตรียมสารสำหรับขัดอ้างอิง (Reference abrasive slurry)
  - กลีเซอริน (Glycerin)

- คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethylcellulose)
  - แคลเซียมไพโรฟอสเฟต (Calcium Pyrophosphate)
- 2.3. แปรงสีฟัน Premium (Accord, Thailand)
  - 2.4. น้ำกลั่น
  - 2.5. แผ่นปิดสไลด์
  - 2.6. แอลกอฮอล์ 70%
  - 2.7. ผ้าก๊อซ (gauze)

### ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย (ภาพที่ 36)

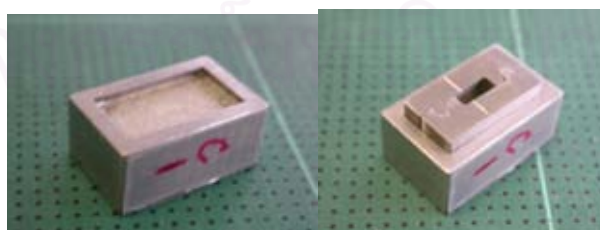
#### 1. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นตัวอย่าง ด้วยวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดต่างๆ

- 1.1 ชิ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบ เตรียมโดยนำแบบพิมพ์ซึ่งทำจากโลหะ 2 ชิ้น วางประกบกัน มีขนาดกว้าง 8 มิลลิเมตร ยาว 15 มิลลิเมตร สูง 3 มิลลิเมตร ตรงกลางระหว่างแผ่นโลหะเป็นช่องว่าง ขนาดกว้าง 2 มิลลิเมตร ยาว 5 มิลลิเมตร สูง 3 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 12 ซึ่งเป็นบริเวณสำหรับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน



ภาพที่ 12 แบบพิมพ์โลหะก่อนและหลังประกบกัน

- 1.2 นำแบบพิมพ์โลหะ 2 ชิ้น วางบนฐานโลหะขนาดความกว้าง 12 มิลลิเมตร ยาว 19 มิลลิเมตร สูง 8 มิลลิเมตร ที่เจาะช่องตรงกลางกว้าง 8 มิลลิเมตร ยาว 15 มิลลิเมตร ลึก 1 มิลลิเมตร แบบพิมพ์ชิ้นตัวอย่างที่ได้ สามารถใช้สำหรับทดสอบได้ทั้งเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว (Surface Roughness Tester) และเครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ (V-8 Cross Brushing Machine) ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ฐานโลหะและแบบพิมพ์โลหะ

- 1.3 ทำความสะอาดแบบพิมพ์โลหะและเป่าให้แห้ง หยดวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันลงในช่องว่างตรงกลางแบบพิมพ์โลหะจนเต็ม จากนั้นใช้แผ่นปิดสไลด์วางทับบนแบบพิมพ์ โดยระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศ



- 1.4 ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงให้วัสดุแข็งตัว ใช้เวลาฉายแสงนาน 40 วินาที โดยวางปลายกระบอกล้อเครื่องฉายแสงให้ติดกับแผ่นปิดสไลด์
- 1.5 ล้างชิ้นตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น เพื่อกำจัดเรซินที่ไม่แข็งตัวบริเวณผิวของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันออก
- 1.6 ใช้มีดกำจัดวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันส่วนเกินบริเวณขอบออก โดยให้ขอบของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันอยู่ที่ขอบของโลหะพอดี และเก็บชิ้นตัวอย่างไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ  $37^{\circ}\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนำไปทดสอบภายในเวลาไม่เกิน 7 วัน (29, 57) จะได้ชิ้นตัวอย่างสำหรับใช้ทดสอบ ประกอบด้วย วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เตรียมอยู่ในแบบพิมพ์บนฐานโลหะ ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ชิ้นตัวอย่างก่อนการทดสอบ

## 2. การสุ่มชิ้นตัวอย่าง

การสุ่มชิ้นตัวอย่างจึงสุ่มเฉพาะขั้นตอนการแปรงฟัน เนื่องจากตำแหน่งในการยึดแปรงอาจมีผลต่อการสึกได้ ทั้งนี้ได้มีการทดสอบความแม่นยำของเครื่องทดสอบความหยาบพื้นผิว และการทดสอบความแม่นยำของผู้ทดสอบ (ภาคผนวก) พบว่าเครื่องและผู้ทดสอบมีความแม่นยำในการใช้วัดตามเกณฑ์ที่กำหนด สามารถควบคุมการทดสอบแต่ละครั้ง ตามสภาวะควบคุมที่กำหนด เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น ดังนั้นการสุ่มชิ้นตัวอย่างทำโดย

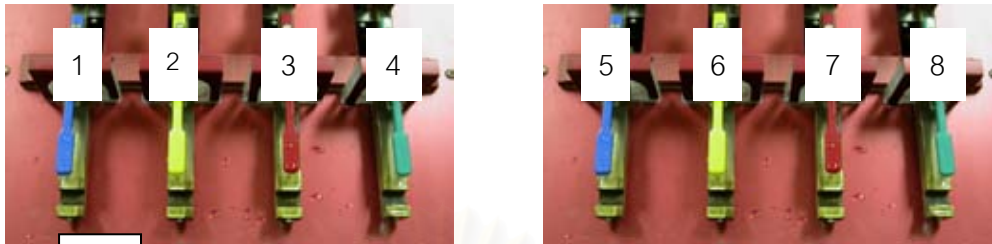
- 2.1 การทดสอบสามารถทำได้ครั้งละ 8 ชิ้นตัวอย่าง ตามคุณสมบัติของเครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ ดังนั้นในการทดสอบแต่ละรอบจะใช้วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิด ชนิดละ 2 ชิ้นตัวอย่าง
- 2.2 กำหนดตำแหน่งให้เครื่องแปรงฟันทั้ง 8 ตำแหน่ง เป็นตัวเลข 1-8
- 2.3 ติดกระดาษกาวด้านข้างชิ้นตัวอย่างก่อนหยดวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน โดยกำหนดสัญลักษณ์ให้วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันแต่ละชนิด ดังนี้

Concise	=	C1	Delton	=	D1
Concise	=	C2	Delton	=	D2
Prevocare opaque	=	PO1	Prevocare clear	=	PC1

Prevocare opaque = PO2

Prevocare clear = PC2

## 2.4 การยึดชิ้นตัวอย่างติดกับเครื่องแปร่งพินในแต่ละรอบของการทดสอบ สลับตำแหน่ง ดังภาพที่ 15



รอบที่ 1	C1	C2	PO1	PO2	D1	D2	PC1	PC2
รอบที่ 2	PC2	C1	C2	PO1	PO2	D1	D2	PC1
รอบที่ 3	PC1	PC2	C1	C2	PO1	PO2	D1	D2
รอบที่ 4	D2	PC1	PC2	C1	C2	PO1	PO2	D1

ภาพที่ 15 แสดงการสลับตำแหน่งเครื่องแปร่งพิน

## 3. การทดสอบการสึกและปริมาตรของชิ้นตัวอย่างก่อนการแปร่งพิน (63)

### 3.1 การทดสอบทำภายใต้สภาวะควบคุมที่กำหนด ดังนี้

- อุณหภูมิภายในห้องก่อนเริ่มทำงาน เปิดเครื่องปรับอากาศจนกระทั่งอุณหภูมิห้องที่วัดโดยเครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) อ่านค่าอุณหภูมิห้องอยู่ในช่วง 24-25 องศาเซลเซียส
- แสงภายในห้อง มีผลต่อการอ่านค่าของเครื่อง ขณะเครื่องทำงานเปิดไฟห้องบริเวณนั้นให้ครบ และมีม่านบังแสงแดดบริเวณที่ตั้งเครื่อง
- อุณหภูมิของชิ้นตัวอย่างคงที่โดย
  - หลังจากนำชิ้นตัวอย่างออกจากตู้ควบคุมอุณหภูมิแล้วซับให้แห้ง
  - วางชิ้นตัวอย่างทิ้งไว้ในห้องนานอย่างน้อยหนึ่งชั่วโมง
  - ก่อนที่จะทำการวัดให้เคลื่อนย้ายชิ้นงาน โดยใช้ที่ค้ำสำลี (Cotton pier) ซึ่งวางอยู่ในห้องนานเท่ากับชิ้นตัวอย่าง
  - ชิ้นตัวอย่างต้องถูกวัดด้วยเครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิในระบบดิจิทัลแบบใช้ขดลวด (Thermocouple with recorder) วัดโดยลวดด้านหนึ่งอยู่ข้างใต้ชิ้นตัวอย่าง และลวดอีกด้านวางอยู่ในบริเวณใกล้เคียงเพื่อวัดอุณหภูมิห้อง เลือกคำสั่งให้เครื่องแสดงผลต่างอุณหภูมิของลวดทั้งสอง โดยความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวชิ้นตัวอย่างกับอุณหภูมิภายในห้องเป็นศูนย์

- การกระแทก ขณะเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวทำงาน ดังภาพที่ 16 ต้องไม่ถูกรบกวนโดยแรงกระแทก



ภาพที่ 16 เครื่องทดสอบความหยาบพื้นผิว (Profilometer)

- ความสะอาดของชิ้นตัวอย่างและบริเวณฐานของเครื่องก่อนวางชิ้นตัวอย่าง โดยใช้ลมเป่าหรือเช็ดด้วยผ้าสะอาด
- ตำแหน่งของชิ้นตัวอย่างในการทดสอบ จะต้องยึดชิ้นตัวอย่างให้อยู่ในตำแหน่งเดิมตลอดทั้งก่อนและหลังการแปรงพื้น เตรียมโดยเจาะช่องบริเวณด้านล่างของฐานโลหะ (ที่ใช้ในการเตรียมชิ้นตัวอย่าง) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ลึก 5 มิลลิเมตร จำนวน 2 ช่อง โดยทั้งสองช่องอยู่ห่างกัน 2.1 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ช่องบริเวณฐานโลหะ

และนำชิ้นตัวอย่างไปวางติดกับฐานของเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว ที่ยึดติดแน่นด้วยแท่งเหล็กทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 18



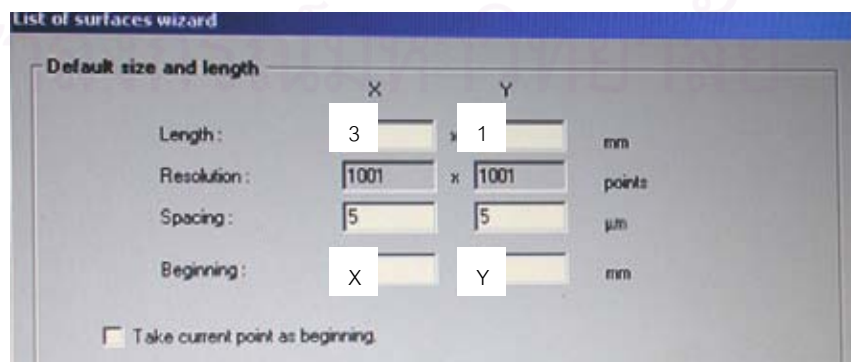
ภาพที่ 18 ฐานของเครื่องกับแท่งเหล็กและชิ้นตัวอย่างที่วางบนฐานเครื่อง

- 3.2 เมื่อวางชิ้นตัวอย่างติดกับเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวเรียบร้อย เคลื่อนปลายเข็มลาก (Stylus) ในแนวแกน Z มาสัมผัสบริเวณที่จะวัดก่อน กำหนดระดับที่พอเหมาะในการวัดของเข็มลาก โดยจะแสดงเป็นแถบไฟสีเขียวอยู่ตำแหน่งตรงกลาง ดังภาพที่ 19

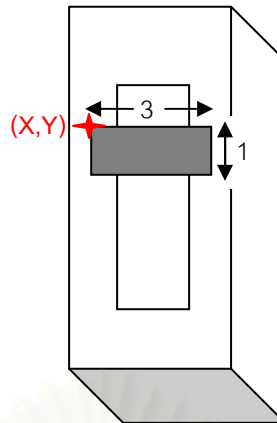


ภาพที่ 19 เข็มลากสัมผัสชิ้นตัวอย่างในระดับที่พอเหมาะ

- 3.3 กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นที่จะวัดในแกน X, Y โดยเลื่อนเข็มลากไปตำแหน่งที่จะวัด ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่บนแบบพิมพ์โลหะ ดังภาพที่ 21 ให้เครื่องอ่านค่าตำแหน่งที่ต้องการเป็นตัวเลข บันทึกค่า X, Y ไว้ เพื่อใช้กำหนดค่าที่จะวัดต่อไป
- 3.4 เครื่องจะอ่านค่าพื้นผิวเป็นพื้นที่ (Surface) ด้วยหัวเข็มเพชร (Diamond stylus tip) ซึ่งส่วนปลายมีรัศมี 2 ไมโครเมตร ด้วยความเร็วหัวเข็มคงที่ 3000 ไมโครเมตรต่อวินาที โดยกำหนดความยาวตามแนวแกน  $X = 3$  มิลลิเมตร และความกว้างตามแกน  $Y = 1$  มิลลิเมตร (Length) และจุดเริ่มต้นที่วัดโดยแทนค่า X, Y ที่บันทึกไว้ลงช่อง Beginning ดังภาพที่ 20 และ 21

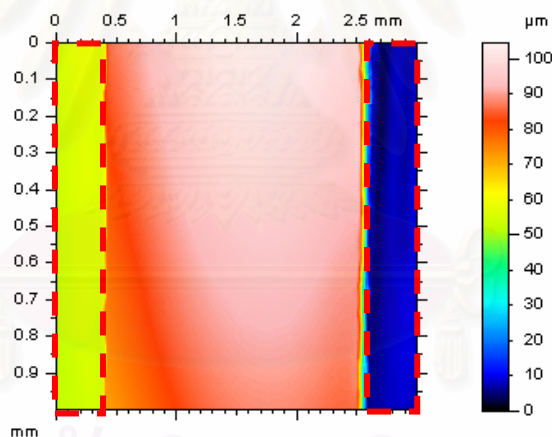


ภาพที่ 20 หน้าต่างที่ใช้ในการกำหนดค่าเริ่มต้นและพื้นที่ที่จะวัด

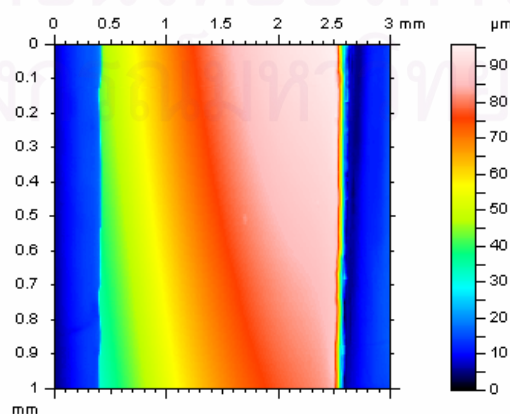


ภาพที่ 21 แผนภาพบริเวณขึ้นตัวอย่างที่ถูกวัด

- 3.5 เมื่อเครื่องอ่านค่าพื้นผิวเสร็จ จะแสดงเป็นภาพพื้นผิวที่อ่านได้ดังภาพที่ 22 หลังจากนั้นใช้คำสั่ง leveling เพื่อกำหนดให้เครื่องปรับระดับด้านข้างของพื้นผิวบริเวณที่เป็นโลหะทั้งสองข้าง ให้ได้ระดับเดียวกันและเป็นระดับเข้าใกล้ศูนย์ ทำโดยเลือกพื้นที่ที่ต้องการปรับระดับเป็นกรอบสี่เหลี่ยมดังที่แสดงเป็นเส้นปะสีแดงในภาพที่ 22 จะได้พื้นผิวที่ปรับระดับด้านข้างดังภาพที่ 23



ภาพที่ 22 แสดงภาพพื้นผิวที่เครื่องอ่านค่าเสร็จ

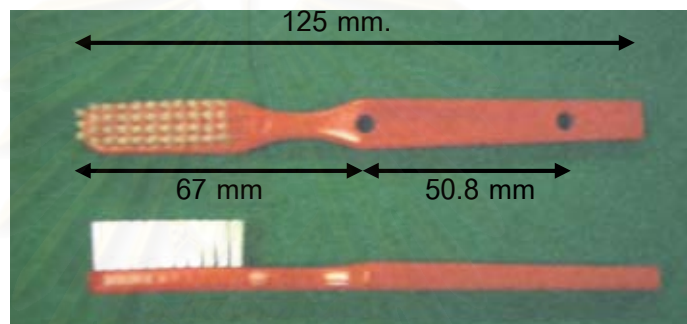


ภาพที่ 23 แสดงภาพพื้นผิวที่ปรับระดับด้านข้างแล้ว

#### 4. ขั้นตอนการแปรงฟันด้วยเครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ (Brushing machine)

##### 4.1 การเตรียมแปรงสีฟันก่อนการใช้งาน

- ใช้แปรงสีฟัน Premium ที่มีขนแปรงไนลอน (Nylon) ความแข็งปานกลาง ปลายขนแปรงเป็นระนาบ ความยาวขนแปรงประมาณ 10 มิลลิเมตร โดยเปลี่ยนแปรงสีฟันใหม่ทุกครั้งที่ทดสอบ
- ตัดด้ามแปรงสีฟันให้ได้ความยาว 125 มิลลิเมตรจากหัวแปรง จากนั้นเจาะรู 2 รูที่ด้ามแปรง โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งห่างจากหัวแปรง 67 มิลลิเมตร และอีกตำแหน่งโดยห่างจากเดิม 50.8 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 24 เพื่อยึดด้ามแปรงกับเครื่อง (64)



ภาพที่ 24 แปรงสีฟันที่เตรียมก่อนการใช้งาน

- แช่แปรงสีฟันไว้ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 1 คืนก่อนการใช้งาน (65)
- ##### 4.2 การเตรียมสารสำหรับขัดอ้างอิง (ภาพที่ 37) ตามมาตรฐานไอเอสโอ (ISO) 11609:1995 (65)

- การเตรียมสารเจือจางอ้างอิง (Reference diluent) ปริมาตร 1 ลิตร (65)

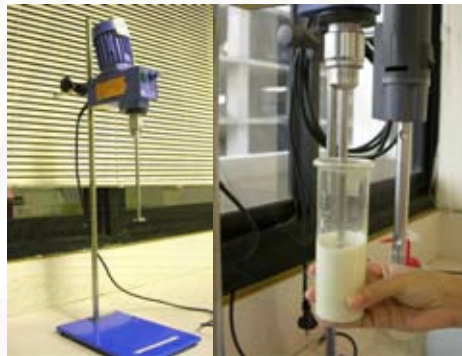
นำกลีเซอริน (Glycerin) จำนวน 50 มิลลิลิตร ทำให้เหลวที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และ เติมสารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethylcellulose) จำนวน 5 กรัม ภายใต้เครื่องกวนโดยระบบแม่เหล็กและแผ่นร้อน (Magnetic stirrer and Hot plate) ผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงเติมกลีเซอริน (Glycerin) ทำให้เหลวที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อีกจำนวน 50 มิลลิลิตร และใช้แผ่นร้อนและเครื่องปั่นผสมต่ออีก 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเทส่วนผสมที่ได้ลงในขวดแก้วขนาด 1 ลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 900 มิลลิลิตร ทั้งสารดังกล่าวให้เย็น แต่ต้องมีการกวนสารซ้ำๆ ตลอดทั้งคืน โดยใช้เครื่องกวนโดยระบบแม่เหล็ก ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 การเตรียมสารเจือจางอ้างอิง (Reference diluent)

- การเตรียมสารสำหรับขัดอ้างอิง (Reference abrasive slurry) (65)

การเตรียมสารสำหรับใช้งาน 1 ครั้ง ทำโดยใช้สารแคลเซียมไพโรฟอสเฟต (Calcium Pyrophosphate) ซึ่งเป็นผงขัดมาตรฐานที่ได้รับการรับรองจากทันตแพทยสมาคมแห่งสหรัฐอเมริกา (ADA) จำนวน 10 กรัม รวมกับสารเจือจางอ้างอิง (Reference diluent) 50 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนแบบใช้ใบพัด (Blade Mixer) ดังภาพที่ 26 เพื่อให้หัวแปรงสีฟันแช่อยู่สารขัดฟันโดยตลอด



ภาพที่ 26 การเตรียมสารสำหรับขัดอ้างอิง (Reference abrasive slurry)

4.3 ขั้นตอนการแปรงฟัน

- ยึดแปรงสีฟันไว้ที่เครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ ดังภาพที่ 27 โดยสามารถทำได้ครั้งละ 8 ชิ้นตัวอย่าง



ภาพที่ 27 เครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ

- ติดตั้งสปริงกด (Compression springs) 8 ตำแหน่ง โดยทุกตำแหน่งมีขนาดและความสูงเท่ากัน และยึดขึ้นตัวอย่างทั้ง 8 ชิ้น โดยใช้กุญแจขันให้แน่น

- วัดขนาดแรงกดของแปรงทั้ง 8 ตำแหน่ง โดยใช้เครื่องวัดปริมาณความตึง (Dontrix tension gage) และปรับแรงโดยใช้สกรู (The thumb screw) ให้ได้แรง 200 กรัม (43, 44, 49) ทุกตำแหน่งวัดซ้ำ 2 ครั้ง โดยขณะวัดแรงหัวแปรงสีฟันจะอยู่ที่ตำแหน่งตรงกลางของซี่ตัวอย่าง ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 การวัดแรงกดของแปรง

- เตรียมสารขัดฟันที่ผสมไว้ลงในหลอดทดลอง (Test tubes) และยึดหลอดทดลองติดกับเครื่อง ดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 อุปกรณ์ติดตั้งสมบูรณ์ก่อนการแปรงฟัน

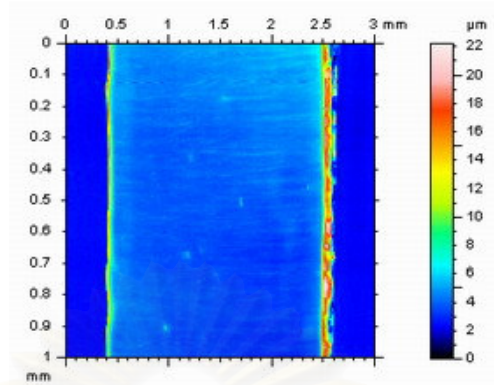
- เมื่อทุกอย่างติดตั้งเรียบร้อยแล้ว จึงตั้งค่าจำนวนรอบ 20,000 รอบ (45, 48, 53) และความเร็ว 90 รอบต่อนาที (44, 46)
- เครื่องจะหยุดอัตโนมัติหลังจากทำงานเสร็จ

## 5. การทดสอบการสึกและปริมาตรของซี่ตัวอย่างหลังการแปรงฟัน (63)

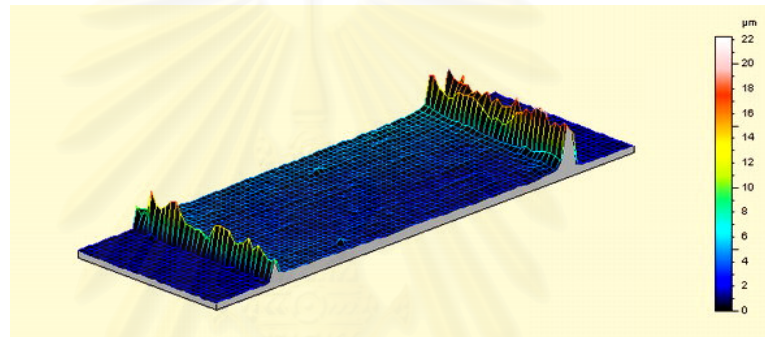
- 5.1 การทดสอบต้องทำภายใต้สภาวะควบคุมที่กำหนดไว้ตามข้อ 3.1
- 5.2 นำซี่ตัวอย่างไปยึดติดกับฐานของเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว กำหนดตำแหน่งเข็มฉากในแนวแกน Z ก่อน และใช้ตำแหน่งแกน X, Y เดิม
- 5.3 กำหนดให้เครื่องอ่านค่าพื้นผิวที่พื้นที่เดิม ความยาวตามแนวแกน X = 3 มิลลิเมตร และความกว้างตามแกน Y = 1 มิลลิเมตร
- 5.4 เมื่อเครื่องอ่านค่าพื้นผิวหลังการแปรงเสร็จ ใช้คำสั่ง leveling กำหนดให้เครื่องปรับระดับด้านข้างของพื้นผิวบริเวณโลหะทั้งสองข้างให้ได้ระดับเดียวกัน ตามวิธีการในข้อ 3.5
- 5.5 ใช้คำสั่ง Surface subtraction เพื่อกำหนดให้เครื่องคำนวณหาค่าความแตกต่างของพื้นผิวทั้งก่อนและหลังการแปรง โดยใช้พื้นผิวที่ปรับระดับด้านข้างแล้วก่อนการแปรง ลบ



ด้วยพื้นผิวหลังการแปรง จะได้ภาพพื้นผิวใหม่ที่แสดงความแตกต่างของก่อนและหลังการแปรง ดังภาพที่ 30 และ 31

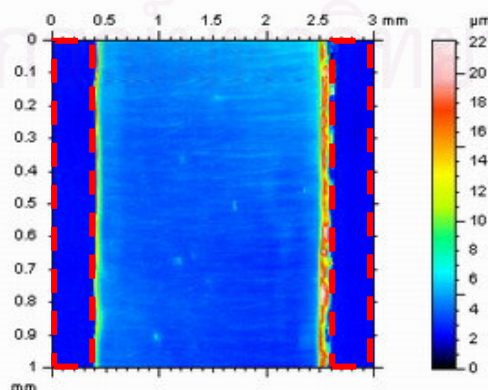


ภาพที่ 30 ภาพพื้นผิวใหม่ที่แสดงความแตกต่างของก่อนและหลังการแปรง

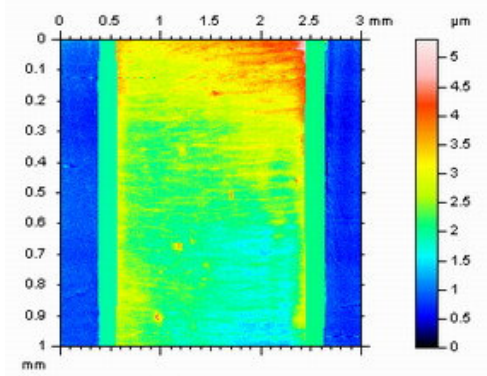


ภาพที่ 31 ภาพพื้นผิว 3 มิติ ที่แสดงความแตกต่างของก่อนและหลังการแปรง

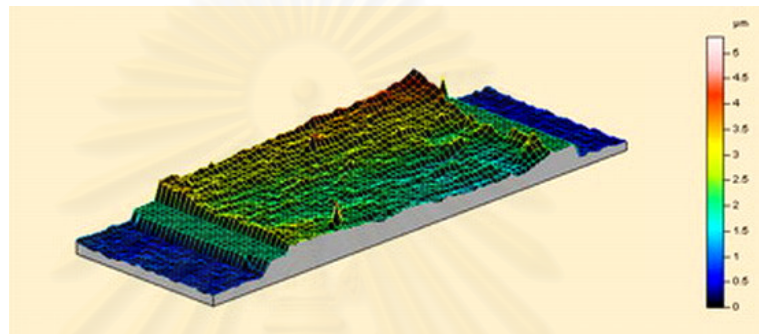
5.6 ใช้คำสั่ง Erase defect เพื่อแก้ไขภาพบริเวณรอยต่อของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันและแบบพิมพ์โลหะ ซึ่งมีลักษณะเป็นหลุมและยอดมากกว่าปกติเนื่องจากเกิดการกะเทาะหลุดออกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ทำโดยเลือกส่วนที่ต้องการแก้ไขเป็นพื้นที่ขนาดความกว้าง 15 พิกเซล (pixel) ความยาว 500 พิกเซล (เลือกช่อง Brush style dimension ใส่ขนาดที่ต้องการเป็น 15×500 pixel) และแทนที่ส่วนที่แก้ไขด้วยความลึกเฉลี่ยของพื้นผิวนั้น (เลือกช่อง the mean height) ดังภาพที่ 32 หลังจากนั้นจะได้ภาพพื้นผิวที่มีลักษณะดังภาพที่ 33 และ 34



ภาพที่ 32 ภาพพื้นผิวส่วนที่มีการเลือกพื้นที่ส่วนที่ต้องการแก้ไข

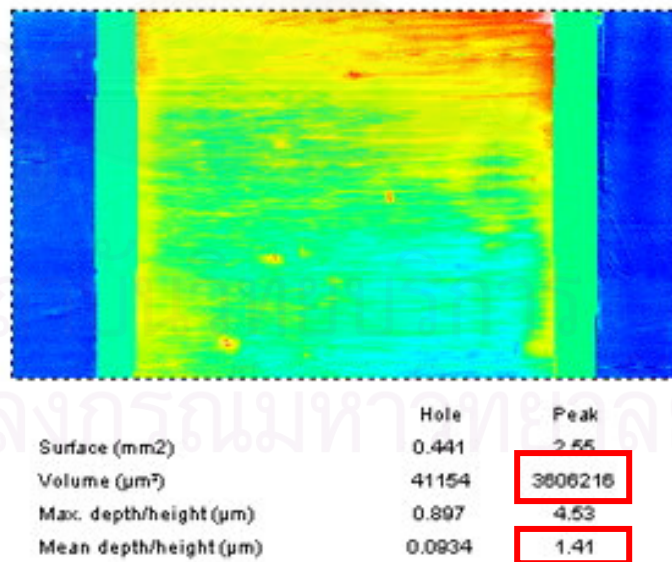


ภาพที่ 33 ภาพพื้นผิวที่แก้ไขบริเวณรอยต่อของวัสดุและแบบพิมพ์โลหะ



ภาพที่ 34 ภาพพื้นผิว 3 มิติ ที่แก้ไขบริเวณรอยต่อของวัสดุและแบบพิมพ์โลหะ

5.7 คำนวณหาพื้นที่ของภาพพื้นผิวที่แก้ไขแล้ว โดยใช้คำสั่ง Volume of hole and peak จะได้พื้นที่ ปริมาตร และความลึกเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปของชั้นตัวอย่างทั้งค่าส่วนหลุมและยอด ซึ่งในที่นี้เลือกใช้แต่ค่าส่วนยอด ดังภาพที่ 35

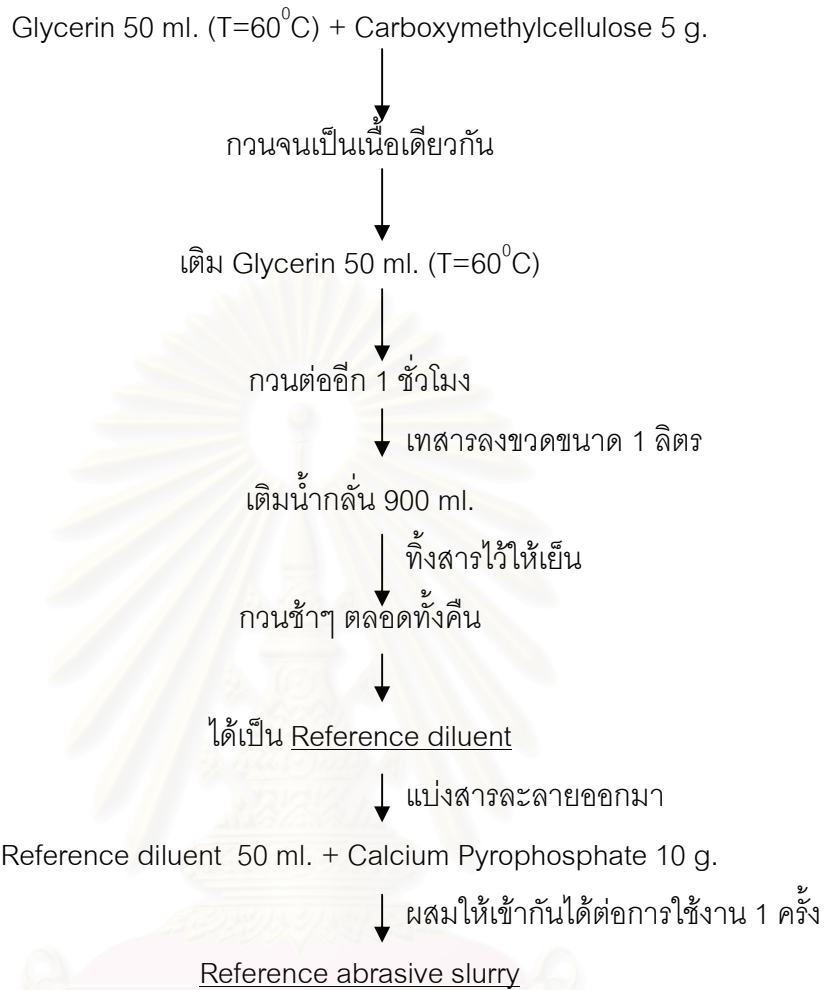


ภาพที่ 35 แสดงพื้นที่ ปริมาตร และความลึกเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปของชั้นตัวอย่าง

## ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย (ภาพที่ 36)



**ขั้นตอนการเตรียมสารสำหรับขัดอ้างอิง (ภาพที่ 37) (65)**



**การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data collection)**

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจะถูกบันทึกลงในตารางและนำไปประมวลผลต่อไป โดยตารางที่ 8 แสดงปริมาณที่ลดลงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้งสี่ชนิดภายหลังการแปรง และตารางที่ 9 แสดงความลึกที่ลดลงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้งสี่ชนิดภายหลังการแปรง

ตารางที่ 8 แสดงปริมาณที่ลดลงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันภายหลังการแปรง

ลำดับที่	ปริมาณที่ลดลงหลังการแปรง (um <sup>3</sup> )			
	Concise	Delton	Prevocare opaque	Prevocare clear
1				
2				
3				
4				
5				
6				
.				
.				
.				
30				
ผลรวม (Sum)				
ค่าเฉลี่ย (Mean)				
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)				

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 แสดงความลึกที่ลดลงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันภายหลังการแปรง

ลำดับที่	ความลึกที่ลดลงภายหลังการแปรง (um)			
	Concise	Delton	Prevocare opaque	Prevocare clear
1				
2				
3				
4				
5				
6				
.				
.				
.				
30				
ผลรวม (Sum)				
ค่าเฉลี่ย (Mean)				
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)				

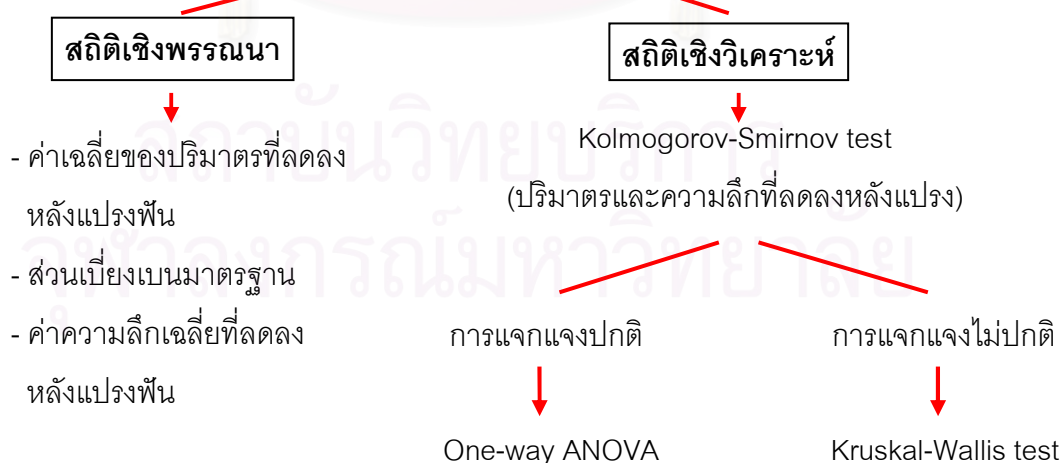
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การวิเคราะห์ข้อมูล (ภาพที่ 38)

การวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for windows version 11.5 (Statistical package for the social sciences plus) กำหนดค่านัยสำคัญที่  $p.05$  โดยการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการศึกษามีดังนี้

1. วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของปริมาตรและความลึกที่ลดลงหลังจากการแปรง (การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (การวัดการกระจาย) พิสัย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดในแต่ละกลุ่มทดสอบ โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา
2. ตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลโดยใช้สถิติ Kolmogorov-Smirnov test
3. วิเคราะห์หาความแตกต่างของปริมาตรและความลึกที่ลดลงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันระหว่างกลุ่ม
  - ในกรณีที่ประชากรมีการแจกแจงปกติ จะวิเคราะห์ด้วยสถิติวันเวย์อินวา (One-way ANOVA) และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดบอนเฟอร์โรนี (Bonferroni's multiple comparison)
  - ในกรณีที่ประชากรมีการแจกแจงไม่ปกติ จะวิเคราะห์ด้วยสถิติครุสคัล-วัลลิส (Kruskal-Wallis test) และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยการเปรียบเทียบพหุคูณระหว่างกลุ่ม (Multiple comparisons between treatments)

ภาพที่ 38 การวิเคราะห์ข้อมูล



## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

#### ผลการทดสอบการสึกจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน

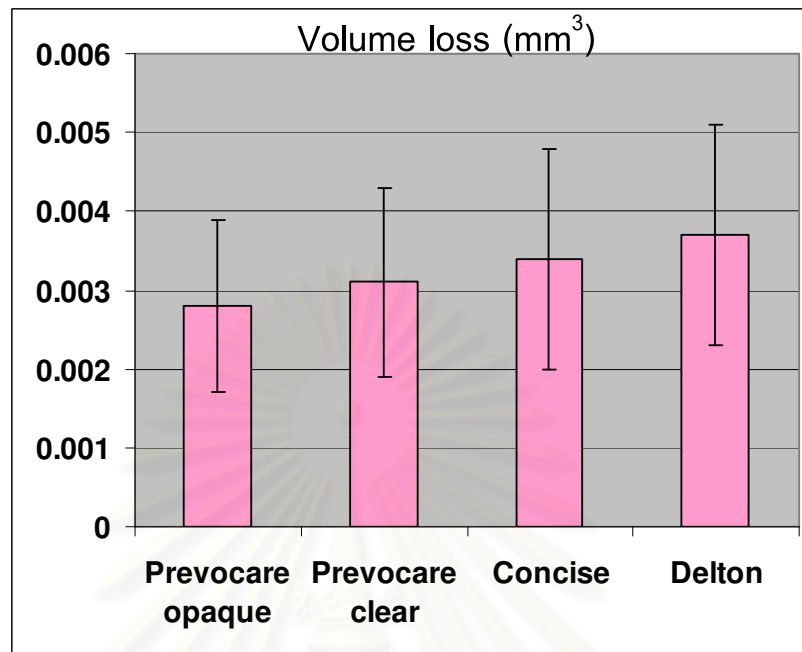
ผลการทดสอบการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน พบว่าปริมาตรและความลึกเฉลี่ยที่ลดลงหลังจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิด มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 10 โดยค่าเฉลี่ยปริมาตรและความลึกที่ลดลงเรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ พีวีแคร์ชนิดขุ่น (0.0028 ลูกบาศก์มิลลิเมตร, 1.119 ไมโครเมตร) พีวีแคร์ชนิดใส (0.0031 ลูกบาศก์มิลลิเมตร, 1.255 ไมโครเมตร) คอนไซส์ (0.0034 ลูกบาศก์มิลลิเมตร, 1.352 ไมโครเมตร) และเดลตัน (0.0037 ลูกบาศก์มิลลิเมตร, 1.477 ไมโครเมตร) ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 39 และ 40

ตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาตรและความลึกที่ลดลงหลังจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดต่างๆ พร้อมทั้งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุด

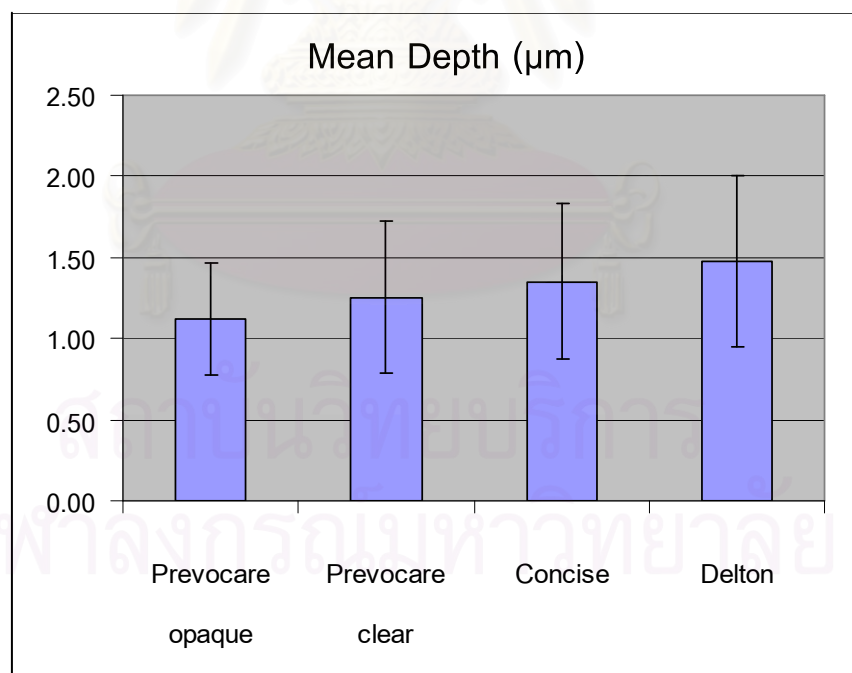
Group		Concise	Delton	Prevocare opaque	Prevocare clear
N		17	21	21	22
Volume loss (mm <sup>3</sup> )	Mean	0.0034	0.0037	0.0028	0.0031
	S.D.	0.0014	0.0014	0.0011	0.0012
	Minimum	0.0019	0.0019	0.0013	0.0015
	Maximum	0.0059	0.0066	0.0053	0.0054
Depth loss (µm)	Mean	1.352	1.477	1.119	1.255
	S.D.	0.476	0.526	0.346	0.468
	Minimum	0.76	0.82	0.576	0.593
	Maximum	2.16	2.76	1.86	2.1



ภาพที่ 39 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยปริมาตรที่ลดลงหลังจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิด โดยเรียงลำดับจากน้อยไปมาก



ภาพที่ 40 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยความลึกที่ลดลงหลังจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิด โดยเรียงลำดับจากน้อยไปมาก



กลุ่มตัวอย่างในแต่ละกลุ่มลดลงจากที่กำหนดไว้ (30 ชิ้นตัวอย่าง) เหลือจำนวนชิ้นตัวอย่าง 17, 21, 21 และ 22 ตัวอย่าง ตามลำดับ เนื่องจากมีชิ้นตัวอย่างที่เกิดความผิดพลาดในระหว่างขั้นตอนการทดลองทำให้ถูกตัดออกจากการวิจัย ซึ่งเกิดจากชิ้นตัวอย่างมีการดูน้ำ ภาพ

พื้นผิวที่อ่านค่าจึงมีลักษณะบวมน้ำหลังจากการแปรง โดยดูจากภาพพื้นผิวที่ได้หลังจากการ Subtraction แล้วมีลักษณะเป็นแอ่ง แสดงว่าภาพพื้นผิวหลังจากการแปรงมีความสูงมากกว่าก่อนแปรง ทั้งนี้เป็นความผิดพลาดตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบขึ้นตัวอย่าง ทำให้ไม่สามารถแช่ขึ้นตัวอย่างในน้ำกลั่น จนกระทั่งเกิดการดูดน้ำแบบอิมมิตัวก่อนการทดสอบได้ และด้วยข้อจำกัดของงบประมาณและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ ทำให้ต้องลดจำนวนขึ้นตัวอย่าง

การทดสอบการแจกแจงข้อมูลของค่าเฉลี่ยของปริมาตรและความลึกที่ลดลง ภายหลังจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิด โดยใช้สถิติ Kolmogorov-Smirnov test พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ดังแสดงในตารางที่ 11 และ 12 ตามลำดับ จึงวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาตรและความลึกที่ลดลง หลังจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิด ด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05

ตารางที่ 11 แสดงการวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลของค่าเฉลี่ยของปริมาตรที่ลดลงหลังจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิด

<u>Volume</u>	Concise	Delton	Prevocare opaque	Prevocare clear
N	17	21	21	22
Kolmogorov-Smirnov test	0.841	0.847	0.915	0.994
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.479	0.470	0.372	0.276

ตารางที่ 12 แสดงการวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลของค่าเฉลี่ยของความลึกที่ลดลงหลังจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิด

<u>Depth</u>	Concise	Delton	Prevocare opaque	Prevocare clear
N	17	21	21	22
Kolmogorov-Smirnov test	0.912	0.679	0.740	0.746
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.376	0.745	0.644	0.634

ก่อนการวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาตรและความลึกที่ลดลงหลังจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิด ด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ต้องมีการทดสอบค่าความแปรปรวน (Homogeneity of Variances) ของค่าเฉลี่ยของปริมาตรและ

ความลึกที่ลดลงหลังจากการแปรของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิด พบว่าความแปรปรวนต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 13 จึงสามารถใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไปได้

ตารางที่ 13 แสดงการทดสอบค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของปริมาตรและความลึกที่ลดลง หลังจากการแปรของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิด

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Volume	0.756	3	77	0.522
Depth	1.226	3	77	0.306

Test of Homogeneity of Variances

การวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาตรและความลึกที่ลดลง หลังจากการแปรของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิด ด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาตรและความลึกที่ลดลง หลังจากการแปรของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 14 และ 15 แสดงว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพีวีแคร์ ที่พัฒนาขึ้นโดยคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีคุณสมบัติทางกายภาพในเรื่องการสึกจากการแปรง ใกล้เคียงกับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ตารางที่ 14 แสดงการวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาตรที่ลดลง หลังจากการแปรของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิด โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

Volume	Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
Between groups	1.10E+13	3	3.6767E+12	2.207	0.094
Within groups	1.28E+14	77	1.6661E+12		
Total	1.39E+14	80			

Significant at the .05 level

ตารางที่ 15 แสดงการวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความลึกที่ลดลง หลังจากการ  
 แปรของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิด โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ  
 ทางเดียว

Depth	Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
Between groups	1.435	3	0.478	2.282	0.086
Within groups	16.138	77	0.210		
Total	17.573	80			

Significant at the .05 level



สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### อภิปรายผล ข้อเสนอแนะ และสรุปผลการวิจัย

#### อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพในเรื่องการสึกจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้งชนิดซุนและใส ที่พัฒนาขึ้นโดยคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (พีวีแคร์) กับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ (คอนไซส์และเดลดัน) โดยศึกษาความต้านทานต่อการสึกจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันด้วยเครื่องแปรงฟันอัตโนมัติร่วมกับเครื่องทดสอบความหยาบพื้นผิวกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การประเมินความต้านทานต่อการสึกของวัสดุทางทันตกรรมในห้องปฏิบัติการ มีวิธีการศึกษามากมายทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ ดังเช่น การชั่งน้ำหนักที่หายไป (43, 44) การวัดความหยาบพื้นผิว (43, 46, 50) การวัดความแข็งผิว (45, 47) การวัดการเปลี่ยนแปลงความสูงของวัสดุ (45, 46, 53) การใช้ภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์ก่อนและหลัง (47, 48, 54, 55) และการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (45, 46, 55) แม้ว่าจะไม่มีข้อสรุปเปรียบเทียบว่าวิธีการวัดใดมีประสิทธิภาพดีกว่ากัน การศึกษาในห้องปฏิบัติการช่วยทำนายรูปแบบทางคลินิกได้แม้ว่าจะไม่สามารถสร้างสภาวะต่างๆ ได้เหมือนในช่องปากจริง

เครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ (Brushing Machine) ถูกใช้ในการจำลองการสึกจากการขัดสีในช่องปาก เพื่อประเมินความต้านทานต่อการสึกของวัสดุต่างๆ (43-52, 54, 55) โดยผลที่ได้สามารถเปรียบเทียบและจัดลำดับความต้านทานของวัสดุได้ในสภาวะต่างๆ ที่สร้างขึ้นให้เหมือนการทำ ความสะอาดช่องปาก ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในงานทันตกรรมป้องกัน ดังนั้นความต้านทานต่อการสึกจากการแปรง จึงมีความสัมพันธ์กับความทนทานของวัสดุต่างๆ

การวิจัยนี้ศึกษาความต้านทานต่อการสึกจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน โดยวัดการเปลี่ยนแปลงความสูงและปริมาตรของวัสดุ ด้วยวิธีการอ่านค่าพื้นผิวก่อนและหลัง โดยใช้เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว ซึ่งประยุกต์ตามมาตรฐานในการทดสอบการวัดความต้านทานต่อการสึกของวัสดุทางทันตกรรม จากเกณฑ์มาตรฐานขององค์การมาตรฐานนานาชาติที่ 14569-1 (ISO 14569-1: 1999) เกี่ยวกับข้อปฏิบัติในการทดสอบความต้านทานต่อการสึกของวัสดุทันตกรรมจากการแปรงฟัน (Dental materials - Guidance on testing of wear resistance - Wear by tooth brushing) (29) และเกณฑ์มาตรฐานขององค์การมาตรฐานนานาชาติที่ 14569-2 (ISO 14569-2: 2001) เกี่ยวกับข้อปฏิบัติในการทดสอบความต้านทานต่อการสึกของวัสดุทันตกรรมที่เกิดจาก 2

หรือ 3 องค์ประกอบ (Dental materials - Guidance on testing of wear resistance - Wear by two- and/or three body contact) (40) จากเกณฑ์มาตรฐานขององค์การมาตรฐานนานาชาติ ที่ 14569-1 มีการใช้เครื่องแปรงฟันอัตโนมัติในการทดสอบความต้านทานต่อการสึก แล้วคำนวณ ปริมาตรของวัสดุที่สึกจากน้ำหนักที่หายไป ส่วนการวิจัยนี้ใช้เครื่องทดสอบความหยาบพื้นผิวกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในเกณฑ์มาตรฐานขององค์การมาตรฐานนานาชาติ ที่ 14569-2 ข้อดีของการใช้เครื่องทดสอบความหยาบพื้นผิว ทำให้สามารถทราบลักษณะการสึก ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยเชิงปริมาณเครื่องจะคำนวณค่าพื้นที่ ปริมาตร ความลึก สูงสุด และความลึกเฉลี่ย แสดงค่าเป็นตัวเลขดิจิทัลบนหน้าจอ ข้อมูลที่ได้จะมีความละเอียดใน ระดับไมโครเมตร และตัวเลขที่ได้เป็นข้อมูลที่วัดค่าได้แท้จริง (Continuous data) สามารถนำไปใช้ ในการคำนวณทางสถิติได้ ส่วนเชิงคุณภาพเมื่อเครื่องทำการวิเคราะห์พื้นผิวแล้วแสดงผลออกมา เป็นภาพของแถบสี ซึ่งบอกความสูงต่ำของพื้นผิว ทั้งในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ (63)

การสึกจากการขัดสี (Abrasive wear) เป็นการสึกที่เกิดขึ้นจากพื้นผิวที่แข็งและขรุขระ หรือมีอนุภาคที่แข็งมาก ไถไปบนวัสดุที่มีความอ่อนนุ่มกว่า สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งบนตัวฟันและวัสดุ ที่ใช้ในการบูรณะฟัน กระบวนการเกิดการสึกนั้นมียองศ์ประกอบที่ทำให้เกิดการสึกอยู่ 2 หรือ 3 องค์ประกอบ ในกรณีที่การสึกเกิดจาก 2 องค์ประกอบ คือจะเกิดจากพื้นผิวที่มีความแข็งต่างกัน มาสัมผัสกัน แต่ถ้ามีองค์ประกอบ 3 องค์ประกอบ การสึกจะเกิดจากการมีอนุภาคขนาดเล็กที่มีความ แข็งแทรกอยู่ระหว่างพื้นผิวที่สัมผัสกัน เช่นการสึกที่มีสาเหตุมาจากการแปรงฟัน โดยการสึก จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน ได้แก่ ชนิดของขนแปรง ลักษณะของผงขัดใน ยาสีฟัน รวมทั้งความแรงและความถี่ในการแปรงฟันของแต่ละบุคคล (33) การทดสอบการสึกจาก การแปรงในการศึกษานี้ ใช้สารแคลเซียมไพโรฟอสเฟต (Calcium Pyrophosphate) เป็นผงขัด มาตรฐานที่ได้รับการรับรองจากทันตแพทยสมาคมแห่งสหรัฐอเมริกา (ADA) เตรียมเป็นสาร สำหรับขัดอ้างอิง (Reference abrasive slurry) ซึ่งส่วนประกอบสำคัญของยาสีฟัน ที่กำหนดใน เกณฑ์มาตรฐานขององค์การมาตรฐานนานาชาติที่ 11609:1995 (Dentistry - Toothpastes - Requirements, test methods and marking) (65)

การศึกษาเกี่ยวกับการสึกในห้องปฏิบัติการมีหลายวิธี ซึ่งส่วนใหญ่วัสดุที่ใช้ศึกษามีทั้ง กลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์และกลุ่มเรซิน อย่างไรก็ตามไม่มีข้อสรุปสำหรับแรงกดหัวแปรงและ ความเร็วของแปรงที่ควรเลือกใช้ แต่ละการศึกษามีค่าที่ใช้แตกต่างกันมากมาย ตั้งแต่ค่าแรงกด 147-375 กรัม และความเร็วหัวแปรง 40-300 ครั้งต่อนาที ดังนั้นการศึกษารุ่นนี้จึงประยุกต์วิธีการ ทดสอบจากการศึกษาการสึกของวัสดุบูรณะฟันกลุ่มต่างๆที่ได้รับความนิยม คือใช้แรงกดหัวแปรง 200 กรัม (43, 44, 49) ความเร็วของแปรง 90 รอบต่อนาที (44, 46) จำนวนรอบที่ใช้แปรง 20,000 รอบ (45, 48, 53)

Harrington และคณะ ปี ค.ศ.1982 ศึกษาเพื่อพัฒนาวิธีการวัดการสึกจากการขัดสีด้วย แปรงสีฟันร่วมกับยาสีฟัน โดยวัดการสึกของเรซินคอมโพสิท จากการแปรงจำนวน 20,000 รอบ ทั้งหมด 3 ครั้ง พบว่าเกิดการสึกมากที่สุดในการแปรงครั้งแรก และลดลงในการแปรงครั้งที่สอง สาม ตามลำดับ (66) ดังนั้นการศึกษานี้จึงเลือกใช้จำนวนรอบที่ใช้การศึกษานี้คือ 20,000 รอบ เนื่องจากเป็นช่วงที่พบการสึกสูงสุด

การศึกษานี้ใช้จำนวนรอบ 20,000 รอบ เทียบเท่ากับเวลาประมาณ 3 ปี ซึ่งใช้สูตรตามที ระบุไว้ในการศึกษาของ Sorensen และ Nguyen ปี ค.ศ.2002 ค่าเปรียบเทียบที่ได้จึงสอดคล้อง กัน เนื่องจากการศึกษาเดียวที่แสดงวิธีการคำนวณอย่างชัดเจน (48) โดยคำนวณจากสูตรดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลา 1 ปี} &= \frac{365 \text{ วัน} \times 2 \text{ ครั้ง/วัน} \times 120 \text{ วินาที/ครั้ง}}{56 \text{ ด้าน (ฟัน 28 ซี่, 2 ด้านต่อซี่)}} \\
 &= 1,564 \text{ วินาที / ด้าน} \\
 &\quad (\text{โดยปกติการเคลื่อนแปรงสีฟัน 4 ครั้ง/วินาที}) \\
 &= 1,564 \times 4 \\
 &= 6,256 \text{ ครั้ง / ด้าน / ปี} \\
 \text{ระยะเวลา 3 ปี} &= 6,256 \times 3 \\
 &= 18,768 \text{ ครั้ง / ด้าน}
 \end{aligned}$$

ทั้งนี้การศึกษาอื่นๆ อ้างถึงการเปรียบเทียบจำนวนรอบกับเวลาที่แตกต่างกัน อย่างเช่น การศึกษาของสลิลลา ตริกาลนนท์ และคณะ ปี พ.ศ.2549 ศึกษาการสึกจากการแปรงของวัสดุ เคลือบหลุมร่องฟันคอนไซส์ จำนวนรอบ 48,000 รอบ เทียบเท่ากับเวลาประมาณ 4 ปี (67) ซึ่งอ้าง ตามการศึกษาของ Heath ปี ค.ศ.1976 (68) และการศึกษาของ Wang และคณะ ปี ค.ศ.2004 จำนวนรอบ 100,000 รอบ เทียบเท่ากับเวลาประมาณ 4.2 ปี ซึ่งไม่ได้กล่าวถึงที่มาของสูตรเวลา (43)

สำหรับการใช้แรงกดหัวแปรง 200 กรัม และ ความเร็วของแปรงเท่ากับ 90 รอบต่อนาที ที่ ใช้ในการศึกษานี้ เท่ากับการศึกษาของ Frazier และคณะ ปี ค.ศ.1998 ศึกษาความต้านทานการ สึกของวัสดุประเภทเรซิน 8 ชนิด โดยดูน้ำหนักที่หายไปของวัสดุ หลังจากใช้เครื่องแปรงฟัน อัตโนมัติยี่ห้อ V-8 Crossbrushing machine เช่นเดียวกัน (44) เนื่องจากเป็นความเร็วและแรงกด ที่เหมาะสมสำหรับเครื่องแปรงฟันอัตโนมัติรุ่นที่ใช้ จึงเลือกใช้ค่าแรงและความเร็วดังกล่าวใน การศึกษานี้ ส่วนการศึกษาอื่นๆ ที่ศึกษาการสึกของวัสดุจากเครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ พบว่ามีการ ใช้แรงกดและความเร็วหัวแปรงต่างกัน การศึกษาของ สลิลลา ตริกาลนนท์ และคณะ (พ.ศ.2549) ใช้แรงกด 300 กรัม ความเร็วหัวแปรง 300 ครั้งต่อนาที โดยใช้เครื่องแปรงฟันอัตโนมัติที่ประดิษฐ์ ขึ้นเอง (67) การศึกษาของ Harrington และคณะ ปี ค.ศ.1964 ใช้แรงกด 200 กรัม ความเร็วหัว

แปรง 235 ครั้งต่อนาที (69) และการศึกษาของ Sorensen และ Nguyen ปี ค.ศ.2002 ใช้แรงกด 250 กรัม ความเร็วหัวแปรง 120 ครั้งต่อนาที (48) ส่วนในเรื่องความเร็วหัวแปรงอธิบายได้จากการศึกษาของ Harrington และคณะ (ค.ศ.1964) ใช้ความเร็วหัวแปรง 235 ครั้งต่อนาที ได้ระบุถึงระยะทางในการเคลื่อนแปรงแต่ละรอบเท่ากับ 2.54 เซนติเมตร ซึ่งสั้นกว่าระยะทางการเคลื่อนแปรงที่ใช้ในการศึกษานี้มาก (6 เซนติเมตร) จึงสามารถแปรงได้จำนวนหลายรอบกว่า (69)

เครื่องวัดความหยาบพื้นผิวที่ใช้วัดมีความไวต่อปัจจัยภายนอก โดยทั่วไปเครื่องควรอยู่ในห้องส่วนตัวแยกจากเครื่องมืออื่นๆ หรือมีตู้ที่กันลมและแรงกระแทก ซึ่งทางศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์กำลังดำเนินการอยู่ ดังนั้นในช่วงที่ทดสอบจึงมีการกำหนดสภาวะควบคุมต่างๆ ได้แก่ การควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอยู่ในช่วง 24-25 องศาเซลเซียส ควบคุมอุณหภูมิชื้นตัวอย่างให้คงที่ และเท่ากันกับอุณหภูมิห้อง ควบคุมแสง แรงสั่นสะเทือน และความสะอาด (ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ข้อ 3.1) อีกทั้งก่อนเริ่มการทดลองมีการทดสอบความแม่นยำของเครื่องและผู้วัด โดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของปริมาตรพื้นผิวที่วัดซ้ำตำแหน่งเดิม ทั้งที่เวลาเดียวกันและเวลาต่างกัน ต้องมีค่าประมาณร้อยละ 10 จากการทดสอบพบว่าเครื่องและผู้วัดมีความแม่นยำในการวัด (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ก) สุดท้ายมีการเลือกช่วงเวลาในการทดสอบ คือการอ่านค่าพื้นผิวทั้งก่อนและหลังแปรง จะทำในช่วงตอนเช้า (ตี 5) และตอนดึก (หลัง 2 ทุ่ม) อย่างไรก็ตามผลการศึกษาที่ได้พบว่ามีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ค่อนข้างกว้าง คือ ความลึกเฉลี่ยของการสึกมีค่า  $1.12 \pm 0.35$  ถึง  $1.48 \pm 0.53$  ไมโครเมตร เช่นเดียวกันกับการศึกษาต่างๆ ที่ใช้เครื่องวัดความหยาบพื้นผิวส่วนใหญ่ ก็มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกว้าง อย่างเช่น การศึกษาความลึกของการสึกจากการแปรงของวัสดุประเภททกลาสไอโอโนเมอร์ (Fuji II) เท่ากับ  $80.8 \pm 19.8$  ไมโครเมตร และวัสดุประเภทเรซินโมดิฟายด์ทกลาสไอโอโนเมอร์ (Fuji II LC) เท่ากับ  $115.2 \pm 26.2$  ไมโครเมตร (45) การศึกษาการสึกของผิวเคลือบฟันปกติมีค่า  $0.05 \pm 0.04$  ถึง  $0.40 \pm 0.28$  ไมโครเมตร และการสึกของเนื้อฟันปกติมีค่า  $-0.24 \pm 0.37$  ถึง  $2.87 \pm 2.38$  ไมโครเมตร (47) การศึกษาความลึกของการสึกของผิวเคลือบฟันปกติมีค่า  $0.04 \pm 0.03$  ถึง  $2.05 \pm 0.52$  ไมโครเมตร และความลึกของการสึกของผิวเคลือบฟันที่มีรอยผุมีค่า  $0.08 \pm 0.03$  ถึง  $16.56 \pm 10.78$  ไมโครเมตร (51)

ผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ผลิตในประเทศ มีคุณสมบัติในเรื่องความต้านทานต่อการสึกจากการแปรง ไม่แตกต่างจากวัสดุที่นำเข้าจากต่างประเทศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของสุจิต พูลทอง และคณะ ปี พ.ศ.2547 พบว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพีวีแคร์ มีคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพ (ความแข็งผิวและด็กิริออฟคอนเวอร์ชัน) ใกล้เคียงกับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันคอนไซส์ และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานขององค์การมาตรฐานนานาชาติที่ 6874:1988 และ 4049:2000 (12) จากการศึกษาของ Momoi



และคณะ ปี ค.ศ.1997 ได้พบว่าความต้านทานต่อการสึกจากการแปรงของวัสดุมีความสัมพันธ์กับความแข็งผิว (45) ในขณะที่วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เติมวัสดุอุดแทรก จะให้ความแข็งผิวที่สูงกว่าวัสดุที่ไม่มีวัสดุอุดแทรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (57, 59) อย่างไรก็ตามวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้ง 4 ชนิดที่ใช้ในการศึกษานี้ จัดอยู่ในกลุ่มที่มีวัสดุอุดแทรกน้อยหรือไม่มีเลย (Unfilled sealant) ดังนั้นความต้านทานต่อการสึกจากการแปรงจึงไม่แตกต่างกัน

ส่วนประกอบสำคัญของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ได้แก่ โมโนเมอร์หลัก โมโนเมอร์ที่มีความหนืดต่ำ (ส่วนใหญ่เป็นไตรเอทิลีนไกลคอล ไดเมทาครีเลท หรือ TEGDMA) สารเริ่มปฏิกิริยา และสารกระตุ้นปฏิกิริยา โดยวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันอาจแบ่งชนิดตามโมโนเมอร์หลักได้เป็น บิสจีเอ็มเอ (BisGMA) หรือยูดีเอ็มเอ (UDMA) ทั้งนี้วัสดุที่ผลิตออกมาจำหน่ายบางยี่ห้อจะใส่สารโมโนเมอร์ทั้งสองชนิดร่วมกัน สำหรับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ พรียวแคร์ทั้งชนิดซุนและไล มีส่วนประกอบคือ BisGMA และ TEGDMA ที่อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก ส่วนคอนไซส์ประกอบด้วย BisGMA และ TEGDMA อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเช่นเดียวกัน ดังนั้นส่วนประกอบที่คล้ายกันของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันแต่ละชนิด จึงทำให้ความต้านทานต่อการสึกจากการแปรงของวัสดุไม่แตกต่างกัน

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทั้งหมดในการศึกษานี้ ผ่านการแปรงทั้งหมด 20,000 รอบ เทียบเท่าเวลาประมาณ 3 ปี มีค่าความสึกเฉลี่ยของการสึกตั้งแต่ 1.12-1.48 ไมโครเมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ สลิลลา ตริกาลนนท์ และคณะ ปี พ.ศ.2549 ศึกษาการสึกจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันคอนไซส์ โดยใช้แรงกด 300 กรัม ความเร็วหัวแปรง 300 ครั้งต่อนาที ที่จำนวนรอบ 48,000 รอบ เทียบเท่าเวลา 4 ปี (สูตรในการคำนวณต่างกัน) วัดความสึกของการสึกโดยหาความแตกต่างของเส้นแสดงลักษณะพื้นผิวก่อนและหลังแปรง (ขึ้นตัวอย่างละ 3 เส้น หรือ 3 profile) โดยใช้โปรแกรมอิมเมจโปรพลัส (Image Pro Plus) นำมาหาค่าเฉลี่ยพบว่าความสึกของการสึกมีค่าตั้งแต่ 0.61-3.22 ไมโครเมตร (67) ทั้งนี้แตกต่างจากการศึกษาของ Pintado และคณะ ปี ค.ศ.1991 ศึกษาการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันคอนไซส์ทางคลินิกที่เวลา 30 เดือน มีค่าเฉลี่ยความสึกสูงสุดของการสึกถึง 221.8 ไมโครเมตร (28) สามารถอธิบายได้ว่าการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันตามธรรมชาตินั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ มากกว่าการสึกจากการแปรงฟัน โดยปัจจัยหลักในการสึกของวัสดุควรจะมาจกลักษณะของอาหารที่รับประทาน ซึ่งทำให้เกิดการสึกจากการบดเคี้ยวและการสึกจากการกัดเซาะมากกว่า ดังนั้นการสึกจากการแปรงด้วยแปรงสีฟัน และมียาสีฟันร่วมด้วยมีค่าน้อยมาก น่าจะไม่มีผลต่อการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทางคลินิก

สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับการสึกของฟัน มีการศึกษามากมายทั้งการศึกษาในผิวเคลือบฟันและเนื้อฟันปกติ หรือศึกษาในผิวเคลือบฟันและเนื้อฟันที่ถูกกัดกร่อน (สรุปในตารางที่ 2 ของบทที่ 2) โดยการศึกษาของ Philpotts และคณะ ปี ค.ศ.2005 ทดสอบการสึกของผิวเคลือบฟันและ

เนื้อฟันปกติ ด้วยยาสีฟันที่ค่าความสามารถในการขัดสีต่างกัน โดยใช้เครื่องแปรงฟันอัตโนมัติ แรงกด 375 กรัม ความเร็ว 150 รอบต่อนาที จำนวนรอบ 900 รอบ พบค่าเฉลี่ยของการสึกของผิวเคลือบฟันมีค่าตั้งแต่  $0.05 \pm 0.04$  ถึง  $0.40 \pm 0.28$  ไมโครเมตร และค่าเฉลี่ยการสึกของเนื้อฟันมีค่าตั้งแต่  $-0.24 \pm 0.37$  ถึง  $2.87 \pm 2.38$  ไมโครเมตร ทั้งนี้ค่าแตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับความสามารถในการขัดสีของยาสีฟันที่แตกต่างกัน (47)

ส่วนการศึกษาของ Kielbassa และคณะ ปี ค.ศ.2005 ทดสอบการสึกจากการแปรงของผิวเคลือบฟันปกติและผิวเคลือบฟันที่ทำให้เกิดรอยจุลช่องลึกประมาณ 80-90 ไมโครเมตร ด้วยเครื่องแปรงฟันอัตโนมัติจำนวนรอบ 16,000 รอบ แรงกด 275 กรัม ความเร็วแปรง 200 รอบต่อนาที (เทียบเท่าเวลาประมาณ 1.5 ปี) มีค่าความลึกของการสึกของผิวเคลือบฟันปกติตั้งแต่  $0.04 \pm 0.03$  ถึง  $2.05 \pm 0.52$  ไมโครเมตร และค่าความลึกของการสึกของผิวเคลือบฟันที่มีรอยจุลช่องมีค่าตั้งแต่  $0.08 \pm 0.03$  ถึง  $16.56 \pm 10.78$  ไมโครเมตร พบว่าค่าความลึกของการสึกของผิวเคลือบฟันปกติมีค่าค่อนข้างกว้าง ขึ้นอยู่กับสารและอนุภาคของผงขัด โดยความลึกของการสึกของผิวเคลือบฟันปกติ ที่ขัดโดยอนุภาคผงขัดขนาดปานกลางมีค่าเท่ากับ  $0.78 \pm 0.40$  ไมโครเมตร (51) จากการศึกษาที่กล่าวมาแล้วทั้งสองการศึกษา พบว่าความลึกของการสึกของผิวเคลือบฟันปกติมีค่าน้อยกว่าความลึกของการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันในการศึกษานี้เล็กน้อย แสดงว่าผิวเคลือบฟันมีความต้านทานต่อการสึกมากกว่าหรือใกล้เคียงกับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ซึ่งหากมีความแตกต่างระหว่างความต้านทานต่อการสึกของผิวเคลือบฟันและวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันอย่างมาก อาจจะมีผลต่อการรั่วซึมบริเวณรอยต่อของวัสดุกับฟันได้ อย่างไรก็ตามไม่สามารถสรุปผลการเปรียบเทียบการสึกของผิวเคลือบฟันและวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันได้ เนื่องจากความแตกต่างในวิธีการทดสอบทั้งค่าแรงกด ความเร็ว และจำนวนรอบของการแปรง

การศึกษาที่ผ่านมาในอดีต ไม่มีการวัดค่าปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงหลังจากการแปรงของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันโดยใช้เครื่องวัดความหยابพื้นผิว ส่วนใหญ่วัดเฉพาะค่าความหยابพื้นผิวและเส้นแสดงลักษณะพื้นผิว เนื่องจากขั้นตอนการวัดต้องใช้เครื่องวัดความหยابพื้นผิวแบบ 3 มิติ และมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับหาความแตกต่างก่อนและหลังแปรง นอกจากการศึกษาของ Pintado และคณะ ปี ค.ศ.1991 ศึกษาการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันคอนไรส์ทางคลินิกเป็นเวลา 30 เดือน พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาตรของวัสดุที่หายไปคือ 0.43 ลูกบาศก์มิลลิเมตร (28) ซึ่งมากกว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากการศึกษานี้อย่างมาก โดยปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากการแปรงของวัสดุจากการศึกษานี้ มีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 0.0028 ถึง 0.0037 ลูกบาศก์มิลลิเมตร สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ในเรื่องความลึกของการสึกที่ต่างกันอย่างมากจากการศึกษาทางคลินิกและห้องปฏิบัติการ เนื่องจากการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันตามธรรมชาตินั้น

ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ มากกว่าการสึกจากการแปร่งฟัน ดังนั้นการสึกจากการแปร่งด้วยแปร่งสีฟัน และมียาสีฟันร่วมด้วยมีค่าน้อยมาก น่าจะไม่มีผลต่อการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทางคลินิก

การวิจัยนี้เป็นเพียงการทดลองในห้องปฏิบัติการ จึงมีข้อจำกัดในการสร้างสภาวะต่างๆ ให้เหมือนสิ่งแวดล้อมจริงในช่องปาก อีกทั้งการสึกที่เกิดขึ้นภายในช่องปากเป็นขบวนการที่ซับซ้อน และยังมีความแตกต่างกันในแต่ละบุคคล จึงเป็นการยากที่จะสร้างให้เกิดสภาวะต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการสึกได้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพียงครั้งเดียว ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ เรื่องความต้านทานต่อการสึกจากการแปร่งของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน และเป็นปัจจัยที่นำมาพิจารณาประกอบในเรื่องความแข็งแรงของวัสดุ เนื่องจากวัสดุที่มีการสึกน้อย จะมีอายุการใช้งานของวัสดุในช่องปากของผู้ป่วยได้นานขึ้น อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในทางคลินิก เพื่อประเมินการสึกของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันในช่องปากต่อไป



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สรุปผลการวิจัย

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพีวีแคร์ ที่พัฒนาขึ้นโดยคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีคุณสมบัติทางกายภาพในเรื่องการสึกจากการแปรง ใกล้เคียงกับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

- (1) Silverstone LM. Remineralization and enamel caries: new concepts. Dent Update 1983;10:261-273.
- (2) Rugg-Gunn AJ. Dental caries. In: Paediatric Dentistry, editor. Welbury RR. Oxford: Oxford University Press, 1997:p.109.
- (3) Harris NO. Introduction to primary preventive dentistry. In: Primary Preventive Dentistry, 6<sup>th</sup> ed. editors. Norman O. Harris, Franklin Garcia-Godoy. Pearson Education, Inc., 2004:pp.1-22.
- (4) Simonsen RJ. Retention and effectiveness of dental sealant after 15 years. J Am Dent Assoc 1991;122:34-42.
- (5) Ripa LW. Sealants revisited: an update of the effectiveness of pit-and-fissure sealants. Caries Res 1993;27 Suppl 1:77-82.
- (6) Consensus development conference statement on dental sealants in the prevention of tooth decay. National Institutes of Health. J Am Dent Assoc 1984;108:233-236.
- (7) Mertz-Fairhurst EJ, Schuster GS, Fairhurst CW. Arresting caries by sealants: results of a clinical study. J Am Dent Assoc 1986;112:194-197.
- (8) Handelman SL, Leverett DH, Iker HP. Longitudinal radiographic evaluation of the progress of caries under sealants. J Pedod 1985;9:119-126.
- (9) กองทันตสาธารณสุข กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. งานทันตสาธารณสุข. แผนงานทันตสาธารณสุข ตามแผนพัฒนาสาธารณสุข ฉบับที่ 7 (พ.ศ.2535-2539). โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก กรุงเทพฯ.
- (10) กองทันตสาธารณสุข กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. งานทันตสาธารณสุข. แผนงานส่งเสริมสุขภาพ ตามแผนพัฒนาสาธารณสุข ฉบับที่ 9 (พ.ศ.2545-2549). เอกสารโรเนียว.
- (11) กระทรวงสาธารณสุข สำนักงานประกันสุขภาพ. คู่มือแนวทางการเบิกจ่ายเงินค่าบริการทางการแพทย์ภายใต้โครงการประกันสุขภาพถ้วนหน้า ปีงบประมาณ 2549. ัดสำเนา 2548.

- (12) สุจิต พูลทอง, อนุชาติ ศรีจันบาล, มารศรี อูซชิน, ประสิทธิ์ ภาวสันต์, สุภาภรณ์ จงวิศาล, ดารณี ตัณฑ์ไพโรจน์. การพัฒนาวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันสำหรับใช้ในประเทศ 1: การทดสอบสมบัติทางกายภาพ. วิทยาสารทันตแพทยศาสตร์ 2547;54:141-148.
- (13) อนุชาติ ศรีจันบาล, ประสิทธิ์ ภาวสันต์, สุจิต พูลทอง, มารศรี อูซชิน, สุภาภรณ์ จงวิศาล, ดารณี ตัณฑ์ไพโรจน์. การพัฒนาวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันสำหรับใช้ในประเทศ 2: ความเป็นพิษต่อเซลล์เพาะเลี้ยงและการเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในสัตว์ทดลอง. วิทยาสารทันตแพทยศาสตร์ 2547;54:149-155.
- (14) มารศรี อูซชิน, อนุชาติ ศรีจันบาล, สุจิต พูลทอง, ประสิทธิ์ ภาวสันต์, สุภาภรณ์ จงวิศาล, ดารณี ตัณฑ์ไพโรจน์. การพัฒนาวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันสำหรับใช้ในประเทศ 3: การพัฒนากรดฟอสฟอริกชนิดเจลเพื่อการยึดติดกับผิวเคลือบฟัน. วิทยาสารทันตแพทยศาสตร์ 2547;54:156-161.
- (15) สุภาภรณ์ จงวิศาล, มนต์ชัย ชาลาประววรรณ, วรพรรณ พึ่งรักษาเกียรติ, สุจิต พูลทอง, ดารณี ตัณฑ์ไพโรจน์. การพัฒนาวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันสำหรับใช้ในประเทศ 4: การศึกษาทางคลินิกเมื่อติดตามผล 6 เดือน. วิทยาสารทันตแพทยศาสตร์ 2547;54:224-234.
- (16) Chongvisal S, Chalaprawat M. Clinical Equivalence Study of Pit and Fissure Sealants. J Dent Res 2004;83(Spec Iss B):Abstr No 68.
- (17) Chongvisal S, Chalaprawat M. Clinical Equivalence Study of Two Pit and Fissure Sealants after 2 Years. International Conference on Adhesive Dentistry. April 2005.
- (18) Taebunpakul S, Chongvisal S, Somkote T. Clinical Equivalence Study between a Local-Made and an Imported Pit and Fissure Sealant under Field Conditions. The 4th Conference of Pediatric Dentistry Association of Asia and TSPD Annual Meeting. Sep 2004;Abstr No 54.
- (19) ศุภธิษา แต่บวรพุก. การศึกษาค่าความเท่าเทียมทางคลินิกระหว่างวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ผลิตในประเทศและวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันนำเข้าบนฟันกรามแท้ซี่ที่หนึ่งในภาวะภาคสนาม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- (20) Panich M, Srijunbarl A, Poolthong S. Effect of Drying Agents on Shear Bond Strengths of Sealants. J Dent Res 2004;83(Spec Iss B):Abstr No 88.

- (21) Ujjin M, Chongvisal S, Poolthong S. Effects of Fillers on Hardness and Strength of Sealants. J Dent Res 2004;83(Spec Iss B):Abstr No 90.
- (22) Attathom T, Thunpithayakul C, Poolthong S. Microleakage and Penetration Ability of a Sealant Using Self-Etching Primers. J Dent Res 2004;83(Spec Iss B):Abstr No 92.
- (23) International Organization for Standardization. Dental resin-based pit and fissure sealants. ISO 6874: 1988;1<sup>st</sup> ed.(ISO, Switzerland).
- (24) International Organization for Standardization. Dentistry - Polymer-based filling, restorative and luting materials. ISO 4049: 2000;3<sup>rd</sup> ed.(ISO, Switzerland).
- (25) Jensen OE, Perez-Diez F, Handelsman SL. Occlusal wear of four pit and fissure sealants over two years. Pediatr Dent 1985;7:23-29.
- (26) Simonsen RJ. Retention and effectiveness of a single application of white sealant after 10 years. J Am Dent Assoc 1987;115:31-36.
- (27) Conry JP, Pintado MR, Douglas WH. Quantitative changes in fissure sealant six months after placement. Pediatr Dent 1990;12:162-167.
- (28) Pintado MR, Conry JP, Douglas WH. Fissure sealant wear at 30 months: new evaluation criteria. J Dent 1991;19:33-38.
- (29) International Organization for Standardization. Dental materials-Guidance on testing of wear resistance-Part 1: Wear by tooth brushing. ISO/TS 14569-1: 1999;1st ed.(ISO, Switzerland).
- (30) Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. J Dent Res 1955;34:849-853.
- (31) Simonsen RJ. Pit and Fissure Sealant : Review of The Literature. Pediatr.Dent 2002;24:393-414.
- (32) ชลธชา ห้านิวัติศัย. วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดเรซิน. กองทันตสาธารณสุข กระทรวงสาธารณสุข-มาตรฐานการใช้วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดเรซิน. 2545.
- (33) Sulong MZ, Aziz RA. Wear of materials used in dentistry: a review of the literature. J Prosthet Dent 1990;63:342-349.
- (34) Mair LH. Wear in dentistry--current terminology. J Dent 1992;20:140-144.
- (35) Mair LH, Stolarski TA, Vowles RW, Lloyd CH. Wear: mechanisms, manifestations and measurement. Report of a workshop. J Dent 1996;24:141-148.

- (36) Khan Z, Morris JC, von Fraunhofer JA. Wear of nonanatomic (monoplane) acrylic resin denture teeth. J Prosthet Dent 1984;52:172-174.
- (37) Lindquist TJ, Ogle RE, Davis EL. Twelve-month results of a clinical wear study of three artificial tooth materials. J Prosthet Dent 1995;74:156-161.
- (38) Bloem TJ, McDowell GC, Lang BR, Powers JM. In vivo wear. Part II: Wear and abrasion of composite restorative materials. J Prosthet Dent 1988;60:242-249.
- (39) Mahalick JA, Knap FJ, Weiter EJ. Occlusal wear in prosthodontics. J Am Dent Assoc 1971;82:154-159.
- (40) International Organization for Standardization. Dental materials-Guidance on testing of wear resistance-Part 2: Wear by two- and/or three body contact. ISO/TS 14569-2: 2001;1<sup>st</sup> ed.(ISO, Switzerland).
- (41) User's manual: Surface Finish Metrology. Iss 3. Talor Hobson Ltd. 2003.
- (42) Jack, H. Methods of measuring surface roughness (online). Available from : <http://www.claymore.engineer.gvsu.edu/jackh/eod/manufact/manufact> (2001, Aug)
- (43) Wang L, Garcia FC, Amarante de Araujo P, Franco EB, Mondelli RF. Wear resistance of packable resin composites after simulated toothbrushing test. J Esthet Restor Dent 2004;16:303-314; discussion 314-315.
- (44) Frazier KB, Rueggeberg FA, Mettenburg DJ. Comparison of wear-resistance of Class V restorative materials. J Esthet Dent 1998;10:309-314.
- (45) Momoi Y, Hirotsaki K, Kohno A, McCabe JF. In vitro toothbrush-dentifrice abrasion of resin-modified glass ionomers. Dent Mater 1997;13:82-88.
- (46) Teixeira EC, Thompson JL, Piascik JR, Thompson JY. In vitro toothbrush-dentifrice abrasion of two restorative composites. J Esthet Restor Dent 2005;17:172-180; discussion 181-182.
- (47) Philpotts CJ, Weader E, Joiner A. The measurement in vitro of enamel and dentine wear by toothpastes of different abrasivity. Int Dent J 2005;55:183-187.



- (48) Sorensen JA, Nguyen HK. Evaluation of toothbrush-induced dentin substrate wear using an in vitro ridged-configuration model. Am J Dent 2002;15:26B-32B.
- (49) Eisenburger M, Shellis RP, Addy M. Comparative study of wear of enamel induced by alternating and simultaneous combinations of abrasion and erosion in vitro. Caries Res 2003;37:450-455.
- (50) Turssi CP, Messias DC, de Menezes M, Hara AT, Serra MC. Role of dentifrices on abrasion of enamel exposed to an acidic drink. Am J Dent 2005;18:251-255.
- (51) Kielbassa AM, Gillmann L, Zantner C, Meyer-Lueckel H, Hellwig E, Schulte-Monting J. Profilometric and microradiographic studies on the effects of toothpaste and acidic gel abrasivity on sound and demineralized bovine dental enamel. Caries Res 2005;39:380-386.
- (52) Attin T, Zirkel C, Hellwig E. Brushing abrasion of eroded dentin after application of sodium fluoride solutions. Caries Res 1998;32:344-350.
- (53) Futatsuki M, Nozawa M, Ogata T, Nakata M. Wear of resin-modified glass ionomers: an in vitro study. J Clin Pediatr Dent 2001;25:297-301.
- (54) Suzuki S, Minami H. Evaluation of toothbrush and generalized wear of luting materials. Am J Dent 2005;18:311-317.
- (55) Wakamatsu Y, Kakuta K, Ogura H. Wear test combining simulated occlusal wear and toothbrush wear. Dent Mater J 2003;22:383-396.
- (56) Vieira A, Overweg E, Ruben JL, Huysmans MC. Toothbrush abrasion, simulated tongue friction and attrition of eroded bovine enamel in vitro. J Dent 2005.
- (57) Ulvestad H. Hardness testing of some fissure-sealing materials. Scand J Dent Res 1977;85:557-560.
- (58) Roberts JC, Powers JM, Craig RG. Wear of commercial pit and fissure sealants. J Dent Res 1977;56:692.
- (59) Raadal M. Abrasive wear of filled and unfilled resins in vitro. Scand J Dent Res 1978;86:399-403.

- (60) Aranda M, Garcia-Godoy F. Clinical evaluation of the retention and wear of a light-cured pit and fissure glass ionomer sealant. J Clin Pediatr Dent 1995;19:273-277.
- (61) ไพพรรณ พิทยานนท์. ขนาดตัวอย่างและเทคนิคการเลือกตัวอย่าง. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. อัดสำเนา 2547.
- (62) Mandikos MN, McGivney GP, Davis E, Bush PJ, Carter JM. A comparison of the wear resistance and hardness of indirect composite resins. J Prosthet Dent 2001;85:386-395.
- (63) User's manual: TalyScan 150. version 1.0.1. Taylor Hobson Ltd. 1999.
- (64) Operating instructions. V-8 cross brushing machine, Illinois, SABRI Dental Enterprises. 2001.
- (65) International Organization for Standardization. Dentistry - Toothpastes - Requirements, test methods and marking. ISO 11609: 1995;1<sup>st</sup> ed.(ISO, Switzerland).
- (66) Harrington E, Jones PA, Fisher SE, Wilson HJ. Toothbrush-dentifrice abrasion. A suggested standard method. Br Dent J 1982;153:135-138.
- (67) สลิลลา ตรีกาลนนท์, แพรวพัชร ปัจฉิมสวัสดิ์, วนิดา นิมมานนท์. การสึกของสารซีแลนท์จากการแปรงด้วยแปรงสีฟันชนิดต่างๆ: การศึกษาในห้องปฏิบัติการ. วิทยาสารทันตแพทยศาสตร์มหิดล 2549;26:207-217.
- (68) Heath JR, Wilson HJ. Abrasion of restorative materials by toothpaste. J Oral Rehabil 1976;3:121-138.
- (69) Harrington JH, Terry IA. Automatic and Hand Toothbrushing Abrasions Studies. J Am Dent Assoc 1964;68:343-350.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

## วิธีวัดความแม่นยำของการวิจัย

## 1. ความเที่ยงตรงของเครื่อง (Accuracy)

- วัดขึ้นตัวอย่างซ้ำที่ตำแหน่งเดิม โดยที่ยังไม่ได้ยกหัวเข็มลากลาก (Stylus) ให้เครื่องอ่านค่าซ้ำ 4 ครั้ง ในแต่ละครั้งที่วัดเมื่อเครื่องอ่านค่าพื้นผิวเสร็จ กำหนดให้เครื่องคำนวณหาค่าปริมาตรของพื้นผิวนั้นๆ นำค่าที่อ่านได้ (ทั้งหลุมและยอด) มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of Variance) ควรจะได้ค่าประมาณ 10
- ทดสอบ 2 รอบ โดยรอบแรกใช้ความเร็วหัวเข็มลากลาก 1500 ไมโครเมตรต่อวินาที และรอบที่สองใช้ความเร็วหัวเข็มลากลาก 3000 ไมโครเมตรต่อวินาที ดังตารางที่ 16 เพื่อเปรียบเทียบความเที่ยงตรงของเครื่องที่ความเร็วต่างกัน ว่าควรใช้ความเร็วการทดสอบเท่าใด

ตารางที่ 16 แสดงผลการวัดความเที่ยงตรงของเครื่อง

ครั้งที่	Volume (Speed 1500)			Volume (Speed 3000)		
	Hole	Peak	Sum	Hole	Peak	Sum
1	360	1070009	1070369	191	1031825	1032016
2	160	1061582	1061742	177	1032757	1032934
3	170	1039981	1040151	190	1025697	1025887
4	104	1032951	1033055	220	1021507	1021727
Mean	198.5	1051131	1051329	194.5	1027947	1028141
SD	111.5153	17516.06	17605.29	18.15673	5313.852	5298.062
CV	56.179	1.666402	1.674575	9.335077	0.516939	0.515305

- จากการทดสอบพบว่าความเร็วหัวเข็มลากลาก 3000 ไมโครเมตรต่อวินาที มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายต่ำกว่า การวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้ความเร็วหัวเข็มลากลาก 3000 ไมโครเมตรต่อวินาที ในการทดสอบ

## 2. ความแม่นยำของผู้วัด (Precision) ในการใช้เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว

- วัดชิ้นตัวอย่างซ้ำที่ตำแหน่งเดิม ในเวลาที่แตกต่างกันทั้งหมด 6 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้มา คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of Variance) ควรจะได้ค่าประมาณ 10 ดังในตารางที่ 17
- การทดสอบวัดชิ้นตัวอย่าง ด้วยความเร็วหัวเข็มลาก 3000 ไมโครเมตรต่อวินาที เมื่อเครื่อง อ่านค่าพื้นผิวเสร็จ กำหนดให้เครื่องคำนวณค่าปริมาตรและพื้นที่ของพื้นผิวนั้นๆ นำ ค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแปรปรวน

ตารางที่ 17 แสดงผลการวัดความแม่นยำของผู้วัดในการใช้เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว

ครั้งที่	Volume			Surface	
	Hole	Peak	Sum	Hole	Peak
1	214	1006199	1006413	0.00696	0.983
2	269	1116953	1117222	0.00748	0.983
3	229	1094045	1094274	0.00735	0.983
4	232	1044590	1044822	0.0071	0.983
5	217	1034242	1034459	0.00621	0.984
6	191	1031825	1032016	0.00621	0.984
Mean	225.3333	1054642	1054868	0.006885	0.983333
SD	25.85085	41999.52	42020.01	0.000554	0.000516
CV	11.47227	3.982348	3.983439	8.043252	0.052515

## 3. ความแม่นยำของผู้วัด (Precision) ในการใช้เครื่องแปรงพื้นอัตโนมัติ

- การวัดแรงกดของแปรงสีพื้น โดยใช้เครื่องวัดปริมาณความตึง (Dontrix tension gauge) เทียบกับผู้ชำนาญการใช้เครื่องได้ผลตรงกัน

## ภาคผนวก ข

## ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำวิจัยนำร่อง

การทดสอบแต่ละรอบเกิดปัญหาต่างๆขึ้น จึงหาทางแก้ปัญหาและเปลี่ยนวิธีทดสอบ ดังที่แสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 แสดงปัญหาที่พบจากการทำวิจัยนำร่อง

ลำดับ	ปัญหาที่พบ	วิธีทางแก้ไข	หมายเหตุ
1	Scan หลังจากแปรงพื้น พบว่ามีโลหะกว้างขึ้น คล้ายว่ามีการสึกของวัสดุบริเวณรอยต่อของวัสดุกับโลหะ	- นำชิ้นตัวอย่างขัดกระดาษทรายก่อนเริ่ม Scan เพื่อกำจัดส่วนเกินของวัสดุตรงรอยต่อก่อน	ตอนหลังจึงทราบว่าไม่ได้มีส่วนเกินของวัสดุ แต่ที่พบว่ามีโลหะกว้างขึ้น เนื่องจากชิ้นตัวอย่างมีการขยับ
2	การขยับของชิ้นตัวอย่าง	- ยึดแท่งเหล็กทรงกระบอกให้ติดแน่นกับฐานของเครื่อง แล้วถอดเฉพาะชิ้นตัวอย่าง	ผลที่ได้ดี ไม่มีการขยับของชิ้นตัวอย่างอีก
3	การเลือกความเร็วที่ใช้ในการวัด	- ทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องที่ความเร็วต่างกัน	เลือกใช้ความเร็ว 3000 um/sec
4	การเลือกบริเวณที่วัด เนื่องจากตรงรอยต่อของโลหะกับวัสดุมีการสึกมากกว่าบริเวณอื่น (เกิดการกะเทาะของวัสดุ)	- ครั้งแรกวัด $3 \times 1 \text{ mm} = 1$ พื้นผิว ก่อนเมื่อพบปัญหาจึงเปลี่ยนเป็นวิธีวัดเป็น $1 \times 1 \text{ mm} = 3$ พื้นผิว เลือกใช้เฉพาะพื้นผิวตรงกลางในการคำนวณปริมาตร	ตอนหลังพบว่า การใช้เฉพาะพื้นผิวตรงกลางมาคำนวณจุดอ้างอิงจะอยู่บนวัสดุ เมื่อแปรงพื้นจะเกิดการสึกจุดอ้างอิงเปลี่ยน
5	จุดอ้างอิงเปลี่ยน	- วัด $3 \times 1 = 1$ พื้นผิว แล้วใช้คำสั่ง Zoom เพื่อเลือกพื้นที่ตรงกลางพื้นผิวที่วัด ขนาด $1 \times 1 \text{ mm}$ . เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาตร	เลือกใช้วิธีนี้ในการทำวิจัยนำร่อง แต่พบว่ามีปัญหาเรื่องจุดอ้างอิงเปลี่ยนอีก จึงใช้วิธีตามบทที่ 3
6	โลหะมีการหด-ขยายต่างกันที่อุณหภูมิต่างๆ	- กำหนดสภาวะควบคุม ตามบทที่ 3 ข้อ 3.1	
7	การแปลผลต่างของปริมาตรก่อนและหลัง เนื่องจากมีทั้งค่า Hole และ Peak (ทำเฉพาะในวิจัยนำร่อง แต่พบความผิดพลาดจึงเปลี่ยนตามบทที่ 3)	- กำหนดบริเวณที่วัดตรงกลาง (คำสั่ง Zoom) ทั้งก่อนและหลัง นำบริเวณที่ Zoom แล้วทั้งสอง มาใช้คำสั่ง Surface subtraction	คำนวณปริมาตรของพื้นผิวที่ Subtraction แล้วนำค่า Hole และ Peak ของปริมาตรมาบวกกัน จะได้ค่าปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งหมด

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววิไลพรรณ เดชาภิมุขกุล เกิดเมื่อวันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2521 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีทันตแพทยศาสตรบัณฑิตจากมหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2544 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก ในปีการศึกษา 2547 ปัจจุบันทำงานเป็นทันตแพทย์เอกชน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย