

ผลของเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรดต่อความหยาบพื้นผิวของซีเมนต์ยึดติดชนิดเรซิน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

ปีการศึกษา 2556

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตที่ส่งมาขึ้นทะเบียนวิทยานิพนธ์ที่ส่งมาทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

EFFECT OF ACIDIC BEVERAGES ON SURFACE ROUGHNESS OF RESIN LUTING
CEMENTS

Mr. Pongsathorn Jintakanon

The logo of Chulalongkorn University, featuring a central emblem with a sunburst and a tiered structure, set against a light background.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

Department of Operative Dentistry

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

พงศธร จินตกานนท์ : ผลของเครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรดต่อความหยาบพื้นผิวของซีเมนต์ยึดติดชนิดเรซิน. (EFFECT OF ACIDIC BEVERAGES ON SURFACE ROUGHNESS OF RESIN LUTING CEMENTS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ทพ. ดร.ชัยวัฒน์ มณีบุษย์ , 88 หน้า.

วัตถุประสงค์: เพื่อประเมินอิทธิพลของชนิดของเครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรดต่อความหยาบพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการจำลองการดื่มเครื่องดื่ม วิธีการ: สร้างชิ้นงานเรซินซีเมนต์ 8 กลุ่ม กลุ่มละ 13 ชิ้น บำรุงชิ้นงาน 4 กลุ่มแรกด้วยเรซินซีเมนต์เอ็นเอ็กซ์ 3 เน็กซ์[®] และบำรุงชิ้นงาน 4 กลุ่มที่เหลือด้วยเรซินซีเมนต์รีล่าย เอ็กซ์ ยูนิเซ็ม 2[®] วัดค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้น (Ra) ก่อนการจำลองการดื่มเครื่องดื่ม แล้วนำชิ้นงานแต่ละกลุ่มไปจำลองการดื่มเครื่องดื่มเสมือนจริงแบบถ้อยด้วยเครื่องดื่มเย็นแต่ละชนิด ได้แก่ โค้ก[®] ลิปตันไอซ์ที[®] และน้ำส้มเขียวหวานทิปโก้[®] เป็นเวลา 10 วัน ทั้งนี้ เครื่องดื่มเย็นแต่ละชนิดจะผ่านการวัดค่าความเป็นกรดเบสและไทเทรตความเป็นกรดที่อุณหภูมิห้องก่อนการจำลองการดื่มเครื่องดื่ม วัดค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของชิ้นงานแต่ละชิ้นอีกครั้ง ก่อนนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดเพื่อประเมินลักษณะผิวหน้า นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง ร่วมกับแพร์ที-เทส และสถิติทีวิน ผลการทดลอง: โค้ก[®] (ค่าความเป็นกรดเบส=2.55) ลิปตันไอซ์ที[®] (ค่าความเป็นกรดเบส=3.05) และน้ำส้มเขียวหวานทิปโก้[®] (ค่าความเป็นกรดเบส=3.58) ทำให้ผิวหน้าของเรซินซีเมนต์มีความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$ ทุกกลุ่มการทดลอง) โดยชนิดของเครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรดมีผลต่อความหยาบพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ ($p < 0.001$) ในขณะที่ชนิดของเรซินซีเมนต์ไม่มีผลต่อความหยาบพื้นผิวที่เพิ่มขึ้น ($p = 0.299$) ความสามารถของเครื่องดื่มในการทำให้ผิวหน้าของเรซินซีเมนต์มีความหยาบเพิ่มขึ้นขึ้นกับค่าความเป็นกรดเบส กล่าวคือ เครื่องดื่มที่มีค่าความเป็นกรดเบสต่ำกว่า จะทำให้พื้นผิววัสดุมีความหยาบเพิ่มขึ้นได้มากกว่า ภาพกำลังขยาย 10,000 เท่าของพื้นผิววัสดุแสดงให้เห็นว่าเรซินซีเมนต์ภายหลังการจำลองการดื่มเครื่องดื่มมีผิวหน้าขรุขระมากขึ้น สรุป: เครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรดทำให้พื้นผิวของเรซินซีเมนต์มีความหยาบเพิ่มขึ้น ยิ่งเครื่องดื่มมีค่าความเป็นกรดเบสต่ำเท่าใด ก็จะทำให้เรซินซีเมนต์มีความหยาบพื้นผิวเพิ่มขึ้นเท่านั้น

ภาควิชา ทันตกรรมหัตถการ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา ทันตกรรมหัตถการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2556

5475816032 : MAJOR OPERATIVE DENTISTRY

KEYWORDS: ACIDIC BEVERAGE / EROSION / RESIN CEMENT / SURFACE ROUGHNESS

PONGSATHORN JINTAKANON: EFFECT OF ACIDIC BEVERAGES ON SURFACE ROUGHNESS OF RESIN LUTING CEMENTS. ADVISOR: ASSOC. PROF. CHAIWAT MANEENUT, Ph.D., 88 pp.

Objective: To evaluate the influence of acidic beverages on the surface roughness of resin cements. Methods: Eight groups of resin cement (N=13) were prepared, four each of NX3 Nexus[®] and RelyX Unicem 2[®]. Baseline surface roughness (Ra) was determined for each specimen. A high beverage intake simulation was performed on the samples using chilled Coke[®], Lipton[®] ice tea, or Tipco[®] tangerine juice for 10 days. Surface roughness was again determined and the specimen surfaces were evaluated using scanning electron microcopy (SEM). The pH value and titratable acidity of each chilled beverage were determined. The data were analyzed by two-way ANOVA parametric test, followed by Dunnett T3 post hoc test. The paired T-test and Levene statistic were also used. Results: Treatment with Coke[®] (pH=2.55), Lipton[®] ice tea (pH=3.05), and Tipco[®] tangerine juice (pH=3.58) significantly increased the surface roughness of the tested resin cements (p<0.001 for all beverages). While the type of acidic beverage influenced the increase in surface roughness (p<0.001), the type of resin cement did not (p=0.299). The ability of an acidic beverage to increase surface roughness depended on its pH value; the lower the pH, the higher its ability to roughen the surface. SEM analysis revealed that the resin cements surfaces appeared rougher after the drinking simulation. Conclusion: The acidic beverages have ability to roughen resin cement surfaces; the lower the pH of the beverage, the higher its ability to roughen the surface.

Department: Operative Dentistry

Student's Signature

Field of Study: Operative Dentistry

Advisor's Signature

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสถาบันและผู้มีส่วนร่วมให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ดังมีรายนามต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ทันทแพทย์ ดร.ชัยวัฒน์ มณีบุษย์ ภาควิชาพันธุกรรม ทางการแพทย์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการศึกษา ค้นคว้า วิจัย และจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณ คณาจารย์สาขาวิชาพันธุกรรมทางการแพทย์ ภาควิชาพันธุกรรมทางการแพทย์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอน มอบความรู้ และคำแนะนำในการศึกษาต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ รวมถึงแรงบันดาลใจในการทำงาน จนทำให้การทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์และสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะข้อบกพร่อง และให้แนวทางการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ที่เป็นประโยชน์

ขอขอบคุณบุคลากรประจำภาควิชาชีวเคมี ภาควิชาเภสัชวิทยา ศูนย์วิจัยพันธุศาสตร์ และศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ประกอบการวิจัย และให้ความสะดวกในการดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณบริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด ที่ให้การสนับสนุนวัสดุสำหรับการวิจัย และบริษัท เอสดีเอส เคอร์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ลดราคาวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่น้อง รวมทั้งผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความรัก ความห่วงใย ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้เสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
รายการอ้างอิง.....	61
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	88

บทที่

1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
คำถามวิจัย.....	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
สมมติฐานของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	5
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
รูปแบบการวิจัย.....	5
ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	6
รายละเอียดงบประมาณวิจัย.....	7
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
เรซินซีเมนต์ (resin cement).....	8
การจำแนกชนิดของเรซินซีเมนต์.....	8
การสึกกร่อนจากการละลาย (erosive wear).....	15
การสึกกร่อนจากการละลาย (erosion) ในทางทันตกรรม.....	16
การประเมินการสึกของฟันและวัสดุบูรณะทางทันตกรรม.....	17

บทที่	หน้า
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	30
การคำนวณขนาดตัวอย่าง (n) ต่อกลุ่ม.....	30
วัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	31
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	33
อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	34
การเตรียมชิ้นงานเรซินซีเมนต์ตัวอย่าง.....	35
การวัดความหยาบพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างก่อนการจำลองการตีเครื่องตี.....	38
การจำลองการตีเครื่องตี.....	40
การวัดค่าความเป็นกรดเบส (pH) ของเครื่องตี.....	43
การไทเทรต (titrate) ความเป็นกรดของเครื่องตี.....	43
การวัดความหยาบพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างหลังการจำลองการตีเครื่องตี.....	43
การประเมินลักษณะพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ชนิดส่องกราด.....	44
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	45
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	46
ความเป็นกรดเบสของเครื่องตีชนิดต่าง ๆ.....	46
การไทเทรตความเป็นกรดของเครื่องตีชนิดต่าง ๆ.....	46
ความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของเรซินซีเมนต์กลุ่มการทดลองต่าง ๆ ก่อนการจำลองการตีเครื่องตี.....	46
ผลของชนิดของเครื่องตีต่อความหยาบพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง ก่อนและหลังการจำลองการตีเครื่องตีภายในกลุ่มการทดลองเดียวกัน.....	48
ผลของชนิดของเครื่องตีและเรซินซีเมนต์ต่อความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้น ของเรซินซีเมนต์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มการทดลอง.....	48
ลักษณะของพื้นผิวเรซินซีเมนต์กลุ่มการทดลองต่าง ๆ เมื่อประเมินภายใต้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด.....	49
5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	53
อภิปรายผลการวิจัย.....	53

บทที่	หน้า
สรุปผลการวิจัย.....	59
ข้อเสนอแนะ.....	60
ภาคผนวก.....	69
ภาคผนวก ก การวิจัยนำร่องเพื่อคำนวณหาจำนวนเส้นโพรไฟล์ที่เหมาะสม สำหรับชิ้นงานแต่ละชิ้น.....	70
ภาคผนวก ข ค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของชิ้นงานก่อนและหลังการจำลอง การตีเครื่องตี จำแนกตามชนิดของเรซินซีเมนต์และเครื่องตี.....	74
ภาคผนวก ค ค่าสถิติการทดสอบของเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรดและ ชนิดของเรซินซีเมนต์ต่อความหยาบพื้นผิวของเรซินซีเมนต์.....	79



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	ตัวอย่างเรซินซีเมนต์กลุ่มตั้งเดิมที่จำแนกตามชนิดการเกิดปฏิกิริยาการบ่มตัว พร้อมทั้งสารยึดติดที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ..... 13
2	ตัวอย่างเรซินซีเมนต์กลุ่มเซลฟ์แอคทีฟ..... 15
3	เกณฑ์การประเมินความต้านทานการสึกทางคลินิกตามข้อกำหนดของ กระทรวงสาธารณสุข ประเทศสหรัฐอเมริกา..... 18
4	ข้อดีและข้อด้อยของเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวแบบ 3 มิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ เครื่องวัดความหยาบพื้นผิวแบบ 2 มิติ..... 23
5	ค่าตัดสำหรับการวัดลักษณะพื้นผิวที่ไม่เกี่ยวข้องกับเวลา ตามมาตรฐานไอเอสโอ หมายเลข 4288:1996..... 25
6	รายละเอียดของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการวิจัย..... 31
7	รายละเอียดของเครื่องตีที่ใช้ในการวิจัย..... 32
8	วิธีการผสมเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดที่ใช้ในการวิจัยตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต..... 37
9	ค่าเฉลี่ยความเป็นกรดเบสและปริมาณไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ที่ต้องใช้เพื่อให้เครื่องตีแต่ละชนิดมีค่าความเป็นกรดเบสเท่ากับ 7.0..... 46
10	ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของเรซินซีเมนต์ ก่อนและหลังการจำลองการตีเครื่องตีในกลุ่มการทดลองต่าง ๆ (หน่วย เป็นไมโครเมตร) และความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มการทดลอง เมื่อจำแนกตามชนิดของเครื่องตีและเรซินซีเมนต์..... 47
11	จำนวนข้อมูลที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ (N) เมื่อ $\frac{RU}{ISV}$ มีค่าต่าง ๆ ส่วนหนึ่ง ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95%..... 72

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	ปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อการเกิดฟันสึกกร่อนจากสารเคมี.....17
2	ข้อจำกัดของการวัดความหยาบพื้นผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวชนิดที่มีเข็มลาก..... 22
3	เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว TalyScan 150.....24
4	ขั้นตอนการคำนวณหาค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวเชิงเส้น.....25
5	ลักษณะพื้นผิวต่าง ๆ ซึ่งมีรูปร่างและค่าระยะทางจากจุดสูงสุดไปยังจุดต่ำสุด ที่แตกต่างกัน แต่มีความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นเท่ากัน..... 26
6	เรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการวิจัย.....32
7	เครื่องตีที่ใช้ในการวิจัย..... 33
8	ช่องขึ้นงานและแบบพิมพ์ที่ใช้ในการวิจัย..... 35
9	แบบพิมพ์ที่พร้อมเตรียมขึ้นงานเรซินซีเมนต์ตัวอย่าง..... 35
10	ผู้ควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียมขึ้นงานเรซินซีเมนต์ตัวอย่าง.....37
11	การยึดขึ้นงานตัวอย่างเข้ากับเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว..... 38
12	การตั้งค่าเข็มลากสำหรับการสแกนพื้นผิวของขึ้นงานแต่ละชิ้น.....39
13	การแบ่งกลุ่มการวิจัย.....40
14	วงจรถ่ายการจำลองการตีเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรดแต่ละชนิดใน 1 วัน.....42
15	การติดขึ้นงานที่ผ่านการตัดออกจากแบบพิมพ์แล้วในกล่องพลาสติกใส..... 44
16	แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวเชิงเส้นของเรซินซีเมนต์ ก่อนการจำลองการตีเครื่องตีในกลุ่มการทดลองต่าง ๆ จำแนกตามชนิด ของเครื่องตีและเรซินซีเมนต์.....47
17	แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวเชิงเส้นของเรซินซีเมนต์ ก่อนและหลังการจำลองการตีเครื่องตีในกลุ่มการทดลองต่าง ๆ..... 48
18	แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวเชิงเส้นของเรซินซีเมนต์ ภายหลังการจำลองการตีเครื่องตีในกลุ่มการทดลองต่าง ๆ จำแนกตามชนิด ของเครื่องตีและเรซินซีเมนต์.....49

ภาพที่

หน้า

- 19 ตัวอย่างลักษณะพื้นผิวเรซินซีเมนต์ผลิตภัณท์ NX3 Nexus[®] (Kerr)
 ก่อนและหลังการจำลองการติ่มเครื่องติ่มต่าง ๆ ภายใต้อุณหภูมิ
 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 10,000 เท่า.....50
- 20 ตัวอย่างลักษณะพื้นผิวเรซินซีเมนต์ผลิตภัณท์ RelyX Unicem 2[®] (3M ESPE)
 ก่อนและหลังการจำลองการติ่มเครื่องติ่มต่าง ๆ ภายใต้อุณหภูมิ
 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 10,000 เท่า.....51



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน การบูรณะฟันด้วยวัสดุบูรณะที่มีสีคล้ายฟันกำลังได้รับความนิยมมากขึ้น แม้การบูรณะฟันโดยตรงด้วยเรซินคอมโพสิต (direct resin composite restoration) จะมีความแข็งแรงและสวยงามเป็นที่น่าพึงพอใจ แต่การบูรณะด้วยวัสดุและเทคนิคดังกล่าวก็อาจมีข้อจำกัดต่าง ๆ เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุหรือเทคนิคการบูรณะ มีการศึกษาในมนุษย์ (in vivo study) รายงานถึงความยุ่งยากในการบูรณะฟันหลังด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดที่บูรณะโดยตรงในช่องปากให้ได้รูปร่างด้านประชิด (proximal contour) จุดสัมผัสระหว่างฟัน (interproximal contact) รวมทั้งสันนูนขอบฟัน (marginal ridge) ที่ดีและสมบูรณ์(1) นอกจากนี้ ยังมีรายงานเกี่ยวกับการเกิดภาวะเสียวฟันภายหลังการบูรณะ (postoperative sensitivity)(2) และการรั่วซึมตามขอบระหว่างวัสดุบูรณะและฟัน (microleakage) ซึ่งเป็นผลจากการหดตัวของเรซินคอมโพสิตภายหลังการบ่มตัว (polymerization shrinkage) ด้วย(3) ดังนั้น การบูรณะฟันด้วยวัสดุที่มีการขึ้นรูปมาจากห้องปฏิบัติการ (indirect restoration) จึงมีความเหมาะสมกว่า(4) ชิ้นงานบูรณะดังกล่าวอาจสร้างจากเรซินคอมโพสิตชนิดที่ผ่านการบ่มตัวอย่างสมบูรณ์แล้วจากห้องปฏิบัติการ (indirect resin composite) หรือสร้างจากเซรามิก (ceramics) ก็ได้

การบูรณะฟันด้วยเซรามิกในปัจจุบัน ทันตแพทย์และผู้ป่วยส่วนใหญ่มักเลือกใช้วัสดุชนิดเซรามิกล้วน (all-ceramic) เนื่องจากชิ้นงานบูรณะจะมีความใสและสวยงามมากกว่าเซรามิกแบบดั้งเดิมซึ่งต้องอาศัยโลหะเป็นโครงรองรับ (metal-ceramic restoration) บริษัทผู้ผลิตจำนวนมากได้พัฒนาวัสดุบูรณะชนิดเซรามิกล้วนขึ้นมาหลายระบบ แต่ละระบบมีองค์ประกอบ กระบวนการการขึ้นรูปชิ้นงาน คุณสมบัติเชิงกลและกายภาพ ตลอดจนข้อบ่งชี้ในการใช้งานที่แตกต่างกัน(5) แต่การบูรณะด้วยเซรามิกล้วนมีข้อด้อยที่สำคัญ คือ รอยต่อระหว่างขอบวัสดุและฟันจะมีขนาดกว้าง จากการรวบรวมวรรณกรรมอย่างมีระบบ(6) พบว่า พิสัยของความกว้างดังกล่าวมีค่าตั้งแต่ 17 ถึง 265 ไมโครเมตร ซึ่งนับว่ามีค่ามากเมื่อเทียบกับการบูรณะด้วยทอง (gold restoration) ซึ่งมีความกว้างเพียง 30 ไมโครเมตร(7) รอยต่อที่กว้างจะทำให้ซีเมนต์ยึดติด (luting cement) สัมผัสกับสารต่าง ๆ ภายในช่องปาก ส่งผลให้ซีเมนต์มีการละลายตัวมากและรวดเร็วขึ้น(8) แนวทางหนึ่งในทางคลินิกที่ใช้ลดผลเสียจากปัญหาเรื่องความกว้างของรอยต่อดังกล่าว คือ การยึดชิ้นงานชนิดเซรามิกล้วนด้วยเรซินซีเมนต์ (resin cement)(4, 9) ซึ่งมีการละลายตัวต่ำ (low solubility) มีการยึดติดกับฟันและวัสดุบูรณะที่ดี มีความสวยงามในระดับดีมาก มีความแข็งแรงกด (compressive strength) ความ

แข็งแรงดึง (tensile strength) ความเหนียว (toughness) และความยืดหยุ่น (resilience) ที่เทียบเท่าหรือดีกว่าซีเมนต์ยึดติดชนิดอื่น ๆ(10)

อย่างไรก็ตาม ซีเมนต์ยึดติดจะต้องเผชิญกับสภาพที่เป็นกรดซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ของเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในช่องปาก รวมทั้งจากอาหารและเครื่องดื่มที่บริโภคในแต่ละวัน ส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ของวัสดุ เช่น ความใส (translucency) ความแข็งผิวระดับไมโคร (microhardness) และความหยาบพื้นผิว (surface roughness) เปลี่ยนแปลงไป(11)

ความหยาบพื้นผิวที่มากขึ้นจะสนับสนุนให้การยึดเกาะของเชื้อจุลินทรีย์มีความแข็งแรงมากขึ้น(12-16) มีการศึกษาซึ่งพบว่า ความหยาบพื้นผิวที่มากกว่า 0.2 ไมครอนจะเพิ่มการยึดเกาะของเชื้อจุลินทรีย์ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(16) นอกจากความหยาบพื้นผิวจะสนับสนุนการเกาะติดของเชื้อจุลินทรีย์แล้ว การที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถยึดเกาะอยู่บนผิววัสดุบูรณะก็จะทำให้ผิววัสดุดังกล่าวมีความหยาบพื้นผิวเพิ่มขึ้นด้วย เกิดเป็นวงจรซึ่งนำไปสู่ความล้มเหลวของงานทันตกรรมบูรณะในที่สุด(17)

สำหรับพื้นผิวซีเมนต์ยึดติดบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและพื้นผิวที่มีความหยาบจะส่งผลเสียทั้งต่อตัวฟันที่บูรณะ ฟันข้างเคียง และอวัยวะปริทันต์รอบข้าง โดยจะสนับสนุนการสะสมของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งอาจนำไปสู่การผุของโครงสร้างฟันที่อยู่รอบข้างรอยต่อนั้นได้(13, 18) นอกจากนี้ในกรณีที่ขอบรอยต่ออยู่ในบริเวณที่ใกล้กับเหงือกซึ่งเป็นบริเวณที่ทำความสะอาดได้ยาก(19) เชื้อโรคที่สะสมอยู่ในบริเวณดังกล่าวก็จะทำให้เหงือกที่อยู่รอบข้างนั้นเกิดการอักเสบ และนำไปสู่การเป็นโรคปริทันต์อักเสบ(13, 18, 20) วัสดุบูรณะชนิดเรซินคอมโพสิตที่อยู่ใต้เหงือกจะกระตุ้นการไหลของน้ำเหลืองเหงือก (crevicular fluid) ซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงภาวะการอักเสบของเหงือก (gingival inflammation)(21)

มีรายงานว่า เชื้อจุลินทรีย์ในช่องปากจะสะสมตัวบนพื้นผิววัสดุบูรณะชนิดเรซินคอมโพสิตมากกว่าวัสดุบูรณะชนิดอื่น ๆ(12, 17) รวมทั้งผิวเคลือบฟันด้วย เนื่องจากวัสดุดังกล่าวเป็นวัสดุที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ดังนั้นการขัดขวางการเชื่อมต่อระหว่างพื้นผิวเรซินคอมโพสิตกับเชื้อจุลินทรีย์ด้วยพันธะไฮโดรเจนของน้ำจึงไม่เกิดหรือเกิดขึ้นได้น้อย เชื้อจุลินทรีย์จึงสามารถยึดเกาะกับผิวเรซินคอมโพสิตด้วยพันธะที่มีความแข็งแรงสูง(12) นอกจากนี้ สารอัดแทรก (filler particles) และเรซินเมทริกซ์ (resin matrix) บางชนิด(22, 23) มอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันซึ่งหลงเหลืออยู่ในวัสดุ(24) หรือแม้แต่โพลิเมอร์ที่บ่มตัวแล้ว (polymerized polymer) ก็เป็นตัวสนับสนุนการยึดติดและการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ดีด้วย(25)

นอกจากผลเสียที่เกี่ยวข้องกับการเกาะติดของเชื้อโรคแล้ว ความหยาบพื้นผิวที่มากเกินไปยังส่งผลทำให้วัสดุบูรณะและผิวเคลือบฟันของฟันคู่สบสึกกร่อน ค่าความหยาบพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงเพียง 0.5 ไมครอน จะทำให้ปลายลิ้นสัมผัสถึงความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ วัสดุบูรณะในช่องปากควรมีความหยาบพื้นผิวไม่เกิน 0.5 ไมครอน(26, 27)

งานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับผลของกรดที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุทางทันตกรรมไม่ว่าจะเป็นความแข็งผิว ความหยาบพื้นผิว หรือการสึกกร่อนจากการละลาย ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในวัสดุบูรณะ เช่น เรซินคอมโพสิต(11, 28-36) คอมโพเมอร์ (compomer)(28, 31, 35, 37) กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (conventional glass ionomer cement)(35-37) เรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (resin-modified glass ionomer cement)(28, 33, 35-37) ซิลเวอร์รีอินฟอสส์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (silver-reinforced glass ionomer cement)(33) ไจโอเมอร์ (giomer)(31) และอมัลกัม (amalgam)(33, 36) เป็นต้น แต่ยังไม่มียานวิจัยที่ศึกษาผลของเครื่องดื่มน้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรดต่อความหยาบพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาในเรื่องดังกล่าว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเครื่องดื่มซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดที่แตกต่างกันต่อความหยาบพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปของเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งมีชนิดและปริมาณของสารที่เป็นองค์ประกอบแตกต่างกัน

คำถามวิจัย

1. เครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรดทำให้เรซินซีเมนต์มีความหยาบพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่
2. เครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรดชนิดต่าง ๆ ทำให้เรซินซีเมนต์มีการเปลี่ยนแปลงความหยาบที่พื้นผิวแตกต่างกันหรือไม่
3. เรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความหยาบพื้นผิวซึ่งเกิดจากเครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรดแตกต่างกันหรือไม่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของเครื่องดื่มซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดที่แตกต่างกันต่อความหยาบพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปของเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

สมมติฐานของการวิจัย

1. เครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรดไม่ทำให้เรซินซีเมนต์มีความหยาบพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไป
2. เครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรดชนิดต่าง ๆ มีความสามารถในการทำให้เรซินซีเมนต์เกิดการเปลี่ยนแปลงความหยาบพื้นผิวไม่แตกต่างกัน

3. เรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความหยابพื้นผิวอันเนื่องมาจากการเครื่องมือที่มีฤทธิ์เป็นกรดไม่แตกต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (experimental research) โดยศึกษาความหยابพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปของเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด คือ เอ็นเอ็กซ์ 3 เน็กซ์[®] สีสใส (NX 3 Nexus[®] (clear), Kerr Corporation, Orange, CA, USA) และรีลایเอ็กซ์ ยูนิเซ็ม 2[®] สีโปร่งแสง (Rely X Unicem 2[®] (translucent), 3M ESPE, St.Paul, MN, USA) เมื่อผ่านการจำลองการตีเครื่องมือที่มีฤทธิ์เป็นกรด 3 ชนิด ได้แก่ โค้ก[®] (Coke[®], Thainamthip, Bangkok, Thailand) ลิปตันไอซ์ที[®] (Lipton[®] ice tea, Sermsuk Beverage, Chon Buri, Thailand) และน้ำส้มเขียวหวานทิปโก้[®] (Tipco[®] tangerine juice, TIPCO F&B, Phra Nakhon Si Ayuthaya, Thailand) เป็นเวลา 10 วัน

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ทันตแพทย์ผู้ปฏิบัติงานในการวิจัยครั้งนี้ได้รับการฝึกหัดจนมีความรู้และความชำนาญในการเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง การวัด และการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ในการวิจัยได้เป็นอย่างดีและเป็นบุคคลเดียวกันตลอดการวิจัย
2. การวัดความหยابพื้นผิวของเรซินซีเมนต์จะกระทำโดยการใช้เครื่องวัดความหยابพื้นผิว TalyScan 150 โดยวัดแบบการใช้เข็มลากสัมผัสกับพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ (inductive gauge)
3. ชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ทดสอบได้รับการออกแบบให้มีขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมกับวิธีการวัดผล คือ มีผิวหน้าที่แบนเรียบและขนาดกว้างกว่าความเป็นจริงในช่องปาก
4. ในการจำลองการตีเครื่องมือแต่ละครั้ง ผู้วิจัยจะจำลองจากการแบ่งตีครั้งละเท่า ๆ กัน จำนวน 10 ครั้ง (27, 35, 38) โดยนำชิ้นงานตัวอย่างแช่ในเครื่องมือเป็นเวลา 5 วินาที สลับกับการแช่ในน้ำลายเทียม 10 วินาที ซึ่งจะเป็นการจำลองให้เครื่องมืออยู่ในช่องปากเป็นเวลา 5 วินาทีก่อนกลืน และรออีก 10 วินาทีจึงตีครั้งต่อไป
5. ใน 1 วัน ผู้วิจัยจะนำชิ้นงานตัวอย่างสัมผัสกับเครื่องมือตามกระบวนการในข้อ 4 ทั้งหมด 3 รอบ ห่างกันรอบละ 3 ชั่วโมง เพื่อเป็นการจำลองการตีเครื่องมือแต่ละชนิดแบบถี่บ่อย (high beverage intake)(11)
6. การเลือกเรซินซีเมนต์ที่นำมาเป็นกลุ่มทดสอบจะเลือกเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในประเทศไทยเท่านั้น

ข้อจำกัดของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยในห้องปฏิบัติการ จึงทำให้มีข้อจำกัดบางประการที่มีความแตกต่างจากสภาวะจริงในทางคลินิก เช่น สภาวะแวดล้อมในช่องปาก การผสมและยึดติดชิ้นงานด้วยเรซินซีเมนต์ พฤติกรรมและความถี่ในการต็มเครื่องต็ม ตลอดจนการใช้งานเรซินซีเมนต์ภายใต้การยึดติดกับชิ้นงานจริงในช่องปากของผู้ป่วย เป็นต้น ดังนั้นจึงไม่อาจนำผลการวิจัยที่ได้มาสรุปเป็นผลของเครื่องต็มชนิดต่าง ๆ ต่อความหยาบพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปของเรซินซีเมนต์ภายใต้การใช้งานจริงในช่องปากได้ แต่อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยนี้จะเป็นแนวทางที่บ่งบอกถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความหยาบพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ดังกล่าวที่อาจเกิดขึ้นในช่องปาก

นอกจากนั้นแล้ว ข้อมูลบางส่วนเกี่ยวกับเรซินซีเมนต์ที่นำมาใช้ในการวิจัยผู้ผลิตไม่ได้นำมาเปิดเผยทั้งหมด ทำให้ไม่สามารถระบุความแตกต่างกันได้อย่างเฉพาะเจาะจง

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1. ชิ้นงานตัวอย่าง หมายถึง เรซินซีเมนต์ที่ถูกสร้างขึ้นในแบบพิมพ์สำหรับเตรียมชิ้นงาน
2. ความหยาบพื้นผิว หมายถึง ค่าเฉลี่ยของความหยาบพื้นผิวเชิงเส้น (Ra) จำนวน 16 เส้น ที่ใช้เป็นตัวแทนของความหยาบพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่าง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับผลของการต็มเครื่องต็มที่มีฤทธิ์เป็นกรดต่อความหยาบพื้นผิวของเรซินซีเมนต์
2. ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับเรซินซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ ในแง่ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความหยาบพื้นผิวจากการต็มเครื่องต็มที่มีฤทธิ์เป็นกรด
3. ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับความสามารถของเครื่องต็มที่มีฤทธิ์เป็นกรดชนิดต่าง ๆ ในการทำให้เรซินซีเมนต์มีความหยาบบริเวณพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไป
4. เป็นแนวทางในการเลือกใช้เรซินซีเมนต์สำหรับยึดชิ้นงานบูรณะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีชิ้นงานประเภทเซรามิกแก้วซึ่งมีขนาดของรอยต่อระหว่างชิ้นงานและพื้นที่กว้าง หรือกรณีที่ผู้ป่วยชอบต็มเครื่องต็มที่มีฤทธิ์เป็นกรดเป็นประจำ

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ

รายละเอียดงบประมาณวิจัย

ค่าใช้จ่าย	จำนวนเงิน (บาท)
1. หมวดค่าใช้สอย	
1.1 ค่าถ่ายเอกสารและจัดทำรูปเล่มรายงาน	
ค่าถ่ายเอกสารและจัดหาเอกสารอ้างอิง	2,000.00
รายงานการวิจัย ถ่ายเอกสารพร้อมปก	4,000.00
2. หมวดค่าวัสดุและอุปกรณ์	
2.1 เรซินซีเมนต์	
- NX3 Nexus [®] (Kerr)	4,000.00
- RelyX Unicem 2 [®] (3M ESPE)	10,000.00
2.2 วัสดุสิ้นเปลือง	
- น้ำลายเทียม	10,350.00
- เครื่องตีมีค็อก [®] ขนาด 500 มล.	1,105.00
- น้ำส้มเขียวหวานทิปโก้ [®] ขนาด 1,000 มล.	3,330.00
- ลิปตันไอซ์ที [®] ขนาด 450 มล.	1,625.00
- แผ่นกระจกใส	500.00
- แถบใส่เซลลูลอยด์	200.00
- ไบมีดเบอร์ 12	200.00
- ผ้าก๊อซ	100.00
- กล่องเก็บชิ้นงานตัวอย่าง	400.00
2.3 กล่องใส่เครื่องตีมีค็อกสำหรับการจำลองการตีมีค็อก	800.00
2.4 วัสดุสำนักงาน	3,000.00
หมวดค่าจัดทำและค่าเช่าครุภัณฑ์	
3.1 ค่าใช้บริการกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ	90.00
3.2 ค่าใช้บริการเครื่องทดสอบความหยาบพื้นผิว (ก่อนและหลังการจำลองการตีมีค็อก)	5,040.00
3.3 ค่าเคลือบทองชิ้นงาน	750.00
3.4 ค่าใช้บริการกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด	6,480.00
3.5 ค่าบริการถ่ายรูปจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด	1,350.00
3.6 ค่าจ้างทำแบบพิมพ์	10,000.00
3.7 ค่าจ้างทำตัวยึดชิ้นงาน	1,000.00
รวม	66,320.00

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เรซินซีเมนต์ (resin cement)

เรซินซีเมนต์ได้รับการพัฒนาขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1950 ในระยะแรกนั้น ซีเมนต์ชนิดนี้ไม่เป็นที่นิยมมากนักเนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น มีการหดตัวจากการบ่มตัว และการรั่วซึมตามขอบ (marginal leakage) ที่ค่อนข้างสูง(39) แต่ในปัจจุบัน ซีเมนต์ชนิดนี้ได้รับการพัฒนาคุณสมบัติต่าง ๆ ให้ดียิ่งขึ้น โดยมีความแข็งแรงกด ความแข็งแรงดึง และมอดูลัสความยืดหยุ่น (elastic modulus) ที่สูงยิ่งขึ้น ในขณะที่มีการละลายตัวในช่องปากที่ลดลงอย่างมาก ทำให้การรั่วซึมตามขอบระหว่างวัสดุบูรณะและฟันในระยะยาวลดลง อีกทั้งยังช่วยลดการเกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟัน การเกิดการผุซ้ำและอาการเสียวฟันภายหลังบูรณะด้วย(40) การพัฒนาดังกล่าวทำให้เรซินซีเมนต์ได้รับความนิยมและใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้น มีการนำเรซินซีเมนต์มาใช้ยึดชิ้นงานบูรณะชนิดเซรามิกล้วน ซึ่งให้ผลการยึดอยู่ที่ดีกว่าการใช้ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมและยังช่วยให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงมากขึ้นอีกด้วย(41)

นอกจากคุณสมบัติเชิงกลและกายภาพที่ดีขึ้นแล้ว เรซินซีเมนต์ยังได้รับความนิยมมากขึ้นเพราะความสามารถในการยึดติดทั้งกับตัวฟันและวัสดุบูรณะ ซึ่งถือเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญตามทฤษฎีทันตกรรมร่วมสมัย (contemporary dentistry theory)(42) ความสำเร็จของการใช้งานเรซินซีเมนต์ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยซึ่งล้วนแล้วแต่มีความเกี่ยวข้องกับการยึดติดทั้งสิ้น ในปัจจุบันยังคงมีการพัฒนาเรซินซีเมนต์เพื่อให้มีคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ดีขึ้น โดยการพัฒนาดังกล่าวจะอยู่บนพื้นฐานขององค์ประกอบทางเคมีและคุณลักษณะเชิงโครงสร้าง (structural characteristics) ของเรซินซีเมนต์(10)

1.1 การจำแนกชนิดของเรซินซีเมนต์

1.1.1 การจำแนกตามส่วนประกอบพื้นฐาน(43)

เรซินซีเมนต์มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ โพลีเมทาครีเลต (polymethacrylates) ซึ่งสังเคราะห์จากเมทิลเมทาครีเลต (methylmethacrylates) หรืออโรมาติกไดเมทาครีเลต (aromatic dimethacrylates) การจำแนกตามส่วนประกอบพื้นฐานสามารถแบ่งเรซินซีเมนต์ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1.1.1.1 เรซินซีเมนต์ชนิดอะคริลิก (acrylic resin cement)

เรซินซีเมนต์ในกลุ่มนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดย่อย คือ

1.1.1.1.1 เรซินซีเมนต์ชนิดอะคริลิกแบบดั้งเดิม (conventional acrylic resin cement)

เรซินซีเมนต์ชนิดนี้ประกอบด้วยส่วนผง (powder) และส่วนเหลว (liquid) ส่วนผงประกอบด้วยเมธิลเมทาครีเลตโพลิเมอร์หรือโคโพลิเมอร์ มีเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) เป็นสารเริ่มต้นปฏิกิริยา (initiator) บางผลิตภัณฑ์มีการเติมวัสดุอัดแทรก (mineral filler particles) และเม็ดสี (pigment) ลงไปด้วย ส่วนเหลว คือ เมธิลเมทาครีเลตโมโนเมอร์ (methylmethacrylate monomer) ที่มีเอมีน (amine) ทำหน้าที่เป็นสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst) เมื่อผสมส่วนผงเข้ากับส่วนเหลว โมโนเมอร์จะละลายส่วนโพลิเมอร์และเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน (polymerization) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างเปอร์ออกไซด์และเอมีน ภายหลังจากบ่มตัวจะเกิดโพลิเมอร์ชนิดใหม่ที่เป็นการเชื่อมต่อกันของโพลิเมอร์ที่ไม่ละลายเข้าด้วยกัน เรซินซีเมนต์ชนิดนี้ไม่มีประสิทธิภาพในการยึดติดกับโครงสร้างฟันที่มีความชื้น จึงเกิดการรั่วซึมตามขอบและอาจทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟันได้ แม้ซีเมนต์ชนิดนี้จะมีความแข็งแรงต่ำ แต่ก็ยังมีข้อดีคือ มีความเหนียวสูง

1.1.1.1.2 เรซินซีเมนต์ชนิดอะคริลิกแบบดัดแปลง (modified acrylic resin cement)

เรซินซีเมนต์ชนิดนี้พัฒนามาจากเรซินซีเมนต์ชนิดอะคริลิกแบบดั้งเดิม โดยมีการเติมสารเพิ่มการยึดติด (adhesion promoter) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เรซินซีเมนต์สามารถเกิดพันธะเคมีกับโครงสร้างของฟันและโลหะผสมได้ เช่น โพรเมธาครีลโลซีเอธิล ไตรเมลลิตเทต แอนไฮไดรด์ (4-methacryloxyethyl - trimellitate anhydride) หรือโพร-เมตา (4-META) และสารช่วยเร่งปฏิกิริยา เช่น ไตรเอินบิวทิลบอเรน (tri-n-butyl - borane) หรือทีบีบี (TBB) เข้าไปในส่วนเหลวของเรซินซีเมนต์ด้วย เนื่องจากเรซินซีเมนต์ชนิดนี้มีปริมาณวัสดุอัดแทรกต่ำ จึงมีความแข็งแรงปานกลาง เมื่อรับแรงอาจเกิดการเปลี่ยนรูปได้ อีกทั้งเรซินซีเมนต์ชนิดนี้มีการดูดซึมน้ำสูง ซึ่งอาจทำให้เรซินซีเมนต์สูญเสียคุณสมบัติที่ดีและเป็นที่สะสมของจุลินทรีย์ได้ ตัวอย่างของเรซินซีเมนต์ชนิดนี้ เช่น Super Bond C&B[®] (Sun Medical) C&B Metabond[®] (Parkell) และ Amalgambond[®] (Parkell) เป็นต้น ซีเมนต์ชนิดนี้มีความแข็งแรงดึง (tensile bond strength) กับพื้นผิวโลหะผสมที่ผ่านการออกซิไดซ์ (oxidized) การกัดด้วยกรด (etched) หรือการเคลือบพื้นผิวด้วยซิลิกา (silica-coated) รวมทั้งมีความแข็งแรงเฉือน (shear bond strength) ที่สูง เรซินซีเมนต์

ชนิดนี้เมื่อเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันแล้วจะได้โพลิเมอร์ของเมธิลเมทาครีเลตแบบเส้นตรง (linear polymer) ซึ่งไม่มีสารอัดแทรก โครงสร้างในลักษณะดังกล่าวทำให้ซีเมนต์มีความแข็งผิวระดับไมโครและมอดูลัสการงอ (flexural modulus) ต่ำกว่าเรซินซีเมนต์ชนิดไดเมทาครีเลต (dimethacrylate) ดังนั้น เมื่อได้รับแรง ซีเมนต์ชนิดนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบพลาสติก (plastic deformation) ได้ง่าย

1.1.1.2 ไดมेटาครีเลตซีเมนต์ (dimethacrylate cement)

ไดเมทาครีเลตซีเมนต์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปบิส-จีเอ็มเอ (Bis-GMA) ส่วนประกอบพื้นฐานของเรซินซีเมนต์ชนิดนี้คล้ายกับวัสดุบูรณะฟันชนิดเรซินคอมโพสิต โดยอาจอยู่ในลักษณะส่วนผงและส่วนเหลว หรือครีมนั้น (paste) 2 หลอดก็ได้ กรณีที่อยู่ในลักษณะส่วนผงและส่วนเหลวนั้น ส่วนผงจะประกอบด้วยโพลิเมอร์ แก้วบอโรซิลิเกต (borosilicate glass) หรือแก้วซิลิกา (silica glass) และตัวเริ่มปฏิกิริยาชนิดเปอร์ออกไซด์ ในขณะที่ส่วนเหลวจะประกอบด้วยบิส-จีเอ็มเอ หรืออะโรมาติกไดเมทาครีเลต ซึ่งส่วนใหญ่เป็นบิสฟีนอลเอ (bis phenol A) หรือยูรีเทนไดเมทาครีเลต (urethane dimethacrylate) จำพวกอะลิฟาติกยูรีเทน (aliphatic urethane) นอกจากสารดังกล่าวแล้ว ในส่วนเหลวก็ยังมีไดเมทาครีเลตโมโนเมอร์ และสารเร่งปฏิกิริยาจำพวกเอมีน (amine promoter) อยู่ด้วย ในกรณีที่วัสดุอยู่ในรูปครีมนั้น ส่วนประกอบโดยรวมที่อยู่ภายในครีมนั้นทั้ง 2 หลอดจะคล้ายคลึงกับส่วนประกอบที่อยู่ในส่วนผงและส่วนเหลว โดยจะรวมโมโนเมอร์และวัสดุอัดแทรกเข้าไว้ด้วยกัน ตัวอย่างของเรซินซีเมนต์ชนิดนี้ เช่น Duo-Link[®] (Bisco) และ RelyX Unicem[®] (3M ESPE) เป็นต้น

ในการยึดวัสดุบูรณะเข้ากับผิวฟันด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดนี้จะต้องใช้สารยึดติดเรซินที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ที่มีกลุ่มเมทาครีเลตและกลุ่มที่มีขั้ว (polar group) เช่น ฮีมา (2-hydroxyethyl methacrylate: HEMA) ซึ่งกลุ่มที่มีขั้วนี้จะเกิดแรงดึงดูดกับขั้วของหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ของผลึกอะพาไทต์ (apatite) และหมู่อะมิโน (amino group) ในคอลลาเจนที่อยู่ในเนื้อฟันและเคลือบฟัน ในขณะที่กลุ่มเมทาครีเลตจะยึดกับบิส-จีเอ็มเอหรือยูรีเทนไดเมธิลเมทาครีเลตที่อยู่ในเรซินซีเมนต์ นอกจากนี้ บริษัทผู้ผลิตบางบริษัทยังเติมสารเอ็มดีพี (10-methacryloyloxydecamethylene phosphoric acid: MDP) ซึ่งมีหมู่ที่ช่วยเพิ่มการยึดติด (functional group) เข้าไปในเรซินซีเมนต์ด้วย ปฏิกิริยาการบ่มตัวจะทำให้เกิดโครงสร้างโพลิเมอร์ที่มีการเชื่อมขวาง (cross-linked resin composite structure) เป็นจำนวนมาก ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวจะทำให้เรซินซีเมนต์ชนิดนี้มีความแข็งแรงกดที่สูงถึง 100 – 200 เมกะปาสคาล นอกจากความแข็งแรงกดที่สูงแล้ว เรซินซีเมนต์ชนิดนี้ยังมีการละลายตัวที่ต่ำ และมีการยึดติดกับเคลือบฟัน

เนื้อฟัน โลหะผสมและเซรามิกได้ดี จึงนิยมใช้ยึดกับครอบฟัน สะพานฟัน อินเลย์ ออนเลย์ และวีเนียร์ที่ทำจากเซรามิก

1.1.2 การจำแนกตามชนิดของการเกิดปฏิกิริยาการบ่มตัว (44-47)

มาตรฐานไอเอสโอ (International Organization for Standardization: ISO) หมายเลข 4049 ได้จำแนกชนิดของเรซินซีเมนต์ตามกลไกการเกิดปฏิกิริยาการบ่มตัวเป็น 3 ชนิด คือ

1.1.2.1 เรซินซีเมนต์ชนิดที่บ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี (chemical-cured, auto-cured, or self-cured resin cement)

เรซินซีเมนต์ชนิดนี้มีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ เบส (base) และตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) โดยอาจอยู่ในลักษณะครีมชั้น 2 หลอดหรือส่วนผงกับส่วนเหลวก็ได้ เรซินซีเมนต์ชนิดนี้อาศัยอนุพันธ์ของเอมีนลำดับที่ 3 (tertiary amine) เป็นตัวเร่งเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ให้แตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ (free radical) เพื่อเกิดปฏิกิริยาการบ่มตัวต่อไป บางผลิตภัณฑ์มีการเติมโมโนเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน เช่น โพรเมตา เพื่อช่วยให้ซีเมนต์สามารถยึดติดกับโครงสร้างของฟันและโลหะหล่อผสมได้ เรซินซีเมนต์ชนิดนี้มีช่วงเวลาการเกิดปฏิกิริยาการบ่มตัวที่แน่นอน จึงไม่สามารถปรับเปลี่ยนหรือควบคุมระยะเวลาการทำงานหรือการบ่มตัวได้ ตัวอย่างเรซินซีเมนต์ชนิดนี้ เช่น Superbond C&B[®] (Sun Medical) C&B Metabond[®] (Parkell) C&B cement[®] (Bisco) และ Panavia 21[®] (Kuraray) เป็นต้น

1.1.2.2 เรซินซีเมนต์ชนิดที่บ่มตัวด้วยแสง (light-cured resin cement)

เรซินซีเมนต์ชนิดนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาการบ่มตัวได้จากการกระตุ้นด้วยแสงเท่านั้น กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีเริ่มต้นจากการที่สารไดคีโตน (diketone) เช่น แคมโฟโรควิโนน (camphoroquinone) ได้รับการกระตุ้นจากแสงสีฟ้าซึ่งเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 460 - 468 นาโนเมตร แล้วจึงเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันแบบอาศัยอนุมูลอิสระ (free radical polymerization)(40) โดยมีเอมีนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา บางผลิตภัณฑ์มีการเติมสารไซเลนเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดกับกระเบื้อง (porcelain) หรือเรซินคอมโพสิตด้วย เรซินซีเมนต์ชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้ยึดชิ้นงานที่แสงสามารถส่องผ่านลงไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้เท่านั้น โดยที่ชิ้นงานดังกล่าวควรมีความหนาไม่เกิน 1.5 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้ซีเมนต์เกิดการบ่มตัวที่สมบูรณ์ ทั้งนี้ การฉายแสงเพื่อกระตุ้นปฏิกิริยาการบ่มตัวดังกล่าวควรฉายเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 40 วินาที เรซินซีเมนต์ชนิดนี้มักอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นหลอดเดียว (single-component system) ตัวอย่างของเรซินซีเมนต์ชนิดนี้ เช่น Choice[®] (Bisco) และ Insure[®] (Cosmedent) เป็นต้น

1.1.2.3 เรซินซีเมนต์ชนิดที่บ่มตัวด้วยปฏิกิริยาสองชนิด (dual-cured resin cement)

เรซินซีเมนต์ชนิดนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อลดข้อด้อยของเรซินซีเมนต์สองชนิดแรก การบ่มตัวด้วยแสงจะอาศัยแคมโฟโรควิโนนเป็นตัวดูดซับแสงสีฟ้า โดยมีกระบวนการการบ่มตัวเช่นเดียวกับเรซินซีเมนต์ที่บ่มตัวด้วยแสง การบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีจะอาศัยอนุพันธ์ของเอมีนลำดับที่ 3 เป็นตัวกระตุ้นเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ให้แตกตัวเกิดเป็นอนุมูลอิสระเช่นเดียวกับการเกิดปฏิกิริยาของเรซินซีเมนต์ในกลุ่มที่มีการบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี การที่เรซินซีเมนต์ชนิดนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ทั้ง 2 แบบ จึงสามารถควบคุมระยะเวลาในการทำงาน และใช้ยึดชิ้นงานที่มีความหนา มีสีเข้ม ค่อนข้างทึบแสง หรือชิ้นงานที่แสงส่องลงไปได้ไม่ทั่วถึง เช่น เดือยฟัน ได้ อย่างไรก็ตาม ชิ้นงานดังกล่าวก็ไม่ควรมีความหนาเกิน 2.5 มิลลิเมตร(40) เนื่องจากการศึกษาที่พบว่า แม้เรซินซีเมนต์ชนิดนี้จะสามารถบ่มตัวได้ด้วยปฏิกิริยาเคมี แต่การฉายแสงก็จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงและช่วยให้ปฏิกิริยาการบ่มตัวมีความสมบูรณ์ขึ้นด้วย(48) ทั้งนี้ ภายหลังการยึดชิ้นงานกับตัวฟันด้วยซีเมนต์ชนิดนี้แล้ว ควรหลีกเลี่ยงไม่ให้ชิ้นงานได้รับแรงกระทำเป็นเวลาอย่างน้อย 90 นาที เพื่อให้เรซินซีเมนต์มีการยึดกับเนื้อฟันได้แข็งแรงยิ่งขึ้น(49) ตัวอย่างของเรซินซีเมนต์ชนิดนี้ เช่น NX3 Nexus® (Kerr) Panavia F 2.0® (Kuraray) และ RelyX ARC® (3M ESPE) เป็นต้น

1.1.3 การจำแนกตามชนิดของสารอัดแทรก(47)

สารอัดแทรกในเรซินซีเมนต์มีความคล้ายคลึงกับสารอัดแทรกในวัสดุบูรณะชนิดเรซินคอมโพสิต แต่มีปริมาณที่น้อยกว่า ส่งผลให้เรซินซีเมนต์มีความหนืดต่ำ การยึดชิ้นงานให้เข้าที่จึงสามารถกระทำได้โดยง่าย

การจำแนกชนิดของเรซินซีเมนต์ตามชนิดของสารอัดแทรก สามารถแบ่งได้ดังนี้

1.1.3.1 เรซินซีเมนต์ชนิดไมโครฟิลล์ (microfilled resin cement)

เรซินซีเมนต์ชนิดนี้มีสารอัดแทรกเป็นสารพวกซิลิกอนไดออกไซด์ซึ่งมีข้อดี คือ มีการเสียดสีที่ต่ำ และสามารถขัดแต่งได้ง่าย

1.1.3.2 เรซินซีเมนต์ชนิดไฮบริด (hybrid resin cement)

เรซินซีเมนต์ชนิดนี้มีสารอัดแทรกเป็นทั้งเซรามิกและซิลิกอนไดออกไซด์ เซรามิกที่ใส่ลงไป ในเรซินซีเมนต์จะช่วยเพิ่มความแข็งแรง และลดการหลุดตัวจากกระบวนการการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ เรซินซีเมนต์ส่วนใหญ่ในปัจจุบันจะอยู่ในกลุ่มนี้

1.1.3.3 เรซินซีเมนต์ชนิดที่ไม่มีสารอัดแทรก (unfilled resin cement)

เรซินซีเมนต์ชนิดนี้มีเฉพาะส่วนโมโนเมอร์และโพลีเมอร์ มีองค์ประกอบพื้นฐานเป็นเมธิลเมธาครีเลต และโคโมโนเมอร์ มีเปอร์ออกไซด์และเอมีนเป็นสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยาตามลำดับ

1.1.4 การจำแนกตามความสามารถในการยึดติด(10)

การจำแนกในลักษณะนี้ จะสามารถแบ่งเรซินซีเมนต์ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1.1.4.1 เรซินซีเมนต์กลุ่มดั้งเดิม (conventional resin cement)

การยึดติดของเรซินซีเมนต์ในกลุ่มนี้ต้องอาศัยสารยึดติดร่วมด้วยเสมอ โดยอาจเป็นได้ทั้งสารยึดติดในระบบโททอลเอ็ทซ์หรือเซลฟ์เอ็ทซ์ ซีเมนต์กลุ่มนี้สามารถแบ่งย่อยได้เป็นชนิดที่บ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี แสง และปฏิกิริยา 2 ชนิดดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างเรซินซีเมนต์ในแต่ละระบบพร้อมกับสารยึดติดที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำให้ใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 1 ตัวอย่างเรซินซีเมนต์กลุ่มดั้งเดิมที่จำแนกตามชนิดการเกิดปฏิกิริยาการบ่มตัว พร้อมทั้งสารยึดติดที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ(10)

ชื่อผลิตภัณฑ์	บริษัทผู้ผลิต	สารยึดติด
เรซินซีเมนต์กลุ่มดั้งเดิมที่บ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี		
C&B Cement [®]	Bisco (Schaumburg, IL, USA)	All-bond 2 / one step
Super Bond C&B [®]	Sun Medical (Grand Prairie, TX, USA)	monomer / catalyst V / polymer powder
Multilink [®]	Ivoclar / Vivadent (Schaan, Principality of Liechtenstein)	primer A + B
เรซินซีเมนต์กลุ่มดั้งเดิมที่บ่มตัวด้วยแสง		
Choice 2 [®]	Bisco (Schaumburg, IL, USA)	All-bond / one step
เรซินซีเมนต์กลุ่มดั้งเดิมที่บ่มตัวด้วยปฏิกิริยา 2 ชนิด		
Bistite II DC [®]	Tokuyama (Tokyo, Japan)	Primer 1A + 1B / primer 2
Calibra [®]	Dentsply / Caulk (Milford, DE, USA)	Prime and bond NT

ชื่อผลิตภัณฑ์	บริษัทผู้ผลิต	สารยึดติด
Duo-Link [®]	Bisco (Schaumburg, IL, USA)	All-bond 2 / one step / plus
NX3 Nexus [®]	Kerr (Washington, DC, USA)	Optibond solo plus / optibond all-in-one
Clearfil Esthetic Cement [®]	Kuraray (Tokyo, Japan)	Self-etch DC bond system
Panavia F 2.0 [®]	Kuraray (Tokyo, Japan)	ED primer
Variolink II [®]	Ivoclar / Vivadent (Schaan, Principality of Liechtenstein)	Excite adhesive
RelyX ARC [®]	3M ESPE (St.Paul, MN, USA)	Adper single bond

1.1.4.2 เรซินซีเมนต์กลุ่มเซลฟ์แอดฮีซีฟ (self-adhesive resin cement)

เรซินซีเมนต์ในกลุ่มนี้มีความสามารถในการยึดติดกับผิวฟันได้ด้วยตัวเอง จึงไม่ต้องใช้สารยึดติดในระบบต่าง ๆ ช่วย ซีเมนต์ในกลุ่มนี้ทั้งหมดจะมีการแข็งตัวด้วยปฏิกิริยาการบ่มตัว 2 ชนิด มีการกล่าวอ้างว่า เรซินซีเมนต์กลุ่มนี้มีความทนทานต่อความชื้น (moisture-tolerant) สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ และไม่ก่อให้เกิดอาการเสียวฟันภายหลังการใช้งาน(50) ซึ่งคุณสมบัติต่าง ๆ ที่กล่าวมาทำให้เรซินซีเมนต์กลุ่มนี้ใช้งานได้ง่ายและไม่ยุ่งยากซับซ้อน แต่อย่างไรก็ตาม แรงยึดติดระหว่างชิ้นงานกับเคลือบฟันที่ได้จากเรซินซีเมนต์กลุ่มนี้จะน้อยกว่าแรงยึดติดระหว่างชิ้นงานกับเนื้อฟันอย่างมีนัยสำคัญ(51) ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดในการใช้งานในกรณีการยึดกับพื้นผิวที่ยังมีเคลือบฟันเหลืออยู่ เช่น วีเนียร์ อินเลย์ ออนเลย์ หรือครอบฟันบางส่วน (partial crown) เป็นต้น การใช้กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) กัดผิวเคลือบฟันก่อนที่จะยึดด้วยเรซินซีเมนต์กลุ่มนี้จะช่วยให้เรซินซีเมนต์มีการยึดติดกับผิวเคลือบฟันที่ดีขึ้น(52) แต่ทั้งนี้ก็ต้องระวังไม่ให้กรดสัมผัสกับเนื้อฟัน เพราะจะทำให้แรงยึดที่ได้ลดลง(53)

ในช่วงแรกๆ ที่เริ่มมีการแนะนำซีเมนต์กลุ่มเซลฟ์แอดฮีซีฟนั้น เรซินซีเมนต์กลุ่มนี้จะอยู่ในบรรจุภัณฑ์ชนิดแคปซูลที่มีส่วนผงและส่วนเหลวอยู่ภายใน เมื่อต้องการใช้งาน จะต้องปั่นแคปซูลเพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันก่อน ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในลักษณะนี้ เช่น RelyX Unicem[®] (3M ESPE) ชนิดแคปซูล เป็นต้น ต่อมา มีการผลิตเป็นครีมชั้น 2 หลอด ซึ่งใช้วิธีการผสมให้เข้ากันบนแผ่นผสมด้วยไม้พาย (spatula) ก่อนการใช้งาน ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างเรซินซีเมนต์กลุ่มเซลฟ์แอดฮีซีฟที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน

ตารางที่ 2 ตัวอย่างเรซินซีเมนต์กลุ่มเซลฟ์แอตอีซีฟ(10)

ชื่อผลิตภัณฑ์	บริษัทผู้ผลิต
Biscem [®]	Bisco (Schaumburg, IL, USA)
Maxcem [®]	Kerr (Washington, DC, USA)
Breeze [®]	Pentron Clinical Tech (Orange, CA, USA)
GCem [®]	GC (Tokyo, Japan)
Embrace WetBond [®]	Pulpdent (Watertown, MA, USA)
MonoCem [®]	Shofu Dental (San Marcos, CA, USA)
Multilink Sprint [®]	Ivoclar / Vivadent (Schaan, Principality of Liechtenstein)
RelyX Unicem [®]	3M ESPE (St.Paul, MN, USA)

กลไกการยึดติดของเรซินซีเมนต์กลุ่มเซลฟ์แอตอีซีฟ

เรซินซีเมนต์กลุ่มเซลฟ์แอตอีซีฟมีโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรด ซึ่งในขณะที่ยังไม่แข็งตัวนั้น หมู่ที่มีความเป็นกรด (acidic group) ในโมโนเมอร์จะละลายชั้นเสมียร์ (smear layer) ทำให้ซีเมนต์สามารถไหลผ่านเข้าไปในท่อเนื้อฟัน (dentinal tubule) และเกิดการยึดติดเชิงกลแบบจุลภาค (micromechanical retention) ได้ นอกจากการยึดติดในลักษณะดังกล่าวแล้ว เชื่อว่ายังมีการยึดติดทางเคมีระหว่างหมู่ที่มีความเป็นกรดกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite) ด้วย เนื่องจากมีรายงานที่แสดงให้เห็นว่าเรซินซีเมนต์กลุ่มเซลฟ์แอตอีซีฟนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับแคลเซียมที่ละลายออกมาจากไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้(54) ในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยาการบ่มตัว เรซินซีเมนต์จะมีความเป็นกรด แต่ความเป็นกรดดังกล่าวจะค่อย ๆ ลดลงจากการทำให้เป็นกลาง (neutralized) โดยวัสดุอุดแทรกที่เป็นเบส (alkaline filler) และอะพาไทต์จากฟัน(10)

2. การสึกกร่อนจากการละลาย (erosive wear)

การสึกกร่อนจากการละลายเป็นการสึกที่เกิดขึ้นจากการที่อนุภาคของแข็งขนาดเล็กหรือของเหลว เช่น สารเคมีต่าง ๆ สัมผัสบนพื้นผิววัสดุ บริเวณพื้นผิวที่ถูกอนุภาคหรือของเหลวสัมผัสจะละลาย ทำให้มีความขรุขระมากขึ้น(55) โดยทั่วไป การสึกประเภทนี้มักมีลักษณะเป็นการทำลายพื้นผิวของวัสดุจากการขัดสีด้วยของเหลวหรือก๊าซ ซึ่งอาจมีส่วนประกอบที่เป็นของแข็งรวมอยู่ด้วย (56)

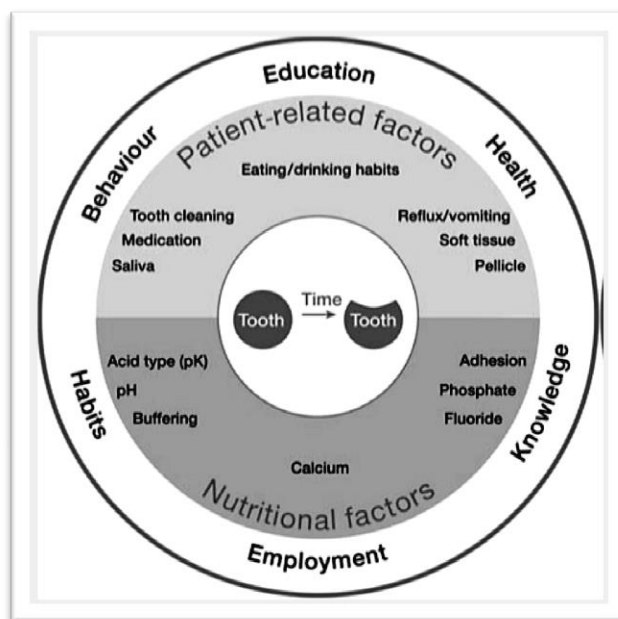
2.1 การสึกกร่อนจากการละลาย (erosion) ในทางทันตกรรม

การสึกกร่อนจากการละลายเป็นคำที่มีรากศัพท์มาจากภาษาละติน คือ อีโรเดีย (erodere) อีโรไซ (erosi) หรืออีโรซัม (erosum) ซึ่งต่างก็มีความหมายว่า การถูกแทะ ถูกกัด หรือการสึกกร่อน(57)

ในทางทันตกรรม การสึกกร่อนจากการละลายนี้เป็นคำที่ใช้เรียกกระบวนการที่พื้นผิววัสดุหรือวัสดุถูกทำลายจากสารเคมีโดยที่ไม่มีเชื้อโรคเข้ามาเกี่ยวข้อง(58) การสึกกร่อนนี้จะครอบคลุมทั้งการสึกกร่อนของฟันและวัสดุบูรณะทางทันตกรรม ซึ่งอาจเกิดได้ทั้งจากการกระทำของทันตแพทย์ (idiopathic erosion) หรือสารเคมี (chemical erosion) ที่มีฤทธิ์เป็นกรด หรือทั้งสองสาเหตุร่วมกัน(55)

ความจริงแล้ว การที่ทันตแพทย์นำคำว่า อีโรชั่นมาใช้เรียกปรากฏการณ์ที่ผิวฟันหรือวัสดุบูรณะทางทันตกรรมเกิดการละลายจากปฏิกิริยาเคมีนั้นอาจเป็นการใช้คำศัพท์ที่ไม่ถูกต้องเหมาะสมนัก เนื่องจากในทางวิทยาศาสตร์หรือวิศวกรรมศาสตร์นั้น คำว่าอีโรชั่นจะหมายถึงการที่พื้นผิวของวัสดุถูกทำลายด้วยแรงเชิงกลในลักษณะการขัดสี ทันตแพทย์ควรเรียกปรากฏการณ์การละลายจากปฏิกิริยาเคมีของผิวฟันและวัสดุบูรณะดังกล่าวว่าคอร์โรชั่น (corrosion) ซึ่งเป็นการสูญเสียพื้นผิวของวัสดุจากปฏิกิริยาทางเคมีหรือไฟฟ้าเคมี (electrochemical) มากกว่า(56) แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากทันตแพทย์ส่วนใหญ่ยังคงสื่อสารถึงรอยโรคที่เกิดจากการละลายในลักษณะดังกล่าวด้วยคำว่าอีโรชั่น ซึ่งอาจเกิดจากความเคยชินที่ใช้กันมานาน ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงจะยังคงใช้คำว่าอีโรชั่นในความหมายของการสึกกร่อนจากการละลาย

ในทางทันตกรรม การสึกกร่อนจากการละลายอาจเกิดขึ้นจากปัจจัยหลาย ๆ อย่างร่วมกัน นอกจากปัจจัยที่เกี่ยวกับตัวผู้ป่วยเอง เช่น ปริมาณและคุณภาพของน้ำลาย แผ่นคราบน้ำลายบนผิวฟัน โรคประจำตัว การรับประทานยาโรค วิธีการทำความสะอาดช่องปาก นิสัย ความถี่และระยะเวลาในการบริโภคอาหารและเครื่องดื่มหรือการที่ฟันสัมผัสกรด การอาเจียน และอาชีพล้วนแล้ว ปัจจัยทางโภชนาการ ซึ่งได้แก่ ชนิดของกรด ความเป็นกรดเบสของอาหารและเครื่องดื่ม ปริมาณแคลเซียมและ ฟอสเฟตในอาหารและเครื่องดื่ม รวมทั้งปริมาณฟลูออไรด์ที่ผู้ป่วยได้รับ ก็มีผลต่อระดับความรุนแรงของการสึกกร่อนด้วย(59-61) ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้เป็นแผนภาพดังนี้



ภาพที่ 1 ปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อการเกิดฟันสึกกร่อนจากสารเคมี(60)

ปัจจุบันพบว่า การสึกกร่อนจากการละลายมีความชุกสูงขึ้น เนื่องจากประชากรมีอายุยืนยาวขึ้นโดยที่ยังคงมีฟันอยู่ในปาก(62) นอกจากนี้แล้ว ทั้งอุบัติการณ์และความชุกของการสึกกร่อนจากการละลายยังสูงขึ้นในกลุ่มเด็กและวัยรุ่นอีกด้วย(63-65)

2.2 การประเมินการสึกของฟันและวัสดุบูรณะทางทันตกรรม

การประเมินการสึกของฟันและวัสดุบูรณะสามารถแบ่งได้ตามประเภทของข้อมูลที่ได้จากการประเมิน และสถานที่ที่ทำการวัดหรือประเมิน

2.2.1 ประเภทของการประเมินการสึกจำแนกตามชนิดของข้อมูล

2.2.1.1 การประเมินเชิงคุณภาพ (qualitative methods)

- การตรวจด้วยสายตาร่วมกับการสัมผัส (visual-tactile examination)

เป็นการตรวจเชิงคุณภาพซึ่งเป็นที่นิยมมากที่สุด เหมาะสำหรับการศึกษาในประชากรกลุ่มใหญ่ ๆ หรือในชุมชน(66) มักประเมินการสึกเมื่อผู้ป่วยมารับการตรวจฟันตามปกติ การตรวจนิยมอ้างอิงตามข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุข ประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Public Health System: USPHS)(67) การประเมินจะใช้ผู้ตรวจอย่างน้อยสองคนเป็นผู้จัดอันดับ (rating) ลักษณะของวัสดุบูรณะ(68, 69) รายละเอียดการจัดอันดับดังกล่าวแสดงไว้ในตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 เกณฑ์การประเมินความต้านทานการสึกทางคลินิกตามข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุข ประเทศสหรัฐอเมริกา(69)

อันดับ (Rating)	ลักษณะ (Characteristics)
อัลฟา (Alfa)	วัสดุมีสภาพสมบูรณ์ (intact) ไม่มีการเสีรูปร่าง (contour)
บราโว (Bravo)	วัสดุมีการเสีรูปร่างที่ดีไปเพียงบางส่วนซึ่งไม่จำเป็นต้องรี้อแล้วบูรณะใหม่
ชาร์ลี (Charlie)	วัสดุมีการเสีรูปร่างที่ต่ออย่างมาก จำเป็นต้องรี้อแล้วบูรณะใหม่

- การส่องดูพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (electron microscopy)

เป็นการส่องดูลักษณะพื้นผิวของวัสดุบูรณะด้วยกล้องที่มีกำลังขยายสูง มีประโยชน์อย่างมากในการนำมาเป็นข้อมูลประกอบการบรรยายเกี่ยวกับลักษณะของพื้นผิวในเชิงคุณภาพและบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิว(66)

2.2.1.2 การประเมินเชิงปริมาณ (quantitative methods)

- การชั่งน้ำหนัก (weight)

การประเมินการสึกวิธีนี้สามารถทำได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและคลินิก โดยการชั่งน้ำหนักของวัสดุตัวอย่างก่อนการทดสอบ แล้วนำวัสดุตัวอย่างไปผ่านการจำลองการสึกตามกระบวนการที่กำหนดไว้ในการวิจัย หลังจากนั้นจึงนำวัสดุตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง น้ำหนักของวัสดุตัวอย่างที่ลดลงจะเป็นปริมาณของวัสดุที่สูญหายไปจากการสึก ในกรณีของการประเมินทางคลินิกนั้นจะทำการชั่งน้ำหนักของวัสดุที่ใช้พิมพ์ปาก แล้วทำเป็นชุดของแบบจำลองในแต่ละระยะของการวิจัย ข้อเสียของการประเมินการสึกด้วยวิธีนี้คือ การประเมินมีหลายขั้นตอน และผลการประเมินที่ได้ไม่ได้บอกข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งและการลุกลามของการสึก(66)

- การวัดการเปลี่ยนแปลงความสูงของวัสดุ (measurement of change in vertical height of restoration)

การประเมินวิธีนี้เป็นารวัดความลึกที่เกิดขึ้นจากสูญหายของวัสดุที่พื้นผิวโดยการลากเส้นพื้นผิวด้านข้าง (surface profile) ก่อนและหลังการจำลองการสึก แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความแตกต่างของความสูงในแต่ละพื้นผิว(66)

- การเปรียบเทียบภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์ (electronic image) ก่อนและหลังการสึก

วิธีนี้จะอาศัยการเปรียบเทียบภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์ที่ถ่ายก่อนและหลังการจำลองการสึก วิธีการถ่ายภาพมีหลายวิธี เช่น การใช้เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว (profilometer) ร่วมกับกล้องจุลทรรศน์ การวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเลเซอร์ (laser fringe pattern analysis) และ การใช้เครื่องวัดความหยาบพื้นผิวชนิดที่มีเข็มลาก (stylus profilometer)(66)

2.2.2 ประเภทของการประเมินการสึกจำแนกตามสถานที่ที่ทำการวัดหรือประเมิน

2.2.2.1 การประเมินทางคลินิก (clinical measurement)

- การตรวจด้วยสายตาร่วมกับการสัมผัส (visual-tactile examination)

การประเมินด้วยวิธีนี้ได้กล่าวรายละเอียดไว้แล้วในหัวข้อการประเมินเชิงคุณภาพ

- การพิมพ์ฟันแล้วนำแบบจำลองมาวิเคราะห์พื้นผิว (replica technique)

การประเมินด้วยวิธีนี้จะวัดปริมาณของวัสดุบูรณะที่สูญหายจากแบบจำลอง (replica) ที่ได้จากการพิมพ์ฟันจากในช่องปากออกมา ดังนั้น การวัดวิธีนี้จึงถือเป็นการประเมินการสึกเชิงปริมาณทางอ้อม ขั้นตอนการประเมินจะเริ่มจากการพิมพ์แบบฟันก่อนการสึกด้วยวัสดุพิมพ์ปากชนิดต่าง ๆ ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักใช้โพลีไวนิลซิลอกเซน (polyvinylsiloxane) แล้วหล่อแบบด้วยอีพอกซี (epoxy) เมื่อวัสดุบูรณะผ่านการใช้งานจริงในช่องปากตามกระบวนการที่กำหนดไว้ในการศึกษาแล้ว ผู้วิจัยจะพิมพ์ปากและหล่อแบบจำลองอีกครั้ง ความแตกต่างของความลึกของพื้นผิววัสดุบูรณะที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการใช้งานในช่องปากจะวัดจากแบบจำลองโดยใช้เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว ข้อเสียของการวัดวิธีนี้ คือ การที่อาจเกิดความคลาดเคลื่อนเชิงมิติในขั้นตอนการพิมพ์แบบฟันและหล่อแบบจำลองได้(70)

2.2.2.2 การประเมินทางห้องปฏิบัติการ (laboratory measurement)

- การวัดความแข็งผิวและการกดพื้นผิวในระดับนาโน (surface hardness and nanoindentation technique)

การวัดความแข็งผิวและการกดพื้นผิวในระดับนาโนเป็นวิธีการวัดความแข็งผิวที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย สามารถตรวจพบการสึกกร่อนในระยะแรกซึ่งเป็นระยะที่

พื้นผิวของฟันและวัสดุบูรณะนึ่มขึ้นได้ นอกจากนั้นแล้ว การวัดด้วยวิธีนี้ยังมีค่าใช้จ่ายที่ไม่แพงมาก อีกด้วย(62)

การกดพื้นผิวในระดับนาโน (nanoindentation or ultra-microindentation) จะใช้หัวเข็มที่มีปลายเป็นเพชร (diamond tip) เช่นเดียวกับการกดพื้นผิวในระดับจุลภาค (microindentation) หัวที่มีปลายเป็นเพชรดังกล่าวจะกดลงไปบนพื้นผิวที่ต้องการทดสอบตามแรงและระยะเวลาที่ตั้งไว้ล่วงหน้าแล้ว การกดพื้นผิวในระดับนาโนจะใช้หน่วยการวัดเป็นปาสคาล (Nm^{-2}) ซึ่งเป็นหน่วยในระบบเอสไอ (SI) ในขณะที่การกดพื้นผิวในระดับจุลภาคจะมีหน่วยเป็นนูพฮาร์ดเนสซัมเบอร์ (Knoop hardness number: KHN) หรือวิกเกอร์ฮาร์ดเนสซัมเบอร์ (Vickers hardness number: VHN) ข้อแตกต่างระหว่างการกดพื้นผิวในระดับจุลภาคและการกดพื้นผิวในระดับนาโนคือระยะทางการกดจม (scale of indentation) โดยการกดพื้นผิวในระดับจุลภาคจะมีความลึกอยู่ในระดับไมโครเมตรหรือหลักสิบของไมโครเมตร(71) ในขณะที่การกดพื้นผิวในระดับนาโนจะมีระยะความลึกประมาณ 200 นาโนเมตรเท่านั้น(62, 72)

นอกจากความแข็งของผิววัสดุที่วัดได้จากการกดจะขึ้นอยู่กับสภาพของวัสดุโดยรอบบริเวณที่กดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับสภาพของวัสดุที่อยู่ลึกลงไปจากระยะกด 10 เท่าอีกด้วย(62) ดังนั้น ความแข็งผิวที่วัดได้จากการกดพื้นผิวในระดับจุลภาคจึงเป็นการแสดงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ความลึกตั้งแต่หลักสิบจนถึงหลักร้อยไมโครเมตรจากพื้นผิว ในขณะที่การกดพื้นผิวในระดับนาโนจะเป็นการแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ลึกลงไปเพียง 2 - 3 ไมโครเมตรเท่านั้น(73, 74) การกดพื้นผิวในระดับนาโนจึงมีความแม่นยำในการวัดการสึกกร่อนจากการละลายในระยะต้นมากกว่าการกดผิวในระดับจุลภาค(62)

ความแข็งผิวที่วัดจากการกดพื้นผิวในระดับจุลภาคเป็นการวัดมิติของรอยกดบนผิววัสดุ ซึ่งจะวัดได้เฉพาะวัสดุที่มีการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (plastic or permanent deformation) เท่านั้น ส่วนการกดพื้นผิวในระดับนาโนจะเป็นการวัดความแข็งผิวซึ่งคำนวณจากแรงที่ใช้ในขณะที่กดเครื่องมือลงไปบนผิววัสดุ ทำให้การวัดวิธีนี้สามารถวัดได้ทั้งวัสดุที่มีการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรและวัสดุที่มีการคืนรูปกลับ (elastic recovery) จึงคำนวณได้ทั้งความแข็งผิวและมอดูลัสความยืดหยุ่น (elastic or Young's modulus)(75)

ข้อดีของวิธีการกดพื้นผิวในระดับจุลภาค คือ เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำ สามารถทำได้รวดเร็ว และง่ายกว่าการกดพื้นผิวในระดับนาโน อย่างไรก็ตาม การกดผิวทั้งในระดับจุลภาคและนาโนก็ยังมีข้อจำกัด คือ จำเป็นต้องขัดผิววัสดุให้เรียบแบนก่อนการจำลองการสึก(76)

การกดพื้นผิวระดับจุลภาคเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในการศึกษาเกี่ยวกับการสึกของฟันและวัสดุบูรณะ การตรวจวิธีนี้มีความไวในการตรวจพบฟันสึกกร่อนจากการละลายในระยะเริ่มแรกมาก

แต่มีข้อจำกัดในการวัดการสึกกร่อนจากการละลายในระยะที่มีการลุกลามมากขึ้นจนมีการสูญเสียผิวหน้าไป โดยค่าที่วัดได้จะเป็นค่าพื้นผิวส่วนในที่ยังเหลืออยู่ซึ่งจะมีความแข็งผิวสูง(77-79) ข้อมูลที่ได้จากการกดพื้นผิวในระดับจุลภาคและนาโนเป็นเพียงข้อมูลความแข็งของพื้นผิวเท่านั้น จึงไม่สามารถใช้ประเมินความลึกของรอยโรค และปริมาณผิวฟันหรือวัสดุที่สูญเสียไปได้ การวัดด้วยวิธีนี้มีความเหมาะสมที่จะใช้ศึกษาผลของความเป็นกรดที่สูงมากนัก ซึ่งจะไม่มีการสูญเสียผิวหน้าของฟันและวัสดุบูรณะเกิดขึ้น(61, 77) แต่ไม่เหมาะที่จะใช้วัดในกรณีที่เกิดการสูญเสียผิวหน้าขึ้นแล้ว(77, 80) ดังนั้นจึงควรมีการประเมินการสึกกร่อนจากการละลายด้วยวิธีอื่น ๆ ที่สามารถให้ข้อมูลปริมาณการสูญหายของผิวหน้าร่วมด้วยจึงจะเหมาะสมกว่า(80)

- การวัดความหยابพื้นผิว (profilometry)

การวัดความหยابพื้นผิวเป็นวิธีการที่ใช้วัดปริมาณการสูญเสียพื้นผิวของวัสดุจากการสึกด้วยเครื่องวัดความหยابพื้นผิว (profilometer) แบ่งการวัดได้เป็น 2 วิธี คือ

- วิธีการวัดที่เครื่องมือไม่สัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุ (non-contact gauge)

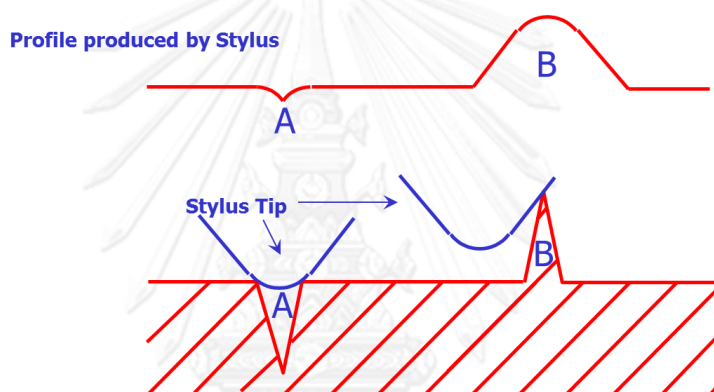
การวัดด้วยวิธีนี้จะใช้แสงหรือเลเซอร์ชนิดต่าง ๆ เช่น ไดโอดเลเซอร์ (diode laser) ยิงตรงไปยังพื้นผิวที่จะวัด เมื่อแสงตกกระทบบนพื้นผิวจะเกิดการสะท้อนไปยังตัวรับซีซีดี (CCD receptor)(81) วิธีการวัดแบบนี้ไม่เหมาะที่จะใช้กับพื้นผิวที่มีความโปรงแสง มันวาว หรือมีการสะท้อนแสงสูง เช่น พื้นผิวโลหะที่ผ่านการขัดเงา วัสดุบูรณะสีคล้ายฟันที่เรียบมัน และพื้นผิวที่มีความนูน เช่น ผิวฟัน เป็นต้น เนื่องจากพื้นผิวลักษณะดังกล่าวจะทำให้แสงเกิดการสะท้อนในทิศทางที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ ซึ่งจะทำให้เครื่องอ่านค่าได้ไม่ถูกต้อง(82) ข้อดีของการวัดด้วยเครื่องวัดความหยابพื้นผิวที่ไม่มีการสัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุ คือ ค่าที่วัดได้จะมีความคลาดเคลื่อนน้อย มีความแม่นยำมากกว่าการวัดด้วยเข็มลาก (stylus) และสามารถวัดในบริเวณที่ลึกและแคบซึ่งหัวเข็มอาจไม่สามารถวัดได้(81) นอกจากนั้นแล้ว หัวสแกนในระบบนี้ก็มีหลายขนาดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมกับขนาดของชิ้นงานตัวอย่างอีกด้วย โดยที่ตัวอย่างชิ้นงานอาจมีขนาดได้ตั้งแต่ 1 ตารางมิลลิเมตรขึ้นไป(62)

- วิธีการวัดที่เครื่องมือสัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุ (contact gauge)

เครื่องวัดความหยابพื้นผิวชนิดนี้จะมีเข็มลากเป็นส่วนที่สัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุ ลักษณะของเข็มลากประกอบด้วย

- ความยาวของเข็มลากล (effective length)
- ความสูงของเข็มลากล (shank length)
- รูปร่างและขนาดของส่วนปลายเข็มลากล (tip radius)
- จุดหมุน (pivot point)

เครื่องวัดความหยาบพื้นผิวชนิดนี้มีข้อดีที่สามารถใช้วัดพื้นผิวในกรณีที่ได้โอดเลเซอร์ไม่สามารถวัดได้ ทั้งนี้ พื้นผิวที่จะวัดจะต้องมีความแข็งแรงในระดับหนึ่ง การวัดด้วยเครื่องมือแบบที่มีเข็มลากลนี้จะไม่สามารถวัดพื้นผิวในตำแหน่งที่ความกว้างของหลุมน้อยกว่ารัศมีของเข็มลากล หรือในพื้นที่ผิวที่อ่อนนุ่มได้(81)



ภาพที่ 2 ข้อจำกัดของการวัดความหยาบพื้นผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวชนิดที่มีเข็มลากล(81)

การวัดความหยาบพื้นผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวทั้ง 2 แบบข้างต้นสามารถวัดได้ทั้งแบบ 2 และ 3 มิติ โดยเมื่อสั่งให้เครื่องทำงาน เครื่องจะเริ่มวิเคราะห์พื้นผิว ซึ่งลักษณะของพื้นผิวที่เครื่องอ่านได้จะถูกแปลงและแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขในระบบดิจิทัล รวมทั้งกราฟซึ่งมีการขยายขนาดทั้งความสูงและความยาวเพื่อให้เหมาะสมต่อการรับรู้โดยสายตามนุษย์ กราฟที่แสดงผลจะมีค่าของจุดสูงสุด (peak) และลึกสุด (valley) นอกจากการแสดงผลในรูปแบบที่กล่าวมาแล้วนั้น เครื่องยังสามารถจำแนกระดับความสูงต่ำของพื้นผิวในรูปแบบสี รวมทั้งแสดงภาพพื้นผิวในลักษณะ 3 มิติได้ด้วย(81)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวแบบ 2 และ 3 มิติ จะพบว่าเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวแบบ 3 มิติมีข้อดีและข้อด้อย ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อดีและข้อด้อยของเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวแบบ 3 มิติ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวแบบ 2 มิติ(83, 84)

ข้อดี	ข้อด้อย
1. สามารถอ่านค่าพื้นผิวได้ละเอียดกว่า	1. การวัดแต่ละรอบใช้ระยะเวลานาน
2. ค่าทางสถิติที่ได้จะมีความคงที่กว่า	2. ข้อมูลที่ได้มีขนาดใหญ่
3. สามารถตรวจสอบและวิเคราะห์ความผิดปกติ (defect) บนพื้นผิว ได้ดีกว่า	3. ราคาแพง
4. สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ได้หลายวิธี	

การวัดความหยาบพื้นผิวเป็นการวัดปริมาณการสูญเสียผิวหน้าของวัสดุมากกว่าความนูนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมี จึงมีความไวต่อการวัดการสึกกร่อนจากการละลายในระยะเริ่มแรกน้อยกว่าการกัดผิวระดับจุลภาค(77) การวัดด้วยวิธีนี้จึงเหมาะกับการวัดการสึกกร่อนในระยะลุกลามมากกว่า(85) ทั้งนี้ วิธีการวัดความหยาบพื้นผิวจะวัดได้ผลดีเมื่อวัสดุมีการสูญเสียผิวหน้าตั้งแต่ 0.4 ไมโครเมตรขึ้นไป(86)

ความแม่นยำในการวัดความหยาบพื้นผิวโดยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งการวางชิ้นงานและจุดอ้างอิงบนชิ้นงานตัวอย่าง ดังนั้นจึงควรมีการทำตัวยึดชิ้นงานพิเศษที่จำเพาะต่อชิ้นงานตัวอย่างในแต่ละการวิจัยร่วมด้วยเสมอ(77)

ปัจจุบันการวัดความหยาบพื้นผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวชนิดเข็มลากยังคงเป็นที่นิยมในการวัดการสึกกร่อนจากการละลายของฟันและวัสดุบูรณะ เนื่องจากการวัดด้วยวิธีดังกล่าวเป็นการวัดพื้นผิวโดยตรง มีความละเอียดมากเพียงพอ และสามารถทำซ้ำได้ดี แต่ทั้งนี้ การวัดด้วยเครื่องชนิดนี้อาจไม่เหมาะสมในการนำไปวัดชิ้นงานตัวอย่างที่มีความบอบบาง เช่น เนื้อฟัน เป็นต้น เนื่องจากจะทำให้เกิดรอยขีดข่วนบนชิ้นงานตัวอย่างได้(87)

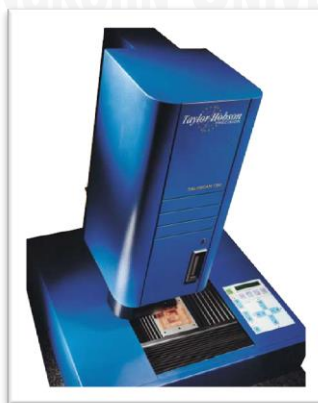
นอกจากการวัดความหยาบพื้นผิวของวัสดุโดยตรงในห้องปฏิบัติการแล้ว ผู้วิจัยยังสามารถนำเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวมาใช้เพื่อวัดความหยาบพื้นผิวของวัสดุในทางคลินิกได้ด้วย โดยใช้เทคนิคการพิมพ์ฟันแล้วนำแบบจำลองมาวิเคราะห์พื้นผิว(88) ดังที่ได้กล่าวรายละเอียดไว้แล้วในหัวข้อการประเมินการสึกทางคลินิก

เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว TalyScan 150

TalyScan 150 (Taylor Hobson, England) เป็นเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวที่สามารถวัดลักษณะพื้นผิวได้ทั้งแบบสัมผัส (inductive gauge) และไม่สัมผัสกับผิววัตถุ (laser gauge) อีกทั้งยังสามารถวัดพื้นผิวแบบสัมผัสและไม่สัมผัสร่วมกัน (dual gauge) ก็ได้ เครื่องวัดนี้สามารถสแกนลักษณะพื้นผิวของวัตถุได้ทั้งแบบ 2 และ 3 มิติ โดยมีมิติการสแกนตั้งแต่ขนาด 50 X 50 ไมโครเมตร ไปจนถึง 97 X 97 มิลลิเมตร ทั้งนี้ วัตถุที่จะนำมาสแกนจะต้องมีความสูงไม่เกิน 83 มิลลิเมตร และมีน้ำหนักไม่เกิน 5 กิโลกรัม เครื่องสามารถสแกนผิววัตถุได้ด้วยความเร็วสูงสุด (maximum scanning speed) 10,500 ไมโครเมตรต่อวินาที ระยะห่างของเส้นสแกนแต่ละเส้น (minimum spacing) ที่น้อยที่สุดเท่ากับ 0.5 ไมโครเมตรสำหรับระยะห่างในแนวแกน X และ 5 ไมโครเมตรสำหรับระยะห่างในแนวแกน Y(89)

ในการสแกนพื้นผิวแบบสัมผัส TalyScan 150 จะใช้เข็มลากที่มีปลายเป็นเพชร (diamond stylus) รูปทรงกลม (spherical) ขนาดรัศมี 2 ไมโครเมตร ลากไปบนพื้นผิววัตถุ สำหรับการสแกนแบบนี้ เครื่องจะมีความละเอียดในแนวตั้ง (vertical resolution) 0.06 ไมโครเมตร ในขณะที่การสแกนแบบไม่สัมผัส เครื่องจะอ่านลักษณะพื้นผิวของวัตถุด้วยไดโอดเลเซอร์ ซึ่งจะมีความละเอียดในแนวตั้ง 1 ไมโครเมตร(89)

TalyScan 150 สามารถวัดความแบนของพื้นผิว (surface flatness) ความหยาบพื้นผิว ความเป็นคลื่นของพื้นผิว (surface waviness) คุณภาพของพื้นผิว (surface quality) สภาพพื้นผิวโดยรวม (surface topography) และลักษณะพื้นผิว (surface characterization) ได้ โดยเมื่อเครื่องทำการวิเคราะห์พื้นผิวเสร็จแล้ว จะสามารถแสดงผลออกมาในรูปแบบสีตามระดับความสูงต่ำของพื้นผิว รวมทั้งแสดงภาพจำลองของพื้นผิวในรูปแบบ 3 มิติ ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าว ผู้ใช้จะสามารถคำนวณค่าพื้นที่ ปริมาตร และความลึกเฉลี่ยได้(84)



ภาพที่ 3 เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว TalyScan 150(81)

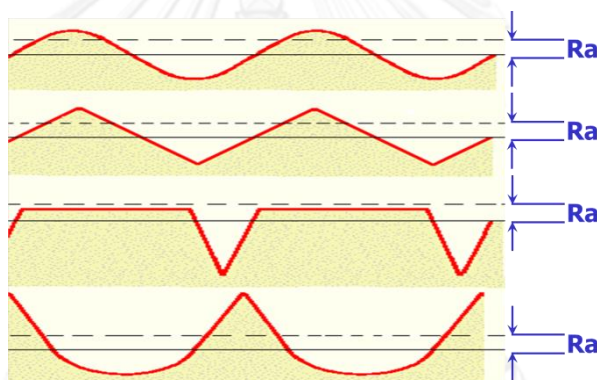
กราฟ A: กำหนดเส้นเฉลี่ยสมมติ (X-X) ซึ่งทำให้พื้นที่เหนือเส้นและใต้เส้นดังกล่าวมีค่าเท่ากัน

กราฟ B: พลิกกราฟส่วนที่อยู่ใต้เส้นเฉลี่ยสมมติในช่วงที่สนใจ (ช่วง I) ขึ้นด้านบน

กราฟ C: คำนวณหาเส้นเฉลี่ยความหยابพื้นผิวเชิงเส้น ซึ่งคือ ค่าเฉลี่ยความสูงของพื้นที่ส่วนที่อยู่เหนือเส้นเฉลี่ยสมมติ

ข้อจำกัดของความหยابพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้น

ความหยابพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นเป็นค่าที่แสดงระดับความขรุขระของพื้นผิว โดยที่ไม่ได้สื่อถึงลักษณะของความขรุขระแต่อย่างใด ภาพที่ 5 แสดงตัวอย่างลักษณะพื้นผิว 4 รูปแบบซึ่งมีรูปร่างและระยะทางจากจุดสูงสุดไปยังจุดต่ำสุดที่แตกต่างกัน แต่มีความหยابพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นเท่ากัน



ภาพที่ 5 ลักษณะพื้นผิวต่าง ๆ ซึ่งมีรูปร่างและค่าระยะทางจากจุดสูงสุดไปยังจุดต่ำสุดที่แตกต่างกัน แต่มีความหยابพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นเท่ากัน(81)

ความหยابพื้นผิวเฉลี่ยเชิงระนาบ (Sa)

ความหยابพื้นผิวเฉลี่ยเชิงระนาบ (Sa) เป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความขรุขระของส่วนที่เบี่ยงเบนออกไปจากระนาบเฉลี่ย ซึ่งในการสแกนพื้นผิว เครื่องวัดความหยابพื้นผิวจะบันทึกลักษณะความขรุขระที่เกิดขึ้นโดยการลากหัวเข็มไปในแนวแกน X ทีละเส้นต่อเนื่องกันไปตามแนวแกน Y โดยมีระยะห่างในแนวแกน Y แต่ละเส้นเท่ากับระยะช่องว่าง (spacing) ที่ผู้ใช้ตั้งค่าไว้

การสแกนลักษณะพื้นผิวเชิงระนาบนี้นับได้ว่าเป็นสแกนพื้นผิวแบบ 3 มิติ เนื่องจากในความเป็นจริงแล้ว เครื่องวัดความหยابพื้นผิวจะบันทึกระยะความสูงของเข็มลากที่ลากไปตามแนวแกน X ซึ่งความสูงของเข็มลากที่ลากแต่ละเส้นนั้นก็คือระยะในแนวแกน Z นั่นเอง

- **การถ่ายภาพรังสีระดับจุลภาค (microradiography)**

วิธีการถ่ายภาพรังสีระดับจุลภาคนี้ใช้การยิงรังสีเอ็กซ์ (x-ray) ลงบนชิ้นงานตัวอย่างผ่านไปยังแผ่นรับภาพ (photographic plate) หรือใช้เครื่องนับจำนวนโฟตอน (photon counter) เป็นตัวบันทึกปริมาณรังสีที่ผ่านชิ้นงานตัวอย่างไปได้ การวัดวิธีนี้เป็น การวัดปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสียไป(91) ดังนั้น จึงมักใช้การถ่ายภาพรังสีระดับจุลภาคนี้ในการศึกษารอยโรคฟันผุโดยเฉพาะในชั้นเคลือบฟัน

- **การวิเคราะห์ทางเคมี (chemical analysis)**

การวิเคราะห์ทางเคมีเป็นการประเมินการละลายของเคลือบฟันโดยการวัดปริมาณแคลเซียมและฟอสเฟตที่ละลายจากผลึกอะพาไทต์ (apatite crystal) เทคนิคนี้มีความไว (sensitivity) และความแม่นยำ (accuracy) สูง แต่ให้ข้อมูลเพียงความเข้มข้นของไอออนที่ถูกปลดปล่อยออกมา และยังคงใช้ได้เฉพาะในการศึกษาทางห้องปฏิบัติการเท่านั้น ข้อดีของการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้คือ ไม่จำเป็นต้องขัดชิ้นเคลือบฟันให้เรียบ นอกจากนั้นแล้ว การตรวจด้วยวิธีนี้ก็ยังคงให้ข้อมูลตามเวลาที่เกิดขึ้นจริงอีกด้วย(62)

- **การประเมินพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์ (microscopy techniques)**

การประเมินพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope: SEM) จะทำให้ได้ภาพพื้นผิวที่มีความละเอียดสูง เป็นวิธีการตรวจเชิงคุณภาพ ซึ่งมักใช้ร่วมกับการตรวจเชิงปริมาณเพื่อยืนยันหรือสนับสนุนข้อมูลการเกิดการสึกกร่อนจากการละลาย(62, 66)

- **การประเมินพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อะตอมมิกฟอสส์ (atomic force microscopy: AFM)**

การประเมินพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อะตอมมิกฟอสส์นี้เป็นเทคนิคหนึ่งในกลุ่มเทคนิคการประเมินพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้เข็มกราด (scanning probe microscope) โดยใช้เข็มปลายแหลมที่ยึดปลายข้างหนึ่งไว้แต่ยังคงขยับและยืดหยุ่นได้ (flexible cantilever) ลากไปมาบนพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่าง การสร้างภาพจะใช้การยิงแสงเลเซอร์ให้ตกกระทบบนเข็มปลายแหลมแล้วสะท้อนเข้าไดโอดชนิดแสง (photodiode) จากนั้นจึงประมวลเป็นภาพพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่าง (62)

กล้องจุลทรรศน์อะตอมมิกฟอสส์มีรูปแบบการใช้งานหลายรูปแบบ โดยที่การทำงานแบบสัมผัส (contact mode) จะมีการทำงานที่ใกล้เคียงกับวิธีการวัดความหยาบพื้นผิว แต่สามารถให้

รายละเอียดที่ดีกว่ามาก ในขณะที่การทำงานแบบแตะด้วยแรงที่แผ่วเบา (tapping mode) จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างที่มีความเปราะบาง (fragile) น้อยกว่าการวัดในแบบสัมผัส(62)

ข้อดีของการประเมินพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อะตอมมิกฟอสส์ คือ การที่ไม่ต้องขัดพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างให้เรียบ การที่สามารถนำไปใช้กับชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นตัวนำหรือฉนวนไฟฟ้าได้ และการที่สามารถวัดพื้นผิวได้ทั้งในอากาศ ของเหลว รวมทั้งในภาวะสุญญากาศ นอกจากนั้นแล้ว การประเมินพื้นผิวด้วยวิธีนี้ยังสามารถดูภาพที่เกิดขึ้นแบบเวลาจริง (real time) ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม การประเมินพื้นผิวด้วยเทคนิคนี้ก็ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับความสามารถในการสแกน โดยเครื่องจะสามารถสแกนพื้นที่ในชิ้นงานตัวอย่างได้เพียงขนาดไม่เกิน 0.5 X 0.5 ตารางมิลลิเมตร จึงควรต้องสแกนหลาย ๆ บริเวณ เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลที่ได้นั้นสามารถใช้เป็นตัวแทนของชิ้นงานตัวอย่างที่ดี นอกจากความสามารถในการสแกนที่จำกัดแล้ว การประเมินพื้นผิวด้วยวิธีนี้ยังใช้เวลาในการสแกนพื้นที่ที่ยาวนานอีกด้วย(62)

- **การวัดการเรืองแสงเชิงปริมาณด้วยการใช้แสงกระตุ้น (quantitative light-induced fluorescence: QLF)**

การวัดการเรืองแสงเชิงปริมาณด้วยการใช้แสงกระตุ้นเป็นการตรวจหาการละลายของแร่ธาตุจากเคลือบฟันในฟันผุระยะเริ่มแรก เป็นเทคนิคที่ไม่ทำอันตรายต่อผิวฟัน มีการนำเทคนิคนี้มาใช้ในการตรวจการสึกกร่อนจากการละลายของฟัน ซึ่งเมื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลจากการถ่ายภาพรังสีจุลภาคแนวตัดขวาง (transverse microradiography) จะพบว่าให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน(92, 93) แต่อย่างไรก็ตาม กลไกการตรวจการสึกกร่อนจากการละลายด้วยเทคนิคนี้ก็ยังไม่เป็นที่กระจ่างชัด มีการสันนิษฐานว่า ผลที่ได้จากการวัดนี้อาจเป็นผลร่วมระหว่างการสูญเสียแร่ธาตุในชั้นที่นิ่มด้านบนและความลึกของรอยหว้า (crater)(93)

ข้อดีของการวัดด้วยวิธีนี้ คือ ไม่จำเป็นต้องเตรียมผิวชิ้นงานตัวอย่างก่อนทดสอบ สามารถวัดได้ทั้งทางคลินิกและห้องปฏิบัติการ ใช้ติดตามผลการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องได้ มีความน่าเชื่อถือ (reliability) และสามารถทำซ้ำได้ (reproducibility)(93)

- **การใช้คลื่นความถี่เหนือเสียง (ultrasonication)**

เทคนิคการวัดนี้จะใช้คลื่นความถี่เหนือเสียงกำจัดผิวหน้าของชิ้นงานตัวอย่างที่มีความนิ่มซึ่งเป็นผลมาจากการสึกกร่อนจากการละลาย การวัดความลึกของการสึกกร่อนด้วยวิธีนี้จะใช้การสั่นด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียงร่วมกับการวัดปริมาตรของพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างที่สูญเสียไปด้วยเครื่องวัด

ความหยาบพื้นผิว โดยจะใช้เครื่องวัดความหยาบพื้นผิวสแกนพื้นผิวชิ้นงานก่อนการจำลองการสึก
เมื่อชิ้นงานผ่านกระบวนการการสึกเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจะนำชิ้นงานเข้าเครื่องสั่นด้วยคลื่นความถี่
เหนือเสียงแล้วนำไปวัดปริมาตรพื้นผิวที่สูญหายไปด้วยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวอีกครั้งหนึ่ง(74, 94)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การคำนวณขนาดตัวอย่าง (n) ต่อกลุ่ม

สูตรการคำนวณ

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

$$\sigma^2 = S_p^2 = \frac{(S_1^2 + S_2^2)}{2}$$

โดยที่	n	=	ขนาดตัวอย่างต่อกลุ่ม
	σ^2	=	ความแปรปรวนของประชากร (variance)
	S	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)
	$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$	=	ค่ามาตรฐานของการกระจายปกติที่ระดับ α
	$Z_{1-\beta}$	=	ค่ามาตรฐานของการกระจายปกติที่ระดับ β
	μ	=	ค่าเฉลี่ยของประชากร

กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่ยอมรับทั้งที่สมมติฐานเป็นจริง (type I error, α) เท่ากับ 0.05 จึงแทนค่า $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95% ด้วย 1.96

กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับทั้งที่สมมติฐานไม่เป็นจริง (type II error, β) เท่ากับ 0.1 จึงแทนค่า $Z_{1-\beta}$ ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 90% ด้วย 1.282

จากการศึกษานำร่องซึ่งวัดค่าความหยาบพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปของเรซินซีเมนต์รีไลย์ เอ็กยูนิเซ็ม 2[®] ภายหลังจากจำลองการติ่มเครื่องติ่มที่มีฤทธิ์เป็นกรด 2 ชนิด คือ เป็ปซี่[®] (Pepsi[®], บริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ, ประเทศไทย) และเอ็ม-150[®] (M-150[®], บริษัท โอสสสกา จำกัด, กรุงเทพฯ ประเทศไทย) ซึ่งมีค่าความเป็นกรดเบสเฉลี่ยเท่ากับ 2.51 และ 3.56 ตามลำดับเป็นเวลา 10 วัน แล้วนำค่าเฉลี่ยของประชากรและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาคำนวณเพื่อหาจำนวนตัวอย่าง จะได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 12.9146 หรือ 13 ขึ้นต่อกลุ่มตัวอย่าง ทั้งนี้ เครื่องติ่มทั้งสองชนิดที่เลือกใช้ในการศึกษานำร่องดังกล่าวมีค่าความเป็นกรดเบสใกล้เคียงกับโค้ก[®] และน้ำส้มเขียวหวานทิปโก้[®] ซึ่งจะใช้ในการวิจัยต่อไป

วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

1. เรซินซีเมนต์ 2 ผลิตภัณฑ์ (รายละเอียดแสดงในตารางที่ 6 และภาพที่ 6)
 - 1.1 เอ็นเอ็กซ์ 3 เน็กซ์[®] ซีใส (NX 3 Nexus[®] ซี clear) ใช้รหัสย่อ NX
 - 1.2 รีเลย์เอ็กซ์ ยูนิเซ็ม 2[®] ซีโปร่งแสง (RelyX Unicem 2[®] ซี translucent) ใช้รหัสย่อ R2

ตารางที่ 6 รายละเอียดของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการวิจัย

Product	Manufacturer	Polymerization reaction	Composition	Lot. No.
NX 3 Nexus [®] (NX)	Kerr (Washington, DC, USA)	2 ชนิด	Uncured methacrylate ester monomers, nonhazardous inert mineral fillers, nonhazardous activators and stabilizers, radiopaque agent	4851154
RelyX Unicem 2 [®] (R2)	3M ESPE (St Paul, MN, USA)	2 ชนิด	Base paste: methacrylate monomers containing phosphoric acid groups, methacrylate monomers, silanated fillers, initiator components, stabilizers Catalyst paste: methacrylate monomers, alkaline fillers, silanated fillers, initiator components, stabilizers, pigments	518892

NX 3 Nexus[®] (Kerr) (NX)RelyX Unicem 2[®] (3M ESPE) (R2)

ภาพที่ 6 เรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการวิจัย

2. เครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรด 3 ชนิด (รายละเอียดแสดงในตารางที่ 7 และภาพที่ 7)
 - 2.1 โค้ก[®] (ใช้รหัสย่อ C)
 - 2.2 น้ำส้มเชียวหวานทิปโก้[®] (ใช้รหัสย่อ O)
 - 2.3 ลิปตันไอซ์ที[®] (ใช้รหัสย่อ L)

ตารางที่ 7 รายละเอียดของเครื่องดื่มที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องดื่ม	ชื่อผลิตภัณฑ์	บริษัทผู้ผลิต	ส่วนประกอบ
น้ำอัดลม รสโคลา	โค้ก [®] (C)	บริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด, กรุงเทพฯ ประเทศไทย	น้ำอัดลม (carbonated water), น้ำตาล 10%, สารแต่งกลิ่นและรส
น้ำส้ม	น้ำส้มเชียวหวาน ทิปโก้ [®] (O)	บริษัท ทิปโก้ฟูดส์ จำกัด (มหาชน), พระนครศรีอยุธยา, ประเทศไทย	น้ำส้มเชียวหวาน 100%
น้ำชามะนาว	ลิปตันไอซ์ที [®] (L)	บริษัท เสริมสุข เบเวอร์เรจ จำกัด, ชลบุรี, ประเทศไทย	น้ำตาล 10.5%, ชาผง สำเร็จรูป 0.21%, ผงเลมอน 0.02%



โค้ก® (C)



น้ำส้มเขียวหวานทิปโก้® (O)



ลิปตันไอชี่® (L)

ภาพที่ 7 เครื่องดื่มที่ใช้ในการวิจัย

3. น้ำลายเทียม (ภาควิชาเภสัชศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย) ใช้รหัสย่อ S ประกอบด้วย Potassium chloride BP 0.75 g., Magnesium chloride BP 0.07 g., Calcium chloride BP 0.199 g., Dipotassium hydrogen phosphate USP 0.965 g., Sodium CMC BP 6.0 g., Potassium Dihydrogen phosphate 0.439 g., Sorbitol 70% BP 36 g., Paraben conc. 18.20 ml., Deionized water to reach 1,200 ml.
4. น้ำกลั่น
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดเม็ด (ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องฉายแสง (Light curing unit, Curing Light 2500® , 3M ESPE, St Paul, MN, USA) ท่อนำแสงมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร
2. เครื่องวัดพลังงานรังสี (Radiometer, Optilux Radiometer®, Kerr Corporation, Orange, CA, USA)
3. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator, Contherm 1200®, Contherm, New Zealand)
4. ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity chamber, THCC575, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand)
5. เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ (Data logger, Testo 175-H1®, Testo, Germany)
6. เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิต่อระบบดิจิทัลแบบใช้ขดลวด (Thermocouple with recorder, Exttech Instruments 407401, Exttech Instruments Corporation, USA)
7. ตู้เย็น (Refrigerator, SDC-1000AY, Sandenintercool, Thailand)

8. เครื่องวัดความเป็นกรดเบส (pH meter, pH meter 420A[®], Orion Research Inc., Boston, USA)
9. เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว (Profilometer, TalyScan 150[®], Taylor Hobson Limited, England)
10. เครื่องสั่นความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic vibrator, TRANSSONIC DIGITALS, Elma, Germany)
11. เครื่องดูดความชื้น (Desiccator, Scienceware[®], USA)
12. เครื่องเคลือบทอง (Gold Coater, JFC-1200[®], JEOL, Japan)
13. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope, JSM-5410 LV[®], JEOL, Japan)
14. กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (Stereo Microscope, ML 9300[®], MEIJI, Japan)
15. เครื่องชั่งดิจิตอล (Digital Balance, BP 3100 S, Sartorius, Germany) ความละเอียด 0.01 กรัม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

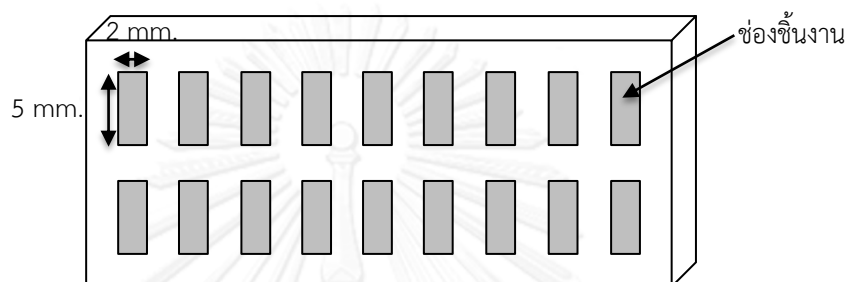
1. แบบพิมพ์โลหะ-พลาสติกสำหรับเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง
2. พายผสมพลาสติก (plastic spatula)
3. ลูกตุ้มเหล็กน้ำหนัก 1 กิโลกรัม
4. แถบใสเซลลูลอยด์ (celluloid strip)
5. แผ่นกระจกใส (glass slide) หน้า 1 มิลลิเมตร
6. ใบมีดเบอร์ 12 พร้อมด้ามจับ
7. สติกเกอร์ใสกั้นน้ำ
8. กล่องเก็บชิ้นงานตัวอย่าง
9. เส้นเอ็น
10. หัวเป่าลมและน้ำสามทาง (triple syringe)
11. ปากกาชนิดติดแน่น (permanent marker)
12. ตัวยึดชิ้นงานพิเศษ (special jig)
13. กล่องใส่เครื่องมือสำหรับการจำลองการตีเครื่องมือตี
14. ปีกเกอร์ขนาด 50 และ 100 มิลลิลิตร
15. กระบอกตวงขนาด 25 และ 50 มิลลิลิตร
16. คนโหววัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 100 และ 200 มิลลิลิตร

17. บิวเรตต์ (burette) ขนาด 25 มิลลิลิตร พร้อมที่จับบิวเรตต์ (burette clamp)

18. นาฬิกาจับเวลา

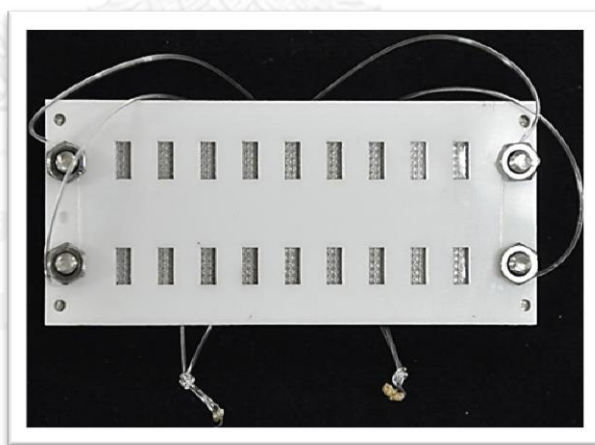
การเตรียมชิ้นงานเรซินซีเมนต์ตัวอย่าง

1. เตรียมแบบพิมพ์โลหะ-พลาสติกซึ่งมีช่องชิ้นงานกว้าง 2 มิลลิเมตร ยาว 5 มิลลิเมตร และ ลึก 2 มิลลิเมตร จำนวน 18 ช่อง



ภาพที่ 8 ช่องชิ้นงานและแบบพิมพ์ที่ใช้ในการวิจัย

2. กำหนดหมายเลขให้ช่องชิ้นงานแต่ละช่อง จากนั้นติดเส้นเอ็นเข้ากับแบบพิมพ์เพื่อใช้ในการเคลื่อนย้ายแบบพิมพ์ในขั้นตอนการจำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์ แล้วทำความสะอาดแบบพิมพ์ และเป่าให้แห้ง



ภาพที่ 9 แบบพิมพ์ที่พร้อมเตรียมชิ้นงานเรซินซีเมนต์ตัวอย่าง

3. เตรียมชิ้นงานเรซินซีเมนต์ตัวอย่าง ซึ่งมีวิธีการเตรียมดังนี้

3.1 เรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ NX 3 Nexus[®] (Kerr): ผสมเรซินซีเมนต์ NX 3 Nexus[®] (Kerr) โดยฉีดเรซินซีเมนต์จากหลอดผสมชนิดสำเร็จ (automix syringe) ที่ก่อก่อน

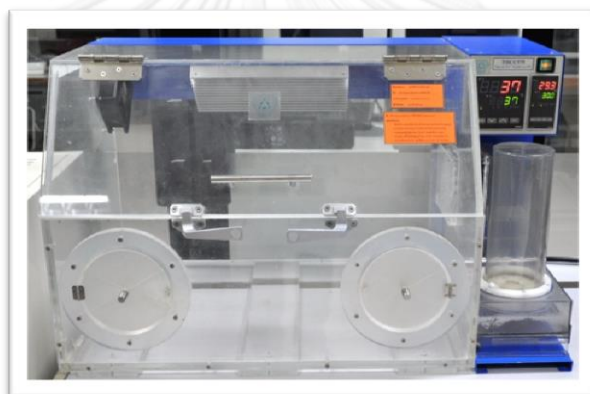
เป็นระยะทางประมาณ 1 ซม. จากนั้นจึงฉีดลงในช่องขึ้นงานในแบบพิมพ์ซึ่งอยู่ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ที่ 37 องศาเซลเซียสที่ละช่องในปริมาณที่ใกล้เคียงกันจนเต็ม เมื่อครบ 6 ช่อง (2 แถว แถวละ 3 ช่องในตำแหน่งติดกัน) นำแถบใสเซลลูโลยด์และแผ่นกระจกใสปิดทับ แล้วใช้ตุ้มเหล็กน้ำหนัก 1 กิโลกรัมกดทับด้านบนเป็นเวลา 10 วินาทีเพื่อไล่วัสดุส่วนเกินออก จากนั้นนำตุ้มเหล็กออกแล้วฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงที่มีความเข้มแสงไม่น้อยกว่า 400 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ตามเวลาที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำซึ่งแสดงในตารางที่ 8 (ผู้วิจัยจะตรวจความเข้มแสงไม่ให้ต่ำกว่า 400 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรเมื่อฉายแสงครบทุก ๆ 10 ครั้ง) โดยวางปลายกระบอกลำแสงของเครื่องฉายแสงชิดกับแผ่นกระจกใสและฉายแสงที่ละช่องขึ้นงานตามลำดับการใส่เรซินซีเมนต์ลงในช่องขึ้นงาน เมื่อฉายแสงเสร็จแล้ว นำแบบพิมพ์ออกจากตู้ควบคุมอุณหภูมิ แล้วแกะแผ่นกระจกใสและแถบใสเซลลูโลยด์ออก ใช้ใบมีดเบอร์ 12 สกัดครีบส่วนเกินออกแล้วสร้างชิ้นงานครั้งต่อไปจนครบทั้ง 18 ช่องด้วยวิธีการเดียวกัน ทั้งนี้ การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างด้วยวิธีดังกล่าวจะทำให้ได้ชิ้นงานตัวอย่างที่มีผิวหน้าเรียบมัน ซึ่งไม่จำเป็นต้องได้รับการขัดเพิ่มเติมอีก(27, 35, 38)

- 3.2 **เรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ RelyX Unicem 2[®] (3M ESPE):** กดรเรซินซีเมนต์ RelyX Unicem 2[®] (3M ESPE) จากบรรจุภัณฑ์ชนิดคลิกเกอร์ (clicker) 1 ครั้งลงบนกระดาษสำหรับผสม แล้วใช้พายพลาสติกผสมในลักษณะเป็นวงกลมให้เข้ากัน โดยใช้เวลา 5 วินาที นำไปใส่ในช่องขึ้นงานช่องแรกในแบบพิมพ์ซึ่งอยู่ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ที่ 37 องศาเซลเซียสจนเต็ม จากนั้นจึงกดและผสมเรซินซีเมนต์เพื่อนำไปใส่ในช่องขึ้นงานต่อ ๆ ไปด้วยวิธีการเดียวกัน เมื่อครบ 6 ช่อง (2 แถว แถวละ 3 ช่องในตำแหน่งติดกัน) นำแถบใสเซลลูโลยด์และแผ่นกระจกใสปิดทับแล้วใช้ตุ้มเหล็กน้ำหนัก 1 กิโลกรัมกดทับด้านบนเป็นเวลา 10 วินาทีเพื่อไล่วัสดุส่วนเกินออก จากนั้นนำตุ้มเหล็กออกแล้วฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงที่มีความเข้มแสงไม่น้อยกว่า 400 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ตามเวลาที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำซึ่งแสดงในตารางที่ 8 (ผู้วิจัยจะตรวจความเข้มแสงไม่ให้ต่ำกว่า 400 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรเมื่อฉายแสงครบทุก ๆ 10 ครั้ง) โดยวางปลายกระบอกลำแสงของเครื่องฉายแสงชิดกับแผ่นกระจกใสและฉายแสงที่ละช่องขึ้นงานตามลำดับการใส่เรซินซีเมนต์ลงในช่องขึ้นงาน เมื่อฉายแสงเสร็จแล้ว นำแบบพิมพ์ออกจากตู้ควบคุมอุณหภูมิ แล้วแกะแผ่นกระจกใสและแถบใสเซลลูโลยด์ออก ใช้ใบมีดเบอร์ 12 สกัดครีบส่วนเกินออกแล้วสร้างชิ้นงานครั้งต่อไปจนครบทั้ง 18 ช่องด้วย

วิธีการเดียวกัน ทั้งนี้ การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างด้วยวิธีดังกล่าวจะทำให้ได้ชิ้นงานตัวอย่างที่มีผิวหน้าเรียบมัน ซึ่งไม่จำเป็นต้องได้รับการขัดเพิ่มเติมอีก(27, 35, 38)

ตารางที่ 8 วิธีการผสมเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดที่ใช้ในการวิจัยตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

ผลิตภัณฑ์	วิธีการผสม
NX 3 Nexus [®] (Kerr)	ฉีดเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวแบบผสมจากหลอดชนิดผสมสำเร็จลงในช่องชิ้นงาน ระวังไม่ให้มีฟองอากาศภายใน แล้วฉายแสง 20 วินาที
RelyX Unicem 2 [®] (3M ESPE)	ผสมเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวแบบผสมให้เข้ากันบนกระดาษสำหรับผสม แล้วนำไปใส่ในช่องชิ้นงาน ระวังไม่ให้มีฟองอากาศภายใน จากนั้นฉายแสง 20 วินาที



ภาพที่ 10 ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานเรซินซีเมนต์ตัวอย่าง

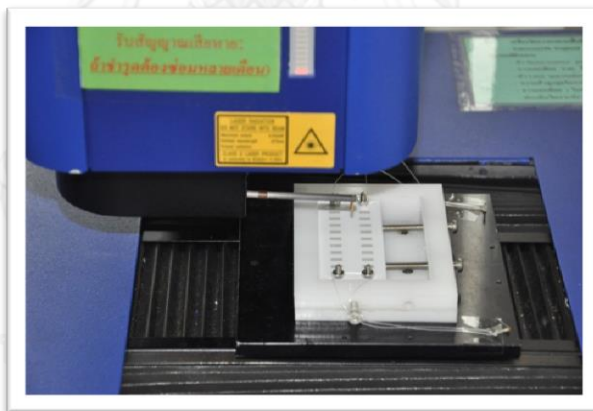
4. ตรวจสอบลักษณะผิวหน้าของชิ้นงานแต่ละชิ้นด้วยนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ กำลังขยาย 40 เท่า หากพบหลุมที่เกิดจากฟองอากาศ (void) บนผิวหน้าชิ้นงานใด ผู้วิจัยจะคัดชิ้นงานนั้นออก
5. หากจำนวนชิ้นงานตัวอย่างในแบบพิมพ์ที่ใช้งานได้จากข้อ 4 มีมากกว่า 13 ชิ้นงาน ผู้วิจัยจะสุ่มเลือกด้วยวิธีการทางสถิติให้เหลือเพียง 13 ชิ้นงาน แต่หากจำนวนชิ้นงานที่ใช้งานได้แบบพิมพ์มีน้อยกว่า 13 ชิ้น ผู้วิจัยจะคัดแบบพิมพ์นั้นออก และสร้างชิ้นงานในแบบพิมพ์ใหม่
6. เก็บแบบพิมพ์ไว้ในกล่องเก็บชิ้นงานตัวอย่างซึ่งมีน้ำลายเทียมที่ผ่านการปรับอุณหภูมิโดยการเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิซึ่งตั้งค่าไว้ที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที ปริมาตร 45 มิลลิลิตร (ปริมาณดังกล่าวจะท่วมผิวหน้าแบบพิมพ์) ปิดฝากล่องแล้วนำเข้าตู้ควบคุมอุณหภูมิซึ่งตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การวัดความหยาบพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างก่อนการจำลองการตีเครื่องตี

ผู้วิจัยจะวัดความหยาบพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างในห้องที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24 - 26 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) ซึ่งควบคุมโดยการเปิดเครื่องปรับอากาศจนกระทั่งอุณหภูมิที่วัดโดยเครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ (data logger) อยู่ในช่วงดังกล่าว

การยึดชิ้นงานตัวอย่างเข้ากับเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว

1. เมื่อครบ 24 ชั่วโมง นำกล่องเก็บชิ้นงานตัวอย่างออกจากตู้ควบคุมอุณหภูมิ แล้วนำแบบพิมพ์ออกจากกล่องเก็บชิ้นงานตัวอย่าง ทำความสะอาดแบบพิมพ์ด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 120 วินาที จากนั้นใช้หัวเป่าลมและน้ำสามทางเป่าแบบพิมพ์ให้แห้งเป็นเวลา 60 วินาที
2. วางแบบพิมพ์ไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิ 24 - 26 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิของแบบพิมพ์รวมทั้งชิ้นงานตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง
3. เคลื่อนย้ายแบบพิมพ์โดยการจับที่เส้นเอ็น แล้วนำมายึดกับฐานของเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวโดยใช้ตัวยึดชิ้นงานพิเศษที่ทำขึ้นเฉพาะสำหรับการวิจัย เพื่อให้สามารถวางแบบพิมพ์ลงบนฐานของเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวได้ในตำแหน่งเดิมทุกครั้ง

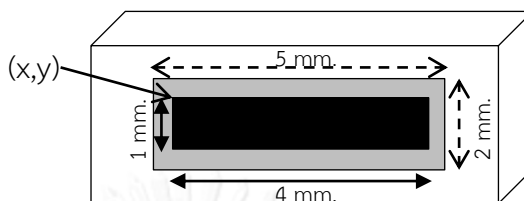


ภาพที่ 11 การยึดชิ้นงานตัวอย่างเข้ากับเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว

การวัดความหยาบพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่าง

1. เคลื่อนฐานของเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวในแนวแกน X และ Y และเคลื่อนปลายเข็มลากในแนวแกน Z เพื่อให้ปลายเข็มลากสัมผัสกับผิวหน้าของชิ้นงานตัวอย่างชั้นที่ 1 กำหนดระดับของเข็มลากที่เหมาะสมในการวัด โดยขยับเข็มลากขึ้นลงในแนวแกน Z จนแถบไฟสีเขียวบนเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวอยู่ตรงตำแหน่งกลาง

2. กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นที่จะสแกนพื้นผิวในแนวแกน X และ Y โดยการเคลื่อนฐานของเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวเพื่อให้เข็มลากอยู่ในตำแหน่งที่จะวัด บันทึกตำแหน่งพิกัด (x,y) ที่เครื่องอ่าน เพื่อใช้กำหนดตำแหน่งสแกนในครั้งต่อไป (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 การตั้งค่าเข็มลากสำหรับการสแกนพื้นผิวของชิ้นงานแต่ละชิ้น
(พื้นที่สี่ทึบคือพื้นที่ที่วัด)

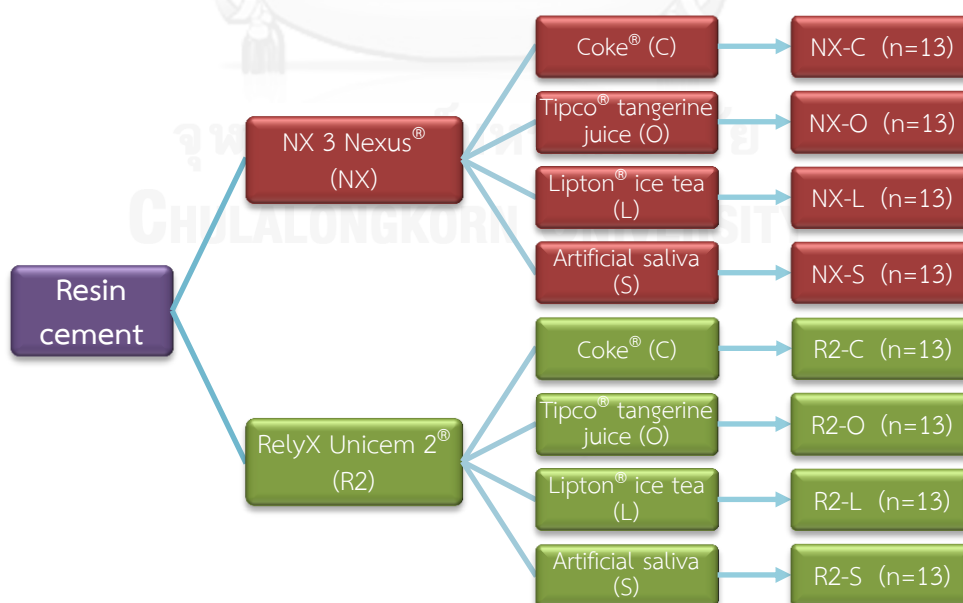
3. กำหนดให้เครื่องวัดความหยาบพื้นผิวสแกนพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างเป็นพื้นที่ซึ่งมีขนาด 4 X 1 ตารางมิลลิเมตร (ภาพที่ 12) โดยตั้งค่าให้เครื่องใช้หัวเข็มซึ่งมีส่วนปลายเป็นเพชรขนาดรัศมี 2 ไมโครเมตร เคลื่อนไปบนพื้นผิวเรซินซีเมนต์ด้วยความเร็วหัวเข็มคงที่ 3,000 ไมโครเมตรต่อวินาที(83, 84) กำหนดค่าต่าง ๆ ในหน้าต่าง (window) ที่ใช้กำหนดค่าเริ่มต้นและพื้นที่ที่จะวัดของโปรแกรมสำเร็จรูป ดังนี้
- **Beginning:** กำหนดพิกัด (x,y) ตามค่าที่บันทึกไว้ในข้อ 2
 - **Length:** กำหนดความยาวตามแนวแกน X = 4 มิลลิเมตร และความยาวตามแนวแกน Y = 1 มิลลิเมตร
 - **Spacing:** กำหนดค่าในแนวแกน X และ Y = 5 μm(83, 84)
4. ภายหลังกการสแกนพื้นผิว เครื่องจะแสดงเป็นภาพสีของพื้นผิวที่สแกนได้ บันทึกข้อมูลของภาพดังกล่าว
5. สุ่มเลือกตำแหน่งเส้นเพื่อใช้เป็นตัวแทนความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของชิ้นงานจำนวน 16 เส้น ซึ่งจากการวิจัยนำร่องจะพบว่า ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95% ค่าเฉลี่ยของความหยาบพื้นผิวเชิงเส้นของชิ้นงานที่ได้จากการคำนวณเส้น 16 เส้นดังกล่าวจะมีความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยของความหยาบพื้นผิวเชิงเส้นจริงของชิ้นงานไม่เกิน 5% (รายละเอียดการคำนวณอยู่ในภาคผนวก ก) บันทึกตำแหน่งดังกล่าวไว้เพื่อใช้วัดความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยของชิ้นงานนั้น ๆ อีกครั้งภายหลังกการจำลองการตีเครื่องตีชนิดต่าง ๆ
6. ตัดเส้นความหยาบพื้นผิวเชิงเส้นของชิ้นงานที่สแกนไว้เส้นที่ 1 แล้วปรับระนาบของเส้นความหยาบพื้นผิวดังกล่าวให้อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันที่สุดโดยใช้คำสั่งเลเวลลิง (leveling) จากนั้นใช้คำสั่งฟิวเตอร์ (filter) เพื่อกรองลักษณะพื้นผิวตามมาตรฐานไอเอสโอหมายเลข

4288:1996(90) ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาเลือกใช้ค่ากรองใดแล้ว จะต้องใช้ค่านั้นเพียงค่าเดียวตลอดการวิจัย

7. ใช้คำสั่งพารามิเตอร์ (parameter) เพื่อให้เครื่องคำนวณความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้น (Ra) ของเส้นนั้น ๆ
8. วัดความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของเส้นความหยาบพื้นผิวอื่น ๆ ในตำแหน่งที่ได้ระบุไว้แล้วล่วงหน้า (ขั้นตอนที่ 5) บนพื้นผิวชิ้นงานตามขั้นตอนที่ 6 – 7 เพิ่มเติมจนครบ 16 เส้น
9. คำนวณค่าเฉลี่ยของเส้นความหยาบพื้นผิวเชิงเส้นทั้ง 16 เส้นที่วัดได้ ซึ่งค่าเฉลี่ยนี้จะเป็นตัวแทนความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของชิ้นงานนั้น ๆ บันทึกค่าไว้เพื่อเปรียบเทียบกับความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยที่อ่านได้ภายหลังการจำลองการติ่มเครื่องติ่มแล้ว
10. วัดความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของชิ้นงานตัวอย่างที่เหลื่อด้วยวิธีการตามข้อที่ 1 – 9 จนครบทุกชิ้นงาน

การจำลองการติ่มเครื่องติ่ม

ชิ้นงานตัวอย่างในแบบพิมพ์ทุกชิ้นจะได้รับการจำลองการติ่มเครื่องติ่มที่มีฤทธิ์กัดแต่ละชนิด และมีกลุ่มควบคุมเชิงลบ (negative control) ที่ไม่สัมผัสกับเครื่องติ่มที่มีฤทธิ์เป็นกรด (เช่นแบบพิมพ์ไว้ในน้ำลายเทียมเท่านั้น) ดังภาพที่ 13 ทั้งนี้ ผู้วิจัยจะทำการจำลองการติ่มเครื่องติ่มทั้งหมดในห้องที่มีอุณหภูมิ 24 – 26 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องติ่มที่ผ่านการแช่ในตู้เย็นซึ่งควบคุมอุณหภูมิคงที่ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง และจะจำลองการติ่มเครื่องติ่มทันทีที่นำเครื่องติ่มออกจากตู้เย็น



ภาพที่ 13 การแบ่งกลุ่มการวิจัย

การจำลองการเติมน้ำมันที่มีฤทธิ์เป็นกรดชนิดต่าง ๆ

การเตรียมกล่องใส่น้ำลายเทียม

1. เทน้ำลายเทียมลงในกล่อง 10 ใบ ๆ ละ 45 มิลลิลิตร แล้วปิดฝา
2. นำกล่องใส่น้ำลายเทียมทั้งหมดเข้าสู่ตู้ควบคุมอุณหภูมิซึ่งตั้งไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที

การเตรียมกล่องใส่เครื่องต้มที่มีฤทธิ์เป็นกรด

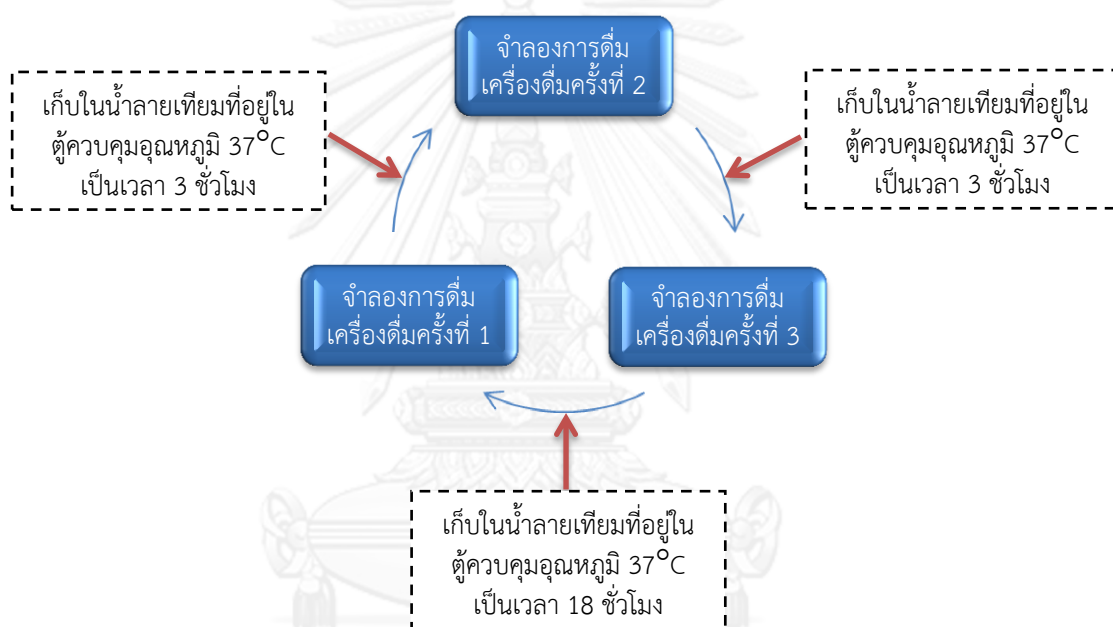
1. นำเครื่องต้มที่ต้องการทดสอบซึ่งผ่านการแช่ในตู้เย็นที่ตั้งอุณหภูมิไว้ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 60 นาทีออกจากตู้เย็น
2. เทเครื่องต้มลงในกล่องใส่เครื่องต้ม 10 ใบ ๆ ละ 45 มิลลิลิตร ให้เสร็จสิ้นภายในเวลา 60 วินาที โดยเทในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิในช่วง 24 - 26 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) สำหรับน้ำอัดลมรสโคล่า นั้น ผู้วิจัยจะเปิดขวดอย่างระมัดระวังเพื่อให้เกิดแรงดันสะท้อนต่อเครื่องต้มที่อยู่ภายในน้อยที่สุด โดยวางขวดบนโต๊ะและจับอย่างมั่นคงก่อนที่จะเปิดฝาววด
3. วัดค่าความเป็นกรดเบสของเครื่องต้ม (ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหน้า 43)

การจำลองการเติมน้ำมันในแต่ละครั้ง

1. วางกล่องใส่เครื่องต้มใบที่ 1 สลับกับกล่องใส่น้ำลายเทียมที่อยู่ในตู้ควบคุมอุณหภูมิซึ่งตั้งไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ กล่องใส่เครื่องต้มใบที่เหลือจะอยู่ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิในช่วง 24 - 26 องศาเซลเซียส
2. นำแบบพิมพ์แช่ในเครื่องต้มที่อยู่ในกล่องใส่เครื่องต้มใบที่ 1 เป็นเวลา 5 วินาที บันทึกเวลาเมื่อผิวหน้าของชิ้นงานในแบบพิมพ์สัมผัสกับเครื่องต้ม จากนั้นย้ายมาแช่ในน้ำลายเทียมซึ่งอยู่ในกล่องตำแหน่งถัดไปเป็นเวลา 10 วินาที ทั้งนี้ การเคลื่อนย้ายแบบพิมพ์ทั้งหมดจะกระทำผ่านเส้นเอ็น โดยผู้วิจัยจะใช้นิ้วคล้องเส้นเอ็นทั้ง 2 เส้นแล้วเคลื่อนย้ายแบบพิมพ์
3. ในขณะที่แบบพิมพ์แช่อยู่ในน้ำลายเทียม นำกล่องใส่เครื่องต้มกล่องถัดไปเข้าสู่ตู้ควบคุมอุณหภูมิ
4. จำลองการเติมน้ำมันซ้ำตามข้อ 2 - 3 จนครบทั้ง 20 กล่อง
5. เก็บแบบพิมพ์ไว้ในกล่องเก็บชิ้นงานตัวอย่างที่มีน้ำลายเทียมซึ่งได้รับการเปลี่ยนใหม่และผ่านการเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาทีแล้วปริมาตร 45 มิลลิลิตร ปิดฝากล่องแล้วนำเข้าสู่ตู้ควบคุมอุณหภูมิซึ่งตั้งค่าไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส เพื่อรอการจำลองการเติมน้ำมันในครั้งถัดไป

6. เมื่อครบ 3 และ 6 ชั่วโมง (นับจากเวลาที่บันทึกไว้ในข้อ 2) ผู้วิจัยจะนำแบบพิมพ์มาจำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดแต่ละชนิดครั้งที่ 2 และ 3 ของวันตามลำดับ ด้วยวิธีการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จากนั้นจะเก็บชิ้นงานในกล่องเก็บชิ้นงานตัวอย่างจนครบ 24 ชั่วโมง (1 วัน)
7. จำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์วันถัดไปด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการจำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดในวันที่ 1 จนครบ 10 วัน

ทั้งนี้ การจำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดแต่ละชนิดใน 1 วันสามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ดังนี้



ภาพที่ 14 วงจรการจำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดแต่ละชนิดใน 1 วัน

การจำลองสำหรับกลุ่มควบคุมเชิงลบ

สำหรับกลุ่มควบคุมเชิงลบหรือกลุ่มที่แบบพิมพ์ไม่สัมผัสกับเครื่องตีพิมพ์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดนั้น ผู้วิจัยจะนำแบบพิมพ์ที่ผ่านการสร้างชิ้นงานตัวอย่างเรซินซีเมนต์แล้วมาเปลี่ยนน้ำลายเทียมซึ่งได้รับการปรับอุณหภูมิตามขั้นตอนการเก็บแบบพิมพ์ในกล่องเก็บชิ้นงานตัวอย่าง (ขั้นตอนที่ 5) เมื่อเวลาผ่านไป 3, 6 และ 24 ชั่วโมง และจะทำซ้ำเช่นนี้เป็นเวลา 10 วัน ให้เหมือนกับกลุ่มที่ได้รับการจำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดชนิดต่าง ๆ

การวัดค่าความเป็นกรดเบส (pH) ของเครื่องต้ม

ผู้วิจัยจะวัดค่าความเป็นกรดเบสของเครื่องต้มที่ใช้ในการวิจัยทุกครั้งก่อนการจำลองการต้มเครื่องต้ม โดยวัดในห้องที่มีอุณหภูมิ 24 – 26 องศาเซลเซียส ด้วยวิธีการดังนี้

1. จุ่มหัววัดของเครื่องวัดค่าความเป็นกรดเบสลงในเครื่องต้มที่อยู่ในกล่องใส่เครื่องต้มใบใดใบหนึ่งซึ่งเตรียมไว้ตามขั้นตอนที่ 2 ของการเตรียมกล่องใส่เครื่องต้มที่มีฤทธิ์เป็นกรด แล้วบันทึกค่าความเป็นกรดเบสที่เครื่องรายงาน
2. วัดค่าความเป็นกรดเบสของเครื่องต้มซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

การไทเทรต (titrate) ความเป็นกรดของเครื่องต้ม(35, 95)

ผู้วิจัยจะไทเทรตปริมาณเบสที่ต้องใช้ในการทำให้เครื่องต้มแต่ละชนิดมีค่าความเป็นกรดเบสเท่ากับ 7.0 เครื่องต้มละ 3 ครั้ง โดยกระทำในห้องที่มีอุณหภูมิ 24 – 26 องศาเซลเซียส เครื่องต้มที่ใช้จะผ่านการแช่ในตู้เย็นซึ่งตั้งค่าอุณหภูมิคงที่ 4 องศาเซลเซียสก่อนการทดสอบไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง การไทเทรตจะกระทำทันทีที่นำเครื่องต้มออกจากตู้เย็นด้วยวิธีการดังนี้

1. เทเครื่องต้มที่ต้องการทดสอบจำนวน 50 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วนำหัววัดความเป็นกรดเบสของเครื่องวัดค่าความเป็นกรดเบสใส่ลงในบีกเกอร์ โดยให้หัววัดจุ่มอยู่ในเครื่องต้มตลอดเวลา
2. ไทเทรตเครื่องต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ (0.2 M NaOH) จนกระทั่งเครื่องต้มมีค่าความเป็นกรดเบสเท่ากับ 7.0 บันทึกปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไป
3. ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 1 และ 2 ทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เพื่อทำให้เครื่องต้มมีค่าความเป็นกรดเบสเท่ากับ 7.0

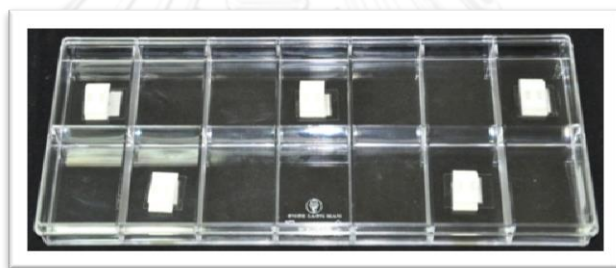
การวัดความหยาบพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างหลังการจำลองการต้มเครื่องต้ม

มีวิธีการวัดเช่นเดียวกับการวัดความหยาบพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างก่อนการจำลองการต้มเครื่องต้ม ทั้งนี้ ตำแหน่งเส้นความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นต่าง ๆ ที่ใช้เป็นตัวแทนความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของชิ้นงานแต่ละชิ้นจะต้องเป็นตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งที่ใช้วัดความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นก่อนการจำลองการต้มเครื่องต้ม

การประเมินลักษณะพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

ลักษณะพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ก่อนการจำลองการตีเครื่องตี

1. สร้างชิ้นงานเรซินซีเมนต์ตัวอย่างในแบบพิมพ์ผลิตภัณฑ์ละ 3 ชิ้น ตามขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานเรซินซีเมนต์ตัวอย่างที่ได้กล่าวไว้แล้ว
2. เมื่อแช่ในน้ำลายเทียมที่ผ่านการปรับอุณหภูมิจนครบ 24 ชั่วโมง นำชิ้นงานตัวอย่างที่อยู่ในแบบพิมพ์มาทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 120 วินาที แล้วใช้หัวเป่าลมและน้ำสามทางเป่าให้แห้งเป็นเวลา 60 วินาที
3. ปิดแถบใสเซลลูลอยด์บนผิวหน้าของชิ้นงาน แล้วปิดทับด้วยสติกเกอร์ใสกั้นน้ำอีกชั้นหนึ่ง
4. ตัดชิ้นงานออกจากแบบพิมพ์แล้วติดในกล่องพลาสติกใสโดยหันผิวหน้าชิ้นงานขึ้นด้านบน (ภาพที่ 15) แกะสติกเกอร์ใสกั้นน้ำและแถบใสเซลลูลอยด์ออก จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนท่วมผิวหน้าชิ้นงาน แล้วปิดฝากล่อง



ภาพที่ 15 การติดชิ้นงานที่ผ่านการตัดออกจากแบบพิมพ์แล้วในกล่องพลาสติกใส

5. นำกล่องพลาสติกใสที่มีชิ้นงานอยู่ภายในเข้าเครื่องสั่นความถี่เหนือเสียงเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นแกะชิ้นงานออก แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้งโดยใช้เวลาขึ้นละ 10 วินาที
6. นำชิ้นงานเข้าเครื่องดูความชื้นเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วเคลือบทองบนผิวหน้าชิ้นงานด้วยเครื่องเคลือบทอง
7. นำชิ้นงานไปส่งดูลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า แล้วบันทึกภาพ

ลักษณะพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ภายหลังการจำลองการตีเครื่องตีชนิดต่าง ๆ รวมทั้งกลุ่มควบคุมเชิงลบ

1. สุ่มเลือกชิ้นงานเรซินซีเมนต์ตัวอย่างที่ผ่านการจำลองการตีเครื่องตีชนิดต่าง ๆ (กลุ่ม NX-C, NX-O, NX-L, R2-C, R2-O และ R2-L) รวมทั้งกลุ่มควบคุมเชิงลบ (NX-S และ R2-S) กลุ่มละ 3 ชิ้น

2. เตรียมชิ้นงานที่ผ่านการสุ่มเลือกกรรมถึงนำชิ้นงานไปส่องดูลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการประเมินลักษณะพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ก่อนการจำลองการติ่มเครื่องติ่มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (ขั้นตอนที่ 3 – 7)

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เอส พี เอส เอส (IBM® SPSS® Statistics 18, International Business Machines Corp., Armonk, NY, USA) โดยกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติด้วยระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการศึกษาดังต่อไปนี้

1. คำนวณค่าเฉลี่ยของความหยาบพื้นผิวเชิงเส้นของชิ้นงานแต่ละกลุ่มก่อนและหลังการแช่เครื่องติ่ม (การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง) รวมทั้งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (การวัดการกระจาย) พีสัย ค่าสูงสุดและต่ำสุด
2. ตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลโดยใช้สถิติ Kolmogorov-Smirnov test
3. ตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูลระหว่างกลุ่มการทดลองต่าง ๆ (homogeneity of variance) ด้วยค่าสถิติลีวิน (Levene statistic)
4. ทดสอบความแตกต่างของความหยาบพื้นผิวของชิ้นงานเรซินซีเมนต์ตัวอย่างแต่ละผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการจำลองการเครื่องติ่มแต่ละชนิด
 - 4.1 กรณีที่ประชากรมีการแจกแจงปกติ ใช้การวิเคราะห์ด้วยสถิติแพร์ที-เทส (pair T-test)
 - 4.2 กรณีที่ประชากรมีการแจกแจงไม่ปกติ ใช้การวิเคราะห์ด้วยสถิติวิลคอกสันแมชแพร์ซายน์แรงค์เทส (Wilcoxon matched pairs signed-ranks test)
5. ทดสอบความแตกต่างของความหยาบพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างซึ่งเป็นผลมาจากชนิดของเครื่องติ่มที่มีฤทธิ์เป็นกรดและเรซินซีเมนต์ที่ต่างผลิตภัณฑ์กัน
 - 5.1 กรณีที่ประชากรมีการแจกแจงปกติ ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (Two-Way ANOVA) และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อน (Multiple comparisons)
 - 5.2 กรณีที่ประชากรมีการแจกแจงไม่ปกติ ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทางของฟรீดแมน (Friedman Two-Way ANOVA)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ความเป็นกรดเบสของเครื่องต้มชนิดต่าง ๆ

ผลการวัดค่าความเป็นกรดเบสของเครื่องต้มชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัยพบว่า เครื่องต้มที่มีความเป็นกรดมากที่สุด คือ โค้ก[®] รองลงมาคือ ลิปตันไอซ์ที[®] และน้ำส้มเชียวหวานทิปโก้[®] ตามลำดับ สำหรับน้ำลายเทียมนั้นมีค่าความเป็นกรดเบสใกล้เคียงกลาง รายละเอียดค่าเฉลี่ยความเป็นกรดเบสของเครื่องต้มต่าง ๆ รวมทั้งน้ำลายเทียมแสดงไว้ในตารางที่ 9

การไทเทรตความเป็นกรดของเครื่องต้มชนิดต่าง ๆ

เครื่องต้มที่ใช้ในการวิจัยแต่ละชนิดต้องใช้ปริมาณเบสเพื่อทำให้เครื่องต้มมีค่าความเป็นกรดเบสเท่ากับ 7.0 แตกต่างกันไป พบว่าโค้ก[®] ต้องใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์มากที่สุด รองลงมาคือน้ำส้มเชียวหวานทิปโก้[®] และ ลิปตันไอซ์ที[®] ตามลำดับ รายละเอียดของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ที่ต้องใช้สำหรับเครื่องต้มแต่ละชนิดแสดงไว้ในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรดเบสและปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ที่ต้องใช้เพื่อทำให้เครื่องต้มแต่ละชนิดมีค่าความเป็นกรดเบสเท่ากับ 7.0

เครื่องต้ม / น้ำลายเทียม	ค่าเฉลี่ยความเป็นกรดเบส	ค่าเฉลี่ยปริมาณ 0.2M NaOH ที่ใช้ (มล.)
โค้ก [®] (C)	2.55	19.68
น้ำส้มเชียวหวานทิปโก้ [®] (O)	3.58	17.77
ลิปตันไอซ์ที [®] (L)	3.05	9.53
น้ำลายเทียม (S)	7.03	-

หมายเหตุ โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ที่ใช้ในการไทเทรตมีค่าความเป็นกรดเบสเฉลี่ยเท่ากับ 13.03

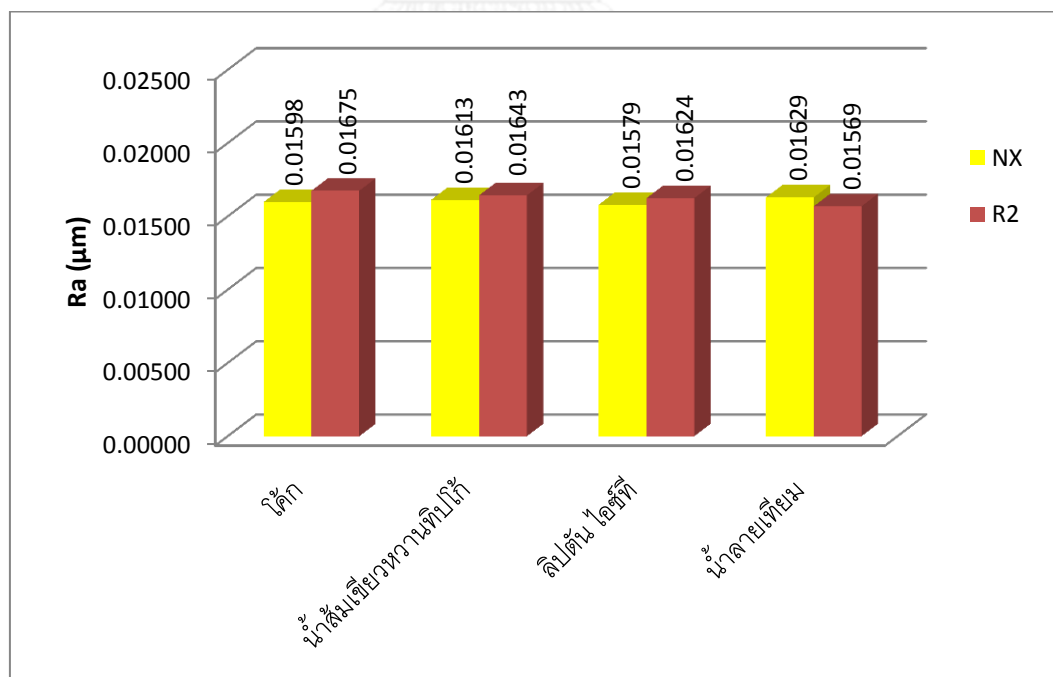
ความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของเรซินซีเมนต์กลุ่มการทดลองต่าง ๆ ก่อนการจำลองการต้มเครื่องต้ม

ผลการวิเคราะห์ความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดก่อนการจำลองการต้มเครื่องต้มในกลุ่มการทดลองต่าง ๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.567$) ดังรายละเอียดในตารางที่ 10 และภาพที่ 16

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของเรซินซีเมนต์ ก่อนและหลังการจำลองการตีมเครื่องมือในกลุ่มการทดลองต่าง ๆ (หน่วยเป็น ไมโครเมตร) และความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มการทดลอง เมื่อจำแนกตามชนิดของเครื่องมือและเรซินซีเมนต์

Group	Sequence	Coke [®]	Tipco [®] tangerine juice	Lipton [®] ice tea	Artificial saliva
NX3 Nexus [®]	Before treatment	0.01598 (0.00156) ^a	0.01613 (0.00089) ^a	0.01579 (0.00114) ^a	0.01629 (0.00124) ^a
	After treatment	0.02902 (0.00487) ^b	0.01855 (0.00167) ^c	0.02623 (0.00203) ^d	0.01838 (0.00143) ^c
RelyX Unicem 2 [®]	Before treatment	0.01675 (0.00158) ^a	0.01643 (0.00178) ^a	0.01624 (0.00129) ^a	0.01569 (0.00127) ^a
	After treatment	0.02829 (0.00447) ^b	0.01871 (0.00194) ^c	0.02549 (0.00160) ^d	0.01743 (0.00124) ^c

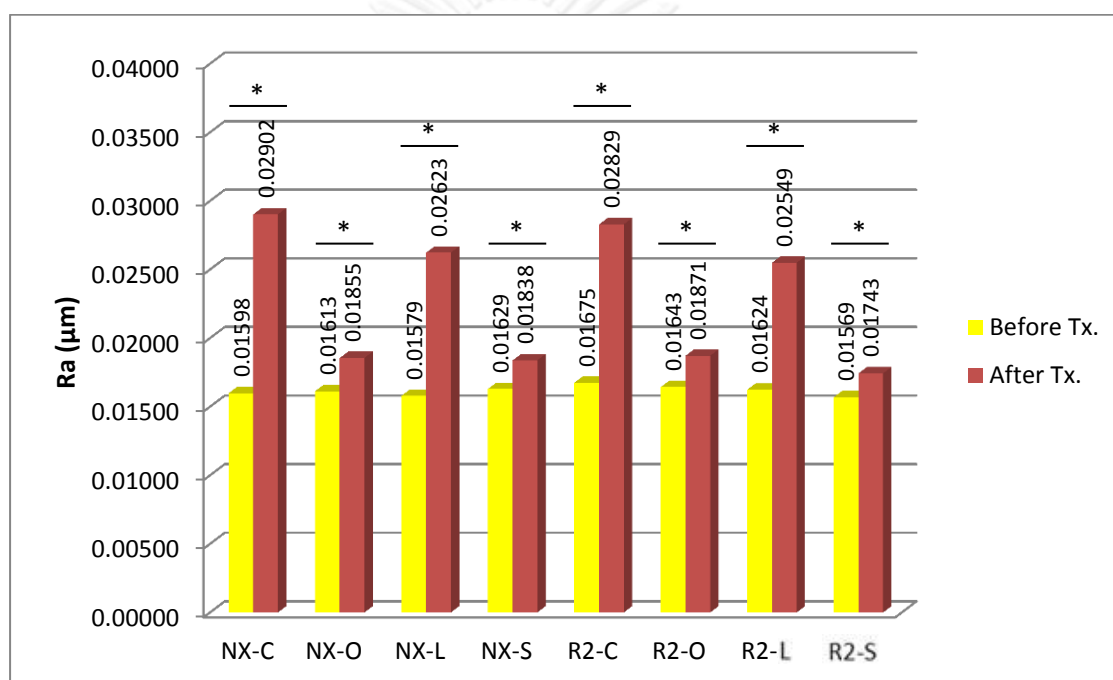
* Statistical differences between groups are represented by lowercase superscript letters (same letter denotes no statistical difference).



ภาพที่ 16 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวเชิงเส้นของเรซินซีเมนต์ก่อนการจำลองการตีมเครื่องมือในกลุ่มการทดลองต่าง ๆ จำแนกตามชนิดของเครื่องมือและเรซินซีเมนต์

ผลของชนิดของเครื่องตีต่อความหยาบพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการจำลองการตีเครื่องตีในกลุ่มการทดลองเดียวกัน

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของเรซินซีเมนต์ในกลุ่มการทดลองต่าง ๆ ก่อนและหลังการจำลองการตีเครื่องตีแสดงไว้ในตารางที่ 10 และภาพที่ 17 จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ภายหลังจากการจำลองการตีเครื่องตี ไม่ว่าจะเป็นโค้ก® ลิปตันไอซ์ที® น้ำส้มเขียวหวานทิปโก้® หรือการแช่น้ำลายเทียม เรซินซีเมนต์ในทุกกลุ่มการทดลองมีความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$ ทุกกลุ่มการทดลอง)



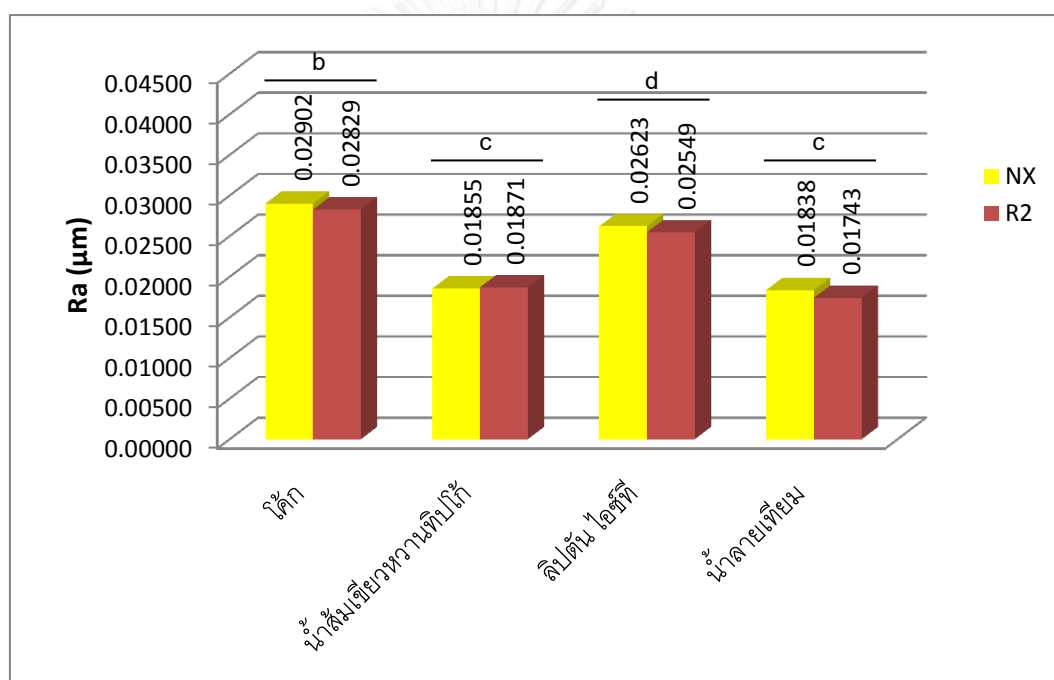
* denotes significantly statistical difference within group ($p < 0.001$)

ภาพที่ 17 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวเชิงเส้นของเรซินซีเมนต์ ก่อนและหลังการจำลองการตีเครื่องตีในกลุ่มการทดลองต่าง ๆ

ผลของชนิดของเครื่องตีและเรซินซีเมนต์ต่อความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของเรซินซีเมนต์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มการทดลอง

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ภายหลังจากการจำลองการตีเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรด 3 ชนิด ได้แก่ โค้ก® ลิปตันไอซ์ที® และน้ำส้มเขียวหวานทิปโก้® รวมทั้งการแช่น้ำลายเทียมแสดงไว้ในตารางที่ 10 และภาพที่ 18 จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ชนิดของเครื่องตีเท่านั้นที่มีผลต่อความหยาบพื้นผิวของเรซินซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ในขณะที่เรซินซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัยนี้

ไม่มีผลต่อความหยาบพื้นผิวดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.299$) อีกทั้งยังไม่พบการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองปัจจัยดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย ($p=0.889$) เมื่อพิจารณาเฉพาะปัจจัยชนิดของเครื่องดื่ม พบว่า โค้ก® ทำให้พื้นผิวของเรซินซีเมนต์มีความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือ ลิปตันไอซ์ที® สำหรับน้ำส้มเขียวหวานทิปโก้® และน้ำลายเทียมนั้น แม้จะทำให้พื้นผิวเรซินซีเมนต์มีความหยาบเพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับผิวของวัสดุก่อนการจำลองการดื่มเครื่องดื่ม ($p<0.001$) (ตารางที่ 10 และภาพที่ 17) แต่การเพิ่มขึ้นดังกล่าวก็น้อยกว่าการเพิ่มขึ้นที่เกิดจากโค้ก® และลิปตันไอซ์ที® (ตารางที่ 10 และภาพที่ 18)

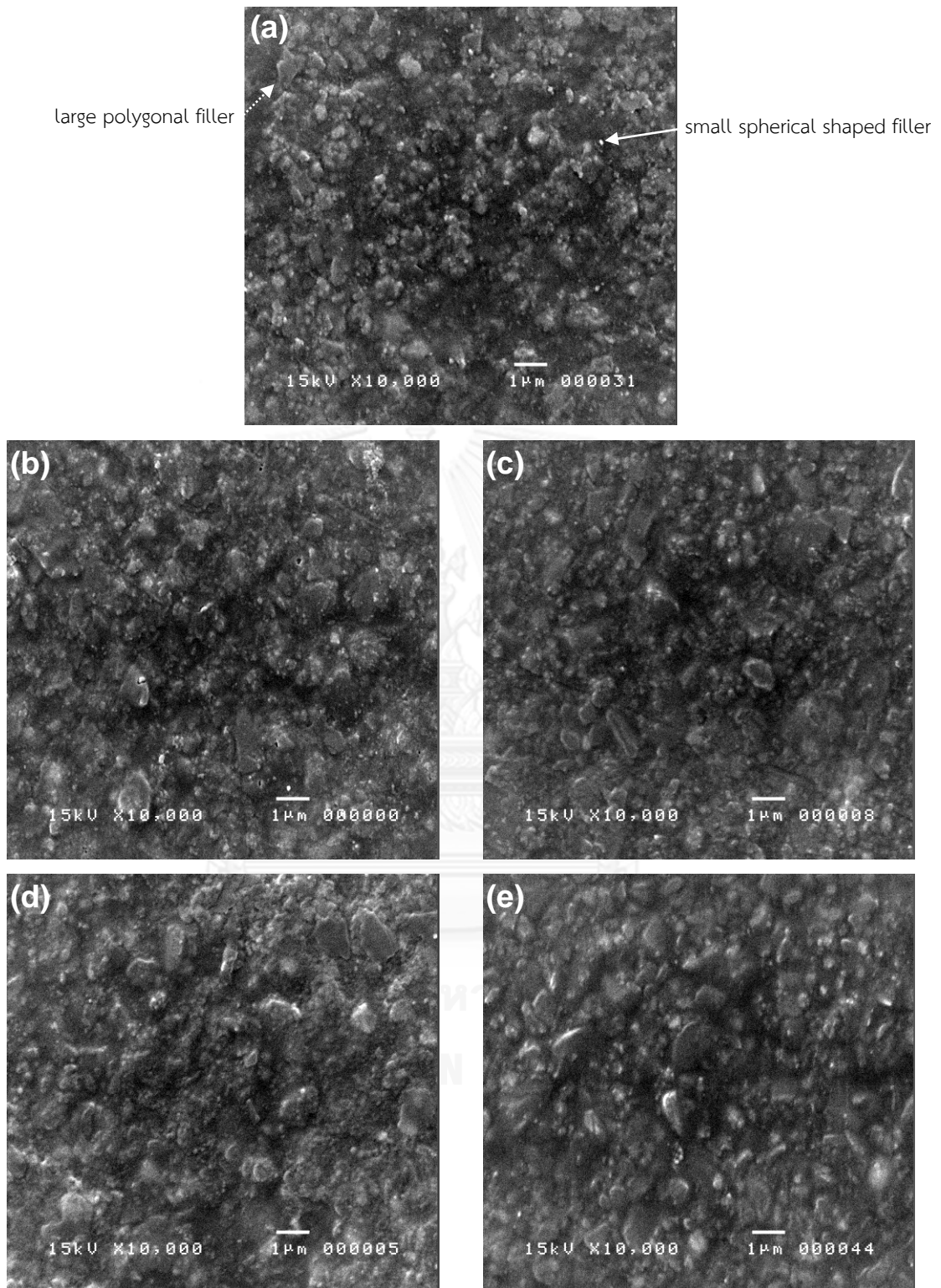


* Statistical differences between beverages are represented by different letters (same letter denotes no statistical difference).

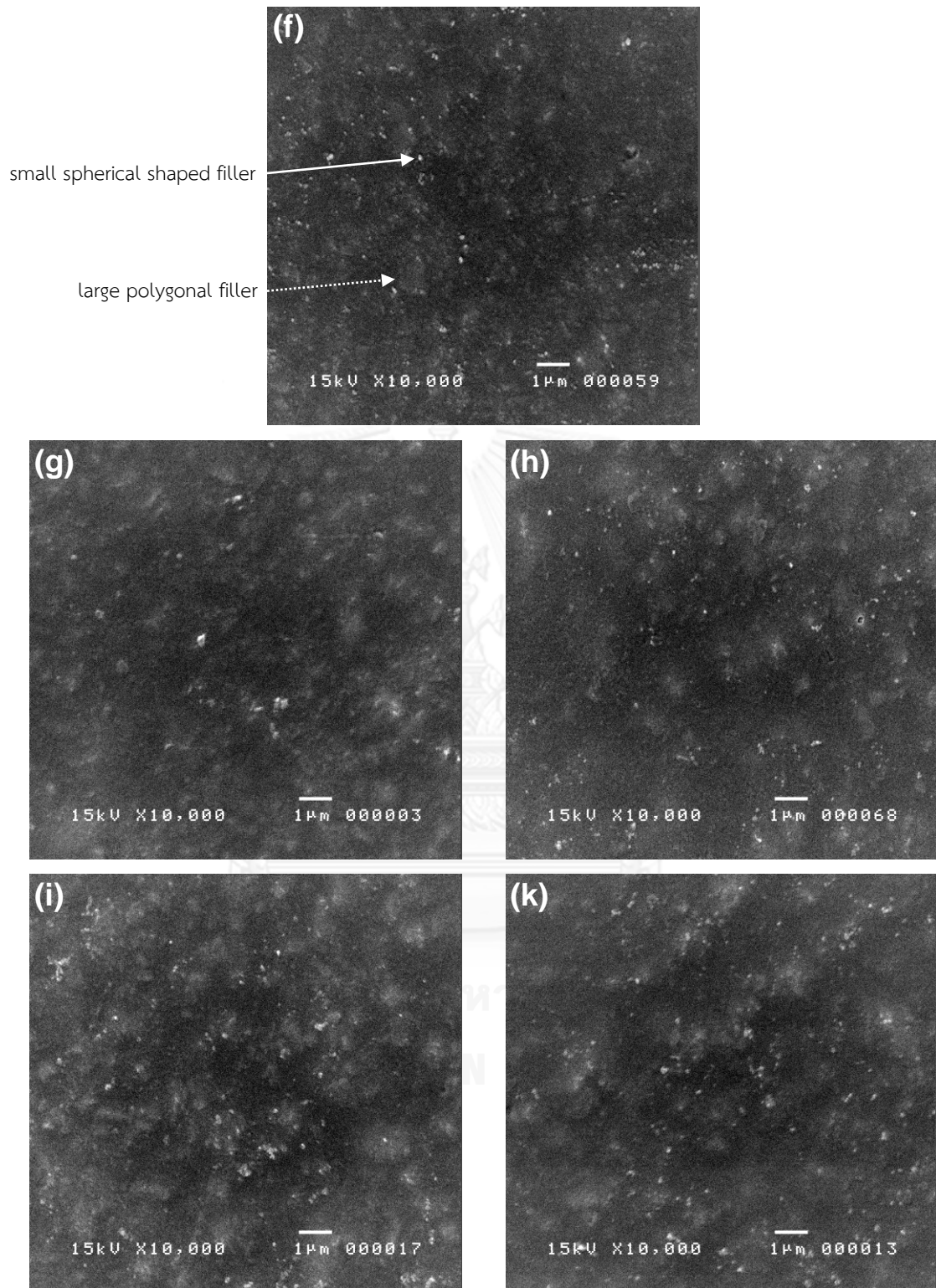
ภาพที่ 18 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวเชิงเส้นของเรซินซีเมนต์ภายหลังการจำลองการดื่มเครื่องดื่มในกลุ่มการทดลองต่าง ๆ จำแนกตามชนิดของเครื่องดื่มและเรซินซีเมนต์

ลักษณะของพื้นผิวเรซินซีเมนต์กลุ่มการทดลองต่าง ๆ เมื่อประเมินภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

ตัวอย่างลักษณะพื้นผิวเรซินซีเมนต์แต่ละผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการจำลองการดื่มเครื่องดื่มต่าง ๆ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 10,000 เท่า แสดงไว้ในภาพที่ 19 และ 20



ภาพที่ 19 ตัวอย่างลักษณะพื้นผิวเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ NX3 Nexus[®] (Kerr) ก่อนและหลังการจำลองการตีเครื่องตีต่าง ๆ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 10,000 เท่า โดยที่ (a) พื้นผิวก่อนการจำลองการตีเครื่องตี (b) พื้นผิวหลังการจำลองการตีไดโกล[®] (c) พื้นผิวหลังการจำลองการตีลิปตันไอซ์ที[®] (d) พื้นผิวหลังการจำลองการตีน้ำส้มเชียวหวานทิบโก้[®] และ (e) พื้นผิวหลังการแช่ชิ้นงานในน้ำลายเทียมเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 20 ตัวอย่างลักษณะพื้นผิวเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ RelyX Unicem 2[®] (3M ESPE) ก่อนและหลังการจำลองการติ่มเครื่องติ่มต่าง ๆ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 10,000 เท่า โดยที่ (f) พื้นผิวก่อนการจำลองการติ่มเครื่องติ่ม (g) พื้นผิวหลังการจำลองการติ่มไดค็อก[®] (h) พื้นผิวหลังการจำลองการติ่มลิปตันไอซ์ที[®] (i) พื้นผิวหลังการจำลองการติ่มน้ำส้มเขียวหวานทิปโก้[®] และ (k) พื้นผิวหลังการแช่ชิ้นงานในน้ำลายเทียมเพียงอย่างเดียว

เมื่อพิจารณาภาพลักษณะพื้นผิวเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ NX3 Nexus[®] (Kerr) ก่อนการจำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์ (ภาพที่ 19 – a) พบว่า เรซินซีเมนต์ชนิดนี้ประกอบด้วยสารอัดแทรกที่มีขนาดและรูปร่างต่างกันอย่างน้อยชัดเจนอย่างน้อย 2 ชนิด โดยสารอัดแทรกชนิดแรกมีรูปร่างเหลี่ยม (แสดงด้วยเส้นประ) ส่วนสารอัดแทรกชนิดที่สองซึ่งกระจายตัวอยู่ระหว่างสารอัดแทรกชนิดแรกมีรูปร่างกลมและมีขนาดเล็ก (แสดงด้วยเส้นทึบ)

ภายหลังการจำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์ชนิดต่าง ๆ เป็นเวลา 10 วัน พบว่า สามารถมองเห็นสารอัดแทรกรูปร่างเหลี่ยมได้ชัดเจนขึ้น ในขณะที่ไม่ค่อยพบสารอัดแทรกทรงกลมขนาดเล็ก เมื่อเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวเรซินซีเมนต์ที่ผ่านการจำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดชนิดต่าง ๆ (ภาพที่ 19 – b, c และ d) กับลักษณะพื้นผิวเรซินซีเมนต์ที่ไม่ผ่านการจำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด (ภาพที่ 19 – e) พบว่า เรซินซีเมนต์ที่ผ่านการจำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์จะมีพื้นผิวที่ขรุขระกว่าเรซินซีเมนต์ที่ไม่ผ่านการจำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์

ภาพพื้นผิวเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ RelyX Unicem 2[®] (3M ESPE) ก่อนการจำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์ (ภาพที่ 20 – f) แสดงลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกับลักษณะของพื้นผิวเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ NX3 Nexus[®] (Kerr) (ภาพที่ 19 – a) ถึงแม้ว่าภาพดังกล่าวจะแสดงให้เห็นว่าเรซินซีเมนต์ชนิดนี้ประกอบด้วยสารอัดแทรกที่แตกต่างกันอย่างน้อย 2 ชนิด และสารอัดแทรกที่มีขนาดเล็ก (แสดงด้วยเส้นทึบ) ในเรซินซีเมนต์ทั้งสองผลิตภัณฑ์มีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่ลักษณะพื้นผิวโดยรวมก็แตกต่างกัน เนื่องจากสารอัดแทรกที่มีขนาดใหญ่ (แสดงด้วยเส้นประ) ในเรซินซีเมนต์ชนิดนี้มองเห็นได้ไม่ชัดเจนเท่าสารอัดแทรกขนาดใหญ่ในเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ NX3 Nexus[®] (Kerr) ทำให้ลักษณะโดยรวมคล้ายว่าเรซินซีเมนต์ชนิดนี้มีผิวหน้าเรียกว่าเรซินซีเมนต์ชนิดแรก

ภายหลังการจำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์ชนิดต่าง ๆ เป็นเวลา 10 วัน พบว่า สามารถมองเห็นสารอัดแทรกขนาดใหญ่ได้ชัดเจนขึ้น ในขณะที่ไม่ค่อยพบสารอัดแทรกทรงกลมขนาดเล็กโดยเฉพาะภายหลังการจำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์โคลิก[®] (ภาพที่ 20 – g)

นอกจากนั้น เมื่อเปรียบเทียบระดับความขรุขระของผิวหน้าเรซินซีเมนต์ทั้งสองผลิตภัณฑ์ เฉพาะในกลุ่มที่ผ่านการจำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด (ภาพที่ 19 b – d และภาพที่ 20 g – i) จะพบว่า มีลักษณะใกล้เคียงกันจนไม่สามารถเรียงลำดับความขรุขระได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการวิจัย

การจำลองการดื่มเครื่องดื่ม

การวิจัยเพื่อประเมินผลของเครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรดต่อการสึกกร่อนจากการละลายของวัสดุทางทันตกรรมต่าง ๆ นั้น ส่วนใหญ่มักเป็นการจำลองโดยการแช่วัสดุในเครื่องดื่มที่มีฤทธิ์กัดกร่อนอย่างต่อเนื่องในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ๆ (11, 28-34, 37, 96) โดยไม่ได้เลียนแบบการดื่มเครื่องดื่มในชีวิตประจำวัน ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ผู้ดื่มจะดื่มและอมเครื่องดื่มจำนวนหนึ่งไว้ในปากเป็นเวลาดสั้น ๆ ก่อนกลืน แล้วจึงดื่มครั้งต่อไป เครื่องดื่มจึงไม่ได้สัมผัสกับฟันหรือวัสดุทางทันตกรรมตลอดเวลา แต่จะมีช่วงเวลาที่หยุดพัก ซึ่งจะเป็นช่วงที่น้ำลายซึ่งไหลเวียนอยู่ในช่องปากช่วยชะล้างเครื่องดื่มที่ติดอยู่บริเวณพื้นผิวของฟันและวัสดุบูรณะ ตลอดจนช่วยลดสภาพความเป็นกรดของเครื่องดื่มในช่องปากโดยการปรับสภาพให้เป็นกลาง (27, 35) คุณสมบัติของน้ำลายนี้อาจทำให้ผลการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นแตกต่างจากการแช่วัสดุหรือฟันในเครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรดตลอดเวลา การวิจัยนี้จึงได้ออกแบบการจำลองการดื่มเครื่องดื่มเสมือนจริง โดยแช่เรซินซีเมนต์ในเครื่องดื่มที่มีอุณหภูมิซึ่งเป็นที่นิยมในการบริโภคเป็นเวลาดสั้น ๆ สลับกับการแช่ในน้ำลายเทียมซึ่งผ่านการปรับอุณหภูมิให้เท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ยของร่างกาย ทำเช่นนี้สลับกันไปภายใต้สภาวะช่องปากเทียมซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิให้เท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ยของร่างกาย

นอกจากนั้น การจำลองการดื่มเครื่องดื่มในการวิจัยนี้ยังได้รับการออกแบบให้เป็นการจำลองการดื่มเครื่องดื่มแบบถ้อย (11) ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยนี้จะแสดงถึงความหยابพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปที่อาจเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ผู้ดื่มชื่นชอบและดื่มเครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรดบ่อย ๆ (worst case scenario)

เครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรดที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยนี้เลือกเปรียบเทียบความสามารถของเครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรด 3 ชนิด ได้แก่ น้ำอัดลมรสโคล่า น้ำชาเมานาว และน้ำส้ม ในการทำให้พื้นผิวเรซินซีเมนต์มีความหยาบเพิ่มขึ้น โดยผู้วิจัยได้เลือกผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนแบ่งการตลาดสูงสุดในประเทศไทยเป็นตัวแทนของเครื่องดื่มแต่ละชนิด ข้อมูลจากนิตยสารมาร์เก็ตทีเยอร์ (Marketeer) ฉบับเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 ได้รายงานส่วนแบ่งการตลาดของน้ำอัดลมรสโคล่า (น้ำดำ) โดยระบุว่า โค้ก® เป็นเครื่องดื่มน้ำดำที่มีส่วนแบ่งการตลาดสูงสุด (44%) สำหรับน้ำส้มนั้น นิตยสารฉบับเดียวกันในปี พ.ศ. 2556 ได้รายงานส่วน

แบ่งการตลาดโดยระบุว่า น้ำส้มทิปโก้® เป็นน้ำส้มที่มีส่วนแบ่งการตลาดสูงสุด (43%) ซึ่งในกลุ่มนี้ น้ำส้มเขียวหวานจะมียอดการขายสูงที่สุด เนื่องจากมีรสชาติที่ถูกปากผู้บริโภคชาวไทยซึ่งชื่นชอบรสชาติเปรี้ยว ๆ หวาน ๆ ที่ผสมกันอย่างกลมกล่อมและมีกลิ่นหอมจากเปลือกส้ม ส่วนน้ำชามะนาว นั้น ในปัจจุบันมีเครื่องดื่มชนิดดังกล่าวแบบสำเร็จรูปที่บรรจุในขวดพร้อมดื่ม (ซึ่งจะมีสัดส่วนของส่วนประกอบต่าง ๆ นานอนกว่าเครื่องดื่มชนิดผงที่อาจแปรผันตามปริมาณน้ำที่ผสมได้) วางขายในท้องตลาดอยู่เพียงผลิตภัณฑ์เดียว คือ ลิปตันไอซ์ที®

จากเงื่อนไขการเลือกตัวแทนผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้างต้น ทำให้ผลการวิจัยนี้ น่าจะสามารถสะท้อนถึงความรุนแรงของเครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรด 3 ชนิด คือ น้ำอัดลมรสโคล่า น้ำชามะนาว และน้ำส้ม ในการทำให้เรซินซีเมนต์มีความหยาบพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไปได้เป็นอย่างดี

การวัดความหยาบพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการสัมผัสกรด

แม้การวัดปริมาตรของวัสดุที่สูญหายไปจะแสดงถึงการสึกกร่อนจากการละลายที่ชัดเจนกว่า การวัดความหยาบพื้นผิวหรือความแข็งผิวที่เปลี่ยนแปลงไป แต่การวัดด้วยวิธีดังกล่าวก็มีความไวในการตรวจพบการสึกกร่อนจากการละลายในระยะเริ่มแรกต่ำ(77) อีกทั้งผลจากการวิจัยนำร่องก็แสดงให้เห็นว่า ภายหลังจากการจำลองการดื่มเครื่องดื่มโดยการแช่เรซินซีเมนต์ในของเหลว (เครื่องดื่มที่มีฤทธิ์เป็นกรดและน้ำลายเทียม) เป็นเวลา 10 วันนั้น เรซินซีเมนต์จะขยายขนาดขึ้นเนื่องจากการดูดน้ำ (sorption) ของวัสดุในกลุ่มเรซินคอมโพสิตซึ่งมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่วัสดุแช่อยู่ในของเหลว โดยการดูดน้ำดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างมากในช่วงแรก ๆ ของการแช่(97) ทำให้ไม่สามารถวัดปริมาตรของวัสดุที่สูญหายไปได้ สำหรับการวัดการสึกกร่อนจากการละลายด้วยการวัดความแข็งผิวที่เปลี่ยนแปลงไปนั้น แม้จะเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำ ทำได้ง่าย และสามารถตรวจการสึกกร่อนในระยะแรกซึ่งเป็นระยะที่พื้นผิวของวัสดุเริ่มขึ้นได้(62) แต่การวัดด้วยวิธีดังกล่าวก็ไม่สามารถวัดการสึกกร่อนจากการละลายในระยะที่มีการลุกลามมากขึ้นจนสูญเสียผิวหน้าของวัสดุไปได้(77) จึงอาจไม่แสดงถึงการสึกกร่อนจากการละลายที่แท้จริงซึ่งควรต้องมีการสูญเสียผิวหน้าของวัสดุไป จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงเลือกวัดการสึกกร่อนจากการละลายภายใต้สภาวะการจำลองการดื่มเครื่องดื่มเป็นเวลา 10 วันนี้ด้วยวิธีการวัดความหยาบพื้นผิว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียผิวหน้าของวัสดุในระยะแรก แต่ไม่ได้รับผลกระทบจากการดูดน้ำของวัสดุ อีกทั้งยังมีความสัมพันธ์กับการยึดเกาะของเชื้อจุลินทรีย์ในช่องปาก(12-16) ซึ่งในกรณีของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ยึดชิ้นงานบูรณะชนิดติดแน่นนั้น ผิวหน้าของวัสดุส่วนที่ติดต่อกับสภาพแวดล้อมในช่องปากจะอยู่บริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและฟัน การที่ผิวหน้าบริเวณนี้มีความขรุขระจึงอาจนำไปสู่การเกาะตัวของตัวฟันที่บูรณะ ฟันข้างเคียง และอวัยวะปริทันต์โดยรอบได้(13, 18, 20)

ในการวิเคราะห์ค่าความหยาบพื้นผิวของข้อมูลที่ได้จากการสแกนของเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวนั้น ผู้วิจัยจะต้องกรองข้อมูลด้วยตัวกรองที่เหมาะสมตามมาตรฐานไอเอสโอหมายเลข 4288 ปี 1996 (ISO 4288:1996)(90) ก่อน ทั้งนี้ เนื่องจากมาตรฐานดังกล่าวได้กำหนดเฉพาะค่าตัดที่เหมาะสมสำหรับค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้น (Ra) ในช่วงต่าง ๆ แต่ไม่ได้กำหนดค่าที่เหมาะสมสำหรับความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงระนาบ (Sa) ไว้ ดังนั้น เพื่อให้ผลการวิจัยนี้สามารถเปรียบเทียบกับผลการวิจัยอื่น ๆ ได้ ผู้วิจัยจึงพิจารณารายงานความหยาบพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ด้วยค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นที่ผ่านการกรองข้อมูลตามมาตรฐานดังกล่าวแล้ว

ความแปรปรวนของข้อมูลระหว่างกลุ่มการทดลองต่าง ๆ (homogeneity of variance)

จากผลการวิจัย พบว่า แม้ค่าความแปรปรวนของข้อมูลในกลุ่มการทดลองทุกกลุ่มก่อนการจำลองการตีเครื่องตีจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.179$) แต่เมื่อผ่านการจำลองการตีเครื่องตีแล้ว ค่าความแปรปรวนดังกล่าวกลับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) เมื่อพิจารณาตัดกลุ่มการทดลองที่ผ่านการจำลองการตีเครื่องตีโค้ก[®] (NX-C และ R2-C) ออก แล้วทดสอบค่าความแปรปรวนของข้อมูลระหว่างกลุ่มการทดลองใหม่ พบว่า กลุ่มที่เหลือดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.319$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กลุ่มการทดลองที่ผ่านการจำลองการตีเครื่องตีโค้ก[®] มีความแปรปรวนของข้อมูลแตกต่างจากกลุ่มการทดลองอื่น ๆ เมื่อพิจารณาร้อยละของสัดส่วนระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเทียบกับค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มการทดลอง (สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน, coefficient of variation; CV) จะพบว่า กลุ่มการทดลองที่ผ่านการจำลองการตีเครื่องตีโค้ก[®] มีค่าร้อยละดังกล่าวมากกว่ากลุ่มการทดลองอื่นอย่างชัดเจน (NX-C = 16.77% และ R2-C = 15.82% ในขณะที่กลุ่มการทดลองอื่น ๆ มีค่าร้อยละดังกล่าวอยู่ระหว่าง 6.27 – 10.36%) เหตุที่เป็นเช่นนี้คาดว่าน่าจะเกิดจากฟองอากาศในเครื่องตีโค้ก[®] ที่เกาะอยู่บนพื้นผิวชิ้นงาน ซึ่งอาจขัดขวางการสัมผัสของเครื่องตีโดยไม่อาจคาดการณ์หรือควบคุมได้

ผลของชนิดของเครื่องตีต่อความหยาบพื้นผิวของเรซินซีเมนต์เมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการจำลองการตีเครื่องตีภายในกลุ่มการทดลองเดียวกัน

การที่ผิวหน้าของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการวิจัยทั้งสองผลิตภัณฑ์ภายหลังการจำลองการตีเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรดชนิดต่าง ๆ มีความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นนั้น น่าจะมีความเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการดูดน้ำของเรซินซีเมนต์(27) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อน และส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นภายในเรซินเมทริกซ์ เมื่อเข้าสู่สภาวะในกลุ่มเรซินคอมโพสิตในน้ำ น้ำซึ่งมีคุณสมบัติเป็นพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) จะแทรกซึมเข้าไปในตัววัสดุ ส่งผลให้สายพอลิเมอร์ในเรซินเมทริกซ์มีอิสระในการเคลื่อนตัวมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้จะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลบาง

ประการของวัสดุ เช่น ค่ามอดูลัส (modulus) และความสามารถในการไหลแผ่ (flow rate) เปลี่ยนแปลงไป เมื่อน้ำถูกดูดซึมเข้าไปในตัววัสดุจนกระทั่งปริมาตรของโมเลกุลน้ำมากกว่าช่องว่างที่มีอยู่ในตัววัสดุ น้ำจะดันให้สายพอลิเมอร์ในเรซินเมทริกซ์ขยับตัวออกห่างจากกันมากขึ้น ทำให้วัสดุมีการขยายตัวเชิงปริมาตร (volumetric expansion)(98) น้ำที่แทรกตัวอยู่นี้จะสามารถทำลายสายพอลิเมอร์ได้โดยการเกิดไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ที่บริเวณหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) ในไดเมทาคริเลทพอลิเมอร์(27, 35) จากนั้นพอลิเมอร์ที่ถูกทำลายรวมทั้งมอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาบ่มตัวหรือเกิดได้ไม่สมบูรณ์จะละลายและหลุดออกจากพื้นผิววัสดุ(96) ส่วนของสารอัดแทรกจะเผยผิ่มากขึ้น ทำให้วัสดุมีความหยาบพื้นผิวมากขึ้น

จากกระบวนการที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่า การที่พื้นผิวของวัสดุมีความหยาบเพิ่มขึ้นนั้น มีความเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการดูดน้ำของวัสดุในกลุ่มเรซินคอมโพสิต ดังนั้น น้ำลายเทียมซึ่งมีค่าความเป็นกรดเบสประมาณ 7.0 ก็น่าจะสามารถทำให้พื้นผิวเรซินซีเมนต์ซึ่งเป็นหนึ่งในวัสดุกลุ่มเรซินคอมโพสิตถูกทำลายภายหลังการแช่อย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถวัดผลได้ด้วยวิธีการวัดความหยาบพื้นผิวเช่นเดียวกัน ผลการวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับการทดลองของ Milleding และคณะ(99) ที่พบว่า เรซินซีเมนต์ซีเมนต์ที่ผ่านการแช่ในน้ำจะมีความแข็งผิวที่ลดลง และมีความหยาบพื้นผิวที่เพิ่มขึ้น

เป็นที่น่าสังเกตว่า ในช่วงแรกที่วัสดุกลุ่มเรซินคอมโพสิตเกิดการดูดน้ำนั้น น้ำซึ่งมีคุณสมบัติเป็นพลาสติกไซเซอร์จะทำให้วัสดุมีความนิ่มมากขึ้นก่อน ดังนั้น การสึกกร่อนจากการละลายในระยะนี้จึงสามารถตรวจวัดได้ด้วยการวัดความแข็งผิวที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งถือเป็นการวัดการสึกกร่อนจากการละลายในระยะเริ่มแรก

เนื่องจากวิธีการจำลองการตีเครื่องตีในการวิจัยนี้กำหนดให้เรซินซีเมนต์แช่อยู่ในน้ำลายเทียมสลับกับเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรด อีกทั้งในระหว่างรอบของการจำลองการตีเครื่องตีนั้น เรซินซีเมนต์จะแช่อยู่ในน้ำลายเทียม ความหยาบพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ภายหลังการจำลองการตีเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรดชนิดต่าง ๆ ที่เพิ่มขึ้นจึงอาจเป็นผลรวมระหว่างการทำลายพื้นผิวโดยเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรดและผลจากน้ำลายเทียม

ผลของชนิดของเครื่องตีต่อความหยาบพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ภายหลังการจำลองการตีเครื่องตีเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างกลุ่มการทดลอง

การวิจัยนี้พบว่า ค่าความหยาบพื้นผิวภายหลังการจำลองการตีเครื่องตีมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรดเบสของเครื่องตี ยิ่งเครื่องตีมีค่าความเป็นกรดเบสต่ำเท่าใด ก็ยิ่งส่งผลให้วัสดุมีความหยาบพื้นผิวเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น ลักษณะเช่นนี้เป็นผลมาจากการที่โปรตอน (H^+) ในเครื่องตีที่มี

ฤทธิ์เป็นกรดทำให้หมู่คาร์บอนิวในไดเมทาคริลเลทพอลิเมอร์มีประจุบวกและเกิดความไม่เสถียร ซึ่งจะ
 ทำให้น้ำในเครื่องตีสามารถทำลายสายพอลิเมอร์โดยการเกิดไฮโดรไลซิสได้ง่ายขึ้น(100) ยิ่ง
 เครื่องตีมีค่าความเป็นกรดเบสต่ำเท่าใด ก็ยิ่งทำให้จำนวนหมู่คาร์บอนิวในไดเมทาคริลเลทที่ไม่เสถียรมี
 มากขึ้นเท่านั้น เรซินซีเมนต์จึงมีการละลายออกและมีความหยาบพื้นผิวเพิ่มมากขึ้น

แม้การศึกษาส่วนหนึ่ง(27, 33, 101) จะเชื่อว่า ความสามารถในการเป็นบัพเฟอร์น่าจะเป็น
 ตัวชี้วัดที่บ่งบอกความสามารถในการกัดกร่อนของเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรดได้ดีกว่าค่าความเป็นกรด
 เบส เนื่องจากความสามารถในการเป็นบัพเฟอร์จะแสดงถึงปริมาณของกรดทั้งหมดที่มีอยู่ในเครื่องตี
 ทั้งนี้ เครื่องตีที่มีความสามารถในการเป็นบัพเฟอร์สูงจะสามารถรักษาความเป็นกรดของเครื่องตี
 รวมทั้งต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเบสจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับน้ำลายได้ยาวนานกว่า
 เครื่องตีที่มีความสามารถในการเป็นบัพเฟอร์ต่ำ จึงสามารถออกฤทธิ์กัดกร่อนได้ยาวนานกว่า(101)
 อย่างไรก็ตาม ผลจากการวิจัยนี้ขัดแย้งกับความเชื่อดังกล่าว เพราะน้ำส้มเขียวหวานทิโปโก้® ซึ่งมี
 คุณสมบัติการเป็นบัพเฟอร์ที่ดีกว่าลิปตันไอซ์ที® ทำให้พื้นผิวของเรซินซีเมนต์ทั้งสองชนิดมีความหยาบ
 พื้นผิวเพิ่มขึ้นได้น้อยกว่าลิปตันไอซ์ที® หรือแม้แต้ค็อก® เป็นอย่างมาก สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเป็น
 เพราะระยะเวลาที่ผิวหน้าของชิ้นงานเรซินซีเมนต์ในการวิจัยนี้สัมผัสกับเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรดแต่
 ละครั้งนั้นมีเพียง 5 วินาที ซึ่งในระยะเวลาที่สั้นเช่นนั้น ปัจจัยที่จะมีอิทธิพลต่อความสามารถของ
 เครื่องตีในการทำพื้นผิววัสดุมีความหยาบเพิ่มขึ้นน่าจะเป็นระดับความเป็นกรด (แสดงด้วยค่า
 ความเป็นกรดเบส) มากกว่าความสามารถในการรักษาความเป็นกรดของเครื่องตี (แสดงด้วยค่า
 ความสามารถในการเป็นบัพเฟอร์) สำหรับการตีเครื่องตีในชีวิตประจำวันโดยปกตินั้น เครื่องตีที่
 ตีแต่ละครั้งจะมีเวลาอยู่ในช่องปากก่อนกลืนไม่นานมากนัก ดังนั้น ค่าความเป็นกรดเบสของ
 เครื่องตีจึงน่าจะมีผลต่อความสามารถในการทำพื้นผิวและวัสดุทางทันตกรรมมีความหยาบพื้นผิว
 เปลี่ยนแปลงไปมากกว่าค่าความสามารถในการเป็นบัพเฟอร์ของเครื่องตีแต่ละชนิด

ผลของเรซินซีเมนต์ต่างผลิตภัณฑ์ต่อความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความ หยาบพื้นผิวจากเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรด

แม้ผลจากการวิจัยนี้จะแสดงให้เห็นว่าชนิดของเรซินซีเมนต์ไม่ใช่ปัจจัยที่มีผลต่อ
 ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความหยาบพื้นผิวจากเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรด แต่
 Han และคณะ(96) ก็ได้รายงานผลการวิจัยซึ่งเป็นการวัดความหยาบพื้นผิวเช่นเดียวกับการวิจัยนี้ที่
 แตกต่างออกไป โดยพบว่า เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ที่ต่างผลิตภัณฑ์กันมีความสามารถในการ
 ต้านทานการเปลี่ยนแปลงความหยาบพื้นผิวจากเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรดและเครื่องตีที่มี
 แอลกอฮอล์เป็นส่วนผสมแตกต่างกัน การวิจัยดังกล่าวอธิบายผลที่เกิดขึ้นอ้างอิงตามปริมาณของสาร
 อัดแทรกที่แตกต่างกันในเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่แต่ละผลิตภัณฑ์ โดยพบว่า เรซินคอมโพสิตชนิด

ไหลแผ่นที่มีปริมาณสารอัดแทรกสูงจะมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความหยาบพื้นผิวจากเครื่องตีที่มีฤทธิ์กัดกร่อนดังกล่าวได้ดีกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่นที่มีปริมาณสารอัดแทรกต่ำ อย่างไรก็ตาม การที่ผลการวิจัยที่อ้างถึงความแตกต่างกับผลการวิจัยนี้ น่าจะเกิดจากความแตกต่างในเรื่องระยะเวลาและวิธีการจำลองการตีเครื่องตี การทดลองของ Han และคณะ (96) ใช้ระยะเวลาการศึกษา ตลอดจนระยะเวลาในการแช่ที่ยาวนานกว่า โดยแช่ชิ้นงานในเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือเครื่องตีที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนประกอบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 14 วัน ในขณะที่การวิจัยนี้ใช้วิธีการจำลองการตีเครื่องตีโดยเลียนแบบการตีเครื่องตีจริงและใช้ระยะเวลาเพียง 10 วัน ซึ่งทำให้ระยะเวลาที่เครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรดสัมผัสกับเรซินซีเมนต์นั้นน้อยกว่าการทดลองของ Han และคณะ(96) เป็นอย่างมาก อีกทั้งยังมีปัจจัยเรื่องการชะล้างความเป็นกรดของเครื่องตีออกจากผิวหน้าของชิ้นงานในขณะที่แช่สลับในน้ำลายเทียมเข้ามาเกี่ยวข้องอีกด้วย จากข้อสังเกตดังกล่าว จึงมีความเป็นไปได้ว่าการเพิ่มระยะเวลาการจำลองการตีเครื่องตีให้ยาวนานขึ้นอาจทำให้ปัจจัยเรื่องชนิดของเรซินซีเมนต์ส่งผลต่อความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความหยาบพื้นผิวได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

นอกจากการเพิ่มระยะเวลาการทดลองให้นานขึ้นแล้ว อีกแนวทางหนึ่งนี้อาจช่วยให้ตรวจพบผลของความแตกต่างดังกล่าวได้รวดเร็วยิ่งขึ้น คือ การเปลี่ยนวิธีการวัดการสึกกร่อนจากการละลายเป็นวิธีที่มีความไวในการตรวจพบการสึกกร่อนในระยะเริ่มแรกมากขึ้น การวัดความแข็งผิวที่เปลี่ยนแปลงไปอาจช่วยทำให้ผลของปัจจัยเรื่องเรซินซีเมนต์ซึ่งต่างผลิตภัณฑ์กันต่อความสามารถในการต้านทานการเกิดการสึกกร่อนจากการละลายภายใต้สภาวะการจำลองการตีเครื่องตีในการวิจัยนี้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ลักษณะของพื้นผิวเรซินซีเมนต์ในกลุ่มการทดลองต่าง ๆ เมื่อประเมินภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

การประเมินลักษณะพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและยืนยันผลของเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรดต่อการเปลี่ยนแปลงความหยาบพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ภาพตัวอย่างในกลุ่มการทดลองต่าง ๆ โดยรวมเป็นไปได้ในแนวทางเดียวกันกับค่าความหยาบพื้นผิวที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว เมื่อเปรียบเทียบระหว่างภาพก่อนและหลังการจำลองการตีเครื่องตีของเรซินซีเมนต์ทั้งสองผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการวิจัยจะพบว่า ภายหลังจากแช่เรซินซีเมนต์ในของเหลวต่าง ๆ ทั้งเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรดและน้ำลายเทียม สารอัดแทรกชนิดที่มีขนาดใหญ่จะสามารถเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งน่าจะเกิดจากการที่เรซินเมทริกซ์มีการละลาย ส่งผลให้ส่วนที่ปกคลุมอยู่บนผิวของสารอัดแทรกบางส่วนหลุดออก จึงสามารถมองเห็นสารอัดแทรกดังกล่าวภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดได้ชัดเจน

ยิ่งขึ้น นอกจากนั้นแล้ว การหลุดออกของสารอัดแทรกที่มีขนาดเล็กบางส่วนก็อาจสนับสนุนให้มองเห็นสารอัดแทรกที่มีขนาดใหญ่ได้ชัดเจนขึ้นด้วย ทั้งนี้ การที่ไม่เห็นลักษณะหลุมซึ่งอาจเป็นตำแหน่งที่มีหลุดออกของสารอัดแทรกโดยเฉพาะอย่างยิ่งชนิดที่มีขนาดเล็กชัดเจนเท่าภาพที่รายงานไว้ในการวิจัยของ Han และคณะ(96) น่าจะเป็นผลมาจากการที่สารอัดแทรกดังกล่าวมีขนาดเล็กกว่าสารอัดแทรกของเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ที่ใช้ในการวิจัยที่อ้างถึงมาก อีกทั้งผลของการขยายตัวเชิงปริมาตรภายหลังการคุดน้ำของวัสดุในกลุ่มเรซินคอมโพสิตซึ่งเป็นการขยายตัวในทุกมิติอาจช่วยบดบังลักษณะหลุมที่มีขนาดเล็กได้ดีกว่าหลุมขนาดใหญ่

ประเด็นหนึ่งที่ควรคำนึงถึง คือ ภาพลักษณะพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ก่อนการจำลองการตีมี เครื่องตีที่ได้จากการเตรียมชิ้นงานโดยนำไปเข้าเครื่องสั่นความถี่เหนือเสียงก่อนนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดอาจเป็นภาพซึ่งแสดงพื้นผิวชิ้นงานที่ขรุขระกว่าความเป็นจริง เนื่องจากเรซินเมทริกซ์ รวมทั้งสารอัดแทรกอาจละลายและหลุดออกในขณะที่สั่นดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตาม กระบวนการการทำความสะอาดชิ้นงานก่อนนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดนี้ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เนื่องจากจำเป็นต้องกำจัดสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่อาจเกาะบนผิวหน้าของวัสดุในขณะที่เตรียมชิ้นงานออก เพื่อให้เห็นลักษณะพื้นผิวที่ชัดเจนและป้องกันการวิเคราะห์ภาพผิดพลาด ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้พยายามลดผลเสียที่อาจเกิดขึ้นดังกล่าวโดยการเลือกใช้ความถี่เหนือเสียงที่มีความถี่ต่ำในการทำความสะอาดชิ้นงาน

สรุปผลการวิจัย

1. เครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรดต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัยนี้ ซึ่งได้แก่ โค้ก® น้ำส้มเชียวหวานทิปโก้® และลิปตันไอซ์ที® สามารถทำให้พื้นผิวของเรซินซีเมนต์มีความหยาบเพิ่มขึ้น
2. เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะชนิดของเครื่องตีที่ใช้ในการวิจัยนี้ พบว่า ความสามารถในการทำให้พื้นผิวของเรซินซีเมนต์มีความหยาบเพิ่มขึ้นขึ้นกับค่าความเป็นกรดเบสของเครื่องตี โดยโค้ก® ซึ่งมีค่าความเป็นกรดเบสต่ำที่สุดจะทำให้เรซินซีเมนต์มีความหยาบพื้นผิวเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือ ลิปตันไอซ์ที® สำหรับน้ำส้มเชียวหวานทิปโก้® และน้ำลายเทียมนั้น แม้จะทำให้พื้นผิวเรซินซีเมนต์มีความหยาบเพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการจำลองการตีมี เครื่องตี แต่การเพิ่มขึ้นดังกล่าวก็น้อยกว่าการเพิ่มขึ้นที่เกิดจากโค้ก® และลิปตันไอซ์ที®
3. เรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกันที่ใช้ในการวิจัยนี้มีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความหยาบพื้นผิวจากเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรดชนิดต่าง ๆ คือ โค้ก® ลิปตันไอซ์ที® และน้ำส้มเชียวหวานทิปโก้® ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากความเป็นกรดเบสของเครื่องตีที่มีปริมาตรมีผลต่อความหยาบพื้นผิวของเรซินซีเมนต์ซึ่งใช้ในงานทันตกรรมบูรณะ ดังนั้น ก่อนการพิจารณาเลือกบูรณะฟันในรูปแบบที่ต้องใช้เรซินซีเมนต์เพื่อยึดติดวัสดุบูรณะต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุบูรณะประเภทเซรามิกแก้วซึ่งมีระยะรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและฟันที่กว้าง จึงควรมีการซักประวัติเกี่ยวกับอุปนิสัยในการบริโภคของผู้ป่วยแต่ละรายอย่างละเอียดถี่ถ้วน รวมทั้งพิจารณาแนะนำและเน้นย้ำเกี่ยวกับผลเสียของเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรดที่มีทั้งต่อตัวฟันและวัสดุบูรณะต่าง ๆ ในช่องปากให้ผู้ป่วยตระหนักและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมกรรมการบริโภค นอกจากนั้นแล้วทันตแพทย์ควรเตรียมฟันด้วยเทคนิคต่าง ๆ ที่ช่วยให้รอยต่อระหว่างฟันและวัสดุบูรณะมีขนาดแคบที่สุด ไม่ว่าจะเป็นการเตรียมฟันให้มีชนิดของรอยต่อ (margin) ที่เหมาะสมกับวัสดุบูรณะที่เลือก การเตรียมฟันให้มีรอยต่อที่ชัดเจน หรือการพิมพ์ฟันให้ได้รอยพิมพ์ที่ชัดเจนถูกต้อง และแม่นยำ อีกทั้งทันตแพทย์ไม่ควรวางตำแหน่งรอยต่อระหว่างฟันและวัสดุบูรณะในบริเวณที่รับแรงบดเคี้ยว เนื่องจากแรงจากการบดเคี้ยวจะสนับสนุนการละลายตัวของเรซินซีเมนต์ให้รวดเร็วยิ่งขึ้น
2. เนื่องจากมีความเป็นไปได้ว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาการจำลองการตีเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรดให้ยาวนานขึ้นหรือเปลี่ยนวิธีการวัดผลการสึกกร่อนจากการละลายเป็นวิธีที่มีความไวในการตรวจมากขึ้น เรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันอาจจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความหยาบพื้นผิวจากเครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรดชนิดต่าง ๆ ของเรซินซีเมนต์ จึงควรมีการศึกษาในประเด็นดังกล่าวนี้เพิ่มเติม
3. แม้ผลการวิจัยในห้องปฏิบัติการจะสามารถบ่งบอกถึงแนวโน้มของผลที่เกิดขึ้นจริงในช่องปากได้ แต่การวิจัยดังกล่าวก็มีข้อจำกัดบางประการที่ทำให้มีความแตกต่างจากสภาวะจริงในทางคลินิก เช่น การจำลองแผ่นคราบน้ำลาย (pellicle) การบดเคี้ยว การไหลของน้ำลาย หรือแม้แต่พฤติกรรมกรรมการบริโภคของผู้ป่วยซึ่งอาจมีได้หลายรูปแบบ เป็นต้น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาในประเด็นดังกล่าวนี้เพิ่มเติมในทางคลินิกต่อไป

รายการอ้างอิง

- (1) Prakki, A., Cilli, R., Saad, J. O., and Rodrigues, J. R. Clinical evaluation of proximal contacts of Class II esthetic direct restorations. Quintessence Int 35 (Nov-Dec 2004): 785-789.
- (2) Eick, J. D., and Welch, F. H. Polymerization shrinkage of posterior composite resins and its possible influence on postoperative sensitivity. Quintessence Int 17 (Feb 1986): 103-111.
- (3) Eriksen, H. M., and Pears, G. In vitro caries related to marginal leakage around composite resin restorations. J Oral Rehabil 5 (Jan 1978): 15-20.
- (4) Prakki, A., et al. Effect of toothbrushing abrasion on weight and surface roughness of pH-cycled resin cements and indirect restorative materials. Quintessence Int 38 (Oct 2007): e544-554.
- (5) Guess, P. C., et al. All-ceramic systems: laboratory and clinical performance. Dent Clin North Am 55 (Apr 2011): 333-352, ix.
- (6) Conrad, H. J., Seong, W. J., and Pesun, I. J. Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a systematic review. J Prosthet Dent 98 (Nov 2007): 389-404.
- (7) Molin, M., and Karlsson, S. The fit of gold inlays and three ceramic inlay systems. A clinical and in vitro study. Acta Odontol Scand 51 (Aug 1993): 201-206.
- (8) Jacobs, M. S., and Windeler, A. S. An investigation of dental luting cement solubility as a function of the marginal gap. J Prosthet Dent 65 (Mar 1991): 436-442.
- (9) Dietschi, D., Maeder, M., Meyer, J. M., and Holz, J. In vitro resistance to fracture of porcelain inlays bonded to tooth. Quintessence Int 21 (Oct 1990): 823-831.
- (10) Manso, A. P., et al. Cements and adhesives for all-ceramic restorations. Dent Clin North Am 55 (Apr 2011): 311-332, ix.
- (11) Badra, V. V., Faraoni, J. J., Ramos, R. P., and Palma-Dibb, R. G. Influence of different beverages on the microhardness and surface roughness of resin composites. Oper Dent 30 (Mar-Apr 2005): 213-219.
- (12) Mei, L., Busscher, H. J., van der Mei, H. C., and Ren, Y. Influence of surface roughness on streptococcal adhesion forces to composite resins. Dent Mater 27 (Aug 2011): 770-778.
- (13) Aykent, F., et al. Effect of different finishing techniques for restorative materials on surface roughness and bacterial adhesion. J Prosthet Dent 103 (Apr 2010): 221-227.

- (14) Ikeda, M., Matin, K., Nikaido, T., Foxton, R. M., and Tagami, J. Effect of surface characteristics on adherence of *S. mutans* biofilms to indirect resin composites. Dent Mater J 26 (Nov 2007): 915-923.
- (15) Al-Marzok, M. I., and Al-Azzawi, H. J. The effect of the surface roughness of porcelain on the adhesion of oral *Streptococcus mutans*. J Contemp Dent Pract 10 (Jun 2009): E017-024.
- (16) Yip, H. K., To, W. M., and Smales, R. J. Effects of artificial saliva and APF gel on the surface roughness of newer glass ionomer cements. Oper Dent 29 (Nov-Dec 2004): 661-668.
- (17) Beyth, N., Bahir, R., Matalon, S., Domb, A. J., and Weiss, E. I. *Streptococcus mutans* biofilm changes surface-topography of resin composites. Dent Mater 24 (Jun 2008): 732-736.
- (18) Bollen, C. M., Lambrechts, P., and Quirynen, M. Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: a review of the literature. Dent Mater 13 (Jul 1997): 258-269.
- (19) Finer, Y., and Santerre, J. P. Salivary esterase activity and its association with the biodegradation of dental composites. J Dent Res 83 (Jan 2004): 22-26.
- (20) Quirynen, M., and Bollen, C. M. The influence of surface roughness and surface-free energy on supra- and subgingival plaque formation in man. A review of the literature. J Clin Periodontol 22 (Jan 1995): 1-14.
- (21) van Dijken, J. W., and Sjostrom, S. The effect of glass ionomer cement and composite resin fillings on marginal gingiva. J Clin Periodontol 18 (Mar 1991): 200-203.
- (22) Imazato, S., et al. Antibacterial activity of bactericide-immobilized filler for resin-based restoratives. Biomaterials 24 (Sep 2003): 3605-3609.
- (23) Takahashi, Y., Imazato, S., Russell, R. R., Noiri, Y., and Ebisu, S. Influence of resin monomers on growth of oral streptococci. J Dent Res 83 (Apr 2004): 302-306.
- (24) Hansel, C., Leyhausen, G., Mai, U. E., and Geurtsen, W. Effects of various resin composite (co)monomers and extracts on two caries-associated micro-organisms in vitro. J Dent Res 77 (Jan 1998): 60-67.
- (25) Matalon, S., Slutzky, H., and Weiss, E. I. Surface antibacterial properties of packable resin composites: part I. Quintessence Int 35 (Mar 2004): 189-193.
- (26) Willems, G., Lambrechts, P., Braem, M., Vuylsteke-Wauters, M., and Vanherle, G. The surface roughness of enamel-to-enamel contact areas compared with the intrinsic roughness of dental resin composites. J Dent Res 70 (Sep 1991): 1299-1305.

- (27) Tanthanuch, S., Kedrak, P., and Kukiattrakoon, B. The effect of green and white tea on surface roughness of various resin composites. J Dent Assoc Thai 60 (Apr-Jun 2010): 136-146.
- (28) Turssi, C. P., Hara, A. T., Serra, M. C., and Rodrigues, A. L., Jr. Effect of storage media upon the surface micromorphology of resin-based restorative materials. J Oral Rehabil 29 (Sep 2002): 864-871.
- (29) Poggio, C., Dagna, A., Chiesa, M., Colombo, M., and Scribante, A. Surface roughness of flowable resin composites eroded by acidic and alcoholic drinks. J Conserv Dent 15 (Apr 2012): 137-140.
- (30) Yap, A. U., et al. Chemical degradation of composite restoratives. J Oral Rehabil 28 (Nov 2001): 1015-1021.
- (31) Mohamed-Tahir, M. A., Tan, H. Y., Woo, A. A., and Yap, A. U. Effects of pH on the microhardness of resin-based restorative materials. Oper Dent 30 (Sep-Oct 2005): 661-666.
- (32) Chadwick, R. G., McCabe, J. F., Walls, A. W., and Storer, R. The effect of storage media upon the surface microhardness and abrasion resistance of three composites. Dent Mater 6 (Apr 1990): 123-128.
- (33) Hengtrakool, C., Kukiattrakoon, B., and Kedjarune-Leggat, U. Effect of naturally acidic agents on microhardness and surface micromorphology of restorative materials. Eur J Dent 5 (Jan 2011): 89-100.
- (34) Wu, W., and McKinney, J. E. Influence of chemicals on wear of dental composites. J Dent Res 61 (Oct 1982): 1180-1183.
- (35) Wongkhantee, S., Patanapiradej, V., Maneenut, C., and Tantbiroj, D. Effect of acidic food and drinks on surface hardness of enamel, dentine, and tooth-coloured filling materials. J Dent 34 (Mar 2006): 214-220.
- (36) Rios, D., et al. In situ effect of an erosive challenge on different restorative materials and on enamel adjacent to these materials. J Dent 36 (Feb 2008): 152-157.
- (37) Aliping-McKenzie, M., Linden, R. W., and Nicholson, J. W. The effect of Coca-Cola and fruit juices on the surface hardness of glass-ionomers and 'compomers'. J Oral Rehabil 31 (Nov 2004): 1046-1052.
- (38) Tanthanuch, S., and Patanapiradej, V. Effect of Thai wine on surface roughness and corrosion of various tooth-coloured filling materials. J Dent Assoc Thai 52 (Apr-Jun 2009): 100-108.
- (39) Rosenstiel, S. F., Land, M. F., and Crispin, B. J. Dental luting agents: A review of the current literature. J Prosthet Dent 80 (Sep 1998): 280-301.

- (40) Anusavice, K. J. Phillips' science of dental materials. 11th. St. Louis: Elsevier, 2003.
- (41) Michelini, F. S., Belser, U. C., Scherrer, S. S., and De Rijk, W. G. Tensile bond strength of gold and porcelain inlays to extracted teeth using three cements. Int J Prosthodont 8 (Jul-Aug 1995): 324-331.
- (42) Peumans, M., Van Meerbeek, B., Lambrechts, P., and Vanherle, G. Porcelain veneers: a review of the literature. J Dent 28 (Mar 2000): 163-177.
- (43) O'Brien, W. J. Dental materials and their selection. 3rd. Canada: Quintessence, 2003.
- (44) McComb, D. Adhesive luting cements--classes, criteria, and usage. Compend Contin Educ Dent 17 (Aug 1996): 759-762, 764 passim; quiz 774.
- (45) Burke, F. J., and McCaughey, A. D. Resin luting materials: the current status. Dent Update 20 (Apr 1993): 109-110, 112-115.
- (46) ISO/FDIS 4049: Dentistry-Polymer-based filling, restoration and luting materials. Geneva: 2000.
- (47) Craig, R. G., and Powers, J. M. Restorative dental materials. 13th. St. Louis: Mosby, 2002.
- (48) Frazier, K. B., and Sarrett, D. C. Wear resistance of dual-cured resin luting agents. Am J Dent 8 (Aug 1995): 161-164.
- (49) Braga, R. R., Ballester, R. Y., and Carrilho, M. R. Pilot study on the early shear strength of porcelain-dentin bonding using dual-cure cements. J Prosthet Dent 81 (Mar 1999): 285-289.
- (50) Burke, F. J., Crisp, R. J., and Richter, B. A practice-based evaluation of the handling of a new self-adhesive universal resin luting material. Int Dent J 56 (Jun 2006): 142-146.
- (51) Radovic, I., Monticelli, F., Goracci, C., Vulicevic, Z. R., and Ferrari, M. Self-adhesive resin cements: a literature review. J Adhes Dent 10 (Aug 2008): 251-258.
- (52) Hikita, K., et al. Bonding effectiveness of adhesive luting agents to enamel and dentin. Dent Mater 23 (Jan 2007): 71-80.
- (53) De Munck, J., et al. Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. Dent Mater 20 (Dec 2004): 963-971.
- (54) Gerth, H. U., Dammaschke, T., Zuchner, H., and Schafer, E. Chemical analysis and bonding reaction of RelyX Unicem and Bifix composites--a comparative study. Dent Mater 22 (Oct 2006): 934-941.
- (55) Sulong, M. Z., and Aziz, R. A. Wear of materials used in dentistry: a review of the literature. J Prosthet Dent 63 (Mar 1990): 342-349.

- (56) Grippo, J. O., and Simring, M. Dental 'erosion' revisited. J Am Dent Assoc 126 (May 1995): 619-620, 623-624, 627-630.
- (57) Pinborg, J. J. Pathology of the dental hard tissue. Copenhagen: Munksgaard, 1970.
- (58) Imfeld, T. Dental erosion. Definition, classification and links. Eur J Oral Sci 104 (Apr 1996): 151-155.
- (59) Almeida e Silva, J., Baratieri, L. N., Araujo, E., and Widmer, N. Dental erosion: understanding this pervasive condition. J Esthet Restor Dent 23 (Apr 2011): 205-216.
- (60) Lussi, A., Schlueter, N., Rakhmatullina, E., and Ganss, C. Dental erosion--an overview with emphasis on chemical and histopathological aspects. Caries Res 45 Suppl 1 (Jun 2011): 2-12.
- (61) Lupi-Pegurier, L., Muller, M., Leforestier, E., Bertrand, M. F., and Bolla, M. In vitro action of Bordeaux red wine on the microhardness of human dental enamel. Arch Oral Biol 48 (Feb 2003): 141-145.
- (62) Barbour, M. E., and Rees, J. S. The laboratory assessment of enamel erosion: a review. J Dent 32 (Nov 2004): 591-602.
- (63) Nunn, J. H., Gordon, P. H., Morris, A. J., Pine, C. M., and Walker, A. Dental erosion -- changing prevalence? A review of British National childrens' surveys. Int J Paediatr Dent 13 (Mar 2003): 98-105.
- (64) Jaeggi, T., and Lussi, A. Prevalence, incidence and distribution of erosion. Monogr Oral Sci 20 (May 2006): 44-65.
- (65) Van't Spijker, A., et al. Prevalence of tooth wear in adults. Int J Prosthodont 22 (Jan-Feb 2009): 35-42.
- (66) Conry, J. P., Pintado, M. R., and Douglas, W. H. Quantitative changes in fissure sealant six months after placement. Pediatr Dent 12 (May-Jun 1990): 162-167.
- (67) Cvar, J. F., and Ryge, G. Criteria for the clinical evaluation of dental restorative materials. San Francisco (CA): US Public Health Service Publ. No. 790-244, USGPO, 1971.
- (68) Dowling, A. H., and Fleming, G. J. The impact of montmorillonite clay addition on the in vitro wear resistance of a glass-ionomer restorative. J Dent 35 (Apr 2007): 309-317.
- (69) Fagundes, T. C., et al. Clinical evaluation of two packable posterior composites: 2-year follow-up. Clin Oral Investig 10 (Sep 2006): 197-203.
- (70) Phonghanyudh, A., Chankanka, O., and Harnirattisai, C. Measurement of the wear of flowable composites in preventive resin restorations. Mahidol Dent J 22 (Jan 2002): 19-28.

- (71) Arends, J., and ten Bosch, J. J. Demineralization and remineralization evaluation techniques. J Dent Res 71 (Apr 1992): 924-928.
- (72) Marshall, G. W., Jr., Balooch, M., Gallagher, R. R., Gansky, S. A., and Marshall, S. J. Mechanical properties of the dentinoenamel junction: AFM studies of nanohardness, elastic modulus, and fracture. J Biomed Mater Res 54 (Jan 2001): 87-95.
- (73) Attin, T., Buchalla, W., Gollner, M., and Hellwig, E. Use of variable remineralization periods to improve the abrasion resistance of previously eroded enamel. Caries Res 34 (Jan-Feb 2000): 48-52.
- (74) Eisenburger, M., Hughes, J., West, N. X., Jandt, K. D., and Addy, M. Ultrasonication as a method to study enamel demineralisation during acid erosion. Caries Res 34 (Jul-Aug 2000): 289-294.
- (75) Barbour, M. E., Parker, D. M., Allen, G. C., and Jandt, K. D. Human enamel dissolution in citric acid as a function of pH in the range 2.30 < or = pH < or = 6.30--a nanoindentation study. Eur J Oral Sci 111 (Jun 2003): 258-262.
- (76) Meurman, J. H., and Frank, R. M. Progression and surface ultrastructure of in vitro caused erosive lesions in human and bovine enamel. Caries Res 25 (1991): 81-87.
- (77) Stenhagen, K. R., Hove, L. H., Holme, B., Taxt-Lamolle, S., and Tveit, A. B. Comparing different methods to assess erosive lesion depths and progression in vitro. Caries Res 44 (Nov 2010): 555-561.
- (78) Hara, A. T., and Zero, D. T. Analysis of the erosive potential of calcium-containing acidic beverages. Eur J Oral Sci 116 (Feb 2008): 60-65.
- (79) Jaeggi, T., and Lussi, A. Toothbrush abrasion of erosively altered enamel after intraoral exposure to saliva: an in situ study. Caries Res 33 (Nov-Dec 1999): 455-461.
- (80) Mahoney, E., Beattie, J., Swain, M., and Kilpatrick, N. Preliminary in vitro assessment of erosive potential using the ultra-micro-indentation system. Caries Res 37 (May-Jun 2003): 218-24.
- (81) Taylor Hobson. User's manual: Surface Finish Metrology. Iss 3. 2003.
- (82) DeLong, R., Pintado, M. R., Ko, C. C., Hodges, J. S., and Douglas, W. H. Factors influencing optical 3D scanning of vinyl polysiloxane impression materials. J Prosthodont 10 (Jun 2001): 78-85.
- (83) Peerapong Kupradit. Wear of glass ionomer cements after brushing. Master's Thesis, Department of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, 2008.

- (84) Dechapimukkul, W., Chongvisal, S., and Poolthong, S. Wear of domestic pit and fissure sealants after simulated brushing. J Dent Assoc Thai 59 (Jan 2009): 1-10.
- (85) Jager, D. H., Vieira, A. M., Ruben, J. L., and Huysmans, M. C. Influence of beverage composition on the results of erosive potential measurement by different measurement techniques. Caries Res 42 (Feb 2008): 98-104.
- (86) Chadwick, R. G., Mitchell, H. L., Cameron, I., Hunter, B., and Tulley, M. Development of a novel system for assessing tooth and restoration wear. J Dent 25 (Jan 1997): 41-47.
- (87) Chuenarrom, C., and Benjakul, P. Comparison between a profilometer and a measuring microscope for measurement of enamel erosion. J Oral Sci 50 (Dec 2008): 475-479.
- (88) Rugg-Gunn, A. J., Maguire, A., Gordon, P. H., McCabe, J. F., and Stephenson, G. Comparison of erosion of dental enamel by four drinks using an intra-oral appliance. Caries Res 32 (1998): 337-343.
- (89) Taylor Hobson. Talyscan 150 [Online]. Available from: http://www.hoskin.qc.ca/uploadpdf/Instrumentation/Taylor%20Hobson/hoskin_TSCAN150_44ad086f7458b.pdf [2014,Mar 31]
- (90) ISO 4288:1996. Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Rules and procedures for the assessment of surface texture. Geneva: 1996.
- (91) Anderson, P., Levinkind, M., and Elliot, J. C. Scanning microradiographic studies of rates of in vitro demineralization in human and bovine dental enamel. Arch Oral Biol 43 (Aug 1998): 649-656.
- (92) Pretty, I. A., Edgar, W. M., and Higham, S. M. The validation of quantitative light-induced fluorescence to quantify acid erosion of human enamel. Arch Oral Biol 49 (Apr 2004): 285-294.
- (93) Pretty, I. A., Edgar, W. M., and Higham, S. M. The erosive potential of commercially available mouthrinses on enamel as measured by Quantitative Light-induced Fluorescence (QLF). J Dent 31 (Jul 2003): 313-319.
- (94) Hammadeh, M., and Rees, J. S. A comparison of the erosive susceptibility of cuspal and cervical enamel using an ultrasonic technique. J Oral Rehabil 30 (Feb 2003): 204-210.
- (95) Phelan, J., and Rees, J. The erosive potential of some herbal teas. J Dent 31 (May 2003): 241-246.

- (96) Han, L., Okamoto, A., Fukushima, M., and Okiji, T. Evaluation of flowable resin composite surfaces eroded by acidic and alcoholic drinks. Dent Mater J 27 (May 2008): 455-465.
- (97) Ortengren, U., Andersson, F., Elgh, U., Terselius, B., and Karlsson, S. Influence of pH and storage time on the sorption and solubility behaviour of three composite resin materials. J Dent 29 (Jan 2001): 35-41.
- (98) Darvell, B. W. Materials Science for Dentistry. 9th. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2009.
- (99) Milleding, P., Ahlgren, F., Wennerberg, A., Ortengren, U., and Karlsson, S. Microhardness and surface topography of a composite resin cement after water storage. Int J Prosthodont 11 (Jan-Feb 1998): 21-26.
- (100) Roberts, I., and Urey, H. C. The mechanisms of acid catalyzed ester hydrolysis, esterification and oxygen exchange of carboxylic acids. J Am Chem Soc 61 (Oct 1939): 2584-2587.
- (101) Edwards, M., Creanor, S. L., Foye, R. H., and Gilmour, W. H. Buffering capacities of soft drinks: the potential influence on dental erosion. J Oral Rehabil 26 (Dec 1999): 923-927.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก ก

การวิจัยนำร่องเพื่อคำนวณหาจำนวนเส้นโพรไฟล์ที่เหมาะสมสำหรับชิ้นงานแต่ละชิ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การคำนวณทางสถิติเพื่อหาจำนวนข้อมูลที่น้อยที่สุดเพื่อเป็นตัวแทนของประชากร

การคำนวณทางสถิติเพื่อหาจำนวนข้อมูลที่น้อยที่สุดเพื่อเป็นตัวแทนของประชากรที่สนใจสามารถคำนวณได้โดยใช้ Student's t-Test ซึ่งจะเป็นการกำหนดขอบเขตของค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (ΔM) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติใด ๆ โดยมีสูตรการคำนวณ คือ

$$\Delta M = \frac{ST(\text{confidence}, N)}{\sqrt{(N - 1)}}$$

เมื่อ	M	=	ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของประชากรซึ่งเป็นตัวแปรที่สนใจ (mean value of the parameter)
	ΔM	=	ขอบเขตของค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (estimated boundary)
	S	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดสำหรับตัวแปรที่สนใจ (standard deviation of the measurement)
	T(confidence, N)	=	ค่าสถิติ T ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการ ภายใต้องศาอิสระ (degree of freedom) เท่ากับ N - 1
	N	=	จำนวนข้อมูลที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้สำหรับการคำนวณเพื่อให้ ได้ค่าเฉลี่ยที่อยู่ภายในขอบเขตของค่าความผิดพลาดที่ยอมรับ ได้ในระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ต้องการ

ย้ายข้างสมการ แล้วหาร $\frac{\Delta M}{S}$ ด้วย $\frac{M}{M}$ จะได้

$$\frac{\frac{\Delta M}{M}}{\frac{S}{M}} = \frac{T(\text{confidence}, N)}{\sqrt{(N - 1)}}$$

กำหนดให้	$\frac{\Delta M}{M}$	=	สัดส่วนความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยที่ยอมรับได้ (relative uncertainty: RU)
	$\frac{S}{M}$	=	ความคลาดเคลื่อนภายในของชิ้นงาน (intra-surface variation: ISV)

ดังนั้น

$$\frac{RU}{ISV} = \frac{T(\text{confidence}, N)}{\sqrt{(N - 1)}}$$

ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95% จำนวนข้อมูลที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ (N) ที่ระดับค่า $\frac{RU}{ISV}$ ต่าง ๆ ส่วนหนึ่งเป็นดังนี้

ตารางที่ 11 จำนวนข้อมูลที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ (N) เมื่อ $\frac{RU}{ISV}$ มีค่าต่าง ๆ ส่วนหนึ่ง ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95% ($\alpha = 0.05$, 2 tails)

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T	12.706	4.3027	2.7764	2.7764	2.5706	2.4469	2.3646	2.3060	2.2622
$\frac{RU}{ISV}$	12.7060	3.0425	1.3882	1.3882	1.1496	0.9989	0.8937	0.8153	0.7541

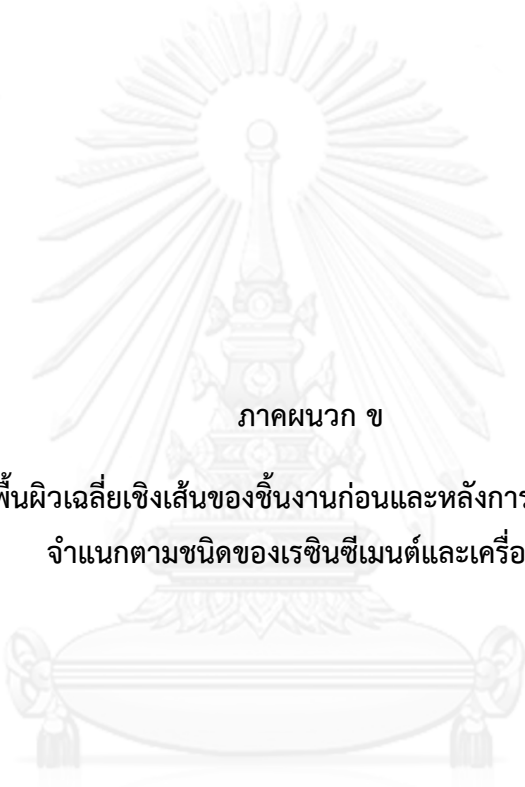
N	11	12	13	14	15	16	17	18	19
T	2.2281	2.2010	2.1788	2.1604	2.1448	2.1314	2.1199	2.1098	2.1009
$\frac{RU}{ISV}$	0.7046	0.6636	0.6290	0.5992	0.5732	0.5503	0.5300	0.5117	0.4952

การวิจัยนำร่อง

ผู้วิจัยสร้างชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 3 ชิ้น แล้ววัดความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยของชิ้นงานซึ่งมีพื้นที่ 4×1 ตร.มม. โดยกำหนดระยะห่างของเส้นที่วัดทั้งในแนวแกน X และ Y แต่ละเส้นเท่ากับ 5 ไมโครเมตร (การสร้างชิ้นงานและการวัดค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยมีวิธีการเช่นเดียวกับการวิจัยหลัก) จะได้จำนวนเส้นโปรไฟล์ต่อชิ้นงานเท่ากับ 201 เส้น ตัดเส้นโปรไฟล์ทุกเส้นในชิ้นงานแล้ววัดค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของโปรไฟล์แต่ละเส้น จากนั้นคำนวณค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวเชิงเส้นของชิ้นงาน (M) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) ของชิ้นงานแต่ละชิ้น ได้ค่าดังนี้

		Specimen		
		1	2	3
	M	0.01509	0.01551	0.01463
	S	0.00129	0.00139	0.00130
RU	ISV	0.08528	0.08984	0.08894
0.05 (± 5%)	$\frac{RU}{ISV}$	0.5863	0.5566	0.5622
	amount of line	15	16	16
0.10 (± 10%)	$\frac{RU}{ISV}$	1.1727	1.1131	1.1243
	amount of line	6	7	7
0.15 (± 15%)	$\frac{RU}{ISV}$	1.7590	1.6697	1.6865
	amount of line	5	5	5
0.20 (± 20%)	$\frac{RU}{ISV}$	2.3453	2.2262	2.2486
	amount of line	4	4	4

ดังนั้น จำนวนเส้นโพรไฟล์ที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยความหยابพื้นผิวเชิงเส้นของ
ชั้นงานแต่ละชั้นซึ่งมีความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยจริงไม่เกิน 5 % จึงเท่ากับ 16 เส้น



ภาคผนวก ข

ค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของชิ้นงานก่อนและหลังการจำลองการตีเครื่องตี
จำแนกตามชนิดของเรซินซีเมนต์และเครื่องตี


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กลุ่ม	เรซินซีเมนต์	เครื่องตีพิมพ์	ชั้นงาน	ความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้น (μm)	
				ก่อนการจำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์	หลังการจำลองการตีพิมพ์เครื่องตีพิมพ์
1	NX3 Nexus [®]	Coke [®]	1	0.01551	0.02063
			2	0.01481	0.02972
			3	0.01451	0.02707
			4	0.01488	0.02717
			5	0.01509	0.02027
			6	0.01597	0.03062
			7	0.01764	0.02717
			8	0.01561	0.03620
			9	0.01535	0.03273
			10	0.01586	0.03121
			11	0.02013	0.03181
			12	0.01737	0.02714
			13	0.01498	0.03550
				Mean (SD)	0.01598 (0.00156)
2	NX3 Nexus [®]	Tipco [®] Tangerine Juice	1	0.01793	0.02325
			2	0.01644	0.01767
			3	0.01598	0.01744
			4	0.01608	0.01785
			5	0.01729	0.01699
			6	0.01515	0.02012
			7	0.01646	0.01885
			8	0.01696	0.01829
			9	0.01608	0.01825
			10	0.01540	0.01723
			11	0.01475	0.01951
			12	0.01566	0.01796
			13	0.01546	0.01775
				Mean (SD)	0.01613 (0.00089)

กลุ่ม	เรซินซีเมนต์	เครื่องดื่ม	ชิ้นงาน	ความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้น (μm)	
				ก่อนการจำลองการดื่มเครื่องดื่ม	หลังการจำลองการดื่มเครื่องดื่ม
3	NX3 Nexus [®]	Lipton Ice Tea [®]	1	0.01574	0.02647
			2	0.01524	0.02494
			3	0.01450	0.02479
			4	0.01589	0.02646
			5	0.01491	0.02379
			6	0.01536	0.02815
			7	0.01605	0.03017
			8	0.01686	0.02697
			9	0.01596	0.02334
			10	0.01435	0.02359
			11	0.01655	0.02732
			12	0.01871	0.02720
			13	0.01521	0.02777
				Mean (SD)	0.01579 (0.00114)
4	NX3 Nexus [®]	Artificial Saliva (control)	1	0.01619	0.01818
			2	0.01433	0.01805
			3	0.01609	0.01733
			4	0.01872	0.02099
			5	0.01529	0.01763
			6	0.01807	0.02094
			7	0.01601	0.01732
			8	0.01667	0.01804
			9	0.01516	0.01670
			10	0.01500	0.01707
			11	0.01737	0.02017
			12	0.01659	0.01782
			13	0.01629	0.01864
				Mean (SD)	0.01629 (0.00124)

กลุ่ม	เรซินซีเมนต์	เครื่องดื่ม	ชิ้นงาน	ความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้น (μm)	
				ก่อนการจำลองการตีเครื่องตี	หลังการจำลองการตีเครื่องตี
5	Rely X Unicem 2 [®]	Coke [®]	1	0.01623	0.02920
			2	0.01612	0.02616
			3	0.01608	0.02328
			4	0.01559	0.02256
			5	0.01890	0.02751
			6	0.01724	0.02685
			7	0.01631	0.02644
			8	0.01867	0.03428
			9	0.01447	0.02713
			10	0.01651	0.02513
			11	0.01861	0.03281
			12	0.01429	0.02794
			13	0.01874	0.03844
				Mean (SD)	0.01675 (0.00158)
6	Rely X Unicem 2 [®]	Tipco [®] Tangerine Juice	1	0.01758	0.02018
			2	0.01678	0.01845
			3	0.01873	0.02100
			4	0.01643	0.01940
			5	0.01448	0.01601
			6	0.01416	0.01616
			7	0.01463	0.01668
			8	0.01681	0.02096
			9	0.01748	0.02085
			10	0.01893	0.02077
			11	0.01855	0.01858
			12	0.01451	0.01745
			13	0.01457	0.01677
				Mean (SD)	0.01643 (0.00178)

กลุ่ม	เรซินซีเมนต์	เครื่องดื่ม	ชิ้นงาน	ความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้น (μm)	
				ก่อนการจำลองการดื่มเครื่องดื่ม	หลังการจำลองการดื่มเครื่องดื่ม
7	Rely X Unicem 2 [®]	Lipton Ice Tea [®]	1	0.01612	0.02696
			2	0.01604	0.02402
			3	0.01521	0.02419
			4	0.01677	0.02553
			5	0.01502	0.02214
			6	0.01564	0.02473
			7	0.01557	0.02726
			8	0.01546	0.02518
			9	0.01717	0.02717
			10	0.01460	0.02499
			11	0.01914	0.02765
			12	0.01619	0.02486
			13	0.01819	0.02671
				Mean (SD)	0.01624 (0.00129)
8	Rely X Unicem 2 [®]	Artificial Saliva (control)	1	0.01454	0.01630
			2	0.01689	0.01857
			3	0.01667	0.01677
			4	0.01472	0.01699
			5	0.01494	0.01633
			6	0.01456	0.01713
			7	0.01417	0.01595
			8	0.01804	0.02019
			9	0.01570	0.01848
			10	0.01709	0.01767
			11	0.01479	0.01677
			12	0.01490	0.01659
			13	0.01696	0.01881
				Mean (SD)	0.01569 (0.00127)



ภาคผนวก ค

ค่าสถิติการทดสอบผลของเครื่องต้มที่มีฤทธิ์เป็นกรดและชนิดของเรซินซีเมนต์
ต่อความหยาบพื้นผิวของเรซินซีเมนต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Normal distribution test

NPar Tests

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

Cement	Beverage			Ra	Ra1		
NX3	Coke	N		13	13		
		Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.0159777	.0290185		
			Std. Deviation	.00156021	.00486547		
		Most Extreme Differences	Absolute	.271	.191		
			Positive	.271	.111		
			Negative	-.173	-.191		
		Kolmogorov-Smirnov Z		.978	.687		
		Asymp. Sig. (2-tailed)		.295	.733		
		Orange	Orange	N		13	13
				Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.0161262	.0185508
Std. Deviation	.00089323				.00166795		
Most Extreme Differences	Absolute			.136	.254		
	Positive			.136	.254		
	Negative			-.062	-.175		
Kolmogorov-Smirnov Z				.490	.917		
Asymp. Sig. (2-tailed)				.970	.369		
Lemon Tea	Lemon Tea			N		13	13
				Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.0157946	.0262277
		Std. Deviation	.00114359		.00202858		
		Most Extreme Differences	Absolute	.181	.161		
			Positive	.181	.122		
			Negative	-.103	-.161		
		Kolmogorov-Smirnov Z		.652	.580		
		Asymp. Sig. (2-tailed)		.789	.889		
		Saliva	Saliva	N		13	13
				Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.0162908	.0183754
Std. Deviation	.00123778				.00143010		
Most Extreme Differences	Absolute			.149	.247		
	Positive			.149	.247		
	Negative			-.103	-.126		
Kolmogorov-Smirnov Z				.537	.889		
Asymp. Sig. (2-tailed)				.935	.408		

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

Cement	Beverage			Ra	Ra1		
U200	Coke	N		13	13		
		Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.0167508	.0282869		
			Std. Deviation	.00157934	.00447390		
		Most Extreme Differences	Absolute	.188	.223		
			Positive	.176	.223		
			Negative	-.188	-.100		
		Kolmogorov-Smirnov Z		.678	.805		
		Asymp. Sig. (2-tailed)		.747	.536		
		Orange		N		13	13
				Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.0164338	.0187123
Std. Deviation	.00178109				.00193898		
Most Extreme Differences	Absolute			.229	.163		
	Positive			.229	.149		
	Negative			-.116	-.163		
Kolmogorov-Smirnov Z				.826	.589		
Asymp. Sig. (2-tailed)				.503	.878		
Lemon Tea				N		13	13
				Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.0162400	.0254915
		Std. Deviation	.00129330		.00159859		
		Most Extreme Differences	Absolute	.208	.162		
			Positive	.208	.116		
			Negative	-.102	-.162		
		Kolmogorov-Smirnov Z		.749	.583		
		Asymp. Sig. (2-tailed)		.629	.886		
		Saliva		N		13	13
				Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.0156900	.0174269
Std. Deviation	.00126962				.00124229		
Most Extreme Differences	Absolute			.261	.210		
	Positive			.261	.210		
	Negative			-.165	-.117		
Kolmogorov-Smirnov Z				.941	.757		
Asymp. Sig. (2-tailed)				.338	.616		

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Descriptive Statistics

Descriptives

Descriptive Statistics							
Cement	Beverage		N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
NX3	Coke	Ra	13	.01451	.02013	.0159777	.00156021
		Ra1	13	.02027	.03620	.0290185	.00486547
		Valid N (listwise)	13				
	Orange	Ra	13	.01475	.01793	.0161262	.00089323
		Ra1	13	.01699	.02325	.0185508	.00166795
		Valid N (listwise)	13				
	Lemon Tea	Ra	13	.01435	.01871	.0157946	.00114359
		Ra1	13	.02334	.03017	.0262277	.00202858
		Valid N (listwise)	13				
Saliva	Ra	13	.01433	.01872	.0162908	.00123778	
	Ra1	13	.01670	.02099	.0183754	.00143010	
	Valid N (listwise)	13					
U200	Coke	Ra	13	.01429	.01890	.0167508	.00157934
		Ra1	13	.02256	.03844	.0282869	.00447390
		Valid N (listwise)	13				
	Orange	Ra	13	.01416	.01893	.0164338	.00178109
		Ra1	13	.01601	.02100	.0187123	.00193898
		Valid N (listwise)	13				
	Lemon Tea	Ra	13	.01460	.01914	.0162400	.00129330
		Ra1	13	.02214	.02765	.0254915	.00159859
		Valid N (listwise)	13				
Saliva	Ra	13	.01417	.01804	.0156900	.00126962	
	Ra1	13	.01595	.02019	.0174269	.00124229	
	Valid N (listwise)	13					

Pair T-test

T-Test

Paired Samples Statistics

Cement	Beverage			Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
NX3	Coke	Pair 1	Ra1	.0290185	13	.00486547	.00134944
			Ra	.0159777	13	.00156021	.00043273
	Orange	Pair 1	Ra1	.0185508	13	.00166795	.00046261
			Ra	.0161262	13	.00089323	.00024774
	Lemon Tea	Pair 1	Ra1	.0262277	13	.00202858	.00056263
			Ra	.0157946	13	.00114359	.00031717
	Saliva	Pair 1	Ra1	.0183754	13	.00143010	.00039664
			Ra	.0162908	13	.00123778	.00034330
U200	Coke	Pair 1	Ra1	.0282869	13	.00447390	.00124084
			Ra	.0167508	13	.00157934	.00043803
	Orange	Pair 1	Ra1	.0187123	13	.00193898	.00053778
			Ra	.0164338	13	.00178109	.00049399
	Lemon Tea	Pair 1	Ra1	.0254915	13	.00159859	.00044337
			Ra	.0162400	13	.00129330	.00035870
	Saliva	Pair 1	Ra1	.0174269	13	.00124229	.00034455
			Ra	.0156900	13	.00126962	.00035213

Paired Samples Correlations

Cement	Beverage			N	Correlation	Sig.
NX3	Coke	Pair 1	Ra1 & Ra	13	.109	.722
			Orange	Pair 1	Ra1 & Ra	13
	Lemon Tea	Pair 1	Ra1 & Ra	13	.424	.149
	Saliva	Pair 1	Ra1 & Ra	13	.850	.000
U200	Coke	Pair 1	Ra1 & Ra	13	.633	.020
			Orange	Pair 1	Ra1 & Ra	13
	Lemon Tea	Pair 1	Ra1 & Ra	13	.650	.016
	Saliva	Pair 1	Ra1 & Ra	13	.830	.000

Paired Samples Test

Cement	Beverage			Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
				Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
							Lower	Upper			
NX3	Coke	Pair 1	Ra1 - Ra	.01304077	.00494448	.00137135	.01005285	.01602869	9.509	12	.000
	Orange	Pair 1	Ra1 - Ra	.00242462	.00163751	.00045416	.00143508	.00341415	5.339	12	.000
	Lemon Tea	Pair 1	Ra1 - Ra	.01043308	.00185937	.00051570	.00930947	.01155669	20.231	12	.000
	Saliva	Pair 1	Ra1 - Ra	.00208462	.00075461	.00020929	.00162861	.00254062	9.960	12	.000
U200	Coke	Pair 1	Ra1 - Ra	.01153615	.00368298	.00102147	.00931055	.01376176	11.294	12	.000
	Orange	Pair 1	Ra1 - Ra	.00227846	.00100115	.00027767	.00167347	.00288345	8.206	12	.000
	Lemon Tea	Pair 1	Ra1 - Ra	.00925154	.00124063	.00034409	.00850183	.01000124	26.887	12	.000
	Saliva	Pair 1	Ra1 - Ra	.00173692	.00073342	.00020341	.00129372	.00218012	8.539	12	.000

Baseline Ra

Oneway

Test of Homogeneity of Variances

Ra

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.493	7	96	.179

ANOVA

Ra

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	7	.000	.827	.567
Within Groups	.000	96	.000		
Total	.000	103			

Ra after treatment (Ra1)

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors			
		Value Label	N
Cement	1	NX3	52
	2	U200	52
Beverage	1	Coke	26
	2	Orange	26
	3	Lemon Tea	26
	4	Saliva	26

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable:Ra1

F	df1	df2	Sig.
5.618	7	96	.000

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Cement + Beverage + Cement * Beverage

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Ra1

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.002 ^a	7	.000	41.993	.000
Intercept	.054	1	.054	7125.849	.000
Cement	8.260E-6	1	8.260E-6	1.092	.299
Beverage	.002	3	.001	97.409	.000
Cement * Beverage	4.757E-6	3	1.586E-6	.210	.889
Error	.001	96	7.561E-6		
Total	.057	104			
Corrected Total	.003	103			

a. R Squared = .754 (Adjusted R Squared = .736)

One-way ANOVA: Beverage only

Oneway

Test of Homogeneity of Variances

Ra1

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
14.099	3	100	.000

ANOVA

Ra1

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.002	3	.001	99.680	.000
Within Groups	.001	100	.000		
Total	.003	103			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Ra1

Dunnnett T3

(I) Beverage	(J) Beverage	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Coke	Orange	.01002115*	.00096589	.000	.0073244	.0127179
	Lemon Tea	.00279308*	.00096978	.040	.0000876	.0054986
	Saliva	.01075154*	.00094189	.000	.0081073	.0133957
Orange	Coke	-.01002115*	.00096589	.000	-.0127179	-.0073244
	Lemon Tea	-.00722808*	.00049960	.000	-.0085938	-.0058624
	Saliva	.00073038	.00044303	.477	-.0004832	.0019440
Lemon Tea	Coke	-.00279308*	.00096978	.040	-.0054986	-.0000876
	Orange	.00722808*	.00049960	.000	.0058624	.0085938
	Saliva	.00795846*	.00045146	.000	.0067211	.0091958
Saliva	Coke	-.01075154*	.00094189	.000	-.0133957	-.0081073
	Orange	-.00073038	.00044303	.477	-.0019440	.0004832
	Lemon Tea	-.00795846*	.00045146	.000	-.0091958	-.0067211

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

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ทันตแพทย์พงศธร จินตกานนท์ เกิดเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน พ.ศ. 2526 ที่ กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาทันตแพทยศาสตรบัณฑิต เกียรตินิยมอันดับ 2 จากคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2550 เข้ารับราชการ ตำแหน่งทันตแพทย์ ที่ศูนย์อนามัยที่ 7 อุบลราชธานี กรมอนามัย ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2550 จนถึงปัจจุบัน

ปัจจุบันศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรม หัตถการ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY