การดูดซึมและการละลายของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วม
ที่บ่มตัวด้วยวิธีต่างกัน และแช่ในสารละลายต่างชนิด

นายจิรวัฒน์ เชิงบันลือศักดิ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SORPTION AND SOLUBILITY OF DUAL CURE SELF-ADHESIVE RESIN CEMENTS WITH DIFFERENT CURING MODES AND IMMERSION SOLUTIONS

Mr. Jirawat Choengbunluesak

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Prosthodontics
Department of Prosthodontics
Faculty of Dentistry
Chulalongkorn University
Academic Year 2015
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การดูดซึมและการละลายของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วมที่บ่มตัวด้วยวิธีต่างกัน และแช่ในสารละลายต่างชนิด
โดย	นายจิรวัฒน์ เชิงบันลือศักดิ์
สาขาวิชา	ทันตกรรมประดิษฐ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. นิยม ธำรงค์อนันต์สกุล

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.สุชิต พูลทอง)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.อรพินท์ โคมิน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. นิยม ธำรงค์อนันต์สกุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.ปรารมภ์ ซาลิมี)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.วัลลภัทน์ แสนทวีสุข)

จิรวัฒน์ เชิงบันลือศักดิ์ : การดูดซึมและการละลายของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วมที่บ่มตัวด้วยวิธีต่างกัน และแช่ในสารละลายต่างชนิด (SORPTION AND SOLUBILITY OF DUAL CURE SELF-ADHESIVE RESIN CEMENTS WITH DIFFERENT CURING MODES AND IMMERSION SOLUTIONS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ทพ. ดร. นิยม ธำรงค์อนันต์สกุล, 53 หน้า.

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาค่าการดูดซึมและการละลายของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วมสามชนิด ได้แก่ เคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์ รีไลเอ็กซ์ยู200 และแม็กเซมอีลีท ที่บ่มตัวด้วยวิธีต่างกันและแช่ในสารละลายต่างชนิด การเตรียมชิ้นงานใช้แม่แบบพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 15 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร เตรียมชิ้นงาน 60 ชิ้นจากซีเมนต์แต่ละชนิด โดยแบ่งซีเมนต์แต่ละชนิดเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มที่กระตุ้นด้วยแสง (บ่มร่วม) และกลุ่มที่ไม่ถูกกระตุ้นด้วยแสง (บ่มเอง) และในแต่ละกลุ่มจะถูกแบ่งออกเป็นสามกลุ่มย่อย กลุ่มละ 10 ชิ้น ซึ่งแต่ละกลุ่มจะถูกนำไปแช่ในสารละลายที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น สารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 20 และสารละลายกรดแลคติกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ การคำนวณค่าการดูดซึมและการละลาย ปฏิบัติตามมาตรฐาน ISO 4049: 2000(E) โดยการชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนและหลังการแช่สารละลายและหลังจากการดูดความชื้นจนแห้งสนิท ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณแบบ 3 ทาง และบอนเฟอร์โรนี พบว่าค่าเฉลี่ยการดูดซึมของซีเมนต์ทุกชนิดได้รับอิทธิพลจากปฏิสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างการบ่มตัวที่ต่างกันร่วมกับสารละลายที่ใช้แช่ต่างชนิด แต่ไม่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยการละลาย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มบ่มร่วมกับบ่มเองพบว่าค่าเฉลี่ยการดูดซึมในกลุ่มบ่มเองมีค่าสูงกว่ากลุ่มบ่มร่วมในทุกสารละลาย ส่วนค่าเฉลี่ยการละลายพบว่ากลุ่มบ่มเองมีค่าสูงกว่าบ่มร่วมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะกลุ่มที่แช่ในกรดแลคติก นอกจากนี้พบว่าแม็กเซมอีลีทมีค่าเฉลี่ยการดูดซึมและการละลายสูงกว่าซีเมนต์อีกสองชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง ค่าการดูดซึมและค่าการละลายสูงสุดคือแม็กเซมอีลีทที่บ่มเองและแช่ในเอทานอลและกรดแลคติก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57.7±1.97 และ 10.9±3.89 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนค่าการดูดซึมต่ำสุดคือเคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์ที่บ่มร่วมและแช่ในน้ำกลั่น และค่าการละลายต่ำสุดคือรีไลเอ็กซ์ยู200 ที่บ่มร่วมและแช่ในเอทานอล มีค่า 23.2±1.25 และ -6.13±0.30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ตามลำดับ

ภาควิชา ทันตกรรมประดิษฐ์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558

5675801732 : MAJOR PROSTHODONTICS
KEYWORDS: SORPTION / SOLUBILITY / SELF-ADHESIVE RESIN CEMENT / CURING MODES

JIRAWAT CHOENGBUNLUESAK: SORPTION AND SOLUBILITY OF DUAL CURE SELF-ADHESIVE RESIN CEMENTS WITH DIFFERENT CURING MODES AND IMMERSION SOLUTIONS. ADVISOR: ASST. PROF. DR. NIYOM THAMRONGANANSKUL, 53 pp.

This study evaluated the water sorption (SP) and solubility (SL) of three self-adhesive resin cements using different curing modes and different immersion media. Sixty disc-shaped specimens of each of the three dual-curing self-adhesive resin cements (Clearfil SA Cement, RelyX U200 and Maxcem Elite) were prepared in a 15-mm diameter, 1-mm thick plastic mold using two curing modes: dual curing and dark curing (n=30). Each group was divided into three subgroups (n=10) according to the three immersion media (distilled water, 20% ethanol, and 0.01M lactic acid). SP and SL values were calculated following ISO 4049: 2000 by weighing the specimens before and after immersion and subsequent desiccation. Three-way MANOVA and Bonferroni analysis indicated that SP and SL value of each cement were affected by cement brand, curing mode and immersion medium. There was an interaction between curing mode and immersion medium only for SP value. Dark-cured group showed significantly higher SP than dual-cured group in all immersion media while SL values, dark-cured group showed significantly higher SL than dual-cured group only when immersed in lactic acid. Maxcem Elite showed a higher mean SP and SL than those of the other cements in all groups. The highest SP and SL values were seen for the Maxcem Elite dark curing immersed in ethanol or lactic acid groups (57.7±1.97 μg/mm^3 and 10.9±3.89 μg/mm^3, respectively), and the lowest values for SP and SL were found for dual-cured Clearfil SA Cement immersed in distilled water group and RelyX U200 immersed in ethanol group (23.2±1.25 μg/mm^3 and -6.13±0.30 μg/mm^3, respectively).

Department: Prosthodontics Student's Signature .....
Field of Study: Prosthodontics Advisor's Signature .....
Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.นิยม ธำรงค์อนันต์สกุล ที่คอยให้คำแนะนำ ให้ความรู้และมุมมองความคิดทั้งงานคลินิกและงานวิจัย และดูแลเอาใจใส่ลูกศิษย์คนนี้เป็นอย่างดีตลอดมา

ขอขอบคุณสำนักงานบัณฑิตวิทยาลัย คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการศึกษาครั้งนี้ ขอบคุณบริษัท แอ๊คเตออน (ประเทศไทย) จำกัด ที่สนับสนุนวัสดุ เคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์ โดยไม่คิดมูลค่า บริษัท 3เอ็ม ประเทศไทย จำกัดและ บริษัท เอสดีเอส เคอร์ จำกัด ที่มอบส่วนลดวัสดุที่ใช้ในการศึกษานี้

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก “ทุน 90 ปีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช” จึงขอขอบคุณไว้ ณ ทีนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจในการศึกษาครั้งนี้ตลอดจนเพื่อนร่วมหลักสูตรที่ช่วยเหลือและให้คำปรึกษากันมาโดยตลอด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูปภาพ ..... ญ
บทที่ 1 1
บทนำ 1
ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย 1
คำถามวิจัย 3
วัตถุประสงค์การวิจัย 3
สมมติฐานการวิจัย 3
กรอบแนวคิดวิจัย 3
คำสำคัญ 3
รูปแบบการวิจัย 4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
บทที่ 2 5
ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 5
เรซินซีเมนต์ 5
การตอบสนองของพอลิเมอร์ต่อน้ำและสารละลาย 8
การศึกษาผลของการบ่มตัวแบบต่างๆ 12
การศึกษาการดูดซึมและการละลายของซีเมนต์ 13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

บทที่ 3 16
วัสดุและวิธีการทดลอง 16
เครื่องมือ 16
วัสดุและอุปกรณ์ 16
การแบ่งกลุ่มการทดลอง 17
การเตรียมชิ้นงาน 18
การวัดค่าการดูดซึมและการละลาย 26
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 27
ประเด็นที่เกี่ยวข้องกับจริยธรรม 27
บทที่ 3 28
ผลการทดลอง 28
บทที่ 4 34
วิจารณ์ผลการทดลอง 34
บทที่ 5 39
สรุปผลการวิจัย 39
รายการอ้างอิง 40
ภาคผนวก 44
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 53

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ 9
ตารางที่ 2 แสดงกลุ่มการทดลองและจำนวนชิ้นงาน..... 23
ตารางที่ 3 แสดงตารางที่ใช้บันทึกค่าการดูดซึม 26
ตารางที่ 4 แสดงตารางที่ใช้บันทึกค่าการละลาย..... 27
ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการดูดซึมของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ .. 30
ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการละลายของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซิน
ซีเมนต์..... 32

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1 กราฟแสดงระดับการเกิดพอลิเมอร์ของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วม เมื่อกระตุ้นด้วยแสงและไม่กระตุ้นด้วยแสง[19)] 12

รูปที่ 2 แสดงเรซินซีเมนต์ชนิดเซลฟ์แอดฮีซีฟ 3 ยี่ห้อที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ 1) เคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์ 2) รีไลเอ็กซ์ยู200 3) แม็กเซมอีลีท 17

รูปที่ 3 แสดงการแบ่งกลุ่มการทดลอง 18

รูปที่ 4 แสดงแบบพลาสติกที่ใส่เส้นเอ็นพลาสติกและยึดด้วยขี้ผึ้งเรียบร้อย 18

รูปที่ 5 แสดงการผสมซีเมนต์ 19

รูปที่ 6 แสดงการเตรียมซีเมนต์ 19

รูปที่ 7 แสดงการกดด้วยแท่งกด น้ำหนัก 1 กิโลกรัมเพื่อกำจัดซีเมนต์ส่วนเกิน 19

รูปที่ 8 แสดงกล่องพลาสติกสีอำพันเพื่อป้องกันแสงที่ใช้เตรียมและชั่งชิ้นงาน 20

รูปที่ 9 แสดงแผนผังการกระตุ้นด้วยแสงลักษณะ 9 วงซ้อนทับกัน 20

รูปที่ 10 แสดงการฉายแสงชิ้นงานรอบแท่งกดน้ำหนัก 21

รูปที่ 11 แสดงการฉายแสงตรงกลางชิ้นงาน 21

รูปที่ 12 แสดงการตัดแต่งชิ้นงาน 21

รูปที่ 13 แสดงชิ้นงานที่เตรียมเสร็จแล้ว 21

รูปที่ 14 แสดงโถดูดความชื้นสีชา 22

รูปที่ 15 แสดงการชั่งน้ำหนักชิ้นงาน 22

รูปที่ 16 แสดงลักษณะลวดโลหะไร้สนิมที่ใช้แขวนชิ้นงานขณะแช่ 23

รูปที่ 17 แสดงการแช่ชิ้นงานในภาชนะใส 24

รูปที่ 18 แสดงการแช่ชิ้นงานในภาชนะใส สีอำพันป้องกันแสง 24

รูปที่ 19 แสดงตู้ควบคุมอุณหภูมิ 24

รูปที่ 20 แสดงการล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น 25

รูปที่ 21 แสดงการซับน้ำด้วยกระดาษ ที่ไม่เป็นขุย 25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 22 แสดงชิ้นงานที่ซับน้ำเรียบร้อยแล้ว 25
รูปที่ 23 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการดูดซึม (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร) ของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ 31
รูปที่ 24 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการละลาย (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร) ของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ 33
รูปที่ 25 กราฟแสดงน้ำหนักของชิ้นงานกลุ่มที่มีค่าการละลายเป็นลบเมื่อทำทีจีเอ 37

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน วัสดุที่ใช้ยึดชิ้นงานบูรณะฟันชนิดติดแน่น มีการพัฒนาตามลำดับ เริ่มต้นจากกลุ่มซีเมนต์ดั้งเดิม เช่น ซิงก์ฟอสเฟตซีเมนต์ ซิงก์พอลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์ กลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ จนพัฒนามาเป็นเรซินซีเมนต์ ที่นิยมใช้แพร่หลายในปัจจุบัน เรซินซีเมนต์ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในงานทันตกรรมประดิษฐ์และทันตกรรมบูรณะ เรซินซีเมนต์มีสมบัติที่ดีกว่าซีเมนต์แบบดั้งเดิมในหลายด้าน ทั้งสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ การยึดติดกับเคลือบฟันและเนื้อฟัน การละลายตัวต่ำและให้ความสวยงามมากกว่าซีเมนต์ดั้งเดิม การที่วัสดุสามารถยึดติดกับเคลือบฟันและเนื้อฟันได้ นอกจากจะให้แรงยึดอยู่ที่สูงกว่าแล้ว ยังทำให้ได้ขอบของชิ้นงานที่ผนึกแน่นและลดการรั่วซึมอีกด้วย เรซินซีเมนต์จึงช่วยลดปัญหาความล้มเหลวของงานบูรณะได้ดี[1)]

เรซินซีเมนต์นั้นสามารถแบ่งเป็นกลุ่มได้หลายประเภท เช่น แบ่งตามการปรับสภาพผิวฟัน หรือแบ่งตามการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ หากแบ่งตามการปรับสภาพผิวฟัน เรซินซีเมนต์เริ่มแรกมีการใช้งานเป็นระบบโททอลเอทช์ (total-etch) หรือเอทช์แอนด์รินส์ (etch and rinse) คือต้องมีการใช้กรดปรับสภาพผิวฟัน ล้างออกด้วยน้ำ เป่าลม แล้วทาสารยึดติด (bonding) ซึ่งระบบนี้ทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้จากการที่มีหลายขั้นตอน จากนั้นมีการพัฒนาเป็นระบบเซลฟ์เอทช์ (self-etch) คือการใช้สารปรับสภาพฟันที่มีความเป็นกรดทาก่อน แล้วทาสารยึดติดโดยไม่ต้องล้างออกด้วยน้ำ ซึ่งช่วยลดขั้นตอนและเพิ่มความสะดวกในการใช้งานได้ระดับหนึ่ง ล่าสุดได้มีการพัฒนาเรซินซีเมนต์ชนิดที่เรียกว่า “เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์” (self-adhesive resin cement) คือเรซินซีเมนต์จะทำหน้าที่ในการปรับสภาพผิวฟันและเป็นตัวยึดชิ้นงานในขั้นตอนเดียว โดยไม่จำเป็นต้องปรับสภาพผิวฟันและทาสารยึดติดก่อนการยึดชิ้นงาน ซึ่งการพัฒนาเหล่านี้เพื่อลดขั้นตอน ลดเวลาการทำงาน และลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากขั้นตอนการปรับสภาพฟันและการทาสารยึดติดของซีเมนต์ระบบเดิม[2)]

เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ เริ่มเป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้น ด้วยความสะดวกในการใช้งานและแรงยึดติดที่มีค่าที่ยอมรับได้ เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ที่มีจำหน่ายทั้งหมดเป็นระบบบ่มร่วม (dual curing) และอยู่ในรูปแบบของเพสต์สองส่วนแยกกัน ซึ่งต้องผสมกันก่อนใช้ ซีเมนต์ชนิดนี้มีส่วนผสมสำคัญคือฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ที่เป็นกรด (acidic functional monomer) และมีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) โดยฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ที่เป็นกรดที่ถูกพัฒนาขึ้นนั้นเป็นกลุ่มของฟอสเฟต

และฟอสโฟเนต (phosphate and phosphonates groups) ซึ่งสามารถละลายแร่ธาตุพร้อมทั้งสามารถแทรกซึมเข้าไปในชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟัน มีผลทำให้เกิดการเชื่อมยึดที่แข็งแรงระหว่างเรซินซีเมนต์กับโครงสร้างของฟันโดยกลไกการยึดติดเชิงกล[3] นอกจากนี้การที่มอนอเมอร์มีกลุ่มฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบนั้นมีความเชื่อว่ากลุ่มฟอสเฟตสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออน (calcium ion) ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite) ในโครงสร้างฟัน ทำให้เกิดการเชื่อมยึดเชิงเคมีซึ่งช่วยเพิ่มแรงยึดติดได้

สมบัติที่ดีของเรซินซีเมนต์คือการที่ให้การยึดอยู่ที่ดีกว่าซีเมนต์แบบดั้งเดิม นอกจากนี้สมบัติที่ต้องการจากซีเมนต์ที่ใช้ยึดชิ้นงานคือความทนทานและใช้งานได้ยาวนาน การดูดซึม (sorption) และการละลาย (solubility) เป็นสมบัติหนึ่งที่ใช้บ่งบอกความทนทานของเรซินซีเมนต์[4] เนื่องจากพบว่าการที่วัสดุที่ใช้ยึดชิ้นงานในช่องปากนั้นต้องสัมผัสกับของเหลวภายในปากอยู่ตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นน้ำลาย อาหาร หรือสภาวะกรด-ด่างต่าง ๆ Malacarne และคณะ[5] ในปี 2006 พบว่าการดูดซึมและการละลายตัวของเรซิน จะทำให้เกิดกระบวนการทางเคมีและทางทางกายภาพซึ่งมีผลต่อโครงสร้างและหน้าที่ของพอลิเมอร์ เพิ่มโอกาสการสลายตัว (degradation) ของซีเมนต์และสลายการเชื่อมยึด (debonding) ของฟันกับชิ้นงานบูรณะ ซึ่งมีความเสี่ยงที่จะเกิดการผุของเนื้อฟันอีกด้วย[6] เนื่องจากเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์มีส่วนผสมของมอนอเมอร์ที่มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic monomer) เพื่อทำให้มีความเข้ากันกับผิวฟันที่มีความชื้นได้ดี สามารถเข้าละลายแร่ธาตุและแทรกซึมในเนื้อฟัน ซีเมนต์ชนิดนี้จึงมีแนวโน้มในการดูดน้ำสูงจากการมีมอนอเมอร์ที่มีสมบัติชอบน้ำและการที่ต้องการน้ำบางส่วนในการเกิดปฏิกิริยาเคมี[7]

การใช้งานของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ ตามที่ผู้ผลิตแนะนำ สามารถใช้ยึดครอบฟัน สะพานฟัน เดือยฟัน ทั้งที่ทำจากพอร์ซเลน เรซิน และโลหะ เนื่องจากเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์นี้เป็นซีเมนต์ชนิดบ่มร่วม (dual-curing) จึงเป็นที่น่าสนใจว่าในบริเวณที่แสงเข้าถึงได้น้อยหรือแสงไม่สามารถเข้าถึงได้ เช่นบริเวณซอกฟัน ภายในครอบโลหะหรือพอซ์เลนที่ทึบแสงนั้น การบ่มตัวของซีเมนต์จะมีความแตกต่างเพียงใด ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ที่เพียงพอของเรซินซีเมนต์มีผลสำคัญต่อความคงตัวและความเข้ากันได้กับร่างกาย (compatibility) ของชิ้นงานบูรณะ[8, 9] และเนื่องจากสภาวะในช่องปาก นอกจากน้ำและน้ำลายยังมีอาหาร เครื่องดื่ม หรือสารเคมีต่าง ๆ เช่น แอลกอฮอล์และกรดที่ถูกสร้างจากคราบจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นที่น่าสนใจว่าสิ่งเหล่านี้จะมีผลต่อการดูดซึมและการละลายของเซลฟ์แอดฮีซีฟ เรซินซีเมนต์หรือไม่

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของปัญหางานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการดูดซึมและการละลายของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วมที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงและไม่ถูกกระตุ้นด้วยแสง ในสารละลายชนิดต่าง ๆ

คำถามวิจัย

การดูดซึมและการละลายของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ที่บ่มด้วยวิธีที่ต่างกันและที่แช่ในสารละลายต่างชนิด มีค่าแตกต่างกันหรือไม่

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาการดูดซึมและการละลายของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ที่บ่มด้วยวิธีที่ต่างกันและที่แช่ในสารละลายต่างชนิด

สมมติฐานการวิจัย

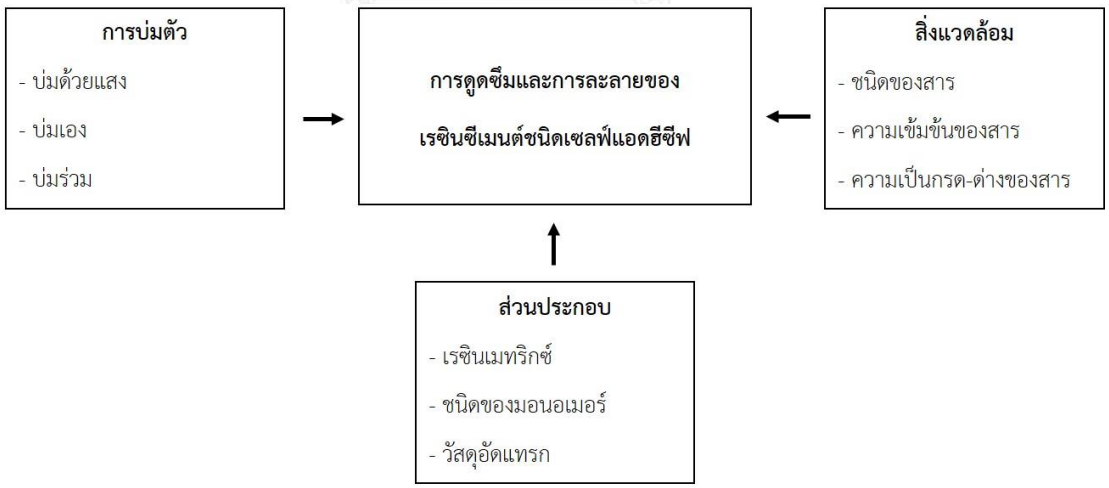
H_0: เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ที่บ่มตัวด้วยวิธีที่ต่างกัน มีค่าการดูดซึมและการละลายไม่แตกต่างกัน

H_1: เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ที่บ่มตัวด้วยวิธีที่ต่างกัน มีค่าการดูดซึมและการละลายแตกต่างกัน

H_0: เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ที่แช่ในสารละลายต่างชนิด มีค่าการดูดซึมและการละลายไม่แตกต่างกัน

H_1: เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ที่แช่ในสารละลายต่างชนิด มีค่าการดูดซึมและการละลายแตกต่างกัน

กรอบแนวคิดวิจัย



คำสำคัญ

Sorption

Solubility

Curing mode

Self-adhesive resin cement

รูปแบบการวิจัย

วิจัยเชิงทดลอง (experimental research)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสภาวะที่มีผลกระทบต่อความทนทานของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางคลินิกได้

2. สามารถใช้เป็นแนวทางและข้อมูลในการตัดสินใจเลือกใช้เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วม ในการยึดชิ้นงานบูรณะได้อย่างเหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าการดูดซึมและการละลายที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นค่าหนึ่งที่สำคัญในการบ่งชี้ความทนทานของวัสดุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เรซินซีเมนต์

เรซินซีเมนต์เริ่มมีการใช้ครั้งแรกเมื่อทศวรรษที่ 1950 ซึ่งเป็นเรซินที่ไม่ใส่วัสดุอัดแทรก (filler) แต่ซีเมนต์ชนิดนี้ไม่ประสบความสำเร็จและไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากมีการหดตัวมากขณะเกิดพอลิเมอร์ (polymerization shrinkage) และมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) ต่ำ ถึงแม้ว่าจะมีการละลายตัวที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมก็ตาม ต่อมาได้มีการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุเรซินซีเมนต์ ทั้งสมบัติทางกลและทางกายภาพ ซึ่งช่วยให้มีแรงยึดที่สูง ลดการรั่วซึมตามขอบ และลดการเกิดอาการเสียวฟันภายหลังการบูรณะได้ดี ทำให้เรซินซีเมนต์ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น[10)]

สมบัติที่พึงประสงค์ของซีเมนต์ คือต้องสามารถต้านทานต่อการถูกละลายเมื่ออยู่ในสภาวะช่องปากได้ดี เนื่องจากซีเมนต์ที่ใช้ยึดชิ้นงานไม่สามารถหลีกเลี่ยงการสัมผัสต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณขอบของชิ้นงานบูรณะได้ ทั้งยังต้องให้แรงยึดอยู่ที่ดีผ่านกลไกการยึดติดเชิงกล มีความแข็งแรงดึง (tensile strength) ความแข็งแรงเฉือน (shear strength) ความแข็งแรงอัด (compressive strength) และความแข็งแกร่ง (fracture toughness) ที่มากเพียงพอ เพื่อต้านทานความเค้น (stress) ที่เกิดขึ้นบริเวณผิวระหว่างชิ้นงานบูรณะและโครงสร้างฟันได้ นอกจากนี้ยังต้องมีสมบัติการใช้งานที่ดี นั่นคือ มีเวลาทำงาน (working time) และเวลาก่อตัว (setting time) ที่เหมาะสม การกระจายตัวของส่วนประกอบที่ทั่วถึงเพื่อลดความผิดพลาดจากการผสมเมื่อใช้งานจริง และอีกส่วนสำคัญคือความเข้ากันได้ทางชีวภาพและไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีซีเมนต์ชนิดใดชนิดหนึ่งที่เป็นซีเมนต์ในอุดมคติและสามารถใช้งานกับชิ้นงานบูรณะได้ทุกกรณี ดังนั้นทันตแพทย์จึงต้องพิจารณาถึงข้อดีและข้อจำกัดของซีเมนต์แต่ละชนิด เพื่อสามารถเลือกและใช้ซีเมนต์ชนิดนั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสม[11, 12)]

เรซินซีเมนต์สามารถแบ่งตามส่วนประกอบได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ คือ อะคริลิกซีเมนต์ (acrylic cement) และไดเมทาคริเลตซีเมนต์ (dimethacrylate cement) โดยอะคริลิกซีเมนต์มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็น เมทิลเมทาคริเลต (methyl methacrylate) มักอยู่ในรูปส่วนผงกับส่วนเหลว โดยส่วนผงประกอบด้วยพอลิเมอร์ของเมทิลเมทาคริเลตหรือโคพอลิเมอร์ และมีเบนโซอิลเปอร์-ออกไซด์ (benzoyl peroxide) เป็นสารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) นอกจากนี้อาจมีวัสดุอัดแทรกและ

สารสี (pigment) ผสมอยู่ด้วย โดยส่วนเหลวจะเป็นมอนอเมอร์ของเมทิลเมทาคริเลต และมีเอมีน-ตติยภูมิ (tertiary amine) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerator)[11] ปัจจุบันซีเมนต์กลุ่มนี้มีการเติมสารโฟร์เมทาคริลอกซีเอทิลไตรเมลิเทตแอนไฮไดรด์ (4-methacryloxy-ethyl trimellitate anhydride, 4-META) ซึ่งสามารถเกิดพันธะเคมีกับองค์ประกอบของฟันทำให้สามารถเพิ่มแรงการยึดอยู่ให้มากขึ้น การบ่มตัวของอะคริลิกซีเมนต์จะเป็นแบบบ่มเอง (self-curing) เท่านั้น[10]

ไดเมทาคริเลตซีเมนต์มีส่วนประกอบหลักใกล้เคียงกับวัสดุบูรณะฟันชนิดเรซินคอมโพสิต คือ ประกอบด้วยส่วนเรซินเมทริกซ์ วัสดุอัดแทรกและสารคู่ควบ โดยมอนอเมอร์หลักที่ใช้คือ บิสจีเอ็มเอ (bisphenol A glycidyl methacrylate, BisGMA) และอาจเพิ่มมอนอเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น ทีอีจีดีเอ็มเอ (triethylene glycol dimethacrylate, TEGDMA) เพื่อลดความหนืด ส่วนวัสดุอัดแทรกที่ใช้ อาจเป็นได้ทั้งซิลิกาคอลลอยด์ แก้วแบเรียม และแก้วเซอร์โคเนีย ซึ่งการเลือกใช้วัสดุอัดแทรกต่างชนิดกัน และปริมาณวัสดุอัดแทรกที่ใช้ ก็ทำให้สมบัติทั้งทางกลและทางกายภาพของวัสดุที่ได้แตกต่างกัน ซีเมนต์กลุ่มนี้มีทั้งแบบบ่มด้วยแสง (light curing) โดยมีแคมโฟร์ควิโนน (camphorquinone) เป็นตัวเริ่มปฏิกิริยาเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง และแบบบ่มร่วมคือมีการบ่มด้วยแสงร่วมกับการบ่มเองด้วยปฏิกิริยาเคมี ซึ่งซีเมนต์แบบบ่มร่วมนั้นช่วยให้มีการเกิดพอลิเมอร์ที่เพียงพอในกรณีที่ชิ้นงานบูรณะมีความมีความทึบแสง หรือพอร์ซเลนที่มีความหนามากกว่า 2.5 มิลลิเมตร หรือบริเวณด้านประชิดฟันที่แสงเข้าไม่ถึง[8, 13]

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งเรซินซีเมนต์ได้จากวิธีการเตรียมผิวฟันได้เป็น 3 กลุ่ม คือ 1) ระบบโททอลเอทช์ ซึ่งต้องใช้กรดปรับสภาพผิวฟัน อาจเป็นกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 37 จากนั้นล้างออกด้วยน้ำ เป่าลม ทาสารไพรเมอร์และทาสารยึดติด ซึ่งสองขั้นตอนนี้อาจแยกหรือรวมเป็นขั้นตอนเดียวกันก็ได้ขึ้นอยู่กับระบบของแต่ละบริษัท จากนั้นยึดชิ้นงานด้วยซีเมนต์ จะพบว่าระบบโททอล-เอทช์นี้มีขั้นตอนการใช้งานที่ยุ่งยากและอาจเกิดความผิดพลาดทางเทคนิคได้ง่าย แต่ข้อดีคือให้ค่าแรงยึดอยู่ที่สูง ตัวอย่างซีเมนต์กลุ่มนี้เช่น วาริโอลิงค์ทู (Variolink II, Ivoclar Vivadent; Schaan, Lichtenstein) คาลิบรา (Calibra, Dentsply Caulk; Milford, DE, USA) เน็กซัส (Nexus, Kerr; Orange, CA, USA) เป็นต้น 2) ระบบเซลฟ์เอทช์ การใช้งานต้องมีการปรับสภาพผิวฟันด้วยสารไพร-เมอร์ที่เป็นกรดแล้วทาสารยึดติด ซึ่งอาจแยกขั้นตอนหรือรวมเป็นขั้นตอนเดียวก็ได้เช่นกัน จากนั้นเป่าลมแล้วยึดชิ้นงานด้วยซีเมนต์ จะพบว่าในระบบเซลฟ์เอทช์มีการลดขั้นตอนการปรับสภาพฟันด้วยกรดแล้วล้างน้ำออกไป ทำให้ใช้งานได้ง่ายขึ้นและลดข้อผิดพลาดได้ในระดับหนึ่ง ตัวอย่างซีเมนต์ในกลุ่มนี้ เช่น พานาเวียเอฟ2.0 (Panavia F2.0, Kuraray Medical; Tokyo, Japan) มัลติลิงค์ (Multilink, Ivoclar Vivadent; Schaan, Lichtenstein) เป็นต้น และกลุ่มที่ 3) เป็นเรซินซีเมนต์กลุ่มที่ไม่ต้องทำ

การปรับสภาพผิวฟันเลยก่อนการยึดชิ้นงานคือ เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ ซึ่งเป็นเรซินซีเมนต์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่และอยู่ในความสนใจในปัจจุบัน[2)]

ในปี 2002 เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ ได้ถูกแนะนำในฐานะเรซินซีเมนต์กลุ่มใหม่ รีไลเอ็กซ์ยูนิเซม (RelyX Unicem) เป็นผลิตภัณฑ์ตัวแรกที่ออกวางจำหน่าย ซึ่งมีการใช้งานที่สะดวกเพียงขั้นตอนเดียวคือทำการผสมสองส่วนของซีเมนต์เข้าด้วยกัน แล้วสามารถใช้ยึดชิ้นงานบูรณะได้เลย โดยไม่จำเป็นต้องมีการปรับสภาพฟันและใช้สารยึดติดใด ๆ ก่อนการยึดชิ้นงาน ลักษณะการใช้งานนี้เหมือนกับกลุ่มซีเมนต์ดั้งเดิม พวกซิงก์ฟอสเฟตซีเมนต์หรือซิงก์พอลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์ แต่ว่าให้สมบัติที่ดีกว่าทั้งการทนต่อการละลาย การยึดติดกับเนื้อฟัน ความสวยงาม และสมบัติเชิงกล ซีเมนต์ชนิดนี้ไม่มีการกำจัดชั้นสเมียร์ (smear layer) การเสียวฟันภายหลังการบูรณะจึงมีโอกาสเกิดน้อย[2)] แม้ยังไม่พบการศึกษาทางคลินิกสำหรับเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ แต่พบการศึกษาด้วยวิธีการวิจัยและประเมินผลิตภัณฑ์โดยผู้ใช้งาน (Product Research and Evaluation by Practitioners, PREP) ของวัสดุกลุ่มนี้ โดยทำการศึกษาในกลุ่มผู้ใช้งานในอังกฤษพบว่า รีไลเอ็กซ์ยูนิเซม ได้รับการจัดอันดับว่ามีการใช้งานที่สะดวกกว่าเรซินซีเมนต์ระบบอื่น[14)] และจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่าเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ ให้ค่าแรงยึดติดกับเนื้อฟันและวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ทำชิ้นงานบูรณะอยู่ในระดับที่น่าพอใจและสามารถเทียบได้กับเรซินซีเมนต์ระบบอื่นที่มีขั้นตอนการทำงานมากกว่า[14)]

ปัจจุบันเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ จำหน่ายโดยหลายบริษัท ส่วนประกอบมีความแตกต่างกันดังรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 1 โดยรูปแบบของซีเมนต์มีทั้งแบบผงกับน้ำในแคปซูล (capsule) ซึ่งต้องทำการปั่นเพื่อผสมโดยเครื่องก่อนการใช้งาน ซึ่งคล้ายกับวัสดุกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดแคปซูล อีกรูปแบบคือเป็นเพสต์สองส่วนแยกกันในหลอด ซึ่งมีทั้งแบบผสมด้วยมือ (hand mix) และแบบปลายผสมอัตโนมัติ (auto mixing tip) โดยเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ทุกชนิดที่มีจำหน่ายเป็นซีเมนต์ชนิดบ่มร่วม ปฏิกิริยาการก่อตัวเกิดขึ้นโดยการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ (radical polymerization) ซึ่งเริ่มบ่มได้จากทั้งแสงและปฏิกิริยาเคมี จากนั้นเกิดการเชื่อมโยงกันของมอนอเมอร์ ทำให้เกิดพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลสูงเกิดขึ้นตามลำดับ ในช่วงแรกหลังการผสมซีเมนต์ วัสดุจะมีความเป็นกรดสูงเนื่องจากมอนอเมอร์ที่เป็นส่วนประกอบ จากนั้นซีเมนต์จะเริ่มลดความเป็นกรดและเข้าสู่ความเป็นกลาง ตามแนวคิดของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ ผู้ผลิตอธิบายว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เพิ่มขึ้นจาก 1 ไปถึง 6 นั้นเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างหมู่ของกรดฟอสฟอริกและวัสดุอัดแทรกที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง (alkaline filler) และยังเป็นผลจากหมู่ของกรดฟอสฟอริกที่ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมบนผิวฟันอีกด้วย โดยระหว่างกระบวนการเข้าสู่ความเป็นกลางนั้น น้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาจะถูกนำไปช่วยให้ซีเมนต์เกิดการแนบกับผิวฟันได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากช่วงแรกซีเมนต์จะมีสมบัติชอบน้ำ และคาดว่าน้ำที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาระหว่างหมู่ของกรดฟอสฟอริกและวัสดุอัดแทรกที่มี

สมบัติเป็นด่าง โดยผลสุดท้ายซีเมนต์จะเปลี่ยนกลับมามีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างระหว่างการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี[2] จากลักษณะดังกล่าวของเรซินซีเมนต์กลุ่มนี้ดูเหมือนจะมีสมบัติชอบน้ำในช่วงแรกของปฏิกิริยา จึงเป็นที่น่าสนใจถึงผลของน้ำและสารละลายต่อสมบัติของโครงข่ายพอลิเมอร์ (polymer network)

การตอบสนองของพอลิเมอร์ต่อน้ำและสารละลาย

การดูดซึม (sorption) โดยคำจำกัดความจาก Railsback's Some Fundamentals of Mineralogy and Geochemistry[15] อธิบายว่า sorption คือคำที่ใช้เรียกรวมของสองคำคือ absorption และ adsorption โดย absorption คือการที่สารที่อยู่ในสถานะหนึ่งเข้าไปอยู่ในสารที่อยู่ในอีกสถานะหนึ่ง ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลวและก๊าซ เช่นการที่ของเหลวถูกดูดซึมเข้าไปสะสมในเนื้อวัสดุที่เป็นของแข็งที่ยอมให้สารต่าง ๆ ผ่านเข้าไปได้ ส่วน adsorption เป็นการที่ไอออนหรือโมเลกุลของสารหนึ่งยึดเกาะบนผิวของอีกสารหนึ่งเป็นชั้นบางมาก ๆ เช่นการยึดเกาะของโมเลกุลของเหลวที่พื้นผิวของของแข็ง ซึ่งทั้งสองอย่างมักเกิดขึ้นพร้อมกัน ตามศัพท์บัญญัติราชบัณฑิตยสถาน (แพทยศาสตร์ 6 ส.ค. 2544) ระบุว่า sorption มีศัพท์บัญญัติเป็นสองคำ ได้แก่ 1) การดูดซับ (มีความหมายเหมือนกับ adsorption) และ 2) การดูดซึม (มีความหมายเหมือนกับ absorption) ในที่นี้จึงขอใช้คำว่า “การดูดซึม” ในการแทนความหมายคำว่า sorption

วัสดุบูรณะฟันต่าง ๆ ในการใช้งานจริงต้องสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายในช่องปาก ไม่ว่าจะเป็นน้ำลายและส่วนประกอบต่าง ๆ ในน้ำลาย กรดที่เกิดจากคราบจุลินทรีย์ และสารที่ได้รับจากภายนอกช่องปาก อาหารและเครื่องดื่มที่บริโภคอาจเป็นได้ทั้งกรด ด่าง เกลือ แอลกอฮอล์ โดยชนิดของสารเคมีและระยะเวลาการสัมผัสกับสภาวะหรือสารเคมีเป็นปัจจัยสำคัญที่อาจมีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์[16]

พอลิเมอร์ทางทันตกรรมส่วนใหญ่จัดว่ามีสมบัติไม่ละลายน้ำ อีกทั้งมีความต้านทานสูงต่อสารเคมีและอุณหภูมิ แต่โครงข่ายพอลิเมอร์นั้นยังสามารถดูดน้ำและสารเคมีต่าง ๆ จากสิ่งแวดล้อมรอบข้างได้ ในทางกลับกันโครงข่ายพอลิเมอร์ก็อาจปลดปล่อยสารองค์ประกอบภายในพอลิเมอร์ออกมาได้เช่นกัน โดยปรากฏการณ์การดูดซึมและการละลาย อาจถือได้ว่าเป็นตัวชี้วัดเบื้องต้นของการเกิดกระบวนการทางเคมีและทางกายภาพ ซึ่งส่งผลกระทบต่อโครงสร้างและหน้าที่ของวัสดุพอลิเมอร์ โดยผลที่เกิดขึ้นอาจมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีจากการเกิดออกซิเดชั่น และการสลายตัวด้วยน้ำ (hydrolysis) ซึ่งสมบัติของพอลิเมอร์นั้นอาจเปลี่ยนแปลงไปอย่างถาวรและทำให้มีสมรรถภาพลดลง[16]

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์

ชื่อผลิตภัณฑ์ (บริษัท)	รูปแบบผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบ
BisCem (Bisco, Schaumburg, IL, USA)	Paste/paste syringe with automix tip	Bis(hydroxyethyl methacrylate) phosphate, tetraethylene glycoldimethacrylate, glass filler
Breeze (Pentron, Wallingford, CT, USA)	Paste/paste syringe with automix tip	Mixture of bis-GMA, UDMA, TEGDMA,HEMA, and 4-MET resins, silane-treated bariumborosilicate glasses, silica with initiators, stabilizers and UV absorber, organic and/or inorganic pigments, opacifiers
Bifix SE (Voco, Cuxhaven, Germany)	Paste/paste syringe with automix tip	Bis-GMA, UDMA, Gly-DMA, phosphate monomers, initiators, stabilizers, glass fillers, aerosol silica(filler = 70 wt%; 61 vol%; avg. 2 μm)
Clearfil SA Cement Kuraray, Kurashiki, Okayama, Japan)	Paste/paste syringe	MDP, hydrophobic aromatic dimethacrylate, hydrophobic aliphatic dimethacrylate, colloidal silica, barium glass (filler = 66 wt%; 45 vol%; avg. 2.5 μm)
G-Cem (GC, Alsip, IL, USA)	Paste/paste syringe with automix tip	Powder = fluroaluminosilicate glass, initiator, pigment (filler = 71.4 wt%, avg. 4 lm) Liquid = 4-MET, phosphoric acid ester monomer, water, UDMA, dimethacrylate, silica powder, initiator, stabilizer
Multilink Sprint (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)	Paste/paste syringe with automix tip	Dimethacrylate monomers, acid monomers, barium glass fillers, ytterbium trifluoride, silicon dioxide(filler = 57 wt%; avg. 5 μm)

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ (ต่อ)

ชื่อผลิตภัณฑ์ (บริษัท)	รูปแบบผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบ
iCem (Heraeus, Hanau, Germany)	Paste/paste syringe with automix tip	Di-, tri- and multi-functional acrylate monomers, initiators, stabilizers (filler = 41 vol%)
Maxcem Elite (Kerr, Orange, CA, USA)	Paste/paste syringe with automix tip	Powder = barium aluminosilicate glass, fluoroaluminosilicate glass, nano-ytterbium fluoride, nanosilica (filler = 67 wt%, avg. 3.6 um) Liquid = GPDM monomer, mono-, di- and multi-methacrylate co-monomers; redox initiator system, camphorquinone-based photoinitiator
Monocem Shofu (Shofu, Kyoto, Japan)	Paste/paste syringe with automix tip	Mono-, di- and multi-functional acrylate resins, dual-initiators, fillers (filler = 60 wt%)
RelyX Unicem (3M ESPE, St Paul, MN, USA)	Capsules, Paste/paste Clicker	Powder = glass, silica, calcium hydroxide, pigment, substituted pyrimidine, peroxy compound,initiator (filler = 72 wt%; avg. <9.5 μm)Liquid = methacrylated phosphoric ester, dimethacrylate (bis-GMA / TEGDMA), acetate, stabilizer, initiator
Smart Cem 2 (Dentsply, Konstanz, Germany)	Paste/paste syringe with automix tip	UDMA, Di- and Tri-methacrylate resins, phosphoric acid modified acrylate resin, fluroaluminosilicate glass initiators, accelerators, stabilizers, butylated hydroxyl toluene, titanium dioxide, hydrophobic silica (filler = 69 wt%; 46 vol%; avg. 3.8 μm glass and 16 nm aerosol silica)
Speed Cem (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)	Paste/paste syringe with automix tip	Dimethacrylates, methacrylated phosphoric esters, copolymers, initiators, catalysts, stabilizers barium glass, ytterbium trifluoride, high dispersed silica (filler = 40 vol%; size 0.1–7 μm)

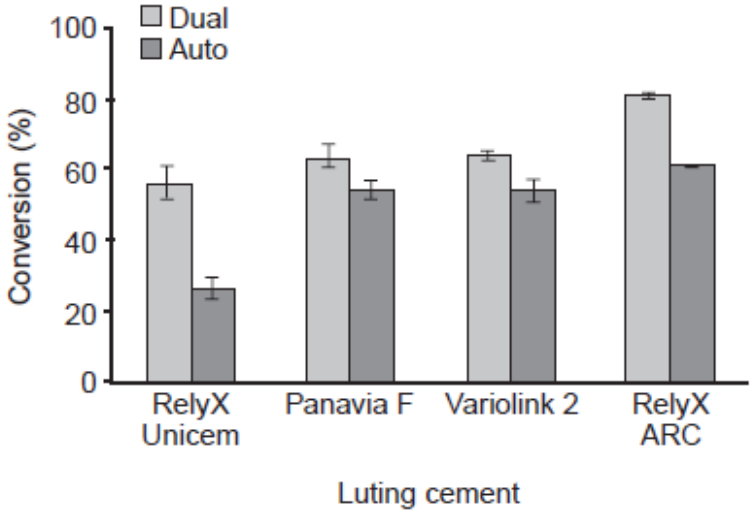
เมื่อเรซินถูกแช่ลงในน้ำหรือสารละลาย จะมีปรากฏการณ์เกิดขึ้นสองลักษณะที่ตรงข้ามกัน คือ 1) มีการดูดซึมของน้ำหรือตัวทำละลายโดยเรซินเมทริกซ์ในเรซินซีเมนต์ อาจทำให้เกิดการบวมของพอลิเมอร์ มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และเกิดการเสริมสภาพพลาสติก ลดแรงระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ซึ่งทำให้พอลิเมอร์มีความนิ่มเพิ่มมากขึ้น[17] การซึมผ่านของน้ำหรือตัวทำละลายผ่านวัสดุเรซินนั้น เกิดขึ้นได้จากหลายกลไก ได้แก่ การที่น้ำแพร่เข้าสู่เรซินเมทริกซ์โดยตรง การแทรกซึมเข้าสู่รูพรุนที่อยู่ในเรซินร่วมกับการทำลายโดยน้ำ หรือการเคลื่อนที่ของน้ำไปตามรอยต่อระหว่างวัสดุอัดแทรกกับเมทริกซ์[17] 2) การละลายตัวออกของมอนอเมอร์ที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยา ตัวเสริมปฏิกิริยาอื่น ๆ โอลิโกเมอร์ และอาจมีการปลดปล่อยอิออนในพอลิเมอร์ที่ใส่วัสดุอัดแทรก การละลายตัวและการปลดปล่อยสารต่าง ๆ นี้อาจทำให้เกิดการหดตัว สูญเสียน้ำหนัก และทำให้สมบัติเชิงกลลดลง โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองของพอลิเมอร์ต่อน้ำและสารละลาย ได้แก่ สมบัติของโครงข่ายพอลิเมอร์ ชนิดและลักษณะของพอลิเมอร์ วัสดุอัดแทรก และตัวทำละลาย ความชอบน้ำของพอลิเมอร์ซึ่งส่วนใหญ่มีผลมาจากชนิดของมอนอเมอร์ที่ใช้เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์นั้น ๆ มอนอเมอร์ที่นำมาใช้มากที่สุด 3 ชนิด คือ บิสจีเอ็มเอ ยูดีเอ็มเอ (urethane dimethacrylate, UDMA) และทีอีจีดีเอ็มเอ โดยแต่ละชนิดมีหมู่ฟังก์ชั่นที่ง่ายต่อการสลายตัวในระดับต่างกัน เช่น หมู่เอสเทอร์ หมู่ยูรีเทน หมู่ไฮดรอกซิล และพันธะอีเทอร์ เป็นต้น ซึ่งการที่มีส่วนประกอบโครงสร้างต่างกันทำให้พอลิเมอร์แต่ละชนิดมีความชอบน้ำต่างกันด้วย นอกจากนั้นลักษณะของโครงข่ายพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้น อาจเป็นพอลิเมอร์แบบเส้น (linear polymer) หรือแบบโยงข้าม (cross-linking polymer) ซึ่งในพอลิเมอร์แบบโยงข้ามที่การโยงข้ามมีความหนาแน่นสูงดังที่พบในวัสดุบูรณะฟันชนิดเรซินคอมโพสิต พอลิเมอร์จะมีการดูดซึมและการบวมน้ำน้อยกว่า อีกทั้งยังทนต่อการสลายตัวได้มากกว่าเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์แบบโยงข้ามที่มีความหนาแน่นต่ำหรือพอลิเมอร์แบบเส้น นอกจากนี้วัสดุอัดแทรกยังอาจมีผลต่อการดูดซึมตัวทำละลายและการสลายตัวของพอลิเมอร์ ปริมาณสัดส่วนของวัสดุอัดแทรกที่เพิ่มขึ้น มีผลโดยตรงต่อปริมาตรของพอลิเมอร์เมทริกซ์ภายในโพลิเมอร์นั้นลดลง ทำให้การดูดซึมเกิดขึ้นได้น้อยลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามน้ำอาจทำให้เกิดการกัดกร่อนที่ผิวของวัสดุอัดแทรกและหลุดออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งการกัดกร่อนของวัสดุอัดแทรกนี้อาจแก้ปัญหาได้โดยการเคลือบวัสดุอัดแทรกด้วยสารคู่ควบ (silane coupling agent) เพื่อปกป้องผิววัสดุอัดแทรกจากสิ่งแวดล้อม[5]

สารเคมีที่เป็นสภาวะแวดล้อมของพอลิเมอร์ ถือได้ว่าเป็นตัวทำละลายต่างชนิดที่เข้ามาสัมผัสกับพอลิเมอร์ โดยการตอบสนองของตัวทำละลายเหล่านั้นกับพอลิเมอร์ก็แตกต่างกันไป ซึ่งมีผลต่อชนิดของสารที่ปลดปล่อยออกมาและการสลายตัวของพอลิเมอร์ โดยพารามิเตอร์การละลาย (solubility parameter) สามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงการละลายกันได้ของตัวทำละลายกับตัวถูกละลาย พบว่าหากค่าพารามิเตอร์การละลายของตัวทำละลายกับพอลิเมอร์มีค่าใกล้เคียงกันมากเท่าไร การ

ละลายจะเกิดได้สูงขึ้นตามไปด้วย ในกรณีที่เป็นโครงข่ายพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์แบบโยงข้าม จะไม่เกิดละลายตัว แต่จะเกิดการบวมเมื่อแช่ในตัวทำละลายที่ทำละลายได้ดี นอกจากนี้เอ็นไซม์ต่าง ๆ ก็สามารถสลายพอลิเมอร์ได้ โดยเข้าทำลายที่สายโซ่ข้าง (side chain) ซึ่งอาจทำให้เกิดการปลดปล่อยสารที่เป็นอันตรายและทำให้สมบัติของพอลิเมอร์ลดลงอีกด้วย[16)]

การศึกษาผลของการบ่มตัวแบบต่างๆ

การเกิดพอลิเมอร์ที่เพียงพอของเรซินซีเมนต์นั้นเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้เกิดความมั่นคงและมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพที่ดีของซีเมนต์และชิ้นงานบูรณะ[8)] โดยรูปแบบการบ่มตัวของวัสดุเรซิน-คอมโพสิตมีผลต่อระดับการเกิดพอลิเมอร์ (degree of conversion) พบว่าเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วมที่ไม่ถูกกระตุ้นด้วยแสง หรือเมื่อซีเมนต์ถูกแสงได้ไม่เต็มที่ จะทำให้พอลิเมอร์เมทริกซ์เกิดพอลิเมอร์ที่ไม่เพียงพอ[18)] จากการศึกษาของ Kumbuloglu และคณะ[19)] ทำการศึกษาเรซินซีเมนต์แบบบ่มร่วม 4 ชนิด ได้แก่ พานาเวียเอฟ2.0 รีไลเอ็กซ์ยูนิเซม รีไลเอ็กซ์เออาร์ซี และวาริโอลิงค์ พบว่า รีไลเอ็กซ์-ยูนิเซมมีระดับการเกิดพอลิเมอร์ต่ำสุด คือร้อยละ 56 เมื่อกระตุ้นด้วยแสงและร้อยละ 26 เมื่อปล่อยให้บ่มเอง ซึ่งการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า รูปแบบการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วมมีผลต่อระดับการเกิดพอลิเมอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟแสดงระดับการเกิดพอลิเมอร์ของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วม
เมื่อกระตุ้นด้วยแสงและไม่กระตุ้นด้วยแสง[19)]

เช่นเดียวกับการศึกษาของ Faria-e-Silva และคณะในปี 2011[20] ทำการทดสอบผลของรูปแบบการบ่มตัว 3 ลักษณะคือ กระตุ้นด้วยแสงทันที กระตุ้นด้วยแสงแบบหน่วงเวลา และไม่กระตุ้นด้วยแสง ต่อระดับการเกิดพอลิเมอร์และปริมาณความเค้น (strain) ในเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วม พบว่าที่เวลา 5 นาที การกระตุ้นด้วยแสงทันทีมีระดับการเกิดพอลิเมอร์สูงกว่าการกระตุ้นด้วยแสงแบบหน่วงเวลาและการไม่กระตุ้นด้วยแสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่เวลา 30 นาที กลุ่มที่ไม่กระตุ้นด้วยแสง มีระดับการเกิดพอลิเมอร์ต่ำกว่ากลุ่มที่กระตุ้นด้วยแสงแบบทันทีและแบบหน่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้น รีไลเอ็กซ์เออาร์ซี ที่มีระดับการเกิดพอลิเมอร์ใกล้เคียงกันทั้งกลุ่มที่กระตุ้นด้วยแสงและไม่ถูกกระตุ้นด้วยแสง Radovic และคณะ[2] ให้ข้อสรุปว่าเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วมที่บ่มตัวด้วยแสงให้ค่าแรงยึดอยู่สูงกว่าการบ่มเองที่ปราศจากการกระตุ้นด้วยแสง ทั้งต่อเนื้อฟันและเซรามิกหลายชนิด ซึ่งสอดคล้องกับ Faria-e-Silva และคณะในปี 2010[21] พบว่าเรซินซีเมนต์แบบบ่มร่วมที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงทันทีและกระตุ้นด้วยแสงแบบหน่วงเวลา ให้ค่าแรงยึดอยู่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ถูกกระตุ้นด้วยแสง แต่ Piwowarczyk และLauer[22] ทำการศึกษาอิทธิพลของรูปแบบการบ่มตัวและระยะเวลาหลังการบ่มตัวต่อสมบัติความแข็งแรงดัดและความแข็งแรงอัด ในเรซินซีเมนต์แบบบ่มร่วม 4 ชนิด (รีไลเอ็กซ์เออาร์ซี พานาเวียเอฟ วาริโอลิงค์ทู และคอมโพลูต (Compolute, 3M ESPE; Seefeld, Germany)) และเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ 1 ชนิดคือรีไลเอ็กซ์ยูนิเซม พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วมที่บ่มตัวด้วยแสงกับที่บ่มเองเมื่อระยะเวลาผ่านไป 150 วัน

การศึกษาการดูดซึมและการละลายของซีเมนต์

การดูดซึมของเรซินซีเมนต์นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของมอนอเมอร์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบเป็นสำคัญ มอนอเมอร์ที่มีสมบัติชอบน้ำ เช่น ฮีมา (Hydroxyethyl Methacrylate, HEMA) หรือมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำเป็นส่วนประกอบจะเพิ่มการดูดน้ำของวัสดุเรซิน ดังที่พบในกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปรด้วยเรซิน และยังพบว่า ยูดีเอ็มเอ มีความชอบน้ำสูงกว่าเรซินอื่น ๆ นอกจากนี้ปริมาณวัสดุอัดแทรกก็มีผลต่อการดูดซึม โดยเรซินซีเมนต์ที่มีปริมาณวัสดุอัดแทรกน้อยจะแสดงสมบัติการดูดน้ำเพิ่มขึ้น[16, 17]

Tanoue และคณะในปี 2003[18] ทดสอบการดูดน้ำของเรซินซีเมนต์แบบบ่มร่วม 8 ชนิด พบว่าการดูดน้ำ มีผลทั้งจากชนิดวัสดุและรูปแบบการบ่มตัว แต่ไม่มีความสัมพันธ์ของอิทธิพลระหว่างชนิดของวัสดุและรูปแบบการบ่มตัว พบว่ากลุ่มที่บ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี มีค่าการดูดน้ำสูงกว่ากลุ่มที่บ่มตัวด้วยแสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเรซินซีเมนต์ 3 ชนิดคือ บิสไทต์ทู (Bistite II, Tokuyama Corp., Tokyo, Japan) อิมเพอร์วาดูอัล (Imperva dual, Shofu Inc., Kyoto, Japan) และลิงค์-

แมกซ์ (Linkmax, GC Corp., Tokyo, Japan) และในการทดลองเดียวกันได้ทดสอบการละลายน้ำของเรซินซีเมนต์แบบบ่มร่วม พบว่าการละลายน้ำเป็นผลทั้งจากชนิดวัสดุและรูปแบบการบ่มตัว และยังมีผลจากปฏิสัมพันธ์ของอิทธิพลระหว่างชนิดของวัสดุและรูปแบบการบ่มตัวอีกด้วย พบว่าในกลุ่มที่บ่มเอง มีค่าการละลายน้ำสูงกว่ากลุ่มที่บ่มด้วยแสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเรซินซีเมนต์ทุกชนิดยกเว้น ลูตอิต (Lute-it, Pentron Inc., Wallingford, CT, USA) Tanoue และคณะ[23, 24] รายงานว่าเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสงนั้น การละลายของซีเมนต์มีความสัมพันธ์อย่างมากกับรูปแบบการบ่มตัว และพบว่าการใช้เครื่องฉายแสงที่มีความเข้มแสงสูงขึ้น สามารถลดการดูดน้ำและทำให้มีระดับการเกิดปฏิกิริยาของมอนอเมอร์สูงขึ้น ส่งผลให้สมบัติการคงตัวของสีและการละลายอยู่ในระดับที่ดี

Chaves และคณะ[25] ทำการศึกษาการดูดน้ำและการละลายของซีเมนต์ 8 ชนิด พบว่ากลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีค่าการดูดน้ำสูงที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่มเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์และเรซินซีเมนต์กลุ่มอื่น ๆ ตามลำดับ โดยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีค่าการดูดน้ำสูงกว่าเรซินซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด คือ บิสเซม (Biscem, Bisco Inc., Schaumburg, IL, USA) และรีไลเอ็กซ์ยูนิเซม มีค่าการดูดน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมที่มีค่าการดูดน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มเอง 2 ชนิด คือ ซีแอนด์บี (C&B, Bisco Inc., Schaumburg, IL, USA) และซีเมนต์โพสต์ (Cement post, Angelus, Londrina, PR, Brazil) และเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วมบางชนิด คือไบฟิกซ์ (Bifix, Voco, Cuxhaven, Germany) แต่บิสเซมมีค่าการดูดน้ำสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มเองและชนิดบ่มร่วมทุกชนิดในการทดลอง

นอกจากนี้ยังมีการทดลองเพื่อทดสอบผลของสารละลายต่าง ๆ ต่อค่าการดูดซึมและการละลายของซีเมนต์ โดย Mese และคณะ[17] ศึกษาการดูดซึมและการละลายของซีเมนต์ในน้ำกลั่นและแอลกอฮอล์ พบว่า แม็กเซม เน็กซัสทู พานาเวียเอฟ รีไลเอ็กซ์วีเนียร์ และวาริโอลิงค์ทู มีค่าการดูดซึมในแอลกอฮอล์สูงกว่าในน้ำกลั่น ส่วนค่าการละลาย พานาเวียเอฟมีค่าการละลายในแอลกอฮอล์มากกว่าน้ำกลั่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เน็กซัสทูและซีที (seT, SDI, Victoria, Australia) มีค่าการละลายในน้ำกลั่นมากกว่าในแอลกอฮอล์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในปี 2000 การศึกษาของ Knobloch และคณะ[4] พบว่ากลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปรด้วยเรซิน มีค่าการละลายในสารละลายกรดแลคติกสูงกว่าเรซินซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ระหว่างเรซินซีเมนต์ด้วยกันไม่พบความแตกต่าง โดยการทดลองนี้ไม่ได้ทดสอบทางสถิติระหว่างกลุ่มที่แช่ในน้ำกับสารละลายกรดแลคติก จากผลการทดลองพบแนวโน้มการละลายที่เพิ่มขึ้นในกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปรด้วยเรซิน แต่ในกลุ่มเรซินซีเมนต์ พานาเวียเอฟ มีค่าการละลายลดลง ส่วนเรซิเมน (Resimen, Septodont, New Castle, DE, USA) และเอ็นฟอร์ซ (Enforce, LD Caulk, Milford, DE, USA)

มีค่าเพิ่มขึ้น การศึกษาของ Marghalani ในปี 2012[26] พบว่าผลโดยทั่วไปของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซิน-ซีเมนต์ทุกชนิดในการทดลอง เมื่อแช่ในสารละลายกรดแลคติกจะมีค่าการดูดซึมและการละลายที่สูงกว่ากลุ่มที่แช่ในน้ำกลั่น

อย่างไรก็ตามยังไม่พบการศึกษาผลของรูปแบบการบ่มตัวและสารละลายต่างๆที่สัมผัสกับเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ ว่ามีผลต่อค่าการดูดซึมและการละลายอย่างไร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3

วัสดุและวิธีการทดลอง

เครื่องมือ

เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (Elipa S10, 3M ESPE, USA)
ดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ความเที่ยงตรง 0.01 มิลลิเมตร (ABSOLUTE, Mitutoyo, Japan)
โถแก้วดูดความชื้น / โถแก้วดูดความชื้นสีชา (desiccator / amber colored desiccator)
ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (TNE400, Memmert, Schwabach, Germany)
เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลความเที่ยงตรง 0.1 มิลลิกรัม (GR-200, A&D, Tokyo, Japan)

วัสดุและอุปกรณ์

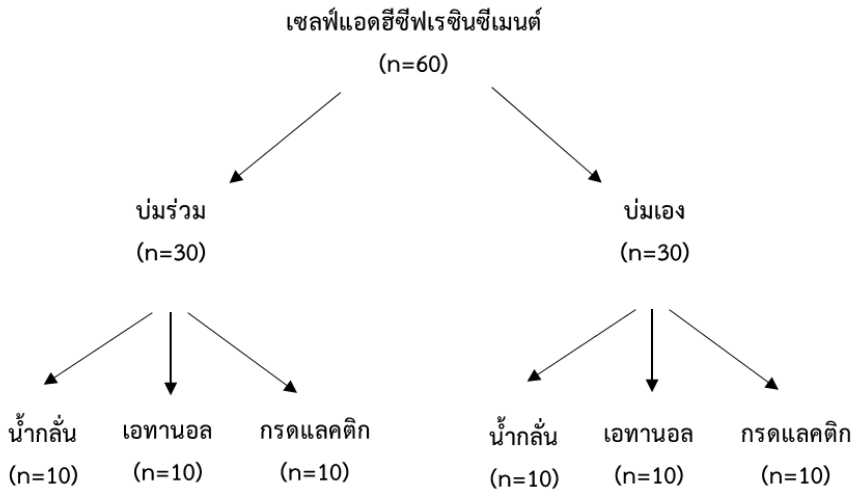
เรซินซีเมนต์ชนิดเซลฟ์แอดฮีซีฟ 3 ชนิด
-รีไลเอ็กซ์ยู 200 (RelyX U200, 3M ESPE, St Paul, MN, USA)
-แม็กเซมอีลิท (Maxcem Elite, Kerr, Orange, CA, USA)
-เคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์ (Clearfil SA Cement, Kuraray, Kurashiki, Okayama, Japan)
น้ำกลั่น (distilled water)
สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ (เอทานอล) ความเข้มข้นร้อยละ 20 (20% ethanol solution)
สารละลายกรดแลคติกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ (0.01 M lactic acid solution)
เส้นเอ็นไนล่อน (nylon sting)
ขี้ผึ้งสีชมพู (pink wax)
แม่แบบพลาสติก (plastic mold)
แผ่นพลาสติกพอลิเอสเทอร์ (polyester) ชนิดพีอีที (polyethylene terephthalate, PET)
แผ่นแก้ว (glass slide)
ซิลิกาเจล (silica gel)
ลวดเหล็กไร้สนิม (stainless steel wire)
กระบอกพลาสติกพร้อมฝาปิดแบบเกลียว (plastic vial with screw cap)

การแบ่งกลุ่มการทดลอง

การทดลองใช้เรซินซีเมนต์ชนิดเซลฟ์แอดฮีซีฟ 3 ชนิด ได้แก่ รีไลเอ็กซ์ยู200 (RelyX U200, 3M ESPE, St Paul, MN, USA) แม็กเซมอีลีท (Maxcem Elite, Kerr, Orange, CA, USA) และเคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์ (Clearfil SA Cement, Kuraray, Kurashiki, Okayama, Japan) (รูปที่ 2) การทดลองนี้ใช้ชิ้นงานทั้งหมด 180 ชิ้น เตรียมชิ้นงานจากซีเมนต์แต่ละชนิด ชนิดละ 60 ชิ้น โดยแบ่งซีเมนต์แต่ละชนิดเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มที่กระตุ้นด้วยแสง (บ่มร่วม) 30 ชิ้น และกลุ่มที่ไม่ถูกกระตุ้นด้วยแสง (บ่มเอง) 30 ชิ้น และแต่ละกลุ่มจะถูกแบ่งออกเป็นสามกลุ่มย่อย กลุ่มละ 10 ชิ้น ซึ่งแต่ละกลุ่มจะถูกนำไปแช่ในสารละลายที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 20 และสารละลายกรดแลคติกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ดังรูปที่ 3

การทดลองเลือกใช้เอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยจากการสำรวจความเข้มข้นของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ พบว่าความเข้มข้นอยู่ในช่วงร้อยละ 5-40 นอกจากนี้พบว่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในน้ำยาบ้วนปากที่มีจำหน่ายในท้องตลาดนั้นความเข้มข้นสูงสุดถึงร้อยละ 26 และการทดลองเลือกใช้กรดแลคติกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ที่ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4 เพื่อจำลองสภาวะกรดที่เกิดจากการสร้างของคราบจุลินทรีย์ภายในช่องปาก

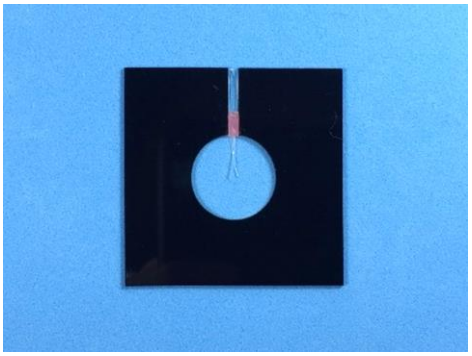
รูปที่ 2 แสดงเรซินซีเมนต์ชนิดเซลฟ์แอดฮีซีฟ 3 ยี่ห้อที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่
1) เคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์ 2) รีไลเอ็กซ์ยู200 3) แม็กเซมอีลีท



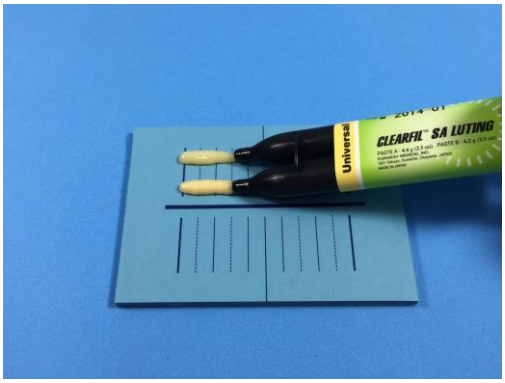
รูปที่ 3 แสดงการแบ่งกลุ่มการทดลอง

การเตรียมชิ้นงาน

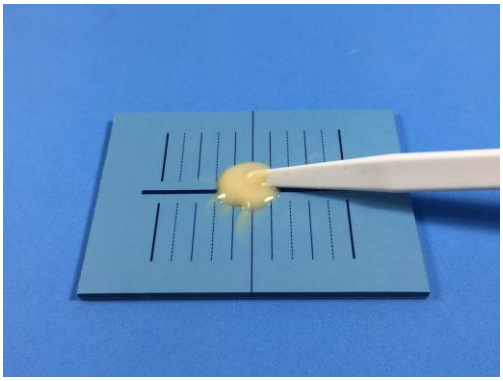
วิธีการเตรียมชิ้นงานและวิธีการทดสอบการดูดซึมและการละลายของเรซินซีเมนต์ ปฏิบัติตามมาตรฐาน ISO 4049: 2000(E) (Dentistry – Polymer-based filling, restorative and luting materials) โดยการเตรียมชิ้นงานใช้แม่แบบพลาสติก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 15 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร วางลงบนแผ่นพลาสติกพอลิเอสเทอร์ (polyester) ชนิดพีอีที (polyethylene terephthalate, PET) ที่วางอยู่บนแผ่นแก้ว จากนั้นใส่เส้นเอ็นพลาสติก เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร พับครึ่ง และยึดด้วยขี้ผึ้งสีชมพู เพื่อให้มีเส้นเอ็นพลาสติกยึดในชิ้นงานยาว 5 มิลลิเมตร (รูปที่ 4) จากนั้นผสมเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ตามอัตราส่วนและคำแนะนำของบริษัท (รูปที่ 5-6) นำซีเมนต์ที่ผสมแล้วใส่ลงในแบบพลาสติกให้เกินเล็กน้อย ระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศ ใช้แผ่นพลาสติกพอลิเอสเทอร์วางปิดที่ผิวหน้า เพื่อป้องกันการสัมผัสอากาศขณะบ่ม-ตัว จากนั้นใช้แผ่นแก้วปิดอีกครั้งและใช้แท่งกด กดด้วยน้ำหนัก 1 กิโลกรัม เพื่อกำจัดส่วนเกินออก แล้วทำการบ่มตัวตามกลุ่มการทดลองดังรูปที่ 7



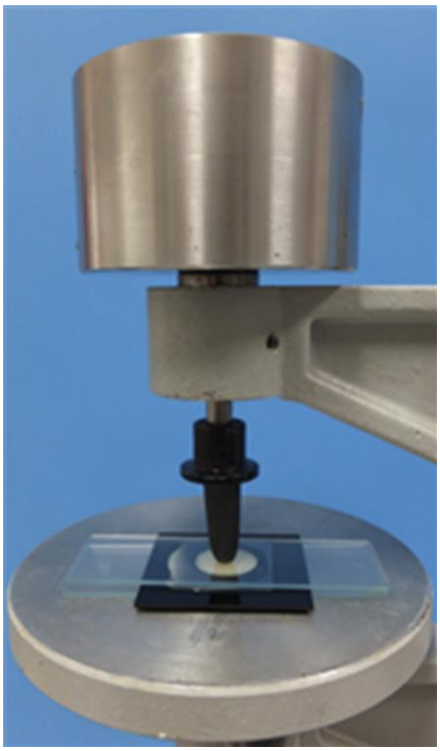
รูปที่ 4 แสดงแบบพลาสติกที่ใส่เส้นเอ็นพลาสติกและยึดด้วยขี้ผึ้งเรียบร้อย



รูปที่ 6 แสดงการเตรียมซีเมนต์



รูปที่ 5 แสดงการผสมซีเมนต์

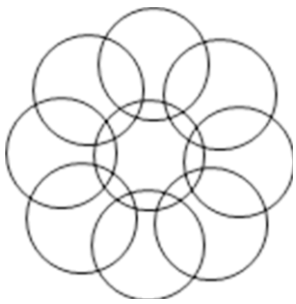


รูปที่ 7 แสดงการกดด้วยแท่งกด น้ำหนัก 1 กิโลกรัมเพื่อกำจัดซีเมนต์ส่วนเกิน

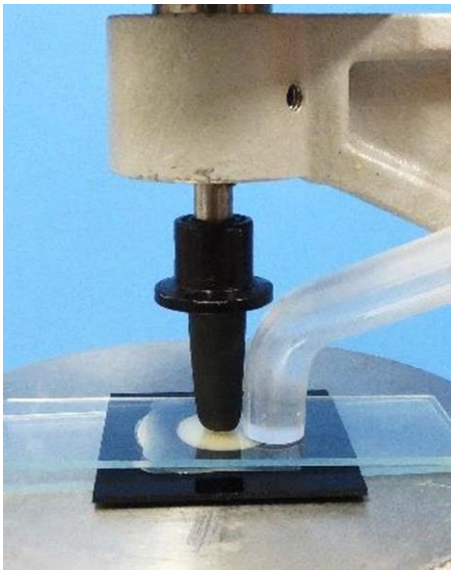
โดยชิ้นงานกลุ่มที่ไม่ถูกกระตุ้นด้วยแสง วิธีการเตรียมเหมือนที่กล่าวมาข้างต้น แต่ขั้นตอนทั้งหมดจะถูกเตรียมในกล่องป้องกันแสงสีอำพัน (รูปที่ 8) โดยหลังจากปิดด้วยแผ่นแก้วแล้วกดส่วนเกินออกด้วยแท่งกดน้ำหนัก จากนั้นปล่อยให้บ่มเองด้วยปฏิกิริยาเคมีที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

รูปที่ 8 แสดงกล่องพลาสติกสีอำพันเพื่อป้องกันแสงที่ใช้เตรียมและชั่งชิ้นงาน

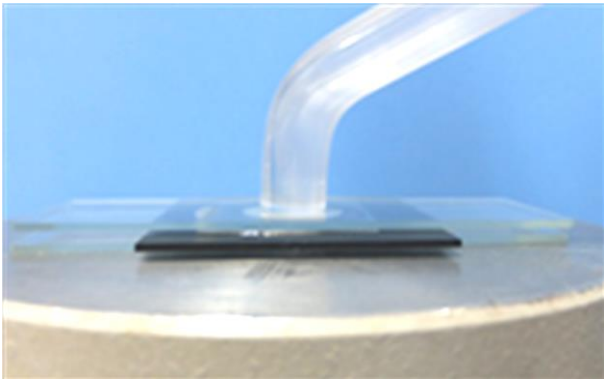
ส่วนชิ้นงานกลุ่มที่ถูกกระตุ้นด้วยแสง หลังจากขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จะทำการกระตุ้นด้วยแสง โดยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (Elipa S10, 3M ESPE, USA) ซึ่งมีปลายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ความยาวคลื่นช่วง 430-480 นาโนเมตร ความเข้มแสง 1200 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เพื่อให้กระตุ้นได้ทั่วทั้งชิ้นงาน ทำการฉายแสงเป็นลักษณะ 9 วงซ้อนทับกันดังรูปที่ 9 โดย 8 รอบแรกฉายบริเวณรอบแท่งกด จากนั้นนำตุ้มน้ำหนักออกแล้วฉายตรงกลางชิ้นงานอีก 1 รอบ ทำการฉายครั้งละ 20 วินาที รวมเป็นเวลา 160 วินาที พลิกชิ้นงานกลับด้านและฉายแสงซ้ำเช่นเดียวกับด้านแรก (รูปที่ 10-11)



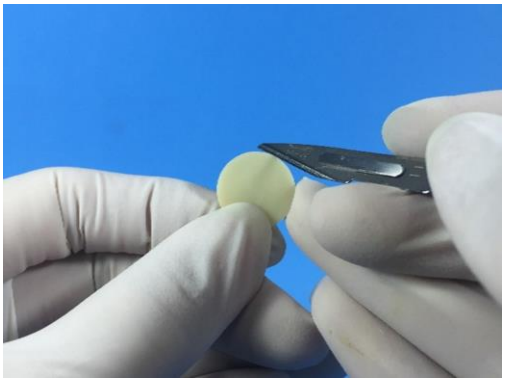
รูปที่ 9 แสดงแผนผังการกระตุ้นด้วยแสงลักษณะ 9 วงซ้อนทับกัน



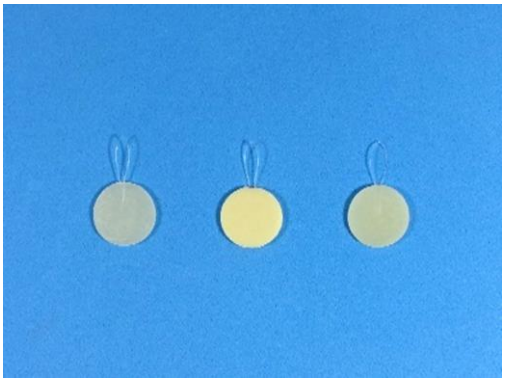
รูปที่ 10 แสดงการฉายแสงชิ้นงานรอบแท่งกดน้ำหนัก



รูปที่ 11 แสดงการฉายแสงตรงกลางชิ้นงาน



รูปที่ 12 แสดงการตัดแต่งชิ้นงาน

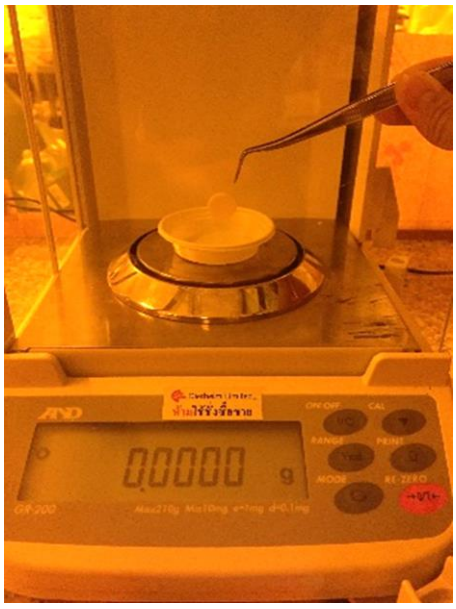


รูปที่ 13 แสดงชิ้นงานที่เตรียมเสร็จแล้ว

เมื่อทำการบ่มเสร็จนำชิ้นทดลองออกจากแบบพลาสติก ตรวจชิ้นงานด้วยสายตาหากพบฟองอากาศชิ้นงานจะถูกคัดออก ตัดแต่งส่วนเกินบริเวณขอบด้วยใบมีดให้เรียบเสมอกัน (รูปที่ 12และ 13) จากนั้นนำไปเข้าโถแก้วดูดความชื้นที่บรรจุซิลิกาเจล โดยกลุ่มที่ไม่กระตุ้นด้วยแสงจะถูกนำเข้าโถแก้วดูดความชื้นสีชาเพื่อป้องกันแสง (รูปที่ 14) ซึ่งชิ้นงานทั้งสองกลุ่มจะถูกใส่ในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิ 37±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง จากนั้นเปลี่ยนไปใส่ในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิ 23±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นจะนำชิ้นงานออกมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลที่มีความแม่นยำ 0.1 มิลลิกรัม (ภาพที่ 15) แล้วชั่งชิ้นงานซ้ำทุก 24 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ คือ มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ภายใน 24 ชั่วโมง โดยมวลที่ชั่งหลังจากการทำให้แห้งครั้งนี้เรียกว่า m_1

หลังจากชิ้นงานมีน้ำหนักคงที่แล้ว นำชิ้นงานมาวัดขนาดด้วยดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (ABSOLUTE, Mitutoyo, Japan) ที่มีความแม่นยำ 0.01 มิลลิเมตร ทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ตำแหน่ง โดยห่างกันทำมุม 90 องศา แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลาง วัดความหนาชิ้นงาน 5 ตำแหน่ง คือวัดบริเวณจุดกึ่งกลางและอีก 4 จุดห่างจากจุดกึ่งกลางเป็นระยะเท่า ๆ กัน แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยความหนา จากนั้นนำค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางและค่าเฉลี่ยความหนาที่ได้มาคำนวณหาปริมาตร (v) หน่วยเป็นลูกบาศก์มิลลิเมตร

รูปที่ 15 แสดงโถดูดความชื้นสีชา



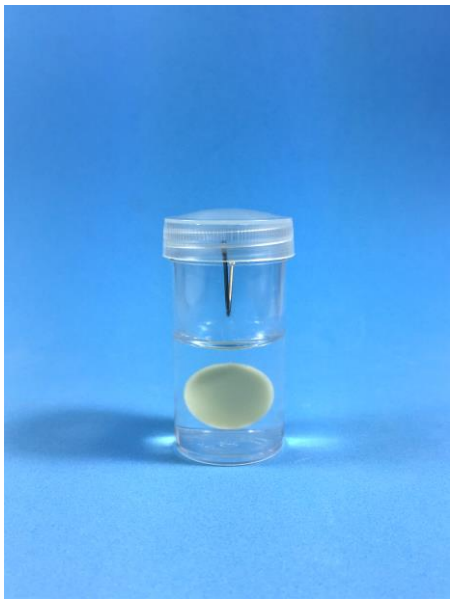
รูปที่ 14 แสดงการชั่งน้ำหนักชิ้นงาน

ต่อมาทำการแช่ชิ้นงานในสารละลาย 3 ชนิด ตามกลุ่มการทดลองที่กำหนดรวม 18 กลุ่ม จำนวนกลุ่มละ 10 ชิ้น ดังแจกแจงในตารางที่ 2 ใช้สารละลาย 10 มิลลิลิตรในกระบอกพลาสติกใส พร้อมฝาปิดและใช้กระบอกพลาสติกสีชาสำหรับกลุ่มที่ไม่กระตุ้นด้วยแสง แช่ให้ชิ้นงานจมอยู่ในสารละลาย โดยให้มีระยะห่างทั้งในแนวดิ่ง แนวขวาง อย่างน้อย 3 มิลลิเมตร การทดลองนี้ใช้โครงลวดโลหะไร้สนิมดัดในการแขวนชิ้นงาน (รูปที่ 16-18) จากนั้นปิดฝาให้แน่นเพื่อป้องกันการระเหยของสารละลาย นำเข้าตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 37±1 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน (รูปที่ 19)

ตารางที่ 2 แสดงกลุ่มการทดลองและจำนวนชิ้นงาน

เรซินซีเมนต์	จำนวนชิ้นงาน					
	น้ำกลั่น		เอทานอล		กรดแลคติก	
	บ่มร่วม	บ่มเอง	บ่มร่วม	บ่มเอง	บ่มร่วม	บ่มเอง
เคลียร์ฟิล เอสเอซีเมนต์	10	10	10	10	10	10
รีไลเอ็กซ์ยู200	10	10	10	10	10	10
แม็กเซมอีลีท	10	10	10	10	10	10

รูปที่ 16 แสดงลักษณะลวดโลหะไร้สนิมที่ใช้แขวนชิ้นงานขณะแช่



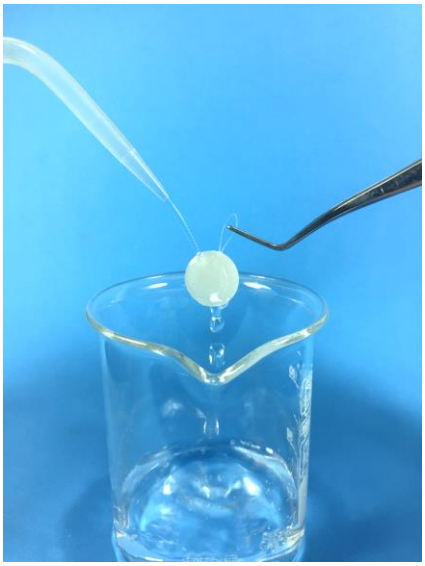
รูปที่ 19 แสดงการแช่ชิ้นงานในภาชนะใส

รูปที่ 18 แสดงการแช่ชิ้นงานในภาชนะใส สีอำพันป้องกันแสง

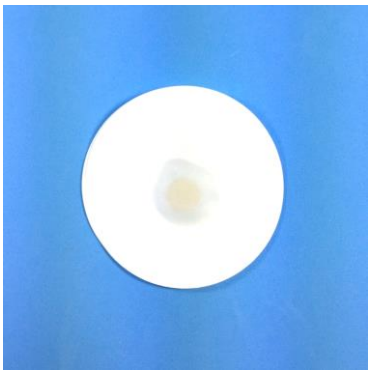
รูปที่ 17 แสดงตู้ควบคุมอุณหภูมิ

หลังการแช่ในสารละลาย 7 วัน นำชิ้นงานขึ้นจากสารละลายแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น (รูปที่ 20) ซับน้ำบนชิ้นงานด้วยกระดาษที่ไม่เป็นขุย จนกระทั่งไม่เห็นหยดน้ำ (รูปที่ 21และ22) แกว่งชิ้นงานในอากาศ 15 วินาที และชั่งน้ำหนักชิ้นงานภายหลังจากนำขึ้นจากสารละลายภายใน 1 นาที โดยน้ำหนักที่ชั่งได้หลังจากการแช่ในสารละลายนี้บันทึกเป็นค่า m_2

จากนั้นนำชิ้นงานเข้าโถดูดความชื้นอีกครั้ง และทำให้แห้งโดยใช้กระบวนการเช่นเดียวกับครั้งแรกก่อนการแช่สารละลาย ทำการชั่งชิ้นงานทุกวันจนน้ำหนักคงที่ โดยน้ำหนักที่ชั่งได้หลังจากการทำให้แห้งหลังการแช่ในสารละลายนี้บันทึกเป็นค่า m_3



รูปที่ 20 แสดงการล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น



รูปที่ 21 แสดงการซับน้ำด้วยกระดาษที่ไม่เป็นขุย

รูปที่ 22 แสดงชิ้นงานที่ซับน้ำเรียบร้อยแล้ว

การวัดค่าการดูดซึมและการละลาย

การคำนวณและแปลผลค่าการดูดซึม

คำนวณค่าการดูดซึม (W_{sp}) หน่วยเป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตรดังสมการ แล้วบันทึกค่าการดูดซึมตามตารางที่ 3

$$W_{sp} = (m_2 - m_3) / V$$

มาตรฐาน ISO 4049: 2000 ระบุว่าค่าการดูดซึมของวัสดุพอลิเมอร์ที่ใช้บูรณะฟันหรือยึดชิ้นงาน ควรมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร

ตารางที่ 3 แสดงตารางที่ใช้บันทึกค่าการดูดซึม

เรซินซีเมนต์	ค่าการดูดซึม (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร)					
	น้ำกลั่น		เอทานอล		กรดแลคติก	
	บ่มร่วม	บ่มเอง	บ่มร่วม	บ่มเอง	บ่มร่วม	บ่มเอง
เคลียร์ฟิล เอสเอซีเมนต์						
รีไลเอ็กซ์ยู200						
แม็กเซมอีลีท						

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การคำนวณและแปลผลค่าการละลาย

คำนวณค่าการละลาย (W_{sl}) หน่วยเป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตรดังสมการ แล้วบันทึกค่าการละลายตามตารางที่ 4

$$W_{sl} = (m_1 - m_3) / V$$

มาตรฐาน ISO 4049: 2000 ระบุว่าค่าการละลายของวัสดุพอลิเมอร์ที่ใช้บูรณะฟันหรือยึดชิ้นงาน ควรมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร

ตารางที่ 4 แสดงตารางที่ใช้บันทึกค่าการละลาย

เรซินซีเมนต์	ค่าการละลาย (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร)					
	น้ำกลั่น		เอทานอล		กรดแลคติก	
	บ่มร่วม	บ่มเอง	บ่มร่วม	บ่มเอง	บ่มร่วม	บ่มเอง
เคลียร์ฟิล เอสเอซีเมนต์						
รีไลเอ็กซ์ยู200						
แม็กเซมอีลีท						

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมคำนวณทางสถิติเอสพีเอสเอส (SPSS version 19.0, SPSS Inc, Chicago, Illinois, USA) ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วยสถิติ Shapiro-Wilk และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณแบบ 3 ทาง (Three-way MANOVA) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธีทางสถิติของบอนเฟอร์โรนี (Bonferroni) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 (α=0.05) เพื่อดูปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยทั้งสามคือยี่ห้อของซีเมนต์ รูปแบบการบ่มตัวและสารละลายที่ใช้แช่วัสดุที่มีผลต่อค่าการดูดซึมและการละลาย และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการดูดซึมและการละลายของซีเมนต์ต่างชนิด

ประเด็นที่เกี่ยวข้องกับจริยธรรม

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองทางทันตวัสดุและทำในห้องปฏิบัติการเท่านั้น จึงไม่มีความเกี่ยวข้องหรือใช้ชิ้นส่วนใด ๆ ของสิ่งมีชีวิต

บทที่ 3

ผลการทดลอง

ตารางที่ 5 และ 6 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการดูดซึมและการละลายจากการทดลองของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ทั้งสามชนิด เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณแบบ 3 ทาง พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างสามปัจจัยคือยี่ห้อของซีเมนต์ที่ต่างกันร่วมกับรูปแบบการบ่มตัวที่ต่างกันและร่วมกับสารละลายที่ใช้แช่ต่างชนิด ซึ่งมีผลต่อค่าเฉลี่ยการดูดซึมและการละลายที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($F=9.547$, $p<.000$), ($F=3.327$, $p<.012$) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาสองปัจจัยที่ทำการศึกษาคือการบ่มตัวและสารละลายที่ใช้แช่ พบปฏิสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างการบ่มตัวที่ต่างกันร่วมกับสารละลายที่ใช้แช่ต่างชนิด มีผลต่อค่าเฉลี่ยการดูดซึมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($F=11.571$, $p<.000$), แต่ไม่ส่งผลต่อเฉลี่ยค่าการละลาย ($F=1.998$, $p<.139$) และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธีทางสถิติของบอนเฟอร์โรนีพบว่าค่าเฉลี่ยการดูดซึมระหว่างกลุ่มบ่มร่วมกับกลุ่มบ่มเองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p<.000$) โดยค่าการดูดซึมในกลุ่มบ่มเองมีค่าสูงกว่ากลุ่มบ่มร่วมในทุกสารละลาย ในส่วนของค่าเฉลี่ยการละลาย เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธีทางสถิติของบอนเฟอร์โรนีพบว่าค่าเฉลี่ยการละลายระหว่างกลุ่มบ่มร่วมกับกลุ่มบ่มเองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p<.000$) โดยพบว่ากลุ่มที่แช่ในกรดแลคติกค่าเฉลี่ยการละลายของกลุ่มบ่มเองมีค่าสูงกว่าบ่มร่วมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.000$) แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างการบ่มตัวที่ต่างกันร่วมกับสารละลายที่ใช้แช่ต่างชนิดที่มีผลอิทธิพลต่อค่าการละลายระหว่างกลุ่มบ่มร่วมกับกลุ่มบ่มเองที่แช่ในน้ำกลั่น ($p<.188$) และระหว่างกลุ่มบ่มร่วมและกลุ่มบ่มเองที่แช่ในเอทานอล ($p<.135$)

การทดลองค่าการดูดซึมพบว่า เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ที่มีค่าเฉลี่ยการดูดซึมสูงสุดคือแม็กเซมอีลีทที่บ่มเองและแช่ในสารละลายเอทานอล (57.7 ± 1.97 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร) ในขณะที่ค่าเฉลี่ยการดูดซึมต่ำสุด คือเคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์ที่บ่มด้วยแสงและแช่ในน้ำกลั่น (23.2 ± 1.25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร) จากการคำนวณด้วยวิธีทางสถิติของบอนเฟอร์โรนีพบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการดูดซึมระหว่างซีเมนต์แต่ละชนิดพบว่า แม็กเซมอีลีทมีค่าเฉลี่ยการดูดซึมสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับเคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์และรีไลเอ็กซ์ยู200 ($p<0.000$) ในทุกกลุ่มการทดลอง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์กับรีไลเอ็กซ์ยู 200 พบว่าค่าเฉลี่ยการดูดซึมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกกลุ่มการทดลอง

ยกเว้น กลุ่มบ่มเองที่แช่ในน้ำกลั่นและกลุ่มบ่มเองที่แช่ในกรดแลคติกที่พบว่าค่าเฉลี่ยการดูดซึมของรีไลเอ็กซ์ยู200 มีค่าสูงกว่าเคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.000$)

การทดลองค่าการละลาย ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่าเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ที่มีค่าเฉลี่ยการละลายสูงสุดคือแม็กเซมอีลีทที่บ่มเองและแช่ในสารละลายกรดแลคติก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.9±3.89 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ในขณะที่ค่าการละลายต่ำสุดคือรีไลเอ็กซ์ยู200ที่บ่มร่วมและแช่ในเอทานอล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -6.13±0.30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร และจากการคำนวณด้วยวิธีทางสถิติของบอนเฟอร์โรนี เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการละลายระหว่างซีเมนต์แต่ละชนิดพบว่า แม็กเซมอีลีทมีค่าเฉลี่ยการละลายสูงกว่าเคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์และรีไลเอ็กซ์ยู200อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.000$) ในทุกกลุ่มการทดลอง และเคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์มีค่าการละลายสูงกว่ารีไลเอ็กซ์ยู200อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.000$) ในทุกกลุ่มการทดลอง ยกเว้นกลุ่มบ่มเองที่แช่ในเอทานอล พบว่าค่าเฉลี่ยการละลายของเคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์และรีไลเอ็กซ์ยู200 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>1.000$) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าเฉลี่ยการละลายมีค่าติดลบ ในทุกกลุ่มของรีไลเอ็กซ์ยู200 และเกือบทุกกลุ่มของเคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์ โดยเฉพาะกลุ่มที่แช่ในสารละลายเอทานอล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการดูดซึมของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์

เรซินซีเมนต์	ค่าเฉลี่ยการดูดซึม (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร)					
	น้ำกลั่น		เอทานอล 20%		กรดแลคติก 0.01M	
	บ่มร่วม	บ่มเอง	บ่มร่วม	บ่มเอง	บ่มร่วม	บ่มเอง
เคลียร์ฟิลเอส เอซีเมนต์	23.2±0.40 ^{a,A}	24.6±0.60 ^{b,A}	24.5±0.43 ^{a,A}	27.1±0.38 ^{b,A}	24.3±0.19 ^{a,A}	27.3±0.84 ^{b,A}
รีไลเอ็กซ์ยู200	25.2±0.38 ^{a,A}	30.4±1.09 ^{b,B}	23.4±0.13 ^{a,A}	27.9±0.85 ^{b,A}	25.0±0.29 ^{a,A}	34.3±0.86 ^{b,B}
แม็กเซมเอไลต์	46.2±0.48 ^{a,B}	47.9±0.56 ^{b,C}	48.4±0.30 ^{a,B}	57.7±0.62 ^{b,B}	46.2±0.79 ^{a,B}	51.2±0.64 ^{b,C}

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มที่บ่มร่วมกับกลุ่มที่บ่มเอง ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างกลุ่มในคอลัมน์

รูปที่ 23 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยการดูดซึมสารเคลือบใบของใบอ่อนและใบแก่ด้านบนและด้านล่างของแหนแดงและแหนแดงลูกผสม

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการละลายของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์

เรซินซีเมนต์	ค่าเฉลี่ยการละลาย (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร)					
	น้ำกลั่น		เอทานอล 20%		กรดแลคติก 0.01M	
	บ่มร่วม	บ่มเอง	บ่มร่วม	บ่มเอง	บ่มร่วม	บ่มเอง
เคลียร์ฟิลเอส เอซีเมนต์	0.54±0.00 ^{a,A}	-0.95±0.09 ^{a,A}	-1.12±0.99 ^{a,A}	-1.38±0.38 ^{a,A}	1.1±0.02 ^{a,A}	-0.54±0.11 ^{b,A}
รีไลเอ็กซ์ยู200	-3.77±0.35 ^{a,B}	-3.58±0.29 ^{a,B}	-6.13±0.09 ^{a,B}	-5.31±0.19 ^{a,B}	-3.61±0.25 ^{a,B}	-2.26±0.50 ^{b,A}
แม็กเซมอีลีท	5.44±0.31 ^{a,C}	8.41±0.91 ^{a,C}	4.04±0.13 ^{a,C}	5.37±0.76 ^{a,C}	5.74±1.02 ^{a,C}	10.9±1.23 ^{b,B}

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มที่บ่มร่วมกับกลุ่มที่บ่มเอง ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างกลุ่มในคอลัมน์

ภาพที่ 24 กราฟแสดงผลการทดสอบการละลายของวัสดุอุดคลองรากฟันชั่วคราว (ค่าเฉลี่ยของปริมาตรที่หายไปของวัสดุอุดคลองรากฟันชั่วคราว)

บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองนี้ปฏิบัติตามมาตรฐาน ISO 4049: 2000(E) (Dentistry – Polymer-based filling, restorative and luting materials) ซึ่งได้กำหนดรายละเอียดสำหรับการทดลองเพื่อหาค่าการดูดซึมและการละลายของวัสดุอุดฟัน วัสดุบูรณะฟัน และซีเมนต์ยึดชิ้นงานบูรณะฟันที่ผลิตจากห้องปฏิบัติการที่มีพื้นฐานเป็นพอลิเมอร์ ซึ่งในเอกสารมาตรฐานดังกล่าว ไม่มีการระบุรายละเอียดที่ชัดเจนในบางขั้นตอนของการทดลอง เช่นปริมาณซิลิกาเจลที่ใส่ในโถดูดความชื้นและวิธีการแช่ชิ้นงาน ดังนั้นการทดลองครั้งนี้จึงได้กำหนดรูปแบบบางอย่างให้มีความชัดเจนและเหมาะสม ได้แก่ การใช้ซิลิกาเจลน้ำหนัก 1 กิโลกรัมในโถดูดความชื้นเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 300 มิลลิเมตร และในการแช่ชิ้นงานได้ทำการควบคุมปัจจัยของสารละลายด้วยการแช่ชิ้นงานในภาชนะปิด และแยกแช่ชิ้นงานหนึ่งชิ้นต่อภาชนะหนึ่งอัน เพื่อป้องกันการระเหยและการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย นอกจากนี้ยังมีการดัดแปลงรูปแบบชิ้นงานโดยฝังเส้นเอ็นไนล่อนลงในชิ้นงาน เพื่อใช้แขวนชิ้นงานขณะแช่ในสารละลาย จุดประสงค์เพื่อทำให้ชิ้นงานสัมผัสกับสารละลายได้ทั่วทั้งชิ้น ส่วนการกดชิ้นงานขณะบ่มตัวด้วยน้ำหนักคงที่ เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความเรียบและความหนาแน่นสม่ำเสมอ

การใช้งานของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ ไม่ต้องทำการปรับสภาพผิวฟันก่อนการยึดชิ้นงาน เนื่องจากมีส่วนผสมของฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ที่มีหมู่ของกรดฟอสฟอริกอยู่ด้วย ซึ่งทำหน้าที่ในการละลายแร่ธาตุและแทรกซึมเข้าในโครงสร้างของฟัน ซึ่งฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์กลุ่มนี้ไม่พบในเรซินซีเมนต์กลุ่มอื่น ๆ ที่ต้องใช้งานร่วมกับสารยึดติด โดยปกติเรซินซีเมนต์มีส่วนผสมเป็นพวกบิสจีเอ็มเอและทีอีจีดีเอ็มเอ[27] ซึ่งมอนอเมอร์กลุ่มนี้มีความชอบน้ำ แต่ก็มีความชอบน้ำน้อยกว่าเมื่อเทียบกับฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ที่มีหมู่ของกรดเป็นส่วนประกอบ ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิลิก หรืออนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก[26] เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ทั้งสามชนิดที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีมอนอเมอร์ต่างชนิดที่ล้วนมีส่วนประกอบของหมู่ฟอสฟอริกที่มีความเป็นกรด ได้แก่ เอ็มดีพี (10-methacryloyloxy-decyl dihydrogenphosphate, MDP) ในเคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์ จีพีดีเอ็ม (glycerol dimethacrylate dihydrogen phosphate, GPDM) ในแม็กเซมอีลีท และเมทาคริเลตฟอสฟอริกเอสเทอร์ ในรีไล-เอ็กซ์ยู200 ซึ่งอาจคาดการณ์ได้ว่าความชอบน้ำของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากการที่มีหมู่ฟอสเฟตซึ่งมีความเป็นกรดเป็นส่วนประกอบ จากผลการทดลองพบว่าค่าการดูดซึมของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ทั้งสามชนิดมีค่าแตกต่างกัน ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการดูดซึมนั้นเป็นได้จากทั้งชนิดของมอนอเมอร์ ชนิดของวัสดุอัดแทรก และปริมาณของวัสดุอัดแทรก โดยปริมาณวัสดุอัด-

แทรกที่เป็นส่วนประกอบของ เคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์ รีไลเอ็กซ์ยู200 และแม็กเซมอีลีท คือ ร้อยละ 66 โดยน้ำหนัก (ร้อยละ45 โดยปริมาตร) ร้อยละ72 โดยน้ำหนัก (ร้อยละ50 โดยปริมาตร) และร้อยละ67 โดยน้ำหนัก (ร้อยละ46 โดยปริมาตร) ตามลำดับ จากการพิจารณาผลการทดลองพบว่าสอดคล้องกับการทดลองของ Mese และคณะ[17] ที่พบว่าวัสดุเรซินที่มีวัสดุอัดแทรกต่ำกว่าจะมีค่าการดูดซึมที่สูงกว่า ค่าที่ใช้แสดงปริมาณวัสดุอัดแทรกพบว่าค่าร้อยละโดยปริมาตรมีความสำคัญและมีผลต่อค่าการดูดซึมและการละลายมากกว่าค่าร้อยละโดยน้ำหนัก เนื่องจากในชิ้นงานขนาดเท่ากัน การที่วัสดุอัดแทรกมีปริมาตรมากขึ้น จะส่งผลให้มีปริมาตรของเรซินเมทริกซ์น้อยลงตามไปด้วย ซึ่งเรซิน-เมทริกซ์นั้นมีความไวต่อการเกิดปฏิสัมพันธ์กับน้ำมากกว่าวัสดุอัดแทรก ทำให้มีผลโดยตรงต่อการดูดซึมและการละลาย โดยจากการทดลองนี้พบว่าแม็กเซมอีลีทมีค่าการดูดซึมสูงกว่า

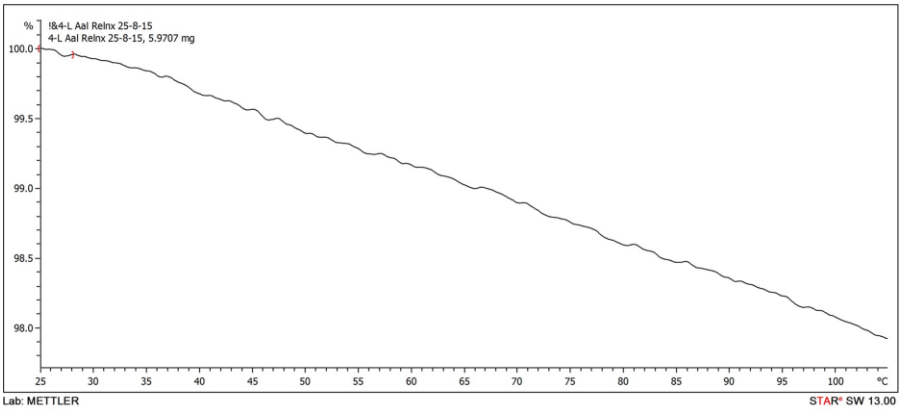
เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ทุกชนิดที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วม โดยการบ่มตัวเกิดได้จากปฏิกิริยาสองส่วน คือการกระตุ้นโดยแสงที่มีความยาวคลื่นเหมาะสมต่อตัวกระตุ้นปฏิกิริยา และการเริ่มปฏิกิริยาทางเคมีในส่วนของการบ่มเอง เกิดจากการผสมกันระหว่างสารเริ่มปฏิกิริยาและสารกระตุ้นปฏิกิริยา นอกจากนี้เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ทั้งสามชนิดยังมีส่วนประกอบของวัสดุอัดแทรกเป็นแก้วที่มีความเป็นด่าง เพื่อที่จะให้เกิดการกลับสู่สภาวะความเป็นกลางของซีเมนต์หลังจากที่มีความเป็นกรดในช่วงเริ่มต้นของปฏิกิริยา โดยกระบวนการเข้าสู่ความเป็นกลางนี้จะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าเพิ่มขึ้นจากความเป็นกรดสู่ความเป็นกลาง ผ่านการเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่กรดของฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์กับอนุภาควัสดุอัดแทรกที่เป็นด่าง[2] โดยเซลฟ์แอดฮีซีฟ-เรซินซีเมนต์แต่ละชนิดก็ใช้เวลาแตกต่างกันไปเพื่อให้ซีเมนต์เข้าสู่สภาวะความเป็นกลาง ซึ่งระยะเวลาที่เข้าสู่สภาวะความเป็นกลางนี้มีผลต่อระยะเวลาที่ซีเมนต์จะมีสมบัติความชอบน้ำยาวนานขึ้น รีไล-เอ็กซ์ยู200 และแม็กเซมอีลีทมีส่วนประกอบของของมัลติฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์มากกว่าเคลียร์ฟิล-เอสเอซีเมนต์ ส่งผลให้เมื่อบ่มตัวแล้วรีไลเอ็กซ์ยู200 และแม็กเซมอีลีท มีการเกิดพอลิเมอร์แบบโยงข้ามจำนวนมากในเรซินเมทริกซ์ซึ่งอาจป้องกัน หรือขัดขวางการระเหยของน้ำที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเข้าสู่สภาวะความเป็นกลางของซีเมนต์ได้ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้มีค่าการดูดซึมมากกว่าเคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์ สภาวะแวดล้อมภายในช่องปากก็อาจมีผลทำให้เพิ่มการละลายของเรซินซีเมนต์ ซึ่งก็จะส่งเสริมให้เกิดการเสื่อมสลายของเรซินซีเมนต์ได้เช่นกัน เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซิน-ซีเมนต์นั้นมีแนวโน้มที่จะเกิดการตอบสนองต่อน้ำได้มาก เนื่องจากการที่มีหมู่ของกรดซึ่งแสดงสมบัติความชอบน้ำเป็นส่วนประกอบ โดยเหตุผลของการใส่แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($CaOH_2$) ลงในรีไลเอ็กซ์-ยู200 ก็เพื่อให้ซีเมนต์เข้าสู่สภาวะความเป็นกลางได้รวดเร็วขึ้น เป็นผลทำให้การดูดซึมและการละลายของซีเมนต์ลดลง

การทดลองครั้งนี้พบว่า รูปแบบการบ่มตัวมีผลต่อค่าการดูดซึมและการละลายของเซลฟ์-แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ทั้งสามชนิด ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับเรซินซีเมนต์ชนิดอื่นจากการศึกษาที่ผ่านมาของ Tanoue และคณะ[18] การบ่มตัวด้วยแสงนั้นมีผลต่อการจัดเรียงตัวของโครงข่ายพอลิเมอร์ ทำให้เกิดโครงสร้างพอลิเมอร์แบบโยงข้ามมากกว่าการบ่มด้วยตัวเอง นอกจากนี้โครงสร้างทางเคมีของกลุ่มฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์และพันธะคู่ในโครงสร้าง ทำให้มีระดับการเกิดโครงสร้างพอลิเมอร์แบบโยงข้ามได้มาก ทำให้มีการดูดซึมและการละลายน้อยกว่า และยังช่วยส่งเสริมสมบัติอื่น ๆ อีกด้วย

ปัจจุบันเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วม มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานทันตกรรม เนื่องจากการใช้งานที่ง่ายและขั้นตอนไม่ซับซ้อน มีหลายการศึกษาและรายงานที่กล่าวถึงค่าการดูดซึมและการละลายของเรซินซีเมนต์ที่บ่มตัวด้วยแสง[17, 26, 27] อย่างไรก็ตามยังมีข้อมูลไม่มากนักเกี่ยวกับเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วมที่ไม่ถูกกระตุ้นด้วยแสงและปล่อยให้บ่มเอง และแช่ในสารละลายต่าง ๆ ว่ามีผลต่อค่าการดูดซึมและการละลายหรือไม่ และส่งผลอย่างไร จากการศึกษาก่อนหน้า รูปแบบการบ่มตัวนั้นมีผลในการลดสมบัติต่างๆ เช่น ความแข็งผิว ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และความคงตัวของสี เมื่อซีเมนต์ชนิดบ่มร่วมถูกปล่อยให้บ่มเองเพียงอย่างเดียว[9, 19, 28, 29]

ในส่วนของการละลาย มีการรายงานว่าส่วนประกอบที่มีความชอบน้ำในเรซินซีเมนต์จะทำให้วัสดุนั้นเกิดการสลายโดยน้ำได้ง่าย[30] จากการทดลองครั้งนี้พบว่าค่าการละลายของรีไลเอ็กซ์ยู200 ทุกกลุ่มและเคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์เกือบทุกกลุ่มมีค่าติดลบ จากการศึกษาที่ผ่านมาก็พบค่าการละลายที่มีค่าติดลบเช่นกัน[17, 27] ซึ่งการทดลองเพื่อหาค่าการละลายของการศึกษาดังกล่าวก็ปฏิบัติตามมาตรฐาน ISO 4049: 2000(E) เช่นเดียวกันกับการศึกษาในครั้งนี้ โดยการศึกษาในอดีตอธิบายว่าน้ำหนักของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงต่างกันไป หลังจากการทำให้แห้งหลังการแช่ในน้ำหรือสารละลายเป็นผลมาจากสมดุลที่เกิดขึ้นของมวลที่สูญเสียไปและมวลที่ได้รับเพิ่มขึ้น และค่าการละลายนั้นสามารถเป็นไปได้ทั้งค่าบวก ค่าลบ และศูนย์[27] ในการศึกษาครั้งนี้อาจอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้จากสมบัติของวัสดุอัดแทรกในรีไลเอ็กซ์ยู200 และเคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์มีความสามารถในการดูดน้ำได้ดี และร่วมกับการที่ซิลิกาเจลในโถดูดความชื้นไม่สามารถดูดความชื้นจากวัสดุอัดแทรกได้หมดโดยสมบูรณ์ เนื่องจากความสามารถในการดูดน้ำของซิลิกาเจลและวัสดุอัดแทรกไม่แตกต่างกัน ทำให้อาจยังมีน้ำคงค้างอยู่ภายในชิ้นงาน ถึงแม้ว่ามวลของชิ้นงานจะคงที่แล้วก็ตาม ข้อสันนิษฐานนี้พิสูจน์โดยการทำกระบวนการที่เรียกว่า ทีจีเอ (Thermogravimetric analysis, TGA) คือกระบวนการวัดน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของวัสดุเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อย ๆ จากการศึกษานำร่องของผู้ทำวิจัยเองพบว่าการทำทีจีเอในชิ้นงานกลุ่มที่มีค่าการละลายเป็นลบ ทำการทดสอบโดยการเพิ่มอุณหภูมิจาก 25 องศาเซลเซียสถึง 105 องศาเซลเซียส ในอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่ามีน้ำหนักลดลงร้อยละ 2 หลังการทำทีจีเอ (รูปที่ 25) ซึ่งสันนิษฐานได้ว่ายังคงมีน้ำที่คงค้างอยู่ใน

ชิ้นงานอยู่ ซึ่งการทดลอง ในอนาคตอาจต้องปรับเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการดูดความชื้น หรือเปลี่ยนสารที่ใช้ในการดูดความชื้นที่มีความสามารถในการดูดน้ำสูงขึ้น



รูปที่ 25 กราฟแสดงน้ำหนักของชิ้นงานกลุ่มที่มีค่าการละลายเป็นลบเมื่อทำทีจีเอ

จากการศึกษาของ Bagheri และคณะ[31] พบว่าสิ่งแวดล้อมภายในช่องปากมีผลต่อวัสดุบูรณะทางทันตกรรม ทำให้เกิดการย่อยสลายจากทั้งเชิงกลและทางเคมี[13, 16] สำหรับการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้กรดแลคติกในการทดลอง เนื่องจาก DistlerและKroncke[32] พบว่าในคราบจุลินทรีย์ของมนุษย์ประกอบด้วยกรดแลคติกถึงร้อยละ 70 จากกรดทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่ากรดแลคติกจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากการกลั้วปากด้วยน้ำตาลซูโครส เนื่องจากแบคทีเรีย (lactate-producing bacteria) สามารถย่อยสลายซูโครสและสามารถผลิตกรดแลคติกได้ได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นภายในช่องปากของมนุษย์จึงมีกรดชนิดนี้ในปริมาณมากกว่ากรดอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ที่ผลิตโดยคราบจุลินทรีย์ จากข้อมูลข้างต้น การทดลองนี้ใช้ความเข้มข้นของกรดแลคติกคือ 0.01 โมลาร์ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 เพื่อจำลองสภาวะให้คล้ายคลึงกับภายในช่องปากของมนุษย์เท่าที่จะเป็นไปได้ เนื่องจากกรดแลคติกและแอลกอฮอล์อาจเร่งการเกิดการสลายตัวโดยน้ำของวัสดุเรซิน[33] และในชีวิตประจำวันช่องปากของเราก็อาจสัมผัสกับแอลกอฮอล์จากอาหาร เครื่องดื่ม หรือน้ำยาบ้วนปากซึ่งพบว่าอาจมีแอลกอฮอล์เป็นส่วนผสมมากถึงร้อยละ 26 การทดลองครั้งนี้พบว่า แม็กเซม-อีลิทที่บ่มเองมีค่าการดูดซึมในแอลกอฮอล์มีค่าสูงกว่าที่แช่ในน้ำกลั่นและกรดแลคติก และพบว่าค่าการละลายของเคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์และรีไลเอ็กซ์ยู200 ที่บ่มเอง มีค่าสูงกว่าเมื่อแช่ในสารละลายกรดแลคติก

เมื่อเปรียบเทียบตามมาตรฐาน ISO 4049: 2000 ที่ระบุไว้ว่าค่าการดูดซึมของวัสดุพอลิเมอร์ที่ใช้บูรณะฟันหรือยึดชิ้นงานบูรณะ ควรมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร จากการทดลองนี้พบว่าค่าการดูดซึมของรีไลเอ็กซ์ยู200 และเคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์นั้น เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานในทุกกลุ่มการทดลอง แต่แม็กเซมอีลีทมีค่าการดูดซึมต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดในทุกกลุ่มการทดลอง ส่วนมาตรฐานค่าการละลายระบุว่าควรมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร โดยการทดลองพบว่าค่าการละลายของรีไลเอ็กซ์ยู200 และเคลียร์ฟิลเอสเอ-ซีเมนต์นั้นเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานในทุกกลุ่มการทดลองเช่นเดียวกับค่าการดูดซึม แต่แม็กเซมอีลีทมีค่าการละลายต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดในกลุ่มบ่มเองที่แช่ในน้ำกลั่นและที่แช่ในกรดแลคติก

การศึกษาค่าการดูดซึมและการละลายเป็นหนึ่งสมบัติที่สำคัญ ทำให้ทราบแนวโน้มการเกิดการบวมตัว การละลายตัว ซึ่งปรากฏการณ์ทั้งสองนี้นำไปสู่การเสื่อมสลายของเรซินซีเมนต์ที่เราใช้ยึดชิ้นงาน ดังนั้นการทำชิ้นงานบูรณะที่มีความแนบสนิทยังเป็นปัจจัยสำคัญต่อความคงทนและอายุการใช้งานที่ยาวนาน เนื่องจากหากเราทำชิ้นงานบูรณะที่ไม่แนบสนิทดีกับขอบฟัน จะทำให้ซีเมนต์ที่ใช้ยึดชิ้นงานสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมในช่องปากมากกว่าปกติ ซึ่งจะเร่งการเสื่อมสลายของซีเมนต์ ทำให้เกิดการรั่วซึม เกิดฟันผุและจะส่งผลให้เกิดความล้มเหลวของชิ้นงานในท้ายที่สุด การศึกษาครั้งนี้เป็นการทดลองในห้องทดลอง สมบัติของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ยังจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านอื่น ๆ เช่นปัจจัยหรือสภาวะที่ส่งเสริมหรือป้องกันการเกิดการเสื่อมสลายของเรซินซีเมนต์ และควรมีการศึกษาผลการใช้งานระยะยาวทางคลินิกเพิ่มเติมอีกด้วย การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลที่สามารถใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุที่ให้สมบัติที่ดีต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

1. ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมและการละลายนั้นเป็นอิทธิพลจากทั้งยี่ห้อของซีเมนต์ รูปแบบการบ่มตัวที่ต่างกัน และสารละลายที่สัมผัสต่างชนิด

2. ค่าการดูดซึมละการละลายของรีไลเอ็กซ์ยู200 และเคลียร์ฟิลเอสเอซีเมนต์ เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO ในทุกกลุ่มการทดลอง จึงมีสมบัติที่เหมาะสมในแง่การดูดซึมและการละลายในการเลือกใช้วัสดุ
3. ค่าการดูดซึมของแม็กเซมอีลีทมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่ ISO กำหนดในทุกกลุ่มการทดลอง และมีค่าการละลายต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด ในกลุ่มบ่มเองที่แช่ในน้ำกลั่นและที่แช่ในกรดแลคติก ซึ่งอาจต้องพิจารณาร่วมกับสมบัติอื่นเพิ่มเติมหากจะเลือกใช้งานวัสดุนี้

4. เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วม เมื่อไม่ถูกกระตุ้นด้วยแสงจะทำให้มีการดูดซึมและการละลายมากขึ้น ดังนั้นอาจการใช้งานอาจต้องใช้เวลาในการปล่อยให้บ่มตัวนานขึ้น เมื่อใช้กับวัสดุบูรณะที่แสงผ่านได้น้อยหรือวัสดุที่ทึบแสง
5. กรดแลคติกและเอทิลแอลกอฮอล์ มีแนวโน้มทำให้เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วมมีการดูดซึมและการละลายมากขึ้น ดังนั้นการสร้างชิ้นงานบูรณะที่ดี และหลีกเลี่ยงการสัมผัสของซีเมนต์กับสิ่งแวดล้อมภายนอกจึงยังเป็นสิ่งจำเป็น

รายการอ้างอิง

1. Rosenstiel SF, Land MF, Crispin BJ. Dental luting agents: A review of the current literature. The Journal of prosthetic dentistry. 1998;80(3):280-301.
2. Radovic I, Monticelli F, Goracci C, Vulicevic ZR, Ferrari M. Self-adhesive resin cements: a literature review. The journal of adhesive dentistry. 2008;10(4):251-8.
3. De Munck J, Vargas M, Van Landuyt K, Hikita K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials. 2004;20(10):963-71.
4. Knobloch LA, Kerby RE, McMillen K, Clelland N. Solubility and sorption of resin-based luting cements. Operative dentistry. 2000;25(5):434-40.
5. Malacarne J, Carvalho RM, de Goes MF, Svizero N, Pashley DH, Tay FR, et al. Water sorption/solubility of dental adhesive resins. Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials. 2006;22(10):973-80.
6. Yoshida K, Tanagawa M, Atsuta M. In-vitro solubility of three types of resin and conventional luting cements. Journal of oral rehabilitation. 1998;25(4):285-91.
7. Han L, Okamoto A, Fukushima M, Okiji T. Evaluation of physical properties and surface degradation of self-adhesive resin cements. Dental materials journal. 2007;26(6):906-14.
8. Hofmann N, Papsthart G, Hugo B, Klaiber B. Comparison of photo-activation versus chemical or dual-curing of resin-based luting cements regarding flexural strength, modulus and surface hardness. Journal of oral rehabilitation. 2001;28(11):1022-8.
9. Fonseca RG, Santos JG, Adabo GL. Influence of activation modes on diametral tensile strength of dual-curing resin cements. Brazilian oral research. 2005;19(4):267-71.
10. Rosenstiel SF LM, Fujimoto J. Contemporary fixed prosthodontics. 4th ed. St. Louis: Elsevier Mosby; 2006.

Chulalongkorn University

11. Smith DC. Dental cements. Current status and future prospects. Dental clinics of North America. 1983;27(4):763-92.

12. Diaz-Arnold AM, Vargas MA, Haselton DR. Current status of luting agents for fixed prosthodontics. The Journal of prosthetic dentistry. 1999;81(2):135-41.

13. Anusavice KJ PR. Phillips' science of dental materials. 11th ed. St. Louis: W.B. Saunders; 2003.

14. Burke FJ, Crisp RJ, Richter B. A practice-based evaluation of the handling of a new self-adhesive universal resin luting material. International dental journal. 2006;56(3):142-6.

15. Railsback LB. Some Fundamentals of Mineralogy and Geochemistry 2006 [cited 2015 19 Mar]. Available from: http://www.gly.uga.edu/railsback/FundamentalsIndex.html.

16. Ferracane JL. Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials. 2006;22(3):211-22.

17. Mese A, Burrow MF, Tyas MJ. Sorption and solubility of luting cements in different solutions. Dental materials journal. 2008;27(5):702-9.

18. Tanoue N, Koishi Y, Atsuta M, Matsumura H. Properties of dual-curable luting composites polymerized with single and dual curing modes. Journal of oral rehabilitation. 2003;30(10):1015-21.

19. Kumbuloglu O, Lassila LV, User A, Vallittu PK. A study of the physical and chemical properties of four resin composite luting cements. The International journal of prosthodontics. 2004;17(3):357-63.

20. Faria-e-Silva A, Boaro L, Braga R, Piva E, Arias V, Martins L. Effect of immediate or delayed light activation on curing kinetics and shrinkage stress of dual-cure resin cements. Operative dentistry. 2011;36(2):196-204.

21. Faria-e-Silva AL, Fabiao MM, Arias VG, Martins LR. Activation mode effects on the shear bond strength of dual-cured resin cements. Operative dentistry. 2010;35(5):515-21.

22. Piwowarczyk A, Lauer HC. Mechanical properties of luting cements after water storage. Operative dentistry. 2003;28(5):535-42.

23. Tanoue N, Matsumura H, Atsuta M. Properties of four composite veneering materials polymerized with different laboratory photo-curing units. Journal of oral rehabilitation. 1998;25(5):358-64.

24. Tanoue N, Matsumura H, Atsuta M. Effectiveness of polymerization of a prosthetic composite using three polymerization systems. The Journal of prosthetic dentistry. 1999;82(3):336-40.

25. Chaves LP, GRACIANO FMO, JÚNIOR OB, PEDREIRA APRdV, MANSO AP, WANG L. Water interaction with dental luting cements by means of sorption and solubility. Braz Dent Sci. 2012;15(4):29-35.

26. Marghalani HY. Sorption and solubility characteristics of self-adhesive resin cements. Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials. 2012;28(10):e187-98.

27. Vrochari AD, Eliades G, Hellwig E, Wrbas KT. Water sorption and solubility of four self-etching, self-adhesive resin luting agents. The journal of adhesive dentistry. 2010;12(1):39-43.

28. Braga RR, Cesar PF, Gonzaga CC. Mechanical properties of resin cements with different activation modes. Journal of oral rehabilitation. 2002;29(3):257-62.

29. Cekic-Nagas I, Ergun G. Effect of different light curing methods on mechanical and physical properties of resin-cements polymerized through ceramic discs. Journal of applied oral science : revista FOB. 2011;19(4):403-12.

30. Ferracane JL, Stansbury JW, Burke FJ. Self-adhesive resin cements - chemistry, properties and clinical considerations. Journal of oral rehabilitation. 2011;38(4):295-314.

31. Bagheri R, Tyas MJ, Burrow MF. Comparison of the effect of storage media on hardness and shear punch strength of tooth-colored restorative materials. American journal of dentistry. 2007;20(5):329-34.

32. Distler W, Kroncke A. The acid pattern in human dental plaque. Journal of dental research. 1983;62(2):87-91.

33. Lee SY, Huang HM, Lin CY, Shih YH. Leached components from dental composites in oral simulating fluids and the resultant composite strengths. Journal of oral rehabilitation. 1998;25(8):575-88.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลค่าการดูดซึมทั้ง 18 กลุ่ม

Tests of Normality

		Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	group	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
SP	LWSA	.188	10	.200*	.905	10	.251
	LWRX	.292	10	.016	.856	10	.069
	LWMC	.208	10	.200*	.889	10	.166
	LASA	.235	10	.126	.909	10	.276
	LARX	.188	10	.200*	.877	10	.119
	LAMC	.193	10	.200*	.919	10	.345
	LLSA	.248	10	.081	.850	10	.058
	LLRX	.240	10	.106	.878	10	.125
	LLMC	.182	10	.200*	.914	10	.311
	CWSA	.203	10	.200*	.899	10	.212
	CWRX	.246	10	.088	.847	10	.053
	CWMC	.241	10	.104	.860	10	.075
	CASA	.158	10	.200*	.938	10	.533
	CARX	.178	10	.200*	.882	10	.136
	CAMC	.218	10	.198	.922	10	.375
	CLSA	.271	10	.036	.891	10	.172
	CLRX	.239	10	.112	.874	10	.111
	CLMC	.208	10	.200*	.915	10	.319

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

จาก Shapiro-Wilk พบว่าค่าการดูดซึมทุกกลุ่มมีค่า p>0.05 แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

ตารางที่ 8 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลค่าการการละลายทั้ง 18 กลุ่ม

Tests of Normality

		Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	group	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
SL	LWSA	.236	10	.121	.847	10	.053
	LWRX	.227	10	.157	.869	10	.097
	LWMC	.200	10	.200*	.904	10	.240
	LASA	.305	10	.009	.891	10	.174
	LARX	.198	10	.200*	.901	10	.225
	LAMC	.220	10	.185	.891	10	.174
	LLSA	.202	10	.200*	.902	10	.233
	LLRX	.276	10	.029	.882	10	.138
	LLMC	.240	10	.107	.888	10	.159
	CWSA	.218	10	.197	.917	10	.335
	CWRX	.281	10	.024	.854	10	.065
	CWMC	.169	10	.200*	.928	10	.428
	CASA	.194	10	.200*	.876	10	.118
	CARX	.127	10	.200*	.947	10	.634
	CAMC	.267	10	.042	.872	10	.105
	CLSA	.273	10	.034	.845	10	.051
	CLRX	.200	10	.200*	.874	10	.111
	CLMC	.203	10	.200*	.906	10	.256

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

จาก Shapiro-Wilk พบว่าค่าการละลายทุกกลุ่มมีค่า p>0.05 แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

ตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณแบบ 3 ทาง

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
cement	SOR	21619.004	2	10809.502	2979.031	.000
	SOL	3584.755	2	1792.378	672.745	.000
curing	SOR	977.470	1	977.470	269.384	.000
	SOL	39.612	1	39.612	14.868	.000
solution	SOR	141.164	2	70.582	19.452	.000
	SOL	217.807	2	108.904	40.876	.000
cement * curing	SOR	127.966	2	63.983	17.633	.000
	SOL	138.487	2	69.243	25.990	.000
cement * solution	SOR	461.548	4	115.387	31.800	.000
	SOL	22.877	4	5.719	2.147	.077
curing * solution	**SOR**	**83.969**	**2**	**41.985**	**11.571**	**.000**
	SOL	**10.644**	**2**	**5.322**	**1.998**	**.139**
cement * curing * solution	**SOR**	**138.567**	**4**	**34.642**	**9.547**	**.000**
	SOL	**35.454**	**4**	**8.863**	**3.327**	**.012**
Error	SOR	587.822	162	3.629		
	SOL	431.613	162	2.664		
Corrected Total	SOR	24137.508	179			
	SOL	4481.248	179			

a. R Squared = .976 (Adjusted R Squared = .973)

b. R Squared = .904 (Adjusted R Squared = .894)

ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ระหว่างกลุ่มบ่มเองกับบ่มร่วม ด้วยวิธีทางสถิติของ Bonforroni

curing * solution

Pairwise Comparisons

Dependent Variable	solution	(I) curing	(J) curing	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.[b]	95% Confidence Interval for Difference[b]	
							Lower Bound	Upper Bound
SOR	water	light	chemical	-2.734*	.492	.000	-3.706	-1.763
		chemical	light	2.734*	.492	.000	1.763	3.706
	alcohol	light	chemical	-5.496*	.492	.000	-6.467	-4.525
		chemical	light	5.496*	.492	.000	4.525	6.467
	lactic	light	chemical	-5.751*	.492	.000	-6.722	-4.780
		chemical	light	5.751*	.492	.000	4.780	6.722
SOL	**water**	**light**	**chemical**	**-.557**	**.421**	**.188**	-1.389	.276
		chemical	**light**	**.557**	**.421**	**.188**	-.276	1.389
	alcohol	**light**	**chemical**	**-.634**	**.421**	**.135**	-1.466	.199
		chemical	**light**	**.634**	**.421**	**.135**	-.199	1.466
	lactic	light	chemical	-1.625*	.421	.000	-2.457	-.792
		chemical	light	1.625*	.421	.000	.792	2.457

Based on estimated marginal means

*. The mean difference is significant at the .05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าการดูดซึมรายคู่ระหว่างซีเมนต์แต่ละชนิด ด้วยวิธีทางสถิติของ Bonforroni

Pairwise Comparisons

Dependent Variable	curing	solution	(I) cement	(J) cement	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.[b]	95% Confidence Interval for Difference[b] Lower Bound	Upper Bound
SOR	light	water	clearfilSA	RelyX	-2.010	.852	.058	-4.071	.051
				Maxcem	-22.939*	.852	.000	-25.000	-20.878
			RelyX	clearfilSA	2.010	.852	.058	-.051	4.071
				Maxcem	-20.929*	.852	.000	-22.990	-18.868
			Maxcem	clearfilSA	22.939*	.852	.000	20.878	25.000
				RelyX	20.929*	.852	.000	18.868	22.990
		alcohol	clearfilSA	RelyX	1.151	.852	.536	-.910	3.212
				Maxcem	-23.878*	.852	.000	-25.939	-21.817
			RelyX	clearfilSA	-1.151	.852	.536	-3.212	.910
				Maxcem	-25.029*	.852	.000	-27.090	-22.968
			Maxcem	clearfilSA	23.878*	.852	.000	21.817	25.939
				RelyX	25.029*	.852	.000	22.968	27.090
		lactic	clearfilSA	RelyX	-.716	.852	1.000	-2.777	1.345
				Maxcem	-21.931*	.852	.000	-23.992	-19.870
			RelyX	clearfilSA	.716	.852	1.000	-1.345	2.777
				Maxcem	-21.215*	.852	.000	-23.276	-19.154
			Maxcem	clearfilSA	21.931*	.852	.000	19.870	23.992
				RelyX	21.215*	.852	.000	19.154	23.276
	chemical	water	clearfilSA	RelyX	-5.739*	.852	.000	-7.799	-3.678
				Maxcem	-23.252*	.852	.000	-25.313	-21.191
			RelyX	clearfilSA	5.739*	.852	.000	3.678	7.799
				Maxcem	-17.513*	.852	.000	-19.574	-15.453
			Maxcem	clearfilSA	23.252*	.852	.000	21.191	25.313
				RelyX	17.513*	.852	.000	15.453	19.574
		alcohol	clearfilSA	RelyX	-.748	.852	1.000	-2.809	1.313
				Maxcem	-30.591*	.852	.000	-32.652	-28.530
			RelyX	clearfilSA	.748	.852	1.000	-1.313	2.809
				Maxcem	-29.843*	.852	.000	-31.904	-27.782

		Maxcem	clearfilSA	30.591*	.852	.000	28.530	32.652
			RelyX	29.843*	.852	.000	27.782	31.904
	lactic	clearfilSA	RelyX	-7.001*	.852	.000	-9.061	-4.940
			Maxcem	-23.818*	.852	.000	-25.878	-21.757
		RelyX	clearfilSA	7.001*	.852	.000	4.940	9.061
			Maxcem	-16.817*	.852	.000	-18.878	-14.756
		Maxcem	clearfilSA	23.818*	.852	.000	21.757	25.878
			RelyX	16.817*	.852	.000	14.756	18.878

Based on estimated marginal means

*. The mean difference is significant at the .05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าการละลายรายคู่ระหว่างซีเมนต์แต่ละชนิด ด้วยวิธีทางสถิติของ Bonforroni

Pairwise Comparisons

Dependent Variable	curing	solution	(I) cement	(J) cement	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.[b]	95% Confidence Interval for Difference[b] Lower Bound	Upper Bound
SOL	light	water	clearfilSA	RelyX	4.317*	.730	.000	2.551	6.083
				Maxcem	-4.901*	.730	.000	-6.667	-3.135
			RelyX	clearfilSA	-4.317*	.730	.000	-6.083	-2.551
				Maxcem	-9.218*	.730	.000	-10.984	-7.452
			Maxcem	clearfilSA	4.901*	.730	.000	3.135	6.667
				RelyX	9.218*	.730	.000	7.452	10.984
		alcohol	clearfilSA	RelyX	5.013*	.730	.000	3.247	6.778
				Maxcem	-5.160*	.730	.000	-6.926	-3.395
			RelyX	clearfilSA	-5.013*	.730	.000	-6.778	-3.247
				Maxcem	-10.173*	.730	.000	-11.939	-8.407
			Maxcem	clearfilSA	5.160*	.730	.000	3.395	6.926
				RelyX	10.173*	.730	.000	8.407	11.939
		lactic	clearfilSA	RelyX	4.714*	.730	.000	2.948	6.479
				Maxcem	-4.633*	.730	.000	-6.399	-2.867
			RelyX	clearfilSA	-4.714*	.730	.000	-6.479	-2.948
				Maxcem	-9.346*	.730	.000	-11.112	-7.581
			Maxcem	clearfilSA	4.633*	.730	.000	2.867	6.399
				RelyX	9.346*	.730	.000	7.581	11.112
	chemical	water	clearfilSA	RelyX	2.630*	.730	.001	.865	4.396
				Maxcem	-9.362*	.730	.000	-11.127	-7.596
			RelyX	clearfilSA	-2.630*	.730	.001	-4.396	-.865
				Maxcem	-11.992*	.730	.000	-13.758	-10.226
			Maxcem	clearfilSA	9.362*	.730	.000	7.596	11.127
				RelyX	11.992*	.730	.000	10.226	13.758
		alcohol	clearfilSA	RelyX	3.925*	.730	.000	2.159	5.691
				Maxcem	-6.756*	.730	.000	-8.522	-4.990
			RelyX	clearfilSA	-3.925*	.730	.000	-5.691	-2.159
				Maxcem	-10.682*	.730	.000	-12.447	-8.916

	Maxcem	clearfilSA	6.756*	.730	.000	4.990	8.522
		RelyX	10.682*	.730	.000	8.916	12.447
lactic	clearfilSA	RelyX	1.712	.730	.061	-.054	3.478
		Maxcem	-11.445*	.730	.000	-13.211	-9.679
	RelyX	clearfilSA	-1.712	.730	.061	-3.478	.054
		Maxcem	-13.157*	.730	.000	-14.923	-11.392
	Maxcem	clearfilSA	11.445*	.730	.000	9.679	13.211
		RelyX	13.157*	.730	.000	11.392	14.923

Based on estimated marginal means

*. The mean difference is significant at the .05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจิรวัฒน์ เชิงบันลือศักดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ.2527 จบชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสระบุรีวิทยาคม จังหวัดสระบุรี ได้รับปริญญาทันตแพทยศาสตร์บัณฑิต จากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีการศึกษา2552 จากนั้นเข้ารับราชการตำแหน่งทันตแพทย์ปฏิบัติการ ที่โรงพยาบาลพนมดงรักเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา อำเภอพนมดงรัก จังหวัดสุรินทร์ ปีพ.ศ.2553-2554 จากนั้นย้ายกลับภูมิลำเนา รับราชการที่โรงพยาบาลเสาไห้เฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา อำเภอเสาไห้ จังหวัดสระบุรี เมื่อพ.ศ.2555 ปัจจุบันลาศึกษาต่อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University