

## การดูดซึมและการละลายของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวร่วม ที่บ่มตัวและแช่ในสารละลายที่แตกต่างกัน

### Sorption and Solubility of Dual Cure Self-Adhesive Resin Cements with Different Curing Modes and Immersion Media

จิรวัดน์ เชิงบันลือศักดิ์<sup>1</sup> และ นิยม ชำรงค้อนันต์สกุล<sup>2\*</sup>

Jirawat Choengbunluesak<sup>1</sup> and Niyom Thamrongananskul<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>นิสิตหลังปริญญา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<sup>2</sup>อาจารย์ประจำ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<sup>1</sup>Post graduate student in Master of Science Program in Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University

<sup>2</sup>Lecturer, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University

\*Corresponding author, E-mail: niyom.n@chula.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซึมและการละลายของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ 3 ชนิด ได้แก่ เคลียร์ฟิลเอสเอรีไลเอ็กซ์ยู200 และเม็กเซมอีลีท ที่บ่มตัวด้วยวิธีต่างกัน และแช่ในสารละลายต่างชนิด เตรียมชิ้นงานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร ใช้ชิ้นงาน 60 ชิ้นจากซีเมนต์แต่ละชนิด โดยแบ่งซีเมนต์แต่ละชนิด เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มบ่มร่วม และกลุ่มบ่มเองที่ไว้แสงกระตุ้น และแต่ละกลุ่มจะถูกแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 10 ชิ้น ซึ่งแต่ละกลุ่มจะถูกนำไปแช่ในสารละลายที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น สารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 20 และสารละลายกรดแลคติกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ การคำนวณค่าการดูดซึมและการละลายปฏิบัติตามมาตรฐาน ISO 4049: 2000(E) โดยชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนและหลังการแช่สารละลายและหลังจากการดูดความชื้นจนแห้งสนิท ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณแบบ 3 ทางและบอนเฟอร์โรนี พบว่าค่าเฉลี่ยการดูดซึมของซีเมนต์ทุกชนิดได้รับอิทธิพลจากปฏิสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างการบ่มตัวที่ต่างกันร่วมกับสารละลายที่ใช้แช่ต่างชนิด แต่ไม่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยการละลาย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มบ่มร่วมกับบ่มเองพบว่าค่าเฉลี่ยการดูดซึมในกลุ่มบ่มเองมีค่าสูงกว่ากลุ่มบ่มร่วมในทุกสารละลาย ส่วนค่าเฉลี่ยการละลายพบว่ากลุ่มบ่มเองมีค่าสูงกว่าบ่มร่วมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะกลุ่มที่แช่ในกรดแลคติก นอกจากนี้พบว่าเม็กเซมอีลีทมีค่าเฉลี่ยการดูดซึมและการละลายสูงกว่าซีเมนต์อีกสองชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง

**คำสำคัญ:** การดูดซึม การละลาย เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ รูปแบบการบ่มตัว

## Abstract

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, 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 values 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 values. The SP values of the dark-cured group were significantly higher than dual-cured group in all immersion media while the SL values of the dark-cured group were significantly higher than the dual-cured group only when immersed in lactic acid. Maxcem Elite showed higher means of SP and SL than those of other cements in all groups.

**Keywords:** Sorption, Solubility, Self-adhesive resin cement, Curing mode

## 1. บทนำ

เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ (self-adhesive resin cement) เป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้น เนื่องจากความสะดวกในการใช้งานและแรงยึดติดที่มีค่าที่ยอมรับได้ โดยซีเมนต์สามารถทำการปรับสภาพผิวฟันและใช้ยึดชิ้นงานได้ในขั้นตอนเดียว ทำให้ลดขั้นตอนและเวลาการทำงาน และยังลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากขั้นตอนการปรับสภาพฟันและการทาสารยึดติดของซีเมนต์ระบบเดิม (Radovic et al., 2008) ซีเมนต์ชนิดนี้มีส่วนผสมสำคัญคือฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ที่เป็นกรด (acidic functional monomer) ซึ่งมีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) โดยฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ที่เป็นกรดนี้มีกลุ่มของฟอสเฟตและฟอสโฟเนต ซึ่งสามารถละลายแร่ธาตุพร้อมทั้งสามารถแทรกซึมเข้าไปในชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟัน มีผลทำให้เกิดการเชื่อมยึดที่แข็งแรงระหว่างเรซินซีเมนต์กับโครงสร้างของฟัน โดยกลไกการยึดติดเชิงกล (De Munck et al., 2004) และกลุ่มฟอสเฟตสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออนของไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite) ในโครงสร้างฟัน ทำให้เกิดการเชื่อมยึดเชิงเคมีซึ่งช่วยเพิ่มแรงยึดติดได้อีกด้วย

สมบัติที่ดีของเรซินซีเมนต์คือให้การยึดอยู่ที่ดีกว่าซีเมนต์แบบดั้งเดิม นอกจากนี้สมบัติที่ต้องการจากซีเมนต์ที่ใช้ยึดชิ้นงานคือความทนทานและใช้งานได้ยาวนาน การดูดซึม (sorption) และการละลาย (solubility) เป็นสมบัติหนึ่งที่ใช้บ่งบอกความทนทานของเรซินซีเมนต์ (Knobloch et al., 2000) เนื่องจากพบว่าการที่วัสดุที่ใช้ยึดชิ้นงานในช่องปากนั้นต้องสัมผัสกับของเหลวภายในปากอยู่ตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นน้ำลาย อาหาร หรือสภาวะกรด-ด่างต่าง ๆ Malacarne และคณะ (Malacarne et al., 2006) พบว่าการดูดซึมและการละลายตัวของเรซิน จะทำให้เกิดกระบวนการทางเคมีและทางกายภาพซึ่งมีผลต่อโครงสร้างและหน้าที่ของพอลิเมอร์ เพิ่มโอกาสการสลายตัว (degradation) ของซีเมนต์และสลายการเชื่อมยึด (debonding) ของฟันกับชิ้นงานบูรณะ ซึ่งมีความเสี่ยงที่จะเกิดการผุของเนื้อฟันอีกด้วย (Yoshida et al., 1998) เนื่องจากเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์มีส่วนผสมของมอนอเมอร์ที่มีสมบัติชอบน้ำ เพื่อทำให้มี

ความเข้ากันกับผิวฟันที่มีความชื้นได้ดี สามารถเข้าละลายแร่ธาตุและแทรกซึมในเนื้อฟัน จึงทำให้ซีเมนต์ชนิดนี้มีแนวโน้มในการตอบสนองต่อน้ำได้มาก โดยอาจเกิดได้ทั้งการดูดซึมและการละลายซึ่งส่งผลต่อสมบัติของวัสดุทั้งสิ้น (Han et al., 2007)

การใช้งานของเซฟต์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ ตามที่ผู้ผลิตแนะนำ สามารถใช้ยึดครอบฟัน สะพานฟัน เคียวฟัน ทั้งที่ทำจากพอร์ซเลน เรซิน และ โลหะ เนื่องจากเซฟต์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์นี้เป็นซีเมนต์ชนิดบ่มร่วม (dual-curing) การใช้งานในบริเวณที่แสงเข้าถึงได้น้อย เช่นบริเวณซอกฟัน ภายในครอบโลหะหรือพอร์ซเลนที่ทึบแสงนั้น การบ่มตัวของซีเมนต์จะมีความแตกต่างเพียงใด ซึ่งการเกิดพอลิเมอร์ที่เพียงพอของเรซินซีเมนต์มีผลสำคัญต่อความคงตัวและความเข้ากันได้กับร่างกาย (compatibility) ของชิ้นงานบูรณะ (Fonseca et al., 2005; Hofmann et al., 2001) และเนื่องจากสภาวะในช่องปาก นอกจากน้ำและน้ำลายยังมีอาหาร เครื่องดื่ม หรือสารเคมีต่าง ๆ เช่น แอลกอฮอล์ และกรดที่ถูกสร้างจากคราบจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นที่น่าสนใจว่าสิ่งเหล่านี้จะมีผลต่อการดูดซึมและการละลายของเซฟต์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์หรือไม่

## 2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการดูดซึมและการละลายของเซฟต์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวร่วม 3 ผลิตภัณฑ์อันได้แก่ 1. รีไลเอ็กซ์ยู200 2.เคลียร์ฟิลเอสเอ และ 3.แม็กซ์เซมอีลีท ที่สร้างสภาวะการบ่มตัวที่แตกต่างกันคือ 1.บ่มร่วม 2.บ่มเอง รวมถึงสภาวะที่แช่ในสารละลายที่แตกต่างกันคือ น้ำกลั่น เอทานอล และกรดแลคติก

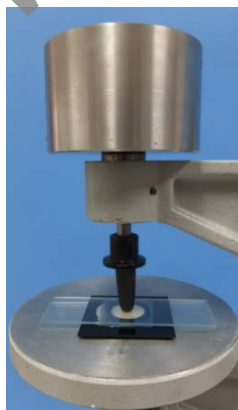
## 3. อุปกรณ์และวิธีการ / วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองนี้ใช้เรซินซีเมนต์ชนิดเซฟต์แอดฮีซีฟ 3 ชนิด ได้แก่ รีไลเอ็กซ์ยู200 (RelyX U200, 3M ESPE, St Paul, MN, USA) เคลียร์ฟิลเอสเอ (Clearfil SA, Kuraray, Kurashiki, Okayama, Japan) และแม็กซ์เซมอีลีท (Maxcem Elite, Kerr, Orange, CA, USA) วัสดุแต่ละชนิดวางที่ 1 ชิ้นงานทั้งหมด 180 ชิ้น เตรียมจากซีเมนต์แต่ละชนิด ชนิดละ 60 ชิ้น โดยแบ่งซีเมนต์แต่ละชนิดเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มบ่มร่วม 30 ชิ้น และกลุ่มบ่มเอง 30 ชิ้น และแต่ละกลุ่มจะถูกแบ่งออกเป็นสามกลุ่มย่อย กลุ่มละ 10 ชิ้น ซึ่งแต่ละกลุ่มจะถูกนำไปแช่ในสารละลายที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 20 และสารละลายกรดแลคติกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของเซฟต์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์

ชื่อผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบ	เลขที่ผลิต
เคลียร์ฟิลเอสเอ	MDP, hydrophobic aromatic dimethacrylate, hydrophobic aliphatic dimethacrylate, colloidal silica, barium glass (filler = 66 wt%; 45 vol%; avg. 2.5µm)	3H0077
รีไลเอ็กซ์ยู200	methacrylated phosphoric ester, dimethacrylate (Bis-GMA/TEGDMA), acetate, stabilizer, initiator, glass, silica, pigment, calcium hydroxide, substituted pyrimidine, peroxy compound (filler = 72 wt%; 50 vol%; avg. <9.5 µm)	580225
แม็กซ์เซมอีลีท	GPDM, co-monomers (mono-, di- and multi-methacrylate), redox initiator system, camphorquinone, bariumaluminosilicate glass, fluoroaluminosilicate glass, nano-ytterbium fluoride, nanosilica (filler = 67 wt%; 46 vol%; avg. 3.6 µm)	5505742

### 3.1 การเตรียมชิ้นงานและวิธีการทดลอง

วิธีการเตรียมชิ้นงานและวิธีการทดสอบการดูดซึมและการละลายของเรซินซีเมนต์ ปฏิบัติตามมาตรฐาน ISO 4049: 2000 เตรียมชิ้นงานโดยใช้แม่แบบพลาสติก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 15 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร วางลงบนแผ่นพลาสติกพอลิเอสเตอร์ (polyester) ชนิดพีอีที (polyethylene terephthalate, PET) ที่วางอยู่บนแผ่นแก้ว จากนั้นใส่เส้นเอ็นพลาสติก เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร พับครึ่ง และยึดด้วยขี้ผึ้งสีชมพู เพื่อให้มีเส้นเอ็นพลาสติกยึดในชิ้นงานยาว 5 มิลลิเมตร จากนั้นผสมซีเมนต์ตามอัตราส่วนและคำแนะนำของบริษัท นำซีเมนต์ที่ผสมแล้วใส่ลงในแบบพลาสติกให้เกินเล็กน้อย ใช้แผ่นพลาสติกพอลิเอสเตอร์วางปิดที่ผิวหน้า เพื่อป้องกันการสัมผัสอากาศขณะบ่มตัว จากนั้นใช้แผ่นแก้วปิดทับอีกครั้งและกดด้วยน้ำหนัก 1 กิโลกรัม (รูปที่ 1) แล้วกำจัดส่วนเกินออก บ่มตัวตามกลุ่มการทดลองที่แบ่งกลุ่มไว้ข้างต้น โดยชิ้นงานกลุ่มบ่มเอง ขึ้นคอบทั้งหมดจะถูกเตรียมในกล่องป้องกันแสงสีอำพัน โดยปล่อยให้บ่มเองด้วยปฏิกิริยาเคมีที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนกลุ่มบ่มร่วม จะทำการฉายแสง ด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (Elipa S10, 3M ESPE, USA) ซึ่งมีความยาวคลื่นช่วง 430-480 นาโนเมตร ความเข้มแสง 1200 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ทำการฉายแสงครั้งละ 20 วินาที เป็นลักษณะ 9 วงซ้อนทับกัน โดย 8 รอบแรกฉายบริเวณรอบแท่งกด แล้วฉายตรงกลางชิ้นงานอีก 1 รอบ โดยทำเหมือนกันทั้งสองด้าน เมื่อทำการบ่มเสร็จนำชิ้นงานออกจากแบบพลาสติก ตรวจสอบชิ้นงานด้วยสายพานและตัดแต่งส่วนเกินบริเวณให้เรียบเสมอกัน หากพบฟองอากาศชิ้นงานจะถูกคัดออก จากนั้นนำไปเข้าโถแก้วสุญญากาศซึ่งมีซิลิกาเจลบรรจุอยู่ที่อุณหภูมิ  $37 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง จากนั้นเปลี่ยน ไปใส่ในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิ  $23 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นจะนำชิ้นงานออกมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลที่มีความแม่นยำ 0.1 มิลลิกรัม ชั่งชิ้นงานซ้ำทุก 24 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ คือ มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ภายใน 24 ชั่วโมง โดยมวลที่ชั่งหลังจากการทำให้แห้งครั้งนี้เรียกว่า  $m$



รูปที่ 1 แสดงการเตรียมชิ้นงาน การกดด้วยน้ำหนัก 1 กิโลกรัมเพื่อกำจัดซีเมนต์ส่วนเกิน

คำนวณหาปริมาตรของชิ้นงาน (V) จากค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางและค่าเฉลี่ยความหนา หน่วยเป็นลูกบาศก์ มิลลิเมตร โดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ตำแหน่ง ห่างกันทำมุม 90 องศา แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลาง วัดความหนาชิ้นงาน โดยวัดบริเวณจุดกึ่งกลางและอีก 4 จุดห่างจากจุดกึ่งกลางเป็นระยะเท่า ๆ กัน แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยความหนา

ต่อมาทำการแช่ชิ้นงานในสารละลาย 3 ชนิด ตามกลุ่มการทดลอง ใช้สารละลาย 10 มิลลิลิตรในกระบอกพลาสติกใสพร้อมฝาปิดและใช้กระบอกพลาสติกสีขาวสำหรับกลุ่มบ่มเอง จากนั้นปิดฝาให้แน่นเพื่อป้องกันการระเหยของสารละลาย นำเข้าสู่ควบคุมอุณหภูมิที่  $37 \pm 1$  องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน นำชิ้นงานขึ้นจากสารละลายแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น ซับน้ำบนชิ้นงานด้วยกระดาษที่ไม่เป็นขุย จนกระทั่งไม่เห็นหยดน้ำ แก้วชิ้นงานในอากาศ 15 วินาที แล้วชั่งน้ำหนักบนทีกเป็นค่า  $m_2$  จากนั้นนำชิ้นงานเข้าโอดูดความชื้นอีกครั้ง และทำให้แห้งโดยใช้กระบวนการเช่นเดียวกับครั้งแรกก่อนการแช่สารละลาย ชั่งชิ้นงานทุกวันจนน้ำหนักคงที่ บันทึกเป็นค่า  $m_3$

### 3.2 การคำนวณค่าการดูดซึมน้ำและการละลาย

คำนวณค่าการดูดซึมน้ำ ( $W_{sp}$ ) และค่าการละลาย ( $W_{sl}$ ) หน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ดังสมการ

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

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

### 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณแบบ 3 ทาง (Three-way MANOVA) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธีทางสถิติของบอนเฟร์โรนี (Bonferroni) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ( $\alpha=0.05$ )

## 4. ผลการวิจัย

ตารางที่ 2 และ 3 แสดงผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ข้อมูล เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณแบบ 3 ทาง เมื่อพิจารณาสองปัจจัยที่ทำการศึกษาคือการบ่มตัวและสารละลายที่ใช้แช่ พบปฏิสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างการบ่มตัวที่ต่างกันร่วมกับสารละลายที่แช่ต่างชนิด มีผลต่อค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ( $F=11.571, p<.000$ ) แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยการละลาย ( $F=1.998, p<.139$ ) และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธีทางสถิติของบอนเฟร์โรนีพบว่าค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำระหว่างกลุ่มบ่มร่วมกับกลุ่มบ่มเองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ( $p<.000$ ) โดยค่าการดูดซึมน้ำในกลุ่มบ่มเองมีค่าสูงกว่ากลุ่มบ่มร่วมในทุกสารละลาย ในส่วนของค่าเฉลี่ยการละลาย พบว่าระหว่างกลุ่มบ่มร่วมกับกลุ่มบ่มเองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ( $p<.000$ ) โดยพบว่ากลุ่มที่แช่ในกรดแลคติกค่าเฉลี่ยการละลายของกลุ่มบ่มเองมีค่าสูงกว่าบ่มร่วมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<.000$ )

การทดลองค่าการดูดซึมน้ำ จากการคำนวณด้วยวิธีทางสถิติของบอนเฟร์โรนีพบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำระหว่างซีเมนต์แต่ละชนิดพบว่า แม็กเซมอีลีทมีค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับเคลียร์ฟิลเอสเอและรีไลเอ็กซ์ยู200 ( $p<0.000$ ) ในทุกกลุ่มการทดลอง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเคลียร์ฟิลเอสเอกับรีไลเอ็กซ์ยู200 พบว่าค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ในทุกกลุ่มการทดลอง ยกเว้นกลุ่มบ่มเองที่แช่ในน้ำกลั่นและกลุ่มบ่มเองที่แช่ในกรดแลคติกที่พบว่าค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำของรีไลเอ็กซ์ยู200 มีค่าสูงกว่าเคลียร์ฟิลเอสเออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.000$ )

การทดลองค่าการละลาย ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าจากการคำนวณด้วยวิธีทางสถิติของบอนเฟร์โรนี เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการละลายระหว่างซีเมนต์แต่ละชนิดพบว่า แม็กเซมอีลีทมีค่าเฉลี่ยการละลายสูงกว่าเคลียร์ฟิลเอสเอและรีไลเอ็กซ์ยู200อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.000$ ) ในทุกกลุ่มการทดลอง และเคลียร์ฟิลเอสเอมีค่าการละลายสูง

กว่ารีไลเอ็ชชู่200อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.000$ ) ในทุกกลุ่มการทดลอง ยกเว้นกลุ่มบ่มเองที่แช่ในเอทานอล พบว่าค่าเฉลี่ยการละลายของเคลียร์ฟิลเอสเอและรีไลเอ็ชชู่200 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>1.000$ ) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าเฉลี่ยการละลายมีค่าติดลบ ในทุกกลุ่มของรีไลเอ็ชชู่200 และเกือบทุกกลุ่มของเคลียร์ฟิลเอสเอ โดยเฉพาะกลุ่มที่แช่ในสารละลายเอทานอล

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการดูดซึมของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์

เรซินซีเมนต์	ค่าเฉลี่ยการดูดซึม (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร)					
	น้ำกลั่น		เอทานอล 20%		กรดแลคติก 0.01M	
	บ่มรวม	บ่มเอง	บ่มรวม	บ่มเอง	บ่มรวม	บ่มเอง
เคลียร์ฟิลเอสเอ	23.2±1.25 <sup>a,A</sup>	24.6±1.91 <sup>b,A</sup>	24.5±1.36 <sup>a,A</sup>	27.1±1.20 <sup>b,A</sup>	24.3±0.60 <sup>a,A</sup>	27.3±2.66 <sup>b,A</sup>
รีไลเอ็ชชู่200	25.2±1.20 <sup>a,A</sup>	30.4±3.46 <sup>b,B</sup>	23.4±0.41 <sup>a,A</sup>	27.9±2.69 <sup>b,A</sup>	23.0±0.93 <sup>a,A</sup>	34.3±2.71 <sup>b,B</sup>
แม็กเซมอีลิท	46.2±1.51 <sup>a,B</sup>	47.9±1.77 <sup>b,C</sup>	48.4±0.96 <sup>a,B</sup>	57.7±1.97 <sup>b,B</sup>	46.2±2.49 <sup>a,B</sup>	51.2±2.01 <sup>b,C</sup>

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มที่บ่มรวมกับกลุ่มที่บ่มเอง ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างกลุ่มในคอลัมน์

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการละลายของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์

เรซินซีเมนต์	ค่าเฉลี่ยการละลาย (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร)					
	น้ำกลั่น		เอทานอล 20%		กรดแลคติก 0.01M	
	บ่มรวม	บ่มเอง	บ่มรวม	บ่มเอง	บ่มรวม	บ่มเอง
เคลียร์ฟิลเอสเอ	0.54±0.01 <sup>a,A</sup>	-0.95±0.28 <sup>a,A</sup>	-1.12±0.31 <sup>a,A</sup>	-1.38±1.21 <sup>a,A</sup>	1.1±0.05 <sup>a,A</sup>	-0.54±0.35 <sup>b,A</sup>
รีไลเอ็ชชู่200	-3.77±1.09 <sup>a,B</sup>	-3.58±0.91 <sup>a,B</sup>	-6.13±0.30 <sup>a,B</sup>	-5.31±0.60 <sup>a,B</sup>	-3.61±0.79 <sup>a,B</sup>	-2.26±1.57 <sup>b,A</sup>
แม็กเซมอีลิท	5.44±0.99 <sup>a,C</sup>	8.41±2.87 <sup>a,C</sup>	4.04±0.40 <sup>a,C</sup>	5.37±2.40 <sup>a,C</sup>	5.74±3.21 <sup>a,C</sup>	10.9±3.89 <sup>b,B</sup>

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มที่บ่มรวมกับกลุ่มที่บ่มเอง ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างกลุ่มในคอลัมน์

## 5. การอภิปรายผล

การทดลองนี้ปฏิบัติตามมาตรฐาน ISO 4049 ซึ่งในเอกสารมาตรฐานดังกล่าวไม่มีการระบุรายละเอียดที่ชัดเจนในบางขั้นตอน โดยการทดลองนี้การเตรียมชิ้นงานกลุ่มบ่มเอง ปล่อยให้ซีเมนต์บ่มเองในกล่องป้องกันแสงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ซีเมนต์มีความแข็งเพียงพอก่อนการนำออกจากแบบพลาสติกและทำการตัดแต่ง โดยการทดลองก่อนหน้านี้ที่ลักษณะคล้ายกันนั้น พบว่าเวลาที่ปล่อยให้ซีเมนต์บ่มเองมีตั้งแต่ 30 นาที ถึง 24 ชั่วโมง (Braga et al., 2002; Faria-e-Silva et al., 2011; Fonseca et al., 2005; Tanoue et al., 2003)

ฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดในเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ ไม่พบในเรซินซีเมนต์กลุ่มอื่น ๆ โดยทั่วไปเรซินซีเมนต์มีส่วนผสมเป็นพวกบิสฟีนอลเอและทีอีจีดีเอ็มเอ (Vrochari et al., 2010) ซึ่งมอนอเมอร์กลุ่มนี้มีความชอบน้ำ แต่มีความชอบน้ำน้อยกว่าเมื่อเทียบกับฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ที่มีหมู่ของกรดเป็นส่วนประกอบ ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิลิกหรืออนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก (Marghalani, 2012) เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ทั้งสามชนิดที่ใช้ใน

การทดลองนี้มีมอนอเมอร์ต่างชนิดกัน แต่ทุกชนิดมีหมู่ฟอสฟอริกที่มีความเป็นกรดเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ เอ็มดีพี (10-methacryloyloxy-decyl dihydrogenphosphate, MDP) ในเคลียร์ฟิลเอสเอ จีพีดีเอ็ม (glycerol dimethacrylate dihydrogen phosphate, GPDM) ในแม็กเซมอีที และเมทาคริลेटฟอสฟอริกเอสเทอร์ ในรีไลเอ็กซ์ยู200 ซึ่งอาจคาดการณ์ได้ว่าความชอบน้ำของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากการที่มีหมู่ฟอสเฟตซึ่งมีความเป็นกรดเป็นส่วนประกอบ จากผลการทดลองพบว่าค่าการดูดซึมของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ทั้งสามชนิดมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อค่าการดูดซึมนั้นเป็นได้จากทั้งชนิดของมอนอเมอร์ ชนิดของวัสดุอัดแทรก และปริมาณของวัสดุอัดแทรก

เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ทั้งสามชนิด มีส่วนประกอบของวัสดุอัดแทรกเป็นแก้วที่มีความเป็นต่าง เพื่อที่จะให้เกิดการกลับสู่สภาวะความเป็นกลางของซีเมนต์หลังจากที่มีความเป็นกรดในช่วงเริ่มต้นของปฏิกิริยา โดยกระบวนการเข้าสู่ความเป็นกลางนี้จะทำให้ค่าความเป็นกรดต่างมีค่าเพิ่มขึ้นจากความเป็นกรดสู่ความเป็นกลาง ผ่านการเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่กรดของฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์กับอนุภาควัสดุอัดแทรกที่ต่างกัน (Radovic et al., 2008) โดยเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดก็ใช้เวลาแตกต่างกันไปเพื่อให้ซีเมนต์เข้าสู่สภาวะความเป็นกลาง ซึ่งระยะเวลาที่เข้าสู่สภาวะความเป็นกลางนี้มีผลต่อระยะเวลาที่ซีเมนต์จะสะสมความชอบน้ำยาวนานขึ้น โดยเหตุผลของการใส่แคลเซียมไฮดรอกไซด์ลงในรีไลเอ็กซ์ยู200 เพื่อให้ซีเมนต์เข้าสู่สภาวะความเป็นกลางได้รวดเร็วขึ้น เป็นผลให้การดูดซึมและการละลายของซีเมนต์ลดลง

การทดลองครั้งนี้พบว่า รูปแบบการบ่มตัวมีผลต่อค่าการดูดซึมและการละลายของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ทั้งสามชนิด ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับเรซินซีเมนต์ชนิดอื่นจากการศึกษาที่ผ่านมาของ Tanoue และคณะ (Tanoue et al., 2003) การบ่มตัวด้วยแสงนั้น มีผลต่อการจัดเรียงตัวของโครงข่ายพอลิเมอร์ ทำให้เกิดโครงสร้างพอลิเมอร์แบบ โยงข้ามมากกว่าการบ่มด้วยตัวเอง นอกจากนี้ โครงสร้างทางเคมีของกลุ่มฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์และพันธะคู่ในโครงสร้าง ทำให้มีระดับการเกิด โครงสร้างพอลิเมอร์แบบ โยงข้าม ได้มาก ทำให้มีการดูดซึมและการละลายน้อยกว่าและยังช่วยส่งเสริมสมบัติอื่น ๆ อีกด้วย (Ferracane, 2006)

ปัจจุบันเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วม มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานทันตกรรม เนื่องจากการใช้งานที่ง่ายและขั้นตอน ไม่ซับซ้อน มีหลายการศึกษาและรายงานที่กล่าวถึงค่าการดูดซึมและการละลายของเรซินซีเมนต์ที่บ่มตัวด้วยแสง (Marghalani, 2012; Mese et al., 2008; Vrochari et al., 2010) อย่างไรก็ตามยังมีข้อมูลไม่มากนักเกี่ยวกับเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วมที่ไม่ถูกกระตุ้นด้วยแสงและปล่อยให้บ่มเอง และแนวโน้มการละลายต่าง ๆ ว่ามีผลต่อค่าการดูดซึมและการละลายหรือไม่ และส่งผลอย่างไร จากการศึกษาที่ผ่านมา รูปแบบการบ่มตัวนั้นมีผลในการลดสมบัติต่างๆ เช่น ความแข็งผิว ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และความคงตัวของสี เมื่อซีเมนต์ชนิดบ่มร่วมถูกปล่อยให้บ่มเองเพียงอย่างเดียว (Braga et al., 2002; Cekic-Nagas et al., 2011; Fonseca et al., 2005; Kumbuloglu et al., 2004) ในส่วนของการละลาย มีการรายงานว่าส่วนประกอบที่มีความชอบน้ำในเรซินซีเมนต์จะทำให้วัสดุเกิดการสลายโดยน้ำได้ง่าย (Ferracane et al., 2011)

จากการทดลองครั้งนี้พบว่าค่าการละลายของรีไลเอ็กซ์ยู200 ทุกกลุ่มและเคลียร์ฟิลเอสเอเกือบทุกกลุ่มมีค่าติดลบ จากการศึกษาที่ผ่านมาที่พบค่าการละลายที่มีค่าติดลบเช่นกัน (Mese et al., 2008; Vrochari et al., 2010) ซึ่งการทดลองเพื่อหาค่าการละลายของการศึกษาดังกล่าวก็ปฏิบัติตามมาตรฐาน ISO 4049: 2000 เช่นเดียวกันกับการศึกษาใน

ครั้งนี้ โดยการศึกษาในอดีตอธบายว่า น้ำหนักของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงต่างกันไป หลังจากการทำให้แห้งหลังการแช่ในน้ำหรือสารละลาย เป็นผลมาจากสมดุลที่เกิดขึ้นของมวลที่สูญเสียไปและมวลที่ได้รับเพิ่มขึ้น และค่าการละลายนั้นสามารถเป็นไปได้ทั้งค่าบวก ค่าลบ และศูนย์ (Vrochari et al., 2010) ในการศึกษาครั้งนี้อาจอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้จากสมบัติของวัสดุอัดแทรกในรีไลเอ็กซ์ยู200 และเคลียร์ฟิลเอสเอมีความสามารถในการดูดน้ำได้ดี และร่วมกับการที่ซิลิกาเจลในโถดูดความชื้นไม่สามารถดูดความชื้นจากวัสดุอัดแทรกได้หมดโดยสมบูรณ์ เนื่องจากความสามารถในการดูดน้ำของซิลิกาเจลและวัสดุอัดแทรกไม่แตกต่างกัน ทำให้อาจยังมีน้ำค้างอยู่ภายในชิ้นงาน ถึงแม้ว่ามวลของชิ้นงานจะคงที่แล้วก็ตาม ข้อสันนิษฐานนี้พิสูจน์โดยการทำการอบการที่เรียกว่า ทีจีเอ (Thermogravimetric analysis, TGA) คือกระบวนการวัดน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของวัสดุเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อย ๆ จากการศึกษาในร่องของผู้ทำวิจัยเองพบว่าการทำทีจีเอในชิ้นงานกลุ่มที่มีค่าการละลายเป็นลบ ทำการทดสอบโดยการเพิ่มอุณหภูมิจาก 25 องศาเซลเซียสถึง 105 องศาเซลเซียส ในอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่ามีน้ำหนักลดลงร้อยละ 2 หลังการทำทีจีเอ ซึ่งสันนิษฐานได้ว่ายังคงมีน้ำที่ค้างอยู่ในชิ้นงานอยู่ ซึ่งการทดลองในอนาคตอาจต้องปรับเปลี่ยนเกณฑ์การวัดน้ำหนักคงที่หรือเปลี่ยนสารที่ใช้ในการดูดความชื้นที่มีความสามารถในการดูดน้ำสูงขึ้น

จากการศึกษาของ Bagheri และคณะ (Bagheri et al., 2007) พบว่าถึงขนาดล้อมภายในช่องปากมีผลต่อวัสดุบูรณะทางทันตกรรม ทำให้เกิดการย่อยสลายจากทั้งเชิงกลและทางเคมี (Ferracane, 2006) สำหรับการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้กรดแลคติกในการทดลอง เนื่องจาก Distler และ Kroncke (Distler et al., 1983) พบว่าในคราบจุลินทรีย์ของมนุษย์ประกอบด้วยกรดแลคติกถึงร้อยละ 70 จากกรดทั้งหมด ดังนั้นภายในช่องปากของมนุษย์จึงมีกรดชนิดนี้ในปริมาณมากกว่ากรดอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ที่ผลิตโดยคราบจุลินทรีย์ จากข้อมูลข้างต้น การทดลองนี้ใช้ความเข้มข้นของกรดแลคติก คือ 0.01 โมลาร์ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 เพื่อจำลองสภาวะในช่องปากของมนุษย์เท่าที่จะเป็นไปได้ เนื่องจากกรดแลคติกและแอลกอฮอล์อาจเร่งการเกิดการสลายตัวโดยน้ำของวัสดุเรซิน (Lee et al., 1998) และในชีวิตประจำวันช่องปากของเราก็สัมผัสกับแอลกอฮอล์จากเครื่องดื่ม หรือน้ำยาบ้วนปากซึ่งพบว่าอาจมีแอลกอฮอล์เป็นส่วนผสมมากถึงร้อยละ 26 การทดลองครั้งนี้พบว่า แม็กเนมิอิลิทที่บ่มเองมีค่าการดูดซึมน้ำในแอลกอฮอล์มีค่าสูงกว่าที่แช่ในน้ำกลั่นและกรดแลคติก และพบว่าค่าการละลายของเคลียร์ฟิลเอสเอและรีไลเอ็กซ์ยู200 ที่บ่มเองมีค่าสูงกว่าเมื่อแช่ในสารละลายกรดแลคติก

เมื่อเปรียบเทียบตามมาตรฐาน ISO 4049: 2000 ที่ระบุไว้ว่าค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุพอลิเมอร์ที่ใช้บูรณะฟันหรือยึดชิ้นงานบูรณะ ควรมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร จากการทดลองนี้พบว่าค่าการดูดซึมน้ำของรีไลเอ็กซ์ยู200 และเคลียร์ฟิลเอสเอนั้น เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานในทุกกลุ่มการทดลอง แต่แม็กเนมิอิลิทมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดในทุกกลุ่มการทดลอง ส่วนมาตรฐานค่าการละลายระบุว่าควรมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร โดยการทดลองพบว่าค่าการละลายของรีไลเอ็กซ์ยู200 และเคลียร์ฟิลเอสเอนั้นเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานในทุกกลุ่มการทดลองเช่นเดียวกับค่าการดูดซึมน้ำ แต่แม็กเนมิอิลิทมีค่าการละลายต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดในกลุ่มบ่มเองที่แช่ในน้ำกลั่นและที่แช่ในกรดแลคติก

นอกจากผลการทดลองที่รายงานนั้น ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณแบบ 3 ทาง เมื่อพิจารณาทั้งสามปัจจัยคือ ยี่ห้อของซีเมนต์ รูปแบบการบ่มตัว และสารละลายที่ใช้แช่ พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันและมีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำและการละลายที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ( $F=9.547$ ,



$p < .000$ ), ( $F = 3.327$ ,  $p < .012$ ) ตามลำดับ ซึ่งอาจใช้สถิติชนิดอื่นวิเคราะห์เพิ่มเติม เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์และอิทธิพลของแต่ละปัจจัยต่อไป

การศึกษาการดูดซึ่มและการละลายเป็นหนึ่งในสมบัติที่สำคัญ ทำให้ทราบแนวโน้มการเกิดการบวมตัว การละลายตัว ซึ่งปรากฏการณ์ทั้งสองนี้นำไปสู่การเสื่อมสลายของเรซินซีเมนต์ที่เราใช้ยึดชิ้นงาน ดังนั้นการทำชิ้นงานบูรณะที่มีความแนบสนิทเพื่อลดการสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมในช่องปากยังเป็นปัจจัยสำคัญต่อความคงทนและอายุการใช้งานที่ยาวนาน การศึกษาครั้งนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ สมบัติของเซฟไฟแอคทีฟเรซินซีเมนต์ยังจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านอื่น ๆ และควรมีการศึกษาผลการใช้งานระยะยาวทางคลินิกเพิ่มเติมอีกด้วย การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นข้อมูลส่วนหนึ่งที่สามารถใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกวัสดุที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดต่อไป

## 6. บทสรุป

6.1 เซฟไฟแอคทีฟเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มร่วม เมื่อไม่ถูกกระตุ้นด้วยแสงจะทำให้มีการดูดซึ่มและการละลายมากขึ้น ดังนั้นการใช้งานอาจต้องใช้เวลาในการปล่อยให้บ่มตัวนานขึ้น เมื่อใช้กับวัสดุบูรณะที่แสงผ่านได้น้อยหรือทึบแสง

6.2 กรดแลคติกและเอทิลแอลกอฮอล์ มีแนวโน้มทำให้เซฟไฟแอคทีฟเรซินซีเมนต์ มีการดูดซึ่มและการละลายมากขึ้น ดังนั้นการสร้างชิ้นงานบูรณะที่ดีและหลีกเลี่ยงการสัมผัสของซีเมนต์กับสิ่งแวดล้อมภายนอกจึงยังคงจำเป็น

6.3 ค่าการดูดซึ่มและการละลายของเคลียร์ฟิลเอสเอ และวีไลเอ็กซ์ยู200 มีค่าตามมาตรฐานที่ ISO กำหนดทุกกลุ่มการทดลอง ในขณะที่เม็กเซมอีทีทีมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดในเกือบทุกกลุ่มการทดลอง

## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุน 90 ปีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช” จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

## 8. เอกสารอ้างอิง

- Bagheri, R., Tyas, M. J., & Burrow, M. F. (2007). Comparison of the effect of storage media on hardness and shear punch strength of tooth-colored restorative materials. *Am J Dent*, 20(5): 329-334.
- Braga, R. R., Cesar, P. F., & Gonzaga, C. C. (2002). Mechanical properties of resin cements with different activation modes. *J Oral Rehabil*, 29(3): 257-262.
- Cekic-Nagas, I., & Ergun, G. (2011). Effect of different light curing methods on mechanical and physical properties of resin-cements polymerized through ceramic discs. *J Appl Oral Sci*, 19(4): 403-412.
- De Munck, J., Vargas, M., Van Landuyt, K., Hikita, K., Lambrechts, P., & Van Meerbeek, B. (2004). Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. *Dent Mater*, 20(10): 963-971.
- Distler, W., & Kroncke, A. (1983). The acid pattern in human dental plaque. *J Dent Res*, 62(2): 87-91.

- Faria-e-Silva, A., Boaro, L., Braga, R., Piva, E., Arias, V., & Martins, L. (2011). Effect of immediate or delayed light activation on curing kinetics and shrinkage stress of dual-cure resin cements. *Oper Dent*, 36(2): 196-204.
- Ferracane, J. L. (2006). Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. *Dent Mater*, 22(3): 211-222.
- Ferracane, J. L., Stansbury, J. W., & Burke, F. J. (2011). Self-adhesive resin cements - chemistry, properties and clinical considerations. *J Oral Rehabil*, 38(4): 295-314.
- Fonseca, R. G., Santos, J. G., & Adabo, G. L. (2005). Influence of activation modes on diametral tensile strength of dual-curing resin cements. *Braz Oral Res*, 19(4): 267-271.
- Han, L., Okamoto, A., Fukushima, M., & Okiji, T. (2007). Evaluation of physical properties and surface degradation of self-adhesive resin cements. *Dent Mater J*, 26(6): 906-914.
- Hofmann, N., Papsthart, G., Hugo, B., & Klaiber, B. (2001). Comparison of photo-activation versus chemical or dual-curing of resin-based luting cements regarding flexural strength, modulus and surface hardness. *J Oral Rehabil*, 28(11): 1022-1028.
- Knobloch, L. A., Kerby, R. E., McMillen, K., & Clelland, N. (2000). Solubility and sorption of resin-based luting cements. *Oper Dent*, 25(5): 434-440.
- Kumbuloglu, O., Lassila, L. V., User, A., & Vallittu, P. K. (2004). A study of the physical and chemical properties of four resin composite luting cements. *Int J Prosthodont*, 17(3): 357-363.
- Lee, S. Y., Huang, H. M., Lin, C. Y., & Shih, Y. H. (1998). Leached components from dental composites in oral simulating fluids and the resultant composite strengths. *J Oral Rehabil*, 25(8): 575-588.
- Malacarne, J., Carvalho, R. M., de Goes, M. F., Svizero, N., Pashley, D. H., Tay, F. R., Yiu, C. K., & Carrilho, M. R. d. O. (2006). Water sorption/solubility of dental adhesive resins. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 22(10): 973-980.
- Marghalani, H. Y. (2012). Sorption and solubility characteristics of self-adhesive resin cements. *Dent Mater*, 28(10): e187-198.
- Mese, A., Burrow, M. F., & Tyas, M. J. (2008). Sorption and solubility of luting cements in different solutions. *Dent Mater J*, 27(5): 702-709.
- Radovic, I., Monticelli, F., Goracci, C., Vulicevic, Z. R., & Ferrari, M. (2008). Self-adhesive resin cements: a literature review. *J Adhes Dent*, 10(4): 251-258.
- Tanoue, N., Koishi, Y., Atsuta, M., & Matsumura, H. (2003). Properties of dual-curable luting composites polymerized with single and dual curing modes. *J Oral Rehabil*, 30(10): 1015-1021.
- Vrochari, A. D., Eliades, G., Hellwig, E., & Wrbas, K. T. (2010). Water sorption and solubility of four self-etching, self-adhesive resin luting agents. *J Adhes Dent*, 12(1): 39-43.
- Yoshida, K., Tanagawa, M., & Atsuta, M. (1998). In-vitro solubility of three types of resin and conventional luting cements. *J Oral Rehabil*, 25(4): 285-291.