



ผลของความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต สีของซีเมนต์  
และวัสดุทำหลักยึดรากเทียมต่อสีของชิ้นงานบูรณะ

EFFECT OF THICKNESS OF LITHIUM DISILICATE, CEMENT COLOR  
AND IMPLANT ABUTMENT MATERIALS TO FINAL RESTORATION COLOR

ธนโชติ พยุงรัตน์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2563

ผลของความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต สีของซีเมนต์  
และวัสดุทำหลักยึดรากเทียมต่อสีของชิ้นงานบูรณะ



ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก  
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
ปีการศึกษา 2563  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

EFFECT OF THICKNESS OF LITHIUM DISILICATE, CEMENT COLOR  
AND IMPLANT ABUTMENT MATERIALS TO FINAL RESTORATION COLOR



THANACHOT PHAYOONGRAT

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of MASTER OF SCIENCE  
(Clinical Dentistry)

Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University

2020

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลของความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต สีของซีเมนต์

และวัสดุทำหลักยึดรากเทียมต่อสีของชิ้นงานบูรณะ

ของ

ธนโชติ พยุงรัตน์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ..... ประธาน  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มะลิ พลานูเวช) (รองศาสตราจารย์ ดร.วิทธิพล ศรีมณีพงศ์)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.รุ่งทิวา ศรีสุวรรณหา)

ชื่อเรื่อง	ผลของความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซลิเกต สีของซีเมนต์ และวัสดุทำหลักยึดรากเทียมต่อสีของชิ้นงานบูรณะ
ผู้วิจัย	ธนโชติ พยุกรณ์
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มะลิ พลานูเวช

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางหลังบูรณะบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมร่วมกับการมีและไม่มีซีเมนต์ โดยแบ่งกลุ่มขึ้นทดสอบเซรามิก (ความหนา 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตร) ขึ้นทดสอบพื้นหลังตามวัสดุทำหลักยึดรากเทียม (ไทเทเนียม เซอร์โคเนีย ไทเทียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40, 50, 60 และ 70 โวลต์) และขึ้นทดสอบซีเมนต์เนกซ์สทรีตามสี (สีขาว สีขาวทึบ และสีเหลือง) กลุ่มละ 7 ชิ้น โดยวิธีสุ่มอย่างง่าย ทำการทดลอง 2 ส่วน ได้แก่ มีและไม่มีซีเมนต์ โดยวัดสีขึ้นทดสอบเซรามิกบนขึ้นทดสอบพื้นหลังด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ หาค่าความแตกต่างของสีโดยใช้ระบบซีไออี การทดลองส่วนที่มีซีเมนต์ทำการทดสอบเหมือนกัน โดยขึ้นทดสอบซีเมนต์อยู่ระหว่างขึ้นทดสอบเซรามิกและขึ้นทดสอบพื้นหลัง ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนและทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธีทดสอบทุกที่ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการทดลองพบว่าค่าความแตกต่างของสีที่น้อยที่สุดในส่วนที่ไม่มีซีเมนต์พบในความหนาเซรามิก 2.50 มิลลิเมตรบนเซอร์โคเนีย ( $1.07 \pm 0.16$ ) และในส่วนที่ใช้ซีเมนต์พบในความหนาเซรามิก 2.50 มิลลิเมตรบนเซอร์โคเนียร่วมกับซีเมนต์สีขาวทึบและสีเหลือง ( $1.41 \pm 0.07$  และ  $1.36 \pm 0.13$  ตามลำดับ) และบนไทเทเนียมร่วมกับซีเมนต์สีขาว ( $2.03 \pm 0.16$ ) สรุปความหนาของเซรามิกลิเทียมไดซลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลาง วัสดุทำหลักยึดรากเทียม และสีของซีเมนต์มีผลต่อค่าความแตกต่างของสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความหนาของเซรามิกมากขึ้นจะทำให้ค่าความแตกต่างของสีลดลง อีกทั้งเมื่อความหนาเซรามิกมากกว่าหรือเท่ากับ 2.50 มิลลิเมตรจะทำให้สีของหลักยึดรากเทียมไม่มีผลต่อค่าความแตกต่างของสีที่ระดับน้อยกว่า 2.60 และสีของซีเมนต์สามารถปิดสีหลักยึดรากเทียมที่ระดับน้อยกว่า 5.50

คำสำคัญ : ลิเทียมไดซลิเกต หลักยึดรากเทียม สีของซีเมนต์ ค่าความแตกต่างของสี

Title	EFFECT OF THICKNESS OF LITHIUM DISILICATE, CEMENT COLOR AND IMPLANT ABUTMENT MATERIALS TO FINAL RESTORATION COLOR
Author	THANACHOT PHAYOONGRAT
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2020
Thesis Advisor	Assistant Professor doctor Mali Palanuwech

The purpose of this in vitro study is to investigate the final color of lithium disilicate on implant materials with and without resin cement. There are seven of each medium translucency of IPS e.max CAD (1.00, 1.50, 2.00, 2.50 mm in thickness) were randomly selected and paired with seven different types of implant abutments (Ti, Zr, ATi40, ATi50, ATi60 and ATi70). All ceramic specimen colors were measured between multiple shades of Nexus III cement (white, white opaque and yellow) and with no cement by the spectrophotometer. The data were recorded as CIE L\*a\*b\* color co-ordinates, calculated into  $\Delta E$  value. The statistical analysis was performed with ANOVA and Tukey's HSD test ( $p=0.05$ ). The results of the experiment showed that the lowest  $\Delta E$  was thickness 2.50 mm on Zr ( $1.07\pm 0.16$ ) in the without cement group and a thickness of 2.50 mm on Zr with white opaque and yellow cement ( $1.41\pm 0.07$  and  $1.36\pm 0.13$ , respectively) and on titanium with white cement ( $2.03\pm 0.16$ ) in the with cement group. In conclusion, all examined parameters influenced the final color of IPS e.max CAD and increasing ceramic thickness over the abutment background decreased the color mismatch. Moreover, the color of the implant abutment didn't have an effect on the perceptability threshold ( $\Delta E < 2.60$ ) and the cement color could mask the implant abutment at a clinical acceptable level ( $\Delta E < 5.50$ ) when the ceramic thickness was greater than 2.50 mm.

Keyword : Lithium disilicate implant abutment cement color color difference



## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสามารถช่วยเหลือ และความเอาใจใส่อย่างดี ยิ่งตลอดจนการให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการปรับแก้ไขข้อบกพร่อง จากคณะกรรมการผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทนตแพทย์หญิงมะลิ พลานูเวชที่ได้ให้ความเมตตากรุณาเป็นที่ปรึกษาและให้ความช่วยเหลือชี้แนะแนวทางในสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกาและการทำปริญญาานิพนธ์นี้ด้วยความเอาใจใส่ตลอดมารวมทั้งรองศาสตราจารย์ ดร. ทนตแพทย์วิวิธพิล ศรีมณีพงศ์ และอาจารย์ ดร. ทนตแพทย์หญิงรุ่งทิวา ศรีสุวรรณธนาที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะต่างๆเพิ่มเติมแก่ผู้วิจัย ทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์และกรรมการบริหารหลักสูตรสาขาทันตกรรมคลินิก คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่านที่ได้กรุณาประสิทธิประสาทความรู้ต่างๆให้แก่ผู้วิจัย ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ที่ห้องปฏิบัติการทางทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒสำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจให้กับผู้วิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอโน้มรำลึกถึงคุณของบิดามารดาและครูอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

ธนโชติ พยุงรัตน์



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ .....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ขอบเขตการวิจัย.....	4
นิยามศัพท์เฉพาะ .....	4
กรอบแนวคิดงานวิจัย .....	5
สมมติฐานงานวิจัย.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
1. การบูรณะทันตกรรมรากเทียม .....	7
2. หลักยึดรากเทียม.....	10
3. การเปลี่ยนแปลงสีบนหลักยึด .....	12
4. เซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต.....	13
5. ซีเมนต์ .....	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย .....	18

1. การคำนวณขนาดตัวอย่าง (Sample size calculation).....	18
2. การสร้างเครื่องมือในการวิจัย .....	18
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	24
4. การวิเคราะห์ข้อมูล .....	28
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	29
1. ผลลัพธ์ของข้อมูลค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึด รากเทียม .....	29
2. การวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิก สีของซีเมนต์ และ วัสดุทำหลักยึดรากเทียม.....	35
บทที่ 5 การสรุป อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ .....	45
1. อภิปรายผลค่าความแตกต่างของสีระหว่างเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตและวัสดุทำหลักยึด .....	45
2. อภิปรายผลค่าความแตกต่างของสีระหว่างเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต สีของซีเมนต์ และ วัสดุทำหลักยึด .....	52
3. การประยุกต์ใช้ทางคลินิก.....	57
บรรณานุกรม .....	58
ประวัติผู้เขียน.....	69

## สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงค่าความแตกต่างของสีโดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิก และวัสดุทำหลักยึดรากเทียม .....	29
ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกตามความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึด รากเทียม .....	31
ตาราง 3 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีจำแนกตามความ หนาของเซรามิกเป็นรายคู่ ด้วยวิธีทดสอบของทูกี .....	32
ตาราง 4 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีจำแนกตามวัสดุทำ หลักยึดรากเทียมเป็นรายคู่ ด้วยวิธีทดสอบของทูกี .....	33
ตาราง 5 แสดงค่าความแตกต่างของสีโดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิก วัสดุทำหลักยึดรากเทียม และเรซินซีเมนต์สีขาว .....	35
ตาราง 6 แสดงค่าความแตกต่างของสีโดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาเซรามิก วัสดุ ทำหลักยึดรากเทียม และเรซินซีเมนต์สีขาว .....	36
ตาราง 7 แสดงค่าความแตกต่างของสีโดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิก วัสดุทำหลักยึดรากเทียม และเรซินซีเมนต์สีเหลือง .....	38
ตาราง 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกตามความหนาของเซรามิก สีของซีเมนต์ และ วัสดุทำหลักยึดรากเทียม .....	39
ตาราง 9 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีจำแนกตามความ หนาของเซรามิกเป็นรายคู่ ด้วยวิธีทดสอบของทูกี .....	41
ตาราง 10 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีจำแนกตามความ หนาของเซรามิกเป็นรายคู่ ด้วยวิธีทดสอบของทูกี .....	42

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 เครื่องกลึงเซรามิก (MasterMill N4, VHF, Germany).....	20
ภาพประกอบ 2 ขั้นตอนการเปลี่ยนชั้นทดสอบคอมโพสิตเรซินสีเนื้อฟันเอสสอง .....	21
ภาพประกอบ 3 เครื่อง KPS1203D สำหรับทำอะโนไดซ์.....	22
ภาพประกอบ 4 ชั้นทดสอบพื้นหลัง โดย A คือ ชั้นทดสอบคอมโพสิต, B คือ ชั้นทดสอบเซอร์โค- เนีย, C คือ ชั้นทดสอบไทเทเนียม และ D คือ ชั้นทดสอบไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์	23
ภาพประกอบ 5 การสร้างชั้นทดสอบซีเมนต์.....	24
ภาพประกอบ 6 ชั้นทดสอบซีเมนต์ (ก) ชั้นทดสอบซีเมนต์สีขาวทึบ (ข) ชั้นทดสอบซีเมนต์สีขาว- โปร่งแสง (ค) ชั้นทดสอบซีเมนต์สีเหลือง .....	24
ภาพประกอบ 7 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Vita Easyshade Advanc V, Germany) .....	26
ภาพประกอบ 8 แผนภูมิแสดงการแบ่งกลุ่มทดสอบของชั้นทดสอบซีเมนต์และชั้นทดสอบพื้นหลัง .....	27
ภาพประกอบ 9 การวางชั้นทดสอบพื้นหลัง ซีเมนต์ และเซรามิก.....	28

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ภูมิหลัง

รากเทียม (Implant) เป็นสิ่งบูรณะที่นิยมนำมาทดแทนฟันตั้งแต่ 1 ซี่ โดยมีการศึกษาถึงอัตราการรอดอยู่รอดของรากเทียมในช่วง 5 ปี พบว่าสูงถึงร้อยละ 92-97 หรืออายุการใช้งานเฉลี่ยมากกว่า 7 ปี ซึ่งมากกว่าการรักษาด้วยสะพานฟันสามยูนิต (Three unit dental bridge)<sup>(1, 2)</sup> แต่คนไข้พึงพอใจต่อการรักษาเพียงร้อยละ 69-76 เท่านั้น โดยปัญหาต่อความพึงพอใจอย่างหนึ่งคือความสวยงาม โดยเฉพาะตำแหน่งฟันหน้า<sup>(3)</sup>

หลักยึดไทเทเนียม (Titanium abutment) เป็นหลักยึดที่มีคุณสมบัติทางกลและทางชีวภาพที่ดี<sup>(4, 5)</sup> ในอดีตนิยมนิยมใช้ครอบฟันโลหะผสมเซรามิก (Porcelain fused to metal crown, PFM) ในการบูรณะร่วมกับหลักยึดไทเทเนียมพบว่ามีความแข็งแรงสูง แต่มีค่าใช้จ่ายที่สูง<sup>(6)</sup> นอกจากนี้หลักยึดไทเทเนียมมีข้อจำกัดด้านความสวยงาม มักเกิดการสะท้อนแถบสีโลหะ (Grayish band) ผ่านชิ้นงานบูรณะและขอบเหงือก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในคนไข้ที่มีชนิดไบโอไทป์ของเหงือกที่บาง (Thin gingival biotype)<sup>(7)</sup> อีกทั้งครอบฟันโลหะผสมเซรามิกมีความขุ่นทึบสูงไม่ให้ความสวยงามเหมือนธรรมชาติ จึงมีการใช้ครอบฟันเซรามิกพบว่าครอบฟันเซอร์โคเนีย (Zirconia crown) สามารถปิดสีของหลักยึดไทเทเนียมได้<sup>(7-9)</sup> แต่มีปัญหาการยึดติดระหว่างครอบฟันและหลักยึด แม้ครอบฟันเซอร์โคเนียจะให้ความสวยงามเหมือนฟันธรรมชาติมากกว่าครอบฟันโลหะผสมเซรามิก แต่มีความทึบมากกว่าครอบฟันเซรามิกชนิดแก้ว (Glass ceramic crown)<sup>(8)</sup> โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อความสวยงามในการบูรณะรากเทียมได้แก่ ชนิดของเซรามิก สีของหลักยึด สีของซีเมนต์ และความหนาของชิ้นงานบูรณะโดยครอบฟันเซรามิกชนิดแก้ว มีความใสและเป็นธรรมชาติสูง<sup>(10, 11)</sup> ซึ่งเซรามิกชนิดแก้วที่นิยมใช้ในปัจจุบันที่ความสวยงามและความแข็งแรงสูงคือเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate)<sup>(10)</sup> แต่พบการสะท้อนของสีหลักยึดไทเทเนียมผ่านชิ้นงานบูรณะ แม้ครอบฟันเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตชนิดทึบแสงสูง (High opacity) และชนิดโปร่งแสงน้อย (Low translucency) ที่ความหนา 2.00 มิลลิเมตรจะสามารถปิดของหลักยึดได้ในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิกหรือค่าความแตกต่างของสีน้อยกว่า 3.00 อย่างไรก็ตามยังคงมีความทึบมากกว่าฟันธรรมชาติจากการลดการสะท้อนของแสงบนชิ้นงานบูรณะ<sup>(11)</sup>

ในการบูรณะครอบฟันลิเทียมไดซิลิเกตจำเป็นต้องใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ในการยึดติด โดยใช้การปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent) เพื่อเพิ่มการยึดติดและความแข็งแรงของครอบฟันลิเทียมไดซิลิเกต<sup>(12)</sup> ซึ่งสีของเรซินซีเมนต์มีส่วนช่วยในการปิดบังสีของ

หลักยึดได้เมื่อครอบฟันเซรามิกลิเทียมไดซิดิเกตมีความหนาน้อยกว่า 2.00 มิลลิเมตร และมีการแนะนำให้ใช้เรซินซีเมนต์สีที่บ่มร่วมกับครอบฟันลิเทียมไดซิดิเกตชนิดโปร่งแสงน้อยในการปิดสีหลักยึดได้<sup>(11)</sup> นอกจากนี้การศึกษาของ Niu และคณะในปี 2013 เกี่ยวกับความหนาของซีเมนต์และสีของเรซินซีเมนต์ต่อเซรามิกลิเทียมไดซิดิเกตบนชั้นทดสอบซิลเวอร์-พัลลาเดียม (Silver-palladium foundation, Ag-Pd) พบว่าความหนาของเรซินซีเมนต์ที่ระดับ 0.10 มิลลิเมตรให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าระดับ 0.30 มิลลิเมตรในเรซินซีเมนต์สีขาว ขาวทึบและเหลือง และดีกว่าระดับ 0.50 มิลลิเมตรเมื่อใช้เรซินซีเมนต์ยี่ห้อเนคซ์ส ทรี (Nexus 3, Kerr) โดยสีขาวทึบให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำที่สุดในทุกกลุ่มทดลอง<sup>(13)</sup>

การพัฒนาหลักยึดให้มีความสวยงามเพื่อลดการสะท้อนของสีหลักยึด จึงได้มีการพัฒนาหลักยึดเซอรโคเนีย (Zirconia abutment) ที่มีสีขาว เพื่อให้เกิดความสวยงามใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ ปัญหาของหลักยึดเซอรโคเนียทั้งขึ้นคือมีการสึกของรากเทียมจากความแข็งผิวของเซอรโคเนียที่มากกว่าไทเทเนียมและความไม่แนบสนิทความหลักยึด (Misfit)<sup>(14-17)</sup> ภายหลังมีการใช้ครอบฟันเซรามิกชนิดแก้วบนส่วนคลุมเซอรโคเนีย (Zirconia coping) ร่วมกับฐานไทเทเนียม (Titanium base) แต่พบปัญหาการแตกหักบริเวณรอยต่อของส่วนคลุมและฐานไทเทเนียม และการสูญเสียการยึดติดของครอบฟันเซรามิกชนิดแก้วบนส่วนคลุม<sup>(18)</sup> นอกจากนี้ส่วนคลุมเซอรโคเนียร่วมกับฐานไทเทเนียมมีขั้นตอนทางห้องปฏิบัติการที่ซับซ้อน มีค่าใช้จ่ายสูง และมีข้อจำกัดในการใช้บริเวณช่องว่างขนาดเล็ก<sup>(19)</sup>

ภายหลังมีการพัฒนาหลักยึดที่ให้ความสวยงามและใช้ในบริเวณช่องว่างขนาดเล็กได้ โดยใช้หลักยึดที่ทำจากทองร่วมกับครอบฟันเซรามิกชนิดแก้ว<sup>(7,9)</sup> โดยมีการศึกษาของ Dede และคณะในปี 2016 เกี่ยวกับเซรามิกลิเทียมไดซิดิเกตที่ความหนา 1.50 มิลลิเมตรต่อการปิดสีหลักยึดทองเซอรโคเนีย และไทเทเนียมพบว่าให้ค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกลิเทียมไดซิดิเกตบนหลักยึดที่ทำจากทองมีค่าใกล้เคียงกับหลักยึดเซอรโคเนียอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิกที่ระดับน้อยกว่า 2.25 ในขณะที่หลักยึดไทเทเนียมให้ค่าความแตกต่างของสีมากกว่า 2.50<sup>(9)</sup> แต่พบปัญหาว่าหลักยึดที่ทำจากทองมีราคาสูง คุณสมบัติทางชีวภาพที่ไม่ดี พบเกิดการละลายตัวของกระดูกและอักเสบของเนื้อเยื่ออ่อนรอบรากเทียมมากกว่าหลักยึดไทเทเนียมและเซอรโคเนีย<sup>(9)</sup> จึงมีการพัฒนาหลักยึดให้มีสีที่สวยงามด้วยวิธีต่างๆ

กระบวนการสร้างสีด้วยปฏิกิริยาอะโนไดซ์เป็นปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่สามารถเปลี่ยนสีของหลักยึดไทเทเนียมให้มีสีต่างๆจากกระแสไฟฟ้าที่กระตุ้น เมื่อใช้หลักยึดที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ร่วมกับครอบฟันเซรามิกชนิดแก้วพบว่าให้ค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ทางคลินิก อีกทั้ง

ปฏิกิริยาอะโนไดซ์จะสร้างความขรุขระบนพื้นผิวของหลักยึด ซึ่งส่งเสริมให้เกิดการยึดเกาะของเนื้อเยื่อไฟโบบลาสต์ของเหงือก (Gingival fibroblast) ทำให้เกิดการผนึกทางชีวภาพ (Biological seal) ที่ดีขึ้น<sup>(4, 19-21)</sup>

ปัจจุบันคนไข้มีความคาดหวังด้านความสวยงามในการบูรณะฟันด้วยรากเทียมสูง การใช้ครอบฟันเซรามิกชนิดแก้วจึงเป็นที่นิยม<sup>(5, 22)</sup> อย่างไรก็ตามการศึกษาเกี่ยวกับเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตบนหลักยึดไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ยังมีน้อย โดยเฉพาะเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลาง (Medium translucency) ยังไม่มีการศึกษาถึงความสวยงามในการบูรณะบนหลักยึด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเน้นไปศึกษาความหนาของเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางและสีของซีเมนต์บนวัสดุทำหลักยึดที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ เพื่อเป็นแนวทางให้ทันตแพทย์สามารถออกแบบชิ้นงานบูรณะ และเลือกใช้สีของซีเมนต์ในการบูรณะบนหลักยึดไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ได้อย่างเหมาะสม

#### ความมุ่งหมายของการวิจัย

การศึกษานี้มีความมุ่งหมายเพื่อทำการศึกษาทางห้องปฏิบัติการถึงค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางที่มีความหนาแตกต่างกัน สีของซีเมนต์บนวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียม เซอร์โคเนีย และวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40, 50, 60 และ 70 โวลต์เปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ทำจากคอมโพสิต (Filtek Z350XT, 3M ESPE, USA) สีเนื้อฟันเอสสอง (Dentin, A2)

#### ความสำคัญของการวิจัย

การบูรณะรากเทียมในตำแหน่งที่ต้องการความสวยงาม โดยเฉพาะฟันหน้าบนเป็นสิ่งที่ทำหายจากบัจฉัยของตำแหน่งรากเทียม ระดับขอบเหงือกเมื่อยิ้ม วัสดุทำหลักยึด และวัสดุทำครอบฟัน แม้ปัจจุบันจะมีหลักยึดเซอร์โคเนียจะสามารถลดการสะท้อนของสีหลักยึดผ่านครอบฟันและขอบเหงือกได้ แต่พบปัญหาการหักบริเวณส่วนเชื่อมต่อรากเทียมและครอบฟัน แม้หลักยึดไทเทเนียมและส่วนคลุมเซอร์โคเนียจะถูกพัฒนาให้มีความแข็งแรงและคงความสวยงาม แต่มีข้อจำกัดการใช้งานบริเวณช่องว่างขนาดเล็ก จึงมีการเปลี่ยนสีของหลักยึดด้วยปฏิกิริยาอะโนไดซ์ให้เกิดความสวยงาม และลดค่าใช้จ่ายในการบูรณะครอบฟันบนรากเทียม เมื่อต้องการความสวยงามสูงสุดในการบูรณะจำเป็นต้องใช้ครอบฟันเซรามิกชนิดแก้ว แม้เซรามิกชนิดแก้วชนิดทึบแสงหรือชนิดโปร่งแสงน้อยจะสามารถแก้ปัญหาการสะท้อนสีของหลักยึดไทเทเนียมได้โดยให้ค่าความแตกต่างของสีในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก แต่ยังมีความที่บกว่าพันธุกรรมชาติ เมื่อต้องการ



ความคล้ายคลึงกับฟันธรรมชาติสูงสุดจำเป็นต้องใช้เซรามิกชนิดโปร่งแสงมากและปานกลาง แต่เซรามิกชนิดแก้วที่โปร่งแสงมากไม่สามารถแก้ปัญหาการสะท้อนขอสีบนหลักยึดไทเทเนียมได้แม้เพิ่มความหนาของครอบฟัน เซรามิกชนิดแก้วโปร่งแสงปานกลางจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการบูรณะ แต่ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับเซรามิกชนิดแก้วโปร่งแสงปานกลางต่อการปิดสีหลักยึดไทเทเนียม ซึ่งความหนาของครอบฟันมีผลต่อการปิดสีหลักยึดได้ นอกจากนี้ยังมีการแนะนำให้ใช้ซีเมนต์ชนิดที่ร่วมกับครอบฟันเซรามิกชนิดแก้วในการปิดสีของหลักยึดโดยเฉพาะหลักยึดที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์

ผลจากการวิจัยทางคลินิกนี้จะช่วยในการตัดสินใจเลือกความหนาของครอบฟันเซรามิกชนิดแก้ว สีของซีเมนต์ และสีของหลักยึดไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ในการบูรณะรากเทียมในตำแหน่งที่ต้องการความสวยงาม และ/หรือบริเวณช่องว่างขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นและลดขั้นตอนทางห้องปฏิบัติการที่ซับซ้อนได้

### ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดลองภายในห้องปฏิบัติการ โดยศึกษาความหนาของเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางที่มีความหนาจำนวน 4 ระดับ ได้แก่ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตร และสีของซีเมนต์จำนวน 3 สี ได้แก่ สีขาว สีเหลือง และสีขาวที่บบนวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียม เซอร์โคเนีย และไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40, 50, 60 และ 70 โวลต์ (กลุ่มทดลอง) เปรียบเทียบกับขั้นตอนทดสอบคอมพิวเตอร์ (Filtek Z350XT; 3M ESPE, USA) สีเนื้อฟันเอสสอง (Dentin, A2) (กลุ่มควบคุม) โดยจะทำการวัดค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตบนวัสดุทำหลักยึดทั้งก่อนและหลังยึดขั้นตอนทดสอบซีเมนต์ภายใต้กล่องดำทดสอบที่กำหนดตำแหน่งทดสอบบริเวณกึ่งกลางของชิ้นงานด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (VITA Easys shade Advanc V, Sirona, German) แล้วบันทึกค่าด้วยระบบซีไออี แอลเอบี (CIE L\*a\*b\*) จากนั้นแปรผลเป็นค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ )

### นิยามศัพท์เฉพาะ

5.1 ค่าความแตกต่างของสี (Total color difference/ $\Delta E$ ) หมายถึง ค่าที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของสีในวัสดุแต่ละชนิด โดยใช้ระบบซีไออี แอลเอบีที่เป็นระบบบรรยายสีแบบสามมิติ

5.2 เซรามิกชนิดแก้ว หมายถึง เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตเป็นเซรามิกชนิดที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน



5.3 หลักรยึดไทเทเนียม หมายถึง หลักรยึดรากเทียมที่สร้างจากไทเทเนียม

5.4 หลักรยึดไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ (Anodized titanium abutment) หมายถึง หลักรยึดรากเทียมที่สร้างจากไทเทเนียมแล้วผ่านปฏิกิริยาอะโนไดซ์ด้วยกระแสไฟฟ้า

5.5 หลักรยึดเซอร์โคเนีย (Zirconia abutment) หมายถึง หลักรยึดรากเทียมที่สร้างจากเซอร์โคเนีย

5.6 ปฏิกิริยาอะโนไดซ์ (Anodization Oxidation) หมายถึง ปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีที่เปลี่ยนสีโลหะไทเทเนียมด้วยกระแสไฟฟ้าที่ระดับความเข้มต่างๆ

### กรอบแนวคิดงานวิจัย

ตัวแปรต้น

1. ความหนาของเซรามิก แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ความหนา 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตร

2. สีของซีเมนต์ แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ สีขาว, สีเหลือง และสีชาทึบ

3. วัสดุทำหลักรยึดและชิ้นงานควบคุม แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

3.1 วัสดุไทเทเนียม

3.2 วัสดุเซอร์โคเนีย

3.3 วัสดุไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40, 50, 60 และ 70 โวลต์

3.4 คอมโพสิต (Filtek Z350XT, 3M ESPE, USA) สีเนื้อฟันเอสสอง (Dentin,

A2)

ตัวแปรตาม คือ ค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) ได้แก่

1. ก่อนยึดชิ้นทดสอบซีเมนต์

2. หลังยึดชิ้นทดสอบซีเมนต์

### สมมติฐานงานวิจัย

สมมติฐานของวัสดุทำหลักรยึดรากเทียม

$H_0$  = วัสดุทำหลักรยึดรากเทียมแต่ละชนิดให้ค่าความแตกต่างของสีบนเซรามิกลิเทียมไดซิติลิกเตชชนิดโปร่งแสงปานกลางแต่ละความหนาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

$H_1$  = วัสดุทำหลักรยึดแต่ละชนิดให้ค่าความแตกต่างของสีบนเซรามิกกลุ่มลิเทียม-ไดซิติลิกเตชชนิดโปร่งแสงปานกลางแต่ละความหนาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สมมติฐานของสีของซีเมนต์

$H_0$  = วัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดให้ค่าความแตกต่างของสีบนเซรามิกกลุ่มลิเทียม-ไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางแต่ละความหนาร่วมกับสีของซีเมนต์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

$H_1$  = วัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดให้ค่าความแตกต่างของสีบนเซรามิกกลุ่มลิเทียม-ไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางแต่ละความหนาร่วมกับสีของซีเมนต์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมโดยแบ่งเนื้อหาเป็น 5 ส่วน ได้แก่

1. การบูรณะทันตกรรมรากเทียม
2. หลักยึดรากเทียม
3. การเปลี่ยนแปลงสึบนหลักยึด
4. เซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต
5. ซีเมนต์

#### 1. การบูรณะทันตกรรมรากเทียม

การรักษาทางทันตกรรมมุ่งเน้นการป้องกัน รักษา และฟื้นฟูสุขภาพช่องปากของคนไข้ เพื่อให้สามารถพูด เคี้ยวอาหาร ได้อย่างสะดวกสบาย เกิดความสวยงาม และมีสุขภาพช่องปากที่ดีอย่างยั่งยืน จึงเป็นการทำงานร่วมกันหลายสาขา<sup>(23-25)</sup> เช่น การทำรากเทียม การเตรียมช่องปาก เพื่อให้ใส่ฟันเทียม เป็นต้น

คนไข้ที่สูญเสียฟันสามารถได้รับการทดแทนฟันได้ 2 วิธี ได้แก่ ฟันเทียมชนิดถอดได้ (Removable prosthesis) และฟันเทียมชนิดติดแน่น (Fixed prosthesis) โดยฟันเทียมชนิดถอดได้มักก่อให้เกิดความรำคาญต่อคนไข้ รวมถึงอันตรายต่อฟันและอวัยวะในช่องปาก ในขณะที่ฟันเทียมชนิดติดแน่นช่วยให้คนไข้เกิดความสบายและรู้สึกเหมือนฟันธรรมชาติ<sup>(3, 25, 26)</sup>

ฟันเทียมชนิดติดแน่น มีหลายประเภท อาทิ ครอบฟัน สะพานฟัน และรากเทียม เป็นต้น มีการศึกษาเกี่ยวกับการอัตราการอยู่รอดของครอบฟันและสะพานฟันในช่วง 10 ปีอยู่ที่ร้อยละ 80 และ 70 ตามลำดับ<sup>(1)</sup> การศึกษาของ Pjetursson ในปี 2004 พบว่าอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยของสะพานฟันอยู่ที่ 6.1 ปีเท่านั้น<sup>(27)</sup> จากสาเหตุต่างๆ อาทิ ฟันผุได้สิ่งบูรณะ โรคเหงือกอักเสบ และสูญเสียการยึดติด เป็นต้น<sup>(28)</sup> การทำสะพานฟันยังทำให้สูญเสียเนื้อฟันที่ดีของฟันข้างเคียงและเพิ่มอันตรายต่อโพรงประสาทฟันและเนื้อเยื่อโดยรอบ นอกจากนี้บริเวณซี่ฟันเทียม (Pontic) เป็นบริเวณที่ทำความสะอาดได้ยากจึงเป็นแหล่งสะสมของเศษอาหารก่อให้เกิดอันตรายต่อฟันหลักและเหงือกโดยรอบ<sup>(29)</sup>

รากเทียมเป็นสิ่งบูรณะสมัยใหม่ที่ได้รับการนิยมนำมาทดแทนฟันตั้งแต่ 1 ซี่ขึ้นไป โดยประเทศสหรัฐอเมริกา มีการทดแทนฟันด้วยรากเทียมสูงถึงปีละ 1 ล้านซี่ และมีอัตราการใช้รากเทียมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2000 มีการศึกษาเกี่ยวกับอัตราการอยู่รอดของรากเทียม 1 ซี่

ในช่วง 5 ปีมากกว่าร้อยละ 93-97<sup>(2, 22, 30)</sup> มีอายุการใช้งานโดยเฉลี่ย 7 ปี ซึ่งอัตราการสำเร็จของการรักษาสูงกว่าการทดแทนด้วยสะพานฟัน 3 ยูนิต (Three-unit fixed partial denture, bridge)<sup>(1, 27)</sup>

การทดแทนฟันด้วยรากเทียมมีความสำเร็จในการรักษาและอัตราการอยู่รอดมากเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดแทนฟันด้วยวิธีอื่น<sup>(1-3, 31-33)</sup> มีการศึกษาการวิเคราะห์ห่อภิมาณ (Meta-analysis) ของ Lindh และคณะ โดยติดตามผลการรักษาถึง 8 ปีในรากเทียมเดี่ยวจำนวน 570 ที่พบว่าอัตราการอยู่รอดร้อยละ 97.50<sup>(34)</sup> โดยอัตราการอยู่รอดของรากเทียมในสันเหงือกไร้ฟันในขากรรไกรล่างอยู่ที่ร้อยละ 96.20 ในขณะที่ฟันหน้ามีอัตราการอยู่รอดร้อยละ 91-96 แม้อัตราการอยู่รอดค่อนข้างสูง แต่พบว่าคนไข้มีความพึงพอใจต่อการรักษาด้วยรากเทียมอยู่ที่ร้อยละ 50 ซึ่งด้านความสวยงามมีความพึงพอใจเพียงร้อยละ 48<sup>(3)</sup> โดยปัจจัยที่ใช้พิจารณาความสำเร็จประกอบด้วย ตำแหน่งการใส่รากเทียม ลักษณะของรากเทียม (ความยาว, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และการออกแบบรากเทียม) ปริมาณกระดูกรวมถึงกระบวนการปลูกกระดูก และปัจจัยทางสุขภาพของคนไข้ นอกจากนี้ฟันข้างเคียงของรากเทียมทดแทนมีอัตราการอยู่รอดสูงกว่าการทดแทนด้วยวิธีอื่นๆเช่นกัน โดยพบว่าอัตราการเกิดโรคฟันผุน้อยกว่าจึงลดความเสี่ยงในการรักษาฟัน รากฟันเทียมทดแทนและฟันธรรมชาติสามารถทำความสะอาดระหว่างซี่ฟันได้ง่าย ทำให้ลดการติดของคราบอาหารจึงเพิ่มความสำเร็จในการรักษาฟันเทียมและอัตราการอยู่รอดของฟันธรรมชาติ<sup>(1, 31, 32)</sup>

ปัจจุบันการทดแทนฟันด้วยรากเทียมเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายจากความสำเร็จในการรักษา ความสวยงาม และพึงพอใจของคนไข้ อย่างไรก็ตามการทดแทนรากเทียมบริเวณฟันหน้ายังคงเป็นสิ่งที่ท้าทายทันตแพทย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ รูปร่างฟัน, การสบฟัน, ความอึดหยุ่นของเหงือก และวัสดุในการบูรณะ<sup>(5, 35)</sup> โดยการออกแบบชิ้นงานบูรณะยังมีองค์ประกอบหลายอย่างในการพิจารณา อาทิ ระยะปลอดการสบฟัน, แนวของรากเทียม, ตำแหน่งของริมฝีปากขณะพูดและยิ้ม, ความสวยงามของฟันและอวัยวะปริทันต์โดยรอบ<sup>(2, 33)</sup>

การรักษาด้วยรากเทียมทดแทนแม้จะมีข้อดีค่อนข้างมาก แต่ยังมีข้อจำกัดในบางกรณี ดังนั้นจึงอาจไม่ใช่แนวทางการรักษาในอุดมคติสำหรับคนไข้ทุกหลาย เช่น คนไข้ที่มีความทุพพลภาพหรือคนไข้ที่มีการสูญเสียฟันหลายซี่ร่วมกับมีการละลายตัวของกระดูกเบ้าฟันและเหงือกค่อนข้างมาก ทำให้สูญเสียความสวยงามของใบหน้า จำเป็นต้องทดแทนความอึดหยุ่นที่สูญเสียไปด้วยสิ่งประดิษฐ์เทียม เช่น ฟันเทียมถอดได้ที่ไม่มีปีกฟันเทียมหรือฟันเทียมถอดได้ที่มีปีกฟันเทียมร่วมกับรากเทียม ซึ่งมีความซับซ้อนในการรักษาน้อยกว่าและให้ความสวยงาม<sup>(33, 36, 37)</sup>

รากเทียมรองรับวัสดุบูรณะ (Implant-supported restoration) แบ่งตามการรองรับได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ รากเทียมรองรับฟันเทียมติดแน่นและรากเทียมรองรับฟันเทียมถอดได้ (Implant-supported removable prosthesis) หากแบ่งตามประเภทการยึดสิ่งบูรณะบนรากเทียมชนิดติดแน่นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ สกรูยึดชิ้นงานบูรณะบนรากเทียม (Screw retained restoration) และซีเมนต์ยึดชิ้นงานบูรณะบนรากเทียม (Cement retained restoration)<sup>(5, 7, 17, 38-41)</sup>

สกรูยึดชิ้นงานบูรณะบนรากเทียมมีข้อดีคือสามารถซ่อมแซมได้ง่ายและมีการผนึกขอบ (Marginal seal) ที่ดี โดยพบว่ามีความการผนึกขอบที่ต่ำกว่า 10 ไมครอนภายหลังการใช้แรงบิด (Torque) ซึ่งน้อยกว่าการยึดชิ้นงานด้วยซีเมนต์ที่มีความการผนึกขอบที่ต่ำกว่า 50 ไมครอน<sup>(41)</sup> แต่ปัญหาหลักที่พบได้จากรากเทียมชนิดนี้คือการคลายเกลียวสกรู (Screw loosening) มีการศึกษาของ Cho ในปี 2004 เกี่ยวกับการคลายเกลียวของสกรูในฟันหน้าและหลังภายหลังการใช้งาน 3-7 ปี พบว่าฟันหลังจะมีการคลายเกลียวสูงกว่าฟันหน้าที่ร้อยละ 12.30<sup>(42)</sup> โดยแนะนำให้แก้ปัญหานี้ด้วยการใช้รากเทียมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ขึ้น วิธีการแก้ไขการคลายเกลียวของสกรูสามารถป้องกันได้โดยใช้แรงบิดซ้ำภายหลัง<sup>(43)</sup> ในปัจจุบันมีการออกแบบส่วนเชื่อมต่อเป็นทรงกรวย (Conical connection) ทำให้ส่วนหลักยึดเข้าไปในส่วนของรากเทียมมากขึ้น ช่วยกำจัดช่องว่างขนาดเล็ก (Microgap) แก้ปัญหาการขยายของหลักยึดและสกรู นอกจากนี้สกรูยึดชิ้นงานบูรณะบนรากเทียมยังสามารถใช้ได้ ในกรณีที่คนไข้มีระยะการปิดสบ (Interocclusal space) น้อยหรือขอบของครอบบนรากเทียมอยู่ได้เหนือออกมากว่า 3 มิลลิเมตรได้อีกด้วย<sup>(44)</sup>

ซีเมนต์ยึดชิ้นงานบูรณะบนรากเทียมเป็นวิธีการที่ถูกคิดค้นเพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องการคลายเกลียวสกรู โดยข้อดีของซีเมนต์ยึดชิ้นงานบูรณะบนรากเทียมที่ดีกว่าสกรูยึดชิ้นงานบูรณะบนรากเทียมคือมีความสวยงามที่มากกว่า เนื่องจากไม่มีรอยต่อของวัสดุอุดปิดรูและชิ้นงานบูรณะ นอกจากนี้ยังลดโอกาสเกิดการแตกหักของเซรามิกบนชิ้นงานบูรณะได้อีกด้วย มีเทคนิคการทำงานในคลินิกและห้องปฏิบัติการที่ง่ายกว่า มีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่า ใช้ในกรณีที่ตำแหน่งรากเทียมไม่เหมาะสมได้ เช่น รูเปิดของสกรูออกมาด้านแก้มหรือริมฝีปาก ง่ายต่อการเข้าทำงานในตำแหน่งที่คนไข้ลำบากได้น้อย มีการศึกษาเกี่ยวกับการละลายตัวของกระดูกครอบรากเทียมระหว่างซีเมนต์ยึดชิ้นงานบูรณะกับสกรูยึดชิ้นงานบูรณะ พบว่าซีเมนต์ยึดชิ้นงานบูรณะมีการละลายตัวของกระดูกครอบรากเทียมอยู่ที่ 0.69 มิลลิเมตรเท่านั้น ซึ่งน้อยกว่าสกรูยึดชิ้นงานบูรณะที่มีการละลายตัวของกระดูกครอบรากเทียมอยู่ที่ 1.49 มิลลิเมตร ทั้งนี้ต้องกำจัดซีเมนต์ส่วนเกินได้ทั้งหมด หากมีซีเมนต์ส่วนเกินที่กำจัดออกไม่หมดจะส่งผลให้เกิดการอักเสบของเนื้อเยื่อปริทันต์ครอบรากเทียม (Peri-implantitis) ได้ถึงร้อยละ 81<sup>(45)</sup> ซึ่งมากกว่าการยึดติดสิ่งบูรณะด้วยสกรู<sup>(46)</sup> อย่างไรก็ตามการยึดติด

สิ่งบูรณะด้วยซีเมนต์จำเป็นต้องอาศัยหลักยึดที่ความชอบ 6 องศาเช่นเดียวกับการเตรียมหลักยึดครอบฟันบนฟันธรรมชาติ นอกจากนี้หลักยึดจำเป็นต้องมีความสูงอย่างน้อย 5 มิลลิเมตร<sup>(47)</sup>

## 2. หลักยึดรากเทียม

วัสดุที่นิยมใช้ทำหลักยึดรากเทียม ได้แก่ โลหะไทเทเนียม เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) โลหะผสมทอง (Precious alloy cast) เซอร์โคเนีย และโพลีเอเทอร์อีเทอร์คีโตน (Polyether ether ketone, PEEK) โดยวัสดุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยหลักยึดที่ได้รับการยอมรับและมีความสำเร็จในการรักษาสูงสุดคือหลักยึดไทเทเนียม<sup>(5, 15)</sup>

ไทเทเนียมเป็นแร่ธาตุที่มีคุณสมบัติที่ดีในเรื่องความแข็งแรง น้ำหนักเบา มีความเข้ากันได้ดีทางชีวภาพ (Biocompatibility) กับเนื้อเยื่อในช่องปาก มีความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อน (Corrosion resistant) สูง และมีสัดส่วนความแข็งแรงเทียบกับน้ำหนักสูงสุด หากแบ่งประเภทของไทเทเนียมตามส่วนประกอบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ไทเทเนียมบริสุทธิ์ทางการค้า (Commercially pure titanium) และโลหะผสมไทเทเนียม (Titanium alloy) ซึ่งโลหะผสมจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้ไทเทเนียม มีการศึกษาของ Bernhard และคณะในปี 2009 เกี่ยวกับค่าแรงดึงของหลักยึดไทเทเนียมและหลักยึดไทเทเนียมที่ทำจากโลหะผสม พบว่าหลักยึดที่ทำจากโลหะผสมไทเทเนียมมีแรงดึงมากกว่าหลักยึดไทเทเนียมถึงร้อยละ 80 ในขนาดรากเทียมและเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน นอกจากนี้หากแบ่งตามลักษณะพื้นผิวสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ผิวเรียบ (Machine titanium) และผิวมัน (Polished titanium) มีการศึกษาเกี่ยวกับการยึดติดและเติบโตของเนื้อเยื่อไฟโบรลลาสต์ในช่องปาก (Gingival fibroblast) ของ Wang และคณะในปี 2019 พบว่ามีการยึดเกาะและเติบโตที่ดีของเนื้อเยื่อไฟโบรลลาสต์บนหลักยึดที่มีผิวขรุขระมากกว่าผิวเรียบ ซึ่งเนื้อเยื่อไฟโบรลลาสต์มีความสำคัญต่อการสร้างเนื้อเยื่ออ่อนรอบรากเทียมให้มีการผนึกที่ดี<sup>(14)</sup>

หลักยึดบนรากเทียมสามารถจำแนกได้ 2 ชนิด ได้แก่ หลักยึดสำเร็จรูป (Prefabricated abutment) และหลักยึดเฉพาะบุคคล (Customized abutment) ในปัจจุบันหลักยึดสำเร็จรูปจะใช้วัสดุไทเทเนียมและเซอร์โคเนีย<sup>(46, 48)</sup> โดยหลักยึดชนิดนี้จะมีการขึ้นรูปสำเร็จจากโรงงาน สามารถปรับแต่งในห้องปฏิบัติการหรือปรับแต่งในช่องปากเพื่อให้มีรูปร่างที่เหมาะสมและเข้ากับวัสดุได้ หลักยึดสำเร็จรูปเป็นหลักยึดที่ได้รับความนิยมสูง เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายถูกและมีหลายขนาดและรูปร่างให้เลือก ทำให้ลดขั้นตอนในห้องปฏิบัติการ แต่หลักยึดชนิดนี้มีข้อจำกัดในกรณีที่ต้องการความสวยงามสูง โดยเฉพาะในตำแหน่งฟันหน้าอาจไม่สามารถสร้างรูปร่างของหลักยึดให้กลมกลืนกับฟันข้างเคียงและเนื้อเยื่อโดยรอบ (Emergence profile) ได้ นอกจากนี้หลักยึด



สำเร็จรูปควรใช้ร่วมกับการฝังรากเทียมในตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อลดการกรอแต่งหลักยึด ป้องกันไม่ให้สูญเสียรูปร่างต้านการหลุด (Resistance form) และรูปร่างให้ยึดติด (Retention form) หลักยึดชนิดนี้มีรูปร่างไม่เหมาะสมกับคนไข้ทุกราย ในกรณีที่มีเส้นสิ้นสุด (Finishing line) ไม่โค้งตามขอบเหงือกจะทำให้การกำจัดซีเมนต์ส่วนเกินทำได้ยากและเสี่ยงต่อการเกิดร่องลึกปริทันต์ได้<sup>(49)</sup> หากแบ่งหลักยึดตามทิศทางหลักยึดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดได้แก่ หลักยึดชนิดตรง (Straight abutment) และหลักยึดชนิดเอียง (Angled abutment) โดยหลักยึดชนิดตรงเหมาะกับตำแหน่งรากเทียมที่เหมาะสมและหลักยึดชนิดเอียงเหมาะกับตำแหน่งรากเทียมมีมุมเอียงไม่เกิน 25 องศา (15, 46, 47, 50)

หลักยึดสำเร็จรูปที่ทำจากไทเทเนียมหรือโลหะผสมไทเทเนียมอาจเกิดการสะท้อนแสงของสีโลหะ ทำให้เนื้อเยื่อโดยรอบปรากฏเป็นแถบสีเทา<sup>(5, 7)</sup> ส่งผลให้เกิดความไม่สวยงาม ซึ่งครอบคลุมโลหะผสมเซรามิกจะไม่พบปัญหาการสะท้อนแสงของสีโลหะบนหลักยึด แต่พบว่าสีของครอบฟันไม่สวยงามการเลือกวัสดุของหลักยึดจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาโดยเฉพาะคนไข้ที่มีแนวริมฝีปากขณะยิ้มสูง (High smile line) มีการศึกษาของ Bressan ในปี 2010 ทำการเปรียบเทียบหลักยึดรากเทียมที่รองรับด้วยชิ้นงานเซรามิกล้วนที่ความหนาของเหงือกที่แตกต่างกัน พบว่าความหนาของเหงือกที่น้อยกว่า 2 มิลลิเมตรจะทำให้เห็นแถบสีเทาบริเวณเหงือกที่ใช้หลักยึดไทเทเนียม<sup>(7)</sup> แต่ไม่ปรากฏในหลักยึดเซอริโคเนียหรือหลักยึดไทเทเนียมสีทองซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lops และคณะ<sup>(15)</sup>

หลักยึดที่ทำจากวัสดุเซรามิกถูกสร้างขึ้นเพื่อแก้ไขการสะท้อนของสีของหลักยึด เพื่อให้เกิดความสวยงาม โดยเฉพาะกรณีของคนไข้มีเหงือกชนิดไบโอไทป์บาง (Thin biotype)<sup>(7)</sup> หลักยึดที่ทำจากอะลูมินาถูกนำมาใช้เป็นหลักยึดที่มีสีขาวชนิดแรก ต่อมามีการพัฒนาหลักยึดเซอริโคเนียซึ่งมีการเข้ากับเนื้อเยื่อทางชีวภาพได้ดี นอกจากนี้ยังพบว่าหลักยึดเซอริโคเนียมีการสะสมของแบคทีเรียน้อยกว่าไทเทเนียม มีการละลายตัวของกระดูกครอบรากเทียมน้อยกว่า<sup>(51)</sup> และมีระดับการอักเสบชนิดเรื้อรัง (Inflammatory infiltrate) น้อยกว่าหลักยึดที่ทำจากไทเทเนียม<sup>(52)</sup> จากคุณสมบัติดังกล่าวหลักยึดเซอริโคเนียจึงเป็นหลักยึดที่มีสุขภาพที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตามมีการศึกษาพบว่าหลักยึดเซอริโคเนียทั้งชิ้นจะส่งผลให้เกิดการสึกของรากเทียมค่อนข้างมาก<sup>(16)</sup> เนื่องจากเซอริโคเนียมีความแข็งผิวมากกว่าไทเทเนียม และหลักยึดเซอริโคเนียชนิดแคด/แคม (CAD/CAM) ยังพบว่ามีความไม่แนบสนิท (Rotational misfit) ระหว่างรอยต่อมากกว่าหลักยึดไทเทเนียม อาจส่งผลให้เกิดการคลายเกลียวของสกรูหรือสกรูหักได้<sup>(42, 53)</sup> จึงมีการนิยมใช้ไทเทเนียมเป็นฐาน เพื่อให้ส่วนโลหะของหลักยึดสัมผัสกับส่วนโลหะของรากเทียม ลดการสึกของ

รากเทียม โดยส่วนบนของฐานกึ่งจากเซอโรโคเนียมออกไซด์เซรามิก จากนั้นทำเข้าสู่กระบวนการเผา (Sintering process)<sup>(18)</sup> อย่างไรก็ตามพบว่าครอบฟันเซรามิกที่ยึดบนหลักยึดเซอโรโคเนียมีปัญหาเรื่องการยึดติดมากกว่าหลักยึดไทเทเนียม นอกจากนี้หลักยึดเซอโรโคเนียมีความแข็งแต่เปราะและมีข้อจำกัดบริเวณสันเหงือกแคบ<sup>(14)</sup>

หลักยึดไทเทเนียมเป็นหลักยึดที่เป็นมาตรฐานด้วยคุณสมบัติของไทเทเนียมและคุณสมบัติทางชีวภาพ จึงมีการพัฒนาหลักยึดไทเทเนียมให้เกิดความสวยงามแก้ปัญหาการสะท้อนของสีโลหะผ่านชั้นงานและขอบเหงือก โดยขึ้นรูปหลักยึดด้วยโลหะทอง<sup>(7, 9)</sup> มีการศึกษาของ Dede และคณะในปี 2016 เกี่ยวกับเซรามิกลิเทียมไดซลิเกตที่มีความหนา 1.50 มิลลิเมตรบนวัสดุหลักยึดเซอโรโคเนีย ทอง และไทเทเนียมพบว่าค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกลิเทียมไดซลิเกตบนวัสดุทำหลักยึดทองคำใกล้เคียงกับวัสดุทำหลักยึดเซอโรโคเนียและอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก<sup>(9)</sup> ภายหลังมีการศึกษาพบว่าหลักยึดที่ทำจากทองมีขั้นตอนทางห้องปฏิบัติการที่ซับซ้อนและมีค่าใช้จ่ายสูง นอกจากนี้หลักยึดที่ทำจากทองมีคุณสมบัติทางชีวภาพต่ออวัยวะปริทันต์ที่ไม่ดี ส่งผลให้เกิดการละลายตัวของกระดูก เกิดการอักเสบ และการหดตัวของเหงือกโดยรอบ<sup>(48, 53)</sup> จึงมีการพัฒนาหลักยึดให้มีสีด้วยวิธีต่างๆ

### 3. การเปลี่ยนแปลงสีบนหลักยึด

การเปลี่ยนแปลงสีบนหลักยึดไทเทเนียมสามารถทำได้หลายวิธีได้แก่ ปฏิริยาออกซิเดชันด้วยความร้อน (Thermal oxidation), ปฏิริยาออกซิเดชันด้วยสารเคมี (Chemical oxidation), เคลือบผิวด้วยไทเทเนียมไนไตรด์ (Titanium nitride coating, TiN) และปฏิริยาออกซิเดชันด้วยอะซิโตนไดซ์ ซึ่งปฏิริยาออกซิเดชันด้วยความร้อนและปฏิริยาออกซิเดชันด้วยสารเคมีมีความเสถียรของสีบนหลักยึดที่ไม่ดี เกิดออกไซด์ฟิล์มที่ไม่แข็งแรงและต้านการสึกต่อปฏิริยาออกซิเดชันด้วยสารเคมีที่ต่ำ ส่วนเคลือบผิวด้วยไทเทเนียมไนไตรด์เป็นการเคลือบสีบนผิวของบนไทเทเนียม อาจทำให้คนไข้เกิดการแพ้ได้และปฏิริยาออกซิเดชันด้วยอะซิโตนไดซ์ไม่เพียงแต่จะเปลี่ยนสีได้หลากหลายแต่ยังเพิ่มความหนาของชั้นออกไซด์และเพิ่มคุณสมบัติในการต้านทานการสึกกร่อนอีกด้วย<sup>(14)</sup>

ปฏิริยาออกซิเดชันด้วยอะซิโตนไดซ์เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวบนไทเทเนียมด้วยกระแสไฟฟ้า ความหนาของชั้นออกไซด์ที่แตกต่างกันเกิดจากการกระตุ้นด้วยระดับกระแสไฟฟ้าที่ต่างกันส่งผลให้เกิดสีที่ต่างกัน เช่น ระดับกระแสไฟฟ้า 60 โวลต์และ 65 โวลต์จะเกิดเป็นสีทองและชมพูตามลำดับ<sup>(14)</sup> โดยความหนาของชั้นออกไซด์มีผลต่อการต้านการสึกกร่อน จึงเพิ่มความแข็งแรงของหลักยึดได้และความแข็งผิวที่เพิ่มขึ้น และเพิ่มเสถียรภาพของสีบนหลักยึดไทเทเนียมมีการศึกษาถึงเสถียรภาพของสีบนจากปฏิริยาออกซิเดชันด้วยอะซิโตนไดซ์ โดยใช้ในสารละลาย



เอทธานอลพบว่ามีความเสถียรของสีที่ดี<sup>(4, 20)</sup> ปฏิกริยาออกซิเดชันด้วยอะโนไดซ์จะทำให้พื้นผิวไทเทเนียมมีความขรุขระ มีการศึกษาของ Wang และคณะในปี 2019 เกี่ยวกับการยึดเกาะของเซลล์ไฟโบบลาสต์ที่เหงือกบนไทเทเนียม มีความสำคัญต่อการผนึกเนื้อเยื่อรอบรากเทียมพบว่าผิวไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ขรุขระจะมีการเกาะของเซลล์ไฟโบบลาสต์ที่เหงือกที่ดีกว่าผิวไทเทเนียมที่เรียบและมีการยึดติดที่แข็งแรงกว่ารวมถึงรูปร่างของเซลล์ที่สมบูรณ์อีกด้วย<sup>(4, 14, 20)</sup>

การพัฒนาหลักยึดให้มีสีทองหรือชมพูด้วยกระบวนการอะโนไดซ์ หลักยึดที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ที่ทำให้เป็นสีชมพูถูกพัฒนาขึ้นเพื่อต้องการสร้างความสวยงามของเหงือกตามหลักฟังก์ เอสเตติก สกอร์ (Pink esthetic score) มีการศึกษาของ Gil และคณะในปี 2017 พบว่าหลักยึดที่มีสีชมพูมีการเปลี่ยนแปลงของสี ( $\Delta E$ ) ต่ำกว่าหลักยึดไทเทเนียมที่ไม่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์เล็กน้อย แต่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก<sup>(39)</sup> นอกจากนี้มีการศึกษาเปรียบเทียบสีของครอบเซรามิกบนหลักยึดไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์และหลักยึดเซอโรโคเนีย พบว่าหลักยึดอะโนไดซ์ที่มีสีทองและหลักยึดเซอโรโคเนียมีความสวยงามใกล้เคียงกันเป็นที่ยอมรับทางคลินิก และให้ความสวยงามในระดับที่ดีกว่าหลักยึดสีชมพู แต่มีการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางชีวภาพของหลักยึดที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์และหลักยึดเซอโรโคเนียยังพบว่าการยึดติดของเนื้อเยื่อปริทันต์ที่หลักยึดที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ที่ดี<sup>(7, 15)</sup>

ความสวยงามในการบูรณะด้วยรากเทียมนอกจากส่วนของครอบฟัน ยังต้องพิจารณาในส่วนของเหงือกโดยรอบ มีการศึกษา Martinez-Rus และคณะในปี 2017 เกี่ยวกับสีของหลักยึดที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์และชนิดของหลักยึดต่อเหงือกโดยรอบพบว่าหลักยึดที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์จนมีสีชมพูและทอนให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเหงือกโดยรอบใกล้เคียงกับหลักยึดเซอโรโคเนียที่ระดับ 8.66 และ 9.16 ตามลำดับ<sup>(54)</sup>

#### 4. เซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต

ฟันเทียมทดแทนที่นิยมใช้บริเวณที่ต้องการความสวยงามของสูงคือครอบฟันเซรามิกล้วนซึ่งชนิดของเซรามิกมีผลต่อการปิดสีของหลักยึด โดยเซอโรโคเนียสามารถปิดสีของหลักยึดได้ทุกชนิด แต่ให้ความสวยงามต่ำ เนื่องจากมีความทึบสูง<sup>(7)</sup> ในการบูรณะให้สวยงามและใกล้เคียงฟันธรรมชาติมากที่สุดคือเซรามิกชนิดแก้ว กลุ่มที่ได้รับความนิยมสูงสุดคือครอบฟันเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต เนื่องจากมีความแข็งแรงสูง เซรามิกชนิดนี้สามารถขึ้นรูปได้ 2 วิธี ประกอบด้วย การกดอัดและบ่มด้วยความร้อน (Heat pressing technique) เช่น ไอพีเอส อีแม็ค เพรส (IPS e.max Press, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein), ไอพีเอส เอ็มเพรสทู (IPS Empress 2, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein), จีซี อินนิเซียล ลิซี เพลส (GC Initial Lisi Press, GC)

และขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยีแคด/แคม (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing, CAD/CAM) ได้แก่ ไอพีเอส อีแม็ค แคด (IPS e.max CAD, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein)<sup>(10)</sup>

ครอบฟันลิเทียมไดซิลิเกตมีส่วนประกอบภายในอยู่ 2 เฟส ได้แก่ กลาสเฟส (Glass phase) และคริสตัลไลน์เฟส (Crystalline phase) ในส่วนของกลาสเฟสจะมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ มีการแนะนำให้เตรียมพื้นผิวของครอบเซรามิกชนิดแก้วเป็นส่วนประกอบโดยกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก เอซิด (Hydrofluoric acid, HF) จะทำให้มีการเผยผิวของซิลิกา<sup>(55)</sup> จากนั้นใช้สารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent) ทาไปยังผิวด้านในของครอบเซรามิก โดยสารคู่ควบไซเลนจะเข้าไปจับกับซิลิกาเกิดพันธะไซโลเซน (Siloxane bond)<sup>(12)</sup> พันธะที่เกิดขึ้นจะทำหน้าที่จับกับเรซินซีเมนต์เพิ่มการยึดติดของชิ้นงานกับหลักยึดได้<sup>(56, 57)</sup>

วัสดุเซรามิกล้วนมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยเกี่ยวกับองค์ประกอบภายในของเซรามิก ความโปร่งแสง การเลือกสี ความหนาของเซรามิก รูปร่าง การขึ้นรูป และชนิดของซีเมนต์ที่ใช้ เป็นต้น ความหนาของเซรามิกมีผลต่อการปิดสีหลักยึดทั้งในฟันธรรมชาติและหลักยึดรากเทียม โดยในฟันธรรมชาติพบว่าครอบฟันเซรามิกล้วนชนิดโปร่งแสงน้อยที่มีความหนามากกว่า 2 มิลลิเมตรสามารถปิดสีฟันหลักยึดได้ แต่ความหนา 1.50-2.50 มิลลิเมตรไม่สามารถปิดสีหลักยึดโลหะได้<sup>(10, 58, 59)</sup>

การบูรณะด้วยครอบฟันเซรามิกบนหลักยึดบนทำให้เกิดความสวยงามต้องคำนึงถึง 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยด้านชิ้นงานบูรณะ ประกอบด้วยชนิด สีของหลักยึด ขั้นตอนการเผาไฟ เคลือบผิวเซรามิก (Veneering) ชนิดของเซรามิก ความหนาของเซรามิกในแต่ละชั้น ความหนาของชิ้นงาน และสีของซีเมนต์ที่ใช้<sup>(11, 60, 61)</sup> ซึ่งครอบฟันเซรามิกชนิดโปร่งแสงสูงเมื่อเพิ่มความหนาเพิ่มขึ้นไม่สามารถปิดสีของหลักยึดไทเทเนียมได้<sup>(61)</sup> ซึ่งชนิดของก้อนลิเทียมไดซิลิเกตมีผลในการปิดสีของหลักยึด โดยครอบฟันเซรามิกชนิดทึบแสงสูง (High opacity) สามารถปิดสีของหลักยึดไทเทเนียมได้ทั้งหมดที่ระดับมากกว่าหรือเท่ากับ 1.50 มิลลิเมตร และครอบฟันเซรามิกชนิดโปร่งแสงน้อยที่มีความหนามากกว่า 2.00 มิลลิเมตรสามารถปิดสีของหลักยึดไทเทเนียมได้ในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก<sup>(11)</sup> นอกจากนี้สีของซีเมนต์ไม่มีผลต่อหลักยึดเมื่อความหนาของเซรามิกชนิดโปร่งแสงน้อย และชนิดทึบแสงสูงที่ระดับมากกว่า 2.00 มิลลิเมตร แต่ครอบฟันเซรามิกชนิดโปร่งแสงสูงร่วมกับซีเมนต์ชนิดทึบแสง (Opaque resin cement) สามารถปิดสีของหลักยึดโลหะได้ดีกว่าซีเมนต์สีขาวโปร่งแสง (Translucent resin cement)<sup>(61)</sup> และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมในช่องปาก ประกอบด้วย

ลักษณะของเหงือกโดยรอบและข้างเคียง ความกลมกลืนระหว่างครอบฟันและรากเทียมและฟันข้างเคียง<sup>(62)</sup>

การวัดสีในปัจจุบันมีเครื่องมือที่สามารถอ่านค่าของสีบนวัสดุเป็นตัวเลข เช่น เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) การแปลผลที่ได้รับความนิยมคือระบบซีไออี (Commission International de l'Eclairage, CIE) สามารถนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) ซึ่งนำมาใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของสีในวัสดุแต่ละชนิดได้ โดย  $L^* a^* b^*$  เป็นการอ่านค่าในระบบสีสามมิติ มีความหมาย คือ แกน  $L^*$  บรรยายความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว แกน  $a^*$  บรรยายแกนสี จากสีเขียว ( $-a^*$ ) จนถึงสีแดง ( $+a^*$ ) และแกน  $b^*$  บรรยายแกนสี จากสีน้ำเงิน ( $-b^*$ ) จนถึงสีเหลือง ( $+b^*$ ) พบว่าค่าความแตกต่างของสีมากกว่า 3.30 แสดงว่ามีความแตกต่างของสีชัดเจนและไม่เป็นที่ยอมรับทางคลินิก<sup>(63)</sup>

มีการศึกษาของ Karamouzou และคณะในปี 2007 เกี่ยวกับความแม่นยำในการวัดสีของฟันบนเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์บนพันธรรมชาติพบว่า ตำแหน่งฟันตัดซี่กลางบนมีค่าความแตกต่างของสีน้อยที่สุด แต่ฟันตัดกลางล่างและฟันกรามน้อยบนซี่แรกมีค่าความแตกต่างของสีมากที่สุด โดยตำแหน่งที่มีความแม่นยำที่สุดคือตำแหน่งกึ่งกลางฟัน (Central zone of the middle third) บนผิวฟันด้านริมฝีปาก ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการวัดสี ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง สภาพแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง อุณหภูมิแสง และสีผิวคนไข้หรือฟันหลังของบริเวณที่วัด<sup>(64)</sup>

## 5. ซีเมนต์

ซีเมนต์ที่ใช้ในการยึดชิ้นงานบูรณะบนหลักยึดแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มได้แก่ ซีเมนต์ชนิดชั่วคราว (Temporary cement) และซีเมนต์ชนิดถาวร (Permanent cement) หลักยึดฟันที่มีลักษณะที่เหมาะสมสามารถใช้ได้ทั้งซีเมนต์ทั้ง 2 กลุ่ม แต่ในกรณีที่หลักยึดมีการสูญเสียผนังไปค่อนข้างหรือมีลักษณะที่ไม่เหมาะสม เช่น ความสูงหลักยึดน้อย จำเป็นต้องเลือกใช้ซีเมนต์ชนิดถาวร<sup>(45, 65)</sup> การศึกษาของ Chaar และคณะในปี 2011 เกี่ยวกับการสูญเสียการยึดติดด้วยซีเมนต์พบว่า ซีเมนต์ชนิดชั่วคราวมีการสูญเสียการยึดติดมากกว่าซีเมนต์ชนิดถาวรที่ร้อยละ 22.00 และ 16.80<sup>(65)</sup> แต่ซีเมนต์ยึดชั่วคราวเป็นทางเลือกในกรณีที่อาจมีการซ่อมแซมของส่วนบูรณะเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม จากผลสำเร็จของวัสดุบูรณะบนรากฟันเทียมในปัจจุบัน การใช้ซีเมนต์ยึดส่วนบูรณะจึงมีความหลากหลายมากขึ้น<sup>(49)</sup> แต่จากการศึกษานรากฟันเทียมพบว่า ซีเมนต์ในกลุ่มเรซิน (Resin based cement) และกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ (Glass ionomer based cement) ให้ความยึดติดสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์ในกลุ่มอื่น<sup>(50)</sup> อย่างไรก็ตาม ในการยึดวัสดุบูรณะเซรามิก นิยม

ใช้ซีเมนต์กลุ่มเรซินเนื่องจากมีระดับสีที่สามารถปรับใช้ให้สวยงามและเข้ากันได้กับวัสดุบูรณะเซรามิก<sup>(32)</sup>

ปัจจัยที่มีผลต่อการยึดระหว่างหลักยึดและซีเมนต์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกปัจจัยทางรูปทรง (Geometry) ของหลักยึด เช่น ความสูง ความกว้าง พื้นที่โดยรวม องศา ความสอ และลักษณะพื้นผิว เป็นต้น โดยปัจจัยด้านความสูงมีผลต่อการยึดมากกว่าความกว้าง และพื้นที่โดยรวม<sup>(47, 66, 67)</sup> นอกจากนี้เมื่อความสอมากขึ้นจะส่งผลให้แรงยึดลดลง<sup>(66)</sup> ส่วนที่สองซึ่งงานบูรณะ เช่น ลักษณะพื้นผิวภายใน, ความแนบสนิทของชิ้นงานบนหลักยึด และส่วนที่สามซีเมนต์ที่ใช้ เช่น ชนิดของซีเมนต์ และความหนืด ความหนาของซีเมนต์ เป็นต้น<sup>(68)</sup> โดยหลักยึดที่มีผิวขรุขระจะมีแรงยึดที่ดีขึ้นเมื่อใช้ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (Zinc phosphate cement) แต่เมื่อใช้เรซินซีเมนต์ปัจจัยที่มีผลคือความสูง ความกว้าง และความสอ<sup>(67)</sup>

ระบบหลักของสารยึดติดในปัจจุบันแบ่งเป็น 2 ระบบ คือ ระบบเอ็ทช์แอนดรีนซ์ (Etch and rinse) และระบบเซลฟ์เอ็ทช์ (Self etch)<sup>(52)</sup> จากคำแนะนำของบริษัทในการใช้งานซีเมนต์ยี่ห้อเอ็นเอ็ทช์ทรี ต้องใช้ร่วมกับสารยึดติดของบริษัทคือ ออปติบอนด์ (Optibond) แบ่งเป็น ออปติบอนด์โซโล-โพลัส (Optibond solo plus) ในระบบเอ็ทช์แอนดรีนซ์ และออปติบอนด์ เอ็ทช์ทีอาร์ (optibond XTR) ในระบบเซลฟ์เอ็ทช์ ซึ่งทั้ง 2 ระบบมีส่วนผสมของแบเรียมกลาส (Barium glass) ขนาด 0.4 ไมโครเมตรในปริมาณร้อยละ 15<sup>(53)</sup> แต่ส่วนผสมของแบเรียมกลาสในปริมาณและขนาดดังกล่าวมีอิทธิพลน้อยต่อสีของเรซินซีเมนต์ ดังนั้นอิทธิพลของสีของซีเมนต์จึงเกิดจากสีที่เกิดในองค์ประกอบของซีเมนต์กลุ่มเรซินเป็นหลัก<sup>(54)</sup>

ในปัจจุบันซีเมนต์กลุ่มเรซินมีจำหน่ายในหลากหลายผลิตภัณฑ์ทางการค้า แต่จากการศึกษาของ Niu และคณะในปี 2013 อิทธิพลของสีของซีเมนต์ที่สามารถปกปิดสีของโลหะกลุ่มเงินพัลเลเดียมพบว่า เรซินซีเมนต์ยี่ห้อเอ็นเอ็ทช์ทรี (NX3, Kerr, Canada) สีขาวทึบแสงสามารถปกปิดสีของโลหะเงินพัลลาเดียมได้ในระดับต่ำกว่าการรับรู้ในทางคลินิกที่ความหนา 100 และ 300 ไมโครเมตรเมื่อทดสอบร่วมกับเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตที่ความหนา 1.5 มิลลิเมตร แม้ซีเมนต์สีขาวทึบจะสามารถปิดสีได้ดี<sup>(13)</sup> แต่มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ซีเมนต์และไม่ใช้ซีเมนต์ร่วมกับเซรามิกชนิดโปร่งแสงน้อยและชนิดทึบแสงสูงพบว่า เซรามิกชนิดทึบแสงสูงร่วมกับพื้นหลังสีเนื้อฟันเอสสองให้ค่าความแตกต่างของสีน้อยที่สุดเมื่อไม่ใช้ซีเมนต์ที่ระดับ 3.00 แต่ให้ค่าความแตกต่างของสีเมื่อใช้ซีเมนต์บนหลักยึดไทเทเนียมดีที่สุดที่ระดับ 3.50<sup>(69)</sup> ดังนั้นปัจจัยเรื่องของสีและวัสดุทำหลักยึดมีผลต่อความสวยงาม<sup>(9, 13, 69)</sup>

สีของซีเมนต์มีผลต่อการปิดสีของหลักยึดเมื่อความหนาของเซรามิกชนิดโปร่งแสงน้อย และชนิดทึบแสงสูงน้อยกว่า 2.00 มิลลิเมตร นอกจากนี้ปัจจัยด้านความหนาของซีเมนต์มีผลต่อการปิดสี เมื่อระดับความหนาของซีเมนต์เพิ่มขึ้นจะเกิดค่าความแตกต่างของสีที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยระดับความหนาของซีเมนต์ 100 ไมครอนให้ค่าความแตกต่างของสีอยู่ที่ระดับ 2.21-4.63 ในสีของซีเมนต์เป็นสีขาวทึบ เหลือง และขาว<sup>(13)</sup>



### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. การคำนวณขนาดตัวอย่าง (Sample size calculation)
2. การสร้างเครื่องมือในการวิจัย
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การวิเคราะห์ข้อมูล

#### 1. การคำนวณขนาดตัวอย่าง (Sample size calculation)

คำนวณกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตร

$$n = \frac{[(Z^2_{\alpha} + Z^2_{\beta})(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)]}{\Delta^2} = \frac{[(1.64^2 + 1.64^2)(1.7^2 + 1.9^2)]}{3.3^2} = 3.21$$

โดยกำหนดค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองก่อนหน้า ให้  $Z_{\alpha}$  และ  $Z_{\beta}$  ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (1.64) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสีของกลุ่มที่ 1 ( $\sigma_1$ ) เท่ากับ 1.70 และกลุ่มที่ 2 ( $\sigma_2$ ) เท่ากับ 1.90 และค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของความหนาเซรามิกเท่ากับ 3.30 โดยอ้างอิงข้อมูลจากการศึกษาของ Dozic และคณะในปี 2007<sup>(70)</sup> จะได้ขนาดตัวอย่างของขั้นตอนทดสอบลิเทียมไดซิลิเกตประมาณ 4 ขึ้นต่อกลุ่ม ในงานวิจัยนี้จึงใช้ขนาดตัวอย่างของขั้นตอนทดสอบลิเทียมไดซิลิเกตทั้งหมด 28 ขึ้น แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 7 ขึ้น

#### 2. การสร้างเครื่องมือในการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัยประกอบด้วย

1. คอมโพสิตเรซิน (Filtek Z350XT; 3M ESPE, USA) สีเนื้อฟันเอสสอง (Dentin, A2)
2. เซอร์โคเนีย (Zirkon Translucent, Zirkonzahn, Italy)
3. ไทเทเนียม (Titan grade 5, Baoji seabird Metal Material, China)
4. เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลาง (IPS e.max CAD medium translucency; Ivoclar vivadent AG, Liechtenstein) สีเอหนึ่ง (Shade A1)
5. ซีเมนต์เนกซ์สทรี (NX3 dual cure, Kerr, USA) ได้แก่ สีขาว สีเหลือง และสีขาวทึบ



6. เครื่องกลึงโลหะหนัก (M4 Wet Heavy Metal Milling Unit, Zirkonzahn, Italy)
7. เครื่องกลึงเซรามิก (MasterMill N4, VHF, Germany)
8. เต้าเผาภายใต้สุญญากาศ (Programmat P300, Ivoclar vivadent AG, Liechtenstein)
9. เครื่องอะโนไดซ์ (KPS1203D, Wanptek, China)
10. เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Vita Easyshade Advance V ; Vita, Germany)
11. กล้องดำปิดสนิทที่เจาะรูด้านบนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม. สำหรับเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
12. เครื่องขัดเรียบ (Phoenix Beta, Buehler, USA)
13. เครื่องล้างอัลตราโซนิก (Biosonic UC125H, Caltene/Whaldent, USA)
14. เครื่องวัด (Calipretto S, Renfert, Germany)
15. เครื่องฉายแสงแบบแอลอีดี (LED P-Pen, Vector, USA)
16. แม่พิมพ์พลาสติกใสรูปวงกลมสำหรับยึดซีเมนต์
17. แบบกำหนดตำแหน่งจากยางธรรมชาติสีดำ
18. สารละลายกลีเซอริน

งานวิจัยนี้ได้กำหนดสิ่งที่ต้องการทดสอบ 3 ชนิด ได้แก่ เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต 28 ชิ้น ทดสอบพื้นหลัง และซีเมนต์ โดยมีขั้นตอนการเตรียมสิ่งที่ต้องการทดสอบ 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

## 2.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต

2.1.1 ชิ้นทดสอบเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลาง (IPS e.max CAD medium translucency; Ivoclar vivadent AG, Liechtenstein) รูปทรงกระบอกสี่เหลี่ยมหนึ่ง (A1) เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร จำนวน 28 ชิ้น โดยแบ่งเป็น 4 กลุ่มตามความหนา ได้แก่ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตร กลุ่มละ 7 ชิ้น

2.1.2 ออกแบบรูปทรงของชิ้นทดสอบในระบบคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมออกแบบ 3 มิติ (Tinkercad, Autodesk, USA) ดำเนินการกลึงขึ้นรูปด้วยเครื่องกลึง (MasterMill N4, VHF, Germany)



ภาพประกอบ 1 เครื่องกลึงเซรามิก (MasterMill N4, VHF, Germany)

2.1.3 นำชิ้นทดสอบขัดพื้นผิว 1 ด้านภายใต้การหล่อเย็นที่ความละเอียด 600, 800, 1000 และ 1200 ของกระดาษทรายน้ำด้วยเครื่องขัดเรียบ (Phoenix Beta, Buehler, USA) ด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 วินาที ตรวจสอบความหนาของชิ้นทดสอบหลังการขัดด้วยเครื่องวัด (Calipretto S, Renfert, Germany) จากนั้นนำไปเผาเพื่อให้เกิดการตกผลึกด้วยเตาเผาสุญญากาศ (Programmat P300, Ivoclar vivadent AG, Liechtenstein) ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต โดยชิ้นทดสอบจะไม่ผ่านกระบวนการเคลือบผิว (glazing) เพื่อควบคุมความหนาของชิ้นทดสอบ

## 2.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบพื้นหลัง

เตรียมชิ้นทดสอบพื้นหลัง จำนวน 4 ประเภท ได้แก่ คอมโพสิตเรซิน เซอร์โคเนีย ไทเทเนียม และไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ โดยมีขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบพื้นหลังแต่ละประเภทดังต่อไปนี้

2.2.1 ชิ้นทดสอบคอมโพสิตเรซิน (Filtek Z350XT; 3M ESPE, USA) สีเนื้อฟันเอสสอง (Dentin, A2) รูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร จำนวน 21 ชิ้น (กลุ่มควบคุม)

อุดคอมโพสิตเรซินในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ อุดแบบเป็นชั้น (Incremental layering technique) เพื่อลดการหดตัวของคอมโพสิตเรซิน จากนั้นปิดทับด้วยแผ่นกระจกสไลด์แล้วฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงแบบแอลอีดี (LED P-Pen, Vector, USA) กำหนดรูปแบบความเข้มแสง



จากน้อยไปมาก (soft strat mode) ชั้นละ 20 วินาที ที่ความเข้มแสง 750 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร



ก



ข



ค

ภาพประกอบ 2 ขั้นตอนการเปลี่ยนชั้นทดสอบคอมโพสิตเรซินสีเนื้อฟันเอสจอง

- (ก) แม่พิมพ์ที่มีรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร ลึก 2 มิลลิเมตร
- (ข) คอมโพสิตเรซินที่ถูกกดแบบเป็นชั้นในแม่พิมพ์
- (ค) ชั้นทดสอบคอมโพสิตเรซิน

2.2.2 ชั้นทดสอบเซอริโคเนีย (Zirkon Translucent, Zirkozahn, Italy) รูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร ระดับความหนา 2 มิลลิเมตร จำนวน 21 ชั้น

ออกแบบรูปทรงของชั้นทดสอบในระบบคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมออกแบบ 3 มิติ (Tinkercad, Autodesk, USA) ดำเนินการกลึงขึ้นรูปด้วยเครื่องกลึงโลหะหนัก (M4 Wet Heavy Metal Milling Unit, Zirkozahn, Italy)

นำชั้นทดสอบขัดพื้นผิว 1 ด้านภายใต้การหล่อเย็นที่ความละเอียด 600, 800, 1000 และ 1200 ของกระดาษทรายน้ำด้วยเครื่องขัดเรียบ (Phoenix Beta, Buehler, USA) ด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 วินาที ตรวจสอบความหนาของชั้นทดสอบหลังการขัดด้วยเครื่องวัด (Calipretto S, Renfert, Germany) จากนั้นนำไปเผาเพื่อให้เกิดการตกผลึกด้วยเตาเผาสุญญากาศ (Programmat P300, Ivoclar vivadent AG, Liechtenstein) ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต โดยชั้นทดสอบจะไม่ผ่านกระบวนการเคลือบผิว เพื่อควบคุมความหนาของชั้นทดสอบ

2.2.3 ชั้นทดสอบโลหะไทเทเนียม (Titan grade 5, Baoji seabird Metal Material, China) รูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร ตัดชั้นทดสอบความหนา 2 มิลลิเมตรด้วยเครื่องตัดความเร็วต่ำ (IsoMet 100 Precision Cutter, Buehler, USA) จำนวน 105 ชั้น

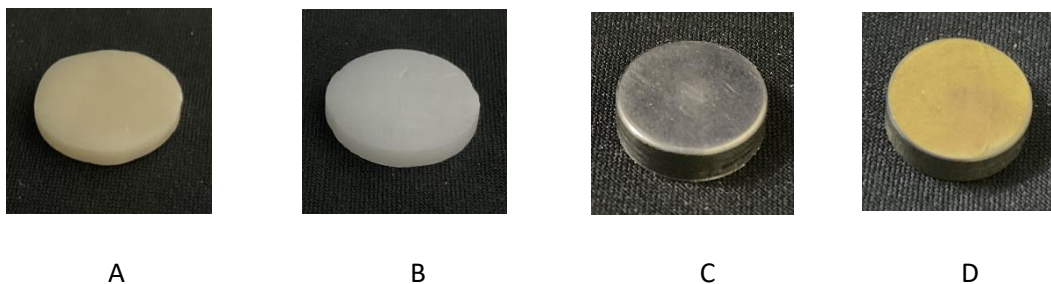
2.2.4 นำชิ้นทดสอบขัดพื้นผิวภายใต้การหล่อเย็นที่ความละเอียด 600, 800, 1000 และ 1200 ของกระดาษทรายน้ำด้วยเครื่องขัดเรียบ (Phoenix Beta, Buehler, USA) ด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นทำความสะอาดชิ้นงานด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิค (Biosonic UC125H, Caltene/Whaldent, USA) ในน้ำปราศจากอิออน (deionized water) เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งภายใต้อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ปกติ

2.2.5 นำชิ้นทดสอบโลหะไทเทเนียม (Titan grade 5, Baoji seabird Metal Material, China) จากข้อ 2.2.4 จำนวน 84 ชิ้น มาผ่านกระบวนการอะโนไดซ์เพื่อให้เกิดสปีบนชั้นโลหะทดสอบ

นำชิ้นทดสอบโลหะไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการขัดแต่งและทำความสะอาดมาผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ภายใต้อุณหภูมิห้อง โดยใช้สารละลายโซเดียมโบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 1.96 โดยมีมวลเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ยึดชิ้นทดสอบโลหะไทเทเนียมเข้ากับขั้วบวกและยึดแผ่นโลหะสแตนเลสขนาด 3x6 เซนติเมตรเข้ากับขั้วลบของวงจรไฟฟ้า ให้กระแสไฟฟ้าผ่านเครื่องอะโนไดซ์ (KPS1203D, Wanptek, China) ที่กระแสไฟฟ้าระดับ 40, 50, 60 และ 70 โวลต์อย่างละ 21 ชิ้น เป็นเวลา 60 วินาที จากนั้นทำความสะอาดชิ้นทดสอบด้วยน้ำปราศจากอิออนเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำมาเป่าลมเย็นให้แห้ง เก็บรักษาไว้ในภาชนะป้องกันความชื้นเพื่อรอทดสอบ



ภาพประกอบ 3 เครื่อง KPS1203D สำหรับทำอะโนไดซ์

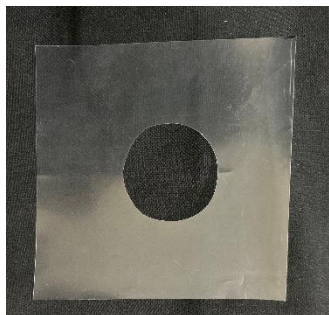


ภาพประกอบ 4 ชั้นทดสอบพื้นหลัง โดย A คือ ชั้นทดสอบคอมโพสิต, B คือ ชั้นทดสอบเซอริโค-เนียม, C คือ ชั้นทดสอบไทเทเนียม และ D คือ ชั้นทดสอบไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์

### 2.3 ขั้นตอนการเตรียมชั้นทดสอบซีเมนต์

2.3.1 ชั้นทดสอบซีเมนต์ (Nexus III dual cure, Kerr, USA) รูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร ความหนา 0.2 มิลลิเมตร จำนวน 147 ชิ้น แบ่งชั้นทดสอบเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ซีเมนต์สีขาวทึบ สีขาวและสีเหลือง กลุ่มละ 49 ชิ้น

2.3.2 เตรียมแม่พิมพ์พลาสติกใสรูปวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร หนา 0.2 มิลลิเมตร เพื่อสร้างชั้นทดสอบซีเมนต์ความหนา 0.2 มิลลิเมตร จากนั้นฉีดซีเมนต์จากปืนฉีดของผลิตภัณฑ์ลงบนแม่พิมพ์ที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกใส 2 แผ่นเพื่อควบคุมความหนาของซีเมนต์ โดยหยดสารละลายกลีเซอรินที่แผ่นกระจกใส เพื่อป้องกันไม่ให้ซีเมนต์ติด จากนั้นนำลูกตุ้มเหล็กหนัก 2 กิโลกรัมวางบนแผ่นกระจกใสที่วางทับแม่พิมพ์เป็นเวลา 60 วินาที แล้วฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงแบบแอลอีดี (LED P-Pen, Vector, USA) รูปแบบความเข้มแสงจากน้อยไปมาก (soft strat mode) เป็นเวลา 20 วินาทีในแต่ละด้านของชั้นทดสอบ ที่ความเข้มแสง 750 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ทำการฉายแสงซ้ำภายหลังนำลูกตุ้มเหล็กออกเป็นเวลา 20 วินาที เสร็จแล้วกำจัดส่วนเกินของซีเมนต์ แล้วนำชั้นทดสอบซีเมนต์ออกจากแม่พิมพ์ เก็บรักษาในตู้อบที่อุณหภูมิ  $37 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชม. ก่อนนำมาทดสอบ



ก



ข



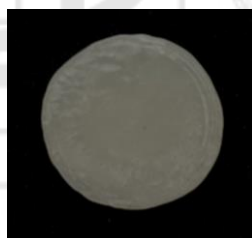
ค

### ภาพประกอบ 5 การสร้างชั้นทดสอบซีเมนต์

- (ก) แม่พิมพ์พลาสติกใสแบบรูปวงกลมความหนา 0.20 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร
- (ข) ลูกตุ้มเหล็กหนัก 2 กิโลกรัม วางบนแผ่นกระจกใสประกบกัน โดยมีแม่พิมพ์พลาสติกใสที่มีซีเมนต์อยู่ข้างใต้
- (ค) ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงแอลอีดีที่มุมทั้ง 4 ด้าน เป็นระยะเวลาด้านละ 20 วินาที



ก



ข



ค

ภาพประกอบ 6 ชั้นทดสอบซีเมนต์ (ก) ชั้นทดสอบซีเมนต์สีขาวทึบ (ข) ชั้นทดสอบซีเมนต์สีขาวโปร่งแสง (ค) ชั้นทดสอบซีเมนต์สีเหลือง

### 3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้มีขั้นตอนการทดสอบ 3 ขั้นตอน ได้แก่

1. ขั้นตอนการวัดสีก่อนยัดชั้นทดสอบซีเมนต์
2. ขั้นตอนการยัดชั้นซีเมนต์บนชั้นทดสอบพื้นหลัง
3. ขั้นตอนการวัดสีหลังยัดชั้นทดสอบซีเมนต์

#### 3.1 ขั้นตอนการวัดสีก่อนยัดชั้นทดสอบซีเมนต์

การแบ่งกลุ่มตัวอย่างการทดสอบค่าความเปลี่ยนแปลงสีก่อนยัดซีเมนต์

3.1.1 ชั้นทดสอบลิเทียมไดซิติเลต 28 ชั้น แบ่งตามระดับความหนาของชั้นทดสอบ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตร กลุ่มละ 7 ชั้น

3.1.2 ชั้นทดสอบพื้นหลัง 147 ชั้น แบ่งเป็น 4 กลุ่มใหญ่ตามวัสดุทำหลักยึดติดลิเทียม ได้แก่ ไทเทเนียม เซอร์โคเนีย ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40, 50, 60 และ 70 โวลต์ และคอมโพสิต (Dentine, A2) กลุ่มละ 21 ชั้น

3.1.3 แบ่งกลุ่มตัวอย่างจากข้อ 3.1.1-3.1.2 เป็น 4 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มมีชั้นทดสอบลิเทียมไดซิติเลตและชั้นทดสอบพื้นหลังอย่างละ 7 ชั้นต่อกลุ่ม

3.1.4 ใส่ชั้นทดสอบพื้นหลังลงแบบกำหนดตำแหน่งจากยางธรรมชาติสีดำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร ลึก 5 มิลลิเมตร หยดสารละลายกอลลีเซอรินสีใสจำนวน 3 หยดลงบนชั้นทดสอบพื้นหลังแล้วปิดทับด้วยชั้นทดสอบลิเทียมไดซิติเลต จากนั้นใส่กล่องดำปิดสนิทที่เจาะรูด้านบนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร สำหรับปลายวัดสีของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.1.5 ใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Vita Easys shade Advance V; Vita, Germany) ทำการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibration) ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตก่อนใช้งาน โดยเทียบเครื่องมือบนแผ่นเทียบเครื่องมือสีขาว (White calibration tile) ร่วมกับกล่องดำแสงสีดำ และทดสอบเทียบเครื่องมือก่อนทดสอบในแต่ละกลุ่มทดสอบ จากนั้นทำการวัดสีโดยใส่ปลายวัดสีของเครื่องมือสเปกโทรโฟโตมิเตอร์เข้าในรูบนกล่องดำให้แนบสนิทกับชั้นทดสอบในตำแหน่งกึ่งกลางของชั้นทดสอบ แล้วทดสอบวัดสีจำนวน 3 ครั้งต่อชั้นทดสอบ เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แสดงผลออกมาในรูปแบบของค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  บันทึกค่าที่ได้ตารางบันทึกข้อมูลโดยค่าเฉลี่ย

ค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง คำนวณจากสูตร

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

โดย ( $\Delta L$ ) คือ ความแตกต่างระหว่าง  $L^*$  ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

( $\Delta a$ ) คือ ความแตกต่างระหว่าง  $a^*$  ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

( $\Delta b$ ) คือ ความแตกต่างระหว่าง  $b^*$  ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

สำหรับค่าความแตกต่างของสีในวัสดุลิเทียมไดซิติเลตใช้ค่าความแตกต่างของสีที่มากกว่าหรือเท่ากับ 2.6(71) เป็นค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับในงานวิจัยนี้





ภาพประกอบ 7 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Vita Easyshade Advanc V, Germany)

### 3.2 ขั้นตอนการยึดชิ้นซีเมนต์บนชิ้นทดสอบพื้นหลัง

การแบ่งกลุ่มตัวอย่างทดสอบค่าความแตกต่างของสีหลังยึดซีเมนต์

3.2.1 ชิ้นทดสอบลิเทียมไดซิลิเกต 28 ชิ้น แบ่งตามระดับความหนาของชิ้นทดสอบ 1.0(Li1.0), 1.5(Li1.5), 2.0(Li2.0) และ 2.5(Li2.5) มิลลิเมตร กลุ่มละ 7 ชิ้น

3.2.2 ชิ้นทดสอบซีเมนต์ 147 ชิ้น แบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ตามสี ได้แก่ สีขาว(W) สีเหลือง(Y) และสีขาวทึบ(WO) กลุ่มละ 49 ชิ้น ทำการแบ่งกลุ่มย่อยของแต่ละสีเป็น 7 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 7 ชิ้น โดยวิธีสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling)

3.2.3 ชิ้นทดสอบพื้นหลัง 147 ชิ้น แบ่งเป็น 7 กลุ่มใหญ่ตามวัสดุทำหลักยึดรากเทียม ได้แก่ ไทเทเนียม(Ti) เซอร์โคเนีย(Zr) ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40(ATi40), 50(ATi50), 60(ATi60) และ 70(ATi70) โวลต์ และคอมโพสิต (Dentine, A2)(D) กลุ่มละ 21 ชิ้น ทำการแบ่งกลุ่มย่อยของแต่ละวัสดุทำหลักยึดรากเทียมเป็น 3 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 7 ชิ้น โดยวิธีสุ่มอย่างง่าย

3.2.4 แบ่งกลุ่มการทดสอบจากข้อ 3.1.2 และ 3.1.3 เป็นกลุ่มที่ประกอบด้วยชิ้นทดสอบซีเมนต์และชิ้นทดสอบพื้นหลังเป็น 21 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มมีชิ้นทดสอบซีเมนต์และชิ้นทดสอบพื้นหลังอย่างละ 7 ชิ้น ดังภาพประกอบที่ 8

	Ti 21 ชิ้น	กลุ่มทดสอบ		
W 49 ชิ้น	Zr 21 ชิ้น	WTi 7 ชิ้น	YTi 7 ชิ้น	WOTi 7 ชิ้น
	D 21 ชิ้น	WZr 7 ชิ้น	YZr 7 ชิ้น	WOZr 7 ชิ้น
Y 49 ชิ้น	ATi40 21 ชิ้น	WD 7 ชิ้น	YD 7 ชิ้น	WOD 7 ชิ้น
	ATi50 21 ชิ้น	WATi40 7 ชิ้น	YATi40 7 ชิ้น	WOATi40 7 ชิ้น
WO 49 ชิ้น	ATi60 21 ชิ้น	WATi50 7 ชิ้น	YATi50 7 ชิ้น	WOATi50 7 ชิ้น
	ATi70 21 ชิ้น	WATi60 7 ชิ้น	YATi60 7 ชิ้น	WOATi60 7 ชิ้น
		WATi70 7 ชิ้น	YATi70 7 ชิ้น	WOATi70 7 ชิ้น

ชั้นทดสอบซีเมนต์      ชั้นทดสอบพื้นหลัง      ชั้นทดสอบซีเมนต์และชั้นทดสอบพื้นหลัง

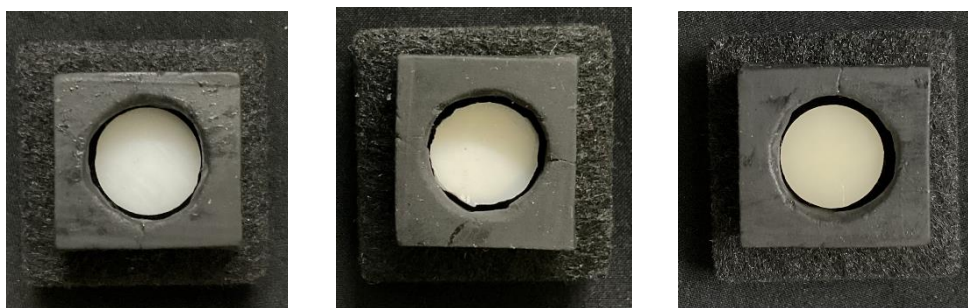
ภาพประกอบ 8 แผนภูมิแสดงการแบ่งกลุ่มทดสอบของชั้นทดสอบซีเมนต์และชั้นทดสอบพื้นหลัง

3.2.5 นำชั้นทดสอบที่ถูกแบ่งกลุ่มในจากข้อ 3.2.4 ใส่ลงแบบกำหนดตำแหน่งจากยางธรรมชาติสีดำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร ลึก 5 มิลลิเมตร หยดสารละลายลิเซอรินจำนวน 3 หยดลงบนชั้นทดสอบซีเมนต์ที่ยึดบนชั้นทดสอบพื้นหลังแล้วปิดทับด้วยชั้นทดสอบลิเทียมไดซิลิเกต จากนั้นใส่ลงกล่องดำปิดสนิทที่เจาะรูด้านบนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร สำหรับปลายวัดของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

### 3.3 ขั้นตอนการวัดสีหลังยึดซีเมนต์

ใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Vita Easyshade Advance V ; Vita, Germany) ทำการสอบเทียบเครื่องมือตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตก่อนใช้งานโดยเทียบเครื่องมือบนแผ่นเทียบเครื่องมือสีขาวร่วมกับกล่องดำแสงสีดำและทดสอบเทียบเครื่องมือก่อนทดสอบในแต่ละกลุ่มทดสอบ ทำการวัดสีโดยใส่ปลายวัดสีของเครื่องมือสเปกโทรโฟโตมิเตอร์เข้าไปในรูบนกล่องดำให้แนบสนิทกับชั้นทดสอบในตำแหน่งกึ่งกลางของชั้นทดสอบ แล้วทดสอบวัดสีจำนวน 3 ครั้งต่อชั้น

ทดสอบ เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แสดงผลออกมาในรูปแบบของค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  บันทึกค่าที่ได้ตารางบันทึกข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย



ก

ข

ค

ภาพประกอบ 9 การวางขึ้นทดสอบพื้นหลัง ซีเมนต์ และเซรามิก

- (ก) วางขึ้นทดสอบพื้นหลังลงในแบบกำหนดตำแหน่ง
- (ข) วางขึ้นทดสอบซีเมนต์ทับขึ้นทดสอบพื้นหลังโดยมีสารละลายยกลีเซอร์อินคั่นกลาง
- (ค) วางขึ้นทดสอบเซรามิกทับขึ้นทดสอบซีเมนต์โดยมีสารละลายยกลีเซอร์อินคั่นกลาง

#### 4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ทางสถิติผ่านโปรแกรมเอสพีเอสเอส (IBM SPSS statistics version 21.0; SPSS Inc.) โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p < 0.05$ ) ในการวิเคราะห์ความหนาของเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต และวัสดุทำหลักยึดรากเทียม และสถิติทรีเวย์อะโนวา (Three-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p < 0.05$ ) ในการวิเคราะห์ตัวแปร 3 อย่างคือ ความหนาของเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต สีของซีเมนต์และวัสดุทำหลักยึดรากเทียม และทดสอบความแตกต่างรายคู่ด้วยวิธีทดสอบของทูกี (Tukey's HSD test)



## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกที่เชื่อมไดซิติลเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางในแต่ละความหนาของวัสดุบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมที่ต่างชนิดโดยมีและไม่มีซีเมนต์ร่วมด้วย เพื่อเป็นแนวทางให้ทันตแพทย์ในการเลือกใช้วัสดุบูรณะและหลักยึดรากเทียมให้เหมาะสมที่สุด ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยโดยการศึกษิตตามขอบวนการและขั้นตอนต่างๆให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ ได้ดังนี้

1. ผลลัพธ์ของข้อมูลค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึดรากเทียม
2. ผลลัพธ์ของข้อมูลค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิก สีของซีเมนต์ และวัสดุทำหลักยึดรากเทียม

#### 1. ผลลัพธ์ของข้อมูลค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึดรากเทียม

- 1.1 ผลลัพธ์ของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึดรากเทียม

ตาราง 1 แสดงค่าความแตกต่างของสีโดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิก และวัสดุทำหลักยึดรากเทียม

ความหนาของเซรามิก	1.00	1.50	2.00	2.50
	$\Delta E$			
วัสดุทำหลักยึดรากเทียม	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
Zr	10.08±0.19	6.51±0.32	2.64±0.34	1.07±0.16
Ti	12.21±0.16	7.68±0.16	6.96±0.23	4.00±0.32
ATi40	N/A	12.56±0.43	9.53±0.28	6.38±1.62
ATi50	8.79±0.22	3.96±0.15	4.29±0.30	2.37±0.22

ตาราง 1 (ต่อ)

วัสดุทำหลักยึดรากเทียม	ความหนาของเซรามิก			
	1.00	1.50	2.00	2.50
	$\Delta E$			
	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
ATi60	8.87±0.20	3.08±0.18	4.56±0.29	2.53±0.22
ATi70	17.83±0.12	10.41±0.10	8.85±0.09	5.81±0.06

\*\*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

หมายเหตุ Zr คือเซอร์โคเนีย, Ti คือไทเทเนียม, ATi40 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์, ATi50 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์, ATi60 คือไทเทเนียมผ่านที่กระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์, ATi70 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมดังปรากฏในตาราง มีค่าอยู่ระหว่าง 1.07 ถึง 17.83 โดยค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีที่น้อยที่สุดอยู่ในกลุ่มความหนาของเซรามิก 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมเซอร์โคเนีย และมากที่สุดอยู่ในกลุ่มความหนาของเซรามิก 1.00 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมเซอร์โคเนียมีค่าอยู่ที่ 10.08, 6.51, 2.64 และ 1.07 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมมีค่าอยู่ที่ 12.21, 7.68, 6.96 และ 4.00 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ความหนา 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์มีค่าอยู่ที่ 12.56, 9.53 และ 4.00 ตามลำดับ โดยความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00 มิลลิเมตรไม่สามารถอ่านค่า (Not available, N/A) ได้

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์มีค่าอยู่ที่ 8.79, 3.96, 4.29 และ 2.37 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์มีค่าอยู่ที่ 8.87, 3.08, 4.56 และ 2.53 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์มีค่าอยู่ที่ 17.83, 10.41, 8.85 และ 5.81 ตามลำดับ

จากค่าความแตกต่างของสีที่กำหนดให้มีค่าน้อยกว่า 2.6 เป็นค่าที่ยอมรับในงานวิจัยนี้ พบว่าความหนาของเซรามิกที่ระดับ 2.00 มิลลิเมตรร่วมกับวัสดุทำหลักยึดเซอริโคเนีย และความหนาของเซรามิกที่ระดับ 2.50 มิลลิเมตรร่วมกับวัสดุทำหลักยึดเซอริโคเนีย ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์ผ่านเกณฑ์การทดสอบที่กำหนดไว้

1.2 ผลลัพธ์ของค่าความแปรปรวนของความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึดรากเทียม

ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกตามความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึดรากเทียม

แหล่งของความแปรปรวน	ระดับแห่งความ เป็นอิสระ	ค่าตัวสถิติ	ค่าสถิติเอฟ	ค่านัยสำคัญทาง สถิติ
ความหนาของเซรามิก	3	508.33	6987.22	0.00
วัสดุทำหลักยึดรากเทียม	5	225.36	30.97.71	0.00
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความ หนาของเซรามิกและวัสดุทำ หลักยึดรากเทียม	14	11.17	153.49	0.00
ความคลาดเคลื่อน	138	0.07		
รวม	161			

\*\*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึดรากเทียมมีอิทธิพลต่อค่าความแตกต่างของสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เมื่อพิจารณาอิทธิพลหลักพบว่าความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึดรากเทียมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

1.3 ผลลัพธ์ของการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสี่จำแนกตามความหนาของเซรามิกเป็นรายคู่ด้วยวิธีทดสอบของทูกี

ตาราง 3 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสี่จำแนกตามความหนาของเซรามิกเป็นรายคู่ ด้วยวิธีทดสอบของทูกี

ความหนาของ เซรามิก	ความหนาของ เซรามิก	ผลต่างของ ค่าเฉลี่ย	ความคลาดเคลื่อน มาตรฐาน	ค่านัยสำคัญทาง สถิติ
1.00	1.50	3.97	0.06	0.00
	2.00	5.42	0.06	0.00
	2.50	8.17	0.06	0.00
1.50	1.00	-3.97	0.06	0.00
	2.00	1.45	0.06	0.00
	2.50	4.20	0.06	0.00
2.00	1.00	-5.42	0.06	0.00
	1.50	-1.45	0.06	0.00
	2.50	2.75	0.06	0.00
2.50	1.00	-8.17	0.06	0.00
	1.50	-4.20	0.06	0.00
	2.00	-2.75	0.06	0.00

จากตารางเมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสี่ของความหนาเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรเป็นรายคู่ด้วยสถิติทดสอบทูกี พบว่าความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00 มิลลิเมตรแตกต่างกับความหนาที่ระดับ 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตร ความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.50 มิลลิเมตรแตกต่างกับความหนาของเซรามิกที่ระดับ 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตร และความหนาของเซรามิกที่ระดับ 2.00 มิลลิเมตรแตกต่างกับความหนาของเซรามิกที่ระดับ 2.50 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

1.4 ผลลัพธ์ของการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสี่จำแนกตามวัสดุทำหลักยึดรากเทียมเป็นรายคู่ด้วยวิธีทดสอบของทูกี

ตาราง 4 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีจำแนกตามวัสดุทำหลักยึดรากเทียมเป็นรายคู่ ด้วยวิธีทดสอบของทูกี

วัสดุทำหลักยึด รากเทียม	วัสดุทำหลักยึด รากเทียม	ผลต่างของ ค่าเฉลี่ย	ค่าความคลื่อน มาตรฐาน	ค่านัยสำคัญทาง สถิติ
Zr	Ti	-2.82	0.07	0.00
	ATi40	-4.56	0.07	0.00
	ATi50	-0.01	0.07	1.00
	ATi60	0.06	0.07	0.99
	ATi70	-5.90	0.07	0.00
Ti	Zr	2.82	0.07	0.00
	ATi40	-1.74	0.07	0.00
	ATi50	2.81	0.07	0.00
	ATi60	2.88	0.07	0.00
	ATi70	-3.08	0.07	0.00
ATi40	Zr	4.56	0.07	0.00
	Ti	1.74	0.07	0.00
	ATi50	4.55	0.07	0.00
	ATi60	4.62	0.07	0.00
	ATi70	-1.34	0.07	0.00
ATi50	Zr	0.01	0.07	1.00
	Ti	-2.81	0.07	0.00
	ATi40	-4.55	0.07	0.00
	ATi60	0.07	0.07	0.97
	ATi70	-5.89	0.07	0.00
ATi60	Zr	-0.06	0.07	0.99
	Ti	-2.88	0.07	0.00
	ATi40	-4.62	0.07	0.00

ตาราง 4 (ต่อ)

วัสดุทำหลักยึด	วัสดุทำหลักยึด	ผลต่างของ	ค่าความเคลื่อน	ค่านัยสำคัญทาง
รากเทียม	รากเทียม	ค่าเฉลี่ย	มาตรฐาน	สถิติ
ATi60	ATi50	-0.07	0.07	0.72
	ATi70	-5.96	0.07	0.00
ATi70	Zr	5.90	0.07	0.00
	Ti	3.08	0.07	0.00
	ATi40	1.34	0.07	0.00
	ATi50	5.89	0.07	0.00
	ATi60	5.96	0.07	0.00

\*\*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

หมายเหตุ Zr คือเซอร์โคเนีย, Ti คือไทเทเนียม, ATi40 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์, ATi50 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์, ATi60 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์, ATi70 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์

จากตารางเมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแตกต่างของสีของวัสดุทำหลักยึดรากเทียมแต่ละชนิดเป็นรายคู่ด้วยสถิติทดสอบของทุกี่ พบว่าวัสดุทำหลักยึดรากเทียมเซอร์โคเนียแตกต่างกับวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียม ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 และ 70 โวลต์ วัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมแตกต่างกับวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40, 50, 60 และ 70 โวลต์ วัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์แตกต่างกับวัสดุทำหลักยึดรากเทียมเซอร์โคเนีย ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50, 60 และ 70 โวลต์ วัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์แตกต่างกับวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียม ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 และ 70 โวลต์ วัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์แตกต่างกับวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียม ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 และ 70 โวลต์ และวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์แตกต่างกับวัสดุทำหลักยึดรากเทียมเซอร์โคเนีย ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40, 50 และ 60 โวลต์

## 2. การวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิก สีของซีเมนต์ และวัสดุทำหลักยึดรากเทียม

2.1 ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียม โดยจำแนกตามสีของเรซินซีเมนต์ยี่ห้อเนกซ์ส ทรี

การทดสอบค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิก สีของซีเมนต์ และวัสดุทำหลักยึดรากเทียม ให้ผลลัพธ์โดยจำแนกตามสีของเรซินซีเมนต์ยี่ห้อเนกซ์ส ทรีดังตารางต่อไปนี้

### 2.1.1 เรซินซีเมนต์สีขาว

ตาราง 5 แสดงค่าความแตกต่างของสีโดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิก วัสดุทำหลักยึดรากเทียม และเรซินซีเมนต์สีขาว

ความหนาของเซรามิก	1.00	1.50	2.00	2.50
	$\Delta E$			
วัสดุทำหลักยึดรากเทียม	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
Zr	8.00±0.11	5.11±0.14	3.44±0.22	3.04±0.19
Ti	6.35±0.19	3.71±0.33	2.31±0.12	2.03±0.16
ATi40	12.94±0.20	7.45±0.10	5.02±0.19	3.45±0.11
ATi50	5.73±0.22	3.80±0.13	3.07±0.11	2.68±0.12
ATi60	7.23±0.22	4.73±0.34	3.54±0.29	3.55±0.18
ATi70	12.73±0.10	7.59±0.11	4.90±0.09	3.94±0.10

\*\*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

หมายเหตุ Zr คือเซอริโคเนีย, Ti คือไทเทเนียม, ATi40 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์, ATi50 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์, ATi60 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์, ATi70 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมเซอริโคเนียมีค่าอยู่ที่ 8.00, 5.11, 3.44 และ 3.04 ตามลำดับ



ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักรากเทียมไทเทเนียมมีค่าอยู่ที่ 6.35, 3.71, 2.31 และ 2.03 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ความหนา 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์มีค่าอยู่ที่ 12.94, 7.45, 5.02 และ 3.45 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์มีค่าอยู่ที่ 5.73, 3.80, 3.07 และ 2.68 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์มีค่าอยู่ที่ 7.23, 4.73, 3.54 และ 3.55 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์มีค่าอยู่ที่ 12.73, 7.59, 4.90 และ 3.94 ตามลำดับ

#### 2.1.2 เรซินซีเมนต์สีขาวทึบ

ตาราง 6 แสดงค่าความแตกต่างของสีโดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาเซรามิก วัสดุทำหลักยึดรากเทียม และเรซินซีเมนต์สีขาว

ความหนาของเซรามิก วัสดุทำหลักยึดรากเทียม	1.00	1.50	2.00	2.50
	$\Delta E$			
	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
Zr	9.38±0.07	3.06±0.23	0.77±0.07	1.41±0.07
Ti	11.82±0.25	3.91±0.15	3.17±0.24	1.43±0.08
ATi40	14.36±0.10	5.40±0.10	4.70±0.09	2.07±0.06
ATi50	10.17±0.11	4.06±0.18	3.03±0.04	1.50±0.12



ตาราง 6 (ต่อ)

ความหนาของเซรามิก	1.00	1.50	2.00	2.50
	$\Delta E$			
วัสดุทำหลักยึดรากเทียม	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
ATi60	10.37±0.20	3.10±0.15	3.16±0.09	1.64±0.14
ATi70	12.10±0.20	4.37±0.07	4.84±0.17	2.42±0.11

\*\*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

หมายเหตุ Zr คือเซอร์โคเนีย, Ti คือไทเทเนียม, ATi40 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์, ATi50 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์, ATi60 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์, ATi70 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมเซอร์โคเนียมีค่าอยู่ที่ 9.38, 3.06, 0.77 และ 1.41 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมมีค่าอยู่ที่ 11.82, 3.91, 3.17 และ 1.43 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ความหนา 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์มีค่าอยู่ที่ 14.36, 5.40, 4.70 และ 2.07 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตร บนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์มีค่าอยู่ที่ 10.37, 4.73, 3.54 และ 1.64 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์มีค่าอยู่ที่ 12.10, 4.37, 4.84 และ 2.42 ตามลำดับ

### 2.1.1 เรซินซีเมนต์สีเหลือง

ตาราง 7 แสดงค่าความแตกต่างของสีโดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิกวัสดุทำหลักยึดรากเทียม และเรซินซีเมนต์สีเหลือง

ความหนาของเซรามิก วัสดุทำหลักยึดรากเทียม	1.00	1.50	2.00	2.50
	$\Delta E$			
	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
Zr	5.57±0.37	4.63±0.29	1.41±0.12	1.36±0.13
Ti	7.33±0.26	6.57±0.12	3.79±0.17	1.84±0.08
ATi40	10.99±0.24	6.85±0.55	3.39±0.14	2.09±0.16
ATi50	6.62±0.34	5.22±0.17	2.82±0.06	1.88±0.18
ATi60	6.96±0.22	5.71±0.20	3.25±0.09	1.86±0.09
ATi70	10.10±0.23	7.29±0.13	3.84±0.20	2.01±0.05

\*\*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

หมายเหตุ Zr คือเซอริโคเนีย, Ti คือไทเทเนียม, ATi40 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์, ATi50 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์, ATi60 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์, ATi70 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมเซอริโคเนียมีค่าอยู่ที่ 5.57, 4.63, 1.41 และ 1.36 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมมีค่าอยู่ที่ 7.33, 6.57, 3.79 และ 1.84 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ความหนา 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์มีค่าอยู่ที่ 10.99, 6.85, 3.39 และ 2.09 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์มีค่าอยู่ที่ 6.62, 5.22, 2.82 และ 1.88 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์มีค่าอยู่ที่ 6.96, 5.71, 3.25 และ 1.86 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีระหว่างความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์มีค่าอยู่ที่ 10.10, 7.99, 3.84 และ 2.01 ตามลำดับ

จากค่าความแตกต่างของสีที่กำหนดให้มีค่าน้อยกว่า 2.6 เป็นค่าที่ยอมรับในงานวิจัยนี้ พบว่าความหนาของเซรามิกที่ระดับ 2.00 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียมร่วมกับซีเมนต์สีสีขาว, ความหนาของเซรามิกที่ระดับ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียมและไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ร่วมกับซีเมนต์สีสีขาว, ความหนาของเซรามิกที่ระดับ 2.00 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดเซอโรโคเนียร่วมกับซีเมนต์สีขาวทึบ, ความหนาของเซรามิกที่ระดับ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดเซอโรโคเนีย ไทเทเนียมและไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40, 50, 60 และ 70 โวลต์ร่วมกับซีเมนต์สีสีขาวทึบ, ความหนาของเซรามิกที่ระดับ 2.00 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดเซอโรโคเนียร่วมกับซีเมนต์สีเหลือง และความหนาของเซรามิกที่ระดับ 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดเซอโรโคเนีย ไทเทเนียม ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40, 50, 60 และ 70 โวลต์มีค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีผ่านเกณฑ์การทดสอบที่กำหนดไว้ 2.2 ผลลัพธ์ของความแปรปรวนของความหนาของเซรามิก สีของซีเมนต์ และวัสดุทำหลักยึดรากเทียม

ตาราง 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกตามความหนาของเซรามิก สีของซีเมนต์ และวัสดุทำหลักยึดรากเทียม

แหล่งของความแปรปรวน	ระดับแห่งความ เป็นอิสระ	ค่าตัวสถิติ	ค่าสถิติเอฟ	ค่านัยสำคัญทาง สถิติ
ความหนาของเซรามิก	3	1216.58	6741.54	0.00
วัสดุทำหลักยึดรากเทียม	5	107.03	593.10	0.00

ตาราง 8 (ต่อ)

แหล่งของความแปรปรวน	ระดับแห่งความ เป็นอิสระ	ค่าตัวสถิติ	ค่าสถิติเอฟ	ค่านัยสำคัญทาง สถิติ
สีของซีเมนต์	2	16.64	92.20	0.00
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความ หนาของเซรามิกและวัสดุทำ หลักยึด	15	16.11	89.27	0.00
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความ หนาของเซรามิกและสีของ ซีเมนต์	6	71.78	397.74	0.00
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสีของ ซีเมนต์และวัสดุทำหลักยึด	10	13.96	77.33	0.00
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความ หนาของเซรามิก สีของ ซีเมนต์ และวัสดุทำหลักยึด	30	2.98	16.48	0.00
รากเทียม				
ความคลาดเคลื่อน	432	0.18		
รวม	503			

\*\*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิก สีของซีเมนต์ และวัสดุทำหลักยึดรากเทียมมีอิทธิพลต่อค่าความแตกต่างของสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เมื่อพิจารณาอิทธิพลหลักพบว่าความหนาของเซรามิก สีของซีเมนต์และวัสดุทำหลักยึดรากเทียมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2.3 ผลลัพธ์ของการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีจำแนกตามความหนาของเซรามิกเป็นรายคู่ด้วยวิธีทดสอบของทูเก้

ตาราง 9 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีจำแนกตามความหนาของเซรามิกเป็นรายคู่ ด้วยวิธีทดสอบของทูกี

ความหนาของ เซรามิก	ความหนาของ เซรามิก	ผลต่างของ ค่าเฉลี่ย	ค่าความเคลื่อน มาตรฐาน	ค่านัยสำคัญทาง สถิติ
1.00	1.50	4.33	0.05	0.00
	2.00	5.93	0.05	0.00
	2.50	7.10	0.05	0.00
1.50	1.00	-4.33	0.05	0.00
	2.00	1.60	0.05	0.00
	2.50	2.76	0.05	0.00
2.00	1.00	-5.93	0.05	0.00
	1.50	-1.60	0.05	0.00
	2.50	1.16	0.05	0.00
2.50	1.00	-7.10	0.05	0.00
	1.50	-2.76	0.05	0.00
	2.00	-1.16	0.05	0.00

จากตาราง เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตที่ความหนา 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรเป็นรายคู่ด้วยสถิติทดสอบทูกีพบว่า ความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.00 มิลลิเมตรแตกต่างกับความหนาที่ระดับ 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตร ความหนาของเซรามิกที่ระดับ 1.50 มิลลิเมตรแตกต่างกับความหนาของเซรามิกที่ระดับ 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตร และความหนาของเซรามิกที่ระดับ 2.00 มิลลิเมตรแตกต่างกับความหนาของเซรามิกที่ระดับ 2.50 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2.4 ผลลัพธ์ของการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีจำแนกตามสีของซีเมนต์เป็นรายคู่ด้วยวิธีทดสอบของทูกี

ตาราง 10 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีจำแนกตามความหนาของเซรามิกเป็นรายคู่ ด้วยวิธีทดสอบของทูกี

สีของซีเมนต์	สีของซีเมนต์	ผลต่างของ ค่าเฉลี่ย	ค่าความคลื่อน มาตรฐาน	ค่านัยสำคัญทาง สถิติ
ขาว	ขาวทึบ	0.24	0.05	0.00
	เหลือง	0.62	0.05	0.00
ขาวทึบ	ขาว	-0.24	0.05	0.00
	เหลือง	0.39	0.05	0.00
เหลือง	ขาว	-0.62	0.05	0.00
	ขาวทึบ	-0.39	0.05	0.00

จากตาราง เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแตกต่างของสีของเรซินซีเมนต์เป็นรายคู่ด้วยสถิติทดสอบทูกี พบว่าเรซินซีเมนต์ยี่ห้อเนกซ์ส หรือสีขาวแตกต่างกับสีขาวทึบและเหลือง เรซินซีเมนต์ยี่ห้อเนกซ์ส หรือสีขาวทึบแตกต่างกับสีเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2.5 ผลลัพธ์ของการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีจำแนกตามวัสดุทำหลักยึดรากเทียมเป็นรายคู่ด้วยวิธีทดสอบของทูกี

ตาราง 11 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแตกต่างของสีจำแนกตามวัสดุทำหลักยึดรากเทียมเป็นรายคู่ ด้วยวิธีทดสอบของทูกี

วัสดุทำหลักยึด รากเทียม	วัสดุทำหลักยึด รากเทียม	ผลต่างของ ค่าเฉลี่ย	ค่าความคลื่อน มาตรฐาน	ค่านัยสำคัญทาง สถิติ
Zr	Ti	-0.52	0.07	0.00
	ATi40	-2.57	0.07	0.00
	ATi50	-0.19	0.07	0.15
	ATi60	-0.59	0.07	0.00
	ATi70	-2.36	0.07	0.00

ตาราง 11 (ต่อ)

วัสดุทำหลักยึด รากเทียม	วัสดุทำหลักยึด รากเทียม	ผลต่างของ ค่าเฉลี่ย	ค่าความเคลื่อน มาตรฐาน	ค่านัยสำคัญทาง สถิติ
Ti	Zr	0.52	0.07	0.00
	ATi40	-2.05	0.07	0.00
	ATi50	0.33	0.07	0.00
	ATi60	-0.75	0.07	0.94
	ATi70	-1.85	0.07	0.00
ATi40	Zr	2.57	0.07	0.00
	Ti	2.05	0.07	0.00
	ATi50	2.38	0.07	0.00
	ATi60	1.98	0.07	0.00
	ATi70	0.21	0.07	0.08
ATi50	Zr	0.19	0.07	0.00
	Ti	-0.33	0.07	0.00
	ATi40	-2.38	0.07	0.00
	ATi60	-0.40	0.07	0.00
	ATi70	-2.17	0.07	0.00
ATi60	Zr	0.59	0.07	0.00
	Ti	0.07	0.07	0.94
	ATi40	-1.98	0.07	0.00
	ATi50	0.40	0.07	0.00
	ATi70	-1.77	0.07	0.00
ATi70	Zr	2.36	0.07	0.00
	Ti	1.85	0.07	0.00
	ATi40	-0.21	0.07	0.08
	ATi50	2.17	0.07	0.00



ตาราง 11 (ต่อ)

วัสดุทำหลักยึด รากเทียม	วัสดุทำหลักยึด รากเทียม	ผลต่างของ ค่าเฉลี่ย	ค่าความคลื่อน มาตรฐาน	ค่านัยสำคัญทาง สถิติ
ATi70	ATi60	1.77	0.07	0.00

\*\*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

หมายเหตุ Zr คือเซอร์โคเนีย, Ti คือไทเทเนียม, ATi40 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์, ATi50 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์, ATi60 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์, ATi70 คือไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์

จากตาราง เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแตกต่างของสีของวัสดุทำหลักยึดรากเทียมแต่ละชนิดเป็นรายคู่ด้วยสถิติทดสอบทุกิ พบว่าวัสดุทำหลักยึดรากเทียม เซอร์โคเนีย แตกต่างกับวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียม ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40, 60 และ 70 โวลต์ วัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมแตกต่างกับวัสดุทำหลักยึดรากเทียมเซอร์โคเนีย ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40, 50 และ 70 โวลต์ วัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์แตกต่างกับวัสดุทำหลักยึดรากเทียมเซอร์โคเนีย ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์ วัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์แตกต่างกับวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียม ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์แตกต่างกับวัสดุทำหลักยึดรากเทียมเซอร์โคเนีย ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40, 50 และ 70 โวลต์ และวัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์แตกต่างกับวัสดุทำหลักยึดรากเทียมเซอร์โคเนีย ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์

## บทที่ 5

### การสรุป อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยเรื่องผลของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต สีของซีเมนต์ และวัสดุทำหลักยึดรากเทียมต่อสีของชิ้นงานบูรณะ ผู้วิจัยได้ทดสอบตามขั้นตอนปฏิบัติที่กำหนดไว้และวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของสีด้วยเครื่องทดสอบสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สามารถสรุปผลการดำเนินงาน โดยแบ่งตามหัวข้อในการสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. อภิปรายผลค่าความแตกต่างของสีระหว่างเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตและวัสดุทำหลักยึด
2. อภิปรายผลค่าความแตกต่างของสีระหว่างเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต สีของซีเมนต์ และวัสดุทำหลักยึด
3. การประยุกต์ใช้ทางคลินิก

#### 1. อภิปรายผลค่าความแตกต่างของสีระหว่างเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตและวัสดุทำหลักยึด

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าความแตกต่างของสีระหว่างเซรามิกกลุ่มลิเทียม-ไดซิลิเกตที่ความหนา 4 ระดับบนวัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิด พบว่าค่าความแตกต่างของสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยขึ้นอยู่กับความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตและวัสดุทำหลักยึด ปฏิเสธสมมติฐานว่าง (The null hypothesis) ข้อที่ว่า “ความหนาของเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตไม่มีผลต่อค่าความแตกต่างของสีบนวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียม, เซอร์โคเนีย, ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40, 50, 60 และ 70 โวลต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ”

การบูรณะชิ้นงานทันตกรรมให้สวยงามเหมือนธรรมชาติจำเป็นต้องมีสีและความโปร่งแสงใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ ในอดีตเกณฑ์ USPHS เป็นวิธีประเมินความเหมือนและเสถียรของสีที่ถูกกำหนดโดย Cvar และ Ryge ในปี 1971 โดยให้คะแนนเป็นค่าอัลฟา (Alfa), บราโว่ (Bravo) และชาร์ลี (Charlie) เพื่อเปรียบเทียบความเหมือนของชิ้นงานบูรณะและฟันข้างเคียงในแง่สีหรือความโปร่งแสง<sup>(72)</sup> โดยมีการศึกษาทางคลินิกของ Johnston และ Kao ในปี 1989 เปรียบเทียบสีของคอมโพสิตวีเนียร์ (Composite veneer) 3 ยี่ห้อกับฟันข้างเคียงพบว่ามีค่าเฉลี่ยของค่าแอลฟาหรือค่าสีที่ผู้ทดสอบเห็นว่าเหมือนกับฟันข้างเคียงที่ระดับ 3.7 และค่าบราโว่หรือค่าสีที่ผู้ทดสอบมองเห็นว่าแตกต่างที่ระดับ 6.8 แต่เกณฑ์ประเมินดังกล่าวยังไม่ใช่วิธีที่สมบูรณในการศึกษาการโปร่งแสงของชิ้นงานบูรณะ<sup>(73)</sup>

การศึกษาเกี่ยวกับความแตกต่างของสีที่ได้รับความน่าเชื่อถือในปัจจุบันและนิยมนำมาทดสอบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ความแตกต่างของสีที่ผู้ทดสอบครั้งหนึ่งเห็นว่ามี ความแตกต่าง แต่ยังไม่ยอมรับขึ้นงานบูรณะ (Perceptibility threshold, PT) และความแตกต่างของสีที่ผู้ทดสอบครั้งหนึ่งเห็นว่ามี ความแตกต่าง และต้องการให้เปลี่ยนขึ้นงาน (Acceptability threshold, AT)<sup>(71)</sup> โดยรายงานค่าความแตกต่างของสีเป็นตัวเลข เพื่อเปรียบเทียบของตั้งแต่สองสิ่ง ถึงระดับแตกต่างของสี ด้วยสูตรคำนวณ CIE76, CIE94 และ CIEDE2000<sup>(71, 74-76)</sup> แม้ว่า CIEDE2000 ให้ค่าที่แม่นยำในการเปรียบเทียบความแตกต่างของสี แต่มีวิธีคำนวณที่ซับซ้อน อาจเกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย ซึ่งสูตรคำนวณที่นิยมทางทันตกรรมคือ CIE76 เนื่องจากใช้งานได้ง่าย ไม่ซับซ้อน มีความแม่นยำสูง และน่าเชื่อถือ<sup>(74, 75, 77)</sup> ซึ่งเครื่องมือวัดสีที่นิยมใช้ทางทันตกรรมมี 2 ประเภท ได้แก่ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์และแคลอริมิเตอร์ โดยแคลอริมิเตอร์จะแสดงค่าฟิลเตอร์แสงสีแดง เขียว และฟ้าของสเปกตรัม จากนั้นจะแปรผลโดยคำนวณเป็นเฉดสีที่ใกล้เคียงที่สุด<sup>(78)</sup> ส่วนสเปกโตรโฟโตมิเตอร์จะวัดปริมาณพลังงานแสงที่สะท้อนจากวัตถุในระยะ 1.00-25.00 นาโนเมตร<sup>(79)</sup> โดยประกอบด้วยการสะท้อนของแสงที่มองเห็น การกระเจิงแสง ระบบการมองเห็นสำหรับวัดค่า และตัวจับทดสอบ (Detector) เพื่อประเมินผลเป็นค่า  $L^* a^* b^*$  มาคำนวณเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับพันธุกรรมชาติ<sup>(80)</sup> ในการทดลองนี้ผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องมือสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Vita Easy Shade Advance V เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ใช้อย่างแพร่หลายในงานวิจัยทางทันตกรรมในประเทศไทย และงานวิจัยที่ทดสอบเซรามิก มีความน่าเชื่อถือ วิธีการทดสอบสามารถทำซ้ำได้และให้ค่าแม่นยำ โดยใช้สูตร CIE76 ซึ่งสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยที่ใกล้เคียงได้<sup>(9, 59, 61, 69)</sup>

การศึกษาค่าความแตกต่างของสีมีการทดลองทั้งทางห้องปฏิบัติการ (In Vitro) และทางคลินิก (In Vivo) ซึ่งส่วนใหญ่จะทดลองทางห้องปฏิบัติการ เนื่องจากสามารถทำได้ง่ายและทำซ้ำได้<sup>(71, 73, 76, 81, 82)</sup> โดยการทดลองในห้องปฏิบัติการนั้นไม่สามารถจำลองสภาพแวดล้อมในช่องปากได้ ซึ่งปัจจัยของแสง น้ำลาย ขนาดของขึ้นงาน รูปร่าง ลักษณะพื้นผิว และความโค้งมนของฟันมีส่วนต่อการสะท้อนของสี<sup>(9, 78)</sup> ทำให้ค่าความแตกต่างของสีทางคลินิกมักสูงกว่าทางห้องปฏิบัติการ<sup>(71, 73, 76)</sup>

การศึกษาทางคลินิกของ Douglas และคณะในปี 2007 เกี่ยวกับค่าความแตกต่างของสีฟันเทียบกับพันธุกรรมชาติข้างเคียงด้วยสูตร CIE76 โดยทันตแพทย์ 28 คนพบว่าทันตแพทย์ครั้งหนึ่งเห็นความแตกต่างของสี แต่ยังไม่ยอมรับขึ้นงานบูรณะที่ระดับ 2.6 ในขณะที่ทันตแพทย์ครั้งหนึ่งเห็นความแตกต่างของสี และต้องการเปลี่ยนขึ้นงานบูรณะมีค่าที่ระดับ 5.5<sup>(71)</sup> นอกจากนี้ การศึกษาของ Tabatabaian และคณะในปี 2017 เกี่ยวกับความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่ม

เซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงสูงสีเอสองที่ระดับความหนาที่แตกต่างกันด้วยสูตร CIE76<sup>(77)</sup> ได้ใช้ค่าทดสอบระดับเดียวกับการศึกษาของ Douglas และคณะในปี 2007 อีกด้วย อีกทั้งการศึกษาของ Nakamura และคณะในปี 2003 เปรียบเทียบเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงน้อยที่ความหนา 2.00 มิลลิเมตรบนวัสดุพัลลาเดียมสีทองและสีเงิน, พอลซซีเลนสีเอ หนึ่ง, สาม และสี่ พบว่า มีค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีที่น้อยและใกล้เคียงกัน เนื่องจากใช้ความหนาของเซรามิกที่มากและเซรามิกชนิดโปร่งแสงน้อยจึงกำหนดค่าความแตกต่างของสีที่ผู้ทดสอบเห็นว่าแตกต่างกัน และต้องการเปลี่ยนชิ้นงานบูรณะที่ระดับ 2.00<sup>(83)</sup> ในขณะที่การศึกษาของ Dede และคณะในปี 2016 เปรียบเทียบความแตกต่างของสีเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงสูงและชนิดทึบแสงปานกลางสีเอสองบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมที่ทำจากเซอร์โคเนีย, โลหะพัลลาเดียมสีทองและไทเทเนียมร่วมเรซินซีเมนต์ที่ที่แตกต่างกันด้วยสูตร CIEDE2000 พบว่าผู้ทดสอบครึ่งหนึ่งเห็นความแตกต่างของสี แต่ยังคงยอมรับชิ้นงานบูรณะที่ระดับ 1.30 และผู้ทดสอบครึ่งหนึ่งเห็นความแตกต่างของสี และต้องการเปลี่ยนชิ้นงานบูรณะที่ระดับ 2.25<sup>(9)</sup> และไม่พบการศึกษาเกี่ยวกับค่าแตกต่างของสีด้วยสูตร CIE94 ในการทดลองผู้วิจัยเลือกใช้ค่าความแตกต่างของสีตามการศึกษาของ Douglas และคณะในปี 2007 เนื่องจากผู้ทดสอบเป็นทันตแพทย์ซึ่งเป็นผู้ชำนาญด้านการแยกสีชิ้นงานทางทันตกรรมและเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาความหนาของเซรามิกหลายระดับ โดยกำหนดค่าความแตกต่างของสีที่ผู้ทดสอบครึ่งหนึ่งเห็นว่ามีค่าแตกต่าง แต่ยังคงยอมรับชิ้นงานบูรณะ (PT) ที่ระดับน้อยกว่า 2.60 ( $\Delta E < 2.60$ ) และค่าความแตกต่างของสีที่ผู้ทดสอบครึ่งหนึ่งเห็นว่าแตกต่าง และต้องการเปลี่ยนชิ้นงานบูรณะ (AT) ที่ระดับน้อยกว่า 5.50 ( $\Delta E < 5.50$ ) ซึ่งเป็นระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก<sup>(71)</sup> จากผลการทดลองของผู้วิจัยพบว่าเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางที่ความหนา 2.50 มิลลิเมตรที่มีค่าความแตกต่างของสีอยู่ต่ำกว่าระดับที่ผู้ทดสอบเห็นความแตกต่างของสี แต่ยังคงยอมรับชิ้นงานบูรณะไม่ว่าจะอยู่บนวัสดุเซอร์โคเนีย และไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์ที่ระดับ  $1.07 \pm 0.16$ ,  $2.37 \pm 0.22$  และ  $2.53 \pm 0.22$  ตามลำดับ

เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงเป็นวัสดุที่นิยมนำมาบูรณะในตำแหน่งที่ต้องการความสวยงามสูงเนื่องจากมีความโปร่งแสงใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ<sup>(9, 59-61, 69, 84)</sup> โดยชนิดของความโปร่งแสงมีผลต่อค่าความแตกต่างของสีบนหลักยึดแบบเดียวกันแตกต่างกัน<sup>(11, 59)</sup> เนื่องจากขนาดของคริสตัลภายในเซรามิก (Crystallization) ปริมาณและความหนาแน่นไม่เท่ากัน<sup>(69)</sup> ส่งผลให้เกิดการสะท้อนและให้แสงผ่านที่แตกต่างกัน โดยความหนาของเซรามิกที่แตกต่างกันจะให้ค่าความแตกต่างของสีไม่เท่ากัน<sup>(11, 85-87)</sup> ซึ่งเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงสูง

(1.50x0.80 ไมครอน) จะมีขนาดผลึกคริสตัลที่ใหญ่กว่าชนิดโปร่งแสงน้อย (0.80x0.20 ไมครอน) และความหนาแน่นน้อยกว่า จึงมีความทึบแสงที่สูงกว่า<sup>(78, 86, 88)</sup> โดยเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงสูงเป็นที่นิยมในตำแหน่งพื้นที่ต้องการความสวยงามสูงและชนิดโปร่งแสงน้อยมักถูกนำมาใช้ร่วมกับหลักยึดที่มีสีเข้ม แต่ยังคงความโปร่งแสงใกล้เคียงกับพื้นธรรมชาติ ปัจจุบันมีการพัฒนาให้เซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลาง ซึ่งยอมให้แสงผ่านดีกว่าชนิดโปร่งแสงน้อย และมีความสว่างสูงกว่าชนิดโปร่งแสงมาก<sup>(89)</sup> ในการวิจัยนี้ได้ใช้เซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลาง แม้มีความทึบแสงน้อยกว่าชนิดโปร่งแสงน้อย แต่สามารถปิดสีหลักยึดได้ในทิศทางเดียวกัน<sup>(60, 61, 90)</sup> นอกจากนี้ยังมีความสวยงามใกล้เคียงกับพื้นธรรมชาติมากกว่า เนื่องจากมีความสว่างและโปร่งแสงที่สูงกว่าในความหนาที่เท่ากัน จึงเป็นวัสดุที่เหมาะสมในการบูรณะในตำแหน่งที่ต้องการความสวยงามมากกว่า

การศึกษาของ Czigola และคณะในปี 2019 เกี่ยวกับความหนาของเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงสูงและน้อยที่ความหนา 1.00 และ 1.50 มิลลิเมตรบนพื้นหลังสีเข้ม เซอร์โคเนีย โลหะอัลลอยด์สีเงินและทอง พบว่าความหนา 1.50 มิลลิเมตรมีค่าความแตกต่างของสีน้อยกว่าความหนา 1.00 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อีกทั้งเซรามิกชนิดโปร่งแสงสูงมีค่าความแตกต่างของสีที่ความหนาต่างกันน้อยกว่าชนิดโปร่งแสงน้อย นอกจากนี้ชนิดของความโปร่งแสงมีผลต่อพื้นหลังที่ทำจากเซอร์โคเนียมากที่สุดโดยเฉพาะเซรามิกชนิดโปร่งแสงสูง<sup>(61)</sup> สอดคล้องกับการศึกษาของ Chaiyabutr และคณะในปี 2011 เกี่ยวกับเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงน้อยที่ความหนา 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนพื้นหลังสีสว่างและเข้ม พบว่าความหนาของเซรามิกเพิ่มขึ้นจะมีค่าความแตกต่างของสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งพื้นหลังสีสว่างและเข้ม โดยพื้นหลังสีสว่างจะมีค่าความแตกต่างของสีน้อยกว่าพื้นหลังสีเข้มในทุกความหนาของเซรามิก และสีของพื้นหลังจะไม่มีผลต่อค่าความแตกต่างของสีเมื่อเซรามิกมีความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 2.50 มิลลิเมตร<sup>(60)</sup> และให้ผลการศึกษาในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาของ Vohra และคณะในปี 2020 เกี่ยวกับการปิดสีหลักยึดไทเทเนียมด้วยเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตและเซอร์โคเนีย พบว่าความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงน้อยที่มากขึ้นสามารถปิดสีของหลักยึดที่ทำจากไทเทเนียมได้ดียิ่งขึ้น เมื่อความหนาของเซรามิก 1.80 มิลลิเมตรให้ค่าความแตกต่างของสี 2.30 เป็นระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิกและใกล้เคียงกับเซอร์โคเนีย<sup>(90)</sup> นอกจากนี้การศึกษาของ Jirajariyavej ในปี 2017 ได้ศึกษาเกี่ยวกับค่าแตกต่างของสีบนหลักยึดรากเทียมที่ทำจากวัสดุต่างกัน พบว่าเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงสูงความหนา 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรบนหลักยึดที่ทำจากไทเทเนียมมีค่าเฉลี่ยความแตกต่างของ



สีอยู่ที่ 8.39, 5.53, 5.75 และ 3.40 ตามลำดับและบนหลักยึดที่ทำจากเซอริโคเนีย มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสีอยู่ที่ 14.00, 8.96, 6.26 และ 3.48 ตามลำดับ<sup>(69)</sup> เมื่อระดับความหนาเพิ่มขึ้นพบว่าความแตกต่างของสีมีค่าลดลงทั้งชนิดโปร่งแสงสูงและน้อย<sup>(11, 60, 61, 69)</sup> มีผลการศึกษาในทางเดียวกับการทดลองของผู้วิจัยที่ใช้เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลาง แต่ผลการทดลองบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมที่ทำจากเซอริโคเนียพบว่ามีค่าความแตกต่างของสีที่ต่ำกว่าที่ทำจากไทเทเนียม สอดคล้องกับการศึกษาของ Dede และคณะในปี 2016 พบว่าเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงสูงมีค่าความแตกต่างของสีบนวัสดุทำหลักยึดที่ทำจากเซอริโคเนียน้อยกว่าไทเทเนียม อีกทั้งที่ความหนา 1.50 มิลลิเมตรบนพื้นหลังที่ทำจากเซอริโคเนียมีค่าความแตกต่างของสี 1.34 จากระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก ( $\Delta E_{00} < 2.25$ )<sup>(9)</sup> แต่การศึกษาของ Alghazzawi และคณะในปี 2012 พบว่าสีของพื้นหลังหลักยึดรากเทียมไม่มีผลต่อค่าความแตกต่างของสีเมื่อเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตที่ยอมชนิดโปร่งแสงสูงที่หนามากกว่าหรือเท่ากับ 2.00 มิลลิเมตร<sup>(91)</sup> แม้ว่าความหนาจะเป็นปัจจัยสำคัญ ในการปิดสีของพื้นหลังจากการที่ค่าดัชนีหักเหแสงสูงขึ้น (Refractive index) แต่ส่งผลให้คุณสมบัติในการให้แสงผ่านลดลงเช่นกัน<sup>(88)</sup> จากผลการทดลองที่พบว่าความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตที่ให้แสงผ่านปานกลางมีผลต่อค่าความแตกต่างของสีบนหลักยึดชนิดต่างๆ ทำให้สามารถกำหนดความหนาของชิ้นงานบูรณะได้ โดยการออกแบบหลักยึดรากเทียมลักษณะเฉพาะบุคคลด้วยระบบแคด/แคม โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณใกล้เหงือกซึ่งมักมีความหนาที่น้อยที่สุด ส่งผลให้เกิดการสะท้อนของสีหลักยึดรากเทียมได้ นอกจากนี้ยังสามารถเลือกหลักยึดสำเร็จรูปให้เหมาะสมกับการบูรณะให้เกิดความสวยงามและมีการยึดติดที่ดีได้

ปัจจัยที่มีผลต่อสีของเซรามิกหลังบูรณะ เช่น ชนิดของวัสดุทำหลักยึด ความหนาของเซรามิก คุณสมบัติที่ยอมให้แสงผ่านของเซรามิกและสีของซีเมนต์<sup>(9, 61)</sup> ความหนาของเซรามิกมากขึ้นจะมีความสว่างมากขึ้นเช่นกัน และเกิดการสะท้อนของแสงที่มากขึ้น มีการศึกษาของ Volpato และคณะในปี 2009 เกี่ยวกับการแปลผลของสีเมื่อความหนาเพิ่มขึ้นพบว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของ a\* axis (แกนสีเขียว-แดง) เป็นค่าลบมากขึ้น หมายถึงมีแนวโน้มไปทางสีเขียว และ b\* coordinate (แกนสีเหลือง-ฟ้า) เป็นค่าบวกมากขึ้น หมายถึงมีแนวโน้มไปทางสีเหลือง ซึ่งจะทำให้เซรามิกมีความทึบมากยิ่งขึ้นและปิดสีของหลักยึดได้ดี<sup>(92)</sup> สอดคล้องกับผลการทดลองของผู้วิจัย แต่มีการเปลี่ยนแปลงมากหรือน้อยแตกต่างกันตามชนิดของพื้นหลังที่ใช้ทดลอง

การขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิกมีผลต่อโครงสร้างของผลึกคริสตัล การเกิดรูพรุน เม็ดสี ขนาดผลึก และรอยตำหนิ ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติในการให้แสงผ่าน<sup>(88)</sup> มีการศึกษาของ Giordano และ



McLaren ในปี 2010 พบว่าไอพีเอส อีแมค เพลส (IPS e.max Press) และไอพีเอส อีแมค แคด (IPS e.max CAD) ไม่ได้มีความแตกต่างของค่า แอล เอ บี ความโปร่งแสง และความอิมของสี (Chroma) ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>(87)</sup> นอกจากนี้ปัจจัยที่มีผลต่อการให้แสงผ่านยังประกอบไปด้วยลักษณะพื้นผิวชิ้นงาน การเกิดรูพรุน เวลาในการเผาไฟ การเคลือบผิว ระบบของเซรามิก จำนวนครั้งในการขึ้นรูป ความหนาของชั้นทึบ<sup>(11)</sup> ในการทดลองวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการขึ้นรูปโดยวิธีแคด/แคม ซึ่งสามารถควบคุมความหนาของชิ้นงานได้อย่างแม่นยำ และทำซ้ำได้จากระบบสั่งการคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบไว้ อีกทั้งยังกำจัดปัจจัยกวนโดยการจัดเรียงพื้นผิวชิ้นทดสอบโดยปราศจากการเคลือบผิว

วัสดุเซอโรโคเนียได้รับความนิยมในการทำหลักยึดรากเทียมในบริเวณที่ต้องการความสวยงามสูง เนื่องจากไม่มีการสะท้อนของสีโลหะผ่านเหงือก และยังมีคุณสมบัติทางชีวภาพที่ดี<sup>(8,9,39)</sup> การศึกษาของ Dede และคณะในปี 2016 พบว่าเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงสูงและชนิดทึบแสงปานกลางที่ความหนา 1.50 มิลลิเมตร โดยมีแกนโครงสร้าง (Core) มีความหนา 1.00 มิลลิเมตร และทำเป็นชั้นบนแกนด้วยเซรามิก (Layering technique) สีเอสสองมีความหนา 0.50 มิลลิเมตร มีค่าความแตกต่างของสีน้อยที่สุดเมื่อทดสอบบนวัสดุทำหลักยึดที่ทำจากเซอโรโคเนียมที่ระดับ 1.04-1.34 รองลงมาคือวัสดุทำหลักยึดที่ทำจากโลหะพัลลาเดียมที่มีสีทองที่ระดับ 2.22-2.24 โดยทั้งสองวัสดุให้ค่าความแตกต่างอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก ( $\Delta E_{00} < 2.25$ ) นอกจากนี้ไม่มีวัสดุทำหลักยึดที่ทำจากไทเทเนียมชั้นใดที่ให้ค่าความแตกต่างของสีน้อยกว่า 2.25<sup>(9)</sup> ซึ่งมีผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันกับผู้วิจัย แต่มีความแตกต่างคือค่าความแตกต่างของสีของผู้วิจัยในเซรามิกสีเอหนึ่งที่ความหนา 1.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมที่ทำจากเซอโรโคเนียมีค่าอยู่ที่  $6.51 \pm 0.32$  และที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์ มีค่าอยู่ที่  $3.96 \pm 0.15$  และ  $3.08 \pm 0.18$  ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่าความแตกต่างของสีที่ผู้ทดสอบครั้งหนึ่งเห็นว่าแตกต่าง แต่ยังยอมรับชิ้นงานบูรณะ (PT) ที่ระดับ 2.60 แต่การศึกษาของ Jirajariyavej และคณะในปี 2017 พบว่ามีเพียงเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงสูงความหนา 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมที่ทำจากเซอโรโคเนียสีเหลืองเท่านั้นที่มีค่าความแตกต่างของสีอยู่ที่ 1.67 ซึ่งอยู่ในระดับที่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ที่ 3.00<sup>(69)</sup> โดยเซอโรโคเนียมีคุณสมบัติในการดูดซับและสะท้อนแสงได้ดีกว่าโลหะ<sup>(69, 93, 94)</sup> และเมื่อมีสีเหลืองจะทำให้ค่าบีเพิ่มขึ้นจึงมีความเป็นสีเหลืองมากขึ้นเช่นเดียวกับโลหะที่มีสีเหลืองทอง<sup>(94)</sup> ซึ่งการทดลองของผู้วิจัยพบว่าความหนาของเซรามิก 2.00 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมที่ทำจากเซอโรโคเนียและความหนา 2.50 มิลลิเมตรบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมที่ทำจากเซอโรโคเนีย, ไทเทเนียมที่ผ่าน

กระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์มีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของสีน้อยกว่า 2.60 โดยวัสดุทำหลักยึดรากเทียมที่ทำจากเซอร์โคเนีย (สีขาว) ร่วมกับเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางความหนา 2.50 มิลลิเมตรมีค่าแตกต่างของสีน้อยที่สุดอยู่ที่  $1.07 \pm 0.16$  สอดคล้องกับหลายการทดลองก่อนหน้า<sup>(9, 54, 94)</sup>

การเปลี่ยนสีบนหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมด้วยวิธีอะโนไดซ์เป็นวิธีที่ง่ายและไม่เป็นพิษต่อเนื้อเยื่ออ่อนในช่องปาก โดยการทำให้เกิดชั้นออกไซด์บนโลหะไทเทเนียม นอกจากนี้ยังเกิดลักษณะพื้นผิวที่เหนียวทำให้เกิดการยึดเกาะของเนื้อเยื่ออ่อนที่ดีอีกด้วย<sup>(14)</sup> และให้ผลลัพธ์ในแง่ความสวยงามของเหงือกโดยรอบรากเทียมในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก<sup>(14, 39, 54)</sup> การศึกษาของ Martinez-Rus และคณะในปี 2017 เกี่ยวกับค่าความแตกต่างของสีของครอบฟันที่เคียวที่ทำจากเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตบนหลักยึดไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์และเซอร์โคเนียต่อเนื้อเยื่ออ่อนโดยรอบรากเทียม พบว่าหลักยึดไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์จนมีสีทองและเซอร์โคเนียร่วมกับครอบฟันเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดทึบแสงปานกลางมีค่าความแตกต่างของสีอยู่ที่ 8.96 และ 6.06 ซึ่งเป็นระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิกเมื่อมีความหนาของเหงือกน้อยกว่า 2.00 มิลลิเมตร และหลักยึดไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์จนมีชมพูมีค่าความแตกต่างของสีในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิกเมื่อความหนาของเหงือกมากกว่า 2.00 มิลลิเมตร<sup>(54)</sup> ให้ผลการทดลองสอดคล้องกับผลการศึกษาของผู้วิจัยที่พบว่าวัสดุทำหลักยึดรากเทียมที่ทำจากเซอร์โคเนียและที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ร่วมกับเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางมีค่าความแตกต่างของสีใกล้เคียงกันและอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อความหนาของเซรามิกมากขึ้นยิ่งพบว่ามีค่าความแตกต่างของสีน้อยลงด้วยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีเพียงวัสดุทำหลักยึดรากเทียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 และ 70 เท่านั้นที่มีค่าความแตกต่างของสีอยู่ที่ 5.90 และ 5.50 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก ( $\Delta E < 5.0$ ) การบูรณะชิ้นงานในงานทันตกรรมรากเทียมบริเวณที่ต้องการความสวยงามสูงนิยมใช้ไทเทเนียมแบบฐานร่วมกับแกนฟันที่ทำจากเซอร์โคเนีย และปิดทับด้วยครอบฟันเซรามิกซึ่งมีราคาที่สูง และมีขั้นตอนทางห้องปฏิบัติการที่ซับซ้อน มักพบปัญหาเรื่องการแตกหักของแกนฟัน การหลุดของแกนฟันและครอบฟัน นอกจากนี้ยังต้องการพื้นที่ทั้งแนวราบและแนวตั้งให้เพียงพอ เพื่อให้เกิดความแข็งแรงและสวยงาม ยังเป็นข้อจำกัดในการบูรณะที่ช่องว่างขนาดเล็ก เช่น ฟันตัดบนซี่ข้าง และฟันหน้าล่าง<sup>(6, 7, 42)</sup> ดังนั้นการประยุกต์ใช้ไทเทเนียมโดยปรับให้มีสีทองด้วยวิธีอะโน-ไดซ์เป็นทางเลือกที่เหมาะสมดังผลการศึกษาของผู้วิจัยที่พบว่าค่าความแตกต่างของสีบนวัสดุทำหลักยึดเซอร์โคเนียไม่ได้มีค่าแตกต่างกับวัสดุทำหลักยึดที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50

และ 60 โวลต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และให้ผลลัพธ์ในแง่ความสวยงามสูงเมื่อใช้ร่วมกับเซรามิกลิเทียม-ไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลาง

เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางเป็นวัสดุที่เหมาะสมที่จะใช้ในการบูรณะในตำแหน่งที่ต้องการความสวยงามสูง โดยความหนาของเซรามิกเป็นปัจจัยที่แปรผกผันกับค่าความแตกของสีบนหลักยึด หากความหนาของเซรามิกที่มากขึ้นจะค่าความแตกต่างของสีใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ สามารถปิดสีหลักยึดได้ใกล้เคียงกับเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงน้อย แต่ให้ความสวยงาม โปร่งแสงที่ดีกว่า โดยความหนาของเซรามิก 2.00 และ 2.50 มิลลิเมตรแนะนำให้ร่วมกับหลักยึดที่มีสีขาวหรือเหลืองจะให้ค่าความแตกต่างสีในระดับที่ยอมรับได้ หากมีพื้นที่บูรณะ 2.00 มิลลิเมตรควรใช้หลักยึดที่มีสีขาว

## 2. อภิปรายผลค่าความแตกต่างของสีระหว่างเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต สีของซีเมนต์ และวัสดุทำหลักยึด

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าความแตกต่างของสีระหว่างเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตที่ความหนา 4 ระดับ สีของซีเมนต์ และวัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิด พบว่าค่าความแตกต่างของสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยขึ้นอยู่กับความหนาของเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต สีของซีเมนต์ และวัสดุทำหลักยึดปฏิเสธสมมติฐานว่าง (The null hypothesis) ข้อที่ว่า “ความหนาของเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตและสีของซีเมนต์ไม่มีผลต่อค่าความเปลี่ยนแปลงสีบนวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียม เซอร์โคเนียและไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40, 50, 60 และ 70 โวลต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ”

จากผลการทดลองพบว่าความหนาของเซรามิกในทุกกลุ่มสีของซีเมนต์ และวัสดุทำหลักยึดรากเทียมมีค่าความแตกต่างของสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 โดยเมื่อความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางเพิ่มขึ้นจะมีค่าความแตกต่างของสีน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกันดังที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยปัจจัยที่มีผลต่อการสะท้อนของสีหลักยึดผ่านชั้นงานบูรณะคือ สีของซีเมนต์ มีการศึกษา Pires และคณะในปี 2016 ที่ใช้ซีเมนต์เป็นปัจจัยทดสอบค่าความแตกต่างของสี พบว่าความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดทึบแสง 2.00 มิลลิเมตรบนวัสดุโลหะอัลลอยด์ (Metal alloy) โดยไม่ใช้ซีเมนต์ให้ค่าความแตกต่างของสีน้อยที่สุดที่ระดับ 3.00 เมื่อใช้ซีเมนต์สีขาวโปร่งแสงร่วมด้วยกลับพบว่ามีความแตกต่างของสีเพิ่มขึ้นที่ระดับ 3.60 ซึ่งสูงกว่าระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก และความหนาของเซรามิกเป็น 1.50 มิลลิเมตรบนวัสดุที่ทำจากเรซิน โดยไม่ใช้ซีเมนต์ให้ค่าความแตกต่างของสีน้อยกว่าความหนา 2.00 มิลลิเมตรบนวัสดุโลหะอัลลอยด์ร่วมกับเรซินซีเมนต์ อีกทั้งการศึกษาของ

Cubas และคณะในปี 2011 เกี่ยวกับผลของซีเมนต์ และความหนาของเซรามิกชนิดแก้วทั้ง 6 ยี่ห้อมต่อความหลากหลายของสีบนพื้นหลังโลหะ โดยกำหนดความหนาของเซรามิกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1.00, 1.50 และ 2.00 มิลลิเมตรพบว่าความหนาของเซรามิกมากขึ้นจะมีค่าความแตกต่างของสีของซีเมนต์สีทึบและสีไอสามไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางคลินิก แต่ความหนาของเซรามิกที่น้อยพบว่าซีเมนต์สีทึบจะให้ค่าความแตกต่างของสีน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับซีเมนต์สีอื่น<sup>(95)</sup> นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของ Chaiyabutr และคณะในปี 2011 ที่ศึกษาเกี่ยวกับความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงน้อยที่ความหนาต่างๆบนพื้นหลักยึดสีเข้มด้วยซีเมนต์สีขาวโปร่งแสงและสีทึบยี่ห้อวาลิโอลิง ทู (Variolink II) พบว่าความหนาของเซรามิกมีผลต่อค่าความแตกต่างของสี และเมื่อใช้เรซินซีเมนต์สีทึบร่วมกับความหนาของเซรามิกมากกว่า 2.00 มิลลิเมตรจะมีค่าความแตกต่างของสีน้อยลง หากใช้เรซินซีเมนต์สีทึบร่วมกับเซรามิกที่มีความหนาน้อยกว่า 1.50 มิลลิเมตรจะให้ค่าความแตกต่างของสีไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ใช้เรซินซีเมนต์ที่มีสีขาวโปร่งแสง โดยความหนาของซีเมนต์ในการทดลองนี้อยู่ที่ 0.30 มิลลิเมตร จึงอาจเกิดความทึบของชั้นซีเมนต์ที่เข้มมากขึ้น<sup>(60)</sup> ให้ผลการศึกษาในทิศทางเดียวกับผู้วิจัยความหนาของเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางความหนา 1.50 มิลลิเมตรร่วมกับเรซินซีเมนต์ยี่ห้อเน็กซ์ซัส ทรี (Nexus III) สีขาวทึบมีค่าความแตกต่างของสีสูงกว่า 2.60 บนทุกวัสดุทำหลักยึดรากเทียม แต่ความหนาของเซรามิก 2.00 มิลลิเมตรจะให้ค่าความแตกต่างของสีบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมที่ทำจากเซอร์โคเนียที่ระดับ  $0.77 \pm 0.07$  ซึ่งเป็นระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก นอกจากนี้เมื่อเพิ่มความหนาของเซรามิกเป็น 2.50 มิลลิเมตรจะให้ค่าความแตกต่างของสีบนทุกวัสดุทำหลักยึดรากเทียมที่น้อยกว่า 2.60 ตามวิธีการเตรียมพื้นหลักยึดที่บริษัทกำหนดให้ความหนาของเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตที่คอปันอยู่ที่ 1.00 มิลลิเมตร และหนามากขึ้นที่ปลายฟันอยู่ที่ 1.50 มิลลิเมตร หากความหนาของเซรามิกน้อยกว่า 2.00 มิลลิเมตรอาจไม่เพียงพอต่อการปิดสีพื้นหลักยึดที่มีสีเข้ม<sup>(11, 60)</sup> ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Liu และคณะในปี 2020<sup>(96)</sup> แสดงให้เห็นว่าการใช้ซีเมนต์และสีของซีเมนต์มีผลต่อค่าความแตกต่างของสี โดยเฉพาะเมื่อความหนาของเซรามิกน้อย

ในการบูรณะชิ้นงานบูรณะรากเทียมในช่องว่างขนาดเด็ก หลักยึดที่ทำจากไทเทเนียมเป็นหลักยึดที่ให้ผลการรักษาที่ดีทั้งแง่ของสมบัติทางกลและทางชีวภาพ เมื่อเทียบกับหลักยึดที่ทำจากเซอร์โคเนียทั้งชิ้นที่มักพบการแตกหักบริเวณรอยต่อของหลักยึดและรากเทียม<sup>(42)</sup> แต่หลักยึดที่ทำจากไทเทเนียมมีข้อจำกัดเรื่องความสวยงาม การดัดแปลงให้หลักยึดไทเทเนียมมีสีเหลืองหรือทองเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดความสวยงามแล้วนั้น การเลือกใช้สีของซีเมนต์ให้เหมาะสมกับเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางจะช่วยเพิ่มความสวยงามในการบูรณะให้ใกล้เคียงฟัน

ธรรมชาติมากยิ่งขึ้น โดยซีเมนต์สีที่บสามารถปิดสีของหลักยึดที่มีสีไทเทเนียมและสีทองได้ดีขึ้น แต่ยังไม่เพียงพอที่จะให้มีค่าความแตกต่างที่ยอมรับได้ทางคลินิกเมื่อความหนาของเซรามิกน้อยกว่า 2.50 มิลลิเมตร

ซีเมนต์เป็นปัจจัยที่ถูกระบุว่ามีอิทธิพลต่อค่าความแตกต่างของสีซึ่งงานบูรณะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพื้นหลังมีสีเข้ม<sup>(11, 60, 95, 96)</sup> การศึกษาของ Tabatabaian และคณะในปี 2016 พบว่า ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์และเทมบอน ซีเมนต์มีค่าความแตกต่างของสีบนโครงเซอร์โคเนียสูงกว่าระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก แต่กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์และเรซินซีเมนต์ให้ค่าความแตกต่างของสีในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก<sup>(94)</sup> นอกจากนี้การศึกษาของ Dede และคณะในปี 2013 ซึ่งทดสอบเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดทึบแสงปานกลางความหนา 1.50 มิลลิเมตรร่วมกับวัสดุทำหลักยึดที่เซอร์โคเนีย พัลลาเดียมสีทอง และไทเทเนียม ทดสอบด้วยซีเมนต์ยี่ห้อรีไลเอ็กซ์ ยูนิเซม (RelyX Unicem) สีขาวโปร่งแสง ยูนิเวอร์ซอล เอสสอง และขาวทึบ กำหนดความหนาของซีเมนต์อยู่ที่ระดับ 0.20 มิลลิเมตร พบว่าวัสดุทำหลักยึดรากเทียมที่ทำจากเซอร์โคเนียมีค่าความแตกต่างของสีขาวโปร่งแสง และเอสสองมีค่าอยู่ที่ 1.97 และ 1.81 อยู่ในระดับที่ยอมรับทางคลินิก ( $\Delta E < 3.00$ ) ขณะที่วัสดุทำหลักยึดที่ทำจากพัลลาเดียมสีทองจะให้ค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้เมื่อทดสอบกับซีเมนต์สีเอสสองเท่านั้นที่ระดับ 2.95 แต่ไม่มีซีเมนต์สีใดที่ทดสอบกับไทเทเนียมแล้วให้ค่าความแตกต่างของสีในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก<sup>(93)</sup> อีกทั้งการศึกษาของ Xinran และคณะในปี 2020 เกี่ยวกับสีของเรซินซีเมนต์แต่ละยี่ห้อร่วมกับเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงน้อยความหนา 2.50 มิลลิเมตรบนหลักยึดไทเทเนียม พบว่าเรซินซีเมนต์ยี่ห้อมัลติลิงก์สีทึบ (Multilink HO) ให้ค่าความแตกต่างของสีน้อยที่สุดที่ระดับ 1.36 ซึ่งเป็นระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก ( $\Delta E < 1.80$ ) โดยเรซินซีเมนต์สีเดียวกันแต่บางยี่ห้อให้ค่าความแตกต่างของสีที่แตกต่างกันอย่างรีไลเอ็กซ์ ยูนิเซมสีเอสสองให้ค่าอยู่ที่ 2.45 แต่พานาเวียสีเอสสอง (Panavia A2) มีค่าอยู่ที่ 1.63 นอกจากนี้พานาเวียสีขาวและขาวทึบยังให้ค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าที่ยอมรับได้ทางคลินิก ( $\Delta E < 1.80$ ) อีกด้วย ซึ่งมีผลการศึกษาดังกล่าวที่เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางที่ความหนา 2.50 มิลลิเมตรร่วมกับเรซินซีเมนต์ยี่ห้อเนกซ์สท์ ทรีสีขาว และขาวทึบมีค่าอยู่ที่  $2.03 \pm 0.16$  และ  $1.43 \pm 0.08$ <sup>(97)</sup> นอกจากนี้การศึกษาของ Malkondu และคณะในปี 2016 พบว่าเมื่อลดความหนาของเซรามิกจาก 1.00 เหลือ 0.60 มิลลิเมตรจะเพิ่มความโปร่งแสงของเซรามิกเหมือนกับอิทธิพลของสีซีเมนต์<sup>(98)</sup> อีกทั้งภายหลังจากการยึดด้วยเรซินซีเมนต์จะทำให้ชิ้นงานบูรณะที่ทำจากเซรามิกมีสีเปลี่ยนแกนสีเขียวเข้มมากขึ้นมีความทึบแสงมากขึ้น<sup>(97)</sup>



ความหนาของชั้นซีเมนต์มีผลต่อค่าความแตกต่างของสีของชั้นงานบูรณะ<sup>(13, 60, 96)</sup> การศึกษาของ Vichi และคณะในปี 2000 พบว่าความหนาของชั้นเรซินซีเมนต์ 0.10 และ 0.20 มิลลิเมตรมีผลต่อสีของชั้นงานบูรณะเซรามิกเล็กน้อย<sup>(96)</sup> สอดคล้องกับการศึกษาของ Niu ในปี 2013 ที่ศึกษาความหนาของชั้นเรซินซีเมนต์ที่ระดับ 0.05, 0.10 และ 0.30 มิลลิเมตรร่วมกับเซรามิกก็เทียบได้ซึ่เกิดพบว่าความหนาของชั้นเรซินซีเมนต์ที่ระดับ 0.10 มิลลิเมตรมีค่าความแตกต่างของสีน้อยที่สุด และระดับ 0.30 มิลลิเมตรมีค่าความแตกต่างของสีดีกว่าระดับ 0.05 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามความหนาของชั้นเรซินซีเมนต์ระดับ 0.30 มิลลิเมตรพบว่ามีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าระดับ 0.05 และ 0.10 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เรซินซีเมนต์สีทึบที่มีความหนาของชั้นซีเมนต์ที่ระดับ 0.10 และ 0.30 มิลลิเมตรมีค่าความแตกต่างของสีน้อยที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>(13)</sup> อย่างไรก็ตามความหนาของชั้นซีเมนต์ที่มากจะทำให้ยากต่อการควบคุม<sup>(99)</sup> ในการทดสอบของผู้วิจัยจึงกำหนดระดับความหนาของชั้นซีเมนต์ที่ 0.20 มิลลิเมตร ซึ่งให้ค่าความแตกต่างของสีที่ดี สามารถควบคุมความหนาของชั้นซีเมนต์ได้ง่าย มีความแข็งแรงของแผ่นทดสอบซีเมนต์ที่เหมาะสม ลดข้อผิดพลาดจากการขึ้นรูป

ชั้นงานเซรามิกที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์บนหลักยึดควรมีความแนบสนิท ปราศจากช่องอากาศ เนื่องจากจะเกิดการหักเหของแสง ส่งผลต่อการสะท้อนของสีบนชั้นงานบูรณะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรซินซีเมนต์ที่มีสีต่างๆ<sup>(11, 100)</sup> ในการทดลองของผู้วิจัยใช้สารละลายกลีเซอรินเป็นสารคั่นกลางระหว่างชั้นเซรามิกทดสอบ เรซินซีเมนต์ และวัสดุทำหลักยึดรากเทียม<sup>(100)</sup> โดยสารละลายกลีเซอรินมีค่าการหักเหแสงใกล้เคียงกับพันธุธรรมชาติ<sup>(101)</sup> นอกจากนี้สารละลายกลีเซอรินมีคุณสมบัติละลายในน้ำ จึงไม่เกิดการยึดติดและปนเปื้อนบนชั้นทดสอบ

สีของซีเมนต์มีผลต่อความโปร่งแสงของชั้นงานบูรณะ แม้เรซินซีเมนต์สีทึบจะมีส่วนช่วยปิดสีพื้นหลังที่มีสีเข้มได้ แต่ส่งผลต่อความโปร่งแสงของวัสดุที่ลดลง<sup>(97, 102)</sup> ซึ่งสัมพันธ์กับความหนาของชั้นงานบูรณะ หากลดความหนาของชั้นงานบูรณะจะส่งผลต่อความเข้ม-สว่าง<sup>(103)</sup> โดยสีของเรซินซีเมนต์สีทึบจะทำให้ชั้นงานเซรามิกมีความสว่างมากขึ้นและเรซินซีเมนต์ที่ใสจะทำให้ชั้นงานเซรามิกมีความมืดมากขึ้น โดยสีของเรซินซีเมนต์แต่ละยี่ห้อจะให้ค่าความแตกต่างของสีบนชั้นงานบูรณะที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งเรซินซีเมนต์สีขาวโปร่งแสงจะให้ค่าแตกต่างของสีในแต่ละยี่ห้อแตกต่างกันมากกว่าสียูนิเวอซอล<sup>(59, 77)</sup> เนื่องจากส่วนประกอบวัสดุอุดแทรก (Filler) เม็ดสี (Pigment) และส่วนที่ทำให้ทึบแสง (Opaque content) ซึ่งมีผลต่อการดูดกลืนแสง การกระจายแสง และการหักเหของแสง<sup>(59, 83)</sup> การศึกษาของ Xinran และคณะในปี 2020 พบว่าค่าความแตกต่างของสีของเรซินซีเมนต์ต่างยี่ห้อบนหลักยึดที่ทำจากไทเทเนียมมีค่าแตกต่างกัน แม้จะเป็น



โหนดเดี่ยวกัน โดยสีของเรซินซีเมนต์ที่ทึบของยี่ห้อมัลติลิงค์ เอ็ดโอ 0 (Multilink HO 0) และพานาเวียสทึบ (Panavia Opaque) ให้ค่าความแตกต่างของสีดีกว่าซีเมนต์สีขาวและขาวโปร่งแสงของยี่ห้อเดียวกันที่ระดับ 1.36 และ 1.92 ตามลำดับเมื่อความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงน้อยกว่าความหนา 2.50 มิลลิเมตร<sup>(97)</sup> โดยเรซินซีเมนต์เนกซ์ส ทรี (Nexus III) เป็นซีเมนต์ที่มีเสถียรภาพของสีหลังพอลิเมอร์ไรเซชันที่ดี<sup>(13)</sup> ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เรซินซีเมนต์เนกซ์ส ทรี (Nexus III) ในการทดสอบโดยใช้ 3 เฉดสี ได้แก่ สีขาว สีเหลือง และสีขาวทึบ

จากการทดลองของผู้วิจัยพบว่า ค่าความแตกต่างของสีบนวัสดุทำรากเทียมที่ทำจากเซอริโคเนีย และไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ร่วมกับเรซินซีเมนต์มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่าความแตกต่างของสีใกล้เคียงกันและน้อยที่สุดสอดคล้องกับการศึกษาของ Dede และคณะในปี 2016 ที่พบว่าเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงสูงและทึบแสงปานกลางมีค่าความแตกต่างของสีร่วมกับเรซินซีเมนต์สีเอสสอง เมื่อทดสอบบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมที่ทำจากเซอริโคเนียมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.34 และ 1.04 ตามลำดับ และบนวัสดุทำหลักยึดที่ทำจากพัลลาเดียมมีสีทองซีดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.22 และ 2.24 ตามลำดับ โดยมีค่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก ( $\Delta E_{00} < 2.25$ ) มีเพียงวัสดุทำหลักยึดที่ทำจากไทเทเนียมเท่านั้นที่มีค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก ซึ่งเซอริโคเนียเป็นวัสดุที่มีการดูดซับแสงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มโลหะ จึงให้ค่าความแตกต่างของสีน้อยที่สุด<sup>(9)</sup> นอกจากนี้การศึกษาของ Nakamura และคณะในปี 2003 พบว่าความโปร่งแสงของเซรามิกที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าความแตกต่างของสีน้อยกว่าชนิดของพื้นหลัง โดยพื้นหลังที่มีสีทองจะให้ค่าความแตกต่างของสีใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม (สีเอ 3)<sup>(83)</sup> ซึ่งให้ผลการศึกษาไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Volpato และคณะในปี 2008<sup>(92)</sup>

เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางร่วมกับเรซินซีเมนต์เนกซ์ส ทรีสีขาวทึบและสีเหลืองเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมในการบูรณะบนวัสดุทำหลักยึดทุกชนิด หากความหนาของเซรามิกน้อยกว่า 2.00 มิลลิเมตรร่วมกับเรซินซีเมนต์สีขาวที่บดจะสะท้อนสีของเรซินซีเมนต์ทำให้มีค่าความแตกต่างของสีที่สูง ในการบูรณะในพื้นที่จำกัดจำเป็นต้องใช้วัสดุที่ทำจากไทเทเนียมสามารถปรับเปลี่ยนสีเป็นสีทองอ่อนและเข้ม โดยเลือกใช้เรซินซีเมนต์ยี่ห้อเนกซ์ส ทรีสีขาวทึบและสีเหลืองสามารถปิดการสะท้อนของสีหลักยึดได้เมื่อความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตที่ให้แสงผ่านปานกลาง 2.50 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามค่าความแตกต่างของสีบนวัสดุทำหลักยึดเซอริโคเนียมีค่าน้อยกว่าไทเทเนียมแม้จะปรับปรุงสีเป็นสีเหลืองแล้ว เนื่องจากคุณสมบัติการกระจายแสงของเซรามิกที่ดีกว่าโลหะไทเทเนียม งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องยี่ห้อของเรซินซีเมนต์ มี

ข้อแนะนำให้ใช้เรซินซีเมนต์หลายยี่ห้อเพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของสี นอกจากนี้ควรศึกษาเพิ่มเติมทางคลินิกเพื่อจำลองสภาพแวดล้อมในช่องปากและพิจารณาปัจจัยอื่นประกอบ

### 3. การประยุกต์ใช้ทางคลินิก

จากการทดลองของงานวิจัยนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ทางทันกรรมคลินิกได้ดังนี้

1. เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางที่มีความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 2.50 มิลลิเมตรสามารถปิดสีหลักยึดรากเทียมที่ทำจากเซอโรโคเนีย, ไทเทเนียม, ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40, 50, 60 และ 70 โวลต์ร่วมกับเรซินซีเมนต์ยี่ห้อเนกซ์ส ตรีสีขาว, ขาวขุ่น และเหลืองให้ค่าความแตกต่างของสีในระดับที่ผู้ทดสอบครั้งหนึ่งเห็นว่าแตกต่าง แต่ยังยอมรับขึ้นงานบูรณะ (PT,  $\Delta E < 2.60$ )

2. เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางที่มีความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 1.50 มิลลิเมตรร่วมกับเรซินซีเมนต์ยี่ห้อเนกซ์ส ตรีสีขาวสามารถปิดสีหลักยึดรากเทียมที่ทำจากเซอโรโคเนีย, ไทเทเนียม, ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์ และร่วมกับเรซินซีเมนต์ยี่ห้อเนกซ์ส ตรีสีเหลืองบนหลักยึดที่ทำจากเซอโรโคเนียและไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ และความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 2.00 มิลลิเมตรร่วมกับเรซินซีเมนต์ยี่ห้อเนกซ์ส ตรีสีขาวที่บนหลักยึดรากเทียมที่ทำจากเซอโรโคเนีย, ไทเทเนียม, ไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40, 50, 60 และ 70 โวลต์ให้ค่าความแตกต่างของสีในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก (AT,  $\Delta E < 5.50$ )

3. หลักยึดที่ทำจากไทเทเนียมสามารถถูกปิดการสะท้อนของสีเมื่อใช้ร่วมกับเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางที่มีความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 2.00 มิลลิเมตร โดยใช้เรซินซีเมนต์ยี่ห้อเนกซ์ส ตรีสีขาว (PT,  $\Delta E < 2.60$ )

4. หลักยึดที่ทำจากเซอโรโคเนียสามารถถูกปิดการสะท้อนของสีเมื่อใช้ร่วมกับเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตที่ให้แสงผ่านปานกลางที่มีความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 2.00 มิลลิเมตรร่วมกับเรซินซีเมนต์ยี่ห้อเนกซ์ส ตรีสีขาวที่บและเหลือง (PT,  $\Delta E < 2.60$ )

## บรรณานุกรม

1. Lang NP, Pjetursson BE, Tan K, Bragger U, Egger M, Zwahlen M. A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years. II. Combined tooth--implant-supported FPDs. *Clin Oral Implants Res.* 2004;15(6):643-53.
2. Sailer I, Pjetursson BE, Zwahlen M, Hammerle CH. A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part II: Fixed dental prostheses. *Clin Oral Implants Res.* 2007;18 Suppl 3:86-96.
3. Heo Y-Y, Heo S-J, Chang M-W, Park J-M. The patients' satisfaction following implant treatment. *The Journal of Korean Academy of Prosthodontics.* 2008;46.
4. Kim K, Lee B-A, Piao X-H, Chung H-J, Kim Y-J. Surface characteristics and bioactivity of an anodized titanium surface. *J Periodontal Implant Sci.* 2013;43(4):198-205.
5. Kaweewongprasert P. Fatigue failure load of lithium disilicate restorations cemented on a chairside titanium-base. *American College of Prosthodontists.* 2018:1-9.
6. Agustín-Panadero R, Serra-Pastor B, Roig-Vanaclocha A, Fons-Font A, Solá-Ruiz MF. Fracture resistance and the mode of failure produced in metal-free crowns cemented onto zirconia abutments in dental implants. *PloS one.* 2019;14(8).
7. Bressan E, Paniz G, Lops D, Corazza B, Romeo E, Favero G. Influence of abutment material on the gingival color of implant-supported all-ceramic restorations: a prospective multicenter study. *Clin Oral Implants Res.* 2011;22(6):631-7.
8. Lops D, Stellini E, Sbricoli L, Cea N, Romeo E, Bressan E. Influence of abutment material on peri-implant soft tissues in anterior areas with thin gingival biotype: a multicentric prospective study. *Clin Oral Implants Res.* 2017;28(10):1263-8.
9. Dede DO, Armaganci A, Ceylan G, Celik E, Cankaya S, Yilmaz B. Influence of implant abutment material on the color of different ceramic crown systems. *J Prosthet Dent.* 2016;116(5):764-9.
10. Lim CH, Jang YS, Lee MH, Bae TS. Evaluation of fracture strength for single

crowns made of the different types of lithium disilicate glass-ceramics. *Odontology*. 2019.

11. Pires LA, Novais PM, Araujo VD, Pegoraro LF. Effects of the type and thickness of ceramic, substrate, and cement on the optical color of a lithium disilicate ceramic. *J Prosthet Dent*. 2017;117(1):144-9.

12. Zakir M, Ashraf U, Tian T, Han A, Qiao W, Jin X, et al. The Role of Silane Coupling Agents and Universal Primers in Durable Adhesion to Dental Restorative Materials - a Review. *Current Oral Health Reports*. 2016.

13. Niu E, Agustin M, Douglas RD. Color match of machinable lithium disilicate ceramics: Effects of foundation restoration. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2013;110(6):501-9.

14. Wang T, Wang L, Lu Q, Fan Z. Changes in the esthetic, physical, and biological properties of a titanium alloy abutment treated by anodic oxidation. *J Prosthet Dent*. 2019;121(1):156-65.

15. D L. Precision of the connection between implant and standard or computer-aided design/computer-aided manufacturing abutments: A Novel Evaluation Method. *the international journal of oral and maxillofacial implants*. 2018;33(1):23-30.

16. Stimmelmayer M, Erdelt K, Guth JF, Happe A, Beuer F. Evaluation of impression accuracy for a four-implant mandibular model--a digital approach. *Clin Oral Investig*. 2012;16(4):1137-42.

17. Siadat H, Beyabanaki E, Mousavi N, Alikhasi M. Comparison of fit accuracy and torque maintenance of zirconia and titanium abutments for internal tri-channel and external-hex implant connections. *The Journal of Advanced Prosthodontics*. 2017;9:271.

18. Brodbeck U. The ZiReal Post: A new ceramic implant abutment. *J Esthet Restor Dent*. 2003;15(1):10-23; discussion 4.

19. Wang QQ, Dai R, Cao CY, Fang H, Han M, Li QL. One-time versus repeated abutment connection for platform-switched implant: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2017;12(10).

20. Choi JW, Heo SJ, Koak JY, Kim SK, Lim YJ, Kim SH, et al. Biological responses of anodized titanium implants under different current voltages. *J Oral Rehabil*.

2006;33(12):889-97.

21. Kim KH, Kwon TY, Kim SY, Kang IK, Kim S, Yang Y, et al. Preparation and characterization of anodized titanium surfaces and their effect on osteoblast responses. *J Oral Implantol*. 2006;32(1):8-13.
22. Elsayed A, Wille S, Al-Akhali M, Kern M. Effect of fatigue loading on the fracture strength and failure mode of lithium disilicate and zirconia implant abutments. *Clinical oral implants research*. 2017;29.
23. Sbaraini A, Carter SM, Evans RW, Blinkhorn A. Experiences of dental care: what do patients value? *BMC Health Services Research*. 2012;12(1):177.
24. Thomson WM, Williams SM, Broadbent JM, Poulton R, Locker D. Long-term dental visiting patterns and adult oral health. *J Dent Res*. 2010;89(3):307-11.
25. Song MY, Park JM, Park EJ. Full mouth rehabilitation of the patient with severely worn dentition: a case report. *J Adv Prosthodont*. 2010;2(3):106-10.
26. Turker, Şener I, Kulak Y. Satisfaction of the complete denture wearers related to various factors. *Archives of gerontology and geriatrics*. 2009;49:126-9.
27. Pjetursson BE, Tan K, Lang NP, Bragger U, Egger M, Zwahlen M. A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years. *Clin Oral Implants Res*. 2004;15(6):625-42.
28. Goodacre CJ, Bernal G, Rungcharassaeng K, Kan JY. Clinical complications in fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent*. 2003;90(1):31-41.
29. Chandrakala V, Deepmala S, Srivatsa G. Different classification system for failures in tooth supported fixed partial denture: a systematic review. *International Journal of Preventive and Clinical Dental Research*. 2019;6(1):17-20.
30. Wittneben JG, Buser D, Salvi GE, Burgin W, Hicklin S, Bragger U. Complication and failure rates with implant-supported fixed dental prostheses and single crowns: a 10-year retrospective study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2014;16(3):356-64.
31. Sailer I, Muhlemann S, Zwahlen M, Hammerle CH, Schneider D. Cemented and screw-retained implant reconstructions: a systematic review of the survival and complication rates. *Clin Oral Implants Res*. 2012;23 Suppl 6:163-201.

32. Moraschini V, Poubel LA, Ferreira VF, Barboza Edos S. Evaluation of survival and success rates of dental implants reported in longitudinal studies with a follow-up period of at least 10 years: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2015;44(3):377-88.
33. Altay MA, Sindel A, Tezeri Sener HA, Yıldırım N, Özarslan MM. Esthetic evaluation of implant-supported single crowns: a comparison of objective and patient-reported outcomes. *Int J Implant Dent.* 2019;5(1):2.
34. Lindh T, Gunne J, Tillberg A, Molin M. A meta-analysis of implants in partial edentulism. *Clin Oral Implants Res.* 1998;9(2):80-90.
35. Agustin-Panadero R, Leon-Martinez R, Labaig-Rueda C, Faus-Lopez J, Sola-Ruiz MF. Influence of Implant-Prosthetic Connection on Peri-Implant Bone Loss: A Prospective Clinical Trial with 2-Year Follow-up. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2019;34(4):963-8.
36. Conte GJ, Rhodes P, Richards D, Kao RT. Considerations for anterior implant esthetics. *J Calif Dent Assoc.* 2002;30(7):528-34.
37. Hwang D, Wang HL. Medical contraindications to implant therapy: part I: absolute contraindications. *Implant Dent.* 2006;15(4):353-60.
38. Atieh MA, Tawse-Smith A, Alsabeeha NHM, Ma S, Duncan WJ. The One Abutment-One Time Protocol: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Periodontol.* 2017;88(11):1173-85.
39. Gil MS, Ishikawa-Nagai S, Elani HW, Da Silva JD, Kim DM, Tarnow D, et al. A prospective clinical trial to assess the optical efficacy of pink neck implants and pink abutments on soft tissue esthetics. *J Esthet Restor Dent.* 2017;29(6):409-15.
40. Tribst J, Dal Piva A, Borges A, Bottino M. Influence of crown and hybrid abutment ceramic materials on the stress distribution of implant-supported prosthesis. *Revista de odontologia da UNESP / Universidade Estadual Paulista (UNESP).* 2018;47.
41. Guichet DL, Caputo AA, Choi H, Sorensen JA. Passivity of fit and marginal opening in screw- or cement-retained implant fixed partial denture designs. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2000;15(2):239-46.
42. Cho SC, Small PN, Elian N, Tarnow D. Screw loosening for standard and wide diameter implants in partially edentulous cases: 3- to 7-year longitudinal data. *Implant*



Dent. 2004;13(3):245-50.

43. Bulaqi HA, Mousavi Mashhadi M, Geramipanah F, Safari H, Paknejad M. Effect of the coefficient of friction and tightening speed on the preload induced at the dental implant complex with the finite element method. *J Prosthet Dent.* 2015;113(5):405-11.
44. Taylor TD, Belser U, Mericske-Stern R. Prosthodontic considerations. *Clin Oral Implants Res.* 2000;11 Suppl 1:101-7.
45. Korsch M, Marten SM, Dotsch A, Jauregui R, Pieper DH, Obst U. Effect of dental cements on peri-implant microbial community: comparison of the microbial communities inhabiting the peri-implant tissue when using different luting cements. *Clin Oral Implants Res.* 2016;27(12):161-6.
46. Wittneben J, Joda T, Weber H-P, Brägger U. Screw retained vs. cement retained implant-supported fixed dental prosthesis. *Periodontology 2000.* 2017;73:141-51.
47. Derafshi R, Ahangari A, Torabi K, Farzin M. Evaluation of the Effect of Axial Wall Modification and Coping Design on the Retention of Cement-retained Implant-supported Crowns. *Journal of dental research, dental clinics, dental prospects.* 2015;9:35-9.
48. Park J-M, Lee J-B, Heo S-J, Park E-J. A comparative study of gold UCLA-type and CAD/CAM titanium implant abutments. *The journal of advanced prosthodontics.* 2014;6:46-52.
49. Yildirim M, Edelhoff D, Hanisch O, Spiekermann H. Ceramic abutments--a new era in achieving optimal esthetics in implant dentistry. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2000;20(1):81-91.
50. Nagasawa Y, Hibino Y, Nakajima H. Retention of crowns cemented on implant abutments with temporary cements. *Dental materials journal.* 2014;33:835-44.
51. Rimondini L, Cerroni L, Carrassi A, Torricelli P. Bacterial Colonization of Zirconia Ceramic Surfaces: An in Vitro and in Vivo Study. *The International journal of oral & maxillofacial implants.* 2002;17:793-8.
52. Rompen E, Domken O, Degidi M, Pontes AE, Piattelli A. The effect of material characteristics, of surface topography and of implant components and connections on soft tissue integration: A literature review. *Clinical oral implants research.* 2006;17 Suppl 2:55-

67.

53. Lee J-H, Park J-M, Park E-J, Koak J-Y, Kim S-K, Heo S-J. Comparison of Customized Abutments Made from Titanium and a Machinable Precious Alloy. *The International journal of oral & maxillofacial implants*. 2016;31:92-100.

54. Martinez-Rus F, Prieto M, Salido MP, Madrigal C, Ozcan M, Pradies G. A Clinical Study Assessing the Influence of Anodized Titanium and Zirconium Dioxide Abutments and Peri-implant Soft Tissue Thickness on the Optical Outcome of Implant-Supported Lithium Disilicate Single Crowns. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2017;32(1):156-63.

55. Murillo-Gómez F, Goes M. Effect of Different Silane-Containing Solutions on Glass-Ceramic/ Cement Bonding Interacting with Dual-Cure Resin Cements. *Odovtos - International Journal of Dental Sciences*. 2015:87.

56. Guimaraes HAB, Cardoso PC, Decurcio RA, Monteiro LJE, de Almeida LN, Martins WF, et al. Simplified Surface Treatments for Ceramic Cementation: Use of Universal Adhesive and Self-Etching Ceramic Primer. *Int J Biomater*. 2018;2018.

57. Pereira GKR, Graunke P, Maroli A, Zucuni C, Prochnow C, Valandro L, et al. Lithium disilicate glass-ceramic Vs translucent zirconia polycrystals bonded to distinct substrates: fatigue failure load, number of cycles for failure, survival rates, and stress distribution. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2018;91.

58. Wolfart S, Eschbach S, Scherrer S, Kern M. Clinical outcome of three-unit lithium-disilicate glass-ceramic fixed dental prostheses: Up to 8 years results. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*. 2009;25:e63-71.

59. Dede DO, Ceylan G, Yilmaz B. Effect of brand and shade of resin cements on the final color of lithium disilicate ceramic. *J Prosthet Dent*. 2017;117(4):539-44.

60. Chaiyabutr Y, Kois JC, Lebeau D, Nunokawa G. Effect of abutment tooth color, cement color, and ceramic thickness on the resulting optical color of a CAD/CAM glass-ceramic lithium disilicate-reinforced crown. *J Prosthet Dent*. 2011;105(2):83-90.

61. Czigola A, Abram E, Kovacs ZI, Marton K, Hermann P, Borbely J. Effects of substrate, ceramic thickness, translucency, and cement shade on the color of CAD/CAM lithium-disilicate crowns. *J Esthet Restor Dent*. 2019;31(5):457-64.

62. Martinez-Rus F, Ferreiroa A, Özcan M, Bartolomé J, Pradies G. Fracture Resistance of Crowns Cemented on Titanium and Zirconia Implant Abutments: A Comparison of Monolithic Versus Manually Veneered All-Ceramic Systems. *The International journal of oral & maxillofacial implants*. 2012;27:1448-55.
63. Jadad E, Montoya J, Arana G, Gordillo LAA, Palo RM, Loguercio AD. Spectrophotometric evaluation of color alterations with a new dental bleaching product in patients wearing orthodontic appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2011;140(1):43-7.
64. Karamouzou A, Papadopoulou MA, Kolokithas G, Athanasiou AE. Precision of in vivo spectrophotometric colour evaluation of natural teeth. *J Oral Rehabil*. 2007;34(8):613-21.
65. Chaar MS, Att W, Strub JR. Prosthetic outcome of cement-retained implant-supported fixed dental restorations: a systematic review. *J Oral Rehabil*. 2011;38(9):697-711.
66. Bernal G, Okamura M, Munoz CA. The effects of abutment taper, length and cement type on resistance to dislodgement of cement-retained, implant-supported restorations. *J Prosthodont*. 2003;12(2):111-5.
67. Tan KM, Masri R, Driscoll CF, Limkangwalmongkol P, Romberg E. Effect of axial wall modification on the retention of cement-retained, implant-supported crowns. *J Prosthet Dent*. 2012;107(2):80-5.
68. Kokubo Y, Kano T, Tsumita M, Sakurai S, Itayama A, Fukushima S. Retention of zirconia copings on zirconia implant abutments cemented with provisional luting agents. *J Oral Rehabil*. 2010;37(1):48-53.
69. Jirajariyavej B, Wanapirom P, Anunmana C. Influence of implant abutment material and ceramic thickness on optical properties. *J Prosthet Dent*. 2018;119(5):819-25.
70. Dozic A, Kleverlaan CJ, El-Zohairy A, Feilzer AJ, Khashayar G. Performance of five commercially available tooth color-measuring devices. *J Prosthodont*. 2007;16(2):93-100.
71. Douglas RD, Steinhauer TJ, Wee AG. Intraoral determination of the tolerance of dentists for perceptibility and acceptability of shade mismatch. *J Prosthet Dent*.

2007;97(4):200-8.

72. Cvar JF, Ryge G. Reprint of criteria for the clinical evaluation of dental restorative materials. 1971. Clin Oral Investig. 2005;9(4):215-32.

73. Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. J Dent Res. 1989;68(5):819-22.

74. Gómez-Polo C, Portillo Muñoz M, Lorenzo Luengo MC, Vicente P, Galindo P, Martín Casado AM. Comparison of the CIELab and CIEDE2000 color difference formulas. J Prosthet Dent. 2016;115(1):65-70.

75. Perez Mdel M, Ghinea R, Herrera LJ, Ionescu AM, Pomares H, Pulgar R, et al. Dental ceramics: a CIEDE2000 acceptability thresholds for lightness, chroma and hue differences. J Dent. 2011;39 Suppl 3:e37-44.

76. Ragain JC, Jr., Johnston WM. Minimum color differences for discriminating mismatch between composite and tooth color. J Esthet Restor Dent. 2001;13(1):41-8.

77. Tabatabaian F. Color in Zirconia-Based Restorations and Related Factors: A Literature Review. J Prosthodont. 2018;27(2):201-11.

78. Freedman GA. Color and Shade Matching. In Contemporary Esthetic Dentistry. 2012:139-40.

79. Kielbassa AM, Beheim-Schwarzbach NJ, Neumann K, Nat R, Zantner C. In vitro comparison of visual and computer-aided pre- and post-tooth shade determination using various home bleaching procedures. J Prosthet Dent. 2009;101(2):92-100.

80. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. J Dent. 2010;38 Suppl 2:e2-16.

81. Vichi A, Louca C, Corciolani G, Ferrari M. Color related to ceramic and zirconia restorations: a review. Dent Mater. 2011;27(1):97-108.

82. Kim J-H, Kim K-B, Kim W-C, Kim H-Y, Kim J-H. Evaluation of the color reproducibility of all-ceramic restorations fabricated by the digital veneering method. The journal of advanced prosthodontics. 2014;6(2):71-8.

83. Nakamura T, Saito O, Fuyikawa J, Ishigaki S. Influence of abutment substrate and ceramic thickness on the color of heat-pressed ceramic crowns. Journal of oral

rehabilitation. 2002;29:805-9.

84. McLaren EA, Figueira J. Updating Classifications of Ceramic Dental Materials: A Guide to Material Selection. *Compend Contin Educ Dent*. 2015;36(6):400-5; quiz 6, 16.
85. Wang F, Takahashi H, Iwasaki N. Translucency of dental ceramics with different thicknesses. *J Prosthet Dent*. 2013;110(1):14-20.
86. Della Bona A, Corazza PH, Zhang Y. Characterization of a polymer-infiltrated ceramic-network material. *Dent Mater*. 2014;30(5):564-9.
87. Giordano R, McLaren E. Ceramics overview: classification by microstructure and processing methods. *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ : 1995)*. 2009;31:682-4, 6, 8 passim; quiz 98, 700.
88. Awad D, Stawarczyk B, Liebermann A, Ilie N. Translucency of esthetic dental restorative CAD/CAM materials and composite resins with respect to thickness and surface roughness. *J Prosthet Dent*. 2015;113(6):534-40.
89. Vivadent I. IPS emax CAD(online). 2018;[https://asia.ivoclarvivadent.com/en-as/p/dental-profesional/ips-emax-system-dentists/ips-emax-cad-chairside\(2020.May](https://asia.ivoclarvivadent.com/en-as/p/dental-profesional/ips-emax-system-dentists/ips-emax-cad-chairside(2020.May) 21).
90. Vohra F, Alnajashi S, Aljardi A, Deeb M, Deeb L, Ahdal K, et al. Color Masking Ability of Lithium Disilicate Ceramic for Titanium Alloy Implant Abutments. *Journal of Biomaterials and Tissue Engineering*. 2020;10.
91. Alghazzawi TF, Lemons J, Liu PR, Essig ME, Janowski GM. Evaluation of the optical properties of CAD-CAM generated yttria-stabilized zirconia and glass-ceramic laminate veneers. *J Prosthet Dent*. 2012;107(5):300-8.
92. Volpato C, Monteiro Junior S, Andrada M, Fredel M, Otávio P. Optical influence of the type of illuminant, substrates and thickness of ceramic materials. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*. 2008;25:87-93.
93. Dede D, Armaganci A, Ceylan G, Cankaya S, Celik E. Influence of abutment material and luting cements color on the final color of all ceramics. *Acta Odontol Scand*. 2013;71(6):1570-8.
94. Tabatabaian F, Masoomi F, Namdari M, Mahshid M. Effect of Three Different Core Materials on Masking Ability of a Zirconia Ceramic. *J Dent (Tehran)*. 2016;13(5):340-8.

95. Cubas G, Camacho G, Demarco F, Pereira-Cenci T. The Effect of Luting Agents and Ceramic Thickness on the Color Variation of Different Ceramics against a Chromatic Background. *Eur J Dent*. 2011;5:245-52.
96. Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Influence of ceramic and cement thickness on the masking of various types of opaque posts. *J Prosthet Dent*. 2000;83(4):412-7.
97. Liu X, Fehmer V, Sailer I, Mojon P, Liu F, Pjetursson BE. Influence of Different Cements on the Color Outcomes of Titanium-Based Lithium Disilicate All-Ceramic Crowns and Peri-implant Soft Tissue. *Int J Prosthodont*. 2020;33(1):63-73.
98. Malkondu O, Tinastepe N, Kazazoglu E. Influence of type of cement on the color and translucency of monolithic zirconia. *J Prosthet Dent*. 2016;116(6):902-8.
99. Della Bona A, Pecho O, Ghinea RI, Cardona J, Perez M. Color parameters and shade correspondence of CAD-CAM ceramic systems. *Journal of dentistry*. 2015;43.
100. Shimada K, Nakazawa M, Kakehashi Y, Matsumura H. Influence of abutment materials on the resultant color of heat-pressed lithium disilicate ceramics. *Dent Mater J*. 2006;25(1):20-5.
101. Paravina RD, Ghinea R, Herrera LJ, Bona AD, Igiel C, Linninger M, et al. Color difference thresholds in dentistry. *J Esthet Restor Dent*. 2015;27 Suppl 1:S1-9.
102. Kürklü D, Azer SS, Yilmaz B, Johnston WM. Porcelain thickness and cement shade effects on the colour and translucency of porcelain veneering materials. *J Dent*. 2013;41(11):1043-50.
103. Jarad FD, Griffiths CE, Jaffri M, Adeyemi AA, Youngson CC. The effect of bleaching, varying the shade or thickness of composite veneers on final colour: an in vitro study. *Journal of dentistry*. 2008;36(7):554-9.





## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ธนโชติ พยุงรัตน์
วัน เดือน ปี เกิด	16 มีนาคม 2535
สถานที่เกิด	สกลนคร
วุฒิการศึกษา	พ.ศ.2558 ทันตแพทยศาสตร์บัณฑิต สาขาทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

