



ผลของความโปร่งแสงและความหนาของ"แอควานซิลิเทียมไดซิลิเกต"เซรามิกสำหรับระบบ
แคดแคมต่อความสามารถในการปิดสีหลักยึดรากเทียมประเภทต่างๆ

EFFECT OF VARIATIONS IN TRANSLUCENCY AND THICKNESS OF "ADVANCED
LITHIUM DISILICATE" CAD-CAM CERAMIC ON MASKING ABILITY FOR DIFFERENT
IMPLANT ABUTMENT SUBSTRATES

บุญยานุช บุญนำมา

ผลของความโปร่งแสงและความหนาของ"แอควานซีลิเทียมไดซลิเกต"เซรามิกสำหรับระบบ
แคดแคมต่อความสามารถในการปิดสีหลักยึดรากเทียมประเภทต่างๆ



ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

EFFECT OF VARIATIONS IN TRANSLUCENCY AND THICKNESS OF "ADVANCED
LITHIUM DISILICATE" CAD-CAM CERAMIC ON MASKING ABILITY FOR DIFFERENT
IMPLANT ABUTMENT SUBSTRATES



BOONYANOOD BOONNAMMA

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

Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University

2023

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลของความโปร่งแสงและความหนาของ"แอดวานซ์ซิลิเทียมไดซัลไฟด์"เซรามิกสำหรับระบบ
แคดแคมต่อความสามารถในการปิดสีหลักยึดรกเทียมประเภทต่างๆ

ของ

บุญยานุช บุญนำมา

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ประธาน
(อาจารย์ ดร.วิบูลย์ไพศาลกอบฤทธิ) (รองศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ ศรีอัมพร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ เจียรพุมิ)

ชื่อเรื่อง	ผลของความโปร่งแสงและความหนาของ"แอตวานซัลเทียมไดซัลไฟด์"เซรามิก สำหรับระบบ แคดแคมต่อความสามารถในการปิดสีหลักยึดรากเทียมประเภทต่างๆ
ผู้วิจัย	บุญยานุช บุญนำมา
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2566
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. วิบูลย์ ไพศาลกอบฤทธิ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบค่าความโปร่งแสงและความสามารถในการปิดสีบนหลักยึดรากเทียมประเภทต่างๆของเซรามิกชนิดแอตวานซัลเทียมไดซัลไฟด์ซึ่งเป็นเซรามิกชนิดใหม่ที่ได้รับการปรับปรุงในด้านความแข็งแรงและความสะดวกรวดเร็วในการใช้ขึ้นรูปขึ้นงานเปรียบเทียบกับเซรามิกชนิดลิเทียมไดซัลไฟด์ซึ่งเป็นเซรามิกดั้งเดิมที่นิยมนำมาใช้งานในงานทันตกรรม วิธีการทดสอบนำบล็อกเซรามิกชนิดแอตวานซัลเทียมไดซัลไฟด์และบล็อกเซรามิกชนิดลิเทียมไดซัลไฟด์ความโปร่งแสงสูงและความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 มาตัดเป็นชิ้นตัวอย่างทรงสี่เหลี่ยมและแบ่งออกเป็น 8 กลุ่ม ตามความหนาแตกต่างกัน คือ 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร (n=8) นำชิ้นตัวอย่างไปวัดค่าสีภายใต้พื้นหลังสีขาวและสีดำและคำนวณหาค่าความโปร่งแสง จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างไปทดสอบค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกทั้ง 8 กลุ่ม บนหลักยึดรากเทียมทั้ง 4 ชนิด คือ ไทเทเนียม ไทเทเนียมซุบอโนไดซัลไฟด์เหลือง ไทเทเนียมซุบอโนไดซัลไฟด์ชมพู และเซอร์โคเนีย ผลการศึกษาพบว่าความหนา ชนิดความโปร่งแสง และชนิดของเซรามิกมีอิทธิพลร่วมต่อค่าความโปร่งแสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value}<0.05$) เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของสีพบว่า ความหนาของเซรามิกและชนิดของแผ่นพื้นหลังมีผลต่อค่าความแตกต่างของสี โดยพบว่าเมื่อความหนาของเซรามิกเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างของสีระหว่างเซรามิกและแผ่นพื้นหลังมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value}>0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าเซรามิกชนิดแอตวานซัลเทียมไดซัลไฟด์ให้ค่าความแตกต่างของสีที่ความหนาต่างๆไม่แตกต่างกันเมื่ออยู่บนพื้นหลังไทเทเนียมซุบอโนไดซัลไฟด์เหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value}>0.05$) เมื่อพิจารณาที่ชนิดของแผ่นพื้นหลังพบว่าเซรามิกหลายกลุ่มการทดลองบนแผ่นพื้นหลังไทเทเนียมซุบอโนไดซัลไฟด์เหลืองและสีชมพูให้ค่าความแตกต่างของสีน้อยกว่าค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกบนแผ่นพื้นหลังไทเทเนียมหรือพื้นหลังเซอร์โคเนียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value}<0.05$) ผลการศึกษารูปได้ว่าความหนาของเซรามิก ชนิดความโปร่งแสง และชนิดของเซรามิกมีผลต่อค่าความโปร่งแสง และความหนาของเซรามิกและชนิดของแผ่นพื้นหลังมีผลต่อค่าความแตกต่างของสีของเซรามิก

คำสำคัญ : ความสามารถในการปิดสี, เซรามิกชนิดแอตวานซัลเทียมไดซัลไฟด์, เซรามิกชนิดลิเทียมไดซัลไฟด์, หลักยึดรากเทียม, ระบบแคดแคม

Title	EFFECT OF VARIATIONS IN TRANSLUCENCY AND THICKNESS OF "ADVANCED LITHIUM DISILICATE" CAD-CAM CERAMIC ON MASKING ABILITY FOR DIFFERENT IMPLANT ABUTMENT SUBSTRATES
Author	BOONYANOOD BOONNAMMA
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2023
Thesis Advisor	Dr. Vibul Paisankobrit

The purpose of this study is to assess the masking ability of ceramic restoration materials by comparing translucency parameter and color difference of advanced lithium disilicate (CEREC Tessera™), which is a newer chairside CAD/CAM ceramic on different implant abutment substrates, with Lithium disilicate (IPS.™ e.max CAD), which extensively studied CAD/CAM glass-ceramic material. The materials and method consisted of two types of CAD/CAM glass-ceramic blocks: IPS.™ e.max CAD (ECAD), and CEREC Tessera™ (TESS) with two translucencies (HT), (MT) in shade A2, which were sectioned into four groups of thickness, containing eight pieces per group. The translucency parameter (TP_{00}) was determined by calculating the color difference of the same specimen between black (B) and white (W) backgrounds. The color difference (ΔE_{00}) was then assessed by using the CIEDE2000 formula and by considering the different ceramic systems over four implant abutment backgrounds; titanium (Ti), yellow anodized titanium (TiY), pink anodized titanium (TiP), and zirconia (Zr). The results of this study revealed that the type of glass-ceramic, translucency, and thickness significantly influenced TP_{00} (p-value<0.05). The color differences (ΔE_{00}) decreased with increasing ceramic thickness for every background material. However, it was found that the color differences (ΔE_{00}) of TESS at different thickness did not entail significant difference (p-value>0.05) when measured on yellow anodized titanium (TiY). When considering the types of backgrounds, it was found that ceramics in many samples on yellow anodized titanium (TiY) and pink anodized titanium (TiP) provided lower color differences than those on titanium (Ti) or zirconia (Zr) with a significant difference (p-value<0.05). The study concluded that the type of ceramic materials, translucency, and thickness influenced TP_{00} . The thickness of ceramic and the type of backgrounds influenced ΔE_{00} .

Keyword : masking ability, lithium disilicate, advance lithium disilicate, implant abutment, CAD-CAM

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก อาจารย์ ดร. วิบูลย์ ไพศาลกอบฤทธิ ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษและทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่ให้คำแนะนำและปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และอาจารย์ ดร. ณัฐพล กิตติคุณเดชา ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำทางด้านการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทำให้ปริญญาานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี ตลอดจนคณาจารย์ประจำสาขาทันตกรรมหัตถการ คณะกรรมการสอบเค้าโครงปริญญาานิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่า ปริญญาานิพนธ์ ประกอบกับปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนอุดหนุนประเภทเงินรายได้หน่วยงานสังกัดคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ทางผู้วิจัยได้ตระหนักถึงและใคร่กราบขอขอบคุณผู้มีพระคุณดังกล่าวมา ณ ที่นี้

อนึ่งขั้นตอนการทดลองนั้น ได้รับคำแนะนำและอนุเคราะห์อุปกรณ์ทดสอบจากผู้เกี่ยวข้อง ได้แก่ คุณวรวรรณ ช่างท่งใหญ่ ผู้เชี่ยวชาญด้านผลิตภัณฑ์แคดแคมบริษัทเด็นท์สพลาย ชิโรน่า (ประเทศไทย) จำกัด ผู้ให้คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัยในส่วนของ การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง พร้อมทั้งได้รับความสะดวกจากนางกนกพร สุขยานันท์ เจ้าหน้าที่คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในการให้คำแนะนำการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง จนสามารถทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ตามที่วางแผนไว้ จึงขอกล่าวแสดงความขอบคุณในความอนุเคราะห์นี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณครอบครัว เพื่อนๆ และคณาจารย์หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก (ทันตกรรมบูรณะ) ที่ให้ความสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้สามารถดำเนินปริญญาานิพนธ์ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

บุญยานุช บุญนำมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	4
ความสำคัญของงานวิจัย	4
ขอบเขตของการวิจัย	4
ประชากรที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	4
กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	5
ตัวแปรที่ศึกษา	6
กรอบแนวคิดการวิจัย	6
สมมติฐานในการวิจัย.....	7
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
1. เชนามิกในทางพันธุกรรม	8
2. ระบบแคดแคมในงานพันธุกรรม.....	13
3. รากเทียมในทางพันธุกรรม.....	15
4. แสงและสีในทางพันธุกรรม	18

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	27
การออกแบบงานวิจัย	27
การกำหนดค่าประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง	27
เครื่องมือและอุปกรณ์.....	31
ขั้นตอนการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล	32
ขั้นตอนการทดลอง	32
การทดสอบวัดค่าความโปร่งแสง	32
การทดลองวัดความแตกต่างของสี	36
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	39
บทที่ 4 ผลการดำเนินวิจัย.....	40
ค่าความโปร่งแสงของเซรามิก (TP_{00}).....	41
ค่าความแตกต่างของสี (ΔE_{00}).....	43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	49
สรุปผลการวิจัย.....	49
อภิปรายผล	50
ข้อเสนอแนะ	56
บรรณานุกรม	57
ประวัติผู้เขียน.....	71

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 แสดงค่าความแตกต่างของสีในระบบต่างๆ.....	25
ตาราง 2 แสดงผลิตภัณฑ์และส่วนประกอบ.....	32
ตาราง 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความโปร่งแสงของเซรามิก	42
ตาราง 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสีเซรามิกชนิดลิเทียมไดซลิเกตความโปร่งแสงสูง	44
ตาราง 5 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสีเซรามิกชนิดลิเทียมไดซลิเกตความโปร่งแสงปานกลาง	45
ตาราง 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสีเซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซลิเกตความโปร่งแสงสูง.....	46
ตาราง 7 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสีเซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซลิเกตความโปร่งแสงปานกลาง.....	47
ตาราง 8 แสดงค่าสีในแนวแกน L แกน a และแกน b ของบล็อกเซรามิก.....	65
ตาราง 9 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง ระหว่างตัวแปรต้นและค่าความโปร่งแสงของเซรามิก.....	66
ตาราง 10 แสดงตารางสถิติการทดสอบของครัสคาล-วัลลิส(Kruskal-Wallis test)ของค่าความแตกต่างของสีของเซรามิก.....	67
ตาราง 11 แสดงเลขการผลิตของเซรามิกชนิดต่างๆ	67

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดวิจัย 1	6
ภาพประกอบ 2 กรอบแนวคิดวิจัย 2	7
ภาพประกอบ 3 แสดง partially crystallized blocks ของเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์แคด (IPS™ e.max CAD).....	10
ภาพประกอบ 4 แสดงผลึก partially crystallized blocks ของ IPS™ e.max CAD	11
ภาพประกอบ 5 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของเซเรค เทสเซรา (CEREC Tessera™)	12
ภาพประกอบ 6 แสดงภาพบล็อกของเซเรค เทสเซรา (CEREC Tessera™)	12
ภาพประกอบ 7 แสดงส่วนประกอบของรากเทียมส่วนฝัง	16
ภาพประกอบ 8 แสดงภาพส่วนประกอบของตามนุษย์	18
ภาพประกอบ 9 แสดงค่าระบบสีมินเซลล์ (Munsell color order system).....	19
ภาพประกอบ 10 แสดงถึงแกนระบบค่าสีซีแอลบี (CIELAB color system)	21
ภาพประกอบ 11 แสดงบล็อกเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต	33
ภาพประกอบ 12 แสดงบล็อกเซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกต	33
ภาพประกอบ 13 แสดงแผ่นเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตที่ความหนาต่างๆ.....	34
ภาพประกอบ 14 แสดงแผ่นเซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตที่ความหนาต่างๆ.....	35
ภาพประกอบ 15 แสดงเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น VITA Easyshade	35
ภาพประกอบ 16 แสดงเครื่องตัดใบเลื่อยเพชร (IsoMet 1000 precision saw , Buehler , U.S.A.)	68
ภาพประกอบ 17 แสดงเครื่องขัดผิววัสดุ (Nano 1000T grinder polisher, USA)	68
ภาพประกอบ 18 แสดงสารเคลือบผิวเซรามิก (Dentsply Sirona universal overglaze high flu, Dentsply Sirona , USA).....	69

ภาพประกอบ 19 แสดงสารเคลือบผิวเซรามิกสีธรรมชาติ (Natural-shade glaze, IPS e.max CAD crystal/glaze paste, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)	69
ภาพประกอบ 20 แสดงซีเมนต์ของสีฟันสีใส (Nx3 Try in gel-clear, Kerr, USA)	70



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางการแพทย์ทางทันตกรรมมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว งานทันตกรรมดิจิทัล (digital dentistry) เป็นเทคโนโลยีทางทันตกรรมที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการรักษาทันตกรรมในหลายๆด้าน⁽¹⁾ เช่น ด้านการบูรณะฟัน ทันตกรรมรากเทียม เป็นต้น

ระบบแคดแคม (CAD-CAM ; computer-aided design and computer-aided manufacturing) เป็นการใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยสร้างชิ้นงาน ตั้งแต่การออกแบบรายละเอียดของฟัน ออกแบบ ผลิต ตลอดจนขึ้นรูปได้ชิ้นงานออกมา⁽²⁾ ซึ่งระบบแคดแคมนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานดิจิทัล (digital) เพื่อช่วยลดขั้นตอนการทำงาน ลดการเกิดข้อผิดพลาดของชิ้นงานจากห้องปฏิบัติการ⁽¹⁾ ทำให้ในปัจจุบันมีกลุ่มวัสดุหลากหลายชนิดในท้องตลาดที่ถูกผลิตขึ้นเพื่อใช้งานกับระบบแคดแคม

วัสดุในกลุ่มกลาสเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate based glass ceramic) เป็นเซรามิกกลุ่มหนึ่งที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการบูรณะฟัน เนื่องจากคุณสมบัติด้านความสวยงาม ความแข็งแรง และสามารถนำไปใช้ในการบูรณะฟันได้หลากหลายรูปแบบ⁽³⁾ ด้วยความเป็นที่นิยมนี้เองจึงทำให้วัสดุกลุ่มกลาสเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตถูกพัฒนาในรูปแบบในการขึ้นรูปให้สามารถใช้ระบบแคดแคมในการขึ้นรูปชิ้นงานได้

เซรามิกกลุ่มแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกต (advanced lithium disilicate) หรือชื่อทางการค้า เซเรค เทสเสรา (CEREC Tessera™) เป็นหนึ่งในวัสดุกลุ่มกลาสเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่ เพื่อให้สามารถใช้งานร่วมกับระบบแคดแคมได้ ร่วมกับการพัฒนาในด้านความแข็งแรงและการขึ้นรูปชิ้นงานได้อย่างรวดเร็วด้วยการเผาภายในเตาที่บริษัทแนะนำซึ่งใช้เวลาเพียง 4 นาที 30 วินาที ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้เองทำให้ช่วยลดเวลาในการทำงานของทันตแพทย์และช่างทันตกรรมลงได้ วัสดุกลุ่มนี้ถูกผลิตออกแบบในรูปแบบบล็อกที่มีสีและความโปร่งแสง (translucency) ที่หลากหลาย⁽⁴⁾ให้ทันตแพทย์ได้เลือกใช้ในการสร้างชิ้นงานบูรณะฟันให้แก่ผู้ป่วย และด้วยคุณสมบัติในด้านความสวยงาม ความแข็งแรง และความรวดเร็วในการขึ้นรูปชิ้นงานที่กล่าวมาข้างต้นนั้นทำให้วัสดุในกลุ่มนี้เป็นวัสดุกลุ่มใหม่ที่มีความน่าสนใจ

ในการบูรณะฟันธรรมชาติชิ้นงานบูรณะกลุ่มเซรามิกล้วน (all ceramic restorations) มีความใสทำให้แสงสามารถส่องผ่านได้ดีร่วมกับสีของเนื้อฟันภายใต้ชิ้นงานบูรณะทำให้ชิ้นงาน

บุรณะที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถลอกเลียนลักษณะได้ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ^(5, 6) แต่นอกจากความสามารถที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นในบางกรณีที่เนื้อฟันเดิมมีสีที่ไม่พึงประสงค์ เช่น สีเข้มกว่าฟันข้างเคียง มีสีของโลหะ การนำเอาชิ้นงานบุรณะกลุ่มเซรามิกสีล้วนมาใช้ในการปิดสีเนื้อฟันเหล่านี้เรียกว่าเป็นความสามารถในการปิดสี (masking ability) ของวัสดุกลุ่มเซรามิกสีล้วน⁽⁷⁾ การมีความสามารถในการปิดสีของเซรามิกที่เหมาะสมส่งผลให้ชิ้นงานบุรณะมีสีสุดท้าย (final color) เหมือนฟันข้างเคียง นอกจากความนิยมในการนำวัสดุกลุ่มเซรามิกสีล้วนมาบุรณะฟันธรรมชาติแล้ว การนำวัสดุกลุ่มเซรามิกสีล้วนมาใช้ในการบุรณะครอบฟันบนรากเทียม (dental implant) ก็เป็นสิ่งที่ได้รับความนิยมเช่นกัน⁽⁸⁾

การบุรณะด้วยรากเทียมเป็นหนึ่งในทางเลือกสำหรับการใส่ฟันทดแทนบริเวณสันเหงือกว่าง เป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับคามนิยมและมีอัตราความสำเร็จในการรักษาสูง⁽⁹⁾ หลักยึดรากเทียม (implant abutment) เป็นองค์ประกอบหนึ่งในการบุรณะรากเทียม⁽¹⁰⁾ แต่เดิมวัสดุที่ใช้ในผลิตหลักยึดรากเทียมนั้นเป็นวัสดุในกลุ่มโลหะไทเทเนียม (titanium) มีสีเทาของโลหะ หากครอบฟันที่ใช้ในการบุรณะมีความใสและความหนาที่ไม่เพียงพออาจสะท้อนสีของโลหะออกมา ร่วมกับมีรายงานพบว่าการใช้โลหะไทเทเนียมนั้นก่อให้เกิดการติดสีของเนื้อเยื่ออ่อนรอบรากเทียมส่งผลในด้านความสวยงาม⁽⁸⁾ จึงมีการพัฒนาหลักยึดรากเทียมโดยการปรับปรุงพื้นผิวของโลหะไทเทเนียมด้วยวิธีที่มีชื่อว่า กระบวนการอโนไดซ์ (Anodization) เป็นการนำการใช้การเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าในการปรับเปลี่ยนพื้นผิวของโลหะไทเทเนียมและยังส่งผลให้สีของโลหะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมที่มีสีเทา⁽¹¹⁾ ให้ผลดีในแง่ความสวยงามและช่วยลดการติดสีของเนื้อเยื่ออ่อนรอบรากเทียม รวมทั้งมีความเข้ากันได้ดีกับเซลล์ไฟโบรบลาสต์ในเหงือกของมนุษย์ (human gingival fibroblast ; HGFs)^(11, 12) อย่างไรก็ตามการฝังรากเทียมและบุรณะครอบฟันบนรากเทียมโดยเฉพาะในฟันหน้าเป็นสิ่งที่มีความท้าทายสำหรับทันตแพทย์ เนื่องจากรากเทียมและครอบฟันนั้นจะต้องมีความสวยงามสามารถลอกเลียนสีและลักษณะของฟันธรรมชาติข้างเคียงรวมไปถึงสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การมีสีโลหะของหลักยึดรากเทียมโผล่บริเวณเนื้อเยื่ออ่อนในช่องปาก (soft tissues) ก็เป็นสิ่งที่ส่งผลต่อความสวยงามและเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ของการบุรณะครอบฟันบนรากเทียม จึงเกิดการพัฒนากำหนดนำเอาวัสดุเซรามิกมาใช้ในการทำหลักยึดรากเทียม⁽¹³⁾ วัสดุกลุ่มเซอร์โคเนีย (zirconia) เป็นเซรามิกที่มีสีขาวทึบและมีความแข็งแรงสูง การนำเซอร์โคเนียมาใช้เป็นหลักยึดรากเทียมส่งผลดีต่อความสวยงามมากกว่าเมื่อเทียบกับการใช้โลหะไทเทเนียมที่มีสีเทาและยังมีรายงานถึงการลดการติดสีของเหงือกเมื่อใช้เซอร์โคเนียเป็นหลักยึดรากเทียม แต่อย่างไรก็ตาม

ลักษณะความทึบแสงของเซอร์โคเนียเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งที่ยากต่อบูรณะครอบฟันบนรากเทียมให้มีลักษณะใกล้เคียงฟันธรรมชาติที่ข้างเคียง⁽⁶⁾

จากปัญหาสีของวัสดุที่นำมาใช้ในการทำหลักยึดรากเทียมที่กล่าวมานั้นเป็นสิ่งที่ส่งผลกระทบต่อความสวยงาม การใช้สีของครอบฟันจากวัสดุกลุ่มเซรามิกล้วนมาช่วยในการปกปิดสี (color masking) ของหลักยึดรากเทียมก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยในเรื่องของความสวยงาม วัสดุกลุ่มเซรามิกล้วน หลากหลายกลุ่มถูกนำไปใช้ในการศึกษาความสามารถในการปิดสีเนื้อฟันในการบูรณะเนื้อฟันธรรมชาติ^(7, 14-17) การศึกษาพบว่าอิทธิพลจากปัจจัยต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสีของเนื้อฟัน เรซินซีเมนต์ที่ใช้ หรือแม้กระทั่งความโปร่งแสงและความหนาของเซรามิกล้วนแต่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการปิดสีเนื้อฟันในการบูรณะชิ้นงานครอบฟันเซรามิกล้วนชนิดลิเทียมไดซิลิเกต^(15, 16) ร่วมกับการศึกษาวิจัยอื่นๆ พบว่าปัจจัยในด้านของความหนาและความโปร่งแสงของเซรามิกที่ต่างชนิดกันก็ล้วนแต่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการปิดสีเนื้อฟันภายใต้ชิ้นงานบูรณะที่ต่างกันออกไป^(16, 18) ในแง่ความหนาของวัสดุบูรณะเซรามิกล้วนนั้นมีการศึกษาพบว่าเมื่อวัสดุบูรณะมีความหนาน้อย 2 มิลลิเมตรขึ้นไปจะสามารถปิดสีเนื้อฟันภายใต้รวมไปถึงสามารถปิดสีโลหะได้อย่างมีประสิทธิภาพ^(16, 19, 20)

สำหรับในการศึกษาคุณสมบัติการปิดสีของวัสดุเซรามิกล้วนสำหรับการทำครอบฟันในรากเทียมนั้นยังมีการศึกษาที่ไม่หลากหลายและยังไม่มี ความชัดเจน วัสดุกลุ่มกลาสเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตเป็นวัสดุอีกกลุ่มที่มีความน่าสนใจในการนำมาทำครอบฟันสำหรับรากเทียมด้วยคุณสมบัติด้านความสวยงามสามารถลอกเลียนฟันธรรมชาติได้ดีและมีความแข็งแรงสามารถรองรับแรงบดเคี้ยวได้ อีกทั้งวัสดุกลุ่มนี้มีรูปแบบที่สามารถขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการทางแคดแคม ทำให้ลดกระบวนการการทำงานของทันตแพทย์ลง ชิ้นงานมีความแม่นยำ รวมไปถึงวัสดุกลุ่มนี้ยังมีการพัฒนาคุณสมบัติต่างๆอย่างต่อเนื่องดังเช่น เซรามิกกลุ่มแอควานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตซึ่งเป็นหนึ่งในกลุ่มกลาสเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตที่ได้รับการพัฒนาในด้านความแข็งแรง ความสวยงาม และการขึ้นรูปชิ้นงานที่รวดเร็วด้วยกระบวนการแคดแคม เหมาะสำหรับการนำมาทำชิ้นงานบูรณะในฟันธรรมชาติและครอบฟันสำหรับรากเทียม ประกอบกับยังไม่มีการศึกษาที่หลากหลายและชัดเจนเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุประเภทนี้

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้คือเพื่อศึกษาการปิดสีวัสดุสำหรับหลักยึดรากเทียม โดยใช้เซรามิกกลุ่มแอควานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตที่มีความหนาและความโปร่งแสงที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตโดยการวัดค่าความแตกต่างของสีของ

เซรามิกบนพื้นหลังที่จำลองมาจากวัสดุในการทำหลักยึดรากเทียมประเภทต่างๆ และวัดค่าความโปร่งแสงของเซรามิกที่ความหนาและความโปร่งแสงที่ต่างกัน

ความมุ่งหมายของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาถึงความสามารถในการปิดสีหลักยึดรากฟันเทียมประเภทต่างๆและค่าความโปร่งแสงของเซรามิกกลุ่มแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตที่ความโปร่งแสงและความหนาที่ต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต

ความสำคัญของงานวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ต้องการทดสอบถึงความสามารถในการปิดสีหลักยึดรากฟันเทียมประเภทต่างๆและค่าความโปร่งแสงของเซรามิกกลุ่มแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตที่ความโปร่งแสงและความหนาที่ต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต สำหรับการสร้างชิ้นงานบูรณะครอบฟันเซรามิกล้วนบนรากเทียม เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้เซรามิกสำหรับบูรณะครอบฟันบนรากเทียมได้อย่างเหมาะสม ชิ้นงานก่อให้เกิดความสวยงามและสามารถใช้งานได้ อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการโดยจำลองสถานการณ์การใช้แผ่นเซรามิกกลุ่มแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกต และเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตที่ความหนาและความโปร่งแสงที่ต่างกันมาทดสอบการปิดสีหลักยึดรากเทียมประเภทต่างๆ โดยวัดค่าความแตกต่างของสีบนพื้นหลังที่ทำมาจากวัสดุในการสร้างหลักยึดรากเทียมและวัดค่าความโปร่งแสงของเซรามิกกลุ่มแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตที่ความโปร่งแสงและความหนาที่ต่างกันเปรียบเทียบกับเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

- เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 (IPSTM e.max CAD HT shade A2 , Ivoclar Vivadent AG , Liechtenstein)
- เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 (IPSTM e.max CAD MT shade A2 , Ivoclar Vivadent AG , Liechtenstein)
- เซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 (CEREC TesseraTM HT shade A2, Dentsply Sirona , USA)

- เซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 (CEREC Tessera™ MT shade A2 , Dentsply Sirona , USA)

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

1. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงที่ความหนาต่างๆทั้งหมด 4 กลุ่ม ได้แก่
 - 1.1 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร
 - 1.2 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร
 - 1.3 ความหนา 2.0 มิลลิเมตร
 - 1.4 ความหนา 2.5 มิลลิเมตร
2. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางที่ความหนาต่างๆทั้งหมด 4 กลุ่ม ได้แก่
 - 2.1 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร
 - 2.2 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร
 - 2.3 ความหนา 2.0 มิลลิเมตร
 - 2.4 ความหนา 2.5 มิลลิเมตร
3. เซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงที่ความหนาต่างๆทั้งหมด 4 กลุ่ม ได้แก่
 - 3.1 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร
 - 3.2 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร
 - 3.3 ความหนา 2.0 มิลลิเมตร
 - 3.4 ความหนา 2.5 มิลลิเมตร
4. เซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางที่ความหนาต่างๆทั้งหมด 4 กลุ่ม ได้แก่
 - 4.1 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร
 - 4.2 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร
 - 4.3 ความหนา 2.0 มิลลิเมตร
 - 4.4 ความหนา 2.5 มิลลิเมตร
5. แบ่งกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มออกเป็น 4 กลุ่มย่อยตามแผ่นพื้นหลังที่เป็นตัวแทนของวัสดุในการทำหลักยึดรากเทียม ดังนี้

- 5.1 แผ่นพื้นหลังไทเทเนียม
- 5.2 แผ่นพื้นหลังไทเทเนียมชุบอินโดไซด์สีเหลือง
- 5.3 แผ่นพื้นหลังไทเทเนียมชุบอินโดไซด์ชมพู
- 5.4 แผ่นพื้นหลังเซอร์โคเนีย

ตัวแปรที่ศึกษา

- ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ชนิดของเซรามิก ความหนาของเซรามิกกลุ่มแอควานซีลิเทียม ไดซีลิเกตและเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซีลิเกต ความโปร่งแสงของเซรามิก กลุ่มแอควานซีลิเทียมไดซีลิเกตและเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซีลิเกต ชนิดของแผ่นพื้นหลัง
- ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าความโปร่งแสงของเซรามิกกลุ่มแอควานซีลิเทียมไดซีลิเกต และเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซีลิเกต ค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มแอควานซีลิเทียมไดซีลิเกตและเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซีลิเกต
- ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ขนาดของชิ้นงาน ความหนาของแผ่นพื้นหลัง สีของเซรามิก ตำแหน่งของหัววัดเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

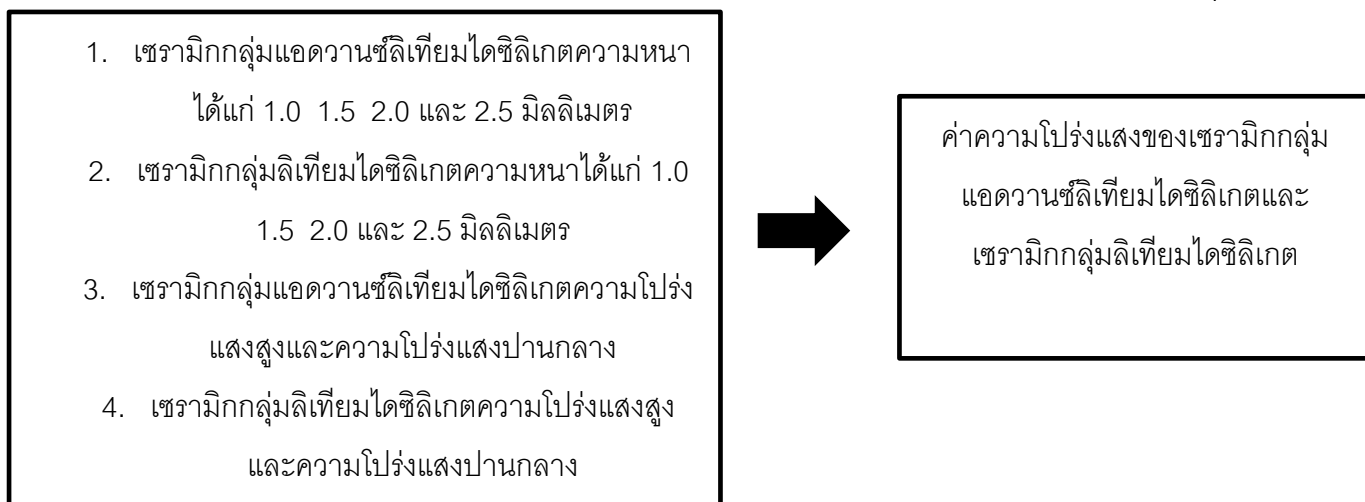
กรอบแนวคิดการวิจัย

1. เซรามิกกลุ่มแอควานซีลิเทียมไดซีลิเกตความหนา ได้แก่ 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร
2. เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซีลิเกตความหนา ได้แก่ 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร
3. เซรามิกกลุ่มแอควานซีลิเทียมไดซีลิเกตความโปร่งแสงสูงและความโปร่งแสงปานกลาง
4. เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซีลิเกตความโปร่งแสงสูงและความโปร่งแสงปานกลาง
5. พื้นหลัง ได้แก่ โลหะไทเทเนียม โลหะไทเทเนียมชุบอินโดไซด์ชมพูและสีเหลือง และเซอร์โคเนีย



- ค่าการเปลี่ยนสีของเซรามิกกลุ่มแอควานซีลิเทียมไดซีลิเกตและเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซีลิเกต

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดวิจัย 1



ภาพประกอบ 2 กรอบแนวคิดวิจัย 2

สมมติฐานในการวิจัย

1. **สมมติฐานหลัก** : ค่าความโปร่งแสงเซรามิกกลุ่มแอตวานซีลเทียมไดซลิเกตและเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซลิเกตไม่มีค่าแตกต่างกันที่ความหนาและความโปร่งแสงต่างๆ
สมมติฐานรอง : ค่าความโปร่งแสงเซรามิกกลุ่มแอตวานซีลเทียมไดซลิเกตและเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซลิเกตมีค่าแตกต่างกันที่ความหนาและความโปร่งแสงต่างๆ
2. **สมมติฐานหลัก** : ค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มแอตวานซีลเทียมไดซลิเกตและเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซลิเกตที่ความหนาและความโปร่งแสงต่างๆไม่แตกต่างกันบนพื้นหลังชนิดต่างๆ
สมมติฐานรอง : ค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มแอตวานซีลเทียมไดซลิเกตและเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซลิเกตที่ความหนาและความโปร่งแสงต่างๆแตกต่างกันบนพื้นหลังชนิดต่างๆ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เซรามิกในทางทันตกรรม

เดิมการบูรณะฟันในลักษณะของครอบฟันนั้นได้มีการใช้วัสดุประเภทโลหะ ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องความสวยงามของครอบฟันกลุ่มนี้จึงได้มีการพัฒนาและปรับปรุงวัสดุขึ้นเป็น ครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง (Porcelain fused to metal crown) โดยครอบฟันชนิดนี้จะใช้โลหะเป็นโครงและปิดทับด้วยเซรามิกเพื่อปิดสีของโลหะ⁽²¹⁾ ครอบฟันกลุ่มนี้มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี ทนทานต่อการใช้งานบดเคี้ยวภายในช่องปาก แต่ด้วยข้อจำกัดในด้านความสวยงามไม่สามารถลอกเลียนลักษณะความใสของฟันธรรมชาติและปัญหาเนื่องมาจากการติดสีของโลหะตามขอบเหงือกหลังการบูรณะ รวมไปถึงอาการไม่พึงประสงค์หลังการบูรณะด้วยวัสดุบูรณะที่มีส่วนประกอบของโลหะ จึงได้เกิดการพัฒนาวัสดุกลุ่มปราศจากโลหะขึ้นมาทดแทน วัสดุบูรณะครอบฟันเซรามิกล้วน (all ceramic crown) เป็นกลุ่มวัสดุที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนวัสดุกลุ่มครอบฟันโลหะ (metal crown) และวัสดุกลุ่มครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง (Porcelain fused to metal crown)^(21, 22)

เซรามิกมีสถานะเป็นของแข็งที่มีส่วนประกอบของสารอนินทรีย์ประกอบไปด้วยธาตุโลหะและอโลหะ เซรามิกมีคุณสมบัติเป็นวัสดุที่มีความแข็งแต่เปราะ ทนแรงกระแทกได้ต่ำ เป็นฉนวนความร้อนและฉนวนไฟฟ้าที่ดี มีจุดหลอมเหลวสูง และสามารถต้านทานการกัดกร่อนจากสารเคมีได้ดี^(23, 24)

วัสดุบูรณะเซรามิกล้วน (all-ceramic restoration) เข้ามามีบทบาททางทันตกรรมโดยในปี ค.ศ. 1965 McLean และ Hughes⁽²⁵⁾ ได้พัฒนาเซรามิกให้มีความแข็งแรงด้วยการใส่อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ลงในเซรามิกเฟลสปาทิก (feldspathic ceramic) แต่กระบวนการนี้กลับส่งผลให้เซรามิกที่พัฒนาขึ้นนั้นมีความขาวขุ่นทำให้ต้องใช้เซรามิกเฟลสปาทิกปิดทับอีกชั้นหนึ่ง จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1940⁽²⁵⁾ บริษัท Dentsply International ประเทศสหรัฐอเมริกาได้นำเสนอ Dicor[®] ซึ่งเป็นวัสดุกลาสเซรามิกชนิดหล่อ (castable) สามารถขึ้นรูปขึ้นงานบูรณะแบบโมโนลิทิกแต่ก็มีความยุ่งยากในการผลิตขึ้นงานทำให้ไม่ได้รับความนิยมเท่าไรนัก ต่อมาได้มีการพัฒนา กลาสเซรามิกชนิดอัดแรงดัน (pressable glass ceramic) ซึ่งได้แก่เซรามิกกลุ่มลิโวไซท์กลาส

เซรามิก (Leucite glass ceramic) และลิเทียมไดซิลิเกตกลาสเซรามิก (lithium disilicate glass ceramic) เซรามิกมีการพัฒนาปรับปรุงในด้านต่างๆเรื่อยมา จนกระทั่งในปีค.ศ. 2005⁽²⁶⁾ เซรามิกลิ้นไอพีเอสอีแมกซ์ (IPS™ e.max) ซึ่งเป็นเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตได้ถูกผลิตและนำออกสู่ท้องตลาด โดยเป็นเซรามิกที่มีคุณสมบัติมีความแข็งแรงสูงและให้ความสวยงามลอกเลียนแบบฟันธรรมชาติได้ดี ทำให้ได้รับความนิยมมาจนถึงปัจจุบัน นอกจากนี้วัสดุกลุ่มเซรามิกก็ยังได้มีการพัฒนาคุณสมบัติในด้านต่างๆเกิดเป็นเซรามิกชนิดใหม่เพิ่มขึ้นมากมายในท้องตลาด

วัสดุกลุ่มเซรามิกที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้มี 2 ชนิด ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 เซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต

เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate ; $2\text{SiO}_2 - \text{Li}_2\text{O}$) ได้ถูกนำมาใช้ในทางทันตกรรมครั้งแรกในปี ค.ศ. 1988⁽²⁶⁾ โดยใช้ทำเป็นวัสดุก่อกแกนฟัน (core material) ในชื่อทางการค้าว่าไอพีเอสเอ็มเพรสทู (IPS™ Empress II) โดยบริษัท Ivoclar Vivadent ซึ่งใช้วิธีการขึ้นรูปโดยการกดอัดเป็นการพัฒนาจากเซรามิกกลุ่มกลาสเซรามิกโดยการใส่ผลึกลิเทียมไดซิลิเกตเข้าไปในวัฏภาคแก้ว (glass matrix) ของเซรามิก ทำให้มีความแข็งแรงมากกว่ากลุ่มกลาสเซรามิกชนิดเสริมแรงด้วยลูไซต์ (Leucite – reinforce glass ceramic)⁽²⁶⁾

ต่อมาในปีค.ศ. 2005⁽²⁶⁾ ได้มีการพัฒนาเซรามิกไอพีเอสเอ็มเพรสทู (IPS™ Empress II) ให้มีความแข็งแรงและความใสมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะสามารถนำมาใช้ในการบูรณะครอบฟันได้ทั้งฟันหน้าและฟันหลัง ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่าเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรส (IPS™ e.max Press) ซึ่งมีวิธีการขึ้นรูปโดยใช้กระบวนการหลอมซีผึ้ง (Loss wax technique) ร่วมกับการขึ้นรูปโดยการกดอัด⁽²⁷⁾ และต่อมาทางบริษัทผู้ผลิตได้มีการพัฒนาเซรามิกชนิดนี้ขึ้นมาในปีค.ศ. 2006 เพื่อให้สามารถใช้ร่วมกับระบบแคดแคมในทางทันตกรรม (CAD-CAM system) โดยมีชื่อทางการค้าเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์แคด (IPS™ e.max CAD) ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งเซรามิก โดยแท่งเซรามิกนั้นมีชื่อเรียกว่าบลูสเตท (Blue state) ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นลิเทียมเมตาซิลิเกต (Lithium metasilicate ; Li_2SiO_3) ซึ่งมีลักษณะเปราะและมีความต้านทานการสึกต้ำ เมื่อนำไปผ่านการขึ้นรูปด้วยระบบแคดแคม และนำไปเผาด้วยความร้อนตามที่บริษัทกำหนด ผลึกจะถูกเปลี่ยนเป็นผลึกลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate ; $2\text{SiO}_2 - \text{Li}_2\text{O}$) ที่มีความแข็งแรงขึ้นกว่าเดิม⁽²⁶⁾ สามารถนำไปใช้ในการบูรณะฟันได้

โครงสร้างทางจุลภาค (Microstructure properties)

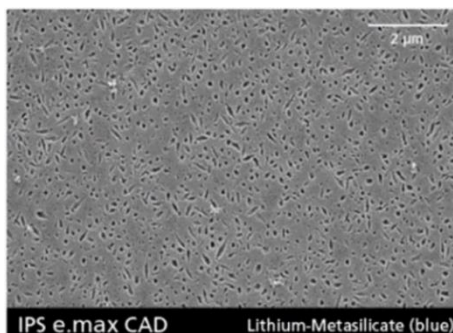
เซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์แคด (IPS™ e.max CAD) ถูกผลิตขึ้นในรูปแบบของ partially crystallized blocks ซึ่งมีรูปร่างผลึกลิเทียมเมตาซิลิเกต (Lithium metasilicate ; Li_2SiO_3) รูปทรงเม็ดเลือด (platelet shaped) ขนาด 0.2 – 1 ไมโครเมตร ฝังอยู่ในวัฏภาคแก้ว (glass matrix) ร่วมอยู่กับผลึกลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate ; $2\text{SiO}_2 - \text{Li}_2\text{O}$) เรียกว่าบลูสเตรท (blue state) โดยสภาวะนี้จะทำให้เซรามิกชนิดนี้สามารถกลึงขึ้นรูปได้ง่าย⁽²⁷⁾

หลังจากการผ่านกระบวนการกลึงเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์แคด (IPS™ e.max CAD) จะถูกนำไปผ่านการให้อุณหภูมิ 770 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเพิ่มเป็น 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 - 25 นาที ในระหว่างการให้ความร้อนผลึกลิเทียมเมตาซิลิเกต (Lithium metasilicate ; Li_2SiO_3) จะถูกละลาย และผลึกลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate ; $2\text{SiO}_2 - \text{Li}_2\text{O}$) จะเกิดการตกผลึก บล๊อคสีฟ้าจะถูกเปลี่ยนเป็นเฉดสีและความโปร่งแสงที่เราเลือกไว้ เซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์แคด (IPS™ e.max CAD) จะเกิดการตกผลึกอย่างสมบูรณ์แบบ และประกอบไปด้วยผลึกลิเทียมไดซิลิเกตเป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ 70 ขนาดยาว 0.5 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 ไมโครเมตร ฝังอยู่ในวัฏภาคแก้ว (glass matrix)^(26, 28)



ภาพประกอบ 3 แสดง partially crystallized blocks ของเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์แคด (IPS™ e.max CAD)

ที่มา : Ivoclar Vivadent , Scientific documentation IPS™ e.max CAD⁽²⁶⁾



ภาพประกอบ 4 แสดงผลึก partially crystallized blocks ของ IPS™ e.max CAD

ที่มา : Ivoclar Vivadent , Scientific documentation IPS™ e.max CAD⁽²⁶⁾

คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

เซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์แคด (IPS™ e.max CAD) เมื่ออยู่ในรูปของบลูสเตท (blue state) ซึ่งยังเกิดการตกผลึกที่ไม่สมบูรณ์นั้นจะมีความแข็งแรงต่ำ โดยมีค่ากำลังแรงดัดขวางอยู่ที่ 130 เมกะปาสคาล หลังจากการตกผลึกอย่างสมบูรณ์แบบภายใต้การให้ความร้อนตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ จะทำให้มีค่ากำลังแรงดัดขวางเพิ่มขึ้นถึง 530 เมกะปาสคาล⁽²⁶⁾

1.2 เซรามิกแอตวานซิลิเทียมไดซิลิเกต

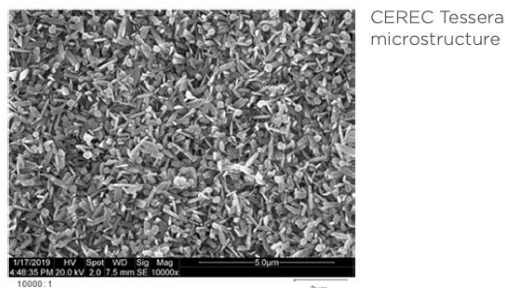
เนื่องจากเทคโนโลยีดิจิทัลทางทันตกรรมมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง หนึ่งในนั้นคือระบบแคดแคมในทางทันตกรรม รวมไปถึงความนิยมในการใช้งานระบบแคดแคมก็มีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุผลเหล่านี้ได้มีการพัฒนาวัสดุกลุ่มใหม่ขึ้นเพื่อรองรับกับการใช้งานของระบบแคดแคม

เซรามิกแอตวานซิลิเทียมไดซิลิเกต หรือชื่อทางการค้า เซเรค เทสเซอร์ (CEREC Tessera™) เป็นหนึ่งในเซรามิกกลุ่มกลาสซิลิเทียมไดซิลิเกต^(29, 30) ที่ได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Dentsply Sirona เป็นเซรามิกที่ใช้สำหรับการบูรณะฟันภายในหนึ่งครั้งและผู้ป่วยมาเข้ารับบริการทางทันตกรรมโดยให้คุณสมบัติทั้งในด้านความสวยงาม ความแข็งแรง และความรวดเร็วในการขึ้นรูป⁽⁴⁾

โครงสร้างทางจุลภาค (microstructure properties)

เซรามิกแอตวานซิลิเทียมไดซิลิเกต ประกอบด้วยผลึกที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ ผลึกลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate : $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$) และผลึกเวอร์จิลไลท์ (virgillite: $\text{Li}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{Si}_{2.5}\text{O}_6$) ซึ่งเป็นผลึกลิเทียมอะลูมิเนียมซิลิเกต ซึ่งเมื่อเกิดการเผาเพื่อสร้างผลึกที่สมบูรณ์ ผลึกชนิดนี้จะ

เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับอนุภาคนาโน โดยผลึกทั้งสองชนิดนี้จะมีรูปร่างคล้ายเข็ม (needle-like shape) ขนาด 50 ไมโครเมตร ฝังอยู่ในวัฏภาคแก้วซึ่งมีเซอร์โคเนียเสริมความแข็งแรงอยู่⁽⁴⁾



ภาพประกอบ 5 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของเซเรค เทสเซรา (CEREC Tessaera™)

ที่มา: Dentsply Sirona, White paper CEREC Tessaera™ Advanced lithium disilicate

คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

ด้วยองค์ประกอบผลึกของเซเรค เทสเซรา (CEREC Tessaera™) สามารถให้ค่าความแข็งแรงที่ทดสอบภายในห้องปฏิบัติการได้สูง โดยทำการทดสอบค่ากำลังดัดขวางของวัสดุพบว่าสามารถให้ค่าสูงถึง 700 เมกะปาสคาล นอกจากนี้เซเรค เทสเซรา (CEREC Tessaera™) ยังให้คุณสมบัติการหักเหของแสงที่ส่องผ่านเข้ามาได้ดี ทำให้มีความสวยงามใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ⁽⁴⁾



ภาพประกอบ 6 แสดงภาพบล็อกของเซเรค เทสเซรา (CEREC Tessaera™)

ที่มา: Dentsply Sirona, White paper CEREC Tessaera™ Advanced lithium disilicate⁽⁴⁾

2. ระบบแคดแคมในงานทันตกรรม

ระบบแคดแคม (CAD-CAM system) เป็นการนำเครื่องมือและระบบทางคอมพิวเตอร์มาช่วยในการสร้างงานในการบูรณะฟัน ซึ่งประกอบไปด้วย การนำเข้าข้อมูลโดยเครื่องสแกน การใช้ระบบคอมพิวเตอร์ในการออกแบบชิ้นงาน ผลิตชิ้นงาน จนได้ชิ้นงานที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วยขึ้นมา⁽¹⁾

แคด (CAD - computer-aided design) เป็นการบันทึกข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องสแกนไม่ว่าจะเป็นการสแกนจากภายในช่องปากของผู้ป่วย หรือจากแบบจำลองที่ได้จากการพิมพ์ปากของผู้ป่วย จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการออกแบบชิ้นงาน ส่วนแคม (CAM-computer-aided manufacturing) เป็นการสร้างชิ้นงานโดยการกลึงวัสดุออกมาเป็นชิ้นงาน⁽³¹⁾

ประวัติระบบแคดแคมในทางทันตกรรม

ระบบแคดแคมถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกในช่วงปี ค.ศ. 1950 -1959⁽³²⁾ โดย กองทัพอากาศของสหรัฐอเมริกา ต่อมาในปี ค.ศ. 1957⁽³²⁾ ได้มีการพัฒนาระบบแคดแคมมาใช้ในทางการค้า โดย Dr.Hanratty ต่อมาเมื่อได้รับความนิยมมากขึ้น จึงได้มีการพัฒนาต่ออย่างจริงจังโดย Dr.Mormann ได้พัฒนาระบบ CEREC ซึ่งเป็นระบบผลิตชิ้นงานข้างแกือ และต่อมาได้มีการพัฒนาระบบ Procera ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ในห้องปฏิบัติการและได้มีการผลิตระบบแคดแคมแบบต่างๆออกมามากมาย ไม่ว่าจะเป็น cercon , everest , lava เป็นต้น รวมทั้งได้มีการพัฒนานำระบบแคดแคมมาใช้ในการสร้างชิ้นงานบูรณะต่างๆ ซึ่งได้รับความนิยม จนมีการใช้กันอย่างกว้างขวางจนมาถึงปัจจุบัน⁽³²⁾

ส่วนประกอบของระบบงานแคดแคม

ระบบแคดแคมเข้ามามีบทบาทช่วยในการอำนวยความสะดวกในงานทันตกรรมสำหรับงานหลากหลายรูปแบบ⁽³¹⁾ ไม่ว่าจะเป็น งานครอบฟันและสะพานฟัน (crown and bridge) งานอุดฟัน (inlay) งานอุดครอบ (onlay) วีเนียร์ (veneer) หรือในงานรากเทียม (dental implant) เป็นต้น เนื่องด้วยกระบวนการสร้างชิ้นงานสำหรับบูรณะฟันแบบดั้งเดิมต้องอาศัยการสร้างแบบจำลองฟันจากการพิมพ์ปากและเทปูนสำหรับจำลองรูปร่างฟันขึ้นมาทั้งนี้อาจก่อให้เกิดความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองได้ การนำระบบแคดแคมมาช่วยในการสร้างชิ้นงานสำหรับบูรณะฟันจึงเป็นการช่วยลดขั้นตอนและลดข้อผิดพลาดจากการสร้างชิ้นงานบูรณะแบบดั้งเดิม โดยส่วนประกอบของระบบแคดแคม ประกอบไปด้วย 1) เครื่องสแกน 2) ชุดออกแบบคำสั่ง 3) เครื่องมือการผลิตชิ้นงาน⁽³¹⁾

1. เครื่องสแกน⁽²⁾

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลของสภาพภายในช่องปากซึ่งมีลักษณะเป็น 3 มิติ แล้วนำมาแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัล

2. ชุดคำสั่งออกแบบ

เป็นส่วนที่สามารถออกแบบชิ้นงานบูรณะได้อย่างอัตโนมัติ โดยทันตแพทย์เป็นผู้นำข้อมูลดิจิทัลจากเครื่องสแกน และใช้ชุดคำสั่งในการออกแบบชิ้นงาน เช่น การออกแบบจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของชิ้นงาน การออกแบบแนวการถอดใส่ชิ้นงาน การออกแบบรูปร่างของครอบฟันหรือสะพานฟัน หรือเพื่อออกแบบลักษณะการสบฟันในรูปแบบความสัมพันธ์ต่างๆ เพื่อให้ชิ้นงานมีความสอดคล้องกับความสัมพันธ์ภายในช่องปาก^(31, 32)

3. เครื่องมือการผลิต⁽³¹⁾

เป็นการนำข้อมูลจากชุดคำสั่งออกแบบมาผลิตเป็นชิ้นงานในการบูรณะฟันขึ้นมา โดยสามารถแบ่งประเภทได้ 3 ชนิด ได้แก่

3.1 เครื่องกลึงแบบ 3 แกน เป็นเครื่องมือที่มีการเคลื่อนไหวใน 3 แกน คือ แนวตั้ง แนวนอน และแนวลึก โดยเครื่องกลึงชนิดนี้มีข้อดีคือ ราคาถูก ใช้เวลาการกลึงน้อย และสามารถควบคุมการกลึงได้ง่าย

3.2 เครื่องกลึงแบบ 4 แกน มีการเพิ่มแนวการกลึงขึ้นมาอีก 1 แนว ทำให้สามารถปรับความสูงของแนวแกนตั้งได้

3.3 เครื่องกลึงแบบ 5 แกน มีการเพิ่มแนวการกลึงขึ้นมาจากเครื่องกลึงแบบ 4 แกนอีก 1 แกน ทำให้สามารถออกแบบชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้มากขึ้น

ประเภทของระบบแคดแคมที่ใช้ในงานทันตกรรม⁽³³⁾

1. ระบบการผลิตชิ้นงานข้างแก้าอี้

สามารถผลิตชิ้นงานบูรณะได้โดยไม่ต้องนำชิ้นงานเข้าห้องปฏิบัติการ สามารถทำได้โดยการใช้เครื่องสแกนลอกเลียนรายละเอียดในช่องปาก และนำข้อมูลส่งเข้าระบบคอมพิวเตอร์เพื่อทำการออกแบบและผลิตชิ้นงาน โดยผู้ป่วยสามารถมารับการรักษาและได้รับชิ้นงานบูรณะภายในครั้งเดียว ระบบการผลิตชิ้นงานข้างแก้าอี้

2. ระบบผลิตชิ้นงานในห้องปฏิบัติการ

ระบบนี้ทันตแพทย์จะเป็นผู้ใช้เครื่องสแกนลอกเลียนรายละเอียดภายในช่องปาก และนำข้อมูลส่งเพื่อออกแบบและผลิตชิ้นงานภายในห้องปฏิบัติการ หรือจะเป็นการพิมพ์ปากและเทปูนสร้างแบบจำลองช่องปากตามวิธีการแบบดั้งเดิมและนำแบบจำลองส่งไปยังห้องปฏิบัติการเพื่อใช้เครื่องสแกนลอกเลียนรายละเอียด จากนั้นนำข้อมูลไปออกแบบและผลิตชิ้นงานในห้องปฏิบัติการ

3. รากเทียมในทางทันตกรรม

3.1 ประวัติความเป็นมาของรากเทียมในทางทันตกรรม

ในปี ค.ศ. 1952 Dr. Per-Ingvar Branemark ศัลยแพทย์ด้านกระดูกค้นพบการเชื่อมประสานกันระหว่างกระดูกและวัสดุโลหะไทเทเนียม (osseointegration) จากการทดลองฝังท่อจากไทเทเนียมลงไปกระดูกขาของกระต่าย เพื่อดูความสัมพันธ์ของเม็ดเลือดและการไหลเวียนของเลือดจากไขกระดูกไปยังกระดูก ข้อต่อ และเนื้อเยื่อโดยรอบ และเป็นการศึกษาถึงการซ่อมแซมของกระดูกภายหลังจากการได้รับบาดเจ็บ หลังการทดลองมีการพยายามนำท่อไทเทเนียมออกจากกระดูก แต่พบว่าไม่สามารถทำได้เนื่องจากเกิดการเชื่อมประสานกันระหว่างกระดูกและโลหะไทเทเนียม⁽³⁴⁾

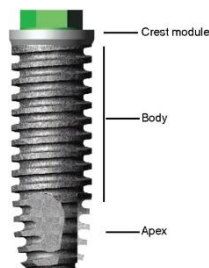
3.2. ความหมายของรากเทียมในทางทันตกรรม

รากเทียมเป็นการรักษาเพื่อทดแทนฟันที่สูญเสียไป เป็นการนำวัสดุที่ไม่เกิดปฏิกิริยาต่อร่างกายมนุษย์มาฝังไปยังกระดูกขากรรไกร ก่อให้เกิดการเชื่อมกันของฟันผิวรากเทียมกับกระดูก⁽³⁵⁾ วัสดุที่ใช้ในการทำรากเทียมต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสม สามารถกระจายแรงได้ดี ทนต่อแรงดึง (tensile strength) และแรงอัด (compressive strength) มีความแข็งแรงทนต่อแรงเค้นได้ดี (toughness) เพื่อป้องกันการแตกหัก สามารถเป็นส่วนรองรับชิ้นงานทางทันตกรรมประดิษฐ์ และมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) กับเนื้อเยื่อภายในร่างกายมนุษย์⁽³⁶⁾ โดยในปัจจุบันวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการทำรากเทียมคือวัสดุกลุ่มโลหะไทเทเนียม แต่วัสดุกลุ่มนี้มีปัญหาในเรื่องของความสวยงามเนื่องจากอาจมีสีของโลหะโผล่ในกรณีที่ผู้ป่วยมีเนื้อเยื่อเหงือกที่บาง⁽⁸⁾ ส่งผลให้มีการพัฒนารากเทียมที่ทำมาจากเซรามิกที่มีความแข็งแรง เช่น เซอร์โคเนีย ซึ่งมีสีเหมือนฟันธรรมชาติและมีคุณสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับโลหะไทเทเนียม แต่พบว่ารากเทียมประเภทนี้มีข้อจำกัดคือการเตรียมฟันผิวของเซอร์โคเนียนั้นทำได้ยาก อาจส่งผลต่อการยึดติดของรากเทียมกับกระดูก ส่งผลให้ในปัจจุบันรากเทียมในกลุ่มนี้นั้นไม่ได้ถูกนำมาใช้ในทางคลินิก⁽³⁷⁾

3.3 ส่วนประกอบของรากเทียม

3.3.1 รากเทียมส่วนฝัง (implant substructure)⁽¹⁰⁾ แรกเริ่มนั้นรากเทียมที่ถูกฝังลงในกระดูกจะมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกตรง ส่วนของฟันผิวมีลักษณะถูกดัดเป็นเกลียวสำหรับขันยึดรากเทียมเข้าไปในกระดูก⁽¹⁰⁾ ในปัจจุบันมีการเรียกรากเทียมส่วนฝังว่าส่วนฟิกซ์เจอร์ (fixture) โดยมีลักษณะต่างๆมากมาย ซึ่งมักมีรูปทรงกระบอกหรือทรงสอบ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ส่วนปลาย (apex) ส่วนลำตัว (body) และส่วนยอด (crest module)

ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้อาจมีรูปร่าง พื้นผิว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว ลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างหลักยึดรากเทียม (implant abutment) กับฟิกส์เจอร์ที่แตกต่างกันออกไป⁽³⁸⁾



ภาพประกอบ 7 แสดงส่วนประกอบของรากเทียมส่วนฝัง

ที่มา : Misch , C.E. 2005. Dental implant prosthetics. St.louis: Mosby; p26-34⁽³⁸⁾

3.3.2 หลักยึดรากเทียม (implant abutment)⁽¹⁰⁾ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รองรับชิ้นงานทางทันตกรรมประดิษฐ์ (implant prosthesis) โดยเป็นส่วนที่ติดกับส่วนยอดของฟิกส์เจอร์ผ่านส่วนเหงือกโผล่ขึ้นมาในช่องปาก ซึ่งการเชื่อมต่อนั้นจะต้องสัมพันธ์กับลักษณะของรากเทียมที่เราเลือกใช้ หลักยึดรากเทียมจะยึดกับส่วนฟิกส์เจอร์ด้วยสกรู⁽¹⁰⁾ ปัจจุบันนั้นมีการพัฒนารากเทียมจากบริษัทผู้ผลิตมากมาย ทำให้เกิดการพัฒนาและออกแบบหลักยึดรากเทียมในลักษณะต่างๆ โดยหากแบ่งตามลักษณะการผลิตสามารถแบ่งได้เป็น หลักยึดรากเทียมสำเร็จรูป (stock abutment) ที่มีรูปร่างเป็นมาตรฐานและมีขนาดต่างๆให้ทันตแพทย์ที่ผู้เลือกให้เหมาะสมกับผู้ป่วย⁽³⁹⁾ และหลักยึดรากเทียมเฉพาะบุคคล (customized abutment) เป็นหลักยึดรากเทียมที่สามารถขึ้นรูปให้เหมาะสมกับผู้ป่วยจำเพาะกับบุคคลนั้นๆด้วยวิธีการหล่อโลหะ (casting) หรือการใช้ระบบแคดแคมใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบและกลึงชิ้นงาน⁽³⁹⁾ หลักยึดรากเทียมสามารถทำมาจากวัสดุได้มากมายหลายประเภท โดยสามารถแบ่งประเภทตามชนิดของวัสดุได้ดังต่อไปนี้

3.3.2.1 วัสดุโลหะไทเทเนียม เป็นวัสดุพื้นฐานที่นิยมนำมาผลิตเป็นหลักยึดรากเทียม เป็นวัสดุที่ให้ความแข็งแรง มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) กับเนื้อเยื่อโดยรอบ ทนต่อความล้า (fatigue resistance) มีความยืดหยุ่นสูง (elastic limit) และมีค่ามอดุลัสของยังต่ำ (low elastic modulus) แต่มีข้อจำกัดเนื่องจากเป็นวัสดุสีเทา ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณรอบรากเทียมมีการติดสี เหงือกมีสีคล้ำลง⁽⁴⁰⁾ ทำให้มีการคิดค้นวิธีการแก้ปัญหาสีเทาของโลหะ

ไทเทเนียม โดยเป็นการนำโลหะไทเทเนียมไปผ่านกระบวนการชุบอินโดซ์ เป็นกระบวนการที่อาศัยการเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเพื่อให้สีของวัสดุเปลี่ยนจากสีเทาเป็นสีชมพูหรือสีเหลือง⁽¹¹⁾

3.3.2.2 วัสดุเซอร์โคเนีย เป็นวัสดุกลุ่มเซรามิกที่มีความแข็งแรง มีสีขาวทึบ วัสดุชนิดนี้ไม่ทำให้น้ำเยื่อรอบรากเทียมติดสีเทา และมีความเข้ากันทางชีวภาพกับเนื้อเยื่อโดยรอบ⁽⁴⁰⁾ และมีรายงานถึงการยึดติดของคราบจุลินทรีย์ต่ำ⁽⁴¹⁾ เซอร์โคเนียทำให้สีของเหงือกมีความสวยงามขึ้น โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่มีเหงือกบาง ความหนาของเหงือกน้อยกว่า 2 มิลลิเมตรและในบริเวณที่ต้องการความสวยงาม⁽⁴²⁾ นอกจากนี้หลักยึดรากเทียมที่ทำมาจากเซอร์โคเนียถูกแนะนำให้ใช้ในผู้ป่วยที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดการร่นของเหงือก หรือในกรณีที่ครอบฟันบูรณะรากเทียมมีค่าความสว่างสูง⁽³⁷⁾

3.3.2.3 หลักยึดรากเทียมชนิดไทเทเนียมเบส (titanium-base) เนื่องจากหลักยึดรากเทียมจากเซอร์โคเนียทั้งชิ้นพบว่ามีอาการรอยแตกหักบริเวณรอยต่อระหว่างหลักยึดรากเทียมและรากเทียมส่วนฝัง หลักยึดรากเทียมชนิดไทเทเนียมเบสจึงเป็นการเปลี่ยนรอยต่อจากเดิมที่เป็นเซอร์โคเนียกับไทเทเนียมเป็นไทเทเนียมกับไทเทเนียม หลักยึดรากเทียมชนิดนี้ให้ข้อดีทั้งในแง่ความแข็งแรงและความสวยงาม แต่ข้อจำกัดที่เกิดขึ้นคือปัญหาในการยึดซีเมนต์ (cement) ระหว่างเซอร์โคเนียและไทเทเนียม⁽⁴⁰⁾

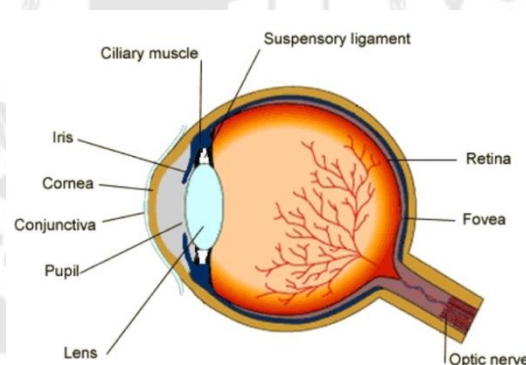
3.3.2.4 วัสดุโลหะทองผสม (gold alloy) หลักยึดรากเทียมประเภทนี้จะอาศัยกระบวนการหลอมขี้ผึ้ง (lost wax technique) ในการขึ้นรูปเป็นโครงโลหะที่รองรับพอร์ซเลน (porcelain) หลักยึดรากเทียมประเภทนี้ให้ความสวยงามและความแข็งแรง⁽⁴⁰⁾ รวมไปถึงสามารถลอกเลียนลักษณะขอบเหงือกได้ตามที่ต้องการ แต่ข้อจำกัดของวัสดุประเภทนี้คือต้องอาศัยความสามารถและความชำนาญของช่างทันตกรรมในการขึ้นรูปโลหะและพอร์ซเลน นอกจากนี้โลหะประเภทนี้มีค่าใช้จ่ายที่สูง จากการศึกษาทดลองในมนุษย์จากการนำหลักยึดรากเทียมจากวัสดุต่างๆใส่ลงในรากเทียมแล้วติดตามการหายของแผล⁽⁴³⁾ และศึกษาการยึดเกาะของเนื้อเยื่อเหงือกรอบๆหลักยึดรากเทียมก่อนการบูรณะถาวร⁽⁴⁴⁾ พบว่า หลักยึดรากเทียมที่ทำมาจากโลหะทองผสมจะมีการยึดเกาะกับเนื้อเยื่อเหงือกไม่แนบสนิทเมื่อเทียบกับหลักยึดรากเทียมประเภทอื่นๆ⁽⁴⁴⁾ และเมื่อศึกษาถึงเซลล์อักเสบ (inflammatory cells) พบว่าหลักยึดรากเทียมจากโลหะทองผสมพบปริมาณของเซลล์อักเสบมากที่สุดเมื่อเทียบกับหลักยึดรากเทียมประเภทอื่นๆ⁽⁴³⁾

3.3.3 ชิ้นงานทันตกรรมประดิษฐ์ เป็นส่วนที่ใช้ในการบดเคี้ยวใช้งานในช่องปาก สามารถเป็นได้ทั้งชิ้นงานบูรณะครอบฟันซี่เดียว (single crown) สะพานฟัน (bridge) หรือฟันปลอม (dentures)⁽⁹⁾ ซึ่งในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะมุ่งเน้นการศึกษาถึงชิ้นงานบูรณะครอบฟันซี่

เดียว ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการทำชิ้นงานบูรณะครอบฟันสำหรับรากเทียมนั้นสามารถใช้วัสดุประเภทเดียวกับครอบฟันในฟันธรรมชาติ⁽⁴⁵⁾ ในบริเวณที่ต้องการความสวยงามนิยมเลือกใช้วัสดุกลุ่มเซรามิกล้วน โดยมักนิยมใช้เซรามิกประเภทเซอริโคเนีย และเซรามิกกลุ่มกลาสเซรามิก แต่เนื่องจากลักษณะของเซรามิกเซอริโคเนียที่มีความทึบแสง⁽³⁷⁾ แสงส่องผ่านได้น้อยทำให้สามารถลอกเลียนลักษณะของฟันธรรมชาติได้ยาก จึงมีการนำเซรามิกกลุ่มกลาสเซรามิกมาใช้ในบริเวณที่ต้องการความสวยงามเป็นพิเศษ เช่น ในบริเวณฟันหน้า⁽⁴⁵⁾

4. แสงและสีในทางทันตกรรม

การมองเห็นสีของตามนุษย์เริ่มขึ้นจากแสงที่สะท้อนมาจากวัตถุกระทบเข้าเลนส์ตาแล้วถูกส่งผ่านเรตินา (retina) ไปทำการแปลผลแสงที่เข้ามาเป็นกระแสประสาทส่งผ่านไปยังสมองส่วนซีรีบรัลคอร์เท็กซ์ (cerebral cortex) ภายในเรตินาประกอบไปด้วยเซลล์รูปแท่ง (rod cells) และเซลล์รูปแท่งโคน (cone cells) เซลล์รูปแท่งโคนทำหน้าที่เกี่ยวกับการมองเห็นสี และเซลล์รูปแท่งจะทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับภาพ⁽⁴⁶⁾



ภาพประกอบ 8 แสดงภาพส่วนประกอบของตามนุษย์

ที่มา : K Chandrasekharan Nair., et al. "Basics of Colour Science and Prosthodontics - A Review". Acta Scientific Dental Sciences 5.11 (2021): 91-97.⁽⁴⁶⁾

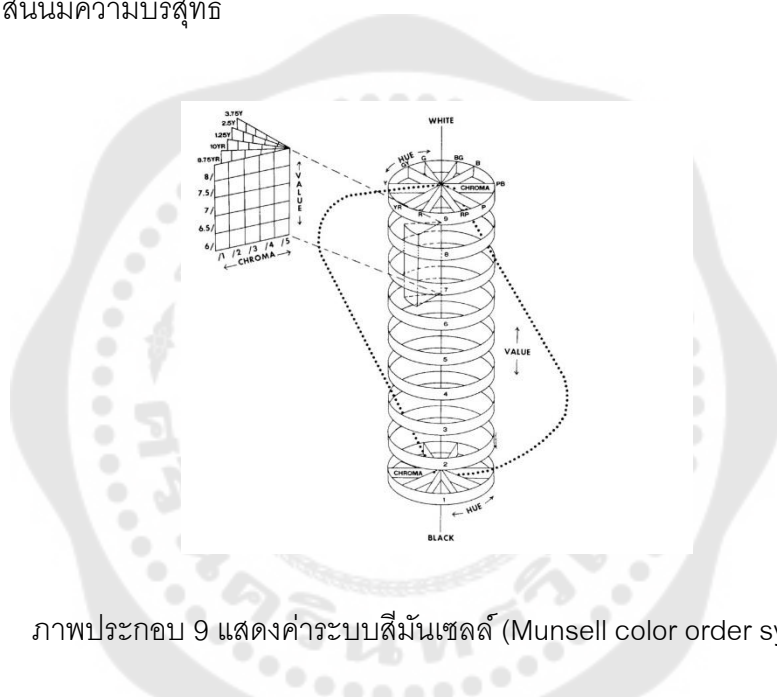
4.1 ระบบค่าสี

4.1.1. ระบบค่าสีมันเชลล์ (Munsell color order system)⁽⁴⁷⁾ เป็นระบบค่าสีที่นิยมนำมาใช้ในทางทันตกรรมระบบหนึ่ง ถูกนำมาใช้ในการวัดค่าสีโดยผ่านทางค่าสีของวัตถุของแบบจำลอง 3 มิติ โดยผ่านค่าตัวแปร 3 ค่า ได้แก่

4.1.1.1 ฮิว (Hue) เป็นคำที่ใช้เรียกชื่อสีที่แตกต่างกันออกไป เช่น สีเขียว สีแดง สีเหลือง เป็นต้น เป็นค่าสีที่มีสมบัติเฉพาะตัวของสีนั้นๆ เป็นการแบ่งสีอย่างกว้างๆ โดยเป็นค่าที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นของแสงโดยตรง

4.1.1.2 แวลู (Value) เป็นค่าความสว่าง (brightness) ของสีนั้นๆ มีทั้งหมด 11 ค่า ไล่ตั้งแต่ 0 คืออ่อนสุด ไปจนถึงมืดสุดคือ 10

4.1.1.3 โครมา (Chroma) เป็นค่าแสดงปริมาณของฮิว เป็นการบอกถึงความบริสุทธิ์ของสีนั้นๆ ว่ามีการเจือปนของสีเทาหรือไม่ หากไม่มีการเจือปนของสีเทาเข้ามาเลยจะบ่งบอกได้ว่าสีนั้นมีความบริสุทธิ์



ภาพประกอบ 9 แสดงค่าระบบสีมันเซลล์ (Munsell color order system)

ที่มา : Sproull RC. Color matching in dentistry. I. The three-dimensional nature of color. J Prosthet Dent. 1973 Apr;29(4):416-24. ⁽⁴⁷⁾

4.1.2 ระบบสีอาร์บีจี (RGB color system)⁽⁴⁸⁾ เป็นระบบค่าสีแรกเริ่มถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ.1860 ประกอบด้วยสีพื้นฐาน 3 สี คือ สีแดง สีฟ้า และสีเขียว โดยสีอื่นๆเกิดจากการรวมตัวของสีหลักพื้นฐาน 3 สี ระบบสีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากทฤษฎีในการสร้างสี ระบบสีอาร์บีจีถูกใช้ในเครื่องมือต่างๆ เช่น จอคอมพิวเตอร์ จอโทรทัศน์ เป็นต้น

4.1.3 ระบบค่าสีเอ็กซ์วายซี (CIE XYZ color system)⁽⁴⁸⁾ เป็นระบบค่าสีที่ถูกกำหนดขึ้นโดย International Commission on Illumination ในปี ค.ศ.1931 เป็นระบบที่อธิบายลักษณะของ

สีผ่านตัวแปร 3 ตัวแปร จากนั้นนำตัวแปรทั้งสามค่ามาทำการสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ เป็นระบบค่าสีแรกเริ่มที่นำไปสู่การพัฒนาาระบบค่าสีอื่นๆ

4.1.4 ระบบค่าสีซีแอลบี (CIELAB color system)^(48, 49) เป็นระบบค่าสีที่ถูกกำหนดขึ้นในปี ค.ศ.1976 เป็นการกำหนดปริภูมิสี ประกอบด้วยแกน 3 ได้แก่ แกน L , a , b โดย

แกน L มีค่าระดับของสีเทาที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดยที่ 0 คือสีดำ 100 คือสีขาว

แกน a เป็นแกนบ่งบอกถึงระดับของสีแดงและเขียว โดยค่าบวกในแนวแกนบวกแสดงถึงค่าสีแดง ยิ่งมีค่าบวกมากจะยิ่งมีความเป็นสีแดง และค่าลบในแนวแกนลบแสดงถึงค่าสีเขียว ซึ่งยังมีค่าลบมากก็จะมีความเป็นสีเขียว

แกน b เป็นแกนบ่งบอกถึงระดับสีของสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยโดยค่าบวกในแนวแกนบวกแสดงถึงค่าสีเหลือง ยิ่งมีค่าบวกมากจะยิ่งมีความเป็นสีเหลือง และค่าลบในแนวแกนลบแสดงถึงค่าสีน้ำเงิน ซึ่งยังมีค่าลบมากก็จะมีความเป็นสีน้ำเงิน

ซึ่งค่าในแนวแกน L , a , b นำมาคำนวณ ΔE_{ab} เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแตกต่างของสีระหว่างวัตถุสองวัตถุ หรือ บริเวณที่ต่างกันในตัวเดียวกันซึ่งเป็นการบอกขนาดของความแตกต่างของสีแต่ไม่สามารถบอกได้ว่าแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

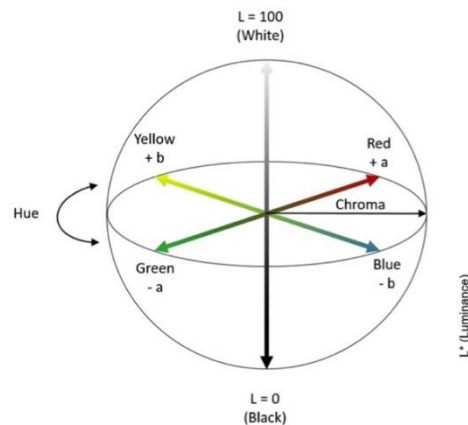
$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

โดย ΔE_{ab} หมายถึงค่าความแตกต่างของสีในระบบค่าสีซีแอลบี

ΔL หมายถึงค่าความแตกต่างของสีในแนวแกน L

Δa หมายถึงค่าความแตกต่างของสีในแนวแกน a

Δb หมายถึงค่าความแตกต่างของสีในแนวแกน b



ภาพประกอบ 10 แสดงถึงแกนระบบค่าสีซีแล็บ (CIELAB color system)

ที่มา : Vadher R, Parma G, Kanodia S, Chaudhary A, Kaur M, Savadhahariya T.

(49): A Review. Journal of Dental and Medical Sciences. 2014;13(9):78 -85⁽⁴⁹⁾

4.1.5 ค่าความแตกต่างของสีจากระบบสีซีดีอี (CIEDE 2000 color different ; ΔE_{00})⁽⁴⁸⁾ เป็นระบบค่าสีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากค่าความแตกต่างของสีจากระบบสีซีแล็บ โดยถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 2001 ซึ่งมีความซับซ้อนกว่าค่าความแตกต่างของสีจากระบบสีซีแล็บ ซึ่งมีการดังนี้

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2}$$

ซึ่ง ΔE_{00} หมายถึงค่าความแตกต่างของสีในระบบสีดีอี 2000

$\Delta L'$ หมายถึงค่าความแตกต่างของความส่องสว่าง (luminosity)

$\Delta C'$ หมายถึงค่าความแตกต่างของโครมา (chroma)

$\Delta H'$ หมายถึงค่าความแตกต่างของฮิว (hue)

S_L หมายถึงค่าน้ำหนักของความส่องสว่าง

S_C หมายถึงค่าน้ำหนักของโครมา

S_H หมายถึงค่าน้ำหนักของฮิว

K_L หมายถึงค่าปัจจัยพารามิเตอร์ของความส่องสว่าง

K_C หมายถึงค่าปัจจัยพารามิเตอร์ของโครมา

K_H หมายถึงค่าปัจจัยพารามิเตอร์ของฮิว

R_T หมายถึงค่าความสัมพันธ์ของโครมาและฮิวในสีฟ้า

ซึ่งค่าความแตกต่างของสีในระบบซีดีอี 2000 นี้มีความใหม่กว่าค่าความแตกต่างของสีในระบบค่าสีซีแอลบี จากการศึกษาศึกษา⁽⁵⁰⁾ พบว่าค่าความแตกต่างของสีทั้งสองระบบสามารถบอกได้ถึงความแตกต่างของสีเหิงออกจากตามนุษย์ได้ใกล้เคียงกัน แต่จากการศึกษาอื่น ๆ⁽⁵¹⁾ พบว่าค่าความแตกต่างของสีในระบบซีดีอี 2000 สามารถบอกถึงความแตกต่างของสีที่เปลี่ยนไปที่สามารถรับรู้ได้จากตามนุษย์ได้ดีกว่า

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในตรวจวัดค่าสีในทางทันตกรรม

4.2.1 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometers) เป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำ นิยมนำมาใช้ในการวัดค่าสีในทางทันตกรรม โดยเป็นการวัดพลังงานแสงที่สะท้อนกลับออกมาจากวัตถุในช่วง 1-25 นาโนเมตรหรือในช่วงสเปกตรัมที่ตามองเห็น (visible spectrum) ส่วนประกอบของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์จะประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดแสง , ตัวรับแสง (detector) ที่ทำการรับแสง และระบบที่วัดค่าสีเพื่อนำไปแปลเป็นสัญญาณในการวิเคราะห์ค่าสีได้ตามหลักการค่าสีซีแอลบี สเปกโทรโฟโตมิเตอร์มักถูกนำมาใช้ในทางทันตกรรมเพื่อช่วยในการเทียบค่าสี เมื่อเปรียบเทียบการวัดค่าสีด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์กับการค่าสีที่มองเห็นจากตามนุษย์แล้วพบว่าเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ให้ค่าความแม่นยำมากกว่าถึง 33 เปอร์เซ็นต์ และสามารถเลือกสีได้ใกล้เคียงกว่าถึง 93.3 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดที่ทำการเปรียบเทียบ โดยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้กันโดยทั่วไปมีหลากหลายรูปแบบและหลากหลายรุ่นให้ผู้ทดสอบเลือกใช้เพื่อให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการวัดค่าสี ตัวอย่างชื่อทางการค้าของเครื่อง สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ได้แก่ Crytaley (Olympus , Tokyo , Japan) , Vita Easysshade Compact (Vita Zahnfabrik , Germany) , Shade-X (X-Rite , Grandville , MI)⁽⁵²⁾

4.2.2 เครื่องคัลเลอร์มิเตอร์ (Colorimeters) เป็นเครื่องมือวัดค่าปริภูมิสีและกรองแสงในรูปสเปกตรัมที่ตามองเห็นในช่วงสีแดง เขียว และฟ้า คัลเลอร์มิเตอร์ไม่ได้เป็นการวัดการสะท้อนของพลังงานแสง จึงทำให้มีความแม่นยำน้อยกว่าเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทางการค้าของเครื่องคัลเลอร์มิเตอร์ได้แก่ ShadeVision (X-Rite , Grandville , MI)⁽⁵²⁾

4.2.3 กล้องดิจิทัล และระบบการจัดการภาพ โดยระบบกล้องต่างๆเหล่านี้อาศัย สีแดง สีเขียว และสีฟ้าหรือระบบสี RGB เพื่อทำการสร้างภาพสีอื่นๆที่หลากหลาย ออกมา อย่างไรก็ตามระบบจากกล้องดิจิทัลเป็นการสร้างเฉดสีโดยใช้ระบบ อิเล็กทรอนิกส์ (electronic) เข้ามาช่วยผลิตและยังคงต้องอาศัยการแยกเฉดสีจากตา ของมนุษย์⁽⁵²⁾

4.3 การวัดความสามารถในการปิดสีของวัสดุในทางทันตกรรม

การวัดความสามารถในการปิดสีของวัสดุทางทันตกรรมเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเนื่องด้วยมี ผลกับขั้นตอนในการเลือกวัสดุเพื่อจะนำมาใช้ในการสร้างชิ้นงานบูรณะฟัน ในการวัด ความสามารถในการปิดสีสามารถทำได้หลายวิธี ดังต่อไปนี้

4.3.1 การวัดความแตกต่างของสี (ΔE)

4.3.1.1 ค่าความแตกต่างของสีจากระบบค่าสีซีแล็บ (ΔE_{ab})

เป็นการคำนวณค่าความแตกต่างของสีจากระบบค่าสีซีแล็บ (CIELAB color system) โดยเป็นการคำนวณจากแกนความสัมพันธ์ของสีต่างๆ ดังสมการต่อไปนี้

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

โดย ΔE_{ab} หมายถึงค่าความแตกต่างของสีในระบบค่าสีซีแล็บ

ΔL หมายถึงค่าความแตกต่างของสีในแนวแกน L

Δa หมายถึงค่าความแตกต่างของสีในแนวแกน a

Δb หมายถึงค่าความแตกต่างของสีในแนวแกน b

ยิ่งค่า ΔE_{ab} มีค่ามากเท่าไรแปลว่าตาของมนุษย์จะยังสามารถรับรู้ได้ถึง ความไม่เท่ากันของสีจากวัตถุทั้งสองชิ้น หรือสีจากวัตถุเดียวกันแต่คนละตำแหน่ง⁽⁵³⁾

4.3.1.2 ค่าความแตกต่างของสีจากระบบซีดีอี 2000 (CIEDE 2000 color different ; ΔE_{00})

เนื่องด้วยการคำนวณความแตกต่างของสีจากระบบซีแล็บนั้นเป็นการใช้การวัด ระยะทางแบบยูคลิด กล่าวคือเป็นการวัดระยะห่างระหว่างจุดสองจุด ซึ่งเป็นการวัดระยะที่มีค่า น้ำหนักตัววัดเท่าๆกันเป็นรูปแบบเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่ามีผลคลาดเคลื่อนใน พารามิเตอร์ภายในระบบค่าสีซีแล็บ จึงนำไปสู่การพัฒนาการวัดความแตกต่างของสีด้วยระบบซีดี อี 2000 (CIEDE 2000 color different ; ΔE_{00})⁽⁵³⁾ โดยมีสูตรการคำนวณจากสมการต่อไปนี้

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2}$$

โดย ΔE_{00} หมายถึงค่าความแตกต่างของสีในระบบซีดีอี 2000

$\Delta L'$ หมายถึงค่าความแตกต่างของความส่องสว่าง (luminosity)

$\Delta C'$ หมายถึงค่าความแตกต่างของโครมา (chroma)

$\Delta H'$ หมายถึงค่าความแตกต่างของฮิว (hue)

S_L หมายถึงค่าน้ำหนักของความส่องสว่าง

S_C หมายถึงค่าน้ำหนักของโครมา

S_H หมายถึงค่าน้ำหนักของฮิว

K_L หมายถึงค่าปัจจัยพารามิเตอร์ของความส่องสว่าง

K_C หมายถึงค่าปัจจัยพารามิเตอร์ของโครมา

K_H หมายถึงค่าปัจจัยพารามิเตอร์ของฮิว

R_T หมายถึงค่าความสัมพันธ์ของโครมาและฮิวในสีฟ้า

ซึ่งการประเมินความแตกต่างของสีระหว่างวัตถุนั้นยังเป็นสิ่งที่ไม่แน่ชัดในทางคลินิก ด้วยเหตุผลนั้นจึงได้มีการกำหนดค่าในการประเมินการรับรู้ความคลาดเคลื่อนของสีขึ้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และตีความในงานศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสีในทางทันตกรรม ดังนั้นแล้วตามมาตรฐาน ISO/TR28642:2016⁽⁵⁴⁾ ขององค์การมาตรฐานสากล (The international organization for standardization) ได้ระบุให้มีการใช้ 50:50% perceptibility threshold (PT) และ 50:50% acceptability threshold (AT) ในการหาความแตกต่างของสี โดยการหาค่า ΔE_{ab} และ ΔE_{00} ในลักษณะ 50:50% โดยค่า PT คือค่าความแตกต่างของสีที่ถูกรับรู้ได้โดยผู้สังเกตการณ์เป็นจำนวน 50% จากทั้งหมดภายใต้สถานการณ์เดียวกัน และค่า AT คือค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้โดยผู้สังเกตการณ์เป็นจำนวน 50%⁽⁵⁴⁾ จากทั้งหมดภายใต้สถานการณ์เดียวกัน แต่ในปัจจุบันยังไม่มีการเกณฑ์ที่แน่ชัดสำหรับการหาความแตกต่างของสีระหว่างวัสดุในการทันตกรรม ซึ่งในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้นั้นจะใช้เกณฑ์ค่า perceptibility threshold และ acceptability threshold อ้างอิงจากการศึกษาของ Paravina และคณะในปี ค.ศ. 2015⁽⁵⁵⁾ ซึ่งสามารถแสดงผลค่า perceptibility threshold และค่า acceptability threshold สำหรับค่าความแตกต่างของสีจากระบบค่าสีซีดีอี และค่าความแตกต่างของสีจากระบบซีดีอี 2000⁽⁵⁵⁾ ได้ตามตารางดังต่อไปนี้

ตาราง 1 แสดงค่าความแตกต่างของสีในระบบต่างๆ

ค่าความแตกต่างของสี	perceptibility threshold (PT)	acceptability threshold (AT)
ค่าความแตกต่างของสีจากระบบสีซีแล็บ (ΔE^*_{ab})	$\Delta E^*_{ab} = 1.2$	$\Delta E^*_{ab} = 2.7$
ค่าความแตกต่างของสีจากระบบสีดีอี 2000 (ΔE_{00})	$\Delta E_{00} = 0.8$	$\Delta E_{00} = 1.8$

4.3.1.2 ค่าความโปร่งแสง (Translucency parameter; TP)

เป็นค่าที่ใช้แสดงถึงการส่องผ่านของแสงผ่านลงมายังวัตถุ เป็นค่าหนึ่งที่ใช้ในการประเมินความสามารถในการปิดสีของวัสดุในทางพันธุกรรมได้ โดยวิธีในการวัดสามารถทำได้โดยวางวัตถุบนพื้นหลังสีดำและสีขาว

ค่าความโปร่งแสงมีความสัมพันธ์ค่า ΔE_{ab} โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$TP = \sqrt{(L_B^* - L_W^*)^2 + (a_B^* - a_W^*)^2 + (b_B^* - b_W^*)^2}$$

โดย L^* , a^* , b^* เป็นค่าของสีในแกนต่างๆที่ทำการวัดเมื่อนำไปวางยังพื้นหลังสีขาว (W) และพื้นหลังสีดำ (B)

นอกจากนี้ค่าความโปร่งแสงยังสามารถหาค่าได้อีกวิธีโดยอาศัยความสัมพันธ์จากค่าความแตกต่างของสีจากระบบสีดีอี 2000 ดังสมการต่อไปนี้

$$TP_{00} = \sqrt{\left(\frac{L'_B - L'_W}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{C'_B - C'_W}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{H'_B - H'_W}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{C'_B - C'_W}{K_C S_C}\right) \left(\frac{H'_B - H'_W}{K_H S_H}\right)^2}$$

โดย TP_{00} หมายถึงค่าความโปร่งแสงในระบบสีดีอี 2000

L' หมายถึงค่าความแตกต่างของความส่องสว่าง (luminosity)

C' หมายถึงค่าความแตกต่างของโครมา (chroma)

H' หมายถึงค่าความแตกต่างของฮิว (hue)

S_L หมายถึงค่าน้ำหนักของความส่องสว่าง

- S_C หมายถึงค่าน้ำหนักของโครมา
 S_H หมายถึงค่าน้ำหนักของฮีว
 K_L หมายถึงค่าปัจจัยพารามิเตอร์ของความส่องสว่าง
 K_C หมายถึงค่าปัจจัยพารามิเตอร์ของโครมา
 K_H หมายถึงค่าปัจจัยพารามิเตอร์ของฮีว
 R_T หมายถึงค่าความสัมพันธ์ของโครมาและฮีวในสีฟ้า

ซึ่งแต่ละตัวแปรคือค่าของสีที่ทำการวัดเมื่อนำวัตถุไปวางยังพื้นหลังสีขาว (W) และพื้นหลังสีดำ (B)

ซึ่งหากวัตถุที่นำมาทำการศึกษามีค่าความโปร่งแสงมากจะหมายความว่าวัตถุนั้นมีความโปร่งแสงมาก⁽⁵³⁾

4.3.1.3 ค่าอัตราส่วนความแตกต่าง (Contrast ratio ;CR)

เป็นค่าจากการวัดอัตราส่วนการสะท้อนแสงของวัตถุบนฉากหลังสีดำและฉากหลังสีขาว โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$CR = Y_B / Y_w$$

โดย Y คือค่าที่แสดงความส่องสว่างของสีจากปริภูมิสีในแนวแกน XYZ บนฉากหลังสีดำ (Y_B) และฉากหลังสีขาว (Y_w)

ซึ่งค่าอัตราส่วนความแตกต่างนั้นจะมีค่าได้ตั้งแต่ 0 จนถึง 1 โดยที่ค่า 0 หมายถึงวัตถุมีความโปร่งใส (transparent) แสงส่องผ่านได้ทั้งหมด และ 1 หมายถึงวัตถุมีความทึบแสง (opaque) แสงไม่สามารถส่องผ่านได้⁽⁵³⁾

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง
2. ขั้นตอนการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล
3. การวิเคราะห์ข้อมูล

การออกแบบงานวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Experimental research)

การกำหนดค่าประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

- เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 (IPS™ e.max CAD HT shade A2, Ivoclar Vivadent AG , Liechtenstein) ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า HT-ECAD
- เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 (IPS™ e.max CAD MT shade A2, Ivoclar Vivadent AG , Liechtenstein) ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า MT-ECAD
- เซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 (CEREC Tessera™ HT shade A2, Dentsply Sirona, USA) ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า HT-TESS
- เซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 (CEREC Tessera™ MT shade A2 , Dentsply Sirona, USA) ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า MT-TESS

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

การทดลองการวัดค่าโปร่งแสงของเซรามิก

กำหนดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยทั้งหมด 128 ชิ้น แบ่งเป็น 16 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ชิ้น ดังนี้

1. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า HT-ECAD 1.0)

2. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า HT-ECAD 1.5)
3. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 2.0 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า HT-ECAD 2.0)
4. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 2.5 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า HT-ECAD 2.5)
5. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า MT- ECAD 1.0)
6. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า MT- ECAD 1.5)
7. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 2.0 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า MT- ECAD 2.0)
8. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 2.5 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า MT- ECAD 2.5)
9. เซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า HT- TESS 1.0)
10. เซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า HT- TESS 1.5)
11. เซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 2.0 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า HT- TESS 2.0)

12. เซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 2.5 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค้าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า HT- TESS 2.5)
13. เซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค้าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า MT- TESS 1.0)
14. เซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค้าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า MT- TESS 1.5)
15. เซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 2.0 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค้าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า MT- TESS 2.0)
16. เซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 2.5 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค้าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า MT- TESS 2.5)

การทดลองค่าความแตกต่างของสีของเซรามิก

กำหนดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยทั้งหมด 128 ชิ้น แบ่งเป็น 16 กลุ่ม กลุ่มละ

8 ชิ้น ดังนี้

1. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค้าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า HT-ECAD 1.0)
2. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค้าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า HT-ECAD 1.5)
3. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 2.0 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค้าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า HT-ECAD 2.0)
4. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 2.5 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค้าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า HT-ECAD 2.5)
5. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค้าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า MT- ECAD 1.0)

6. เซรามิกชนิดดีเพียมไดซิติลิตเกิดความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า MT- ECAD 1.5)
7. เซรามิกชนิดดีเพียมไดซิติลิตเกิดความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 2.0 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า MT- ECAD 2.0)
8. เซรามิกชนิดดีเพียมไดซิติลิตเกิดความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 2.5 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า MT- ECAD 2.5)
9. เซรามิกชนิดแอดวานซ์ดีเพียมไดซิติลิตเกิดความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า HT- TESS 1.0)
10. เซรามิกชนิดแอดวานซ์ดีเพียมไดซิติลิตเกิดความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า HT- TESS 1.5)
11. เซรามิกชนิดแอดวานซ์ดีเพียมไดซิติลิตเกิดความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 2.0 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า HT- TESS 2.0)
12. เซรามิกชนิดแอดวานซ์ดีเพียมไดซิติลิตเกิดความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 2.5 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า HT- TESS 2.5)
13. เซรามิกชนิดแอดวานซ์ดีเพียมไดซิติลิตเกิดความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า MT- TESS 1.0)
14. เซรามิกชนิดแอดวานซ์ดีเพียมไดซิติลิตเกิดความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า MT- TESS 1.5)

15. เซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซิติลิตเกิดความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 2.0 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า MT- TESS 2.0)
16. เซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซิติลิตเกิดความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 2.5 มิลลิเมตร (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า MT- TESS 2.5)

หลังจากนั้นนำกลุ่มตัวอย่างทั้ง 16 กลุ่มวางบนแผ่นพื้นหลังทั้ง 4 ชนิด ดังนี้

1. แผ่นพื้นหลังไทเทเนียม (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า Ti)
 2. แผ่นพื้นหลังไทเทเนียมซุบอโนไดซิติลิตเหลือง (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า TiY)
 3. แผ่นพื้นหลังไทเทเนียมซุบอโนไดซิติลิตชมพู (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า TiP)
 4. แผ่นพื้นหลังเซอร์โคเนีย (ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าย่อแทนกลุ่มด้วยคำว่า Zr)
- และทำการวัดค่าสีเพื่อหาความแตกต่างของสีของเซรามิก

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิติลิตเกิดความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 (IPS™ e.max CAD HT shade A2 , Ivoclar Vivadent AG , Liechtenstein)
2. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิติลิตเกิดความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 (IPS™ e.max CAD MT shade A2 , Ivoclar Vivadent AG , Liechtenstein)
3. เซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซิติลิตเกิดความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 (CEREC Tessera™ HT shade A2, Dentsply Sirona , USA)
4. เซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซิติลิตเกิดความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 (CEREC Tessera™ MT shade A2, Dentsply Sirona , USA)
5. สารเคลือบผิวเซรามิกสีธรรมชาติ (Natural-shade glaze, IPS e.max CAD crystal/glaze paste, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)
6. สารเคลือบผิวเซรามิก (Dentsply Sirona universal overglaze high flu, Dentsply Sirona , USA)
7. ซีเมนต์ลองสีฟันสีใส (Nx3 Try in gel-clear, Kerr, USA)

8. แผ่นพื้นหลังไทเทเนียม
9. แผ่นพื้นหลังไทเทเนียมซุบอโนไดซีสีชมพู
10. แผ่นพื้นหลังไทเทเนียมซุบอโนไดซีสีเหลือง
11. แผ่นพื้นหลังเซอร์โคเนีย
12. ไมโครมิเตอร์ชนิดดิจิทัล (Digital micrometer IP-65 , Mitutoyo, Japan)
13. เครื่องตัดใบเลื่อยเพชร (IsoMet 1000 precision saw , Buehler , U.S.A.)
14. เครื่องขัดผิววัสดุ (Nano 1000T grinder polisher, USA)
15. กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Olympus SZ61, Japan)
16. เครื่องล้างความถี่สูง (Sonorex Digitec DT31H , Bandelin , Germany)
17. เตาเผาเซรามิกตามข้อแนะนำของบริษัทผู้ผลิตเซรามิก
18. เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (VITA Easyshade V , Vita Zahnfabrik , Germany)
19. กระดาษทรายเบอร์ 600
20. กล้องดำสำหรับวัดค่าสี
21. ฉากสีขาวและดำสำหรับเปรียบเทียบค่าไปรงแสง

ตาราง 2 แสดงผลิตภัณฑ์และส่วนประกอบ

ผลิตภัณฑ์	บริษัท	ส่วนประกอบ
IPS™ e.max CAD	Ivoclar Vivadent	57-80% SiO ₂ ; 11-19% Li ₂ O; 0-13% K ₂ O; 0-11%P ₂ O ₅ ;0-8% ZnO; 0-12% others + coloring oxides
CEREC Tessera™	Dentsply Sirona	Li ₂ Si ₂ O ₅ , 90% Li ₃ PO ₄ , 5% Li _{0.5} Al _{0.5} Si _{2.5} O ₆ (vergilite)

ขั้นตอนการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนการทดลอง

การทดสอบวัดค่าความไปรงแสง

1. การเตรียมแผ่นเซรามิก

1.1 นำบล็อกเซรามิกขนาดยาว 14 มิลลิเมตร กว้าง 12 มิลลิเมตรหนา 15 มิลลิเมตร ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 (IPS™ e.max CAD HT shade A2 , Ivoclar Vivadent AG , Liechtenstein) เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 (IPS™ e.max CAD MT shade A2 , Ivoclar Vivadent AG , Liechtenstein) เซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 (CEREC Tessera™ HT shade A2, Dentsply Sirona , USA) และเซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 (CEREC Tessera™ MT shade A2 , Dentsply Sirona , USA) ตัดส่วนของด้ามจับ (Mandrel) ออกด้วยเครื่องตัดใบเลื่อยเพชร (IsoMet 1000 precision saw , Buehler , U.S.A.) ความหนาแผ่นตัดกากเพชร 0.5 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที โดยมีน้ำลดความร้อน



ภาพประกอบ 11 แสดงบล็อกเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต



ภาพประกอบ 12 แสดงบล็อกเซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซิลิเกต

1.2 ทำการขัดผิวแผ่นเซรามิกบริเวณหน้าตัดด้วยเครื่องขัดผิววัสดุ (Nano 1000T grinder polisher, USA) ด้วยกระดาษทราย 600⁽³⁰⁾ ตามลำดับด้วยความเร็ว 100 รอบต่อ

นาที โดยมีน้ำไหลผ่านตลอดเวลา โดยในแต่ละเบอร์จะชัดเจนกระทั่งมองไม่เห็นรอยของกระดาษทรายเบอร์ก่อนหน้าในกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Olympus SZ61, Japan) ตรวจสอบความหนาด้วยเครื่องดิจิตอลไมโครมิเตอร์

1.4 ทำความสะอาดแผ่นเซรามิกด้วยน้ำกัลันและเครื่องล้างความถี่สูง (Sonorex Digitec DT31H, Bandelin, Germany) เป็นเวลา 5 นาที แล้วซับให้แห้ง

1.5 ทาผิวหน้าตัดแผ่นเซรามิกสีเทียมไดซีลิเกตด้วยสารเคลือบผิวเซรามิกสีธรรมชาติ (Natural-shade glaze, IPS e.max CAD crystal/glaze paste, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) โดยทาจากซ้ายไปขวา และบนลงล่างให้ทั่วหนึ่งรอบ แล้วนำไปเข้าเตาเผาเซรามิกเพื่อให้เกิดการตกผลึก (crystallization) ตามวิธีที่ผู้ผลิตแนะนำ เมื่อเผาเสร็จแล้วให้วางทิ้งไว้ให้เซรามิกเย็นลง จากนั้นตรวจสอบความหนาด้วยเครื่องดิจิตอลไมโครมิเตอร์ให้มีความหนา 1.0 ± 0.01 1.5 ± 0.01 2.0 ± 0.01 และ 2.5 ± 0.01 มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 13 แสดงแผ่นเซรามิกชนิดสีเทียมไดซีลิเกตที่มีความหนาต่างๆ

1.6 ทาผิวหน้าตัดแผ่นเซรามิกแอดวานซ์สีเทียมไดซีลิเกตด้วยสารเคลือบผิวเซรามิก (Dentsply Sirona universal overglaze high flu, Dentsply Sirona, USA) โดยทาจากซ้ายไปขวา และบนลงล่างให้ทั่วหนึ่งรอบ แล้วนำไปเข้าเตาเผาเซรามิกตามวิธีที่ผู้ผลิตแนะนำ เมื่อเผาเสร็จแล้วให้วางทิ้งไว้ให้เซรามิกเย็นลง จากนั้นตรวจสอบความหนาด้วยเครื่องดิจิตอลไมโครมิเตอร์ให้มีความหนา 1.0 ± 0.01 1.5 ± 0.01 2.0 ± 0.01 และ 2.5 ± 0.01 มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 14 แสดงแผ่นเซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซีลิเกตที่มีความหนาต่างๆ

2. การวัดค่าความโปร่งแสง

2.1 วัดค่าสีภายในกล่องดำเพื่อตัดแสงรบกวนจากภายนอก ภายในกล่องมีฐานสำหรับกำหนดตำแหน่งชิ้นงานและมีรูที่ปากกล่องขนาดเท่าปลายหัววัดของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (VITA Easysshade V, Vita Zahnfabrik, Germany) เพื่อกำหนดตำแหน่งปลายหัววัดให้อยู่กึ่งกลางกับแผ่นชิ้นงาน วางแผ่นเซรามิกหันด้านที่ผ่านการทาสารเคลือบผิวเข้าหาปลายหัววัดของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ทำการวัดชิ้นงานจากหลังสีดำและขาว ขึ้นละ 3 ครั้ง และเปรียบเทียบหัววัดทุกครั้งก่อนการใช้งาน



ภาพประกอบ 15 แสดงเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น VITA Easysshade

2.2 คำนวณหาค่าความโปร่งแสง ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของสีของแผ่นเซรามิกลิเทียมไดซีลิเกตและแผ่นเซรามิกแอควานซีลิเทียมไดซีลิเกตภายใต้ฉากสีดำและสีขาว ตามสมการ

$$TP_{00} = \sqrt{\left(\frac{L'_B - L'_W}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{C'_B - C'_W}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{H'_B - H'_W}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{C'_B - C'_W}{K_C S_C}\right) \left(\frac{H'_B - H'_W}{K_H S_H}\right)^2}$$

โดย TP_{00} หมายถึงค่าความโปร่งแสงในระบบซีดีอี 2000

L' หมายถึงค่าความแตกต่างของความส่องสว่าง (luminosity)

C' หมายถึงค่าความแตกต่างของโครมา (chroma)

H' หมายถึงค่าความแตกต่างของฮิว (hue)

S_L หมายถึงค่าน้ำหนักของความส่องสว่าง

S_C หมายถึงค่าน้ำหนักของโครมา

S_H หมายถึงค่าน้ำหนักของฮิว

K_L หมายถึงค่าปัจจัยพารามิเตอร์ของความส่องสว่าง

K_C หมายถึงค่าปัจจัยพารามิเตอร์ของโครมา

K_H หมายถึงค่าปัจจัยพารามิเตอร์ของฮิว

R_T หมายถึงค่าความสัมพันธ์ของโครมาและฮิวในสีฟ้า

ซึ่งแต่ละตัวแปรคือค่าของสีที่ทำการวัดเมื่อนำวัตถุไปวางยังพื้นหลังสีขาว

(W) และพื้นหลังสีดำ (B)

การทดลองวัดความแตกต่างของสี

1. การเตรียมบล็อกเซรามิกสำหรับเปรียบเทียบค่าสี

1.1 นำบล็อกเซรามิกขนาดยาว 14 มิลลิเมตร กว้าง 12 มิลลิเมตร หนา 15 มิลลิเมตร ชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 (IPS™ e.max CAD HT shade A2 , Ivoclar Vivadent AG , Liechtenstein) เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 (IPS™ e.max CAD MT shade A2 , Ivoclar Vivadent AG , Liechtenstein) เซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 (CEREC Tessera™ HT shade A2, Dentsply Sirona , USA) และเซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 (CEREC Tessera™ MT shade A2 , Dentsply Sirona , USA) ตัดส่วนของด้ามจับ (Mandrel) ออกด้วยเครื่องตัดใบเลื่อยเพชร(IsoMet 1000 precision saw , Buehler , U.S.A.) ความหนาแผ่นตัดกากเพชร 0.5 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที โดยมีน้ำลดความร้อนทำให้ได้บล็อกเซรามิกที่มีความยาว 14 มิลลิเมตร กว้าง 12 มิลลิเมตร และสูง 15 มิลลิเมตร

1.2 ทำการขัดผิวบล็อกเซรามิกบริเวณหน้าตัดด้วยเครื่องขัดผิววัสดุ (Nano 1000T grinder polisher, USA) ด้วยกระดาษทราย 600^(8,9) ตามลำดับด้วยความเร็ว 100 รอบต่อ

นาที่ โดยมีน้ำไหลผ่านตลอดเวลา โดยในแต่ละเบอร์จะชัดเจนกระทั่งมองไม่เห็นรอยของกระดาษทรายเบอร์ก่อนหน้าในกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Olympus SZ61, Japan)

1.3 ทำความสะอาดบล็อกเซรามิกด้วยน้ำกลั่นและเครื่องล้างความถี่สูง (Sonorex Digitec DT31H, Bandelin, Germany) เป็นเวลา 5 นาที แล้วซับให้แห้ง

1.4 ทาผิวหน้าตัดบล็อกเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตด้วยสารเคลือบผิวเซรามิกสีธรรมชาติ (Natural-shade glaze, IPS e.max CAD crystal/glaze paste, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) โดยทาจากซ้ายไปขวา และบนลงล่างให้ทั่วหนึ่งรอบ แล้วนำไปเข้าเตาเผาเซรามิก เพื่อให้เกิดการตกผลึก (crystallization) ตามวิธีที่ผู้ผลิตแนะนำ เมื่อเผาเสร็จแล้วให้วางทิ้งไว้ให้บล็อกเซรามิกเย็นลง

1.5 ทาผิวหน้าตัดบล็อกแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตด้วยสารเคลือบผิวเซรามิก (Dentsply Sirona universal overglaze high flu, Dentsply Sirona, USA) โดยทาจากซ้ายไปขวา และบนลงล่างให้ทั่วหนึ่งรอบ แล้วนำไปเข้าเตาเผาเซรามิกตามวิธีที่ผู้ผลิตแนะนำ เมื่อเผาเสร็จแล้วให้วางทิ้งไว้ให้เซรามิกเย็นลง

2. การเตรียมแผ่นเซรามิก

2.1 นำแผ่นเซรามิกจากการทดลองวัดค่าความโปร่งแสงมาทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นและเครื่องล้างความถี่สูง (Sonorex Digitec DT31H, Bandelin, Germany) เป็นเวลา 5 นาที แล้วซับให้แห้ง

3. การเตรียมแผ่นพื้นหลังชนิดต่างๆ

3.1 สำหรับแผ่นพื้นหลังชนิดต่างๆ ได้แก่ แผ่นพื้นหลังไทเทเนียม แผ่นพื้นหลังไทเทเนียมซูปเปอร์ไดออกไซด์ชมพู แผ่นพื้นหลังไทเทเนียมซูปเปอร์ไดออกไซด์เหลือง และแผ่นพื้นหลังเซอร์โคเนีย ทำการขึ้นรูปขึ้นงานจากแลปทันตกรรม เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดความกว้าง 12 มิลลิเมตร ความยาว 14 มิลลิเมตร ความหนา 2 ± 0.01 มิลลิเมตร

3.2 ทำการวัดค่าสีแผ่นพื้นหลังแต่ละประเภทด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (VITA Easyshade V, Vita Zahnfabrik, Germany) เลือกใช้แผ่นพื้นหลังที่มีค่าเฉดสีใกล้เคียงกันในแต่ละประเภท

4. การยัดแผ่นเซรามิกเข้ากับแผ่นพื้นหลังชนิดต่างๆ

4.1 ทำความสะอาดแผ่นเซรามิกและแผ่นพื้นหลังชนิดต่างๆด้วยน้ำกลั่นและเครื่องล้างความถี่สูง (Sonorex Digitec DT31H, Bandelin, Germany) เป็นเวลา 5 นาที แล้วซับให้แห้ง

4.2 ใช้ซีเมนต์ลองสีฟัน (Nx3 Try in gel-clear, Kerr, USA) เจดสีใส (clear shade) ในการยึดเชื่อมแผ่นเซรามิกและแผ่นพื้นหลังชนิดต่างๆเข้าด้วย เพื่อเป็นการจำลองการยึดครอบเซรามิกด้วยซีเมนต์บนหลักยึดรากเทียม โดยทาซีเมนต์ลองสีฟันไปยังแผ่นเซรามิกด้านที่ไม่ได้รับการทาสารเคลือบผิว จากนั้นกดแผ่นเซรามิกลงบนแผ่นพื้นหลังชนิดต่างๆด้วยแรง 2.5 นิวตัน เป็นเวลา 5 วินาที

5. การวัดค่าสีชิ้นงาน

5.1 ทำการวัดค่าสีชิ้นงานโดยวัดค่าสีภายในกล่องดำเพื่อตัดแสงรบกวนจากภายนอก ภายในกล่องมีฐานสำหรับกำหนดตำแหน่งชิ้นงานและมีรูที่ฝากช่องขนาดเท่าปลายหัววัดของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (VITA Easyshade V, Vita Zahnfabrik, Germany) เพื่อกำหนดตำแหน่งปลายหัววัดให้อยู่กึ่งกลางกับแผ่นชิ้นงาน โดยปลายหัววัดของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์หันเข้าหาแผ่นเซรามิกด้านที่ผ่านการทาสารเคลือบผิว ทำการวัดชิ้นงานละ 3 ครั้ง และเปรียบเทียบหัววัดทุกครั้งก่อนการใช้งาน

5.2 หลังจากการวัดค่าสี ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยแอลกอฮอล์ ตามด้วยน้ำกลั่นด้วยเครื่องล้างความถี่สูง (Sonorex Digitec DT31H, Bandelin, Germany) เป็นเวลา 5 นาที แล้วซับให้แห้ง เพื่อชะล้างซีเมนต์ลองสีฟันตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

5.3 คำนวณหาค่า ΔE_{00} ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของสีระหว่างบล็อกเซรามิกและแผ่นเซรามิกที่ผ่านการยึดเข้ากับแผ่นพื้นหลังชนิดต่างๆแล้วตามสมการ

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2}$$

โดย ΔE_{00} หมายถึงค่าความแตกต่างของสีในระบบสีดีอี 2000

$\Delta L'$ หมายถึงค่าความแตกต่างของความส่องสว่าง (luminosity)

$\Delta C'$ หมายถึงค่าความแตกต่างของโครมา (chroma)

$\Delta H'$ หมายถึงค่าความแตกต่างของฮิว (hue)

S_L หมายถึงค่าน้ำหนักของความส่องสว่าง

S_C หมายถึงค่าน้ำหนักของโครมา

S_H หมายถึงค่าน้ำหนักของฮิว

K_L หมายถึงค่าปัจจัยพารามิเตอร์ของความส่องสว่าง

K_C หมายถึงค่าปัจจัยพารามิเตอร์ของโครมา

K_H หมายถึงค่าปัจจัยพารามิเตอร์ของฮิว

จากนั้นนำค่า ΔE_{00} มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดย กำหนดให้ค่า ΔE_{00} ที่ 0.8 เป็นค่าที่สามารถรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงของสี (perceptibility threshold ; PT) และ ΔE_{00} ที่มากกว่า 1.8 ขึ้นไป เป็นค่าที่ไม่สามารถยอมรับได้ (acceptability threshold ;AT) ตามการศึกษาของ Parvina และคณะในปี 2015⁽⁵⁵⁾

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป IBM[®] SPSS statistics for Window Version 25.0 (IBM[®] Corp., Armonk, New York, 2015) กำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($\alpha=0.05$) ซึ่งมีรายละเอียดข้อมูลดังต่อไปนี้

การทดสอบการแจกแจงของข้อมูล (Normality test) ทำการทดสอบด้วยสถิติชาปิโร-วิลด์ (Shapiro-Wilk test) เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างน้อยกว่า 50 ขึ้น กำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($\alpha=0.05$) จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความโปร่งแสงและค่าความแตกต่างของสีของเซรามิก

ค่าความโปร่งแสงของเซรามิก

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสามทาง (Three way ANOVA) จากนั้นทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มแบบทูกีย์ (Tukey honest significant difference test) กำหนดค่านัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$)

ค่าความแตกต่างสีของเซรามิก

เปรียบเทียบค่ามัธยฐานระหว่างกลุ่มโดยใช้การทดสอบของครัสคาล-วัลลิส (Kruskal-Wallis test) จากนั้นทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มโดยใช้การเปรียบเทียบแพร์ไวส์ (pairwise comparison) กำหนดค่านัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$)

บทที่ 4

ผลการดำเนินวิจัย

การทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของความโปร่งแสงและความหนาของเซรามิกชนิดแอดวานซ์ดีเทียมไดซิลิเกตต่อค่าความโปร่งแสงและความสามารถในการปิดสีหลักยี่ดรากรเทียมประเภทต่างๆเปรียบเทียบกับเซรามิกชนิดดีเทียมไดซิลิเกต เพื่อให้ได้มาซึ่งแนวทางการเลือกใช้วัสดุในการบูรณะครอบฟันสำหรับรากเทียม ขั้นตอนการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นแรกคือค่าความโปร่งแสง และขั้นตอนต่อมาคือค่าความแตกต่างของสี โดยทำการศึกษาความโปร่งแสงและความหนาที่ระดับต่างๆของเซรามิกชนิดแอดวานซ์ดีเทียมไดซิลิเกตแล้วนำมาเปรียบเทียบกับเซรามิกชนิดดีเทียมไดซิลิเกต ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงกำหนดให้มีกลุ่มการทดลองทั้งหมด 16 กลุ่ม ดังนี้

1. เซรามิกชนิดดีเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร (HT-ECAD 1.0)
2. เซรามิกชนิดดีเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร (HT-ECAD 1.5)
3. เซรามิกชนิดดีเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 2.0 มิลลิเมตร (HT-ECAD 2.0)
4. เซรามิกชนิดดีเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 2.5 มิลลิเมตร (HT-ECAD 2.5)
5. เซรามิกชนิดดีเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร (MT-ECAD 1.0)
6. เซรามิกชนิดดีเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร (MT-ECAD 1.5)
7. เซรามิกชนิดดีเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 2.0 มิลลิเมตร (MT-ECAD 2.0)
8. เซรามิกชนิดดีเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 2.5 มิลลิเมตร (MT-ECAD 2.5)
9. เซรามิกชนิดแอดวานซ์ดีเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร (HT-TESS 1.0)
10. เซรามิกชนิดแอดวานซ์ดีเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร (HT-TESS 1.5)

11. เซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 2.0 มิลลิเมตร (HT-TESS 2.0)
12. เซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงสีเอ 2 ความหนา 2.5 มิลลิเมตร (HT-TESS 2.5)
13. เซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร (MT-TESS 1.0)
14. เซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร (MT-TESS 1.5)
15. เซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 2.0 มิลลิเมตร (MT-TESS 2.0)
16. เซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางสีเอ 2 ความหนา 2.5 มิลลิเมตร (MT-TESS 2.5)

โดยในการวัดค่าความแตกต่างของสีจะทำการวัดโดยวางเซรามิกกลุ่มการทดลองบนพื้นหลังจำลองหลักยี่ดรากรเทียม 4 ชนิด ดังนี้

1. แผ่นพื้นหลังไทเทเนียม (Ti)
2. แผ่นพื้นหลังไทเทเนียมซุบอโนไดซีสีเหลือง (TiY)
3. แผ่นพื้นหลังไทเทเนียมซุบอโนไดซีสีมพู (TiP)
4. แผ่นพื้นหลังเซอร์โคเนีย (Zr)

โดยทั้ง 16 กลุ่มทดลองนี้จะใช้เครื่องทดสอบเช่นเดียวกันทุกประการ ทำให้สามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกันได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น

ผลการศึกษาความโปร่งแสงและความหนาของเซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซิลิเกต และเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตที่ส่งผลต่อค่าความโปร่งแสงและความสามารถในการปิดสีหลักยี่ดรากรเทียมประเภทต่างๆ จะถูกเปรียบเทียบตามหัวข้อต่อไปนี้

ค่าความโปร่งแสงของเซรามิก (TP_{00})

การศึกษาค่าความโปร่งแสงของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตและเซรามิกชนิดแอควานซีลิเทียมไดซิลิเกตที่ความโปร่งแสงและความหนาที่แตกต่างกัน ด้วยการนำเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์รุ่น VITA Easyshade V พบว่าเซรามิกแต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยของค่าความโปร่งแสงแสดงดังในตาราง

ตาราง 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความโปร่งแสงของเซรามิก

ชนิดความโปร่งแสง	ชนิดของเซรามิก	ความหนา (มิลลิเมตร)			
		1.0	1.5	2.0	2.5
HT	ECAD	12.05±0.69 ^{Aa}	9.65±0.59 ^{Ab}	7.53±0.56 ^{Ac}	5.74±0.50 ^{Ad}
	TESS	10.67±0.7 ^{Ba}	7.87±0.58 ^{Bb}	5.28±0.42 ^{Bc}	4.16±0.52 ^{Bd}
MT	ECAD	11.45±0.59 ^{Ba}	8.82±0.94 ^{Bb}	5.25±0.52 ^{Bc}	3.17±0.53 ^{BCd}
	TESS	9.27±0.69 ^{Da}	6.73±0.69 ^{Db}	3.96±0.39 ^{Dc}	2.49±0.48 ^{CDd}

หมายเหตุ : ภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยค่าความโปร่งแสงของเซรามิกที่ความหนาเดียวกัน อย่างมีนัยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยค่าความโปร่งแสงของเซรามิกชนิดเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากในตาราง พบว่า เมื่อความหนาเพิ่มขึ้น ค่าความโปร่งแสงมีแนวโน้มจะลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างความโปร่งแสงสูงและความโปร่งแสงปานกลาง พบว่า เซรามิกที่มีความโปร่งแสงสูงจะมีค่าเฉลี่ยความโปร่งแสงสูงกว่าเซรามิกที่มีความโปร่งแสงปานกลาง นอกจากนี้ยังพบว่า เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตจะมีค่าเฉลี่ยค่าความโปร่งแสงสูงกว่าเซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกต

จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของค่าความโปร่งแสงที่ได้มาทดสอบการแจกแจงและความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้สถิติชาปีโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk test) พบว่าข้อมูลมีการกระจายปกติ จึงวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดด้วยสถิติพหุคูณ วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสามทาง (Three-way ANOVA) ผลการวิเคราะห์พบว่า ความหนา ความโปร่งแสง และชนิดของเซรามิกมีอิทธิพลร่วมต่อค่าความโปร่งแสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p-value < 0.05)

เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ (multiple comparison) โดยใช้การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มแบบทูกีย์ (Tukey honest significant difference test) พบว่า เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตและเซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตที่ความโปร่งแสงสูงและความโปร่งแสงปานกลาง มีค่าความโปร่งแสงลดลงเมื่อความหนาของเซรามิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p-value < 0.05)

เมื่อเปรียบเทียบที่ชนิดของเซรามิก พบว่า เซรามิกที่ความโปร่งแสงสูง กลุ่ม HT-ECAD มีค่าความโปร่งแสงสูงกว่ากลุ่ม HT-TESS ที่ความหนา 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$) เมื่อพิจารณาที่ความโปร่งแสงปานกลางพบว่ากลุ่ม MT-ECAD มีค่าความโปร่งแสงสูงกว่ากลุ่ม MT-TESS ที่ความหนา 1.0 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$) โดยที่ความหนา 2.5 มิลลิเมตร ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} > 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบที่ความหนาเดียวกันพบว่ากลุ่ม MT-ECAD ให้ค่าความโปร่งแสงไม่แตกต่างจากกลุ่ม HT-TESS ที่ความหนา 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} > 0.05$)

นอกจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้วจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบ โดยใช้การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มแบบทูกีย์ (Tukey honest significant difference test) ยังพบว่ากลุ่ม HT-TESS ที่มีความหนาน้อยกว่ากลุ่ม HT-ECAD 0.5 มิลลิเมตร ไม่พบว่าค่าความโปร่งแสงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} > 0.05$) และยังพบว่ากลุ่ม HT-ECAD ที่ความหนา 1.5 มิลลิเมตรและ 2.0 มิลลิเมตร มีค่าความโปร่งแสงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} > 0.05$) กับกลุ่ม MT-TESS ที่ความหนาน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร

ค่าความแตกต่างของสี (ΔE_{00})

การศึกษาค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซลิเกตและเซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซลิเกตที่ความโปร่งแสง ความหนา และแผ่นพื้นหลังที่แตกต่างกัน ด้วยการใส่เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์รุ่น VITA Easyshade V พบว่าเซรามิกแต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีแสดงดังในตาราง

ตาราง 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสีเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูง

ชนิด	ชนิด	พื้นหลัง	ความหนา (มิลลิเมตร)			
			1.0	1.5	2.0	2.5
ความโปร่งแสง	เซรามิก					
HT	ECAD	Ti	9.98±1.51 ^{Aac}	6.39±0.74 ^{ABac}	4.83±0.60 ^{BCac}	3.93±0.55 ^{Cac}
		TiY	5.36±0.63 ^{Ab}	3.53±0.32 ^{ABb}	2.63±0.72 ^{BCb}	2.11±0.76 ^{Cbc}
		TiP	7.11±0.75 ^{Abc}	4.4 ±0.95 ^{ABbc}	3.41±0.77 ^{BCbc}	*1.74±1.06 ^{Cb}
		Zr	11.91±1.02 ^{Aa}	9.48±1.17 ^{ABa}	6.8±0.86 ^{BCa}	5.00±0.42 ^{Ca}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงบนพื้นหลังชนิดเดียวกันที่ความหนาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันของค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงที่ความหนาเดียวกันบนพื้นหลังที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สัญลักษณ์ * แสดงถึงค่าความแตกต่างของสีที่มีค่าต่ำกว่าค่า acceptability threshold (AT) ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ($\Delta E_{00} \leq 1.8$)

ตาราง 5 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสีเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลาง

ชนิด	ชนิด	พื้นหลัง	ความหนา (มิลลิเมตร)			
			1.0	1.5	2.0	2.5
ความโปร่งแสง	เซรามิก					
MT	ECAD	Ti	6.62±0.93 ^{Aa}	4.52±0.64 ^{ABa}	3.15±0.37 ^{BCa}	2.26±0.43 ^{Ca}
		TiY	2.94±0.40 ^{Ab}	1.99±0.54 ^{ABb}	*1.08±0.42 ^{Bb}	*0.97±0.68 ^{Bb}
		TiP	6.11±0.96 ^{Aa}	3.60±0.62 ^{ABab}	2.23±0.33 ^{BCab}	*1.23±0.21 ^{Cab}
		Zr	6.26±0.68 ^{Aa}	4.31±1.10 ^{ABa}	2.31±0.26 ^{Bac}	*0.93±0.28 ^{Cb}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันของค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางบนพื้นหลังชนิดเดียวกันที่ความหนาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันของค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางที่ความหนาเดียวกันบนพื้นหลังที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สัญลักษณ์ * แสดงถึงค่าความแตกต่างของสีที่มีค่าต่ำกว่าค่า acceptability threshold (AT) ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ($\Delta E_{00} \leq 1.8$)

ตาราง 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสีเซรามิกชนิดแอดวานซ์ที่เติมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูง

ชนิด	ชนิด	พื้นหลัง	ความหนา (มิลลิเมตร)			
			1.0	1.5	2.0	2.5
ความโปร่งแสง	เซรามิก	Ti	8.24±1.33 ^{Aac}	3.90±1.81 ^{ABab}	2.21±0.75 ^{Ab}	2.38±1.18 ^{Bab}
		TiY	2.23±1.72 ^{Ab}	2.06±0.95 ^{Ab}	*1.77±0.80 ^{Ab}	*1.74±0.43 ^{Ab}
		TiP	5.27±1.54 ^{Abc}	2.21±1.80 ^{Bb}	*1.67±1.03 ^{Bb}	*1.64±0.39 ^{Bb}
		Zr	8.60±0.65 ^{Aa}	7.53±0.82 ^{ABac}	5.27±0.91 ^{BCa}	3.75±0.89 ^{Ca}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันของค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกชนิดแอดวานซ์ที่เติมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงบนพื้นหลังชนิดเดียวกันที่ความหนาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันของค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกชนิดแอดวานซ์ที่เติมไดซิลิเกตความโปร่งแสงสูงที่ความหนาเดียวกันบนพื้นหลังที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สัญลักษณ์ * แสดงถึงค่าความแตกต่างของสีที่มีค่าต่ำกว่าค่า acceptability threshold (AT) ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ($\Delta E_{00} \leq 1.8$)

ตาราง 7 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสีเซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลาง

ชนิด	ชนิด	พื้น	ความหนา (มิลลิเมตร)			
			1.0	1.5	2.0	2.5
ความโปร่งแสง	เซรามิก	หลัง				
MT	TESS	Ti	6.50±1.40 ^{Aa}	3.42±1.44 ^{ACa}	*1.53±0.15 ^{Ba}	*1.52±0.48 ^{BCab}
		TiY	2.21±0.75 ^{Ab}	*1.59±0.40 ^{Ab}	*1.50±0.47 ^{Aa}	*1.48±0.25 ^{Aa}
		TiP	3.29±1.19 ^{Abc}	1.94±0.64 ^{ABCab}	*1.46±0.64 ^{Ba}	*1.46±0.66 ^{Ba}
		Zr	6.07±1.00 ^{Aac}	4.84±0.64 ^{ABa}	4.07±0.72 ^{BCb}	2.71±0.64 ^{Cb}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันของค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางบนพื้นหลังชนิดเดียวกันที่ความหนาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันของค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางที่ความหนาเดียวกันบนพื้นหลังที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สัญลักษณ์ * แสดงถึงค่าความแตกต่างของสีที่มีค่าต่ำกว่าค่า acceptability threshold (AT) ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ($\Delta E_{00} \leq 1.8$)

จากตารางแสดงค่าความแตกต่างของสี พบว่าความหนาที่มีอิทธิพลต่อค่าความแตกต่างของสีกล่าวคือค่าความแตกต่างของสีมีแนวโน้มลดลงเมื่อเมื่อหนาเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่ความหนาเดียวกันบนพื้นหลังที่แตกต่างกันพบว่าค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกบนแผ่นพื้นหลังไทเทเนียมซูปรอนไดไซด์เหลืองและสีชมพูมีแนวโน้มน้อยกว่าค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกบนแผ่นพื้นหลังไทเทเนียมและเซอร์โคเนีย เมื่อพิจารณาที่ชนิดของเซรามิกพบว่า ค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตมีแนวโน้มน้อยกว่าค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความหนาของเซรามิก ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบของครัสคาล-วัลลิส(Kruskal-Wallis test) และทำการทดสอบการเปรียบเทียบแพร์ไวส์ (Pairwise comparison) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม พบว่าที่ความหนาต่ำสุด (1.0 มิลลิเมตร) ของเซรามิกทุกชนิดบนพื้นหลังทุกประเภทมีค่าความแตกต่างของสีแตกต่างจากความหนาสูงสุด (2.5 มิลลิเมตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$) ยกเว้นในกลุ่ม HT-TESS และ MT-TESS บนพื้นหลัง TiY

นอกจากนี้ยังพบว่าชนิดของแผ่นพื้นหลังก็มีอิทธิพลต่อค่าความแตกต่างของสีของเซรามิก ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบของครัสคาล-วัลลิส(Kruskal-Wallis test) และทำการทดสอบการเปรียบเทียบแพร์ไวส์ (Pairwise comparison) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม พบว่าค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกบนพื้นหลัง TiY มีค่าน้อยกว่าค่าความแตกต่างของสีเซรามิกบนพื้นหลัง Zr ทุกชนิดและทุกความหนาของเซรามิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$) เมื่อพิจารณาที่พื้นหลัง TiP พบว่าค่าความแตกต่างของสีของเซรามิก HT-ECAD และ HT-TESS บนพื้นหลัง TiP มีค่าน้อยกว่าค่าความแตกต่างของสีเซรามิกบนพื้นหลัง Zr ทุกความหนาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$) และพบว่าเซรามิกทุกชนิดและทุกความหนบบนพื้นหลัง TiY มีค่าความแตกต่างของสีน้อยกว่าค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกทุกชนิดและทุกความหนบบนพื้นหลัง Ti อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$) ยกเว้นกลุ่ม MT-TESS 2.0 และกลุ่ม MT-TESS 2.5

จากการพิจารณาค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกพบว่าเซรามิกที่มีค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าค่า acceptability threshold (AT) คือกลุ่มเซรามิกดังต่อไปนี้ กลุ่ม HT-TESS 2.0 และ HT-TESS 2.5 บนพื้นหลัง TiY และ TiP กลุ่ม MT-TESS 1.5 บนพื้นหลัง TiY กลุ่ม MT-TESS 2.0 และกลุ่ม MT-TESS 2.5 บนพื้นหลัง TiY TiP และ Ti กลุ่ม HT ECAD 2.5 บนพื้นหลัง TiP กลุ่ม MT ECAD 2.0 บนพื้นหลัง TiY กลุ่ม MT ECAD 2.5 บนพื้นหลัง TiY TiP และ Zr

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาเรื่องผลของความโปร่งแสงและความหนาของเซรามิกชนิดแอควานซ์ ลิเทียมไดซิลิเกตต่อค่าความโปร่งแสงและความสามารถในการปิดสีหลักยึดรากเทียมประเภทต่างๆเปรียบเทียบกับเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต ทางผู้วิจัยได้นำผลการศึกษามาประเมินและทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติ จึงได้ข้อสรุปการดำเนินงานแบ่งเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

1. สรุปผลการวิจัย
2. อภิปรายผล
3. ข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความโปร่งแสงของเซรามิกในงานการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่าความหนา ความโปร่งแสง และชนิดของเซรามิกมีผลต่อค่าความโปร่งแสง เมื่อความหนาของเซรามิกเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าความโปร่งแสงของเซรามิกทั้งสองชนิดลดลงตามลำดับ โดยพบว่าเซรามิกชนิดแอควานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตมีค่าความโปร่งแสงต่ำกว่าเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต ยกเว้นความโปร่งแสงปานกลาง ที่ความหนา 2.5 mm พบว่าเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตและเซรามิกชนิดแอควานซ์ลิเทียมไดซิลิเกตให้ค่าความโปร่งแสงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ในด้านค่าความแตกต่างของสีเซรามิกบนพื้นหลังที่จำลองหลักยึดรากเทียมประเภทต่างๆ พบว่าความหนาของเซรามิกมีผลต่อค่าความแตกต่างของสีเซรามิกบนพื้นหลังหลักยึดรากเทียมทุกประเภท ยกเว้นเซรามิกกลุ่ม HT-TESS และกลุ่ม MT-TESS บนพื้นหลัง TiY ให้ค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกไม่แตกต่างกันทุกความหนา และจากการศึกษาในครั้งนี้ยังพบว่าประเภทของพื้นหลังมีผลต่อค่าความแตกต่างของเซรามิกเช่นกัน โดยเซรามิกบนพื้นหลัง TiY และ TiP ให้ค่าความแตกต่างของสีน้อยกว่าบนพื้นหลัง Zr และ Ti ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ เซรามิกทั้งสองชนิดบนพื้นหลัง TiY ให้ค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกน้อยกว่าเซรามิกบนพื้นหลัง Zr ที่ทุกความหนาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ด้านพื้นหลัง TiP พบว่ากลุ่ม HT-ECAD และกลุ่ม HT-TESS บนพื้นหลัง TiP ให้ค่าความแตกต่างของสีน้อยกว่าเซรามิกบนแผ่นพื้นหลัง Zr ที่ทุกความหนาและเซรามิกทั้งสองชนิดบนพื้นหลัง TiY ให้ค่าความแตกต่างของสีเซรามิกน้อยกว่าเซรามิกบนพื้นหลัง Ti อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นเซรามิก กลุ่ม MT-TESS 2.0 และกลุ่ม MT-TESS 2.5

เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกที่มีค่าต่ำกว่าค่า AT ซึ่งบ่งบอกว่าเซรามิกสามารถปิดสีแผ่นพื้นหลังนั้นๆได้ ซึ่งเซรามิกที่สามารถปิดสีของพื้นหลังต่างๆ ได้มีดังตารางที่ 4-7 ได้แก่ เซรามิกกลุ่ม HT-TESS 2.0 และ HT-TESS 2.5 บนพื้นหลัง TiY และ TiP กลุ่ม MT-TESS 1.5 บนพื้นหลัง TiY กลุ่ม MT-TESS 2.0 และกลุ่ม MT-TESS 2.5 บนพื้นหลัง TiY TiP และ Ti กลุ่ม HT ECAD 2.5 บนพื้นหลัง TiP กลุ่ม MT-ECAD 2.0 บนพื้นหลัง TiY กลุ่ม MT-ECAD 2.5 บนพื้นหลัง TiY TiP และ Zr

จากข้อมูลค่าความแตกต่างของสีที่กล่าวในข้างต้นนั้น เซรามิกกลุ่ม HT-TESS และ MT-TESS ให้ค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกบนพื้นหลัง TiY ไม่แตกต่างกันในทุกความหนา ประกอบกับกลุ่ม HT-TESS 2.0 กลุ่ม HT-TESS 2.5 กลุ่ม MT-TESS 1.5 กลุ่ม MT-TESS 2.0 และกลุ่ม MT-TESS 2.5 บนพื้นหลัง TiY มีค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกต่ำกว่าค่า AT จึงสรุปได้ว่าเซรามิกชนิดแอตวานซิลิเทียมไดซิลิเกตมีแนวโน้มในการปิดสีหลักยึดรากเทียม TiY ได้ค่อนข้างดี

จากการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ได้ปฏิเสธสมมติฐานทั้งสองข้อของงานวิจัย โดยสมมติฐานข้อที่หนึ่งกล่าวว่า “ค่าความโปร่งแสงเซรามิกกลุ่มแอตวานซิลิเทียมไดซิลิเกตและเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตไม่มีค่าแตกต่างกันที่ความหนาและความโปร่งแสงต่างๆ” เนื่องจากพบว่าค่าความโปร่งแสงของเซรามิกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อชนิด ความหนา และความโปร่งแสงของเซรามิกแตกต่างกันออกไป และปฏิเสธสมมติฐานข้อสองที่กล่าวว่า “ค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มแอตวานซิลิเทียมไดซิลิเกตและเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตที่ความหนาและความโปร่งแสงต่างๆไม่แตกต่างกันบนพื้นหลังชนิดต่างๆ” เช่นเดียวกัน เนื่องจากพบว่าค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อชนิดของพื้นหลังและความหนาของเซรามิกแตกต่างกันออกไป

อภิปรายผล

ความโปร่งแสงของวัตถุเป็นคำอธิบายลักษณะที่อยู่กึ่งกลางระหว่างความโปร่งใสและความทึบแสง^(15, 17, 56) เป็นคุณสมบัติทางแสงของวัตถุที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณแสงที่ผ่านเข้ามายังวัตถุและเกิดการส่องผ่านของแสง การสะท้อนแสง การกระเจิงแสง การหักเหของแสง และการดูดกลืนแสงของวัตถุ^(57, 58) ปริมาณของแสงที่ผ่านวัตถุได้มากเป็นการบ่งบอกว่าวัตถุนั้นมีลักษณะโปร่งแสงมาก การวัดปริมาณความโปร่งแสงของวัตถุสามารถทำได้หลายวิธี^(17, 29, 30, 53, 56) ค่าความโปร่งแสงและอัตราส่วนความแตกต่างเป็นค่าที่มักพบเห็นได้ในงานศึกษาวิจัยเพื่อวัดปริมาณความโปร่งแสงของวัตถุ ค่าความโปร่งแสงเป็นการวัดค่าความแตกต่างของสีของวัตถุนบน

พื้นหลังสีขาวและพื้นหลังสีดำ^(15, 17, 29, 53, 56) อัตราส่วนความแตกต่างเป็นอัตราส่วนการสะท้อนแสงของวัตถุบนพื้นหลังสีดำต่อการสะท้อนแสงของวัตถุบนพื้นหลังสีขาว^(17, 53) อัตราส่วนความแตกต่างเป็นค่าหนึ่งที่ใช้ในการอธิบายถึงปริมาณความทึบแสงของวัตถุ⁽¹⁷⁾ จากการศึกษาค้นคว้าพบว่ามีงานการศึกษาวิจัยได้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างค่าความโปร่งแสงและอัตราส่วนความแตกต่าง^(59, 60) แต่ก็ยังไม่พบข้อสรุปว่าค่าความโปร่งแสงหรืออัตราส่วนความแตกต่าง วิธีใดเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการวัดปริมาณความโปร่งแสงของวัตถุ และค่าความโปร่งแสงเป็นวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการวัดปริมาณความโปร่งแสงของวัตถุและเป็นตัวแทนแสดงถึงความโปร่งแสงของวัตถุ^(15, 17, 29, 56) การศึกษาในครั้งนี้จึงเลือกค่าความโปร่งแสงมาใช้ในการวัดปริมาณความโปร่งแสงของวัตถุ

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าชนิดของเซรามิก ความหนาและความโปร่งแสงล้วนส่งผลต่อค่าความโปร่งแสงของเซรามิก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยก่อนหน้า มีการศึกษาถึงความหนาและความโปร่งแสงพบว่าทั้งสองปัจจัยส่งผลต่อค่าความโปร่งแสงของวัตถุ^(15, 18, 30, 56) การศึกษาของ Pop-ciutrita และคณะ ในปี.ศ.2021 ได้พบว่าชนิด และความหนาของเซรามิกส่งผลโดยตรงกับความโปร่งแสงของวัสดุบุรณะเซรามิกล้วน⁽¹⁸⁾ ร่วมกับการศึกษาของ Arif และคณะ ในปี.ศ. 2019 ได้ทำการสรุปว่าค่าความโปร่งแสงของเซรามิกจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของเซรามิกลดลง โดยที่การเปลี่ยนแปลงของค่าความโปร่งแสงนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเซรามิก⁽⁶¹⁾ เมื่อพิจารณาในแง่ความหนาของเซรามิกนั้นพบว่าความหนาของเซรามิกส่งผลโดยตรงต่อปริมาณแสงที่ส่องผ่านวัตถุ^(56, 62, 63) กล่าวคือวัตถุที่มีความหนามากจะส่งผลให้แสงส่องผ่านวัตถุได้น้อยทำให้วัตถุนั้นมีลักษณะทึบแสงหรือมีความโปร่งแสงต่ำ⁽⁵⁹⁾ ในทิศทางเดียวกันวัตถุที่มีความหนาน้อยจะส่งผลให้แสงส่องผ่านวัตถุได้มากทำให้วัตถุนั้นมีความโปร่งแสงสูง⁽⁵⁹⁾ ซึ่งชั้นบุรณะเซรามิกล้วนที่มีความโปร่งแสงสูงจะส่งผลทำให้สีดั้งเดิมของเนื้อฟันภายใต้วัสดุบุรณะปรากฏขึ้นมาส่งผลต่อสีสุดท้ายของวัสดุบุรณะและมีผลในด้านความสวยงาม⁽⁶²⁾ ขณะเดียวกันชั้นงานบุรณะเซรามิกล้วนที่มีความหนามาก มีลักษณะทึบแสงจะมีความสามารถในการปกปิดสีดั้งเดิมของเนื้อฟัน⁽⁵³⁾ ที่ทันตแพทย์ไม่พึงประสงค์ได้ จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้นทันตแพทย์ควรทำการประเมินสีดั้งเดิมของเนื้อฟัน และความหนาของวัสดุบุรณะก่อนการเตรียมฟันเพื่อรองรับชั้นงานบุรณะเพื่อก่อให้เกิดความสวยงามสูงสุดในการบุรณะฟัน

เมื่อพิจารณาถึงชนิดของเซรามิกในการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่าค่าความโปร่งแสงของเซรามิกกลุ่ม HT-TESS มีค่าต่ำกว่า HT-ECAD ที่ความหนาเดียวกัน ในขณะที่ในความโปร่งแสงปานกลางค่าความโปร่งแสงของ MT-TESS มีค่าต่ำกว่า MT-ECAD ที่ความหนา 1.0 1.5 และ 2.0

มิลลิเมตร ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้า⁽³⁰⁾ที่ได้ทำการศึกษาถึงค่าความโปร่งแสงของ เซรามิกชนิดแอควานซีเลียมไดซีลิเกตเปรียบเทียบกับเซรามิกชนิดลิเทียมไดซีลิเกต ซึ่งพบว่าเซรามิกทั้งสองชนิดไม่มีความแตกต่างของค่าความโปร่งแสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อย่างไรก็ตามการศึกษาถึงค่าความโปร่งแสงของเซรามิกชนิดแอควานซีเลียมไดซีลิเกตมีการศึกษาน้อย และยังต้องการข้อมูลเพิ่มเติม ในอนาคตจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงคุณสมบัติทางแสงรวมไปถึงความโปร่งแสงของเซรามิกชนิดแอควานซีเลียมไดซีลิเกต การศึกษาในครั้งนี้พบว่าที่ความโปร่งแสงปานกลางความหนา 2.5 มิลลิเมตร ไม่พบความแตกต่างของค่าความโปร่งแสงของเซรามิกทั้งสองชนิด กล่าวคือที่ความหนา 2.5 มิลลิเมตร ค่าความโปร่งแสงของ MT-TESS 2.5 และ MT-EACD 2.5 มีค่าใกล้เคียงกัน สามารถนำมาใช้แทนกันได้ ในกรณีนี้ที่ทันตแพทย์ต้องการวัสดุบูรณะที่มีความทึบแสงใกล้เคียงกัน หรือใช้สำหรับสร้างชิ้นงานบูรณะที่ต้องการความหนา 2.5 มิลลิเมตรขึ้นไป เช่น ครอบฟันบูรณะเซรามิกล้วนบนรากเทียม เป็นต้น นอกจากนี้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ยังพบว่าเซรามิกชนิด HT-TESS และเซรามิกชนิด MT-ECAD ที่ความหนาเดียวกันมีค่าความโปร่งแสงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวได้ว่าเซรามิกทั้งสองมีความโปร่งแสงใกล้เคียงกัน และจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ยังพบว่า HT-TESS ที่มีความหนาน้อยกว่า HT-ECAD 0.5 มิลลิเมตร มีค่าความโปร่งแสงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และกลุ่มของ HT-ECAD ที่ความหนา 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตร มีค่าความโปร่งแสงไม่แตกต่างกันกับกลุ่ม MT-TESS ที่ความหนาน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์สำหรับทันตแพทย์ที่ต้องการวัสดุบูรณะที่มีความโปร่งแสงใกล้เคียงกันและกรอเตรียมฟันเพื่อรองรับชิ้นงานบูรณะในปริมาณที่น้อยกว่า จากข้อมูลที่ค้นพบจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ที่ได้กล่าวมาในข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่าเซรามิกที่นำมาศึกษาทดลองมีค่าความโปร่งแสงใกล้เคียงกันในแต่ละสถานะที่ได้กล่าวไป อย่างไรก็ตามในการสร้างชิ้นงานบูรณะนั้นยังมีปัจจัยอื่นๆและคุณสมบัติทางแสงของวัสดุบูรณะ⁽³⁰⁾ที่ยังต้องพิจารณาก่อนการตัดสินใจเลือกวัสดุเพื่อนำมาสร้างวัสดุบูรณะ

เมื่อพิจารณาความสามารถในการปิดสีหลักยึดรากเทียมประเภทต่างๆของเซรามิกทั้งสองชนิด โดยการวัดค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกบนแผ่นพื้นหลังที่จำลองหลักยึดรากเทียมประเภทต่างๆ จากการศึกษวิจัยในครั้งนี้พบว่าเมื่อความหนาของเซรามิกมีการเพิ่มขึ้นจาก 1.0 มิลลิเมตร เป็น 2.5 มิลลิเมตรพบว่าค่าความแตกต่างของสีเซรามิกมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในเซรามิกทุกชนิดและทุกความหนาสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยก่อนหน้า^(8, 64, 65) ที่พบว่าเมื่อความหนาของเซรามิกมีผลต่อค่าความแตกต่างของสีของ

เซรามิกทั้งค่าความแตกต่างของสีจากระบบค่าสีซีแล็บ (ΔE_{ab}) และจากระบบค่าสีซีไออีดีอี 2000 (ΔE_{00}) บนหลักยึดรากเทียมประเภทที่แตกต่างกัน โดยเป็นไปในทำนองเดียวกันคือเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้พบข้อยกเว้นคือเซรามิกกลุ่ม HT-TESS และกลุ่ม MT-TESS บนพื้นหลัง TiY พบว่าค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกที่แต่ละความหนาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าความหนาของเซรามิกมีผลน้อยต่อเซรามิกชนิดแอดวานซ์ลิเทียมไดซัลไฟด์บนพื้นหลัง TiY จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นนั้นทำให้เห็นว่านอกจากความหนาของเซรามิกแล้ว ประเภทชนิดของแผ่นพื้นหลังหลักยึดรากเทียมก็ส่งผลต่อค่าความแตกต่างของสีของเซรามิก เมื่อพิจารณาที่ประเภทของแผ่นพื้นหลังที่จำลองหลักยึดรากเทียมประเภทต่างๆ การทำอนโดซ์บนหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมเป็นสีเหลืองและสีชมพูส่งผลให้ค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกมีค่าลดลง เป็นปัจจัยที่ช่วยส่งผลในเรื่องความสามารถในการปิดสีของวัสดุบูรณะครอบฟันบนรากเทียม สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยก่อนหน้า^(12, 66) พบว่าการทำอนโดซ์สีเหลืองหรือสีชมพูบนโลหะไทเทเนียมเพื่อเป็นหลักยึดรากเทียมส่งผลให้ค่าความแตกต่างของสีทั้งค่าความแตกต่างของสีจากระบบค่าสีซีแล็บ (ΔE_{ab}) และจากระบบค่าสีซีไออีดีอี 2000 (ΔE_{00}) ของเซรามิกมีค่าลดลง และส่งผลต่อความสวยงามของชิ้นงานบูรณะครอบฟันบนรากเทียม⁽⁶⁶⁾ นอกจากนี้มีการศึกษาพบว่าการทำอนโดซ์บนโลหะไทเทเนียมช่วยลดการติดสีของเนื้อเยื่อรอบๆ รากเทียมเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้โลหะไทเทเนียมเป็นหลักยึดรากเทียม⁽⁶⁷⁾ และยังมีการศึกษาพบว่าการทำอนโดซ์ทั้งสีเหลืองและสีชมพูส่งผลให้เกิดความสวยงามของเหงือกโดยเฉพาะในบริเวณฟันหน้าบนซึ่งเป็นบริเวณที่ต้องการความสวยงามสูงสุด^(11, 12, 67, 68)

เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการปิดสีแผ่นพื้นหลัง ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่ากลุ่มเซรามิกส่วนใหญ่มีค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าค่า PT ตามมาตรฐาน ISO/TR28642:2016⁽⁵⁴⁾ ขององค์การมาตรฐานสากล (The international organization for standardization) ค่า PT คือค่าความแตกต่างของสีที่ถูกรับรู้ได้โดยผู้สังเกตการณ์จำนวน 50% จากทั้งหมดภายใต้สถานการณ์เดียวกัน อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ก็พบว่าเซรามิกบางกลุ่มที่มีค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าค่า PT แต่ค่าความแตกต่างของสีนั้นต่ำกว่าค่า AT ซึ่งค่า AT ตาม ISO/TR28642:2016 คือค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้โดยผู้สังเกตการณ์เป็นจำนวน 50% จากทั้งหมดภายใต้สถานการณ์เดียวกัน⁽⁵²⁾ ซึ่งกล่าวได้ว่าเซรามิกกลุ่มนั้นๆ ที่มีค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าค่า AT สามารถปิดสีพื้นหลังได้ ได้มีการศึกษา^(16, 19, 20) พบว่าวัสดุบูรณะที่มีความหนาตั้งแต่ 2 มิลลิเมตรขึ้นไปสามารถปิดสีเนื้อฟันภายใต้วัสดุบูรณะรวมไปถึงสามารถปิดสีของโลหะได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้พบว่าเซรามิกที่สามารถปิดสีของแผ่นพื้นหลังได้นั้นมีความหนาตั้งแต่ 2.0 มิลลิเมตรขึ้นไป อันได้แก่เซรามิกตามตารางที่ 4 -7 ซึ่งมีรายการดังต่อไปนี้ เซรามิกกลุ่ม HT-ECAD 2.5 บนพื้นหลัง TiP กลุ่ม MT-ECAD 2.0 บนพื้นหลัง TiY กลุ่ม MT-ECAD 2.5 บนพื้นหลัง TiY TiP และ Zr กลุ่ม HT-TESS 2.0 และ HT-TESS 2.5 บนพื้นหลัง TiY และ TiP กลุ่ม MT-TESS 1.5 บนพื้นหลัง TiY กลุ่ม MT-TESS 2.0 และกลุ่ม MT-TESS 2.5 บนพื้นหลัง TiY TiP และ Ti แต่เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการปิดสีของโลหะไทเทเนียมนั้น พบว่าเซรามิกกลุ่ม HT-ECAD กลุ่ม MT-ECAD และกลุ่ม HT-TESS ถึงแม้จะมีความหนาตั้งแต่ 2 มิลลิเมตรขึ้นไปก็ไม่สามารถปิดสีของโลหะไทเทเนียมได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jirajariyavej และคณะ ในปีค.ศ.2017 การศึกษาวิจัยเซรามิกที่มีความหนาและชนิดที่แตกต่างกันมาศึกษาถึงค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกบนพื้นหลังประเภทต่างๆที่จำลองหลักยึดรอกเทียม โดยพบว่าเซรามิกทุกชนิดที่นำมาศึกษาถึงแม้จะมีความหนามากกว่า 2 มิลลิเมตรขึ้นไปก็ไม่สามารถปิดสีของโลหะไทเทเนียมได้⁽⁸⁾

เมื่อพิจารณาที่เซรามิกชนิดแอดวานซ์ดีเทียมไดซลิเกตและพื้นหลังไทเทเนียมซูปเปอร์ออกไซด์สีเหลือง พบว่าค่าความแตกต่างของสีของกลุ่ม HT-TESS และกลุ่ม MT-TESS บนพื้นหลัง TiY ให้ค่าไม่แตกต่างกันในแต่ละความหนาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ร่วมกับกลุ่ม HT-TESS 2.0 กลุ่ม HT-TESS 2.5 กลุ่ม MT-TESS 1.5 กลุ่ม MT-TESS 2.0 และกลุ่ม MT-TESS 2.5 บนพื้นหลัง TiY ให้ค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกน้อยกว่าค่า AT จึงสรุปได้ว่าเซรามิกชนิดแอดวานซ์ดีเทียมไดซลิเกตมีแนวโน้มในการปิดสีหลักยึดรอกเทียม TiY ได้ค่อนข้างดีนั้นเมื่อพิจารณาที่ค่าสีในแกน L แกน a และแกน b ของบล็อกเซรามิกชนิดแอดวานซ์ดีเทียมไดซลิเกต พบว่า ทั้งกลุ่ม HT-TESS (ค่าสีแกน L=72.9 แกน a =-0.8 และแกน b=27.8) และกลุ่ม MT-TESS (ค่าสีแกน L=76.1 แกน a =1.1 และแกน b=42.7) มีค่าในแนวแกน b ที่สูงกว่าบล็อกดีเทียมไดซลิเกต (อ้างอิงจากตารางที่ 8 ในภาคผนวก) ซึ่งแสดงถึงความเป็นสีเหลืองที่มากกว่าซึ่งน่าจะส่งผลให้สามารถปิดสีพื้นหลังไทเทเนียมซูปเปอร์ออกไซด์สีเหลืองได้ดีกว่า

เมื่อทำการวัดค่าสีเซรามิกบนแผ่นพื้นหลังเซอร์โคเนียพบว่าเซรามิกส่วนใหญ่ไม่สามารถปิดสีของแผ่นพื้นหลังเซอร์โคเนียได้ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้า^(9, 12) ซึ่งทำการศึกษการปิดสีหลักยึดรอกเทียมประเภทต่างๆด้วยเซรามิกที่แตกต่างกันออกไปพบว่าหลักยึดรอกเทียมจากเซอร์โคเนียสามารถช่วยในเรื่องสีและความสวยงามของชิ้นงานบูรณะได้ดีกว่าหลักยึดรอกเทียมประเภทอื่น อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Jirajariyavej และคณะ ในปีค.ศ.2017 และ Chongkavinit และ Anunmana ในปี ค.ศ 2021 ได้มีการศึกษาการปิดสีหลักยึดรอกเทียมประเภท

ต่างๆด้วยเซรามิกที่แตกต่างกันออกไปผ่านการวัดค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกโดยมีการใช้เซอริโคเนียสองชนิด คือเซอริโคเนียเฉดสีขาว และเซอริโคเนียเฉดสีเหลืองเป็นหลักยึดรากเทียม พบว่าการใช้เซอริโคเนียเฉดสีเหลืองเป็นหลักยึดรากเทียมให้ค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกน้อยกว่าการใช้หลักยึดรากเทียมเซอริโคเนียเฉดสีขาว^(8,64) และพบว่าการใช้หลักยึดรากเทียมเซอริโคเนียเฉดสีเหลืองช่วยในเรื่องความสวยงามของชิ้นงานบูรณะ⁽⁸⁾ ดังนั้นการศึกษาวิจัยในอนาคตควรมีการศึกษาเปรียบเทียบการปิดสีหลักยึดรากเทียมด้วยเซรามิกชนิดแอควาเนลลิเทียมไดซิลิเกตและเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต โดยใช้เซอริโคเนียสีขาวและเซอริโคเนียสีเหลืองเป็นหลักยึดรากเทียม เพื่อเป็นแนวทางให้แก่ทันตแพทย์ในการเลือกใช้ชนิดของหลักยึดรากเทียมและเซรามิกสำหรับใช้ในการบูรณะครอบฟันบนรากเทียม

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกใช้ซีเมนต์ลอสสีฟันสีไล่เพื่อจำลองการยึดชิ้นงานบูรณะครอบฟันเซรามิก ล้วนบนรากเทียม เพื่อเป็นการควบคุมปัจจัยในแง่เฉดสีของซีเมนต์ จากการศึกษวิจัยของ Soares และคณะในปี ค.ศ. 2022 ได้พบว่าลักษณะความทึบแสงและความใสของซีเมนต์ส่งผลต่อความสามารถในการปิดสีหลักยึดรากเทียมของเซรามิก⁽⁶⁵⁾ อย่างไรก็ตามการศึกษการปิดสีโดยใช้เซรามิกชนิดต่างๆร่วมกับซีเมนต์ความหนาต่างๆ พบว่าความหนาของซีเมนต์จะไม่ส่งผลต่อสีสุดท้ายของวัสดุบูรณะเมื่อเซรามิกมีความหนาตั้งแต่ 2 มิลลิเมตรขึ้นไป⁽¹⁹⁾ ดังนั้นในการศึกษาในอนาคตจึงควรมีการศึกษาถึงผลของเฉดสีและคุณสมบัติทางแสงของซีเมนต์รวมทั้งความหนาของซีเมนต์ต่อความสามารถในการปิดสีหลักยึดรากเทียมหรือในการปิดสีเนื้อฟันธรรมชาติ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับทันตแพทย์ในการเลือกใช้วัสดุสำหรับการบูรณะฟันหรือรากเทียมต่อไป

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาถึงความโปร่งแสงของเซรามิกและความสามารถในการปิดสีหลักยึดรากเทียมของเซรามิก โดยผ่านการวัดค่าความโปร่งแสง(TP_{00}) และค่าความแตกต่างของสี(ΔE_{00}) ซึ่งทั้งสองค่าที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นค่าที่ได้มาจากการคำนวณในระบบค่าสีซีไออีดีอี 2000 (CIEDE 2000) เมื่อทำการศึกษาถึงการศึกษวิจัยที่ผ่านมาพบว่าทั้งระบบค่าสีซีแอล็บ (CIELab) และระบบค่าสีซีไออีดีอี 2000 (CIEDE 2000) เป็นระบบค่าสีที่มีการนำมาใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าสีอย่างแพร่หลาย โดยระบบค่าสีซีไออีดีอี 2000 (CIEDE 2000) เกิดมาจากการที่คณะกรรมการระหว่างประเทศว่าด้วยเรื่องความส่องสว่าง (The Commission Internationale de l'Eclairage; CIE) ต้องการที่จะมีการปรับปรุงการวัดค่าสีให้มีความใกล้เคียงกับการรับรู้ของตามนุษย์ จึงได้พัฒนาระบบค่าสีซีไออีดีอี 2000 (CIEDE 2000) ขึ้นมาจากระบบค่าสีซีแอล็บ^(48, 53) ซึ่งเดิมมีการวัดระยะของค่าสีโดยที่มีน้ำหนักของค่าสีแต่ละชนิดมี

น้ำหนักเท่าๆกัน ซึ่งอาจทำให้ค่าสีที่ออกมามีความคลาดเคลื่อนจากการรับสีของตามมนุษย์ได้ และจากการศึกษาเปรียบเทียบค่าสีทั้งสองระบบ^(51,52) พบว่าค่าสีจากระบบค่าสีซีไออีดีอี 2000 (CIEDE 2000) ให้ค่าสีที่ใกล้เคียงกับค่าสีที่มองเห็นจากตามมนุษย์มากกว่าระบบค่าสีซีแอลบี ทางผู้วิจัยจึงเลือกวัดค่าความโปร่งแสงและค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกจากการอ้างอิงระบบค่าสีซีไออีดีอี 2000 (CIEDE 2000)

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการจำลองสภาวะการใช้งานจริงในทางคลินิก ซึ่งส่งผลให้เกิดข้อจำกัดในงานวิจัยอยู่ในบางประการ กล่าวคือในงานวิจัยในครั้งนี้มีการตัดบล็อกเซรามิกออกเป็นแผ่นรูปทรงสี่เหลี่ยม หน้าตัดเรียบ มีความหนาของชิ้นงานเท่ากันตลอดทั้งชิ้น แต่ในทางคลินิกนั้นวัสดุบูรณะมีปุ่มนูน ส่วนเว้าโค้ง หรือหลุมร่องพื้นตามลักษณะกายวิภาคของฟันธรรมชาติ ซึ่งส่งผลต่อลักษณะของแสงที่ส่องผ่านเข้ามายังวัสดุ และเกิดการสะท้อนแสง กระเจิงแสง การหักเหของแสง รวมไปถึงการส่องผ่านของแสงที่อาจมีความแตกต่างออกไปจากวัตถุที่มีลักษณะแบนเรียบ และมีความหนาเท่ากันทั้งชิ้นงาน รวมไปถึงแผ่นพื้นหลังที่จำลองหลักยึดรากเทียมที่นำมาใช้ในการศึกษาทดลองในครั้งนี้ก็มีลักษณะแบนราบและมีความหนาเท่ากันตลอดทั้งชิ้น ซึ่งอาจส่งผลให้แสงที่ผ่านเข้ามามีลักษณะต่างจากในหลักยึดรากเทียมที่ใช้ในทางคลินิกที่มีลักษณะของส่วนเว้าโค้งได้ ดังนั้นในการศึกษาในอนาคตควรมีการทดสอบโดยทำการขึ้นรูปหลักยึดรากเทียมและครอบฟันบนรากเทียม เพื่อให้ได้ผลการศึกษาใกล้เคียงกับการใช้งานจริงในทางคลินิก

บรรณานุกรม

1. Watanabe H, Fellows C, An H. Digital Technologies for Restorative Dentistry. *Dental Clinics of North America*. 2022;66(4):567-90.
2. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *British dental journal*. 2008;204(9):505-11.
3. Phark J-H, Duarte S. Microstructural considerations for novel lithium disilicate glass ceramics: A review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2022;34.
4. white paper CEREC Tessera, Advanced lithium disilicate. 2020.
<http://www.dentsplysirona.com/en-ca/categories/restorative/cerectessera.html>.
Accessed June 1, 2022
5. Heffernan M. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part I: Core materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2002;88:4-9.
6. Heffernan M, Aquilino S, Diaz-Arnold A, Haselton D, Stanford C, Vargas M. Relative Translucency of Six All-Ceramic Systems. Part II: Core and Veneer Materials. *The Journal of Prosthetic dentistry*. 2002;88:10-5.
7. Spazzin A, Federizzi L, Barbon F, Boscato N, Radaelli M. Masking ability of different ceramic systems over a darkened substrate. *Stomatos*. 2016;22.
8. Jirajariyavej B, Wanapirom P, Anunmana C. Influence of implant abutment material and ceramic thickness on optical properties. *The Journal of Prosthetic dentistry*. 2018;119(5):819-25.
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. *The Journal of Prosthetic dentistry*. 2016;116(5):764-9.
10. Misch CE, Misch CM. Generic terminology for endosseous implant prosthodontics. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 1992;68(5):809-12.
11. Wadhvani CP, O'Brien R, Kattadiyil MT, Chung KH. Laboratory technique for coloring titanium abutments to improve esthetics. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2016;115(4):409-11.

12. 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. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2019;121(1):156-65.
13. Kohal Rj Fau - Att W, Att W Fau - Bächle M, Bächle M Fau - Butz F, Butz F. Ceramic abutments and ceramic oral implants. An update. *Periodontology 2000*. 2008; 47: 224-243.
14. Basegio MM, Pecho OE, Ghinea R, Perez MM, Della Bona A. Masking ability of indirect restorative systems on tooth-colored resin substrates. *Dental Materials*. 2019;35(6):e122-e30.
15. 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. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2019;31(5):457-64.
16. Pires LA, Novais PMR, Araújo VD, Pegoraro LF. Effects of the type and thickness of ceramic, substrate, and cement on the optical color of a lithium disilicate ceramic. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2017;117(1):144-9.
17. Skyllouriotis AL, Yamamoto HL, Nathanson D. Masking properties of ceramics for veneer restorations. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2017;118(4):517-23.
18. Pop-Ciutrla IS, Ghinea R, Ducea D, Ruiz-López J, Pérez MM, Colosi H. The effects of thickness and shade on translucency parameters of contemporary, esthetic dental ceramics. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2021;33.
19. Vichi A, Ferrari M Fau - Davidson CL, Davidson CL. Influence of ceramic and cement thickness on the masking of various types of opaque posts. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2000;83(4):412-7.
20. Dozić A, Kleverlaan Cj Fau - Meegdes M, Meegdes M Fau - van der Zel J, van der Zel J Fau - Feilzer AJ, Feilzer AJ. The influence of porcelain layer thickness on the final shade of ceramic restorations. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2003;90(6):563-70.
21. Kelly JR, Nishimura I, Campbell SD. Ceramics in dentistry: historical roots and current

- perspectives. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 1996;75(1):18-32.
22. Peampring C, Sanohkan S, editors. All-ceramic systems in Esthetic Dentistry : A review. *Mahidol Dental Journal*. 2016.
23. Jefferies SR. Abrasive finishing and polishing in restorative dentistry: a state-of-the-art review. *Dental Clinics North America*. 2007;51(2):379-97.
24. McDowall F. Introduction to dental materials, 4th edition. *British Dental Journal*. 2013;215(2):100.
25. Shen JZ. *Advanced Ceramics for Dentistry*. Oxford: Butterworth-Heinemann. 2014; p.103-22.
26. Scientific documentation IPS e.Max cad monolithithic solutions labside. 2017. https://ivodent.hu/_docs/772_379d2f11a072ee3ad1c4da7e8d7df04a.pdf. Accessed 1 June 2022
27. Zarone F, Di Mauro MI, Ausiello P, Ruggiero G, Sorrentino R. Current status on lithium disilicate and zirconia: a narrative review. *BMC Oral Health*. 2019;19(1):134.
28. Zarone F, Ferrari M, Mangano FG, Leone R, Sorrentino R. "Digitally Oriented Materials": Focus on Lithium Disilicate Ceramics. *International Journal of Dentistry*. 2016; 9840594.
29. Vichi A, Zhao Z, Mutahar M, Paolone G, Louca C. Translucency of Lithium-Based Silicate Glass–Ceramics Blocks for CAD/CAM Procedures: A Narrative Review. *Dental Materials*. 2023; 16(19).
30. Reid DA, Matis JI, Lien W, Raimondi CJ, Arnason SC, DuVall NB, et al. Optical and Mechanical Properties of New Ceramic CAD/CAM Materials. *Operative Dentistry*. 2023;48(4):425-34.
31. Sithasect W CB. Dental CAD/CAM System and Clinical Applications. *Ching Mai dental journal*. 2018;39(1):13-24
32. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dental Materials*. 2009; 28(1):44-56.
33. Corrales EB, editor *Innovation in Dentistry : CAD / CAM Restorative Procedures*

- 2008.<https://www.cadstar.org/sites/default/files/private/documents/CADStar%20Kli m%20Innovation%20in%20Dentistry.pdf>. Accessed June 1, 2022
34. Pal T. Fundamentals and history of implant dentistry. *Journal of the International Clinical Dental Research Organization*. 2015;7:6.
 35. Brånemark Pi Fau - Hansson BO, Hansson Bo Fau - Adell R, Adell R Fau - Breine U, Breine U Fau - Lindström J, Lindström J Fau - Hallén O, Hallén O Fau - Ohman A, et al. Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery Supplementum*. 1977;16:1-132.
 36. Saini M, Singh Y, Arora P, Arora V, Jain K. Implant biomaterials: A comprehensive review. *World journal of clinical cases*. 2015;3:52-7.
 37. Apratim A, Eachempati P, Krishnappa Salian KK, Singh V, Chhabra S, Shah S. Zirconia in dental implantology: A review. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*. 2015;0.
 38. Misch CE. Chapter 2 - Generic Root Form Component Terminology. *Dental Implant Prosthetics (Second Edition)*. St. Louis: Mosby; 2015. p. 26-45.
 39. Ganz S. Implant Abutments: A Comparison of Stock, Custom-Cast, and Computer Milled Restorative Techniques. *Implant Dentistry*. 2002;11(4).
 40. Pisulkar S, Godbole S, Dahihandekar C. Implant Abutment Materials : A Review. *JODRDMIMs*. 2021.
 41. Nakamura K, Kanno T Fau - Milleding P, Milleding P Fau - Ortengren U, Ortengren U. Zirconia as a dental implant abutment material: a systematic review. *The International journal of prosthodontics*. 2010;23:299-309
 42. Ajlouni K, Elshahawy W, Ajlouni R, Sadakah A. Color masking measurement for ceramic coating of titanium used for dental implants. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2018;119(3):426-31.
 43. Sampatanukul T, Serichetaphongse P, Pimkhaokham AA-OX. Histological evaluations and inflammatory responses of different dental implant abutment materials: A human histology pilot study. *Clinical Implant Dentistry and Related*

- Research. 2018; 20: 160–169.
44. Serichetaphongse P, Chengprapakorn W, Thongmeearkom S, Pimkhaokham A. Immunohistochemical assessment of the peri-implant soft tissue around different abutment materials: A human study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2020;22(5):638-46.
 45. Peng M, Zhao WJ, Hosseini M, Zhou WJ, Xiao T, Chuan JL. Influence of Restorative Materials on Color of Implant-Supported Single Crowns in Esthetic Zone: A Spectrophotometric Evaluation. *Biomed Research International*. 2017;2017:5034358.
 46. Article R, Kumar A, Ar L, Dathan P, Nair C. Basics of Colour Science and Prosthodontics -A Review. 2021;5:2581-4893.
 47. Sproull RC. Color matching in dentistry. Part I. The three-dimensional nature of color. 1973. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2001;86(5):453-7.
 48. Değirmenci A. Current Color Systems Used in Dentistry. *INSAC Academic Studies on Health Science*. 2021. p.189-98.
 49. Vadher RK, Parmar GJ, Kanodia S, Chaudhary A, Kaur M, Savadhariya T. Basics of Color in Dentistry: A Review. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*. 2014;13:78-85.
 50. Gómez-Polo C, Montero J, Gómez-Polo M, Martín Casado A. Comparison of the CIELab and CIEDE 2000 Color Difference Formulas on Gingival Color Space. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 2020;29(5):401-8.
 51. 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. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2016;115(1):65-70.
 52. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *Journal of Dentistry*. 2010;38:e2-e16.
 53. Dos Santos RB, Collares K, Brandeburski SBN, Pecho OE, Della Bona A. Experimental methodologies to evaluate the masking ability of dental materials: A systematic

- review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2021;33(8):1118-31.
54. Standardization IOF. ISO/TR 28642: Dentistry — guidance on colour measurement. Geneva: Standardization International Organization for Standardization. 2016.
55. Paravina RD, Ghinea R Fau - Herrera LJ, Herrera Lj Fau - Bona AD, Bona Ad Fau - Igiel C, Igiel C Fau - Linninger M, Linninger M Fau - Sakai M, et al. Color difference thresholds in dentistry. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2015;27.
56. Johnston W. Review of Translucency Determinations and Applications to Dental Materials. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2014;26.
57. Kim SJ, Son HH, Cho BH, Lee IB, Um CM. Translucency and masking ability of various opaque-shade composite resins. *Journal of Dentistry*. 2009;37(2):102-7.
58. Della Bona A, Nogueira AD, Pecho OE. Optical properties of CAD–CAM ceramic systems. *Journal of Dentistry*. 2014;42(9):1202-9.
59. Barizon KT, Bergeron C, Vargas MA, Qian F, Cobb DS, Gratton DG, et al. Ceramic materials for porcelain veneers. Part I: Correlation between translucency parameters and contrast ratio. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2013;110(5):397-401.
60. Nogueira AD, Della Bona A. The effect of a coupling medium on color and translucency of CAD–CAM ceramics. *Journal of Dentistry*. 2013;41:e18-e23.
61. Arif R, Yilmaz B, Johnston W. In vitro color stainability and relative translucency of CAD-CAM restorative materials used for laminate veneers and complete crowns. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2019;122.
62. Gunal B, Ulusoy MM. Optical properties of contemporary monolithic CAD-CAM restorative materials at different thicknesses. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2018;30(5):434-41.
63. Oh S, Shin S-M, Kim H-J, Paek J, Kim S-J, Yoon TH, et al. Influence of glass-based dental ceramic type and thickness with identical shade on the light transmittance and the degree of conversion of resin cement. *International Journal of Oral Science*. 2018;10.
64. Chongkavinit P, Anunmana C. Optical effect of resin cement, abutment material, and

- ceramic thickness on the final shade of CAD-CAM ceramic restorations. The Journal of Prosthetic Dentistry. 2021;125(3):517.e1-.e8.
65. Soares PM, Cadore-Rodrigues AC, Packaeser MG, Bacchi A, Valandro LF, Pereira GKR, et al. Masking ability of implant abutment substrates by using different ceramic restorative systems. The Journal of Prosthetic Dentistry. 2022;128(3):496.e1-.e8.
66. Farrag KM, Bakry SI, Aly YM. Effect of yellow anodization of titanium on the shade of lithium disilicate ceramic with different thicknesses. The Journal of Prosthetic Dentistry. 2022;128(4):793 e1- e6.
67. Wang T, Wang L, Lu Q, Fan Z. Influence of anodized titanium abutments on the esthetics of the peri-implant soft tissue: A clinical study. The Journal of Prosthetic Dentistry. 2021;125(3):445-52.
68. 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. Journal of Esthetic and Restorative Dentistry. 2017;29(6):409-15.



ตาราง 8 แสดงค่าสีในแนวแกน L แกน a และแกน b ของบล็อกเซรามิก

ชนิดความโปร่งแสง	ชนิดเซรามิก	ค่าสี		
		แกน L	แกน a	แกน b
HT	ECAD	75.3	-1.5	12
	TESS	72.9	-0.8	27.8
MT	ECAD	82.3	0.1	17.3
	TESS	76.1	1.1	42.7

ตาราง 9 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง ระหว่างตัวแปรต้นและค่าความโปร่งแสงของเซรามิก

Source	Sum of Squares	df	Mean square	F	Sig
Thickness	906.950	3	302.317	830.143	.000
Translucency	69.797	1	69.797	191.659	.000
Type	87.384	1	87.384	239.952	.000
Thickness * Translucency	7.858	3	2.619	7.193	.000
Thickness * Type	3.003	3	1.001	2.748	.046
Translucency * Type	.289	1	.289	.793	.375
Thickness * Translucency * Type	4.688	3	1.563	4.291	.007
Error	40.787	112	.364		
Total	7629.592	128			

ตาราง 10 แสดงตารางสถิติการทดสอบของครัสคาล-วัลลิส(Kruskal-Wallis test)ของค่าความแตกต่างของสีของเซรามิก

DeltaE	
Kruskal-Wallis H	437.600
df	63
Asymp. Sig.	.000

a. Kruskal Wallis Test

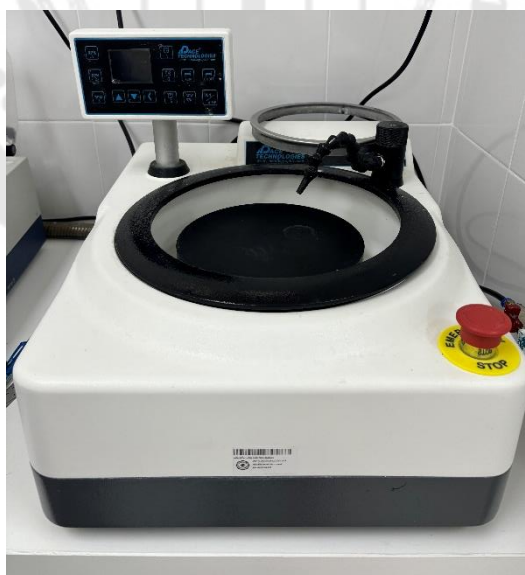
b. Grouping Variable: Group

ตาราง 11 แสดงเลขการผลิตของเซรามิกชนิดต่างๆ

ชื่อเซรามิก	ชื่อทางการค้า	ชนิดความโปร่งแสง	เลขที่ผลิต
ลิเทียมไดซิลิเกต	IPS™ e.max CAD	สูง (HT)	YB54GB
	IPS™ e.max CAD	ปานกลาง (MT)	Z03G45
แอดวานซ์ลิเทียมไดซิลิเกต	CEREC Tessera™	สูง (HT)	16013116
	CEREC Tessera™	ปานกลาง (MT)	16013448



ภาพประกอบ 16 แสดงเครื่องตัดไมเคิลยเพชร (IsoMet 1000 precision saw , Buehler , U.S.A.)



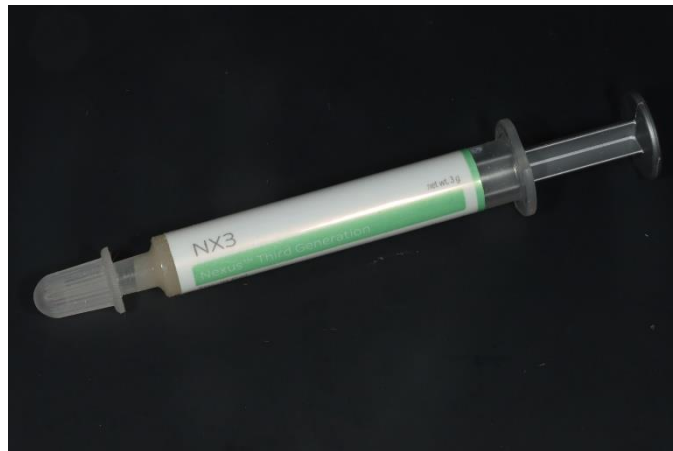
ภาพประกอบ 17 แสดงเครื่องขัดผิววัสดุ (Nano 1000T grinder polisher, USA)



ภาพประกอบ 18 แสดงสารเคลือบผิวเซรามิก (Dentsply Sirona universal overglaze high flu, Dentsply Sirona , USA)



ภาพประกอบ 19 แสดงสารเคลือบผิวเซรามิกสีธรรมชาติ (Natural-shade glaze, IPS e.max CAD crystal/glaze paste, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)



ภาพประกอบ 20 แสดงซีเมนต์ดองสีฟันสีใส (Nx3 Try in gel-clear, Kerr, USA)



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

วัน เดือน ปี เกิด

7 มิถุนายน 2536

สถานที่เกิด

ลพบุรี

วุฒิการศึกษา

ปริญญาทันตแพทยศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ.2562

ที่อยู่ปัจจุบัน

82/92 หมู่ 8 ตำบลท่าศาลา อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี 15000

