



ความสามารถในการปิดสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม
บนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่ต่างกัน

MASKING ABILITY OF CAD/CAM LITHIUM DISILICATE CERAMIC
ON VARIOUS TOOTH-COLORED RESIN SUBSTRATES

วิทิตา อัครเอกจิตต์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2564

ความสามารถในการปิดสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม
บนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่ต่างกัน



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

MASKING ABILITY OF CAD/CAM LITHIUM DISILICATE CERAMIC
ON VARIOUS TOOTH-COLORED RESIN SUBSTRATES



WITHITA ACARAEKJIT

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

Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University

2021

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ความสามารถในการปิดสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม
บนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่ต่างกัน

ของ

วิทิตา อัครเอกจิตต์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร.วิบูลย์ไพศาลกอบฤทธิ์)

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.นิยม อำนวยรัตน์สกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ เจียรพุดมิ)

ชื่อเรื่อง	ความสามารถในการปิดสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม บนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่ต่างกัน
ผู้วิจัย	วิทิตา อัครเอกจิตต์
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2564
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. วิบูลย์ไพศาลกอบฤทธิ์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการปิดสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม ความโปร่งแสงปานกลาง ที่ความหนาต่างๆ บนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่ต่างกัน ชิ้นงานถูกเตรียมโดยใช้บล็อกไอพีเอสอีแมกซ์แคด ความโปร่งแสงปานกลาง สี A2 แบ่งเป็น 4 กลุ่มตามความหนาแผ่นเซรามิกได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตรกลุ่มละ 20 ชิ้น และแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อยตามสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันได้แก่ ND3, ND5, ND7 และ ND9 ($n = 5$) นำแผ่นเซรามิกไปเคลือบผิวและเผา จากนั้นยัดเข้ากับแผ่นเรซินสีเหมือนฟันด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองรูปแบบวาริโอลิงค์เอสเทติก สีใส วัดค่าสีชิ้นงานด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ หาค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นโดยเปรียบเทียบกับบล็อกอ้างอิง ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางและการจับคู่แบบทู่ก็ย์ โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) ร่วมกับการใช้เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสีที่สามารถรับรู้ได้และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสีที่สามารถยอมรับได้ ผลการศึกษาพบว่าเซรามิกมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีความหนาเพิ่มขึ้น โดยมีค่าน้อยที่สุดในกลุ่มความหนา 0.5 มิลลิเมตรและมากที่สุดในกลุ่มความหนา 2.0 มิลลิเมตร พื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND9 ส่งผลให้เซรามิกมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นมากที่สุด รองลงมาคือสี ND5 ND3 และ ND7 ตามลำดับ โดยไม่มีกลุ่มความหนาเซรามิกใดเลยที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นน้อยกว่าเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสีที่สามารถยอมรับได้บนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND9 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม ความโปร่งแสงปานกลาง สามารถปิดสีพื้นหลังได้ดีขึ้นเมื่อเซรามิกมีความหนาเพิ่มขึ้น และสีพื้นหลังมีผลต่อความสามารถในการปิดสีอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ : ความสามารถในการปิดสี, แคด/แคม, ลิเทียมไดซิลิเกต

Title	MASKING ABILITY OF CAD/CAM LITHIUM DISILICATE CERAMIC ON VARIOUS TOOTH-COLORED RESIN SUBSTRATES
Author	WITHITA ACARAEKJIT
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2021
Thesis Advisor	Dr. Vibul Paisankobrit

The purpose of this study is to evaluate the masking ability of medium translucent CAD/CAM lithium disilicate ceramic with difference thicknesses on various tooth-colored resin substrates. Ceramic slides were prepared from the A2 shade IPS e.max CAD MT blocks in four different thicknesses (0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 mm), which further divided into four subgroups according to the shades of tooth-colored resin substrate (ND3, ND5, ND7 and ND9) ($n = 5$). After glazing and firing, the cementation process was done using dual-cured Variolink Esthetic cement in a neutral shade. The color of each specimen was measured with a spectrophotometer. The color differences (ΔE_{ab}^*) between specimens and the reference block were calculated. The data were analyzed with two-way ANOVA and the Turkey HSD test ($\alpha = 0.05$). The perceptibility threshold and acceptability threshold were also used. The results showed a significant decrease in ΔE_{ab}^* value as the ceramic thickness increased. The group of 0.5 mm thickness demonstrated the highest ΔE_{ab}^* value while the lowest value was obtained from 2.0 mm thickness. The ND9 shade had the greatest influence on ΔE_{ab}^* value, followed by ND3, ND5 and ND7 respectively. None of the groups on the ND9 substrate had ΔE_{ab}^* below the acceptability threshold. In conclusion, the masking ability of CAD/CAM lithium disilicate ceramic improved with greater thickness. The substrate shades significantly influenced the resulting optical color of the ceramic.

Keyword : Masking ability, CAD/CAM, Lithium disilicate

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเสร็จสมบูรณ์มิได้ หากปราศจากคำแนะนำอันเป็นประโยชน์จากอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย อาจารย์ ทพ.ดร.วิบูลย์ ไพศาลกอบฤทธิ์ อาจารย์ ทพ.นทีธร พฤษะวีชรกุล และอาจารย์ ทพ.ดร.ณัฐพล กิตติคุณเดชา ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ตลอดจนคณะกรรมการสอบเค้าโครงร่างปริญญานิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบกับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทเงินรายได้หน่วยงาน สังกัดคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ทางผู้วิจัยจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณผู้มีพระคุณดังกล่าวมา ณ ที่นี้

หนึ่งในขั้นตอนการทดลองนั้นได้รับความอนุเคราะห์ทั้งสถานที่ทำการทดลองและอุปกรณ์จากหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ เครื่องตัดใบเลื่อยเพชร เครื่องขัดผิววัสดุ และกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ จากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และเดาเฝ้าเซรามิกจากแล็บทันตกรรม เคอิชिकाอิ พร้อมทั้งได้รับคำแนะนำและการอำนวยความสะดวกจากเจ้าหน้าที่ทุกท่านจนสามารถทำงานเสร็จสิ้นสมบูรณ์ได้ตามที่วางแผนไว้ จึงขอกล่าวแสดงความซาบซึ้งในความอนุเคราะห์นี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกล่าวขอบพระคุณครอบครัวที่คอยให้ความสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนกระทั่งสามารถดำเนินปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

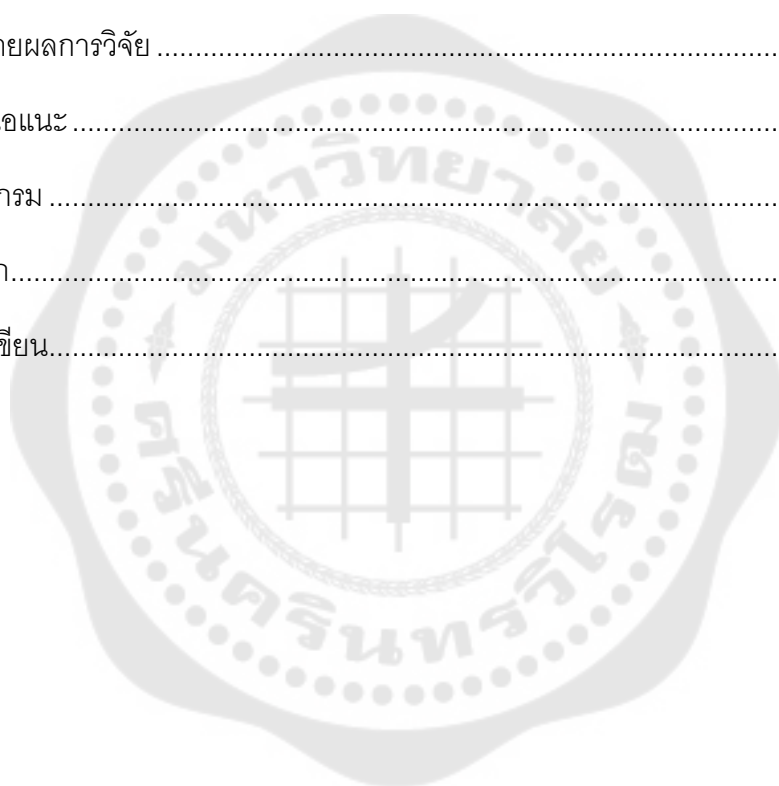
วิทิตา อัครเอกจิตต์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย	3
ความสำคัญของการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย	4
ตัวแปรที่ศึกษา.....	4
กรอบแนวคิดการวิจัย	4
สมมติฐานในการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
1. เซรามิกทางทันตกรรม	6
1.1 พัฒนาการของเซรามิก	6
1.2 ประเภทของเซรามิก	7
1.3 กระบวนการขึ้นรูปเซรามิก	9
2. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต	12
2.1 โครงสร้างระดับไมโคร.....	13

2.2 สมบัติเชิงกล	14
2.3 สมบัติทางแสง	14
3. ปัจจัยที่มีผลต่อสีของเซรามิก	17
3.1 พื้นรอง	17
3.2 เซรามิก.....	18
3.3 เรซินซีเมนต์	19
4. แสงและสี	19
4.1 ระบบค่าสี.....	20
4.2 เครื่องวัดค่าสี	22
4.3 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสี.....	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	25
การออกแบบงานวิจัย.....	25
การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง	25
ประชากรที่ใช้ในงานวิจัย.....	25
กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย.....	25
เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์	26
ขั้นตอนการทดลอง.....	28
1. การเตรียมแผ่นเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต	28
2. การเตรียมบล็อกเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตสำหรับใช้อ้างอิง.....	31
3. การเตรียมแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน.....	32
4. การยัดแผ่นเซรามิกเข้ากับแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน	34
5. การวัดค่าสีชิ้นงาน.....	38
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	39

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	40
1. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเชิงพรรณนา.....	40
2. ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ.....	42
3. ผลการวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง	48
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	51
สรุปผลการวิจัย.....	51
อภิปรายผลการวิจัย	52
ข้อเสนอแนะ	60
บรรณานุกรม	61
ภาคผนวก.....	68
ประวัติผู้เขียน.....	79



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงข้อมูลโดยสรุปของงานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสี	24
ตาราง 2 แสดงชื่อผลิตภัณฑ์ บริษัทผู้ผลิต และส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	27
ตาราง 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของ เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*) จำแนกตามความหนาของเซรามิก	41
ตาราง 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของ เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*) จำแนกตามสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน	42
ตาราง 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของตัวแปรอิสระความหนาของ เซรามิก และสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน	43
ตาราง 6 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวจำแนกตามสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันโดยมีความหนาของเซรามิกเป็นตัวแปรอิสระ	44
ตาราง 7 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวจำแนกตามความหนาของเซรามิก โดยมีสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันเป็นตัวแปรอิสระ	45
ตาราง 8 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของ เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*) จำแนกตามความหนาของเซรามิกและสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน	46
ตาราง 9 แสดงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE_{ab}^* ของบล็อกเซรามิกและแผ่นเรซินสีเหมือนฟันสีต่างๆ ...	49

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 แสดงภาพเซรามิกที่ยังติดอยู่กับสปรู (Sprue) จากการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน . 10	10
ภาพประกอบ 2 แสดงขั้นตอนการทาสีปลงบนยับชำมตายในวิธีขึ้นรูปเซรามิกแบบสลีปแคสต์ติ้ง . 10	10
ภาพประกอบ 3 แสดงขั้นตอนการกลึงชิ้นงานด้วยระบบแคด/แคม 12	12
ภาพประกอบ 4 แสดงลักษณะโครงสร้างของไอพีเอสอีแมกซ์แคดในรูปผลึกกิตเทียมเมตาซิลิเกต . 13	13
ภาพประกอบ 5 แสดงลักษณะโครงสร้างของไอพีเอสอีแมกซ์แคดในรูปผลึกกิตเทียมไดซิลิเกต 13	13
ภาพประกอบ 6 แสดงสีของไอพีเอสอีแมกซ์แคดในรูปผลึกกิตเทียมเมตาซิลิเกต 15	15
ภาพประกอบ 7 แสดงสีของไอพีเอสอีแมกซ์แคดในรูปผลึกกิตเทียมไดซิลิเกต 15	15
ภาพประกอบ 8 แสดงปรากฏการณ์พื้นฐานเมื่อแสงตกกระทบกับวัตถุหรือตัวกลาง 16	16
ภาพประกอบ 9 แสดงระบบค่าสีมินเซลล์ 20	20
ภาพประกอบ 10 แสดงระบบสีซีแอลบี 22	22
ภาพประกอบ 11 แสดงการตัดบล็อกเซรามิกด้วยเครื่องตัดใบเลื่อยเพชร 28	28
ภาพประกอบ 12 แสดงลักษณะผิวของเซรามิกที่ผ่านการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600, 800, 1000 และ 1200 เมื่อมองดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ 29	29
ภาพประกอบ 13 แสดงการขัดผิวแผ่นเซรามิกด้วยเครื่องขัดผิววัสดุ 30	30
ภาพประกอบ 14 แสดงการทำความสะอาดแผ่นเซรามิกด้วยเครื่องล้างความถี่สูง 30	30
ภาพประกอบ 15 แสดงการเผาแผ่นเซรามิกด้วยเตาเผาเซรามิก 31	31
ภาพประกอบ 16 แสดงแผ่นเซรามิกความหนา 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตรที่ผ่านการเคลือบผิวและเผาแล้ว 31	31
ภาพประกอบ 17 แสดงบล็อกเซรามิกสำหรับใช้อ้างอิง 32	32
ภาพประกอบ 18 แสดงแม่พิมพ์สำหรับทำแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน 33	33
ภาพประกอบ 19 แสดงการทำแผ่นเรซินสีเหมือนฟันด้วยแม่พิมพ์ 33	33

ภาพประกอบ 20 แสดงการขัดผิวแผ่นเรซินสีเหมือนฟันด้วยเครื่องขัดผิววัสดุ	34
ภาพประกอบ 21 แสดงแผ่นเรซินสีเหมือนฟันสี ND3, ND5, ND7 และ ND9	34
ภาพประกอบ 22 แสดงแผ่นฟอยล์โลหะไร้สนิมหนา 0.1 มิลลิเมตรสำหรับใช้เป็นตัวคั่นระหว่างแผ่นเซรามิกและแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน.....	35
ภาพประกอบ 23 แสดงบล็อกสำหรับใช้ในขั้นตอนการยัดเรซินซีเมนต์.....	35
ภาพประกอบ 24 แสดงการใช้แผ่นฟอยล์โลหะไร้สนิมคั่นระหว่างแผ่นเซรามิกและ แผ่นเรซินสีเหมือนฟัน.....	36
ภาพประกอบ 25 แสดงการปิดทับแผ่นเรซินสีเหมือนฟันและตัวคั่นด้วยแผ่นเซรามิก	37
ภาพประกอบ 26 แสดงชิ้นงานที่ผ่านการยัดด้วยเรซินซีเมนต์.....	37
ภาพประกอบ 27 แสดงกล่องดำสำหรับวัดค่าสีชิ้นงาน	38
ภาพประกอบ 28 แสดงการวัดค่าสีชิ้นงานด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	38
ภาพประกอบ 29 แสดงค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*) จำแนกตามความหนาของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตและสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันเปรียบเทียบกับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสี	48

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ปัจจุบันการรักษาแบบอนุรักษ์ (Conservative treatment) เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง โดยเป็นการบูรณะที่มีการสูญเสียโครงสร้างฟันน้อยซึ่งเคลือบฟัน (Enamel) และเนื้อฟัน (Dentine) นั้นไม่มีวัสดุทางทันตกรรมใดที่สามารถทดแทนได้ดีเท่า ดังนั้นการรักษาด้วยวิธีการที่รุกรานน้อย (Minimally invasive) เพื่อคงสภาพโครงสร้างฟันที่แข็งแรงจึงเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยม⁽¹⁾ จากการพัฒนาอย่างรวดเร็วของวัสดุเซรามิก (Ceramic) และระบบสารยึดติด (Adhesive system) ทำให้ทันตแพทย์มีทางเลือกในการรักษาเพิ่มขึ้นและสามารถเลือกที่จะใช้วีเนียร์ (Veneer) ซึ่งเป็นวิธีการรักษาเชิงอนุรักษ์ที่มีการกรอฟันน้อยและมีความสวยงามสูง⁽²⁾ เป็นทางเลือกการรักษา นอกเหนือไปจากการทำครอบฟัน โดยการปิดผิวหน้าฟันด้วยวัสดุที่บางและมีลักษณะใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติเช่นเซรามิก ในการรักษาบริเวณฟันหน้าสำหรับผู้ป่วยที่มีปัญหาเกี่ยวกับสีฟัน รูปร่างฟัน และการเรียงตัวของฟัน ซึ่งส่งผลต่อความมั่นใจในการเข้าสังคมของผู้ป่วย

วัสดุเซรามิกเริ่มได้รับความสนใจเมื่อ Charles Land ได้นำเสนอครอบฟันเซรามิกชนิดเฟลสปาทิก (Feldspathic ceramic) เป็นครั้งแรกในปี 1903⁽³⁾ และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมาทั้งในเรื่องของความแข็งแรง ความสวยงาม และกระบวนการผลิต ทำให้เกิดเป็นเซรามิกอีกหลายชนิดในเวลาต่อมา ซึ่งเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate ceramic) เป็นหนึ่งในเซรามิกที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในการทำวีเนียร์⁽⁴⁾ โดยเป็นกลาสเซรามิก (Glass ceramic) ที่มีการใส่ผลึกลิเทียมไดซิลิเกตเพิ่มเข้าไปเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ทำให้มีสมบัติเชิงกล (Mechanical property) ที่ดี มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) และให้ความสวยงามใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ โดยเฉพาะในระยะหลังที่ผู้ป่วยมีความต้องการด้านความสวยงามมากขึ้น⁽⁵⁾ ทำให้การใช้ระบบเซรามิกล้วน (All-ceramic) ในการบูรณะเข้ามามีบทบาทสำคัญมากขึ้น เนื่องจากการรักษาที่ประสบความสำเร็จไม่ใช่เพียงการรักษาโรคให้หายและฟันบูรณะทำงานจนสามารถกลับมาใช้งานได้ตามปกติเท่านั้นแต่ยังรวมถึงความสวยงามของผลการรักษาและความพึงพอใจของผู้ป่วยด้วย

จากผลการศึกษาของ Karaman และคณะในปี 2018⁽⁶⁾ พบว่าสีฟันตัดหน้าบนของคนส่วนใหญ่จะมีสี A2 แต่การบูรณะด้วยเซรามิกล้วนบริเวณฟันหน้าให้ได้ผลลัพธ์ของสีตามต้องการนั้นเป็นเรื่องท้าทาย⁽⁷⁾ เนื่องจากเซรามิกเป็นวัสดุที่มีความใสทำให้แสงสามารถส่องผ่านและได้รับอิทธิพลจากสีเนื้อฟันด้านใต้ แม้ว่าลักษณะดังกล่าวจะทำให้เซรามิกมีลักษณะใกล้เคียงกับเคลือบ

ฟันส่งผลให้มีความสวยงามใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติแต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้ผลลัพธ์ของสีนั้นมีความซับซ้อนจากอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความใสและความหนาของเซรามิก สีเนื้อฟัน รวมไปถึงเรซินซีเมนต์ที่ใช้ล้วนมีผลต่อสีของวีเนียร์ทั้งสิ้น อย่างไรก็ตาม Vichi และคณะในปี 2000⁽⁸⁾ พบว่าสีและความหนาของเรซินซีเมนต์ที่ 100 และ 200 ไมโครเมตรส่งผลต่อสีที่มองเห็นของเซรามิกเพียงเล็กน้อยและไม่สำคัญในทางคลินิก และมีหลายการศึกษา^(7, 9-13) ที่แสดงให้เห็นว่ายิ่งเซรามิกมีความหนาเพิ่มขึ้นจะทำให้มีความสามารถในการปิดสี (Masking ability) ดีขึ้น แต่ในการทำวีเนียร์นั้นเซรามิกมักจะบางทำให้สีของเนื้อฟันด้านใต้มีอิทธิพลอย่างมากและยากที่จะปกปิดเนื้อฟันที่มีสีเข้มได้⁽⁴⁾ โดยความหนาขั้นต่ำที่แนะนำของวีเนียร์สำหรับเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตได้แก่ ไอพีเอสอีแมกซ์เพรส (IPS e.max Press) อยู่ที่ 0.3 มิลลิเมตร⁽¹⁴⁾ และไอพีเอสอีแมกซ์แคด (IPS e.max CAD) คือ 0.4 มิลลิเมตร⁽¹⁵⁾ ซึ่งการจะหลีกเลี่ยงอิทธิพลจากสีเนื้อฟันอาจจะต้องใช้เซรามิกที่มีความหนามากถึง 2 มิลลิเมตร⁽¹⁶⁾ อย่างไรก็ตามความหนาของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตที่เหมาะสมในการปิดสีของเนื้อฟันยังคงไม่ชัดเจน

ไอพีเอสอีแมกซ์ (IPS e.max) เป็นเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางซึ่งสามารถขึ้นรูปได้ 2 วิธีได้แก่ การอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Heat-pressed) โดยใช้ไอพีเอสอีแมกซ์เพรส (IPS e.max Press) และการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการผลิตหรือแคด/แคม (CAD/CAM) โดยใช้ไอพีเอสอีแมกซ์แคด (IPS e.max CAD) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีล่าสุดในการขึ้นรูปเซรามิก ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทำให้ระบบแคด/แคมมีการพัฒนาขึ้นอย่างมากและมีแนวโน้มที่ทันตแพทย์จะหันมาใช้ในการรักษามากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยกระบวนการทำงานแบบดิจิทัล (Digital workflow) ซึ่งมีความสะดวก รวดเร็วและแม่นยำด้วยระบบคอมพิวเตอร์ เป็นการลดความผิดพลาดจากขั้นตอนการทำงานของมนุษย์ อีกทั้งระบบแคด/แคมยังทำให้ทันตแพทย์สามารถทำการบูรณะโดยผลิตชิ้นงานข้างเก้าอี้ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพและสร้างชิ้นงานให้เสร็จภายในครั้งเดียวได้ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ป่วยในปัจจุบันที่ต้องการการรักษาที่สะดวกสบาย รวดเร็ว มีคุณภาพและมีความสวยงาม⁽¹⁷⁾ นอกจากนี้ในปัจจุบันค่าความต้านทานแรงดัด (Flexural strength) ของไอพีเอสอีแมกซ์แคดมีค่ามากกว่าไอพีเอสอีแมกซ์เพรสตามเอกสารของบริษัท Ivoclar^(14, 15) ที่เป็นผู้ผลิต อีกทั้งยังมียังงานวิจัย⁽¹⁸⁻²⁰⁾ ที่แสดงให้เห็นว่าไอพีเอสอีแมกซ์แคดมีความโปร่งแสงน้อยกว่าไอพีเอสอีแมกซ์เพรสทำให้มีความสามารถในการปิดสีที่ดีกว่า

ไอพีเอสอีแมกซ์มีหลายความโปร่งแสงให้เลือกใช้ได้แก่ ความโปร่งแสงมาก (High translucency, HT) ความโปร่งแสงปานกลาง (Medium translucency, MT) และความโปร่งแสง

น้อย (Low translucency, LT) ทั้งสามชนิดนั้นสามารถใช้ในการบูรณะด้วยวีเนียร์ได้ตามข้อบ่งชี้ของผู้ผลิต โดยบล็อกความโปร่งแสงมากนั้นมีความใสมากที่สุดใกล้เคียงกับเคลือบฟันและสามารถสะท้อนสีกลมกลืนไปกับฟันข้างเคียง (Chameleon effect)⁽²¹⁾ ทำให้เป็นชนิดที่ให้ความสวยงามสูงใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติมากที่สุด แต่การที่มีความใสมากทำให้ปัจจัยต่างๆมีอิทธิพลต่อสีของเซรามิกมากเช่นกัน ส่งผลให้การควบคุมผลลัพธ์สีให้ได้ตามต้องการเป็นเรื่องยาก โดยเฉพาะในฟันที่มีเนื้อฟันสีเข้มซึ่งจะทำให้วีเนียร์สะท้อนสีคล้ำออกมา ในขณะที่บล็อกความโปร่งแสงน้อยนั้นมีความใสน้อยที่สุดทำให้ระดับความเข้มของสีเนื้อฟันที่ปิดได้มากกว่า แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้มีความสวยงามลดลงและอาจจำเป็นต้องใช้เทคนิคแบ็ก (Cut-back technique) เพื่อเพิ่มชั้นเซรามิกที่มีความใสที่ด้านริมฝีปาก (Labial) เพื่อเพิ่มความสวยงาม⁽²¹⁾ ดังนั้นบล็อกความโปร่งแสงปานกลางจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจโดยสามารถปิดสีเนื้อฟันได้ดีกว่าบล็อกความโปร่งแสงมาก ในขณะเดียวกันก็มีความใสและสวยงามมากกว่าบล็อกความโปร่งแสงน้อย โดยมีหลายงานวิจัยที่ทำการทดลองเกี่ยวกับความสามารถในการปิดสีของบล็อกความโปร่งแสงมาก^(4, 7, 9, 20) และความโปร่งแสงน้อย^(4, 7, 9, 10, 13) ในขณะที่บล็อกความโปร่งแสงปานกลางนั้นมีข้อมูลน้อยและควรที่จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยในครั้งนี้คือเพื่อศึกษาความสามารถในการปิดสีฟันของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม ความโปร่งแสงปานกลางที่ความหนาต่างๆโดยวัดการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกบนพื้นรองที่มีความเข้มสีแตกต่างกัน

ความมุ่งหมายของการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการปิดสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม ความโปร่งแสงปานกลาง โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกที่ความหนาต่างๆบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่มีความเข้มสีแตกต่างกัน

ความสำคัญของการวิจัย

การศึกษานี้ต้องการทดสอบความสามารถในการปิดสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม ความโปร่งแสงปานกลางที่ความหนาต่างๆบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันซึ่งเป็นตัวแทนของฟันหลักยึด (Abutment) ในผู้ป่วยที่มีความเข้มสีแตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในทางคลินิกโดยเป็นแนวทางสำหรับการวางแผนการรักษาในการกรอแต่งฟันและการเลือกใช้เซรามิกชนิดนี้ในการบูรณะบริเวณฟันหน้าได้อย่างเหมาะสม ได้ผลลัพธ์การรักษาที่มีความสวยงามและเป็นที่ยอมรับของผู้ป่วย

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory experimental research) โดยนำเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตคือ ไอพีเอสอีแมกซ์แคด (IPS e.max CAD) ความโปร่งแสงปานกลาง (Medium translucency) สี A2 ที่มีความหนาแตกต่างกันได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตร มายึดบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่มีความเข้มสีแตกต่างกันได้แก่ ND3, ND5, ND7 และ ND9 ด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองรูปแบบ (Dual cure) เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิก

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรอิสระ

ความหนาของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต และสีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน

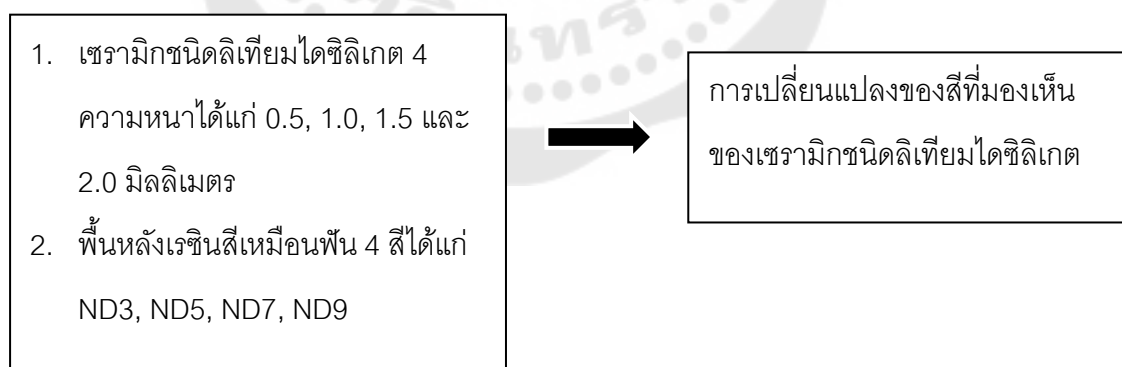
ตัวแปรตาม

การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต

ตัวแปรควบคุม

ขนาดของชิ้นงาน ความหนาของแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน สีและความหนาของเรซินซีเมนต์ และตำแหน่งหัววัดของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

กรอบแนวคิดการวิจัย



สมมติฐานในการวิจัย

สมมติฐานที่ 1

H_0 : การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตไม่แตกต่างกันในแต่ละความหนาของเซรามิก ภายใต้สีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันเดียวกัน

H_1 : การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแตกต่างกันในแต่ละความหนาของเซรามิก ภายใต้สีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันเดียวกัน

สมมติฐานที่ 2

H_0 : การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตไม่แตกต่างกันในแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน ภายใต้ความหนาเซรามิกเดียวกัน

H_1 : การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแตกต่างกันในแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน ภายใต้ความหนาเซรามิกเดียวกัน



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เซรามิกทางทันตกรรม
2. เซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต
3. ปัจจัยที่มีผลต่อสีของเซรามิก
4. แสงและสี

1. เซรามิกทางทันตกรรม

คำว่า เซรามิก (Ceramic) มาจากคำว่า Keramos⁽²²⁾ ในภาษากรีกซึ่งมีความหมายว่าวัสดุที่ได้จากการเผาด้วยความร้อน เซรามิกเป็นสารประกอบระหว่างธาตุโลหะเช่น อะลูมิเนียม, แคลเซียม, ลิเทียม, แมกนีเซียม, โพแทสเซียม, โซเดียม, ไทเทเนียม, เซอร์โคเนียม, ดินบุก และโลหะเช่น ซิลิกอน, ฟลูออไรด์, โบรอน, ออกซิเจน ในขณะที่พอร์ซเลน (Porcelain) มาจากคำว่า Porcellana⁽²²⁾ ในภาษาอิตาลีที่มีความหมายว่าเปลือกหอย โดยพอร์ซเลนจะหมายถึงเซรามิกที่ประกอบไปด้วยกลาสเมทริกซ์เฟส (Glass-matrix phase) และคริสตัลไลน์เฟส (Crystalline phase) ดังนั้นพอร์ซเลนทุกชนิดจึงเป็นเซรามิกแต่ไม่ใช่เซรามิกทุกชนิดจะเป็นพอร์ซเลนเช่น โพลีคริสตัลไลน์เซรามิก (Polycrystalline Ceramics)

1.1 พัฒนาการของเซรามิก

วัสดุเซรามิกถูกจดสิทธิบัตรในทางทันตกรรมเป็นครั้งแรกโดยทันแพทย์ชาวฝรั่งเศสชื่อ Chemant ในปี 1789⁽³⁾ โดยใช้ในการทำฟันเทียมแต่ไม่สามารถใช้ได้จริงเนื่องจากในยุคนั้นไม่สามารถหาวิธีในการยึดฟันเซรามิกเข้ากับฐานฟันเทียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ครอบฟันเซรามิกถูกคิดค้นขึ้นได้เป็นผลสำเร็จโดย Charles Land ในปี 1903⁽³⁾ โดยการใช้เซรามิกชนิดเฟลสปาทิก (Feldspathic ceramic) ทำให้ได้ครอบฟันที่มีความสวยงามเหมือนฟันธรรมชาติแต่มีความต้านทานแรงดัด (Flexural strength) ที่น้อยทำให้ประสบกับความล้มเหลวเป็นจำนวนมาก Weinstein และคณะในปี 1962⁽³⁾ จึงได้ริเริ่มการใช้โลหะผสม (Alloy) มาทำเป็นโครง (Substructure) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงโดยยึดเข้ากับเซรามิกชนิดเฟลสปาทิกกลายเป็นครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน (Porcelain fused to metal)

ระบบเซรามิกล้วน (All-ceramic system) เริ่มกลับมามีบทบาทเมื่อ McLean และ Hughes ในปี 1965⁽²³⁾ ได้พัฒนาความแข็งแรงของเซรามิกโดยการเพิ่มอะลูมิเนียมออกไซด์ลงในเซรามิกชนิดเฟลสปาทิกประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่กลับทำให้เซรามิกมีลักษณะขาวขุ่นและจำเป็นต้องใช้เซรามิกชนิดเฟลสปาทิกปิดทับอีกชั้นหนึ่งเพื่อเพิ่มความสวยงาม จนกระทั่งในปี 1984 Adair และ Grossman⁽²³⁾ ได้นำเสนอ Dicor® (Dentsply International, York, PA, USA) ซึ่งเป็นกลาสเซรามิกชนิดหล่อ (Castable) ที่สามารถบูรณะแบบเซรามิกทั้งชิ้นได้ (Monolithic) แต่กลับไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีกระบวนการผลิตที่ยุ่งยาก ทำให้ในช่วงต้นยุค 1990⁽²³⁾ มีการพัฒนากลาสเซรามิกชนิดอัดความดัน (Pressable glass-ceramic) ขึ้นมาซึ่งมีวิธีการทำที่ง่ายกว่าได้แก่ ลิวไซต์กลาสเซรามิก (Leucite glass-ceramic) และลิเทียมไดซิลิเกตกลาสเซรามิก (Lithium disilicate glass-ceramic) ซึ่งได้มีการปรับปรุงส่วประกอบต่างๆ เพื่อพัฒนาเซรามิกเรื่อยมา จนกระทั่งในปี 2005⁽²⁴⁾ ได้มีการนำเสนอเซรามิกระบบไอพีเอสอีแมกซ์ (IPS e.max system) ซึ่งเป็นเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตที่มีค่าความแข็งแรงสูงและมีความสวยงามเหมือนฟันธรรมชาติ ทำให้ได้รับความนิยมอย่างมากมาจนถึงปัจจุบันแม้ว่าจะยังคงมีการพัฒนาเซรามิกชนิดอื่นๆ เพิ่มขึ้นในภายหลังก็ตาม

1.2 ประเภทของเซรามิก

วัสดุเซรามิกมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมาทั้งในเรื่องสมบัติของวัสดุและวิธีการขึ้นรูปทำให้เกิดเป็นเซรามิกหลากหลายประเภทให้เลือกใช้โดย Gracis และคณะในปี 2015⁽²⁵⁾ ได้แบ่งประเภทของเซรามิกออกเป็น 3 ประเภทหลักๆตามองค์ประกอบได้แก่

1.2.1 กลาสเมทริกซ์เซรามิก (Glass-matrix ceramics) ประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ กลาสเมทริกซ์ได้แก่ ซิลิกา ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เซรามิกมีความใส และส่วนที่เป็นอนุภาคผลึก (Crystalline particle) ที่ทำให้เซรามิกมีความแข็งแรง โดยกลาสเซรามิกจะประกอบไปด้วยกลาสเมทริกซ์เป็นหลักทำให้มีความสวยงามสูง สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ตามชนิดของผลึกที่ใช้ได้แก่

1.2.1.1 เฟลสปาทิก (Feldspathic) เป็นเซรามิกแบบดั้งเดิมที่ประกอบไปด้วย เฟลสปา (Feldspar) ควอตซ์ (Quartz) และเกาลิน (Kaolin)

1.2.1.2 ซินเทติก (Synthetic) เป็นเซรามิกที่ประกอบไปด้วยผลึกสังเคราะห์จากการควบคุมปฏิกิริยานิวเคลียส (Nucleation) และคริสตัลไลเซชัน (Crystallization) เพื่อลดการฟุ้งพาทรัพยากรธรรมชาติ และมีคริสตัลไลน์เฟส (Crystalline phase) เพิ่มขึ้นได้แก่ ลิวไซต์เบส (Leucite-based), ลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate), ฟลูออโรอะพาไทต์เบส (Fluorapatite-based) และเซอร์โคเนียเรินฟอร์ซลิเทียมซิลิเกต (Zirconia-reinforced lithium silicate)⁽²⁶⁾

1.2.1.3 กลาสอินฟิวเตรท (Glass-infiltrated) ประกอบไปด้วยส่วนโครงสร้างที่เป็นคริสตัลไลน์เฟสซึ่งถูกอัดแทรกด้วยแลนทานัมกลาส (Lanthanum glass) มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของแกนโครงสร้างที่ใช้ได้แก่ อะลูมินา, อะลูมินาและแมกนีเซียม, อะลูมินาและเซอร์โคเนีย

1.2.2 โพลีคริสตัลไลน์เซรามิก (Polycrystalline Ceramics) เป็นเซรามิกที่มีองค์ประกอบหลักเป็นผลึกหรือคริสตัลไลน์เฟสโดยไม่มีกลาสเมทริกซ์แต่ประกอบไปด้วยเมทริกซ์ที่เป็นอะลูมินัมออกไซด์ (Aluminum oxide) หรือเซอร์โคเนียออกไซด์ (Zirconium oxide)⁽²²⁾ ทำให้มีความทึบแสงมากกว่ากลาสเซรามิกแต่มีความแข็งแรงมากกว่าโดยวัสดุในกลุ่มนี้ได้แก่

1.2.2.1 อะลูมินา (Alumina) ประกอบไปด้วยอะลูมินัมออกไซด์สูงถึง 99.5 เปอร์เซ็นต์ทำให้มีความแข็งแรงสูง⁽²⁵⁾

1.2.2.2 สเตบิลไลซ์เซอร์โคเนีย (Stabilized zirconia) มีความแข็งแรงสูงจากกระบวนการทรานส์ฟอร์เมชันทัพเพนิง (Transformation toughening) ซึ่งเกิดจากการที่ผลึกรูปเทตระโกนอล (Tetragonal) จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นผลึกรูปมอนอคลินิก (Monoclinic) ที่มีขนาดใหญ่กว่าทำให้เกิดแรงบีบอัดรอยร้าวให้เล็กลง เซอร์โคเนียที่ใช้ในทางทันตกรรมส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปเทตระโกนอลเฟส (Tetragonal phase) ที่ถูกทำให้เสถียรด้วยอิตเทรียมออกไซด์ (Yttrium oxide, Y_2O_3) เรียกว่าอิตเทรียมเทตระโกนอลเซอร์โคเนีย (Yttrium-Tetragonal zirconia polycrystal, Y-TZP)

1.2.2.3 เซอร์โคเนียทัพเพนอะลูมินา (Zirconia toughened alumina, ZTA) และอะลูมินาทัพเพนเซอร์โคเนีย (Alumina toughened zirconia, ATZ) เป็นการนำเซอร์โคเนียและอะลูมินามาผสมรวมกันเพื่อเพิ่มความแข็งแรง โดย ZTA คือเซอร์โคเนียที่มีความละเอียดระดับไมโครหรือนาโนกระจายอยู่ในอะลูมินา และ ATZ คืออะลูมินากระจายอยู่ในเนื้อเซอร์โคเนีย

1.2.3 เรซินแมทริกซ์เซรามิก (Resin-matrix ceramics) หรือไฮบริดเซรามิก (Hybrid ceramic) เป็นเซรามิกที่ถูกพัฒนาขึ้นมาในภายหลัง โดยประกอบไปด้วยเมทริกซ์อินทรีย์ (Organic matrix) และอนุภาคเซรามิก (Ceramic particle) วัสดุในกลุ่มนี้ได้แก่

1.2.3.1 เรซินนาโนเซรามิก (Resin nanoceramic) ประกอบไปด้วยอนุภาคนาโนเซรามิกในโพลิเมอร์เมทริกซ์ (Polymer matrix) ได้แก่ ลาวาอัลติเมท (Lava Ultimate, 3M ESPE, USA)

1.2.3.2 เซรามิกที่มีเรซินเป็นองค์ประกอบหลักแทรกด้วยกลาสเซรามิก (Polymer infiltrated ceramic network หรือ PICN)⁽²⁶⁾ ประกอบไปด้วยเฟลสปาติกเซรามิกเน็ตเวิร์ก

(Feldspathic ceramic network) เป็นส่วนใหญ่ร่วมกับโพลิเมอร์เน็ตเวิร์ก (Polymer network) ได้แก่ วีต้าอีนามิก (Vita Enamic, VITA Zahnfabrik, Germany)

1.2.3.3 เซรามิกที่มีเรซินเป็นองค์ประกอบหลักแทรกด้วยเซอร์โคเนีย-ซิลิกา (Zirconia-silica ceramic in a resin interpenetrating matrix) ประกอบด้วยผลึกเซอร์โคเนีย-ซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ซึ่งถูกฝังอยู่ในโพลิเมอร์เน็ตเวิร์ก ได้แก่ โซฟุบล็อกเฮชซี (Shofu Block HC, Shofu, Japan)

1.2.3.4 เฟล็กซิเบิลนาโนเซรามิก (Flexible nanoceramic)⁽²⁶⁾ ประกอบด้วยผลึกอะลูมินา-แบเรียม-ซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ฝังในโพลิเมอร์เน็ตเวิร์ก ได้แก่ เซราสมาร์ท (Cerasmart, GC, USA)

1.3 กระบวนการขึ้นรูปเซรามิก

กระบวนการขึ้นรูปของเซรามิกมีการพัฒนาอย่างยาวนานตั้งแต่สมัยโบราณทำให้มีวิธีการขึ้นรูปหลากหลายวิธีโดย Santos ในปี 2015⁽⁵⁾ ได้สรุปวิธีการขึ้นรูปเซรามิกไว้ดังนี้

1.3.1 การควบแน่นส่วนผง (Powder condensation) เป็นวิธีดั้งเดิมสำหรับขึ้นรูปเซรามิกชนิดเฟลสปาทิกโดยการผสมผงเซรามิกเข้ากับส่วนเหลวเช่น น้ำปราศจากไอออน (deionized water) ได้เป็นน้ำสลอรี่ (Slurry) แล้วใช้พู่กันหรือไม้พายป้ายลงบนแกนที่ทำจากเซรามิกหรือโลหะ แล้วควบแน่นโดยใช้แรงสั่นสะเทือนไล่อากาศและน้ำส่วนเกินออก เผาด้วยอุณหภูมิที่กำหนดในเตาสู่ญญากาศเพื่อไล่น้ำที่เหลือออกและทำให้เซรามิกควบแน่นมากยิ่งขึ้น เรียกกระบวนการนี้ว่าซินเทอริง (Sintering) โดยอุณหภูมิจะเกิดการไหลเมื่ออุณหภูมิขึ้นสู่จุดสูงสุดแล้วเชื่อมติดกันทำให้จำเป็นต้องทำให้เซรามิกมีขนาดใหญ่กว่าขนาดจริงประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์⁽²²⁾ เนื่องจากจะเกิดการควบแน่นทำให้ขนาดของเซรามิกเล็กลงหลังผ่านกระบวนการซินเทอริง และเนื่องจากการขึ้นรูปด้วยมือจึงทำให้มักจะพบฟองอากาศอยู่ในเนื้อเซรามิก

1.3.2 การอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Heat-pressed) ถูกนำเสนอในช่วงปลายทศวรรษ 1980⁽²²⁾ ใช้สำหรับเซรามิกชนิดขึ้นรูปด้วยวิธีกดอัด (Pressable ceramic) ซึ่งอยู่ในรูปแท่งเซรามิก (Ceramic ingot) โดยการแต่งรูปร่างของชิ้นงานด้วยขี้ผึ้ง (Wax) ก่อนเพื่อสร้างแม่แบบ (Mold) จากวิธีการหล่อแทนขี้ผึ้ง (Loss wax technique) หลังจากนั้นจึงใช้ความร้อนหลอมแท่งเซรามิกที่อุณหภูมิสูงแล้วกดอัดเซรามิกที่หลอมเหลวเข้าไปในแม่แบบดังภาพประกอบ 2 ซึ่งวิธีนี้จะเกิดรูพรุนน้อยกว่าวิธีแบบดั้งเดิมและมีการกระจายของผลึกที่สม่ำเสมอมากขึ้น



ภาพประกอบ 1 แสดงภาพเซรามิกที่ยังติดอยู่กับสปรู (Sprue) จากการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน

ที่มา : Helvey G. Classification of Dental Ceramics. Inside Dentistry. 2013;April 2013.⁽²²⁾

1.3.3 สลิปแคสติ้ง (Slip casting) เป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นในช่วงคริสต์ทศวรรษ 1990⁽²²⁾ สำหรับขึ้นรูปกลาสอินฟิวเทรทเซรามิก (Glass-infiltrated ceramic) โดยกานำผงเซรามิกที่ถูกเคลือบด้วยโพลีเมอร์เพื่อให้เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอไปผสมกับส่วนเหลวได้เป็นสลิป (Slip) แล้วนำไปป้ายลงบนยิปซัมตาย (Gypsum die) ด้วยพู่กันดังภาพประกอบ 1 โดยน้ำจะถูกดูดซึมด้วยปฏิกิริยาคาปิลารี (Capillary action) จากรูพรุนในยิปซัม เมื่อนำไปเผาจะได้โครงสร้างแกนที่มีรูพรุนจากอะลูมินา สปิเนล (Spinel) หรือเซอร์โคเนีย-อะลูมินา (Zirconia-alumina) หลังจากนั้นจึงทาผงแลนทานัมกลาสลงบนแกนแล้วทำให้เกิดการละลายซึ่งจะเกิดการแทรกซึมเข้าไปตามรูพรุนของแกนด้วยปฏิกิริยาคาปิลารี⁽²⁷⁾ ทำให้เซรามิกที่ขึ้นรูปด้วยวิธีนี้มีความแข็งแรงมากกว่าแบบดั้งเดิมและพบจุดบกพร่อง (Defect) น้อยกว่า



ภาพประกอบ 2 แสดงขั้นตอนการทาสลิปลงบนยิปซัมตายในวิธีขึ้นรูปเซรามิกแบบสลิปแคสติ้ง

ที่มา: Giordano R, McLaren E. Ceramics overview: classification by microstructure and processing methods. Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ : 1995). 2009;31:682-4, 6, 8 passim; quiz 98, 700.⁽²⁷⁾

1.3.4 การกลึงด้วยเครื่องจักร (Milled) เป็นการนำระบบคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบและสร้างชิ้นงานเรียกว่าแคด/แคม (CAD/CAM) สำหรับขึ้นรูปแมชชีนเนเบิลเซรามิก (Machinable ceramic) โดยแคด (CAD-Computer aided design) หมายถึงเครื่องสำหรับบันทึกข้อมูลและออกแบบชิ้นงานและแคม (CAM-Computer aided manufacture) หมายถึงเครื่องสำหรับสร้างชิ้นงาน เทคโนโลยีแคด/แคมเริ่มถูกนำมาใช้ในทางทันตกรรมในปี 1985⁽²⁸⁾ เมื่อสามารถพัฒนากล้องให้สามารถเก็บข้อมูลตัวอย่างได้ในหลากหลายมิติโดยส่งข้อมูลเข้าไปประมวลผลในเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยซอฟต์แวร์และสามารถกลึงซิลิเกตอินเลย์ (Silicate inlay) ขึ้นแรกออกมาได้เป็นผลสำเร็จ หลังจากนั้นก็ได้มีการคิดค้นพัฒนาระบบแคด/แคมออกมาอีกหลายระบบเช่น ซีเร็ก (Cerec), เซอร์คอน (Cercon), เอเวอร์เรสต์ (Everest) และลาวา (Lava) เป็นต้น ซึ่งเป็นเทคโนโลยีขั้นสูงสำหรับการบูรณะฟันด้วยวัสดุสีเหมือนฟันโดยการพิมพ์ปากแบบออปติค (Optical impression) ด้วยเครื่องสแกนที่มีลักษณะเป็นกล้องวิดีโอทำให้ได้รูปทรงของวัตถุในรูปแบบ 3 มิติแสดงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นจึงทำการออกแบบชิ้นงานด้วยซอฟต์แวร์แล้วตัดบล็อกเซรามิกด้วยเครื่องกลึงที่ถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ดังภาพประกอบ 3 จนออกมาเป็นชิ้นงานตามแบบ⁽²⁹⁾ โดยการกลึงชิ้นงานนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1.3.4.1 ฮาร์ดแมชชีนนิ่ง (Hard machining) เป็นการใช้เครื่องจักรในการกลึงเซรามิกที่ผ่านการเผามาเรียบร้อยแล้วและมีการเกิดผลึกอย่างสมบูรณ์ทำให้มีความแข็งแรงมาก ส่งผลให้เครื่องมือที่ใช้กลึงเกิดการสึกอย่างรวดเร็วจนอาจเกิดตำหนิบนเซรามิกส่งผลต่ออายุการใช้งานในทางคลินิกได้⁽⁵⁾

1.3.4.2 ซอฟต์แมชชีนนิ่ง (Soft machining) หรือกรีนแมชชีนนิ่ง (Green machining) เป็นการกลึงเซรามิกที่ยังมีการเกิดผลึกไม่สมบูรณ์ทำให้มีความแข็งแรงน้อยและสามารถกลึงเป็นชิ้นงานได้ง่ายแต่ต้องมีการเผาให้ชิ้นงานเกิดผลึกอย่างสมบูรณ์ต่อในภายหลังซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากกว่า⁽⁵⁾



ภาพประกอบ 3 แสดงขั้นตอนการกลึงชิ้นงานด้วยระบบแคด/แคม

ที่มา : Williams G. Applied dental materials, 9th edition. British Dental Journal. 2009;206(8):441.⁽²⁹⁾

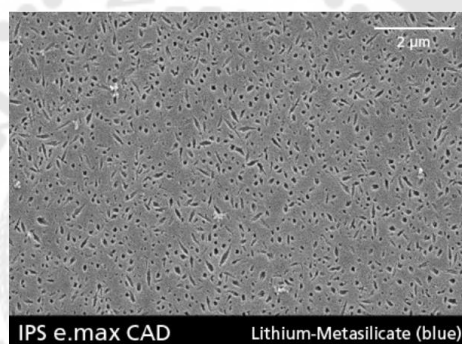
2. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต

เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตออกสู่ตลาดเป็นครั้งแรกในปี 1988⁽²⁴⁾ ในชื่อไอพีเอสเอ็มเพรส 2 (IPS Empress 2) โดยบริษัท Ivoclar ประกอบไปด้วยผลึกลิเทียมไดซิลิเกตรูปเข็ม (Needle-shaped) 65 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรฝังอยู่ในกลาสเมทริกซ์ มีความต้านทานแรงดัดอยู่ที่ 350 เมกะปาสคาล⁽³⁰⁾ หลังจากนั้นได้มีการพัฒนากระบวนการขึ้นรูปทำให้ผลึกมีขนาดเล็กลงและมีการกระจายสม่ำเสมอมากขึ้นทำให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าเดิมและออกเป็นสายผลิตภัณฑ์ใหม่คือระบบอีแมกซ์ (E.max system) ซึ่งเปิดตัวในปี 2005⁽²⁴⁾ โดยมีไอพีเอสอีแมกซ์เพรส (IPS e.max Press) ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์แรก และจากความก้าวหน้าในการพัฒนาระบบ CAD/CAM ทำให้ไอพีเอสอีแมกซ์แคด (IPS e.max CAD) ได้ออกสู่ท้องตลาดตามมาในปี 2006⁽²⁴⁾ โดยมาในรูปแบบของเซรามิกที่ยังมีกระบวนการเกิดผลึกไม่สมบูรณ์ (Blue state) โดยเป็นลิเทียมเมตาซิลิเกต (Lithium metasilicate, Li_2SiO_3) ซึ่งมีความแข็งแรงน้อยทำให้สามารถกลึงได้ง่ายกว่าแล้วจึงเข้าสู่กระบวนการเผา (Firing) และเคลือบเงา (Glazing) เพื่อให้กลายเป็นชิ้นงานลิเทียมไดซิลิเกตที่สมบูรณ์ (Lithium disilicate, $2\text{SiO}_2\text{-Li}_2\text{O}$)

ปัจจุบันเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตนิยมใช้มากในทางทันตกรรมเนื่องจากมีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในร่างกาย (Biocompatibility) มีความแข็งแรงเชิงกล (Mechanical strength) ที่ดี และมีความสวยงาม สามารถใช้ในการบูรณะฟันด้วยอินเลย์ (Inlay), ออนเลย์ (Onlay), วีเนียร์ (Veneer), ครอบฟัน (Crown) หรือสะพานฟัน (Bridge) ทั้งบนฟันธรรมชาติหรือบนรากฟันเทียม

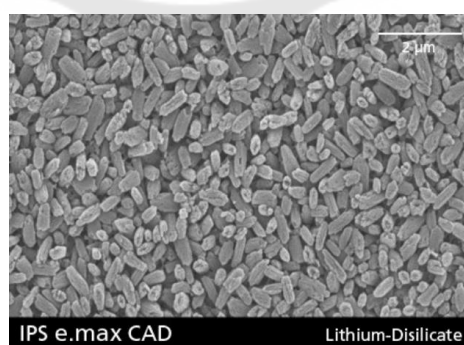
2.1 โครงสร้างระดับไมโคร

ไอพีเอสอีแมกซ์แคดประกอบไปด้วยผลึกลิเทียมเมตาซิลิเกตประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยผลึกมีขนาด 0.2 ถึง 1.0 ไมโครเมตร รูปร่างเหมือนเกล็ดเลือด (Platelet shape) อยู่ในกลาสเฟสร่วมกับนิวเคลียสของลิเทียมไดซิลิเกตดังภาพประกอบ 4 หลังจากผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ถึง 30 นาที ในเตาเผาสุญญากาศจึงจะเกิดกระบวนการตกผลึกของลิเทียมไดซิลิเกต จนเมื่อกระบวนการตกผลึกเกิดอย่างสมบูรณ์จะมีผลึกลิเทียมไดซิลิเกตเป็นองค์ประกอบประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์⁽²¹⁾ ผังอยู่ในกลาสเมทริกซ์เท่ากับไอพีเอสอีแมกซ์เพรส⁽³¹⁾ โดยผลึกจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 ไมโครเมตรและยาว 5 ไมโครเมตร⁽²⁴⁾ ไขว้กันอยู่อย่างหนาแน่นดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 4 แสดงลักษณะโครงสร้างของไอพีเอสอีแมกซ์แคดในรูปผลึกลิเทียมเมตาซิลิเกต

ที่มา: Ivoclar V. Scientific Documentation IPS e.max CAD. Liechtenstein. 2011.⁽²¹⁾



ภาพประกอบ 5 แสดงลักษณะโครงสร้างของไอพีเอสอีแมกซ์แคดในรูปผลึกลิเทียมไดซิลิเกต

ที่มา: Ivoclar V. Scientific Documentation IPS e.max CAD. Liechtenstein. 2011.⁽²¹⁾

2.2 สมบัติเชิงกล

ไอพีเอสอีแมกซ์แคดในรูปแบบลึกลีเทียมเมตาซิลิเกตมีความต้านทานแรงดัด (Flexural strength) ในระดับปานกลางคือ 130 เมกะปาสคาล มีความต้านทานการแตกหัก (Fracture toughness) 0.9 ถึง 1.25 เมกะปาสคาล เมตร^{1/2} และมีความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers hardness) เท่ากับ 5400 เมกะปาสคาล⁽²¹⁾ หลังผ่านการเผาให้ความร้อนตามคำแนะนำของผู้ผลิต สมบัติเชิงกลจะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากโดยจะมีการหดตัวเชิงเส้น (Linear shrinkage) ประมาณ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ความต้านทานแรงดัดเพิ่มขึ้นเป็น 360 เมกะปาสคาล ซึ่งมีความมากกว่า เซรามิกชนิดลูไซต์ มีความต้านทานการแตกหัก 2.0 ถึง 2.5 เมกะปาสคาล เมตร^{1/2} และความแข็งแบบวิกเกอร์ 5800 เมกะปาสคาล⁽²¹⁾ อย่างไรก็ตาม Fonza และคณะในปี 2016⁽³²⁾ พบว่าไอพีเอสอีแมกซ์แคดแต่ละระดับความโปร่งแสงนั้นมีค่าความต้านทานแรงเฉือนที่แตกต่างกันจากกระบวนการตกผลึกเนื่องจากจำเป็นต้องมีการเผาอีกครั้งหลังการกลึงขึ้นงานเพื่อให้เกิดผลึกอย่างสมบูรณ์ แตกต่างจากไอพีเอสอีแมกซ์เพรสที่มีการเกิดผลึกอย่างสมบูรณ์อยู่แล้วและใช้การอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนทำให้ยังคงมีสมบัติตามมาตรฐานของผู้ผลิต โดยบล็อกความโปร่งแสงปานกลาง (High translucency, MT) มีค่าความต้านทานแรงเฉือนสูงที่สุดคือ 397 เมกะปาสคาล ใกล้เคียงกับบล็อกความโปร่งแสงน้อย (High translucency, LT) ที่ 381 เมกะปาสคาล ซึ่งไม่แตกต่างกับไอพีเอสอีแมกซ์เพรสที่มีค่าประมาณ 400 เมกะปาสคาล ในขณะที่มากกว่าบล็อกความโปร่งแสงมาก (High translucency, HT) ซึ่งมีค่า 346 เมกะปาสคาลอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามในปี 2017 เอกสารข้อมูลเกี่ยวกับไอพีเอสอีแมกซ์ของทางบริษัท Ivoclar ได้มีการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานแรงดัดของไอพีเอสอีแมกซ์แคดเป็น 530 เมกะปาสคาล⁽¹⁵⁾ และไอพีเอสอีแมกซ์เพรสเป็น 470 เมกะปาสคาล⁽¹⁴⁾

2.3 สมบัติทางแสง

2.3.1 สี

สีของกลาสเซรามิกเกิดจากสีออกไซด์ของโลหะต่างๆที่กระจายอยู่ในเมทริกซ์ ซึ่งไอออนพื้นฐานของไอพีเอสอีแมกซ์แคดประกอบด้วยวาเนเดียม 4 และ 3 ไอออน (V^{+4} , V^{+3}) ให้สีฟ้าและสีเหลืองตามลำดับ ซีเรียม 4 ไอออน (Ce^{+4}) ให้สีเหลือง และแมงกานีส 3 ไอออน (Mn^{+3}) ให้สีน้ำตาล ในระหว่างขั้นตอนการเผาแวเนเดียมจะมีการเปลี่ยนสถานะออกซิเดชัน (Oxidation) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี⁽²¹⁾ ทำให้ไอพีเอสอีแมกซ์แคดที่อยู่ในสภาพลึกลีเทียมเมตาซิลิเกตปรากฏเป็นสีฟ้าตามภาพประกอบ 6 แตกต่างกับในสภาพลึกลีเทียมไดซิลิเกตที่ปรากฏเป็นสีเหมือนฟัน ซึ่งยังสามารถปรับเปลี่ยนสีเพิ่มเติมได้เล็กน้อยด้วยการแต่งสี (Staining) และเคลือบเงา (Glazing) ไอพีเอสอีแมกซ์แคดมีหลายเฉดสีให้เลือกใช้โดยบล็อกชนิดโปร่งแสงมากและโปร่งแสง

น้อยมีสีพื้นฐาน A ถึง D รวม 16 สีและสี BL อีก 4 สีสำหรับฟันที่ผ่านการฟอกสีฟัน สำหรับบล็อกชนิดโปร่งแสงปานกลางมีสี A1 ถึง A3 สี B1 และสี BL2 ถึง BL4 นอกจากนี้ยังมีบล็อกชนิดทึบแสงปานกลางซึ่งจะมีจำนวนเฉดสีให้เลือกน้อยกว่าโดยมีเพียง 5 สีได้แก่สี MO0 ถึง MO4 และบล็อกอิมพัลส์ (Impulse) ที่มีสีโอปอ (Opalescence) อีก 2 สีได้แก่สี Opal1 และ Opal2⁽¹⁵⁾



ภาพประกอบ 6 แสดงสีของไอพีเอสอีแมกซ์แคดในรูปแบบบล็อกลิเทียมเมตาซิลิเกต

ที่มา: Ivoclar V. Scientific Documentation IPS e.max CAD. Liechtenstein. 2011.⁽²¹⁾



ภาพประกอบ 7 แสดงสีของไอพีเอสอีแมกซ์แคดในรูปแบบบล็อกลิเทียมไดซิลิเกต

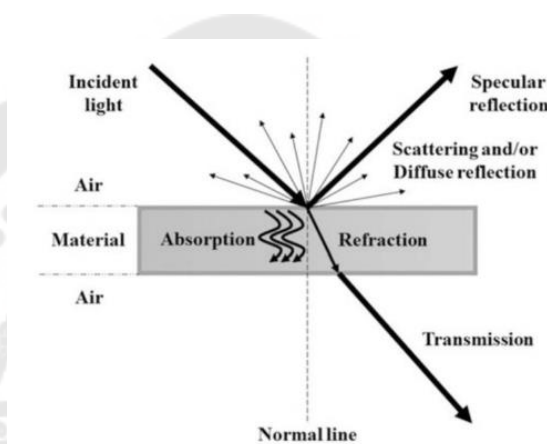
ที่มา: Ivoclar V. Scientific Documentation IPS e.max CAD. Liechtenstein. 2011.⁽²¹⁾

2.3.2 ความโปร่งแสง

บล็อกของไอพีเอสอีแมกซ์แคดมีหลายความโปร่งแสง (Translucency) ได้แก่ โปร่งแสงมาก (High translucency, HT), โปร่งแสงปานกลาง (Medium translucency, MT), โปร่งแสงน้อย (Low translucency, LT), ทึบแสงปานกลาง (Medium opacity, MO) และทึบแสงมาก (High opacity, HO) ซึ่งความโปร่งแสงที่แตกต่างกันนี้เกิดจากการมีขนาดของผลึกที่แตกต่างกันโดยบล็อกความโปร่งแสงมากจะมีขนาดของผลึกใหญ่ 1.5x0.8 มิลลิเมตรแต่มีปริมาณน้อย

กระจายอยู่ในกลาสเมทริกซ์ ในขณะที่บดลึกลงความโปร่งแสงน้อยจะมีขนาดของผลึกที่เล็กกว่าคือ 0.8x0.2 มิลลิเมตรแต่มีปริมาณมากอัดกันอย่างหนาแน่นในกลาสเมทริกซ์⁽²⁴⁾

เมื่อแสงมีการตกกระทบกับวัตถุจะเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ได้แก่ การส่องผ่าน (Transmission), การดูดซับ (Absorption), การกระเจิง (Scattering), การสะท้อน (Reflection) และการหักเห (Refraction) ดังภาพประกอบที่ 8 โดยความโปร่งแสงของวัตถุจะขึ้นอยู่กับปริมาณของแสงที่สามารถส่องผ่านวัตถุได้ หากแสงสามารถทะลุผ่านวัตถุไปได้ทั้งหมดวัตถุนั้นจะโปร่งใส แต่หากแสงทั้งหมดเกิดการสะท้อนหรือถูกดูดซับไว้วัตถุนั้นจะทึบแสง⁽³³⁾



ภาพประกอบ 8 แสดงปรากฏการณ์พื้นฐานเมื่อแสงตกกระทบกับวัตถุหรือตัวกลาง

ที่มา : Kobwittaya K, Watari T. Optical Properties of Ceramics. In: Hojo J, editor. Materials chemistry of ceramics: Springer Singapore; 2019. p. 181-211.⁽³³⁾

เมื่อแสงส่องผ่านเซรามิกปริมาณแสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับไว้ เมื่อปริมาณแสงที่เหลือผ่านตัวกลางหรือเฟส (Phase) ที่แตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นระหว่างผลึกหรือระหว่างคริสตัลไลน์ เฟสและกลาสเฟสจะทำให้ลำแสงเกิดการสะท้อนหรือหักเหไป การที่ลิเทียมไดซิลิเกตมีค่าดัชนีหักเห (Refractive index) ของคริสตัลไลน์เฟสและกลาสเฟสใกล้เคียงกันทำให้เกิดการกระเจิงของแสงบริเวณรอยต่อระหว่างทั้งสององค์ประกอบน้อยส่งผลให้มีความใส⁽³⁴⁾ นอกจากนี้ความโปร่งแสงของเซรามิกยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ โครงสร้าง ขนาด และความหนาแน่นของผลึก รวมไปถึงจุดบกพร่องและรูพรุนในเนื้อเซรามิก หากผลึกมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นของแสงที่ตามองเห็นได้ (Visible light) เซรามิกจะมีความใส แต่หากผลึกมีขนาดใหญ่จะทำให้เกิดการกระเจิงและสะท้อนของแสงในเนื้อวัสดุส่งผลให้ปริมาณของลำแสงที่ส่องผ่านลดลงทำให้เซรามิกมีความ

ทึบแสง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ขึ้นอยู่กับ การควบคุมอุณหภูมิในการเผาเซรามิกเพื่อกระตุ้นให้เกิดนิวเคลียส และการเติบโตของผลึก⁽³⁵⁾

ในการวัดความโปร่งแสงของเซรามิกจะใช้ค่าดัชนีความโปร่งแสง (Translucency parameter, TP) และอัตราส่วนเปรียบเทียบ (Contrast ratio, CR) โดยค่าดัชนีความโปร่งแสงจะแสดงถึงความต่างของสีของวัตถุที่มีพื้นหลังเป็นสีดำและสีขาว หากค่าที่ได้ยังมีค่าใกล้ 0 มาก แสดงว่าวัตถุนั้นมีความทึบแสงมาก ในขณะที่อัตราส่วนเปรียบเทียบคือค่าอัตราส่วนการสะท้อน (Reflectance, Y) ของวัตถุนั้นพื้นหลังสีดำ (Yb) และบนพื้นหลังสีขาว (Yw) หากค่าอัตราส่วนเปรียบเทียบยิ่งมากแสดงว่าวัตถุนั้นมีความทึบแสงมาก⁽²⁰⁾ แม้ว่าไอพีเอสอีแมกซ์แคดและเพรสจะมีองค์ประกอบเป็นผลึกลิเทียมไดซิลิเกตเหมือนกันแต่ Bagis และ Turgut ในปี 2013⁽¹⁸⁾ พบว่า ไอพีเอสอีแมกซ์แคดมีค่าดัชนีความโปร่งแสงน้อยกว่าไอพีเอสอีแมกซ์เพรสอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ledic และคณะในปี 2015⁽¹⁹⁾ ที่พบว่าไอพีเอสอีแมกซ์แคดบล็อกความโปร่งแสงมากมีค่าดัชนีความโปร่งแสงน้อยกว่าไอพีเอสอีแมกซ์เพรสบล็อกความโปร่งแสงมาก และ Skyllouriotis และคณะในปี 2017⁽²⁰⁾ ซึ่งพบว่าไอพีเอสอีแมกซ์แคดบล็อกความโปร่งแสงน้อยมีค่าดัชนีความโปร่งแสงน้อยกว่าและมีค่าอัตราส่วนเปรียบเทียบมากกว่าไอพีเอสอีแมกซ์เพรสบล็อกความโปร่งแสงน้อย จากผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าไอพีเอสอีแมกซ์แคดมีความโปร่งแสงน้อยกว่าไอพีเอสอีแมกซ์เพรส

3. ปัจจัยที่มีผลต่อสีของเซรามิก

เซรามิกเป็นวัสดุที่สามารถใช้ในการบูรณะฟันบริเวณที่ต้องการความสวยงามได้โดยให้ผลลัพธ์ออกมามีลักษณะเหมือนฟันธรรมชาติ แต่การทำขึ้นงานให้สีออกมาตามต้องการนั้นเป็นเรื่องท้าทายเนื่องจากสีของเซรามิกที่มองเห็นนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่

3.1 พื้นรอง

3.1.1 ประเภทของพื้นรอง

เซรามิกเป็นวัสดุที่มีความใสทำให้สีของพื้นรองมีอิทธิพลต่อสีของเซรามิกที่มองเห็นอย่างมาก⁽¹³⁾ เมื่อมีการกรอพื้นทำให้เคลือบฟัน (Enamel) บางลงหรือหมดไปจะทำให้เห็นสีเนื้อฟัน (Dentine) ด้านใต้ซึ่งจะมีความเข้มสีแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคลโดยสามารถวัดได้ด้วยแถบเทียบสี (Shade guide) ต่างๆ เช่น แถบเทียบสีเนื้อฟันของบริษัท Ivoclar (Natural die material shade guide) โดยมีสีอ่อนที่สุดคือ ND1 ไปจนถึงสีเข้มที่สุดคือ ND9 นอกจากนี้ในกรณีฟันที่มีการรักษารากและมีการใส่เดือย สีของเรซินคอมโพสิต (Resin composite) ที่ใช้ร่วมกับ

เดือยสำเร็จรูป (Prefabricated post) หรือสีของเดือยโลหะ (Metal post) ล้วนมีผลต่อสีของเซรามิกทั้งสิ้น โดยโลหะประเภททองจะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของสีของเซรามิกน้อยกว่าเงิน (Silver) และแพลเลเดียม (Palladium)⁽¹⁰⁾

3.1.2 ความเข้มสีของฟันรอง

ยิ่งเนื้อฟันมีสีเข้มขึ้นก็จะยิ่งทำให้สีของเซรามิกที่มองเห็นมีการเปลี่ยนแปลงไปมากขึ้น⁽¹³⁾ โดยจากงานวิจัยของ Czigola และคณะในปี 2019⁽⁷⁾ พบว่าไอพีเอสอีแมกซ์แคบบล็อกโปรงแสงมากที่ความหนา 1.5 มิลลิเมตรมีการเปลี่ยนแปลงสีของเซรามิกที่มองเห็นอย่างมีนัยสำคัญทางคลินิกในทุกความเข้มสีเนื้อฟันตั้งแต่ ND1 ถึง 9 ในขณะที่ไอพีเอสอีแมกซ์บล็อกโปรงแสงน้อยที่ความหนา 1.5 มิลลิเมตรนั้นสามารถปิดสีของเนื้อฟันด้านใต้ที่มีความเข้มสีถึง ND8 ได้ ในกรณีที่ฟันมีการรักษารากและบูรณะด้วยเดือยโลหะจะทำให้เซรามิกนั้นสะท้อนสีคล้ายของโลหะออกมา⁽¹⁰⁾ ซึ่งสีของโลหะนั้นจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกมากกว่าเนื้อฟันที่มีสีเข้ม⁽⁹⁾ โดยไอพีเอสอีแมกซ์แคบบล็อกความโปรงแสงน้อยที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตรสามารถปิดสีของโลหะประเภททองได้⁽¹⁰⁾ แต่ไม่สามารถที่จะปกปิดสีของโลหะประเภทเงินและแพลเลเดียมได้แม้ว่าจะใช้บล็อกชนิดโปรงแสงน้อยที่มีความหนามากถึง 2 มิลลิเมตรก็ตาม^(9, 10)

3.2 เซรามิก

3.2.1 ความหนาของเซรามิก

ยิ่งเซรามิกบางก็จะยิ่งมีความโปรงแสงมากและทำให้สีของเซรามิกที่มองเห็นมีการเปลี่ยนแปลงไปมากขึ้น⁽⁹⁾ ดังนั้นการเพิ่มความหนาของเซรามิกให้มากขึ้นจะทำให้เซรามิกสามารถปิดสี (Masking ability) เนื้อฟันด้านใต้ได้ดีขึ้น⁽¹¹⁾ และได้สีที่ใกล้เคียงกับสีจริงของเซรามิกมากกว่า⁽¹⁰⁾ อย่างไรก็ตามความหนาของเซรามิกจะมีอิทธิพลต่อการปิดสีน้อยลงเมื่อเซรามิกมีความโปรงแสงมาก⁽⁷⁾ นอกจากนี้การเพิ่มความหนาของเซรามิกจะถูกจำกัดด้วยปัจจัยต่างๆเนื่องจากการกรอเนื้อฟันปริมาณมากเพื่อเพิ่มความหนาของเซรามิกอาจจะทำให้ทะลุโพรงประสาทฟันหรือทำให้เหลือโครงสร้างฟันน้อยจนส่งผลต่อความสำเร็จในการบูรณะ โดยเฉพาะในการบูรณะด้วยวีเนียร์ซึ่งจะมีการยึดติดที่ดีและความแข็งแรงเมื่อยึดเข้ากับเคลือบฟัน หากมีการกรอฟันไปจนถึงเนื้อฟันด้านใต้จะทำให้ประสิทธิภาพการยึดติดและความแข็งแรงของวีเนียร์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ⁽³⁶⁾

3.2.2 ความโปรงแสงของเซรามิก

นอกจากความโปรงแสงของเซรามิกจะขึ้นอยู่กับความหนาของเซรามิกแล้วยังขึ้นอยู่กับประเภทของเซรามิกด้วย โดยกลาสเมทริกซ์เซรามิกจะมีความโปรงแสงมากกว่า

โพลีคริสตัลไลน์เซรามิก แม้ว่าจะใช้เซอรโคเนียบล็อกที่มีความโปร่งแสงระดับอัลตรา (Ultra-translucent zirconia) ซึ่งเป็นบล็อกที่มีความโปร่งแสงมากที่สุดของเซอรโคเนียก็ยังคงมีความโปร่งแสงน้อยกว่าไอพีเอสอีแมกซ์แคดบล็อกที่มีความโปร่งแสงน้อย⁽³⁷⁾ นอกจากนี้เซรามิกบางประเภท เช่นลิเทียมไดซิลิเกตและเซอรโคเนียยังมีหลายความโปร่งแสงให้เลือกใช้ โดยบล็อกที่มีความโปร่งแสงมากกว่าจะทำให้สีของเซรามิกที่มองเห็นเกิดการเปลี่ยนแปลงไปมากกว่าบล็อกที่มีความโปร่งแสงน้อยเมื่อขึ้นงานมีความหนาเท่ากัน^(7, 9, 16)

3.3 เรซินซีเมนต์

3.3.1 สีของเรซินซีเมนต์

สีของเรซินซีเมนต์มีอิทธิพลต่อสีที่มองเห็นของเซรามิกโดยเฉพาะเรซินซีเมนต์สีทึบ (Opaque)^(13, 38, 39) อย่างไรก็ตามในการศึกษาของ Vichi และคณะในปี 2000⁽⁸⁾ ที่ทำการศึกษาระซินซีเมนต์สีขาว เหลือง และน้ำตาลพบว่าทำให้ผลลัพธ์สีที่มองเห็นของเซรามิกเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยซึ่งสามารถถูกตรวจสอบได้โดยเครื่องตรวจวัดแต่ไม่ส่งผลสำคัญในทางคลินิก ในกรณีที่เนื้อฟันมีสีเข้มมากหรือกรณีที่บูรณะบนเดือยโลหะ การใช้เรซินซีเมนต์ที่มีความทึบแสงจะช่วยให้สามารถปกปิดสีเนื้อฟันที่เข้มหรือสีโลหะได้ดีขึ้น⁽⁷⁾ โดยเรซินซีเมนต์สีขาวทึบ (White opaque) จะสามารถปิดสีของโลหะได้ดีกว่าเรซินซีเมนต์สีอื่นๆ⁽³⁹⁾

3.3.2 ความหนาของเรซินซีเมนต์

ความหนาเรซินซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อสีที่มองเห็นของเซรามิกเพียงเล็กน้อย⁽⁸⁾ อย่างไรก็ตามช่องว่างด้านใน (Internal gap) ของวีเนียร์ที่ขึ้นรูปด้วยการกลึงโดยใช้ไอพีเอสอีแมกซ์แคดนั้นมีค่าเฉลี่ยอยู่เพียงประมาณ 150 ไมโครเมตร⁽⁴⁰⁾ ซึ่งจะถูกเติมเต็มด้วยเรซินซีเมนต์โดย Vichi และคณะในปี 2000⁽⁸⁾ พบว่าเรซินซีเมนต์ที่มีความหนา 100 และ 200 ไมโครเมตรส่งผลต่อสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลูโซด์เบสเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และ Niu และคณะในปี 2013⁽³⁹⁾ พบว่าการเพิ่มความหนาของเรซินซีเมนต์สีขาวทึบจาก 100 ไป 300 ไมโครเมตรไม่ส่งผลต่อผลลัพธ์สีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตอย่างมีนัยสำคัญในทางคลินิก

4. แสงและสี

แสงสีขาวหรือแสงที่ตามองเห็นได้ (Visible light) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่น (Wavelength) 380 ถึง 780 นาโนเมตร แสงสีขาวเกิดจากการรวมกันของสี 7 สีหรือสีสายรุ้งได้แก่ ม่วง, คราม, น้ำเงิน, เขียว, เหลือง, ส้ม และแดง เมื่อแสงตกกระทบวัตถุจะเกิดการสะท้อน ดูดกลืน หรือทะลุผ่าน การมองเห็นสีเกิดจากการที่วัตถุสะท้อนคลื่นแสงช่วงที่เป็นสีนั้นๆเข้าสู่ตาซึ่งมีหน่วยรับความรู้สึกคือเซลล์รูปแท่ง (Rod cell) และเซลล์รูปกรวย (Cone cell)

โดยเซลล์รูปกรวยสามารถแบ่งออกได้เป็นอีก 3 ประเภทคือเซลล์ที่ไวต่อความยาวคลื่นแสงสูง กลาง และต่ำ หลังจากนั้นจึงส่งสัญญาณตามเส้นประสาทไปสู่สมองเพื่อแปลงข้อมูลของแสงที่ได้รับให้กลายเป็นสีต่างๆ หากแสงทุกช่วงคลื่นที่ตามองเห็นได้ถูกสะท้อนกลับวัตถุจะปรากฏเป็นสีขาวและหากแสงทุกช่วงคลื่นถูกดูดซับไว้ทั้งหมดวัตถุจะปรากฏเป็นสีดำ⁽⁴¹⁾

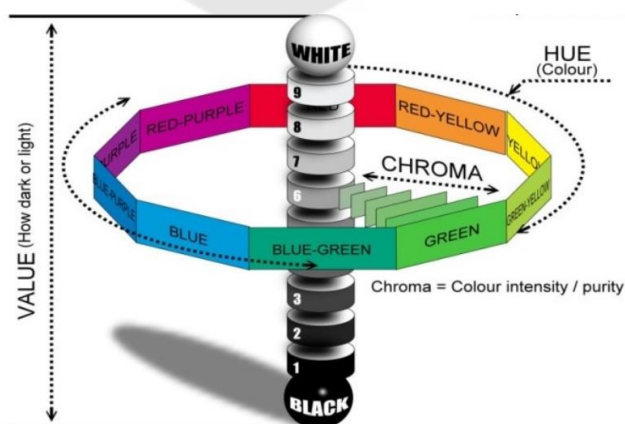
4.1 ระบบค่าสี

4.1.1 ระบบค่าสีมันเซลล์ (Munsell color system) เป็นหนึ่งในระบบที่ถูกใช้บ่อยในทางทันตกรรม ถูกคิดค้นขึ้นเพื่อใช้ในการวัดค่าสีของวัตถุโดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ ในการแบ่งค่าสีออกเป็น 3 ตัวแปร⁽⁴²⁾ ดังภาพประกอบ 9 ได้แก่

4.1.1.1 ฮิว (Hue) คือชื่อของสีต่างๆที่มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของแสงโดยตรง

4.1.1.2 แวลู (Value) คือค่าความสว่าง (Lightness) ของสีหรือปริมาณของแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ ถ้าปริมาณแสงสะท้อนมากจะทำให้เห็นสีสว่าง (Light color) ถ้าปริมาณแสงสะท้อนน้อยจะทำให้เห็นสีมืด (Dark color) แบ่งออกเป็น 11 ระดับคือมีค่าตั้งแต่ 0 คือมืดที่สุด จนถึง 10 คือสว่างที่สุด

4.1.1.3 โครมา (Chroma) เป็นค่าที่แสดงความบริสุทธิ์ (Purity) ของสีโดยสีที่บริสุทธิ์ที่สุดคือสีที่ไม่มีแสงสีเทาผสมเลย บริเวณที่อยู่ใกล้แนวแกนมากที่สุดจะมีการปนของแสงสีเทามากที่สุดทำให้ความบริสุทธิ์น้อยที่สุดและมีค่าโครมาน้อยที่สุด ในขณะที่บริเวณที่อยู่ไกลแกนมากที่สุดจะมีแสงสีเทาปนอยู่น้อยที่สุดทำให้มีความบริสุทธิ์มากที่สุดและมีค่าโครมามากที่สุด ซึ่งค่านี้มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับค่าแวลูโดยเมื่อค่าโครมามีค่ามากขึ้นจะทำให้ค่าแวลูมีค่าน้อยลง



ภาพประกอบ 9 แสดงระบบค่าสีมันเซลล์

ที่มา: Vadher R, Parma G, Kanodia S, Chaudhary A, Kaur M, Savadhahariya T. Basics of Color in Dentistry: A Review. Journal of Dental and Medical Sciences. 2014;13(9):78-85.⁽⁴²⁾

4.1.2 ระบบค่าสีซีแอลบี (CIE Lab color system) International Commission on Illumination (CIE) เป็นองค์กรที่ก่อตั้งขึ้นในปี 1913 เพื่อกำหนดมาตรฐานการวัดสี โดยในปี 1976 ได้มีการกำหนดปริภูมิสี CIE Lab ขึ้นตามหลักการพื้นฐานการมองเห็นของตามนุษย์ที่มีความไวต่อแสง 3 สีได้แก่ แดง เขียว และน้ำเงิน จากการรับรู้สีของหน่วยรับสีรูปกรวย 3 ชนิดในเรตินา (Retina) ซึ่งเป็นที่ยอมรับและได้รับความนิยอย่างกว้างขวาง ปริภูมิสีซีแอลบี (CIE Lab color space) เป็นปริภูมิสี 3 มิติประกอบด้วย 3 แกน⁽⁴²⁾ ดังภาพประกอบ 10 ได้แก

4.1.2.1 แกน L* แสดงความสว่างของสีมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ยิ่งค่า L* มีค่ามากสีจะยิ่งมีความสว่างมาก

4.1.2.2 แกน a* แสดงความเป็นสีแดงและความเป็นสีเขียวของสี โดยส่วนของแกนที่เป็น + ใช้แสดงความเป็นสีแดง ยิ่งค่า a* มีค่าเป็นบวกมากสียิ่งมีความเป็นสีแดงมาก และส่วนของแกนที่เป็น - ใช้เพื่อแสดงความเป็นสีเขียว ยิ่งค่า a* มีค่าเป็นลบมากสีก็ยิ่งมีความเป็นสีเขียวมาก

4.1.2.3 แกน b* แสดงความเป็นสีเหลืองและความเป็นสีน้ำเงินของสี โดยส่วนของแกนที่เป็น + ใช้แสดงความเป็นสีเหลือง ยิ่งค่า b* มีค่าเป็นบวกมากสียิ่งมีความเป็นสีเหลืองมาก และส่วนของแกนที่เป็น - ใช้เพื่อแสดงความเป็นสีน้ำเงิน ยิ่งค่า b* มีค่าเป็นลบมากสีก็ยิ่งมีความเป็นสีน้ำเงินมาก

ค่าสี L* a* b* ได้จากการคำนวณตามสมการที่ใช้ค่า X, Y, Z ซึ่งเป็นค่าไตรสติมูลัส (Tristimulus value) ของตัวอย่างสีหนึ่งๆ และค่า X_n, Y_n, Z_n ซึ่งเป็นค่าไตรสติมูลัสของสีขาวที่อ้างอิงถึง (Reference white) โดยค่า L* a* b* สามารถนำมาใช้หาค่า ΔE_{ab}^* ได้ตามสมการ⁽⁴³⁾

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

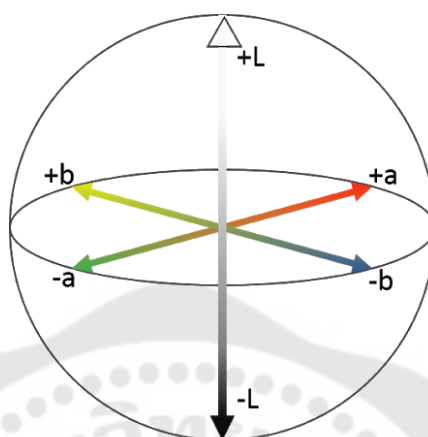
ΔE_{ab}^* หมายถึงค่าความแตกต่างของสีสองสีใดๆในปริภูมิซีแอลบี

ΔL^* หมายถึงความแตกต่างของค่า L* ระหว่างสีสองสี

Δa^* หมายถึงความแตกต่างของค่า a* ระหว่างสีสองสี

Δb^* หมายถึงความแตกต่างของค่า b* ระหว่างสีสองสี

โดยค่า ΔE_{ab}^* สามารถบอกได้เพียงขนาดความแตกต่างของสีแต่ไม่สามารถบอกได้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร



ภาพประกอบ 10 แสดงระบบสีซีแอลบี

ที่ ม ๑: Vadher R, Parma G, Kanodia S, Chaudhary A, Kaur M, Savadhahariya T. Basics of Color in Dentistry: A Review. Journal of Dental and Medical Sciences. 2014;13(9):78-85.⁽⁴²⁾

4.2 เครื่องวัดค่าสี

4.2.1 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) เป็นหนึ่งในเครื่องมือวัดสีที่มีความแม่นยำมากที่สุดและถูกใช้งานบ่อยในการเทียบสีในทางทันตกรรม โดยจะทำการวัดปริมาณพลังงานแสงที่ถูกสะท้อนกลับออกมาจากวัตถุตลอดช่วงสเปกตรัมของแสงที่ตามองเห็นได้ (Visible spectrum) สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดแสง ตัวรับแสง (Detector) และระบบที่ใช้ในการวัดค่าสีโดยการเปลี่ยนแสงที่ได้รับให้เป็นสัญญาณที่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ตามหลักการของระบบค่าสีซีแอลบี โดยค่าสีที่ได้มักจะถูกแสดงผลในรูปแบบที่เหมือนกับชุดเทียบสีฟันเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานทางทันตกรรม⁽⁴⁴⁾ เมื่อเทียบกับการวัดสีด้วยตามนุษย์แล้ว Paul และคณะ ในปี 2002⁽⁴⁵⁾ พบว่าการใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ให้ความแม่นยำในการวัดสีมากกว่าตามนุษย์ 33 เปอร์เซ็นต์ และยังมีความถูกต้องในการวัดซ้ำสูงถึง 83.3 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ตามนุษย์มีความถูกต้องในการวัดซ้ำเพียง 26.6 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การศึกษาของ Dasilva และคณะในปี 2008⁽⁴⁶⁾ ยังพบว่าเปอร์เซ็นต์การยอมรับสีครอบคลุมพื้นที่ใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์มีค่าสูงกว่าการใช้ตามนุษย์ โดยครอบคลุมพื้นที่ใช้การดูสีด้วยตามีโอกาสถูกปฏิเสธมากกว่า 12.5 เท่า

4.2.2 คัลเลอริมิเตอร์ (Colorimeter) เป็นเครื่องที่วัดแสงที่สะท้อนกลับออกมาจากวัตถุโดยใช้ตัวกรอง (Filter) ในการแบ่งแสงออกเป็นสีแดง เขียว และน้ำเงิน แล้ววิเคราะห์ในรูปแบบค่าไตรสติมัลตามระบบค่าสีซีแอลบี เนื่องจากคัลเลอริมิเตอร์ไม่ได้บันทึกค่าแสงในรูปแบบของสเปกตรัมของแสงที่ตามองเห็นได้ทำให้ความแม่นยำในการวิเคราะห์น้อยกว่าเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์⁽⁴⁴⁾

4.3.3 กล้องดิจิทัลและระบบการจัดการรูปภาพ (Digital camera and imaging system) กล้องดิจิทัลทำการจับภาพโดยใช้อุปกรณ์ถ่ายเทประจุ (Charged coupled device, CCD) ซึ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่ไวต่อแสงซึ่งมีขนาดเล็กมากจำนวนมากหลายล้านชิ้น ทำการบันทึกสีแดง เขียว และน้ำเงินลงไปในแต่ละพิกเซล (Pixel) ที่เป็นหน่วยพื้นฐานที่เล็กที่สุดของภาพดิจิทัล⁽⁴⁷⁾ แล้วทำการสร้างภาพสีขึ้น จากการผสมสีทั้งสามเข้าด้วยกันในหลากหลายรูปแบบ ทำให้ได้สีอื่นอีกมากมายที่แตกต่างกันทำให้ได้สีในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic) ซึ่งต้องใช้วิธีการต่างๆในการวิเคราะห์และแปลข้อมูลเหล่านี้ให้เป็นข้อมูลค่าสีที่ใช้งานได้⁽⁴⁴⁾

4.3 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสี

เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสี (Color tolerance) หมายถึงขอบเขตการยอมรับหรือไม่ยอมรับความแตกต่างหรือความคลาดเคลื่อนไปของสีใดๆเมื่อเทียบกับสีมาตรฐานโดยใช้ค่าตัวเลขที่แสดงความแตกต่างสีแทนการเทียบสี ในทางทันตกรรมการประเมินนัยสำคัญของความแตกต่างของสีนี้จะใช้การทดสอบด้วยผู้สังเกตการณ์ที่เป็นมนุษย์ร่วมกับเครื่องวัดค่าสีซึ่งผลที่ได้จะขึ้นอยู่กับรูปแบบการวิจัยและความสามารถในการรับรู้ของแต่ละบุคคลทำให้ค่าที่ได้มีความแปรปรวนแตกต่างกันไปในแต่ละการศึกษา⁽⁴⁴⁾ ดังที่สรุปไว้ในตาราง 2

ตามมาตรฐาน ISO/TR 28642:2016⁽⁴⁸⁾ ขององค์การมาตรฐานสากล (International organization for standardization, ISO) ได้แนะนำให้ใช้ 50:50% Perceptibility threshold (PT) และ 50:50% Acceptability threshold (AT) ในการประเมินความคลาดเคลื่อนของสี โดยการหาค่า ΔE_{ab}^* ในลักษณะ 50:50% PT คือความคลาดเคลื่อนสีที่สามารถถูกรับรู้ได้โดยผู้สังเกตการณ์จำนวน 50 เปอร์เซ็นต์และ 50:50% AT คือค่าความคลาดเคลื่อนสีที่สามารถยอมรับได้โดยผู้สังเกตการณ์จำนวน 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีเกณฑ์ PT และ AT ที่แน่นอนสำหรับการเทียบสีในทางทันตกรรม⁽⁴⁶⁾

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้เลือกที่จะใช้เกณฑ์ของ Paravina และคณะในปี 2015⁽⁴⁹⁾ ซึ่งได้ทำการทดลองโดยใช้แผ่นเซรามิกเป็นตัวอย่างสำหรับทดสอบ มีผู้สังเกตการณ์ 5 กลุ่มได้แก่ ทันตแพทย์, นักศึกษาทันตแพทย์, ผู้ช่วย ทันตแพทย์, ช่างทันตกรรม และบุคคลทั่วไป พบว่าใน

การคำนวณค่าสีด้วยระบบซีแล็บ 50:50% PT มีค่า ΔE_{ab}^* เท่ากับ 1.2 และ 50:50% AT มีค่า ΔE_{ab}^* เท่ากับ 2.7

ตาราง 1 แสดงข้อมูลโดยสรุปของงานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสี

ผู้วิจัย	ปี	ตัวอย่างที่ใช้	ผลการวิจัย
Ruyter และคณะ ⁽⁵⁰⁾	1987	แผ่นเรซินคอมโพสิต	50:50% AT = 3.3
Douglass และ Brewer ⁽⁵¹⁾	1998	ครอบฟันโลหะเคลือบ	50:50% PT = 0.4
		พอร์ซเลน	50:50% AT = 1.7
Ragian และ Johnston ⁽⁵²⁾	2000	แผ่นเรซินคอมโพสิต	50:50% AT = 2.72
Douglass และคณะ ⁽⁵³⁾	2007	ฟันอะคริลิก	50:50% PT = 2.6
			50:50% AT = 5.5
Ishikawa-Nagai และคณะ ⁽⁵⁴⁾	2009	ครอบฟันเซรามิก	Mean PT = 1.6
		(Zirconia coping + Layered porcelain)	
Paravina และคณะ ⁽⁴⁹⁾	2015	แผ่นเซรามิก	50:50% PT = 1.2
			50:50% AT = 2.7

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง
2. ขั้นตอนการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล
3. การวิเคราะห์ข้อมูล

การออกแบบงานวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Experimental research)

การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในงานวิจัย

เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม ความโปร่งแสงปานกลาง สี A2 (IPS e.max CAD MT shade A2, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

กำหนดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยทั้งหมด 80 ชิ้น แบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 20 ชิ้น
ดังนี้

1. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความหนา 0.5 มิลลิเมตร
2. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความหนา 1.0 มิลลิเมตร
3. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความหนา 1.5 มิลลิเมตร
4. เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความหนา 2.0 มิลลิเมตร

หลังจากนั้นแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 4 กลุ่มย่อยตามสีของแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน (Light-curing IPS natural die material, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) กลุ่มละ 5 ชิ้น
ดังนี้

1. แผ่นเรซินสีเหมือนฟันสี ND3
2. แผ่นเรซินสีเหมือนฟันสี ND5
3. แผ่นเรซินสีเหมือนฟันสี ND7
4. แผ่นเรซินสีเหมือนฟันสี ND9

เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

1. วัสดุเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม ความโปร่งแสงปานกลาง สี A2 (IPS e.max CAD MT shade A2, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)
2. วัสดุเรซินสีเหมือนฟันชนิดบ่มตัวด้วยแสง (Light-curing IPS natural die material, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)
3. วัสดุเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองรูปแบบ สีใส (Variolink Esthetic DC neutral shade, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)
4. กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้น 5% (IPS Ceramic etching gel, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)
5. กรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 37% (N-Etch, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)
6. สารไฮเลน (Monobond N, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)
7. สารยึดติด (Tetric N-bond Universal, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)
8. ผงและน้ำสำหรับเคลือบผิวเซรามิก (IPS Ivocolor glaze powder & IPS Ivocolor mixing liquid allround, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)
9. วัสดุพิมพซิลิโคนชนิดพัตตี (Provil Novo Putty Soft, Heraeus Kulzer, Switzerland)
9. วัสดุพิมพซิลิโคนชนิดเหนียว (Provil Novo Light, Heraeus Kulzer, Switzerland)
10. เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (Bluephase, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)
11. เครื่องวัดความเข้มแสง (Bluephase Meter II, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)
12. ไมโครมิเตอร์ชนิดดิจิทัล (Digital micrometer IP-65, Mitutoyo, Japan)
13. เครื่องตัดใบเลื่อยเพชร (IsoMet 1000 precision saw, Buehler, U.S.A.)
14. เครื่องขัดผิววัสดุ (Nano 1000T grinder polisher, Pace Technologies, U.S.A.)
15. กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Olympus SZ61, Olympus Optical, Japan)
16. เครื่องล้างความถี่สูง (Sonorex Digitec DT31H, Bandelin, Germany)
17. เตาเผาเซรามิก (Programat P310 furnace, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)
18. เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (VITA Easyshade V, Vita Zahnfabrik, Germany)
19. กระดาษทรายเบอร์ 220, 600, 800, 1000, 1200
20. แมพิมพิลโหะสำหรับทำแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน
21. แผ่นฟอยล์โลหะหนา 0.1 มิลลิเมตร

22. ไมโครบรัช (Micro brush)
23. แผ่นแก้วหนา (Glass slab)
24. แผ่นแก้วสไลด์ (Glass slide)
25. กล้องดำสำหรับวัดค่าสี

ตาราง 2 แสดงชื่อผลิตภัณฑ์ บริษัทผู้ผลิต และส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ชื่อผลิตภัณฑ์	บริษัทผู้ผลิต	ส่วนประกอบ	เลขที่ผลิตและวันหมดอายุ
IPS e.max CAD	Ivoclar Vivadent	SiO ₂ 57-80%, Li ₂ O 11-19%, K ₂ O 0-13%, P ₂ O ₅ 0-11%, ZrO ₂ 0-8%, ZnO 0-8%, Al ₂ O ₃ 0-5%, MgO 0-5%, coloring oxides 0-8% by weight	Z00D3S
IPS Natural Die Material	Ivoclar Vivadent	Polyesterurethanedimethacrylate, silicon dioxide, paraffin oil, copolymer, initiators, stabilizers and pigments	ND3: Y48142, 25/11/2023 ND5: X50488, 12/11/2022 ND7: Y07854, 17/1/2023 ND9: W90046, 16/10/2021
Variolink Esthetic DC	Ivoclar Vivadent	Monomer matrix: urethane dimethacrylate, methacrylate monomers Inorganic fillers: ytterbium trifluoride, spheroid mixed oxide Additional contents: Initiators, stabilizers, pigments	Z01MKB, 16/8/2023
N-Etch	Ivoclar Vivadent	37% Phosphoric acid	Z012CT, 15/4/2023

ตาราง 2 (ต่อ)

ชื่อผลิตภัณฑ์	บริษัทผู้ผลิต	ส่วนประกอบ	เลขที่ผลิตและวันหมดอายุ
IPS ceramic etching gel	Ivoclar Vivadent	5% Hydrofluoric acid	Z00XFP, 14/2/2024
Monobond N	Ivoclar Vivadent	Alcohol solution of silane methacrylate, phosphoric acid methacrylate, sulfide methacrylate	Z01B66, 24/11/2022
Tetric N-bond Universal	Ivoclar Vivadent	HEMA, 10-MDP, Bis-GMA, MCAP, D3MA, ethanol, water, highly dispersed silicon dioxide, initiators, stabilizers	Z01FLF, 11/1/2023

ขั้นตอนการทดลอง

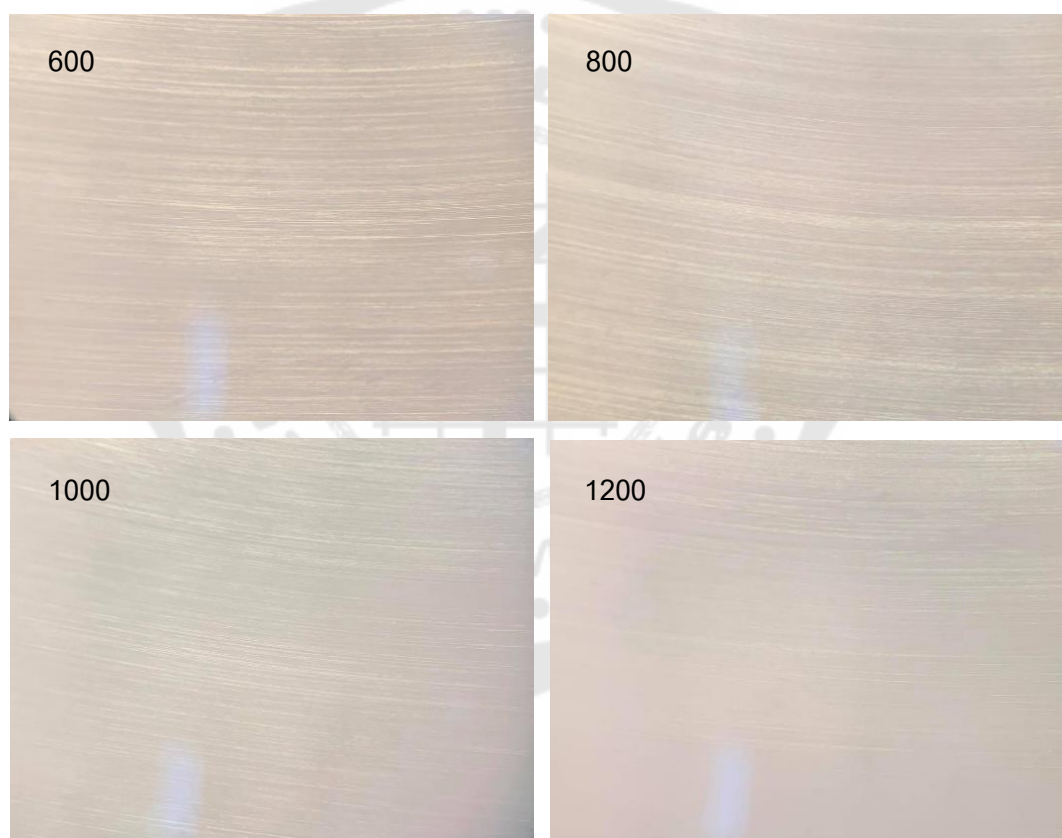
1. การเตรียมแผ่นเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต

1.1 ใช้ที่จับยึดบล็อกเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม ความโปร่งแสงปานกลาง สี A2 (IPS e.max CAD MT shade A2, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) แล้วตัดด้วยเครื่องตัดใบเลื่อยเพชร (IsoMet 1000 precision saw, Buehler, U.S.A.) ความหนาแผ่นตัดกากเพชร 0.5 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที โดยมีน้ำลดความร้อนดังภาพประกอบ 11 ทำให้ได้แผ่นเซรามิกที่มีขนาด 12x14 ตารางมิลลิเมตร โดยหนา 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 11 แสดงการตัดบล็อกเซรามิกด้วยเครื่องตัดใบเลื่อยเพชร

1.2 ขัดผิวแผ่นเซรามิกด้วยเครื่องขัดผิววัสดุ (Nano 1000T grinder polisher, Pace Technologies, U.S.A.) ด้านที่จะวัดค่าสีด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600, 800, 1000 และ 1200 ตามลำดับ^(4, 10, 38) ด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาทีโดยมีน้ำไหลผ่านตลอดเวลา ดังภาพประกอบ 13 ในแต่ละเบอร์จะขัดจนกระทั่งมองไม่เห็นรอยของกระดาษทรายเบอร์ก่อนหน้าในกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Olympus SZ61, Olympus Optical, Japan) ดังภาพประกอบ 12 และขัดอีกด้านหนึ่งด้วยกระดาษทรายเบอร์ 220 เพื่อปรับความหนาของแผ่นเซรามิกจนได้ความหนาที่ต้องการ ± 0.01 มิลลิเมตร ตรวจสอบความหนาด้วยเครื่องดิจิทัลไมโครมิเตอร์ (Digital micrometer IP-65, Mitutoyo, Japan)



ภาพประกอบ 12 แสดงลักษณะผิวของเซรามิกที่ผ่านการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600, 800, 1000 และ 1200 เมื่อมองดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ



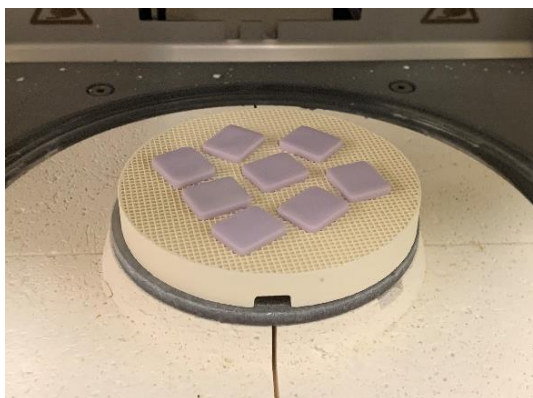
ภาพประกอบ 13 แสดงการขัดผิวแผ่นเซรามิกด้วยเครื่องขัดผิววัสดุ

1.3 ทำความสะอาดแผ่นเซรามิกด้วยน้ำกลั่นและเครื่องล้างความถี่สูง (Sonorex Digitec DT31H, Bandelin, Germany) เป็นเวลา 5 นาทีแล้วซับให้แห้งดังภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 14 แสดงการทำทำความสะอาดแผ่นเซรามิกด้วยเครื่องล้างความถี่สูง

1.4 ผสมผงและน้ำสำหรับเคลือบผิวเซรามิก (IPS Ivocolor glaze powder & IPS Ivocolor mixing liquid allround, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ทาบนแผ่นเซรามิกด้านที่จะใช้วัดค่าสี นำไปวางบนถาดรูปร่างรังผึ้ง (Honeycombed firing tray) แล้วนำเข้าเตาเผาเซรามิก (Programat P310 furnace, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) เพื่อให้เกิดการตกผลึก (Crystallization) ตามวิธีที่ผู้ผลิตแนะนำดังภาพประกอบ 15 หลังจากนั้นวางทิ้งไว้ให้แผ่นเซรามิกเย็นตัวลงดังภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 15 แสดงการเผาแผ่นเซรามิกด้วยเตาเผาเซรามิก



ภาพประกอบ 16 แสดงแผ่นเซรามิกความหนา 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตรที่ผ่านการเคลือบผิวและเผาแล้ว

2. การเตรียมบล็อกเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตสำหรับใช้อ้างอิง

2.1 ใช้ที่จับยึดบล็อกเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม ความโปร่งแสงปานกลาง สี A2 (IPS e.max CAD MT shade A2, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) แล้วตัดส่วนด้ามจับ (Mandrel) ออกด้วยเครื่องตัดใบเลื่อยเพชร (IsoMet 1000 precision saw, Buehler, U.S.A.) ความหนาแผ่นตัดกากเพชร 0.5 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที โดยมีน้ำลดความร้อน ทำให้ได้บล็อกเซรามิกที่มีขนาด 12x14x13 ลูกบาศก์มิลลิเมตร

2.2 ขัดผิวบล็อกเซรามิกบริเวณหน้าตัดด้วยเครื่องขัดผิววัสดุ (Nano 1000T grinder polisher, Pace Technologies, U.S.A.) ด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600, 800, 1000 และ 1200 ตามลำดับ^(4, 10, 38) ด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาทีโดยมีน้ำไหลผ่านตลอดเวลา ในแต่ละเบอร์จะขัดจนกระทั่งมองไม่เห็นรอยของกระดาษทรายเบอร์ก่อนหน้าในกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Olympus SZ61, Olympus Optical, Japan)

2.3 ทำความสะอาดบล็อกเซรามิกด้วยน้ำกลั่นและเครื่องล้างความถี่สูง (Sonorex Digitec DT31H, Bandelin, Germany) เป็นเวลา 5 นาทีแล้วซับให้แห้ง

2.4 ผสมผงและน้ำสำหรับเคลือบผิวเซรามิก (IPS Ivocolor glaze powder & IPS Ivocolor mixing liquid allround, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ทาบริเวณหน้าตัดของบล็อกเซรามิก นำไปวางบนถาดรูปรังผึ้ง (Honeycombed firing tray) แล้วนำไปเผาในเตาเผาเซรามิก (Programat P310 furnace, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) เพื่อให้เกิดการตกผลึก (Crystallization) ตามวิธีที่ผู้ผลิตแนะนำ หลังจากนั้นวางทิ้งไว้ให้บล็อกเซรามิกเย็นตัวลงดังภาพประกอบ 17

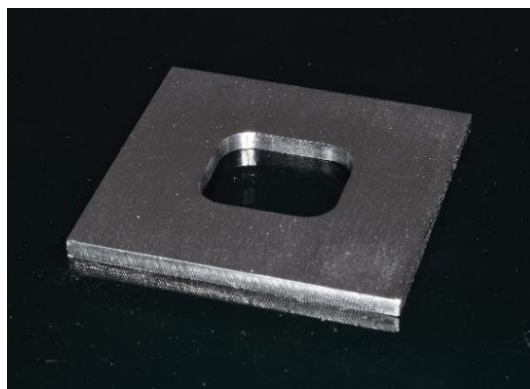


ภาพประกอบ 17 แสดงบล็อกเซรามิกสำหรับใช้อ้างอิง

3. การเตรียมแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน

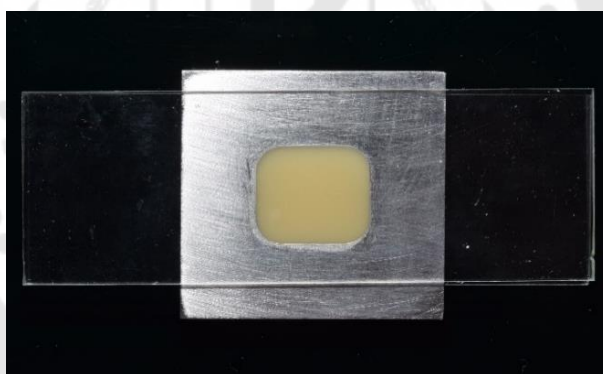
3.1 วัสดุเรซินสีเหมือนฟันชนิดบ่มตัวด้วยแสง (Light-curing IPS natural die material, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ถูกใช้เพื่อเป็นตัวแทนของเนื้อฟันสีต่างๆ โดยสีที่เลือกใช้ได้แก่ ND3, ND5, ND7 และ ND9 เป็นตัวแทนของเฉดสีอ่อน (Light), สีอ่อนปานกลาง (Medium-light), สีเข้มปานกลาง (Medium-dark) และสีเข้ม (Dark) ตามลำดับ

3.2 เตรียมแม่พิมพ์ขึ้นงานทำจากโลหะไร้สนิมสำหรับทำแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 25x25x2 ลูกบาศก์มิลลิเมตร มีช่องตรงกลางขนาด 12x14 ตารางมิลลิเมตรเท่ากับขนาดของแผ่นเซรามิกดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 แสดงแม่พิมพ์สำหรับทำแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน

3.3 นำแม่พิมพ์วางลงบนแผ่นแก้วหนา (Glass slab) แล้วตัดวัสดุเรซินสีเหมือนฟันใส่ลงไปแม่พิมพ์จนเต็ม หลังจากนั้นนำแผ่นแก้วสไลด์ (Glass slide) วางทับไว้ด้านบนเพื่อให้ผิวของเรซินสีเหมือนฟันเรียบเสมอกันดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 แสดงการทำแผ่นเรซินสีเหมือนฟันด้วยแม่พิมพ์

3.4 ฉายแสงผ่านแผ่นแก้วสไลด์ด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (Bluephase, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ความเข้มแสงไม่ต่ำกว่า 1,000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรเป็นเวลา 40 วินาที โดยวางปลายท่อนำแสงแนบชิดกับแผ่นแก้วสไลด์ซึ่งมีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร นำแผ่นเรซินสีเหมือนฟันออกจากแม่พิมพ์แล้วฉายแสงด้านอื่นๆโดยรอบอีกด้านละ 20 วินาที โดยตรวจสอบเครื่องฉายแสงด้วยเครื่องวัดความเข้มแสง (Bluephase Meter II, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ทุกครั้งที่เปลี่ยนชิ้นงาน

3.5 ขัดผิวแผ่นเรซินสีเหมือนฟันด้านที่จะยึดกับแผ่นเซรามิกด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 800 และ 1000 ตามลำดับ⁽³⁸⁾ ที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 นาทีโดยมีน้ำไหลผ่าน

ตลอดเวลาดังภาพประกอบ 20 และขัดอีกด้านหนึ่งด้วยกระดาษทรายเบอร์ 220 เพื่อปรับความหนาของแผ่นเรซินสีเหมือนฟันจนได้ความหนา 2 ± 0.01 มิลลิเมตร ตรวจสอบความหนาด้วยเครื่องดิจิตอลไมโครมิเตอร์ (Digital micrometer IP-65, Mitutoyo, Japan)



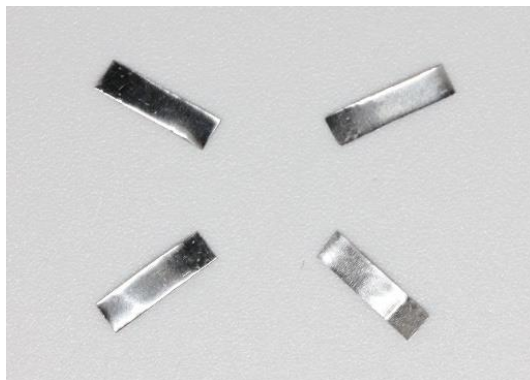
ภาพประกอบ 20 แสดงการขัดผิวแผ่นเรซินสีเหมือนฟันด้วยเครื่องขัดผิววัสดุ



ภาพประกอบ 21 แสดงแผ่นเรซินสีเหมือนฟันสี ND3, ND5, ND7 และ ND9

4. การยัดแผ่นเซรามิกเข้ากับแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน

4.1 ตัดแผ่นฟอยล์โลหะไว้ส้นมีความหนา 0.1 มิลลิเมตรให้เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2x8 ตารางมิลลิเมตร จำนวน 4 แผ่น สำหรับใช้เป็นตัวคั่น (Spacer) ระหว่างแผ่นเซรามิกและแผ่นเรซินสีเหมือนฟันเพื่อกำหนดความหนาของเรซินซีเมนต์ดังภาพประกอบ 22



ภาพประกอบ 22 แสดงแผ่นฟอยล์โลหะไร้สนิมหนา 0.1 มิลลิเมตรสำหรับใช้เป็นตัวคั่นระหว่างแผ่นเซรามิกและแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน

4.2 เตรียมบล็อกสำหรับใช้ในขั้นตอนการยัดเรซินซีเมนต์โดยผสมวัสดุพิมพ์ซิลิโคนชนิดพัตตี้ (Provil Novo Putty Soft, Heraeus Kulzer, Switzerland) ใส่ลงในกล่องแล้วกดแผ่นเรซินสีเหมือนฟันลงไปให้จมจนสุดความหนา รอจนวัสดุแข็งตัวแล้วจึงนำแผ่นเรซินสีเหมือนฟันออก หลังจากนั้นใช้วัสดุพิมพ์ซิลิโคนชนิดหนีน้อย (Provil Novo Light, Heraeus Kulzer, Switzerland) ฉีดลงไปบริเวณโดยรอบหลุมที่เกิดขึ้น รอจนวัสดุแข็งตัวแล้วทำการตัดแต่งบริเวณมุมทั้งสี่ให้เป็นช่องสำหรับวางตัวคั่นดังภาพประกอบ 23



ภาพประกอบ 23 แสดงบล็อกสำหรับใช้ในขั้นตอนการยัดเรซินซีเมนต์

4.3 ทำความสะอาดแผ่นเซรามิกและแผ่นเรซินสีเหมือนฟันด้วยน้ำกลั่นและเครื่องล้างความถี่สูง (Sonorex Digitec DT31H, Bandelin, Germany) เป็นเวลา 5 นาทีแล้วซับให้แห้ง

4.4 เตรียมพื้นผิวแผ่นเรซินสีเหมือนฟันโดยทากรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 37% (N-Etch, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วินาที ล้างด้วยสเปรย์น้ำเป็นเวลา 10 วินาทีแล้วเป่าให้แห้ง หลังจากนั้นทาสารยึดติด (Tetric N-bond Universal, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ทิ้งไว้เป็นเวลา 20 วินาที เป่าลมเบาๆ แล้วฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (Bluephase, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ความเข้มแสงไม่ต่ำกว่า 1,000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร โดยฉายแสงบริเวณกึ่งกลางแผ่นและมุมทั้งสี่ตำแหน่งละ 20 วินาที เพื่อให้ครอบคลุมทั่วทั้งแผ่น และตรวจสอบเครื่องฉายแสงด้วยเครื่องวัดความเข้มแสง (Bluephase Meter II, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ทุกครั้งที่เปลี่ยนชิ้นงาน

4.5 เตรียมพื้นผิวแผ่นเซรามิกโดยทากรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้น 5% (IPS ceramic etching gel, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ทิ้งไว้เป็นเวลา 20 วินาที ล้างน้ำเป็นเวลา 10 วินาทีแล้วเป่าให้แห้ง โดยไม่ใช้ผงทำให้กรดเป็นกลาง (Neutralizing power) เนื่องจากจะทำให้เกิดตะกอนบนผิวเซรามิกและขัดขวางการแทรกซึมของเรซินซีเมนต์ได้⁽⁵⁵⁾ หลังจากนั้นจึงทาสารไซเลน (Monobond N, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ทิ้งไว้เป็นเวลา 60 วินาทีแล้วเป่าลมเป็นเวลา 10 วินาที

4.6 นำแผ่นเรซินสีเหมือนฟันวางลงในบล็อกซิลิโคนแล้ววางตัวคั่นลงไปทั้งสี่มุมดังภาพประกอบ 24 ฉีดเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองรูปแบบ สีใส (Variolink Esthetic DC Neutral shade, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ที่ผสมผ่านหัวผสม (Mixing tip) ลงบนแผ่นเรซินสีเหมือนฟันแล้วปิดทับด้วยแผ่นเซรามิก ออกแรงกดจนกระทั่งแผ่นเซรามิกแนบสนิทกับตัวคั่นทั้งสี่มุมแล้วทำความสะอาดเรซินซีเมนต์ส่วนเกินด้วยไมโครเบรช (Microbrush) ดังภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 24 แสดงการใช้แผ่นฟอยล์โลหะไว้คั่นมุมระหว่างแผ่นเซรามิกและแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน



ภาพประกอบ 25 แสดงการปิดทับแผ่นเรซินสีเหมือนฟันและตัวคั่นด้วยแผ่นเซรามิก

4.7 ฉายแสงผ่านแผ่นเซรามิกด้วยด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (Bluephase, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ความเข้มแสงไม่ต่ำกว่า 1,000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรเป็นเวลา 40 วินาที โดยวางปลายท่อนำแสงบริเวณกึ่งกลางและแนบชิดกับแผ่นเซรามิก นำชิ้นงานออกจากบล็อกแล้วฉายแสงด้านอื่นๆโดยรอบอีกด้านละ 20 วินาที หลังจากนั้นจึงดึงตัวคั่นออกจากชิ้นงานทั้งสี่มุมดังภาพประกอบ 26 ตรวจสอบเครื่องฉายแสงด้วยเครื่องวัดความเข้มแสง (Bluephase Meter II, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ทุกครั้งที่เปลี่ยนชิ้นงาน

4.8 ตรวจสอบความหนาชิ้นงานก่อนและหลังการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ด้วยเครื่องดิจิตอลไมโครมิเตอร์ (Digital micrometer IP-65, Mitutoyo, Japan) ให้มีความหนาของเรซินซีเมนต์อยู่ที่ 0.1 ± 0.01 มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 26 แสดงชิ้นงานที่ผ่านการยึดด้วยเรซินซีเมนต์

5. การวัดค่าสีชิ้นงาน

5.1 วัดค่าสีชิ้นงานหลังการยัดด้วยเรซินซีเมนต์ 24 ชั่วโมงเพื่อให้เรซินซีเมนต์เกิดการบ่มตัวอย่างสมบูรณ์⁽⁵⁶⁾ โดยเก็บรักษาไว้ในกล่องปิดทึบ การวัดค่าสีจะทำการวัดภายในกล่องดำเพื่อตัดแสงจากภายนอกโดยใช้กล่องสูง 20 มิลลิเมตรสำหรับบล็อกเซรามิกและสูง 10 มิลลิเมตรสำหรับชิ้นงานทดสอบ ภายในกล่องมีฐานสำหรับกำหนดตำแหน่งชิ้นงานให้อยู่ตรงกลางกล่องและที่ฝากล่องมีรูตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตรเท่ากับขนาดปลายหัววัดของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (VITA Easyshade V, Vita Zahnfabrik, Germany) เพื่อกำหนดตำแหน่งปลายหัววัดให้อยู่กึ่งกลางชิ้นงานดังภาพประกอบ 27 ทำการวัดชิ้นงานละ 3 ครั้งดังภาพประกอบ 28 และปรับเทียบหัววัดทุกครั้งก่อนการใช้งาน



ภาพประกอบ 27 แสดงกล่องดำสำหรับวัดค่าสีชิ้นงาน



ภาพประกอบ 28 แสดงการวัดค่าสีชิ้นงานด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

5.2 คำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE_{ab}^*) จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของสีระหว่างบล็อกเซรามิกที่ใช้อ้างอิงและแผ่นเซรามิกที่ผ่านการยัดเข้ากับแผ่นเรซินสีเหมือนฟันด้วยเรซินซีเมนต์แล้วตามสมการ⁽⁴³⁾

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยการจับคู่กลุ่ม (Multiple comparison) แบบทูเกีย (Tukey honest significant difference test) กำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) ทั้งนี้การคำนวณสถิติจะใช้โปรแกรมเอสพีเอส เอสเวอร์ชัน 20 (SPSS statistics 20, IBM)

กำหนดให้ค่า ΔE_{ab}^* ที่ 1.2 เป็นค่าที่สามารถรับรู้การเปลี่ยนแปลงของสีได้ (Perceptibility threshold, PT) และค่า ΔE_{ab}^* ที่ 2.7 เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่สามารถยอมรับได้ (Acceptability threshold, AT) ตามการศึกษาของ Paravina และคณะในปี 2015⁽⁴⁹⁾

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการปิดสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซลิเกตบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนต่างๆ ตามที่ได้วางแผนไว้ และสามารถทราบถึงประสิทธิภาพในการปิดสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซลิเกตแคด/แคม ความโปร่งแสงปานกลางบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งได้ทำการทดลองศึกษาเซรามิกชนิดลิเทียมไดซลิเกตแคด/แคม ความโปร่งแสงปานกลางที่มีความหนาแตกต่างกัน 4 ขนาด และพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน 4 เฉดสี โดยประเมินจากการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิก (ΔE_{ab}^*) เมื่อนำไปปิดทับบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันเปรียบเทียบกับสีของบล็อกเซรามิกที่ใช้ในการอ้างอิง ซึ่งได้จากการใช้ค่า L^* , a^* และ b^* ที่ได้จากการวัดชิ้นงานและบล็อกเซรามิกด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์นำมาคำนวณตามสูตรสมการที่กำหนด แล้วนำมาพิจารณาตามเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสีตามการศึกษาของ Paravina และคณะ⁽⁴⁹⁾ ซึ่งแบ่งเป็นเกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนสีที่สามารถรับรู้ได้ (Perceptibility threshold, PT) และค่าความคลาดเคลื่อนสีที่ไม่สามารถยอมรับได้ (Acceptability threshold, AT)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ทำกรเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจากห้องปฏิบัติการทั้งหมด 80 ชิ้นได้ถูกนำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. ผลวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา
2. ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ
3. ผลการวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้มีตัวแปรอิสระในการวิจัยจำนวน 2 ตัวแปรได้แก่ ความหนาของเซรามิกและสีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน และมีตัวแปรตามจำนวน 1 ตัวแปรได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซลิเกต (ΔE_{ab}^*)

1. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเชิงพรรณนา

การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาเป็นการศึกษาข้อมูลค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซลิเกต (ΔE_{ab}^*) ที่เก็บมาจากกลุ่มตัวอย่างเพื่อศึกษาผลในภาพรวมก่อนทำการทดสอบสมมติฐาน โดยผลการวิเคราะห์ได้จำแนกออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1.1 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซลิเกต (ΔE_{ab}^*) จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

ค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซลิเกต (ΔE_{ab}^*) มีค่าเท่ากับ $5.53 (\pm 5.16)$ อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เห็นอาจจะเปลี่ยนไปหากทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการจำแนกตามตัวแปรอิสระ ซึ่งผลการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาจำแนกตามตัวแปรอิสระได้ถูกนำเสนอในหัวข้อถัดไป

1.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซลิเกต (ΔE_{ab}^*) จำแนกตามความหนาของเซรามิก

ตาราง 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซลิเกต (ΔE_{ab}^*) จำแนกตามความหนาของเซรามิก

ความหนาของเซรามิก (มม.)			
0.5	1.0	1.5	2.0
10.86 ± 5.99	5.27 ± 4.26	3.43 ± 3.02	2.56 ± 1.91

จากตาราง 3 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซลิเกต (ΔE_{ab}^*) มีค่าลดลงเมื่อความหนาของเซรามิกเพิ่มขึ้น โดยที่ความหนา 0.5 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดเท่ากับ $10.86 (\pm 5.99)$ รองลงมาคือความหนา 1.0 และ 1.5 มิลลิเมตรเท่ากับ $5.27 (\pm 4.26)$ และ $3.43 (\pm 3.02)$ ตามลำดับ และความหนา 2.0 มิลลิเมตรมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ $2.56 (\pm 1.91)$ อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงในบางกลุ่มอาจจะเป็นผลมาจากความหนาของเซรามิกที่แตกต่างกันหรืออาจจะมีผลร่วมจากสีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนพื้นด้วยเช่นกัน ซึ่งผลการทดสอบทางสถิติเพื่อทดสอบว่าความแตกต่างที่แสดงในส่วนนี้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่จะถูกนำเสนอในหัวข้อที่ 2 ของบทนี้

1.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซลิเกต (ΔE_{ab}^*) จำแนกตามสีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน

ตาราง 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*) จำแนกตามสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน

สีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน			
ND3	ND5	ND7	ND9
3.42 ± 2.61	4.51 ± 3.97	2.48 ± 1.25	11.69 ± 5.56

จากตาราง 4 สีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน ND9 มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*) สูงที่สุดเท่ากับ $11.69 (\pm 5.56)$ และมีความแตกต่างจากสีอื่นอย่างชัดเจน โดยสีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสีอื่นมีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* เรียงตามลำดับจากมากไปน้อยได้ดังต่อไปนี้ ND5 เท่ากับ $4.51 (\pm 3.97)$ ND3 เท่ากับ $3.42 (\pm 2.61)$ และ ND7 เท่ากับ $2.48 (\pm 1.25)$ อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แสดงในส่วนนี้อาจจะเป็นผลมาจากสีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่แตกต่างกันหรืออาจจะมีผลร่วมจากความหนาของเซรามิกด้วยเช่นกัน ซึ่งผลการทดสอบทางสถิติเพื่อทดสอบว่าความแตกต่างที่แสดงในส่วนนี้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่จะถูกนำเสนอในส่วนที่ 2 ของบทนี้

2. ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

การทดสอบเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*) โดยมีตัวแปรอิสระในการทดลอง 2 ตัวแปรคือ ความหนาของเซรามิกและสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

2.1 ผลการทดสอบสมมติฐานเพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิกและสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน ต่อการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*)

ตาราง 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของตัวแปรอิสระความหนาของเซรามิกและสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน

ตัวแปรอิสระ	F	Sig. (p-value)	Partial Eta Squared
ความหนาของเซรามิก	5856.147	0.000	0.996
สีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน	7412.207	0.000	0.997
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิกและสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน	490.095	0.000	0.986

สมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิกและสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*)

H_1 : ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิกและสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*)

จากตาราง 5 พบว่าค่าสถิติ F ของปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิกและสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันเท่ากับ 490.095 และมีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพราะฉะนั้นจึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานว่างได้หรือกล่าวคือ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิกและสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เนื่องจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิกและสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การทดสอบสมมติฐานของแต่ละตัวแปรอิสระจึงต้องทำการทดสอบอิทธิพลหลักอย่างง่าย (Simple Main Effect) เพื่อเป็นการทดสอบเปรียบเทียบว่า

1. ในแต่ละความหนาของเซรามิก การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*) ระหว่างแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันแตกต่างกันหรือไม่
2. ในแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*) ระหว่างแต่ละความหนาของเซรามิกแตกต่างกันหรือไม่

การทดสอบอิทธิพลหลักอย่างง่ายนี้สามารถใช้วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และการทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างแบบจับคู่ (Multiple Comparison) แบบทูกีย์ (Tukey Honest Significant Different Test) โดยผลการทดสอบได้ถูกนำเสนอในหัวข้อถัดไป

2.2 ผลการทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลึเทียมไดซิลิกเกต (ΔE_{ab}^*) จำแนกตามตัวแปรอิสระ

ตาราง 6 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวจำแนกตามสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันโดยมีความหนาของเซรามิกเป็นตัวแปรอิสระ

สีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน	F	Sig. (p-value)	Partial Eta Squared
ND3	1024.368	0.000	0.995
ND5	1880.847	0.000	0.997
ND7	258.788	0.000	0.980
ND9	3396.240	0.000	0.998

สมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลึเทียมไดซิลิกเกต (ΔE_{ab}^*) ไม่แตกต่างกันในแต่ละความหนาของเซรามิก ภายใต้สีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันเดียวกัน

H_1 : การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลึเทียมไดซิลิกเกต (ΔE_{ab}^*) แตกต่างกันในแต่ละความหนาของเซรามิก ภายใต้สีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันเดียวกัน

จากตาราง 7 พบว่าค่า p-value ของทุกสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญในการทดสอบสมมติฐานที่ 0.05 แสดงว่า สมมติฐานว่างถูกปฏิเสธหรือกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลึเทียมไดซิลิกเกต (ΔE_{ab}^*) แตกต่างกันในแต่ละความหนาของเซรามิก ภายใต้แต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน ND3, ND5, ND7 และ ND9 จึงต้องทำการทดสอบเปรียบเทียบแบบจับคู่เพื่อวิเคราะห์ว่าภายใต้สีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสีเดียวกันความหนาของเซรามิกคู่ไหนที่มีการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลึเทียมไดซิลิกเกต (ΔE_{ab}^*) แตกต่างกันซึ่งจะกล่าวต่อในหัวข้อถัดไป

ตาราง 7 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวจำแนกตามความหนาของเซรามิก โดยมีสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันเป็นตัวแปรอิสระ

ความหนาของเซรามิก (มม.)	F	Sig. (p-value)	Partial Eta Squared
0.5	3649.650	0.000	0.999
1.0	1734.861	0.000	0.997
1.5	1595.879	0.000	0.997
2.0	887.747	0.000	0.997

สมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*) ไม่แตกต่างกันในแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน ภายใต้ความหนาของเซรามิกเดียวกัน

H_1 : การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*) แตกต่างกันในแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน ภายใต้ความหนาของเซรามิกเดียวกัน

จากตาราง 6 พบว่าค่า p-value ของทุกกลุ่มความหนาของเซรามิกเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญในการทดสอบสมมติฐานที่ 0.05 แสดงว่าสมมติฐานว่างถูกปฏิเสธหรือกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*) แตกต่างกันในแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน ภายใต้แต่ละความหนาของเซรามิกได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตร จึงต้องทำการทดสอบเปรียบเทียบแบบจับคู่เพื่อวิเคราะห์ว่าภายใต้ความหนาเซรามิกเดียวกัน สีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันคู่ไหนที่มีการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*) แตกต่างกันซึ่งจะกล่าวต่อในหัวข้อถัดไป

2.3 ผลการทดสอบสมมติฐานแบบจับคู่แบบทวิภาคีเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*) จำแนกตามตัวแปรอิสระ

ตาราง 8 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*) จำแนกตามความหนาของเซรามิกและสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน

ความหนาของ เซรามิก (มม.)	สีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน			
	ND3	ND5	ND7	ND9
0.5	7.68 ± 0.27^{Aa}	11.05 ± 0.33^{Ba}	4.56 ± 0.17^{Ca}	20.15 ± 0.21^{Da}
1.0	3.05 ± 0.25^{Ab}	3.71 ± 0.27^{Bb}	1.95 ± 0.13^{Cb}	12.36 ± 0.33^{Db}
1.5	1.54 ± 0.15^{Ac}	1.86 ± 0.12^{Ac}	1.80 ± 0.30^{Ab}	8.51 ± 0.12^{Bc}
2.0	1.41 ± 0.11^{Ac}	1.44 ± 0.13^{Ac}	1.62 ± 0.11^{Ab}	5.76 ± 0.24^{Bd}

อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* ของสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันภายใต้ความหนาเซรามิกเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* ของความหนาเซรามิกภายใต้สีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตาราง 8 สามารถสรุปผลการทดสอบสมมติฐานเปรียบเทียบแบบจับคู่ได้ดังนี้

2.3.1 ภายใต้ความหนาของเซรามิก 0.5 มิลลิเมตร สีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันทุกสีมีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย ND9 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ $20.15 \pm (0.21)$ รองลงมาคือ ND5 เท่ากับ $11.05 \pm (0.33)$ ND3 เท่ากับ $7.68 (\pm 0.27)$ และ ND7 มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ $4.56 (\pm 0.17)$

2.3.2 ภายใต้ความหนาของเซรามิก 1.0 มิลลิเมตร สีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันทุกสีมีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย ND9 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ $12.36 (\pm 0.33)$ รองลงมาคือ ND5 เท่ากับ $3.71 (\pm 0.27)$ ND3 เท่ากับ $3.05 (\pm 0.25)$ และ ND7 มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ $1.95 (\pm 0.13)$

2.3.3 ภายใต้ความหนาของเซรามิก 1.5 มิลลิเมตร สีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน ND9 มีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* สูงที่สุดเท่ากับ $8.51 (\pm 0.12)$ แตกต่างกับสีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสีอื่นไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.3.4 ภายใต้ความหนาของเซรามิก 2.0 มิลลิเมตร สีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนพื้น ND9 มีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* สูงที่สุดเท่ากับ $5.76 \pm (0.24)$ แตกต่างกับสีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของพื้นหลังเรซินสีเหมือนพื้นสีอื่นไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.3.5 ภายใต้สีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนพื้น ND3 ความหนาของเซรามิก 0.5 มิลลิเมตรมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ $7.68 (\pm 0.27)$ แตกต่างกับความหนา 1.0 มิลลิเมตรที่มีค่าเฉลี่ยรองลงมาคือ $3.05 (\pm 0.25)$ อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ค่านี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับค่าเฉลี่ยที่ความหนา 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตร ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ความหนา 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตรไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.3.6 ภายใต้สีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนพื้น ND5 ความหนาของเซรามิก 0.5 มิลลิเมตรมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ $11.05 \pm (0.33)$ แตกต่างกับความหนา 1.0 มิลลิเมตรที่มีค่าเฉลี่ยรองลงมาคือ $3.71 (\pm 0.27)$ อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ค่านี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับค่าเฉลี่ยที่ความหนา 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตร ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ความหนา 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตรไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

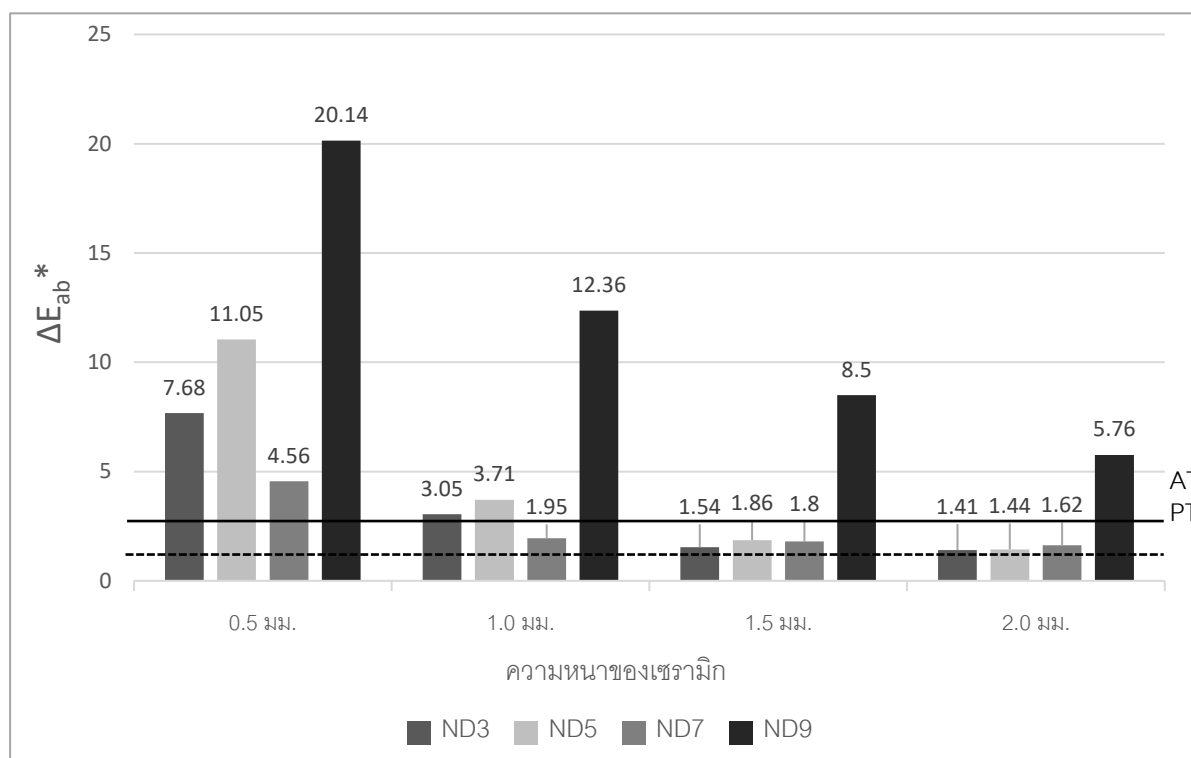
2.3.7 ภายใต้สีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนพื้น ND7 ความหนาของเซรามิก 0.5 มิลลิเมตรมีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* สูงที่สุดเท่ากับ $4.56 (\pm 0.17)$ แตกต่างกับความหนาอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของความหนาเซรามิกอื่นไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.3.8 ภายใต้สีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนพื้น ND9 ความหนาของเซรามิกทุกกลุ่มมีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความหนาของเซรามิก 0.5 มิลลิเมตรมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ $20.15 \pm (0.21)$ รองลงมาคือความหนา 1.0 มิลลิเมตรเท่ากับ $12.36 (\pm 0.33)$ ความหนา 1.5 มิลลิเมตรเท่ากับ $8.51 (\pm 0.12)$ และความหนา 2.0 มิลลิเมตรมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ $5.76 \pm (0.24)$

จากผลการทดสอบเปรียบเทียบแบบจับคู่สามารถกล่าวโดยสรุปได้ว่าที่ความหนาของเซรามิก 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตรมีผลทำให้ค่า ΔE_{ab}^* ในแต่ละสีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนพื้นแตกต่างกัน เมื่อความหนาเพิ่มขึ้นจะมีเพียงสีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนพื้น ND9 ที่มีค่า ΔE_{ab}^* แตกต่างจากสีอื่น หรือในทางกลับกัน ND9 เป็นเพียงสีเดียวที่มีค่า ΔE_{ab}^* แตกต่างกันในทุกระดับความหนาของเซรามิก สีอื่นจะมีผลที่ความหนาที่น้อยได้แก่ ความหนา 0.5 มิลลิเมตรสำหรับ ND3 ND5 และ ND7 และความหนา 1.0 มิลลิเมตรสำหรับ ND3 และ ND5

3. ผลการวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

3.1 ผลสรุปค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซลิเกต (ΔE_{ab}^*) ในแต่ละกลุ่มการทดลอง เปรียบเทียบกับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสี



ภาพประกอบ 29 แสดงค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซลิเกต (ΔE_{ab}^*) จำแนกตามความหนาของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซลิเกตและสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน เปรียบเทียบกับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสี

จากภาพประกอบ 28 พบว่าที่ความหนาเซรามิก 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซลิเกต (ΔE_{ab}^*) มีความแตกต่างกันในแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน ในขณะที่ความหนา 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* ในระหว่างสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน ND3 ND5 และ ND7 ใกล้เคียงกัน มีเพียง ND9 ที่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแตกต่างจากสีอื่นอย่างชัดเจนภายในกลุ่มความหนาของเซรามิกเดียวกัน แสดงว่าความหนาของเซรามิกมีปฏิสัมพันธ์ต่อแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันแตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยภายในสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันเดียวกันพบว่า ND9 มีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* แตกต่างกันในทุกความหนาของเซรามิก ในขณะที่ ND3 และ ND5 มีค่า ΔE_{ab}^* ระหว่างกลุ่มความหนา 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตรแตกต่างกันและแตกต่างกับอีก 2 กลุ่มที่

เหลือ สำหรับ ND7 พบความแตกต่างของค่า ΔE_{ab}^* ระหว่างกลุ่มที่มีความหนาของเซรามิก 0.5 มิลลิเมตรกับกลุ่มอื่นๆที่มีความหนาของเซรามิกมากกว่า แสดงว่าสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันมีปฏิสัมพันธ์ต่อแต่ละความหนาของเซรามิกแตกต่างกัน

นอกจากนี้เมื่อนำค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* ในแต่ละกลุ่มไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสีตามการศึกษาของ Paravina และคณะ⁽⁴⁹⁾ ซึ่งแบ่งเป็นเกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนสีที่สามารถรับรู้ได้ (Perceptibility threshold, PT) มีค่าเท่ากับ 1.2 และค่าความคลาดเคลื่อนสีที่สามารถยอมรับได้ (Acceptability threshold, AT) มีค่าเท่ากับ 2.7 จะพบว่าไม่มีกลุ่มการทดลองใดที่มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าเกณฑ์ PT หมายความว่าทุกกลุ่มการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกที่สามารถรับรู้ได้ด้วยตาเปล่า และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ AT จะพบว่ามีเพียงกลุ่มความหนา 1.0 มิลลิเมตรบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND7 และกลุ่มความหนา 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตรบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND3 ND5 และ ND7 เท่านั้นที่มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าซึ่งหมายความว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกอยู่ในขอบเขตที่สามารถยอมรับได้

3.2 ผลการวัดค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE_{ab}^* ของบล็อกเซรามิกและแผ่นเรซินสีเหมือนฟันสีต่างๆ

ตาราง 9 แสดงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE_{ab}^* ของบล็อกเซรามิกและแผ่นเรซินสีเหมือนฟันสีต่างๆ

ชิ้นงาน	L^*	a^*	b^*	ΔE_{ab}^*
บล็อกเซรามิก	80.23	-0.70	14.97	-
ND3	71.80	-1.20	37.80	24.35
ND5	71.13	-1.20	45.37	31.76
ND7	70.73	0.63	35.53	22.69
ND9	43.20	5.80	18.13	39.84

จากตาราง 9 พบว่า ND9 มีค่า ΔE_{ab}^* สูงที่สุดเท่ากับ 39.84 รองลงมาคือ ND5 เท่ากับ 31.76 ในขณะที่ ND3 และ ND7 มีค่า ΔE_{ab}^* ใกล้เคียงกันคือ 24.35 และ 22.69 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแยกตามองค์ประกอบย่อยที่ใช้ในการคำนวณค่า ΔE_{ab}^* พบว่าแต่ละแผ่นเรซินสีเหมือนฟันมีความแตกต่างกันในค่าที่วัดได้ขององค์ประกอบย่อยดังนี้

ND9 มีค่าแตกต่างกับแผ่นเรซินสีเหมือนฟันอื่น โดยมีค่า L^* น้อยที่สุดเท่ากับ 43.20 ในขณะที่แผ่นเรซินสีเหมือนสีอื่นมีค่า L^* เกิน 70.00 โดย ND3 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 71.80 รองลงมาคือ ND5 เท่ากับ 71.13 และ ND7 เท่ากับ 70.73 นอกจากนี้ ND9 ยังมีค่า b^* น้อยที่สุดเท่ากับ 18.13 ในขณะที่ ND5 มีค่า b^* สูงที่สุดเท่ากับ 45.37 รองลงมาคือ ND3 เท่ากับ 37.80 และ ND7 เท่ากับ 35.53

ในทางตรงกันข้าม ค่า a^* ของ ND9 มีค่าสูงที่สุดและแตกต่างจากแผ่นเรซินสีเหมือนฟันแผ่นอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 5.80 ในขณะที่ ND3 และ ND5 มีค่าเท่ากันและติดลบเท่ากับ -1.20 ส่วน ND7 มีค่าเท่ากับ 0.63



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยเรื่องความสามารถในการปิดสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคมบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่ต่างกัน ทางผู้วิจัยนำข้อมูลผลการวิจัยที่ได้มาประเมินและทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติ จึงได้มีข้อสรุปในการดำเนินงานโดยแบ่งหัวข้อในการสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. สรุปผลวิจัย
2. อภิปรายผลการวิจัย
3. ข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความสามารถในการปิดสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคมความโปร่งแสงปานกลาง พิจารณาจากค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิก (ΔE_{ab}^*) เมื่อนำไปปิดทับบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสีต่างๆเปรียบเทียบกับสีของบล็อกเซรามิกที่ใช้อ้างอิง ทางผู้วิจัยได้ทำการสรุปผลการทดลองไว้ดังนี้

ความหนาของเซรามิกมีผลต่อความสามารถในการปิดสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต โดยเมื่อความหนาของเซรามิกเพิ่มมากขึ้นค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิก (ΔE_{ab}^*) จะมีค่าลดลง ดังเห็นได้จากผลการวิจัยที่พบว่ากลุ่มเซรามิกที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตรจะมีค่า ΔE_{ab}^* มากที่สุด และค่าดังกล่าวจะมีค่าน้อยลงเรื่อยๆและมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเซรามิกมีความหนา 2.0 มิลลิเมตรไม่ว่าจะอยู่บนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสีใดก็ตาม ซึ่งในกลุ่มความหนาเซรามิก 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตรพบว่าค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* บนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันทั้ง 4 สีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่กลุ่มความหนา 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตรนั้นมีเพียงบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND9 เท่านั้นที่มีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* แตกต่างจากสีอื่นๆ และเมื่อนำค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* ในแต่ละกลุ่มความหนาไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสีของ Paravina และคณะ⁽⁴⁹⁾ จะพบว่าที่ความหนาเซรามิก 0.5 มิลลิเมตรนั้นไม่มีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* ในกลุ่มใดเลยที่มีค่าน้อยกว่า 2.7 ซึ่งเป็นเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสีที่สามารถยอมรับได้ (Acceptability threshold, AT) และที่ความหนาเซรามิก 1.0 มิลลิเมตรมีเพียงบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND7 เท่านั้นที่มีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* น้อยกว่าเกณฑ์ AT ในขณะที่กลุ่มความหนา 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตรพบว่าทุกกลุ่มยกเว้นกลุ่ม ND9 มีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* น้อยกว่าเกณฑ์ AT อย่างไรก็ตามไม่มีกลุ่มใดเลย

ที่มีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* น้อยกว่าเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่สามารถรับรู้ได้ (Perceptibility threshold, PT) ที่มีค่าเท่ากับ 1.2

นอกจากนี้สีของพื้นหลังก็มีผลต่อความสามารถในการปิดสีของเซรามิกชนิดเคลือบไดซิดิเกตด้วยเช่นกัน โดยยิ่งสีของพื้นหลังมีความแตกต่างจากสีของเซรามิกมากก็ยิ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิก (ΔE_{ab}^*) มาก ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้พบว่าพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND9 มีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* มากที่สุด รองลงมาคือสี ND5 ND3 และ ND7 น้อยที่สุดตามลำดับ โดยในกลุ่มพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND9 จะมีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกกลุ่มความหนาของเซรามิก ในขณะที่กลุ่ม ND3 และ ND5 จะมีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* ในกลุ่มความหนา 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตรแตกต่างจากอีก 2 กลุ่มความหนาที่เหลือ และในกลุ่ม ND7 จะมีเพียงที่ความหนาเซรามิก 0.5 มิลลิเมตรเท่านั้นที่มีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* แตกต่างจากกลุ่มความหนาอื่นๆ เมื่อนำค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* ในแต่ละกลุ่มไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสีของ Paravina และคณะ⁽⁴⁹⁾ จะพบว่าในกลุ่มพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND9 ไม่มีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* ในกลุ่มความหนาใดเลยที่มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ AT ส่วนกลุ่ม ND3 และ ND5 พบว่าที่ความหนาเซรามิก 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตรมีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* น้อยกว่าเกณฑ์ AT ในขณะที่กลุ่ม ND7 พบว่าทุกกลุ่มความหนา ยกเว้นกลุ่มความหนา 0.5 มิลลิเมตรมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ AT อย่างไรก็ตามไม่มีกลุ่มใดเลยที่มีค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* น้อยกว่าเกณฑ์ PT

ดังนั้นจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงได้ปฏิเสธสมมติฐานว่างของการวิจัยทั้ง 2 ข้อทำให้สามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดเคลือบไดซิดิเกตนั้นมีความแตกต่างกันในแต่ละความหนาของเซรามิกภายใต้สีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสีเดียวกัน โดยเซรามิกจะสามารถปิดสีได้ดีขึ้นเมื่อมีความหนาเพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดเคลือบไดซิดิเกตนั้นมีความแตกต่างกันในแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันภายใต้ความหนาเซรามิกเดียวกัน โดยสี ND9 ซึ่งเป็นสีที่เข้มที่สุดนั้นไม่สามารถปกปิดได้แม้ว่าจะใช้เซรามิกที่มีความหนา 2.0 มิลลิเมตรก็ตาม

อภิปรายผลการวิจัย

ในอดีตการบูรณะฟันด้วยเซรามิกเพียงอย่างเดียวไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากเซรามิกมีความเปราะบางแตกหักง่ายทำให้ต้องใช้ร่วมกับโลหะเพื่อเพิ่มความแข็งแรง แต่เมื่อเทคโนโลยีมีความก้าวหน้ามากขึ้นทำให้สามารถพัฒนาเซรามิกที่มีความแข็งแรงสูงและมีวิธีการขึ้นรูปที่ง่ายทำให้ในปัจจุบันมีการบูรณะโดยการใส่เซรามิกล้วน (All-ceramic) กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งเซรามิก

เป็นวัสดุบูรณะที่สามารถเลียนแบบลักษณะของฟันธรรมชาติได้ใกล้เคียงมากที่สุดตอบสนองความต้องการด้านความสวยงามของผู้ป่วยโดยเฉพาะการบูรณะบริเวณฟันหน้า อย่างไรก็ตามเซรามิกแต่ละชนิดมีสมบัติทางแสงที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะและจำนวนของผลึกรวมไปถึงองค์ประกอบทางเคมี ทำให้ทันตแพทย์ควรมีความเข้าใจและมีการเลือกใช้เซรามิกชนิดต่างๆอย่างเหมาะสมภายใต้สถานการณ์หลากหลาย

เซรามิกเป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่มีทั้งโลหะและอโลหะ ผ่านการเผาให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจนเกิดเป็นของแข็งที่มีลักษณะโครงสร้างโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) ที่มีเม็ดผลึกเกาะรวมกันเป็นกลุ่มก้อนและเกิดรอยต่อระหว่างผลึกขึ้น (Grain boundary) รวมไปถึงรูพรุนที่สามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างกระบวนการเผาเซรามิก ซึ่งองค์ประกอบต่างๆเหล่านี้จะส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพรวมไปถึงสมบัติทางแสงของเซรามิก ทำให้ให้เซรามิกมีความโปร่งแสง ทึบแสง และมีความดัชนีหักเห (Refractive index) แตกต่างกัน เกิดจากปรากฏการณ์ทางแสงต่างๆที่เกิดขึ้นภายในเนื้อเซรามิกไม่ว่าจะเป็นการส่องผ่าน (Transmission), การดูดซับ (Absorption), การกระเจิง (Scattering), การสะท้อน (Reflection) และการหักเห (Refraction)⁽³³⁾

องค์ประกอบของเซรามิกในส่วนกลาสเมทริกซ์เฟส (Glass-matrix phase) ที่เป็นโครงร่างแหซิลิกา (Silica network) อะตอมจะจัดเรียงตัวแบบไร้ระเบียบและไม่เป็นผลึกส่งผลให้เซรามิกมีความใสเนื่องจากแสงสามารถส่องผ่านได้ง่าย ในขณะที่องค์ประกอบในส่วนคริสตัลไลน์เฟส (Crystalline phase) จะมีลักษณะโครงสร้างเป็นผลึกที่มีการจัดเรียงอะตอมแบบมีแบบแผนและมีรอยต่อระหว่างผลึก (Grain boundary) ซึ่งผลึกและรอยต่อเหล่านี้จะทำให้แสงเกิดการกระเจิงหักเหและผ่านไปได้น้อยลง ดังนั้นเซรามิกที่มีความใสจะต้องมีรูพรุน รอยต่อระหว่างผลึก และจำนวนผลึกที่น้อยเพื่อลดการกระเจิงของแสงภายในเนื้อเซรามิก⁽³³⁾ เซรามิกที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้คือเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มกลาสเมทริกซ์เซรามิก (Glass-matrix ceramic) ที่ประกอบไปด้วย 2 ส่วนทั้งกลาสเมทริกซ์เฟสและคริสตัลไลน์เฟส ทำให้เซรามิกชนิดนี้มีความใสในขณะเดียวกันก็มีความทึบแสงอยู่ในระดับหนึ่งพอที่จะปิดสีฟันหลังได้บางส่วน โดยเลือกใช้ไอพีเอสอีแมกซ์แคด (IPS e.max CAD) ที่ได้รับความนิยมมากขึ้นจากความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ โดยมีบล็อกความโปร่งแสงระดับต่างๆให้เลือกใช้ซึ่งข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างบล็อกคือ ในบล็อกที่มีความโปร่งแสงน้อยกว่าจะมีจำนวนผลึกมากกว่าทำให้ค่าดัชนีหักเหระหว่างผลึกและกลาสเมทริกซ์แตกต่างกันมากขึ้น⁽²⁰⁾ อีกทั้งมีขนาดผลึกเล็กกว่าทำให้มีจำนวนรอยต่อระหว่างผลึกเพิ่มขึ้น องค์ประกอบเหล่านี้ส่งผลให้เกิดการกระเจิงของแสงภายในเนื้อเซรามิกมากขึ้นและทำให้เซรามิกมีความโปร่งแสงน้อยลง⁽³³⁾ ซึ่งความโปร่งแสงของ

เซรามิกจะมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการปิดสีของเซรามิกโดยตรง โดยมีการศึกษา^(7, 9, 16) ที่แสดงให้เห็นว่าเซรามิกที่มีความโปร่งแสงน้อยจะสามารถปิดสีพื้นหลังได้ดีกว่าเซรามิกที่มีความโปร่งแสงมากที่ความหนาเซรามิกเท่ากัน สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้บล็อกที่มีความโปร่งแสงอยู่ในระดับปานกลาง (Medium translucency, MT) ทำให้เซรามิกมีความใสและสวยงามมากกว่าบล็อกชนิดความโปร่งแสงน้อย (Low translucency, LT) ในขณะเดียวกันก็สามารถปิดสีพื้นหลังได้ดีกว่าบล็อกชนิดความโปร่งแสงมาก (High translucency, HT) อีกทั้งงานวิจัยของ Fonza และคณะในปี 2016⁽³²⁾ ยังพบว่าบล็อกความโปร่งแสงปานกลางมีความต้านทานแรงเฉือน (Flexural strength) มากกว่าชนิดความโปร่งแสงมาก อย่างไรก็ตามการศึกษาความสามารถในการปิดสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตที่ผ่านมาจะเป็นการศึกษาในบล็อกชนิดความโปร่งแสงมากและความโปร่งแสงน้อยเป็นหลัก ในขณะที่บล็อกความโปร่งแสงปานกลางยังคงขาดการศึกษาวิจัย

นอกจากความโปร่งแสงของเซรามิกจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเซรามิกแล้วยังขึ้นอยู่กับความหนาของเซรามิกด้วยเช่นกัน ดังเห็นได้จากผลการวิจัยในครั้งนี้นี้ที่พบว่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*) มีความแตกต่างกันในแต่ละความหนา โดยเซรามิกที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตรจะได้รับอิทธิพลจากสีของพื้นหลังมากที่สุดและมีค่า ΔE_{ab}^* มากที่สุดในทุกสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน และจะสามารถปิดสีพื้นหลังได้ดีขึ้นเมื่อเซรามิกมีความหนาเพิ่มขึ้นดังเห็นได้จากค่า ΔE_{ab}^* ในกลุ่มความหนา 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตรที่ค่อยๆลดลงตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตจะสามารถปิดสีพื้นหลังได้ดีขึ้นเมื่อมีความหนาเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆก่อนหน้านี้^(7, 9-13) ผลลัพธ์ดังกล่าวเกิดจากการที่เซรามิกมีดัชนีความโปร่งแสง (Translucency parameter) ลดลงเมื่อมีความหนาเพิ่มขึ้น^(9, 57) ซึ่งการเพิ่มความหนาของเซรามิกเป็นการเพิ่มระยะทางที่แสงต้องทะลุผ่าน⁽¹²⁾ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มจำนวนอนุภาคต่อปริมาตรทำให้เกิดการกระเจิงของแสงภายในเนื้อเซรามิกมากขึ้น ส่งผลให้เซรามิกมีความทึบแสงมากขึ้นและสามารถปิดสีพื้นหลังได้ดีขึ้นนั่นเอง⁽⁵⁸⁾ การมองเห็นสีจริงของเซรามิกผิดเพี้ยนไปเกิดจากการที่แสงส่องผ่านเซรามิกลงไปกระทบพื้นผิวด้านใต้และสะท้อนสีของพื้นผิวนั้นออกมาผ่านเซรามิก Peixoto และคณะในปี 2007⁽⁵⁹⁾ พบว่าเมื่อเซรามิกมีความหนาเพิ่มขึ้นปริมาณของแสงที่ทะลุผ่านเซรามิกจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ นี่จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เมื่อเพิ่มความหนาของเซรามิกถึงระดับหนึ่งจนแสงทะลุผ่านได้น้อยแล้วอิทธิพลของสีพื้นรองด้านใต้จะลดน้อยลงจนไม่ส่งผลต่อสีที่มองเห็นของเซรามิกอีก ดังที่เห็นในกลุ่มพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND3 และ ND5 ที่ความหนาเซรามิกตั้งแต่ 1.5 มิลลิเมตรขึ้นไป และกลุ่มสี ND7 ที่ความหนาเซรามิกตั้งแต่ 1.0 มิลลิเมตรขึ้นไป ที่พบว่าค่า ΔE_{ab}^* จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

แม้ว่าการเพิ่มความหนาของเซรามิกจะเป็นประโยชน์ต่อการปิดสีของเนื้อฟันด้านใต้ โดยเฉพาะในการบูรณะฟันที่มีเนื้อฟันสีเข้ม แต่การเพิ่มความหนาของเซรามิกในการบูรณะฟันก็มีข้อจำกัดซึ่งจำเป็นจะต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆร่วมด้วย เนื่องจากการเพิ่มความหนาของเซรามิกจะทำให้ต้องมีการกรอฟันเพิ่มมากขึ้นซึ่งจำเป็นต้องคำนึงถึงการส่งผลกระทบต่อโครงประสาทฟันและโครงสร้างเนื้อฟันที่เหลืออยู่ซึ่งจะกระทบต่อความสำเร็จในการบูรณะฟันได้ โดยเฉพาะในการทำวีเนียร์ที่การยึดอยู่และความแข็งแรงจะลดลงหากมีการกรอจนถึงชั้นเนื้อฟัน⁽³⁶⁾ นอกจากนี้ความหนาของเซรามิกยังส่งผลต่อการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ ซึ่งจากการวิเคราะห์อภิมาน (Meta-analysis) ของ Martin และคณะในปี 2018⁽⁶⁰⁾ พบว่าค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of conversion) ของเรซินซีเมนต์ทั้งชนิดบ่มด้วยแสง (Light cure) และชนิดบ่มด้วยสองรูปแบบ (Dual cure) จะมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเซรามิกมีความหนามากกว่า 1.0 มิลลิเมตร ดังนั้นแล้วจึงควรใช้ความหนาของเซรามิกน้อยที่สุดเท่าที่จำเป็นที่เพียงพอต่อการปิดสีเนื้อฟันด้านใต้ ซึ่งหากไม่สามารถทำได้ควรพิจารณาไปใช้เซรามิกชนิดอื่นที่มีความโปร่งแสงน้อยลง หรือการบูรณะโดยใช้เซรามิกสองชั้น (Bilayer) โดยใช้เซรามิกที่มีความทึบแสงเป็นพื้นรองด้านใต้เพื่อปิดสีเนื้อฟัน

งานวิจัยนี้เลือกใช้เซรามิกสี A2 เพียงสีเดียวเท่านั้นซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยสีฟันตบในคนที่อายุเฉลี่ย 31 ปีตามการศึกษาของ Karaman และคณะในปี 2018⁽⁶⁾ นอกจากนั้นโดยปกติแล้วแก้ว (Glass) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่ทำให้เซรามิกมีความใสจะไม่มีสี แต่สามารถทำให้เกิดสีขึ้นได้โดยการใส่โลหะทรานซิชัน (Transition metal) หรือแร่ธาตุโลหะหายาก (Rare earth element) เข้าไปเช่น การใส่ไอออน 3 ไอออน (Fe^{3+}) จะทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น⁽⁶¹⁾ แม้ว่าเซรามิกจะเป็นชนิดเดียวกันและมีความหนาเท่ากันแต่หากมีเฉดสีที่ต่างกันจะส่งผลกระทบต่อทะลุผ่านของแสงและทำให้มีสมรรถนะทางแสง (Optical performance) ที่แตกต่างกันได้⁽³⁹⁾ โดยเฉพาะเซรามิกที่มีความหนาน้อย ซึ่งจากการศึกษาของ Ali และคณะในปี 2013⁽¹⁶⁾ พบว่าเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตสี BL1 เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันมากกว่าสี A2 และ C3 ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่สี A2 และ C3 มีค่ารงควัตถุของสี (Chromaticity) เพิ่มขึ้นทำให้ได้รับอิทธิพลจากสีของพื้นหลังน้อยลง ดังนั้นในการศึกษาเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม ความโปร่งแสงปานกลางเฉดสีอื่นๆอาจจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างออกไปจากการวิจัยในครั้งนี้

การศึกษาความสามารถในการปิดสีของเซรามิกนั้นมีการทดลองโดยใช้พื้นรองที่ทำจากวัสดุต่างๆไม่ว่าจะเป็น เรซินคอมโพสิต (Resin composite), เรซินสีเหมือนฟัน, เซอร์โคเนีย (Zirconia) และโลหะประเภทต่างๆ การทดลองในครั้งนี้เลือกใช้วัสดุเรซินสีเหมือนฟันคือเนเชอรัลดาวยของบริษัท Ivoclar (IPS natural die material) ซึ่งมีเฉดสีเหมือนกับแถบเทียบสีเนื้อฟันของ

บริษัทเดียวกัน (IPS natural die material shade guide) ที่นิยมใช้ในการเทียบสีฟันหลังการกรอแต่งเรียบร้อยแล้ว (Stump shade) เพื่อเป็นการจำลองสีของฟันหลัก (Abutment) หลังกรอแต่งสีต่างๆในทางคลินิก โดยแบ่งออกเป็น 9 เฉดสีไล่จากสีที่มีความสว่างมากที่สุดคือ ND1 ไปจนถึงสีที่เข้มที่สุดคือ ND9 ทั้งนี้ในการศึกษานี้เลือกใช้เพียง 4 เฉดสีได้แก่ ND3, ND5, ND7 และ ND9 โดยเป็นตัวแทนของเฉดสีอ่อน (Light), สีอ่อนปานกลาง (Medium-light), สีเข้มปานกลาง (Medium-dark) และสีเข้ม (Dark) ตามลำดับ

มีหลายการศึกษา^(10, 13, 16, 62) ที่แสดงให้เห็นว่าสีของพื้นรองด้านใต้มีผลต่อสีที่มองเห็นของเซรามิก เช่นเดียวกันกับผลการวิจัยในครั้งนี้ที่พบว่าค่า ΔE_{ab}^* มีความแตกต่างกันในแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน โดยค่า ΔE_{ab}^* มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อพื้นหลังมีสีเข้มมากขึ้นที่ความหนาเซรามิกเท่ากัน ดังเห็นได้จากการที่เซรามิกบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND5 มีค่า ΔE_{ab}^* มากกว่าสี ND3 และสำหรับสี ND9 ซึ่งมีสีเข้มที่สุดพบว่ามีค่า ΔE_{ab}^* มากที่สุดในทุกกลุ่มความหนาเซรามิก สอดคล้องกับผลการวิจัยอื่นๆ ได้แก่ Chaiyabutr และคณะในปี 2011⁽¹³⁾ ที่ได้ทำการศึกษาผลลัพธ์ของสีที่มองเห็นของเซรามิกโดยใช้กรอบฟันที่ทำจากเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม ความโปร่งแสงน้อย สวมลงบนตาย (Die) ที่ทำจากเนเซอรัลตายสี ND3, ND5, ND7 และ ND9 เช่นเดียวกัน พบว่าตายที่มีสีเข้มจะส่งผลให้มีค่า ΔE_{ab}^* มากกว่าตายที่มีสีอ่อน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของ Ali และคณะในปี 2013⁽¹⁶⁾ ที่ศึกษาเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม ทั้งบล็อกความโปร่งแสงมากและความโปร่งแสงน้อย บนเนเซอรัลตายสี ND1 และ ND4 เองก็พบว่าเซรามิกบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND4 มีค่า ΔE_{ab}^* มากกว่าสี ND1 และการศึกษาของ Basegio และคณะในปี 2019⁽⁶³⁾ ที่มีการศึกษาเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม ความโปร่งแสงน้อย บนเนเซอรัลตายสี ND3 ND8 และ ND9 โดยให้สี ND3 เป็นตัวแทนของสีเนื้อฟันมาตรฐานพบว่าเซรามิกบนสี ND9 มีค่า ΔE_{ab}^* มากกว่าสี ND8

ประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจคือผลการวิจัยในครั้งนี้พบว่ากลุ่มเรซินสีเหมือนฟันสี ND7 ที่แม้ว่าจะเป็นตัวแทนของเฉดสีเข้มปานกลางแต่กลับมีค่า ΔE_{ab}^* น้อยกว่ากลุ่มสี ND3 และ ND5 ซึ่งเป็นตัวแทนของเฉดสีอ่อนและสีอ่อนปานกลางตามลำดับที่ความหนาเซรามิก 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตร การทดลองในครั้งนี้ใช้การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของสีที่ได้จากกลุ่มทดลองกับบล็อกเซรามิกที่ทำการตัดด้วยจับ (Mandrel) ออกแล้วนำไปเผาเพื่อให้เกิดการตกผลึกอย่างสมบูรณ์ (Crystallization) มีความหนา 13 มิลลิเมตรและใช้เป็นตัวแทนสีที่แท้จริงของเซรามิกคือสี A2 โดยอนุมานว่าความหนาของบล็อกเซรามิกมากพอที่จะไม่ได้รับอิทธิพลจากสีของพื้นหลังเช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Niu และคณะในปี 2013⁽¹⁰⁾ ซึ่งยังไม่มีการศึกษาใดที่สามารถบอกได้ว่าเซรามิกควรจะต้องมีความ

หนาเท่าใดถึงจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงของสีจากอิทธิพลของสีพื้นหลัง ทั้งนี้เพื่อศึกษาว่าผลลัพธ์ของสีจากกลุ่มทดลองมีความผิดเพี้ยนไปจากสีจริงของเซรามิกมากเพียงใด เมื่อทำการวัดค่าสีของแผ่นเรซินสีเหมือนฟันทั้งสี่เฉดสีและนำไปเปรียบเทียบความแตกต่างของสีกับบล็อกเซรามิกที่ใช้ในการอ้างอิง พบว่าเรซินสีเหมือนฟันสี ND7 กลับมีสีใกล้เคียงกับบล็อกเซรามิกมากที่สุดตามมาด้วยสี ND3 ND5 และ ND9 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าสี L^* a^* และ b^* จะพบว่าแม้ว่าสี ND3 และ ND5 จะมีค่า L^* หรือความสว่างของสีมากกว่าสี ND7 เล็กน้อย แต่กลับมีค่า b^* หรือความเป็นสีเหลืองแตกต่างกับบล็อกเซรามิกอย่างมากโดยเฉพาะสี ND5 ทำให้สุดท้ายแล้วเมื่อนำค่าทั้งสามมาคำนวณหาความแตกต่างของสีกับสีของบล็อกเซรามิกกลับพบว่าสี ND7 มีค่า ΔE_{ab}^* น้อยกว่าทั้งสองสี นี่จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลการทดลองในครั้งนี้พบว่าค่า ΔE_{ab}^* ของเซรามิกบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND7 มีค่าน้อยที่สุดในกลุ่มเซรามิกที่มีความหนาน้อยๆ ซึ่งได้รับอิทธิพลจากสีของพื้นหลังมาก แตกต่างจากการศึกษาของ Chaiyabutr และคณะ⁽¹³⁾ ที่ใช้เรซินสีเหมือนฟันสี ND1 เป็นกลุ่มเปรียบเทียบ ซึ่งในงานวิจัยของ Czigola และคณะในปี 2019⁽⁷⁾ ที่ทำการศึกษาโดยใช้ครอบฟันที่กลึงจากเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิกเกตแคด/แคม ทั้งบล็อกความโปร่งแสงมากและความโปร่งแสงน้อย สวมลงบนตายที่ทำจากเนอเซอรัลตายสี ND1 ถึง ND9 รวมไปถึงโลหะและเซอรโคเนีย โดยใช้สี ND2 เป็นกลุ่มควบคุมเองก็พบว่าเซรามิกบนสี ND1 กลับมีค่า ΔE_{ab}^* มากกว่าสี ND3 ถึง ND7 ทั้งๆที่มีค่าความสว่างมากกว่าแต่มีค่าความเป็นสีเหลืองน้อยกว่า ทั้งนี้เป็นการแสดงให้เห็นถึงความซับซ้อนของสมบัติทางแสงของเซรามิก และแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างระหว่างสีของเซรามิกและสีของเนื้อฟันก็สามารถส่งผลต่อการปิดสีของเซรามิกได้เช่นกัน โดยยิ่งสีมีความแตกต่างกันมากก็จะมีส่งผลให้การปิดสีทำได้ยากขึ้นและอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องประเมินในการวางแผนการรักษา

การศึกษาความสามารถในการปิดสีของเซรามิกในงานวิจัยทางทันตกรรมส่วนใหญ่มีการใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ในการวัดค่าสี ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบของระบบค่าสีซีแอลบี (CIE Lab color system) เพื่อใช้ในการอธิบายความแตกต่างระหว่างสีสองสี ประกอบด้วยค่า L^* แสดงความสว่างของสี a^* แสดงความเป็นสีแดงและสีเขียว และ b^* แสดงความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยมีเกณฑ์หลัก 2 เกณฑ์ในการตัดสินค่าความคลาดเคลื่อนของสีตามมาตรฐาน ISO/TR 28642:2016⁽⁴⁸⁾ ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนสีที่สามารถรับรู้ได้โดยผู้สังเกตการณ์ 50 เปอร์เซ็นต์หรือ 50:50% Perceptibility threshold (PT) และความคลาดเคลื่อนสีที่สามารถยอมรับได้โดยผู้สังเกตการณ์ 50 เปอร์เซ็นต์หรือ 50:50% Acceptability threshold (AT) แต่ในปัจจุบันทั้งสองเกณฑ์ดังกล่าวยังไม่มีค่ามาตรฐานสำหรับใช้อ้างอิงในการเทียบสีเซรามิก⁽¹⁶⁾

งานวิจัยในครั้งนี้เลือกที่จะใช้เกณฑ์ของ Paravina และคณะในปี 2015⁽⁴⁹⁾ เช่นเดียวกับอีกหลายงานวิจัยในระยะหลัง^(7, 9, 63, 64) โดยใช้เกณฑ์ในระบบซีแล็บซึ่งกำหนดให้ 50:50% PT มีค่า ΔE_{ab}^* เท่ากับ 1.2 และ 50:50% AT มีค่า ΔE_{ab}^* เท่ากับ 2.7

เมื่อนำผลการวิจัยในครั้งนี้ไปอ้างอิงกับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสีดังกล่าวจะพบว่าไม่มีกลุ่มการทดลองใดเลยที่มีค่า ΔE_{ab}^* อยู่ภายในเกณฑ์ PT และสำหรับเกณฑ์ AT ซึ่งถือว่ามีความคลาดเคลื่อนสีอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ในทางคลินิกจะพบว่าเซรามิกที่มีความหนาตั้งแต่ 1.0 มิลลิเมตรขึ้นไปสามารถปิดสีเรซินสีเหมือนฟันสี ND7 ได้ และที่ความหนา 1.5 มิลลิเมตรขึ้นไปสามารถปิดสี ND3 และ ND5 ได้ ในขณะที่สี ND9 ซึ่งเป็นสีที่เข้มที่สุดนั้นไม่สามารถถูกปิดได้ แม้ว่าจะใช้เซรามิกที่มีความหนา 2.0 มิลลิเมตรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับบล็อกความโปร่งแสงมากในการศึกษาของ Czigola และคณะในปี 2019⁽⁷⁾ ที่ใช้เกณฑ์ของ Paravina และคณะ⁽⁴⁹⁾ เช่นเดียวกัน พบว่าที่ความหนาเซรามิก 1.5 มิลลิเมตรนั้นบล็อกความโปร่งแสงมากไม่สามารถปิดสี ND1 ถึง ND9 ได้เลย แสดงให้เห็นว่าบล็อกความโปร่งแสงปานกลางมีความสามารถในการปิดสีที่ดีกว่าบล็อกความโปร่งแสงมาก สำหรับสีที่เข้มที่สุดอย่างสี ND9 นั้นแม้ว่าการเพิ่มความหนาของเซรามิกให้มากกว่า 2.0 มิลลิเมตรอาจจะมีความเป็นไปได้ที่จะปิดสีได้ แต่กลับเป็นเรื่องยากและอาจไม่เหมาะสมในการใช้งานจริงในทางคลินิกตามข้อจำกัดที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ และอาจควรพิจารณาเปลี่ยนไปใช้เซรามิกชนิดอื่นที่มีความทึบแสงมากขึ้น ซึ่งในการศึกษาของ Czigola และคณะในปี 2019⁽⁷⁾ และ Basegio และคณะในปี 2019⁽⁶³⁾ ที่ใช้เกณฑ์ของ Paravina และคณะ⁽⁴⁹⁾ เช่นเดียวกัน พบว่าแม้ว่าจะใช้เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม ความโปร่งแสงน้อย ที่สามารถปิดสีพื้นหลังได้ดีกว่าแต่ที่ความหนา 1.5 มิลลิเมตรก็ไม่สามารถที่จะปิดสีเรซินสีเหมือนฟันสี ND9 ได้ อย่างไรก็ตามในการศึกษาของ Chayabutr และคณะในปี 2011⁽¹³⁾ นั้นพบว่าการใช้เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตแคด/แคม ความโปร่งแสงน้อยที่ความหนา 2.0 มิลลิเมตรนั้นสามารถปิดสี ND9 ได้ แต่มีการใช้เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสีที่แตกต่างจากอีกสองการศึกษาก่อนหน้านี้

งานวิจัยนี้ใช้เรซินซีเมนต์เป็นตัวกลางเชื่อมระหว่างเซรามิกกับพื้นรองเพื่อเลียนแบบสถานการณ์การใช้งานจริงในทางคลินิก โดยเลือกใช้ชนิดบ่มตัวสองรูปแบบ (Dual cure) เนื่องจากในการศึกษาของ Kilinc และคณะในปี 2011⁽⁶⁵⁾ พบว่าประสิทธิภาพในการบ่มตัว (Polymerization) ของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสง (Light cure) จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญในเซรามิกที่มีความหนาจากการที่แสงส่องผ่านได้น้อยลง ซึ่งแสงเป็นปัจจัยเดียวในการกระตุ้นการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดนี้ และมีการแนะนำให้ใช้เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองรูปแบบในกรณีที่เซรามิกมีความหนามากกว่า 1.5 มิลลิเมตร โดยมีการรอเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้ปฏิกิริยาการ

บ่มตัวที่สำคัญสิ้นสุดลงตามการศึกษาของ Yan และคณะในปี 2010⁽⁵⁶⁾ มีหลายการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าสีของเรซินซีเมนต์สามารถส่งผลกระทบต่อสีที่มองเห็นของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตได้โดยเฉพาะเรซินซีเมนต์สีทึบ (Opaque)^(13, 38, 39) อย่างไรก็ตามสีของเรซินซีเมนต์นั้นส่งผลกระทบต่อเพียงเล็กน้อยเท่านั้น⁽⁷⁾ ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้เรซินซีเมนต์สีใส (Neutral shade) เพื่อลดผลกระทบจากสีของเรซินซีเมนต์ที่อาจส่งผลกระทบต่อสีที่มองเห็นของเซรามิก⁽⁶²⁾ นอกจากนี้เรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ยังไม่มีส่วนประกอบของเอมีนตติยภูมิ (Tertiary Amines) ซึ่งนิยมใช้ในเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยสองรูปแบบและชนิดบ่มตัวเอง (Self cure) ที่จะส่งผลให้เรซินซีเมนต์มีการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเวลาผ่านไป⁽⁶⁶⁾ มีงานวิจัยเพียงเล็กน้อยที่ศึกษาเกี่ยวกับผลของความหนาของเรซินซีเมนต์ที่มีต่อผลลัพธ์สีของเซรามิก โดย Vichi และคณะในปี 2000⁽⁸⁾ พบว่าเรซินซีเมนต์ที่มีความหนา 100 และ 200 ไมโครเมตรส่งผลกระทบต่อสีของเซรามิกชนิดลูไซต์เบสเพียงเล็กน้อยและไม่สำคัญในทางคลินิก และการศึกษาของ Niu และคณะในปี 2013⁽³⁹⁾ พบว่าการเพิ่มความหนาของเรซินซีเมนต์สีทึบจาก 100 ไป 300 ไมโครเมตรไม่ส่งผลกระทบต่อสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในการวิจัยนี้ซึ่งมีการใช้เรซินซีเมนต์ที่มีความหนาเพียง 100 ไมโครเมตรจึงไม่ส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์สีของเซรามิกในการทดลอง

สุดท้ายนี้การทดลองในครั้งนี้มีการเก็บชิ้นงานไว้ในกล่องปิดทึบที่แห้งแตกต่างจากสภาพแวดล้อมจริงในช่องปากที่ชิ้นงานจะแช่อยู่ในน้ำลาย โดยปกติแล้วเซรามิกจะไม่มี การดูดซึมน้ำเข้าไปในพื้นผิว⁽⁶⁷⁾ แต่อย่างไรก็ตามน้ำสามารถเกิดการแทรกซึมเข้าไปตามรอยแตกระดับจุลภาค (Micro crack) บนผิวของเซรามิกโดยเฉพาะเซรามิกที่มีพื้นผิวไม่เรียบและไม่มีการเคลือบผิว โดยไปทำลายโครงสร้างผลึกและลดความเป็นผลึก (Crystallinity) ของเซรามิกทำให้เกิดการดูดซับสารสี (Coloring pigment) จากสภาพแวดล้อมได้มากขึ้น⁽⁶⁸⁾ อย่างไรก็ตาม Gawriolek และคณะในปี 2012⁽⁶⁹⁾ พบว่าค่า ΔE_{ab}^* ของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อแช่ในน้ำกลั่น (Distilled water) เช่นเดียวกันกับ Palla และคณะในปี 2017⁽⁶⁸⁾ ซึ่งได้ทำการทดสอบเสถียรภาพของสี (Color stability) ของเซรามิกด้วยการบ่มเทียม (Artificial aging) ในน้ำด้วยเครื่องเทอร์โมไซคลิง (Thermocycling) พบว่าสีของเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตมีการเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยหลังการจำลองการใช้งานในช่องปากเป็นเวลา 3 ปี โดยไอพีเอสอีแม็กซ์แคดมีค่า ΔE_{ab}^* น้อยกว่า 1 ซึ่งไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างออกด้วยตาของมนุษย์ ซึ่งจากผลการทดลองของทั้งสองงานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตมีเสถียรภาพของสีที่ดีมากโดยมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อแช่ในน้ำกลั่นที่ไม่มีสี ดังนั้นปัจจุบันจึงไม่ส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ เป็นการจำลองสภาวะเหตุการณ์การใช้งานจริงในทางคลินิกและไม่สามารถครอบคลุมสภาพแวดล้อมจริงในทางคลินิกได้ทั้งหมดทำให้มีข้อจำกัดของงานวิจัยในบางปัจจัยเช่น การไม่มีน้ำลายมาเกี่ยวข้อง การใช้วัสดุเรซินสีเหมือนฟันเป็นพื้นหลังซึ่งมีลักษณะแตกต่างกับเนื้อฟันธรรมชาติ อีกทั้งวัสดุเรซินสีเหมือนฟันนั้นมีเพียงเฉดสีเดียวสมำเสมอในขณะที่เนื้อฟันธรรมชาติอาจมีสีที่แตกต่างกันไปในแต่ละตำแหน่ง นอกจากนี้แผ่นเซรามิกที่ใช้ในการวิจัยนั้นมีความหนาสมำเสมอในขณะที่วีเนียร์นั้นจะมีความหนาที่ไม่เท่ากันตลอดทั้งชิ้นงาน ดังนั้นแล้วผลการวิจัยที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จึงควรที่จะต้องมีการนำไปคิดวิเคราะห์และทำการทดลองในทางคลินิกเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

อีกประเด็นหนึ่งได้แก่ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาโดยใช้เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตระบบไอพีเอสอีแม็กซ์แคด ความโปร่งแสงปานกลาง สี A2 ร่วมกับเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองรูปแบบ วาริโอลิงค์เอสเทติก สีใส ซึ่งมีการใช้เซรามิกเพียงสีเดียว ร่วมกับการใช้เรซินซีเมนต์ชนิดเดียวและสีเดียวเท่านั้น ดังนั้นแล้วผลการวิจัยที่ได้จึงจำกัดอยู่เพียงตามชนิดของวัสดุและเฉดสีที่ใช้เท่านั้นไม่สามารถครอบคลุมไปถึงเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตระบบอื่นหรือเฉดสีอื่น รวมถึงการนำไปใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ชนิดอื่นและเฉดสีอื่นได้ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวสามารถมีผลต่อความสามารถในการปิดสีของเซรามิกได้ทั้งสิ้นและอาจทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างออกไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆเหล่านี้ ซึ่งเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตความโปร่งแสงปานกลางเป็นระดับความโปร่งแสงใหม่ที่มีการพัฒนาขึ้นมาในภายหลัง ทำให้ยังคงขาดการศึกษาวิจัยไม่เหมือนกับระดับความโปร่งแสงมากและระดับความโปร่งแสงน้อย และควรที่จะได้รับการศึกษาปัจจัยด้านอื่นๆเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถนำไปเลือกใช้งานในทางคลินิกได้อย่างถูกต้องเหมาะสมต่อไป

บรรณานุกรม

1. Freedman G. Chapter 8 - Adhesion. In: Freedman G, editor. Contemporary Esthetic Dentistry. Saint Louis: Mosby; 2012. p. 168-213.
2. Kamble V, Parkhedkar R. Esthetic rehabilitation of discolored anterior teeth with porcelain veneers. Contemporary clinical dentistry. 2013;4:124-6.
3. Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. Phillips' Science of Dental Materials: Elsevier (Singapore) Pte Limited; 2013.
4. Nossair SA. The effect of thickness and degree of translucency on the final color of lithium disilicate veneers. Egyptian Dental Journal. 2019;65(3):2911-20.
5. Santos M, Costa M, Rubo JH, Pegoraro L, Santos G. Current All-Ceramic Systems in Dentistry: A Review. Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ : 1995). 2015;36:38-7.
6. Karaman T, Altintas E, Eser B, Talo Yildirim T, Oztekin F, Bozoglan A. Spectrophotometric Evaluation of Anterior Maxillary Tooth Color Distribution According to Age and Gender. Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists. 2018;28.
7. Czigola A, Abram E, Kovacs Z, Márton 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.
8. Vichi A, Ferrari M, Davidson C. Influence of ceramic and cement thickness on the masking of various types of opaque posts. The Journal of prosthetic dentistry. 2000;83:412-7.
9. Basso G, Kodama A, Pimentel A, R. Kaizer M, Della Bona A, Moraes R, et al. Masking Colored Substrates Using Monolithic and Bilayer CAD-CAM Ceramic Structures. Operative dentistry. 2017;42.
10. Niu E, Agustin M, Douglas R. Color match of machinable lithium disilicate ceramics: Effects of foundation restoration. The Journal of prosthetic dentistry. 2013;110.
11. Botos A, Gasparik C, Colosi H, Badea M, Dudea D. Effect of Lithium Disilicate

Ceramic Thickness on the Color of Discromic Substate. *Key Engineering Materials*. 2014;614:95-9.

12. Sethakamnerd P, Leeviloj C, editors. Masking ability of two ceramics with different thicknesses on various substrates 2017.
13. Chaiyabutr Y, Kois JC, LeBeau D, Nunokawa G. Effect of abutment tooth color, cement color, and ceramic thickness on the resulting optical color of a CAD/CAM glass-ceramic lithium disilicate-reinforced crown. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2011;105(2):83-90.
14. Ivoclar V. IPS e.max Press monolithic solutions instruction. Liechtenstein. 2017.
15. Ivoclar V. IPS e.max CAD monolithic solutions labside. Liechtenstein. 2017.
16. Ali A, Kang K, Finkelman M, Zandparsa R, Hirayama H. The Effect of Variations in Translucency and Background on Color Differences in CAD/CAM Lithium Disilicate Glass Ceramics. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*. 2013;23.
17. 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 journal*. 2009;28:44-56.
18. Bagis B, Turgut S. Optical properties of current ceramics systems for laminate veneers. *Journal of Dentistry*. 2013;41:e24-e30.
19. Ledic K, Majnaric I, Milardovic S, Spalj S, Stefancic S, Mehulic K. Analysis of Translucency Parameter of Glass-Ceramics Fabricated by Different Techniques. *Acta Stomatologica Croatica*. 2015;49:27-35.
20. Skyllouriotis A, Yamamoto H, Nathanson D. Masking properties of ceramics for veneer restorations. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2017;118.
21. Ivoclar V. Scientific Documentation IPS e.max CAD. Liechtenstein. 2011.
22. Helvey G. Classification of Dental Ceramics. *Inside Dentistry*. 2013;April 2013.
23. Saint-Jean SJ. Chapter 12 - Dental Glasses and Glass-ceramics. In: Shen JZ, Kosmac T, editors. *Advanced Ceramics for Dentistry*. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2014. p. 255-77.

24. Willard A, Chu T-M. The science and application of IPS e.Max dental ceramic. The Kaohsiung Journal of Medical Sciences. 2018;34.
25. Gracis S, Thompson V, Ferencz J, Silva N, Bonfante E. A New Classification System for All-Ceramic and Ceramic-like Restorative Materials. The International journal of prosthodontics. 2015;28:227-35.
26. Bajraktarova Valjakova E, Korunoska-Stevkovska V, Kapusevska B, Gigovski N, Bajraktarova Misevska C, Grozdanov A. Contemporary Dental Ceramic Materials, A Review: Chemical Composition, Physical and Mechanical Properties, Indications for Use. Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences. 2018;6.
27. Giordano R, McLaren E. Ceramics overview: classification by microstructure and processing methods. Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ : 1995). 2009;31:682-4, 6, 8 passim; quiz 98, 700.
28. Susic I, Travar M, Susic M. The application of CAD / CAM technology in Dentistry. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017;200:012020.
29. Williams G. Applied dental materials, 9th edition. British Dental Journal. 2009;206(8):441-.
30. Zarone F, Mauro M, Ausiello P, Ruggiero G, Sorrentino R. Current status on lithium disilicate and zirconia: a narrative review. BMC Oral Health. 2019;19.
31. Ivoclar V. Scientific Documentation IPS e.max Press. Liechtenstein. 2011.
32. Fabian Fonzar R, Carrabba M, Sedda M, Ferrari M, Goracci C, Vichi A. Flexural resistance of heat-pressed and CAD-CAM lithium disilicate with different translucencies. Dental Materials. 2016;33.
33. Kobwittaya K, Watari T. Optical Properties of Ceramics. In: Hojo J, editor. Materials chemistry of ceramics: Springer Singapore; 2019. p. 181-211.
34. Harianawala HH, Kheur MG, Apte SK, Kale BB, Sethi TS, Kheur SM. Comparative analysis of transmittance for different types of commercially available zirconia and lithium disilicate materials. J Adv Prosthodont. 2014;6(6):456-61.
35. Lee Y-K. Translucency of Dental Ceramic, Post and Bracket. Materials. 2015;8:7241-9.

36. Ge C, Green CC, Sederstrom D, McLaren E, Chalfant J, White S. Effect of tooth substrate and porcelain thickness on porcelain veneer failure loads in vitro. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2017;120.
37. Al-Juaila E, Osman E, Segaan L, Shrebaty M, Farghaly E. Comparison of translucency for different thicknesses of recent types of esthetic zirconia ceramics versus conventional ceramics ... (in vitro study). *Future Dental Journal*. 2018;4.
38. Dede D, Sahin O, Ozdemir O, Yilmaz B, Celik E, Koroglu A. Influence of the color of composite resin foundation and luting cement on the final color of lithium disilicate ceramic systems. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2016;117.
39. Niu E, Agustin M, Douglas R. Color match of machinable lithium disilicate ceramics: Effects of cement color and thickness. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2013;111.
40. Fadhil N, El-Sahib B, Abdulazeezb I, Fahmi A. Evaluation of Marginal and Internal Adaptation of CAD/CAM and Pressable Ceramic Veneers of Different Preparation Designs Using Silicone Replica Technique: (A Comparative in Vitro Study). 2017.
41. Mohammed S, Alla RK. Color and Shade Matching in Dentistry. *Trends in Biomaterials and Artificial Organs*. 2011;25:172-5.
42. Vadher R, Parma G, Kanodia S, Chaudhary A, Kaur M, Savadhahariya T. Basics of Color in Dentistry: A Review. *Journal of Dental and Medical Sciences*. 2014;13(9):78-85.
43. Ragain JC. A Review of Color Science in Dentistry: Colorimetry and Color Space. *J Dent Oral Disord Ther*. 2016;4(1):1-5.
44. Chu S, Trushkowsky R, Paravina R. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *Journal of dentistry*. 2010;38 Suppl 2:e2-16.
45. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hammerle C. Visual and Spectrophotometric Shade Analysis of Human Teeth. *Journal of dental research*. 2002;81:578-82.
46. Dasilva J, Park S, Weber H-P, Ishikawa-Nagai S. Clinical performance of newly developed spectrophotometric system on tooth color reproduction. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2008;99:361-8.

47. Agrawal V, Kapoor S. Color and Shade Management in Esthetic Dentistry. *Universal Research Journal of Dentistry*. 2013;3:120-7.
48. Standardization IOF. ISO/TR 28642: Dentistry — guidance on colour measurement. Geneva: International Organization for Standardization. 2016.
49. Paravina R, Ghinea RI, Herrera L, Della Bona A, Igiel C, Linninger M, et al. Color Difference Thresholds in Dentistry. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2015;27.
50. Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dental Materials*. 1987;3(5):246-51.
51. Douglas RD, Brewer JD. Acceptability of shade differences in metal ceramic crowns. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 1998;79(3):254-60.
52. Ragain JC, Johnston W. Color acceptance of direct dental restorative materials by human observers. *Color Research & Application*. 2000;25:278-85.
53. Douglas R, Steinhauer T, Wee A. Intraoral determination of the tolerance of dentist for perceptibility and acceptability of shade mismatch. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2007;97:200-8.
54. Ishikawa-Nagai S, Yoshida A, Sakai M, Kristiansen J, Dasilva J. Clinical evaluation of perceptibility of color differences between natural teeth and all-ceramic crowns. *Journal of dentistry*. 2009;37 Suppl 1:e57-63.
55. Saavedra G, Ariki E, Federico C, Galhano G, Zamboni S, Baldissara P, et al. Effect of Acid Neutralization and Mechanical Cycling on the Microtensile Bond Strength of Glass-ceramic Inlays. *Operative dentistry*. 2009;34:211-6.
56. Yan Y, Kim Y, Kim K-H, Kwon T-Y. Changes in Degree of Conversion and Microhardness of Dental Resin Cements. *Operative dentistry*. 2010;35:203-10.
57. Wang F, Takahashi H, Iwasaki N. Translucency of dental ceramic with different thicknesses. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2013;110:14-20.
58. Kosonittikul R, Chatrchaiwiwattana S, Juntevee N, editors. Spectrophotometric Analysis of Optical Translucency, Opalescence, and Contrast of Leucite Ceramic for CAD-CAM Restoration as a Role of Ceramic Thickness 2008.
59. Peixoto R, Paulinelli V, Sander H, Lanza M, Cury L, Poletto L. Light transmission

through porcelain. Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials. 2007;23:1363-8.

60. Martins F, Vasques W, Fonseca E. How the Variations of the Thickness in Ceramic Restorations of Lithium Disilicate and the Use of Different Photopolymerizers Influence the Degree of Conversion of the Resin Cements: A Systematic Review and Meta-Analysis: Variations of the Thickness in Ceramic Restorations. *Journal of Prosthodontics*. 2018;28.
61. Hojo J. *Materials Chemistry of Ceramics*: Springer Singapore; 2019. 233 p.
62. Azer S, Rosenstiel S, Seghi R, Johnston W. Effect of substrate shades on the color of ceramic laminate veneers. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2011;106:179-83.
63. Basegio M, Pecho O, Ghinea RI, Perez M, Della Bona A. Masking ability of indirect restorative systems on tooth-colored resin substrates. *Dental Materials*. 2019;35.
64. Soim A, Strimbu M, Alexandru B, Culic B, Dudea D, Gasparik C. Translucency and masking properties of two ceramic materials for heat-press technology. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2018;30.
65. Kilinc E, Antonson S, Hardigan P, Kesercioglu A. The Effect of Ceramic Restoration Shade and Thickness on the Polymerization of Light- and Dual-cure Resin Cements. *Operative dentistry*. 2011;36:661-9.
66. Ural c, Duran I, Tatar N, Ozturk O, Kaya I, Kavut I. The effect of amine-free initiator system and the polymerization type on color stability of resin cements. *Journal of Oral Science*. 2016;58:157-61.
67. Liebermann A, Vehling D, Eichberger M, Stawarczyk B. Impact of storage media and temperature on color stability of tooth-colored CAD/CAM materials for final restorations. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*. 2019;17:228080001983683.
68. Palla E-S, Kontonasaki E, Kantiranis N, Papadopoulou L, Zorba T, Paraskevopoulos K, et al. Color stability of lithium disilicate ceramics after aging and immersion in common beverages. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2017;119.
69. Gawrioiek M, Sikorska E, Vieira Ferreira LF, Costa A, Khmelinskii I, Krawczyk A, et al. Color and Luminescence Stability of Selected Dental Materials In Vitro. *Journal of*

prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists. 2012;21:112-22.





ตาราง 1 แสดงผลการศึกษาทางสถิติเชิงพรรณนาของค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซรามิกกชนิตลิเทียมไดซิลิเกต (ΔE_{ab}^*)

ความหนาของ เซรามิก (มม.)	สีของพื้นหลัง เรซินสีเหมือนฟัน	Minimum	Mean	Standard deviation	Maximum
0.5	ND3	7.21	7.68	0.27	7.88
	ND5	10.59	11.05	0.33	11.41
	ND7	4.37	4.56	0.17	4.80
	ND9	19.78	20.15	0.21	20.27
1.0	ND3	2.77	3.05	0.25	3.36
	ND5	3.30	3.71	0.27	3.97
	ND7	1.84	1.95	0.13	2.15
	ND9	11.90	12.36	0.33	12.62
1.5	ND3	1.30	1.54	0.15	1.69
	ND5	1.69	1.86	0.12	2.03
	ND7	1.49	1.80	0.30	2.22
	ND9	8.41	8.51	0.12	8.72
2.0	ND3	1.27	1.41	0.11	1.56
	ND5	1.32	1.44	0.13	1.58
	ND7	1.50	1.62	0.11	1.77
	ND9	5.36	5.76	0.24	6.01

ตาราง 2 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนโดยใช้การทดสอบของเลวีเน (Levene's test)

F	df1	df2	Sig.
1.779	15	64	0.058

ตาราง 3 แสดงผลการทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA)

Source	Type III Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	2098.911	15	139.927	2947.728	0.000	0.999
Intercept	2444.243	1	2444.243	51490.733	0.000	0.999
Thick	833.966	3	277.989	5856.147	0.000	0.996
ND	1055.563	3	351.854	7512.207	0.000	0.997
Thick * ND	209.381	9	23.265	490.095	0.000	0.986
Error	3.038	64	0.047			
Total	4546.192	80				
Corrected Total	2101.949	79				

ตาราง 4 แสดงการทดสอบเปรียบเทียบแบบจับคู่แบบทูกีย์ (Tukey Honest Significant Different Test) ในกลุ่มความหนาเซรามิก 0.5 มิลลิเมตร

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
ND3	ND5	-3.36979660 [*]	0.157707332	0.000	-3.82100041	-2.91859279
	ND7	3.12310100 [*]	0.157707332	0.000	2.67189719	3.57430481
	ND9	-12.46878260 [*]	0.157707332	0.000	-12.91998641	-12.01757879
ND5	ND3	3.36979660 [*]	0.157707332	0.000	2.91859279	3.82100041
	ND7	6.49289760 [*]	0.157707332	0.000	6.04169379	6.94410141
	ND9	-9.09898600 [*]	0.157707332	0.000	-9.55018981	-8.64778219
ND7	ND3	-3.12310100 [*]	0.157707332	0.000	-3.57430481	-2.67189719
	ND5	-6.49289760 [*]	0.157707332	0.000	-6.94410141	-6.04169379
	ND9	-15.59188360 [*]	0.157707332	0.000	-16.04308741	-15.14067979
ND9	ND3	12.46878260 [*]	0.157707332	0.000	12.01757879	12.91998641
	ND5	9.09898600 [*]	0.157707332	0.000	8.64778219	9.55018981
	ND7	15.59188360 [*]	0.157707332	0.000	15.14067979	16.04308741

ตาราง 5 แสดงการทดสอบเปรียบเทียบแบบจับคู่แบบทูกีย์ (Tukey Honest Significant Different Test) ในกลุ่มความหนาเซรามิก 1.0 มิลลิเมตร

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
ND3	ND5	-0.66246300 [*]	0.162374824	0.004	-1.12702059	-0.19790541
	ND7	1.10027620 [*]	0.162374824	0.000	0.63571861	1.56483379
	ND9	-9.30748140 [*]	0.162374824	0.000	-9.77203899	-8.84292381
ND5	ND3	0.66246300 [*]	0.162374824	0.004	0.19790541	1.12702059
	ND7	1.76273920 [*]	0.162374824	0.000	1.29818161	2.22729679
	ND9	-8.64501840 [*]	0.162374824	0.000	-9.10957599	-8.18046081
ND7	ND3	-1.10027620 [*]	0.162374824	0.000	-1.56483379	-0.63571861
	ND5	-1.76273920 [*]	0.162374824	0.000	-2.22729679	-1.29818161
	ND9	-10.40775760 [*]	0.162374824	0.000	-10.87231519	-9.94320001
ND9	ND3	9.30748140 [*]	0.162374824	.000	8.84292381	9.77203899
	ND5	8.64501840 [*]	0.162374824	.000	8.18046081	9.10957599
	ND7	10.40775760 [*]	0.162374824	.000	9.94320001	10.87231519

ตาราง 6 แสดงการทดสอบเปรียบเทียบแบบจับคู่แบบทูกีย์ (Tukey Honest Significant Different Test) ในกลุ่มความหนาเซรามิก 1.5 มิลลิเมตร

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
ND3	ND5	-0.31786420	0.120052854	0.075	-0.66133780	0.02560940
	ND7	-0.25791040	0.120052854	0.180	-0.60138400	0.08556320
	ND9	-6.96877900 [*]	0.120052854	0.000	-7.31225260	-6.62530540
ND5	ND3	0.31786420	0.120052854	0.075	-0.02560940	0.66133780
	ND7	0.05995380	0.120052854	0.958	-0.28351980	0.40342740
	ND9	-6.65091480 [*]	0.120052854	0.000	-6.99438840	-6.30744120
ND7	ND3	0.25791040	0.120052854	0.180	-0.08556320	0.60138400
	ND5	-0.05995380	0.120052854	0.958	-0.40342740	0.28351980
	ND9	-6.71086860 [*]	0.120052854	0.000	-7.05434220	-6.36739500
ND9	ND3	6.96877900 [*]	0.120052854	0.000	6.62530540	7.31225260
	ND5	6.65091480 [*]	0.120052854	0.000	6.30744120	6.99438840
	ND7	6.71086860 [*]	0.120052854	0.000	6.36739500	7.05434220

ตาราง 7 แสดงการทดสอบเปรียบเทียบแบบจับคู่แบบทูกีย์ (Tukey Honest Significant Different Test) ในกลุ่มความหนาเซรามิก 2.0 มิลลิเมตร

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
ND3	ND5	-0.02856840	0.101496051	0.992	-0.31895062	0.26181382
	ND7	-0.20848460	0.101496051	0.210	-0.49886682	0.08189762
	ND9	-4.35173280*	0.101496051	0.000	-4.64211502	-4.06135058
ND5	ND3	0.02856840	0.101496051	0.992	-0.26181382	0.31895062
	ND7	-0.17991620	0.101496051	0.321	-0.47029842	0.11046602
	ND9	-4.32316440*	0.101496051	0.000	-4.61354662	-4.03278218
ND7	ND3	0.20848460	0.101496051	0.210	-0.08189762	0.49886682
	ND5	0.17991620	0.101496051	0.321	-0.11046602	0.47029842
	ND9	-4.14324820*	0.101496051	0.000	-4.43363042	-3.85286598
ND9	ND3	4.35173280*	0.101496051	0.000	4.06135058	4.64211502
	ND5	4.32316440*	0.101496051	0.000	4.03278218	4.61354662
	ND7	4.14324820*	0.101496051	0.000	3.85286598	4.43363042

ตาราง 8 แสดงการทดสอบเปรียบเทียบแบบจับคู่แบบทูกีย์ (Tukey Honest Significant Different Test) ในกลุ่มสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND3

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0.5	1.0	4.62881880 [*]	0.129671627	0.000	4.25782570	4.99981190
	1.5	6.13925140 [*]	0.129671627	0.000	5.76825830	6.51024450
	2.0	6.26537080 [*]	0.129671627	0.000	5.89437770	6.63636390
1.0	0.5	-4.62881880 [*]	0.129671627	0.000	-4.99981190	-4.25782570
	1.5	1.51043260 [*]	0.129671627	0.000	1.13943950	1.88142570
	2.0	1.63655200 [*]	0.129671627	0.000	1.26555890	2.00754510
1.5	0.5	-6.13925140 [*]	0.129671627	0.000	-6.51024450	-5.76825830
	1.0	-1.51043260 [*]	0.129671627	0.000	-1.88142570	-1.13943950
	2.0	0.12611940	0.129671627	0.767	-0.24487370	0.49711250
2.0	0.5	-6.26537080 [*]	0.129671627	0.000	-6.63636390	-5.89437770
	1.0	-1.63655200 [*]	0.129671627	0.000	-2.00754510	-1.26555890
	1.5	-0.12611940	0.129671627	0.767	-0.49711250	0.24487370

ตาราง 9 แสดงการทดสอบเปรียบเทียบแบบจับคู่แบบทูกีย์ (Tukey Honest Significant Different Test) ในกลุ่มสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND5

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0.5	1.0	7.33615240 [*]	0.145635236	0.000	6.91948710	7.75281770
	1.5	9.19118380 [*]	0.145635236	0.000	8.77451850	9.60784910
	2.0	9.60659900 [*]	0.145635236	0.000	9.18993370	10.02326430
1.0	0.5	-7.33615240 [*]	0.145635236	0.000	-7.75281770	-6.91948710
	1.5	1.85503140 [*]	0.145635236	0.000	1.43836610	2.27169670
	2.0	2.27044660 [*]	0.145635236	0.000	1.85378130	2.68711190
1.5	0.5	-9.19118380 [*]	0.145635236	0.000	-9.60784910	-8.77451850
	1.0	-1.85503140 [*]	0.145635236	0.000	-2.27169670	-1.43836610
	2.0	0.41541520	0.145635236	0.051	-0.00125010	0.83208050
2.0	0.5	-9.60659900 [*]	0.145635236	0.000	-10.02326430	-9.18993370
	1.0	-2.27044660 [*]	0.145635236	0.000	-2.68711190	-1.85378130
	1.5	-0.41541520	0.145635236	0.051	-0.83208050	0.00125010

ตาราง 10 แสดงการทดสอบเปรียบเทียบแบบจับคู่แบบทูกีย์ (Tukey Honest Significant Different Test) ในกลุ่มสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND7

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0.5	1.0	2.60599400 [*]	0.122149784	0.000	2.25652104	2.95546696
	1.5	2.75824000 [*]	0.122149784	0.000	2.40876704	3.10771296
	2.0	2.93378520 [*]	0.122149784	0.000	2.58431224	3.28325816
1.0	0.5	-2.60599400 [*]	0.122149784	0.000	-2.95546696	-2.25652104
	1.5	0.15224600	0.122149784	0.608	-0.19722696	0.50171896
	2.0	0.32779120	0.122149784	0.070	-0.02168176	0.67726416
1.5	0.5	-2.75824000 [*]	0.122149784	0.000	-3.10771296	-2.40876704
	1.0	-0.15224600	0.122149784	0.608	-0.50171896	0.19722696
	2.0	0.17554520	0.122149784	0.496	-0.17392776	0.52501816
2.0	0.5	-2.93378520 [*]	0.122149784	0.000	-3.28325816	-2.58431224
	1.0	-0.32779120	0.122149784	0.070	-0.67726416	0.02168176
	1.5	-0.17554520	0.122149784	0.496	-0.52501816	0.17392776

ตาราง 11 แสดงการทดสอบเปรียบเทียบแบบจับคู่แบบทูกีย์ (Tukey Honest Significant Different Test) ในกลุ่มสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND9

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0.5	1.0	7.79012000 [*]	0.151678607	0.000	7.35616450	8.22407550
	1.5	11.63925500 [*]	0.151678607	0.000	11.20529950	12.07321050
	2.0	14.38242060 [*]	0.151678607	0.000	13.94846510	14.81637610
1.0	0.5	-7.79012000 [*]	0.151678607	0.000	-8.22407550	-7.35616450
	1.5	3.84913500 [*]	0.151678607	0.000	3.41517950	4.28309050
	2.0	6.59230060 [*]	0.151678607	0.000	6.15834510	7.02625610
1.5	0.5	-11.63925500 [*]	0.151678607	0.000	-12.07321050	-11.20529950
	1.0	-3.84913500 [*]	0.151678607	0.000	-4.28309050	-3.41517950
	2.0	2.74316560 [*]	0.151678607	0.000	2.30921010	3.17712110
2.0	0.5	-14.38242060 [*]	0.151678607	0.000	-14.81637610	-13.94846510
	1.0	-6.59230060 [*]	0.151678607	0.000	-7.02625610	-6.15834510
	1.5	-2.74316560 [*]	0.151678607	0.000	-3.17712110	-2.30921010

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	วิทิตา อัครเอกจิตต์
วัน เดือน ปี เกิด	26 เมษายน 2536
สถานที่เกิด	นครปฐม
วุฒิการศึกษา	ปริญญาทันตแพทยศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2560
ที่อยู่ปัจจุบัน	96-98 ถ.ราชวิถี ต.พระปฐมเจดีย์ อ.เมือง จ.นครปฐม 73000

