



ความเสถียรของสีของเรซินคอมโพสิต 4 ชนิด
COLOR STABILITY OF FOUR RESIN COMPOSITES



ลลณลิตา ภัทรนาสมบัติ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2563

ความเสถียรของสีของเรซินคอมโพสิต 4 ชนิด



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

COLOR STABILITY OF FOUR RESIN COMPOSITES



LUNLITA PATTARATANASOMBAT

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of MASTER OF SCIENCE

(Clinical Dentistry)

Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University

2020

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ความเสถียรของสีของเรซินคอมโพสิต 4 ชนิด

ของ

ลัดณิลา ภัทรธนาสมบัติ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ เจียรพุด)

ประธาน

(รองศาสตราจารย์ เรือเอกหญิง ดร.รังสิมา
สกุลณะมรรคา)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.วิบูลย์ ไพศาลกอบฤทธิ์)

ชื่อเรื่อง	ความเสถียรของสีของเรซินคอมโพสิต 4 ชนิด
ผู้วิจัย	ลัดณณิศา ภัทรธนาสมบัติ
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ เจียรพุดิ

จุดประสงค์: เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต 4 ชนิด หลังการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ: ขึ้นตัวอย่างเรซินคอมโพสิต 4 ชนิดๆละ 40 ชิ้น ได้แก่ SonicFill™2, Tetric N-Ceram Bulk Fill, Filtek™ One Bulk Fill และ Filtek™ Z350XT เก็บขึ้นตัวอย่างไว้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แบ่งขึ้นตัวอย่างออกเป็น 4 กลุ่มย่อย (n=10) และแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ คือ น้ำกลั่น กาแฟ เครื่องดื่มอัดลม และชาวมืด วัดค่าการเปลี่ยนสี (ΔE) ของเรซินคอมโพสิตแต่ละชิ้นก่อนและหลังการแช่ในสารละลายต่างๆที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แล้วคำนวณการเปลี่ยนสี วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติความแปรปรวนสองทางและสถิติทดสอบบนโพโรนีที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) ผลการทดลอง: ภายหลังจากแช่เรซินคอมโพสิตในสารละลายชนิดต่างๆเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่ามีค่าการเปลี่ยนสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตที่แช่ในกาแฟมีค่ามากกว่าสารละลายชนิดอื่น และพบว่าส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 3.3 ทำให้มนุษย์สามารถแยกความแตกต่างของสีในทางคลินิกได้ โดยเฉพาะ Filtek™ Z350XT ที่แช่ในกาแฟมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 5.60 สรุปผล: ชนิดของเรซินคอมโพสิตและชนิดของสารละลายเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต

คำสำคัญ : ความเสถียรของสี, การเปลี่ยนสี, เรซินคอมโพสิต, สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

Title	COLOR STABILITY OF FOUR RESIN COMPOSITES
Author	LUNLITA PATTARATANASOMBAT
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2020
Thesis Advisor	Asst. Prof. Sirichan Chiaraputt , Ph.D.

Objective: The purpose of this study is to compare the color changes of four resin composites after 24 hours of immersion in different solutions. Materials and methods: 40 specimens were each made from four resin composites (SonicFill™2, Tetric N-Ceram Bulk Fill, Filtek™ One Bulk Fill and Filtek™ Z350XT). All of the specimens were stored in distilled water for 24 hours at 37°C. The specimens were divided into four subgroups (n = 10) and stored different type of solutions (water, coffee, coca cola and milk tea). The colors of all of the specimens were measured before and after immersion in solutions for 24 hours at 37°C with a spectrophotometer. Then, the color changes (ΔE) were calculated. The data were analyzed by two-way ANOVA and Bonferroni test ($\alpha = 0.05$) Results: After 24 hours of immersion of resin composites in different solutions, there was a statistically significant difference in color change. The color changes of the resin composites immersed in coffee was greater than other solutions and most of them were greater than 3.3, which is visible to the human eye, especially Filtek™ Z350XT immersed in coffee (5.60). Conclusion: The resin composite type and solution type affected the color changes of the resin composites.

Keyword : Color stability, Color change, Resin composite, Spectrophotometer

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นไปด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ศิริจันทร์ เจียรพุมิ อาจารย์ที่ปรึกษา ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ถ่ายทอดความรู้ และแนวทางในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากที่สุด

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ เรือเอกหญิง ดร.รังสิมา สกุลณะมรรคา ประธานกรรมการสอบ อาจารย์ ดร.วิบูลย์ ไพศาลกอบฤทธิ์ กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ และคณาจารย์ ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้คำแนะนำและเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ รวมถึงช่วยตรวจแก้ไขปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทเงินรายได้หน่วยงาน สังกัดคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาทันตวัสดุ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และหน่วยวิจัยคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่สนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัย รวมถึงความช่วยเหลือและการอำนวยความสะดวกจากเจ้าหน้าที่ทุกท่านจนสามารถดำเนินงานวิจัยได้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ ผลอันเป็นประโยชน์ ความดีงามทั้งปวงที่เกิดจากการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่บุพการีที่เคารพ หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้ด้วยความขอบคุณยิ่ง

ลลณัฏฐา ภัทรธนาสมบัติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	13
ภูมิหลัง.....	13
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	14
ขอบเขตของการวิจัย.....	14
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	14
ตัวแปรที่ศึกษา.....	14
กรอบแนวคิดวิจัย.....	15
สมมติฐานงานวิจัย.....	15
สมมติฐานทางสถิติ.....	15
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
เรซินคอมโพสิต.....	16
องค์ประกอบของเรซินคอมโพสิต.....	16
การพัฒนาของเรซินคอมโพสิต.....	18
1. การพัฒนาวัสดุอุดแทรก.....	19
2. การพัฒนาเรซินเมทริกซ์.....	21

3. การพัฒนาเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิล(bulk-fill resin composite).....	26
ความเสถียรของสีของเรซินคอมโพสิต.....	29
การเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต	29
การทดสอบความเสถียรของสี	30
การวัดสี.....	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	35
การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	35
วิธีการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล.....	36
การวิเคราะห์ข้อมูล	41
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	42
ผลการศึกษาดัวยสถิติเชิงพรรณนา(Descriptive statistics).....	42
ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลด้วยสถิติความแปรปรวนสองทาง(Two-way ANOVA)	43
.....	43
ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติทดสอบบอนเฟอโรนนี่(Bonferroni test)	44
ผลการตรวจลักษณะและรูปร่างของเรซินคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)	45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	46
สรุปผลการวิจัย	46
อภิปรายผลการวิจัย	47
ข้อเสนอแนะ	55
บรรณานุกรม.....	56
ภาคผนวก.....	63
ประวัติผู้เขียน.....	74



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงรายละเอียดวัสดุเรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการวิจัย	36
ตาราง 2 แสดงผลค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต (จำนวน n แต่ละกลุ่ม = 10)	44
ตาราง 3 แสดงผลการศึกษาด้วยสถิติเชิงพรรณนาของค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต SonicFill™2 ในตัวอย่างทั้ง 40 ชิ้น	64
ตาราง 4 แสดงผลการศึกษาด้วยสถิติเชิงพรรณนาของค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต Tetric N-Ceram Bulk Fill ในตัวอย่างทั้ง 40 ชิ้น	65
ตาราง 5 แสดงผลการศึกษาด้วยสถิติเชิงพรรณนาของค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต Filtek™ One Bulk Fill ในตัวอย่างทั้ง 40 ชิ้น	66
ตาราง 6 แสดงผลการศึกษาด้วยสถิติเชิงพรรณนาของค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต Filtek™ Z350XT ในตัวอย่างทั้ง 40 ชิ้น	67
ตาราง 7 แสดงผลการวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลด้วยสถิติทดสอบโคโมโกรอฟ สเมอร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov test)	68
ตาราง 8 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยสถิติทดสอบของเลวิน(Levene's test)	68
ตาราง 9 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลด้วยสถิติความแปรปรวนสองทาง(Two- way ANOVA)	69
ตาราง 10 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติทดสอบบอนเฟอโรนี (Bonferroni test) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเรซินคอมโพสิต	69
ตาราง 11 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติทดสอบบอนเฟอโรนี (Bonferroni test) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของสารละลาย	71

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของบิส-จีเอ็มเอ.....	17
ภาพประกอบ 2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของยูดีเอ็มเอ	17
ภาพประกอบ 3 แสดงโครงสร้างทางเคมีของทีอีจีดีเอ็มเอ.....	17
ภาพประกอบ 4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ 3-เมทาครีลออกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน	18
ภาพประกอบ 5 แสดงวัสดุเรซินคอมโพสิต Filtek™ Z350XT	21
ภาพประกอบ 6 แสดงโครงสร้างทางเคมีของเมทิลเมทาครีเลท	21
ภาพประกอบ 7 แสดงโครงสร้างทางเคมีของอีพ็อกซีเรซิน	22
ภาพประกอบ 8 แสดงโครงสร้างทางเคมีของบิส-อีเอ็มเอ.....	23
ภาพประกอบ 9 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไซโลเรน	25
ภาพประกอบ 10 แสดงวัสดุเรซินคอมโพสิต SonicFill™2.....	27
ภาพประกอบ 11 แสดงวัสดุเรซินคอมโพสิต Tetric N-Ceram Bulk Fill.....	28
ภาพประกอบ 12 แสดงวัสดุเรซินคอมโพสิต Filtek™ One Bulk Fill.....	29
ภาพประกอบ 13 แสดงระบบสามมิติของ CIELAB(ΔE^*_{ab})	32
ภาพประกอบ 14 แสดงแบบหล่อโลหะรูปครึ่งวงกลมและตัวครอบโลหะ.....	38
ภาพประกอบ 15 แสดงเครื่องฉายแสงแอลอีดี	38
ภาพประกอบ 16 แสดงเครื่องวัดความเข้มแสง	38
ภาพประกอบ 17 แสดงเครื่องขัดผิววัสดุ	39
ภาพประกอบ 18 แสดงตู้ควบคุมอุณหภูมิ.....	39
ภาพประกอบ 19 แสดงเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	39
ภาพประกอบ 20 แสดงเครื่องอัลตราโซนิก	40
ภาพประกอบ 21 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	40

ภาพประกอบ 22 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีตามชนิดของสารละลายและ
จำแนกตามชนิดของเรซินคอมโพสิต โดยค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตมากกว่า 3.3

สายตาของมนุษย์จะสามารถแยกความแตกต่างของสีในทางคลินิกได้..... 43

ภาพประกอบ 23 แสดงผลลักษณะและรูปร่างของเรซินคอมโพสิตทั้ง 4 ชนิด หลังแช่ในสารละลาย
ชนิดต่างๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (A) SonicFill™2;

(B) Tetric N-Ceram Bulk Fill; (C) Filtek™ One Bulk Fill; (D) Filtek™ Z350XT;

(1) ในน้ำกลั่น; (2) ในกาแฟ; (3) ในเครื่องดื่มอัดลม; (4) ในชาวม. 45



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ตั้งแต่วัสดุเรซินคอมโพสิตถูกผลิตขึ้นในปี 1962⁽¹⁾ ได้มีการปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีและวัสดุอัดแทรกอย่างต่อเนื่อง เพื่อพัฒนาคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล ทำให้เรซินคอมโพสิตเป็นวัสดุบูรณะที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทางคลินิกในปัจจุบัน เพราะมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดี สามารถยึดติดกับโครงสร้างฟันได้เมื่อใช้ร่วมกับสารยึดติด ใช้งานได้สะดวก มีความสวยงาม⁽²⁾ สามารถบูรณะฟันหน้าและฟันหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ⁽¹⁾

อย่างไรก็ตามเรซินคอมโพสิตยังมีข้อจำกัดในเรื่องการใช้เทคนิคการอุดแบบเป็นชั้น (incremental filling technique)⁽³⁾ ความหนาแต่ละชั้นไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ทำให้ใช้เวลานานในการบูรณะโพรงฟันที่มีขนาดใหญ่ รวมถึงเทคนิคมีความไวสูง (technique sensitive)⁽⁴⁾ อาจเกิดฟองอากาศในเนื้อวัสดุ⁽¹⁾ และการปนเปื้อนในระหว่างบูรณะได้ จึงมีการพัฒนาเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิล (bulk-fill resin composite) ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ที่ความหนา 4 มิลลิเมตรได้⁽²⁾ ด้วยเทคนิคการอุดแบบชั้นเดียว (bulk fill technique)⁽³⁾ จึงช่วยลดระยะเวลาในการบูรณะโพรงฟันที่กว้างและลึก นอกจากนี้ผู้ผลิตบางรายกล่าวว่าเรซินคอมโพสิตชนิดนี้มีความเค้นจากการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization shrinkage stress) ต่ำกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม (conventional resin composite) ข้อดีเหล่านี้เกิดจากการเพิ่มความโปร่งแสง (translucency) ของวัสดุทำให้แสงส่องผ่านได้มากขึ้น⁽²⁾ มีการปรับตัวควบคุมการเกิดพอลิเมอร์ และตัวเริ่มปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น^(3, 4)

การพัฒนาล่าสุดของเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลได้มีการเติมแอดดิชันแฟร็กเมนเทชันโมโนเมอร์ (addition fragmentation monomer) และวงแหวนยูรีเทนไดเมทาครีเลท (aromatic urethane dimethacrylate) เพื่อช่วยลดความเค้นในขณะเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ เรซินคอมโพสิตชนิดนี้ คือ Filtek™ One Bulk Fill (3M ESPE) ซึ่งทางผู้ผลิตกล่าวว่าเรซินคอมโพสิตชนิดนี้มีความทึบแสงเทียบเท่ากับเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม สามารถบูรณะในฟันหลังให้มีความสวยงามได้⁽⁵⁾

การเลือกสีและความเสถียรของสี (color stability) เป็นปัจจัยหนึ่งในการเลือกวัสดุบูรณะ⁽²⁾ วัสดุที่เลือกใช้จะต้องสามารถคาดการณ์สีที่สมบูรณได้ โดยการทดสอบสีของวัสดุนิยมใช้การทดสอบความเสถียรของสีด้วยวิธีการเร่งอายุการใช้งานของวัสดุ ซึ่งการศึกษาส่วนใหญ่จะทดสอบการเปลี่ยนสีด้วยระบบ CIELAB เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความแม่นยำสูง⁽⁶⁾

การเปลี่ยนสีของวัสดุเรซินคอมโพสิตได้รับอิทธิพลมาจากปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายใน ประเด็นสำคัญคือการเปลี่ยนสีของวัสดุจากพฤติกรรมการบริโภคเครื่องดื่มซึ่งเป็นปัจจัยภายนอก⁽⁷⁾ โดยเครื่องดื่มหลายชนิดสามารถทำให้ฟันและพื้นผิววัสดุเรซินคอมโพสิตติดคราบสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลได้⁽⁸⁾ ดังนั้นการศึกษานี้จึงให้ความสำคัญกับการเปรียบเทียบการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต 4 ชนิด หลังการแช่ในเครื่องดื่มชนิดต่างๆ เพื่อนำไปสู่การเลือกใช้วัสดุที่มีความสวยงามและมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต 4 ชนิด หลังการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Experimental research) โดยนำเรซินคอมโพสิต 4 ชนิด คือเรซินคอมโพสิตบัลคฟิล 3 ชนิด ได้แก่ SonicFill™², Tetric N-Ceram Bulk Fill และ Filtek™ One Bulk Fill กับเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม คือ Filtek™ Z350XT มาเร่งอายุการใช้งานด้วยการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ 4 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น, กาแฟ, เครื่องดื่มอัดลม และชานม ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อประเมินความเสถียรของสีของวัสดุ เนื่องจากการประเมินทางคลินิกต้องใช้ระยะเวลานานและควบคุมปัจจัยสภาพแวดล้อมในช่องปากได้ยาก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ทราบแนวโน้มการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต หลังการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้วัสดุได้อย่างเหมาะสม
2. ได้ข้อมูลในการพัฒนาคุณสมบัติทางแสงของวัสดุเรซินคอมโพสิตและเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยในอนาคต

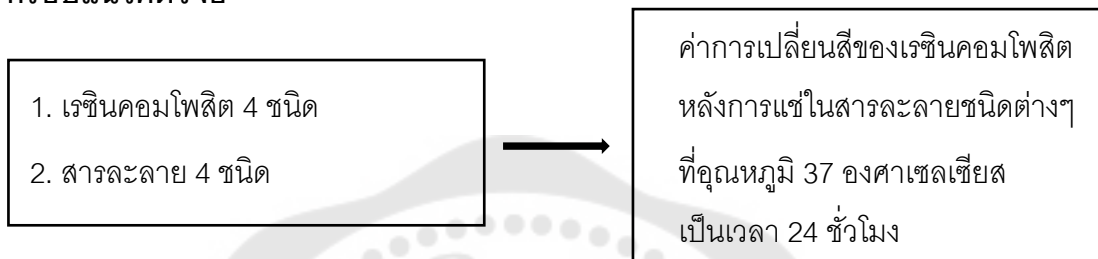
ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ
 - 1.1 ชนิดของเรซินคอมโพสิต
 - 1.2 ชนิดของสารละลาย

2. ตัวแปรตาม

ค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต หลังการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ ที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

กรอบแนวคิดวิจัย



สมมติฐานงานวิจัย

ชนิดของเรซินคอมโพสิตและชนิดของสารละลายมีผลต่อการเปลี่ยนสีไม่แตกต่างกัน

สมมติฐานทางสถิติ

สมมติฐานที่ 1

H_0 : ค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต หลังการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ ที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต หลังการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ ที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แตกต่างกัน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เรซินคอมโพสิต

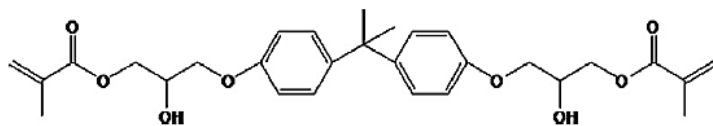
เรซินคอมโพสิตคือวัสดุบูรณะสีเหมือนฟันที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง⁽⁹⁾ จนได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ถูกคิดค้นโดย Dr.Bowen และ Dr.Buonocore ในปี 1962 ด้วยการรวมไดเมทาครีเลท(dimethacrylate)กับผงผลึกซิลิกา(silanized quartz powder)เข้าด้วยกัน ทำให้มีคุณสมบัติทางกายภาพ มีความทนทานและต้านทานการสึกได้ดี สามารถบูรณะได้ทั้งพื้นหน้าและพื้นหลัง⁽¹⁾ รวมถึงมีความสวยงามและปราศจากสารปรอททำให้เรซินคอมโพสิตเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในการบูรณะแทนวัสดุอะมัลกัม⁽¹⁰⁾

องค์ประกอบของเรซินคอมโพสิต

เรซินคอมโพสิตประกอบด้วย 3 ส่วน ส่วนแรกคือเรซินเมทริกซ์(Resin matrix) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นไดเมทาครีเลท ส่วนที่สองคือวัสดุอุดแทรก(filler) โดยส่วนใหญ่จะเป็นอนุภาคของแก้ว และส่วนที่สามคือสารคู่ควบ(Coupling agent)⁽¹¹⁾

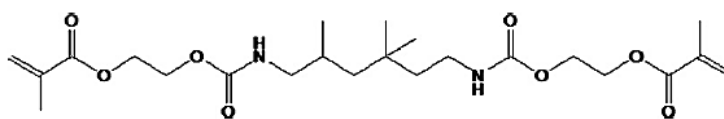
เรซินเมทริกซ์ ประกอบด้วยโมโนเมอร์(monomer) ตัวเริ่มปฏิกิริยา(initiator) ตัวเร่งปฏิกิริยา(accelerator) และตัวทำให้เสถียร (stabilizer)⁽¹⁾ โมโนเมอร์เป็นหน่วยเล็กๆเมื่อมารวมกันจนเกิดพอลิเมอร์ เรียกปฏิกิริยานี้ว่าการเกิดพอลิเมอร์(polymerization)⁽⁹⁾ โดยโมโนเมอร์ที่ใช้ในทางทันตกรรมควรมีอัตราการเกิดพอลิเมอร์สูง การหดตัวต่ำ(low shrinkage)เพื่อป้องกันการเกิดรอยซึมเล็ก(microleakage) ความสามารถในการดูดซึมน้ำ(water absorption)ต่ำ และมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพสูง(biocompatibility)⁽¹²⁾

เรซินเมทริกซ์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโมโนเมอร์บิสฟีนอลเอไกลิซิดิลไดเมทาครีเลท(Bisphenol-A-Glycidyl Dimethacrylate) หรือบิส-จีเอ็มเอ(Bis-GMA) (ภาพประกอบ 1) และยูรีเทนไดเมทาครีเลท (Urethane dimethacrylate) หรือยูดีเอ็มเอ(UDMA) (ภาพประกอบ 2) เนื่องจากบิส-จีเอ็มเอเป็นสารที่มีความหนืดสูงจึงได้มีการผสมโมโนเมอร์สายสั้นๆที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเข้าด้วยกัน เพื่อปรับคุณสมบัติให้ดีขึ้น เช่น ไตรเอทิลีนไกลคอลไดเมทาครีเลท(Triethylenglycol-dimethacrylate) หรือทีอีจีดีเอ็มเอ(TEGDMA) (ภาพประกอบ 3) อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าทีอีจีดีเอ็มเอมีผลเพิ่มการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์(Polymerization shrinkage)มากกว่าบิส-จีเอ็มเอ และยูดีเอ็มเอ⁽¹¹⁾ ดังนั้นหลายผลิตภัณฑ์จึงนิยมใช้บิส-จีเอ็มเอและยูดีเอ็มเอแทนการใช้ทีอีจีดีเอ็มเอ⁽¹³⁾



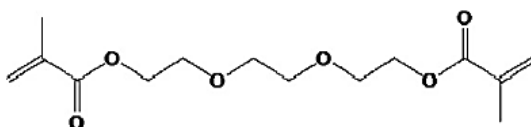
ภาพประกอบ 1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของบิส-จีเอ็มเอ

ที่มา: Sakaguchi RL, Powers JM. Craig's Restorative Dental Materials 13th ed 2012. P.164-5.



ภาพประกอบ 2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของยูดีเอ็มเอ

ที่มา: Sakaguchi RL, Powers JM. Craig's Restorative Dental Materials 13th ed 2012. P.164-5.

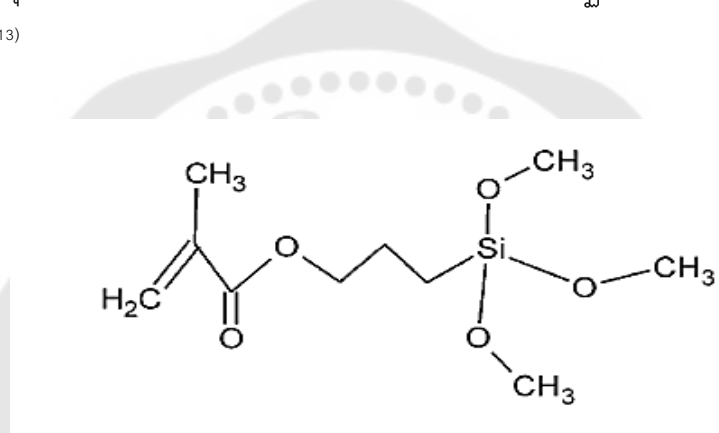


ภาพประกอบ 3 แสดงโครงสร้างทางเคมีของทีอีจีดีเอ็มเอ

ที่มา: Sakaguchi RL, Powers JM. Craig's Restorative Dental Materials 13th ed 2012. P.164-5.⁽¹⁴⁾

วัสดุอุดแทรก ประกอบด้วยควอทซ์(quartz) เซรามิก หรือซิลิกา(silica) การเพิ่มปริมาณของวัสดุอุดแทรกทำให้การหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ สัมประสิทธิ์การขยายตัวจากอุณหภูมิ(coefficient of thermal expansion) และการดูดซึมน้ำลดลง ในทางกลับกันทำให้ความทนแรงอัด(compressive strength) แรงต้านทานการดึง(tensile strength) โมดูลัสของความยืดหยุ่น(modulus of elasticity) และความต้านทานการสึก(wear resistance)สูงขึ้น⁽¹¹⁾

สารคู่ควบ ทำหน้าที่ในการเชื่อมเรซินเมทริกซ์และวัสดุอุดแทรกเข้าด้วยกันด้วยพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรง ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้เรซินคอมโพสิตมีคุณสมบัติทางกล(mechanical property)ที่ดี สารคู่ควบส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบซิลิกอน(silicon compound) หรือไฮเลน(silane) ซึ่งสารที่นิยมใช้ได้แก่ 3-เมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไฮเลน(3-methacryloxypropyltrimethoxysilane) (ภาพประกอบ4) การเชื่อมกันของเรซินเมทริกซ์และวัสดุอุดแทรกนั้นทำได้โดยการมีสารคู่ควบเคลือบอยู่บนวัสดุอุดแทรกและเชื่อมต่อกับเรซินเมทริกซ์โดยปลายด้านหนึ่งของสารคู่ควบสามารถเกิดพันธะโควาเลนต์กับกลุ่มไฮดรอกซิล (hydroxyl group)ของอนุภาคซิลิกา ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับเรซินเมทริกซ์เกิดเป็นพอลิเมอร์ได้⁽¹³⁾



ภาพประกอบ 4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ 3-เมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไฮเลน

ที่ ม า : Matinlinna JP, Ozcan M, Lassila LV, Vallittu PK. The effect of a 3-methacryloxypropyl-trimethoxysilane and vinyltriisopropoxysilane blend and tris(3-trimethoxysilylpropyl)isocyanurate on the shear bond strength of composite resin to titanium metal. Dent Mater. 2004;20(9):804-13.⁽¹⁵⁾

การพัฒนาของเรซินคอมโพสิต

ในอดีตอะมัลกัมถูกใช้เป็นวัสดุบูรณะโพรงฟันตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 โดยสามารถบูรณะโพรงฟันที่ไม่ต้องการความสวยงามได้ทั้งหมด เนื่องจากอะมัลกัมประกอบด้วย ปรอท เงิน ดีบุก และทองแดง ซึ่งเป็นโลหะผสมที่มีสีเมทัลลิก(metallic colour) จึงไม่สามารถเลียนแบบความสวยงามของฟันธรรมชาติได้ แต่ด้วยอายุการใช้งานที่นานและเทคนิคมีความไว(technique sensitive)น้อย ทำให้อะมัลกัมได้รับความนิยมมานานกว่า 150 ปี⁽¹⁶⁾ อย่างไรก็ตามมีการศึกษาที่ระบุว่าไอปรอทในอะมัลกัมจะถูกปลดปล่อยออกมาเล็กน้อยเมื่อเกิดกระบวนการบดเคี้ยว ซึ่ง

ไอร่หะเหยของปรอทที่ถูกสูดดมจะคูดซึ่มเข้าสู่ปอดและกระจายสู่กระแสเลือด⁽¹⁷⁾ ทำให้เกิดควมก้งวลว่การใช้อะมัลกั่มจะส่งผลเสียต่อสุขภาพ⁽¹⁶⁾

ด้วยข้อจำกัดของอะมัลกั่ม เรซินคอมโพสิตจึงได้รับความนิยมมากขึ้น มีรายงานว่ในระหว่างช่วงปี 1979 ถึง 1999 จำนวนการใช่วัสดุอะมัลกั่มในสหรัฐอเมริกาลดลง ในขณะที่เดียวกันมีการบูรณะโพรงฟันด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเรซินคอมโพสิตมีความเป็นพิษน้อย สามารถเลียนแบบความโปร่งแสงของฟันทำให้เกิดความสวยงาม ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของผู้ป่วยที่มีความต้องการด้านความสวยงามมากขึ้น⁽¹⁶⁾ ความต้องการที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้ผู้ผลิตมีการปรับปรุงองค์ประกอบของเรซินคอมโพสิตอย่างต่อเนื่อง⁽²⁾ ดังนี้

1. การพัฒนาวัสดุอุดแทรก

ในปี 1936 เรซินอะคริลิก(acrylic resin) ได้ถูกนำมาใช้งานทางทันตกรรมแทนการใช้ซีเมนต์ซิลิเกต(silicate cement) เนื่องจากมีประโยชน์ในด้านความสวยงาม อย่างไรก็ตามเรซินอะคริลิกมีการยึดติดที่ไม่ดี ในปี 1955 Buonocore ได้ใช้กรดออร์โทฟอสฟอริก(orthophosphoric acid) เพื่อช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเรซินอะคริลิกกับผิวเคลือบฟัน ในปี 1962 Bowen ได้พัฒนาบิส-จีเอ็มเอขึ้น โดยผสมกับเรซินอะคริลิกเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของเรซินอะคริลิก แต่ยังคงมีความผิดพลาดในเรื่องของสี อัตราส่วน และกระบวนการผสม^(16, 18) ในช่วงปี 1970 เรซินคอมโพสิตได้ถูกผลิตขึ้นเพื่อทดแทนข้อด้อยของเรซินอะคริลิก โดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการเกิดพอลิเมอร์⁽¹⁸⁾

เรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม(Conventional resin composite) มีอนุภาคของวัสดุอุดแทรกขนาดใหญ่มากกว่า 1 ไมโครเมตร มีชื่อเรียกว่า แมโครฟิลคอมโพสิต(Macrofill composite) ด้วยอนุภาคขนาดใหญ่ทำให้เรซินคอมโพสิตชนิดนี้มีความแข็งแรง แต่วัสดุมีความทึบขัดแต่งได้ยาก พื้นผิววัสดุมีความขรุขระจึงเกิดการสะสมของคราบจุลินทรีย์ และทำให้วัสดุเปลี่ยนสีได้ง่าย เพื่อลดข้อด้อยดังกล่าวจึงได้มีการผลิตไมโครฟิลคอมโพสิต(Microfill composite)ขึ้นในช่วงปลายทศวรรษ 1970⁽¹⁹⁾ โดยมีขนาดวัสดุอุดแทรกเฉลี่ย 40 นาโนเมตร และมีปริมาณ 35-67% โดยน้ำหนัก การลดขนาดของวัสดุอุดแทรกให้เล็กลงทำให้วัสดุมีความโปร่งแสงคล้ายผิวเคลือบฟันมากขึ้น สามารถขัดแต่งได้สวยงาม แต่มีความต้านทานต่อแรงบดเคี้ยวต่ำ เกิดการแตกหักง่ายหากบูรณะในบริเวณที่มีแรงบดเคี้ยวสูง จึงนิยมนำมาบูรณะในพื้นหน้า^(20, 21) อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าไมโครฟิลคอมโพสิตเป็นชื่อเรียกที่ไม่สอดคล้องกับขนาดของวัสดุอุดแทรก ซึ่งแท้จริงแล้วควรเรียกว่านาโนคอมโพสิต(nanocomposite)เพราะมีขนาดของวัสดุอุดแทรกอยู่ในระดับนาโนเมตร แต่เนื่องจากผู้ผลิตต้องการแสดงให้เห็นว่าขนาดของวัสดุอุดแทรกนั้นเล็กมาก อีก

ทั้งในขณะนั้นระบบนาโนเทคโนโลยียังไม่เป็นที่ยอมรับ จึงเรียกชื่อเรซินคอมโพสิตชนิดนี้ว่า ไมโครฟิลคอมโพสิต

แม้ว่าไมโครฟิลคอมโพสิตจะสามารถขัดแต่งได้สวยงามแต่ด้วยปริมาณวัสดุอุดแทรกที่น้อยทำให้วัสดุไม่แข็งแรง ดังนั้นเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเรซินคอมโพสิตให้มีทั้งความแข็งแรง และสามารถขัดแต่งได้สวยงามจึงได้มีการลดขนาดของวัสดุอุดแทรกลงเพื่อผลิตเรซินคอมโพสิตกลุ่มที่มีอนุภาคขนาดเล็ก โดยเรซินคอมโพสิตชนิดนี้เรียกว่ามิดิฟิลคอมโพสิต (midifill composite) มีขนาดวัสดุอุดแทรกเฉลี่ยมากกว่า 1 ไมโครเมตร และยังมีส่วนหนึ่งเป็นไมโครฟิลขนาด 40 นาโนเมตร⁽¹⁹⁾

นอกจากนี้ยังได้มีการปรับแต่งขนาดของวัสดุอุดแทรกเพิ่มเติมด้วยการมิลลิง (milling) และการบด (grinding) ทำให้มีขนาดของวัสดุอุดแทรกเฉลี่ย 0.4 ถึง 1 ไมโครเมตร ซึ่งในช่วงแรกเรซินคอมโพสิตชนิดนี้ถูกเรียกว่า มินิฟิลคอมโพสิต (minifill composite) และถูกเรียกว่าไมโครไฮบริดคอมโพสิต (microhybrid composite) ในเวลาต่อมา โดยเรซินคอมโพสิตชนิดนี้สามารถบูรณะได้ทั้งพื้นหน้าและพื้นหลัง^(19, 21)

หลังจากนั้นได้มีการผลิตนาโนคอมโพสิต (nanocomposite) ซึ่งมีขนาดวัสดุอุดแทรกตั้งแต่ 1 ถึง 100 นาโนเมตร โดยนาโนคอมโพสิตแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ นาโนฟิลคอมโพสิต (nanofill composite) ซึ่งประกอบด้วยวัสดุอุดแทรกที่มีขนาดในระดับนาโนเท่านั้น และนาโนไฮบริดคอมโพสิต (nanohybrid composite) ซึ่งประกอบด้วยวัสดุอุดแทรกระดับนาโน และไมโครไฮบริด⁽²²⁾ การใช้ประโยชน์จากนาโนเทคโนโลยีในกระบวนการผลิต ทำให้นาโนคอมโพสิตมีคุณสมบัติทางกลที่ดี สามารถขัดแต่งได้ง่าย และมีความสวยงาม⁽²¹⁾

นาโนคอมโพสิตที่จำหน่ายในประเทศไทยมีหลายชนิด ในที่นี้จะขอลำถึง Filtek™ Z350XT ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

Filtek™ Z350XT

เป็นวัสดุชนิดนาโนฟิลคอมโพสิต (ภาพประกอบ 5) ประกอบด้วยวัสดุอุดแทรกร้อยละ 78.5 โดยน้ำหนัก และเมทาครีเลทในเรซินเมทริกซ์ ได้แก่ บิส-จีเอ็มเอ, ยูดีเอ็มเอ, ทีอีจีดีเอ็มเอ และบิส-อีเอ็มเอ ด้วยกระบวนการนาโนเทคโนโลยีทำให้วัสดุชนิดนี้สามารถบูรณะได้ทั้งพื้นหน้าและพื้นหลัง ใช้ในการก่อแกนฟัน (core build-up) ทำเฝือกสบฟัน (splint) รวมถึงสามารถใช้เป็นวัสดุบูรณะทางอ้อม (indirect restoration) ได้อีกด้วย โดยมีตัวเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง (photoinitiator) คือ แคมฟอร์ควิโนน (camphorquinone) หรือเอซิลฟอสไฟน์ออกไซด์ (acyl phosphine oxide) นอกจากนี้ยังเป็นวัสดุที่มีหลายเฉดสี ทั้งเนื้อฟัน (dentin) ตัวฟัน (body) เคลือบ

ฟัน(enamel) และเคลือบสีไปรงแสง ซึ่งทุกเคลือบสามารถบูรณะโพรงฟันได้หนา 2 มิลลิเมตร ภายใต้เครื่องฉายแสงที่มีความเข้มแสงมากกว่า 1000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 10 วินาที ยกเว้นเคลือบฟันจะสามารถบูรณะโพรงฟันได้หนา 1.5 มิลลิเมตร ภายใต้ความเข้มแสงเดียวกันเป็นเวลา 20 วินาที⁽²³⁾

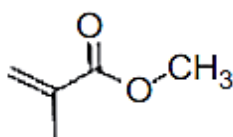


ภาพประกอบ 5 แสดงวัสดุเรซินคอมโพสิต Filtek™ Z350XT

2. การพัฒนาเรซินเมทริกซ์

2.1. เมทิลเมทาครีเลทเรซิน(Methyl methacrylate resin)

เมทิลเมทาครีเลทเรซิน (ภาพประกอบ6) ถูกนำมาผลิตเป็นฐานฟันปลอมในช่วงปลายทศวรรษ1930 และในเวลาต่อมาถูกใช้สำหรับผลิตวัสดุบูรณะทางอ้อม ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 มีการค้นพบเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์เทอร์เชียรีเอมีน(benzoyl peroxide tertiary amine) ซึ่งเป็นตัวเร่งการเริ่มปฏิกิริยาทำให้เมทิลเมทาครีเลทสามารถเกิดพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิห้อง จึงถูกนำมาใช้ในการผลิตวัสดุบูรณะทางตรง(direct restoration) แม้ว่าเมทิลเมทาครีเลทจะมีความสวยงามแต่พบว่าการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์สูง การขยายตัวเหตุความร้อน(thermal expansion)สูง มีการเปลี่ยนสี(discoloration) เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อในและพบอุบัติการณ์การเกิดรอยผุซ้ำ⁽⁹⁾

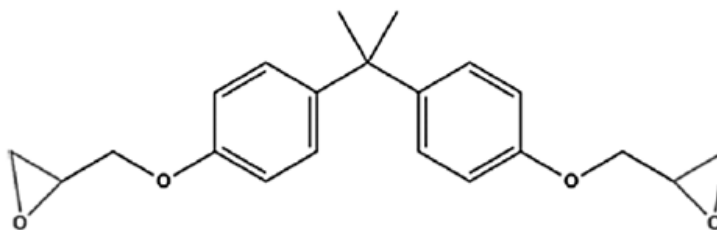


ภาพประกอบ 6 แสดงโครงสร้างทางเคมีของเมทิลเมทาครีเลท

ที่มา: Borak J, Fields C, Andrews LS, Pemberton MA. Methyl methacrylate and respiratory sensitization: a critical review. Crit Rev Toxicol. 2011;41(3):230-68.⁽²⁴⁾

2.2. อีพ็อกซีเรซิน(Epoxy resin)

ด้วยข้อจำกัดของเมทิลเมทาครีเลทเรซิน ในปี 1951 Dr.Bowen จึงได้สังเคราะห์ อีพ็อกซีเรซิน (ภาพประกอบ7) ด้วยปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของวงแหวนอีพอกไซด์(epoxide ring) ทำให้อีพ็อกซีเรซินสามารถแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง มีการหดตัวต่ำ⁽⁹⁾ ความแข็งแรงสูง เสถียรภาพสูง ทนต่อสารเคมีและมีการยึดเกาะที่ดี⁽²⁵⁾ อย่างไรก็ตามอีพ็อกซีเรซินไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาแข็งตัวช้าจึงไม่เหมาะสมกับการบูรณะทางตรง⁽⁹⁾



ภาพประกอบ 7แสดงโครงสร้างทางเคมีของอีพ็อกซีเรซิน

ที่ ม า : Meng Z, Bessa MA, Xia W, Kam Liu W, Keten S. Predicting the Macroscopic Fracture Energy of Epoxy Resins from Atomistic Molecular Simulations. Macromolecules. 2016;49(24):9474-83.⁽²⁶⁾

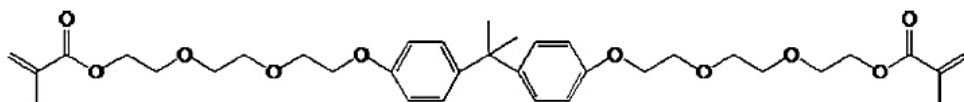
2.3. บิส-จีเอ็มเอเรซิน

ในปี 1956 Dr.Bowen ได้สังเคราะห์โมโนเมอร์ชนิดใหม่ขึ้นเรียกว่า บิส-จีเอ็มเอเรซิน (ภาพประกอบ1) ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มต้นของการสังเคราะห์เรซินคอมโพสิต โดยมีสูตรทางเคมี คือ 2,2-bis[4-(2-hydroxy-3-methacrylyl-oxypoxy)phenyl]propane ซึ่งคล้ายกับอีพ็อกซีเรซิน แต่บิส-จีเอ็มเอจะแทนกลุ่มอีพอกไซด์ด้วยกลุ่มเมทาครีเลท และเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ผ่านพันธะคู่ของคาร์บอนของกลุ่มเมทาครีเลท 2 กลุ่ม ทำให้บิส-จีเอ็มเอเรซินมีขนาดโมเลกุลและโครงสร้างทางเคมีใหญ่กว่าเมทาครีเลท จึงมีการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์น้อยลง สามารถเกิดปฏิกิริยาแข็งตัวได้เร็วและมีความแข็งแรง

อย่างไรก็ตามบิส-จีเอ็มเอเรซินยังไม่สามารถทำให้เกิดความเสถียรของสี(color stability)โดยสมบูรณ์ได้⁽⁹⁾ และมีความหนืดสูงจึงนำมาผสมกับโมโนเมอร์ไดเมทาครีเลทที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ⁽¹¹⁾ เพื่อให้ได้ความหนืดที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถเติมวัสดุอัดแทรกเข้าไปในเรซินคอมโพสิตได้มากขึ้นทำให้คุณสมบัติต่างๆของวัสดุดีขึ้น โดยโมโนเมอร์ที่

นิยมใช้ได้แก่ เอทีลีนไกลคอลไดเมทาครีเลท(ethyleneglycol dimethacrylate) หรืออีจีดีเอ็มเอ (EGDMA) และทีอีจีดีเอ็มเอ (ภาพประกอบ3) อย่างไรก็ตามการเติมโมโนเมอร์เหล่านี้ทำให้การหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์มากขึ้น⁽⁹⁾

ทางเลือกหนึ่งของโมโนเมอร์ที่ดัดแปลงจากบิส-จีเอ็มเอเรซินคือ อีท็อกซิเลทเทท บิสฟีนอลเอไดเมทาครีเลท (Ethoxylatedbisphenol A dimethacrylate) หรือบิส-อีเอ็มเอ (Bis-EMA) (ภาพประกอบ8) ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า⁽²⁷⁾และมีโครงสร้างที่เป็นวงแหวน 2 กลุ่มเหมือนกับบิส-จีเอ็มเอเรซิน แต่ไม่มีกลุ่มไฮดรอกซิล การขาดความสามารถในการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลช่วยลดความหนืด เพิ่มความยืดหยุ่น(flexibility) และระดับการเกิดพอลิเมอร์(degrees of conversion) รวมถึงปรับคุณสมบัติทางกลให้ดีขึ้น^(27, 28)



ภาพประกอบ 8 แสดงโครงสร้างทางเคมีของบิส-อีเอ็มเอ

ที่มา: Sakaguchi RL, Powers JM. Craig's Restorative Dental Materials 13th ed 2012. P.164-5.⁽¹⁴⁾

2.4. ยูรีเทนไดเมทาครีเลทเรซิน

ยูรีเทนไดเมทาครีเลทเรซินหรือยูดีเอ็มเอ (ภาพประกอบ2) ถูกสังเคราะห์จากไฮดรอกซีแอลคิลเมทาครีเลท(hydroxyalkyl methacrylate)ของบิส-จีเอ็มเอเรซิน และไดไอโซไซยาเนต(diisocyanate) ยูดีเอ็มเอเรซินมีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกับบิส-จีเอ็มเอเรซิน แต่มีความหนืดน้อยกว่าและความยืดหยุ่นมากกว่า⁽⁹⁾ รวมถึงมีความทนแรงดัด(flexural strength) โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น(elastic modulus) และความแข็งแรง(hardness)สูง⁽²⁷⁾ นอกจากนี้ยังพบระดับการเกิดพอลิเมอร์สูงกว่าการใช้บิส-จีเอ็มเอเรซินร่วมกับทีอีจีดีเอ็มเอ⁽⁹⁾ ในปัจจุบันหลายผลิตภัณฑ์จึงนิยมใช้บิส-จีเอ็มเอ และยูดีเอ็มเอเป็นโมโนเมอร์หลักของเรซินคอมโพสิต⁽¹³⁾

2.5. ออโมเซอร์(ORMOCER)

ในปี 1998 ได้มีการเริ่มใช้ออโมเซอร์หรือออร์แกนิกคอลลีไมด์ไฟเซรามิก (organically modified ceramic)ในงานทันตกรรม เป็นเรซินคอมโพสิตที่มีการปรับเปลี่ยนเรซินเมทริกซ์ให้แตกต่างไปจากเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม ด้วยการผสมพอลิเมอร์ชนิดอนินทรีย์

และอินทรีย์ (inorganic-organic copolymers) ที่มีอนุภาคไฮเลนเป็นส่วนประกอบ⁽¹⁸⁾ ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้มีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุ โดยองค์ประกอบอนินทรีย์ เช่น แก้วและเซรามิกมีผลต่อการขยายตัวเหตุความร้อนและความเสถียรทางเคมี (chemical stability) ส่วนพอลิเมอร์ชนิดอินทรีย์มีผลต่อความสามารถในการเชื่อมต่อกันของพอลิเมอร์ ความแข็งแรง และพฤติกรรมทางแสง (optical behavior) สำหรับอนุภาคไฮเลนมีผลต่อความยืดหยุ่น (elasticity) คุณสมบัติอินเทอร์เฟซ (interface properties) และการประมวลผล⁽¹¹⁾

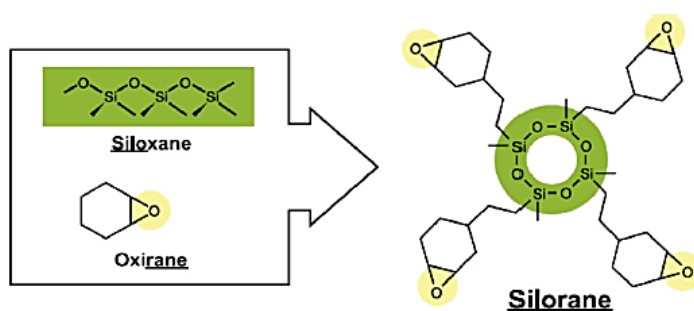
จากองค์ประกอบต่างๆ ทำให้ออโมเซอร์สามารถลดการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ลดความเค้นจากการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization shrinkage stress) และมีคุณสมบัติเป็นเซลฟ์แอดฮีซีฟ (self adhesive properties)⁽¹⁹⁾ อย่างไรก็ตามออโมเซอร์มีความเป็นพิษสูง ซึ่งสัมพันธ์กับการปล่อยบิส-จีเอ็มเอปริมาณสูง^(18, 29) จากการศึกษาของ Hahnel และคณะ ในปี 2010 พบว่าหลังจากแช่ออโมเซอร์ในเอทานอลและในน้ำลายเป็นเวลา 1 ปี ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vickers hardness) และความทนแรงดัด (flexural strength) ลดลงมากที่สุด⁽³⁰⁾ นอกจากนี้ด้วยจำนวนการศึกษาที่น้อยทำให้ไม่สามารถประเมินประสิทธิภาพทางคลินิกของออโมเซอร์ได้⁽¹⁸⁾

2.6. ไฮโลเรน (Silorane)

ในปี 2005 Weinmann และคณะ ได้อธิบายถึงการสังเคราะห์โมโนเมอร์ชนิดใหม่เรียกว่าไฮโลเรน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของนาโนไฮบริดคอมโพสิตชนิดหดตัวต่ำ (low shrinkage)⁽³¹⁾ เป็นโมโนเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาของไฮลอกเซน (siloxane) และออกซีเรน (oxirane)^(11, 32, 33) (ภาพประกอบ 9) ไฮลอกเซนทำให้วัสดุมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic properties) ลดการเปลี่ยนสีจากปัจจัยภายนอกและลดการดูดซึมน้ำ ส่วนวงแหวนออกซีเรนช่วยพัฒนาคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) และมีการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ต่ำ^(11, 18)

เมื่อเปรียบเทียบวัสดุที่มีส่วนประกอบของไฮโลเรนกับเมทาครีเลท พบว่าไฮโลเรนมีการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ต่ำมาก ความทนแรงอัด และความแข็งจุลภาค (microhardness) ต่ำกว่าเมทาครีเลท แต่มีความทนแรงดัด โมดูลัสแบบดัด (flexural modulus) ความทนทานการแตกหัก (fracture toughness) สูงกว่าเมทาครีเลท⁽³⁴⁾ จากการศึกษาของ Eick และคณะ ในปี 2006 พบว่าไฮโลเรนมีความเสถียรและไม่ละลายในของเหลวชีวภาพจึงสามารถใช้กับสภาพแวดล้อมในช่องปากได้⁽³⁵⁾ อย่างไรก็ตามการศึกษาของ Marchesi และคณะ ในปี 2010 แสดงให้เห็นว่าไฮโลเรนคอมโพสิตเกิดความเค้นจากการหดตัว (contraction stress) ไม่แตกต่างจากคอมโพสิตชนิดอื่น และไม่ได้มีคุณสมบัติเหนือนาโนไฮบริดคอมโพสิตที่มีเมทาครีเลทเรซิน

เป็นส่วนประกอบ ด้วยเหตุนี้จึงไม่นิยมนำไฮโดรเจนคอมโพสิตมาใช้แทนเมทาครีเลทเรซิน⁽³¹⁾ นอกจากนี้การทดลองเติมโมโนเมอร์ชนิดอื่นเข้าไปในระบบไฮโดรเจน เช่น ทีโอเอสยู(TOSU) พบว่าความเค้นของวัสดุลดลง แต่คุณสมบัติทางกลก็ลดลงด้วยเช่นกัน⁽¹⁹⁾



ภาพประกอบ 9 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไฮโดรเจน

ที่มา: Sakaguchi RL, Powers JM. Craig's Restorative Dental Materials 13th ed 2012. P.164-5.⁽¹⁴⁾

2.7. โมโนเมอร์ชนิดยึดติด(adhesive monomer)

เมื่อไม่นานมานี้มีการพัฒนาเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ (flowable composite) ที่มีโมโนเมอร์ชนิดยึดติดเป็นส่วนประกอบเรียกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบเซลฟ์แอดฮีซีฟ (self-adhering flowable composite resin) เช่น Vertise Flow(Kerr) และ Fusio Liquid Dentin(Pentron Clinical) โดยเรซินคอมโพสิตชนิดนี้ยังคงมีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นเมทาครีเลทแต่มีการเพิ่มโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรดซึ่งพบในสารยึดติดเข้ามาด้วย เช่น กลีเซอรอลฟอสเฟตไดเมทาครีเลท (glycerol-phosphate dimethacrylate) ซึ่งอาจมีความสามารถในการยึดเกาะทางกลและทางเคมีกับโครงสร้างฟันโดยไม่ต้องใช้ร่วมกับสารยึดติด^(19, 36) การศึกษาของ BEKTAS และคณะในปี 2013 สรุปว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบเซลฟ์แอดฮีซีฟมีความแข็งแรงต่อการยึดติด(bond strength)และความแนบสนิทกับขอบ(marginal seal)ที่ดี⁽³⁶⁾ อย่างไรก็ตามการศึกษาของ VICHI และคณะในปี 2013 พบว่าการใช้เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบเซลฟ์แอดฮีซีฟเพียงอย่างเดียวมีความแข็งแรงเฉือน(shear bond strength)น้อยกว่าการใช้เรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้แบบเซลฟ์แอดฮีซีฟร่วมกับสารยึดติด⁽³⁷⁾ วัสดุชนิดนี้จึงได้รับการแนะนำให้ใช้เป็นสารรองพื้นโพรงฟัน(liner) การบูรณะขนาด

เล็กและเป็นจุดเริ่มต้นของคอมโพสิตชนิดยูนิเวอร์แซลเซลฟ์แอดฮีซีฟ (universal self-adhesive composite)⁽¹⁹⁾

3. การพัฒนาเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิล (bulk-fill resin composite)

แม้ว่าเรซินคอมโพสิตจะมีการพัฒนาคุณสมบัติต่างๆอย่างต่อเนื่อง แต่ยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องความหนาของวัสดุที่ใช้บูรณะโพรงฟันที่ลึกและกว้าง โดยจะต้องใช้เทคนิคการอุดแบบเป็นชั้น (incremental filling technique)⁽³⁾ แต่ละชั้นมีความหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ทำให้ใช้เวลาในการบูรณะนานและเทคนิคมีความไวสูง⁽⁴⁾ จึงได้มีการพัฒนาเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลขึ้นมา ซึ่งผู้ผลิตกล่าวว่าวัสดุชนิดนี้สามารถบูรณะโพรงฟันได้หนา 4 มิลลิเมตร^(18, 38-40) ด้วยเทคนิคการอุดแบบชั้นเดียว (bulk fill technique)⁽³⁾ ทำให้ลดความยุ่งยาก ในขั้นตอนการบูรณะและประหยัดเวลาทางคลินิก^(3, 18) โดยการพัฒนาดังกล่าวทำให้มีความโปร่งแสงมากขึ้น ปรับตัวควบคุมการเกิดพอลิเมอร์ และตัวเริ่มปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น^(3, 4)

เรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ เรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลที่มีความหนืดสูง (high viscosity bulk fill resin composite) และเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลที่มีความหนืดต่ำ (low viscosity bulk fill resin composite)

เรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลที่มีความหนืดสูงมีปริมาณวัสดุอัดแทรกมาก ทำให้ความสามารถในการไหลแผ่แผ่น้อย ความแนบสนิทกับผนังโพรงฟันน้อย จึงนิยมใช้ในการบูรณะโพรงฟันชั้นบนสุดในด้านบดเคี้ยว เช่น SonicFill™ 2 (Kerr), X-tra Fil (Voco), Filtek Bulk Fill (3M ESPE), Tetric N-Ceram Bulk Fill (Ivoclar Vivadent), QuiXfil (Dentsply) และ EverX Posterior (GC Corporation)^(3, 18, 39) ส่วนเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลที่มีความหนืดต่ำมีปริมาณวัสดุอัดแทรกน้อย มีความสามารถในการไหลแผ่ได้ดี สามารถปรับตัวเข้ากับผนังโพรงฟัน แต่มีการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์สูง และมีคุณสมบัติทางกายภาพต่ำกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลที่มีความหนืดสูง⁽⁴¹⁾ จึงนิยมใช้ในการบูรณะโพรงฟันส่วนที่เข้าถึงยากหรือโพรงฟันชั้นใน แล้วจึงปิดทับด้วยเรซินคอมโพสิตที่มีความหนืดสูงหรือชนิดดั้งเดิม เช่น SDR (Dentsply), Venus Bulk Fill (Heraeus Kulzer) และ X-tra Base (Voco)^(3, 39)

การพัฒนาล่าสุดของเรซินคอมโพสิตมุ่งเน้นในเรื่องการลดการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ความเค้นจากการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ พร้อมปรับปรุงความเข้ากันได้ทางชีวภาพสูง ความต้านทานการสึก และคุณสมบัติทางแสง (optical property) ให้ดีขึ้น⁽⁴²⁾ เนื่องจากในปัจจุบันผู้ป่วยมีความต้องการในด้านความสวยงามมากขึ้น การเลือกสีและความเสถียรของสี (color stability) ของวัสดุจึงเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดอายุการใช้งานของวัสดุบูรณะ

ซึ่งรวมถึงการบูรณะในฟันหลังด้วย⁽²⁾ จึงมีการพัฒนาเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลที่มีความทึบแสง เทียบเท่ากับเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม คือ Filtek™ One Bulk Fill (3M ESPE) ทำให้ทันตแพทย์สามารถบูรณะฟันหลังที่มีความสวยงามได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ⁽⁵⁾

ปัจจุบันเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลที่มีความหนืดสูงที่นิยมใช้ในประเทศไทยมีทั้งหมด 3 ชนิด คือ

3.1 SonicFill™2

เป็นวัสดุชนิดนาโนฟิลคอมโพสิต (ภาพประกอบ10) ประกอบด้วยวัสดุอัดแทรก ร้อยละ 82 โดยน้ำหนัก ในการบูรณะต้องใช้คู่กับด้ามกรอโซนิกฟิล(SonicFill handpiece) ซึ่งเป็นคลื่นความถี่เสียงก่อให้เกิดพลังงานกับวัสดุทำให้วัสดุมีความหนืดลดลงถึงร้อยละ 84 จนมีลักษณะ คล้ายกับเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ได้ จึงสามารถแนบสนิทกับผนังโพรงฟันได้ดี และเมื่อหยุดการใช้งานของโซนิกฟิลแอนด์พีซความหนืดของวัสดุจะกลับมาเป็นปกติ ทำให้สามารถตกแต่งรูปร่าง ได้ง่ายและรวดเร็ว โดยมีตัวเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงคือแคมฟอร์ควิโนน นอกจากนี้ยังเกิดความเค้น จากการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ต่ำและสามารถบูรณะโพรงฟันได้หนาถึง 5 มิลลิเมตร ด้วยการอุดแบบชั้นเดียว ภายใต้เครื่องฉายแสงที่มีความเข้มแสงมากกว่า 1000 มิลลิวัตต์ต่อ ตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 10 วินาที โดยยังคงสภาพทึบแสง(opacity) ที่เพียงพอ ทำให้การบูรณะ โพรงฟันด้วยวัสดุชนิดนี้มีความสวยงาม⁽⁴³⁾



ภาพประกอบ 10 แสดงวัสดุเรซินคอมโพสิต SonicFill™2

3.2 Tetric N-Ceram Bulk Fill

เป็นวัสดุชนิดนาโนไฮบริดคอมโพสิต (ภาพประกอบ11) ประกอบด้วยวัสดุอัดแทรก ร้อยละ 61 โดยปริมาตร ได้แก่ แก้วแบเรียมอะลูมิเนียมซิลิเกต(barium aluminium silicate glass) ที่แตกต่างกัน 2 ขนาด, อิตเทอร์เบียมฟลูออไรด์(ytterbium fluoride) และ

สเฟียร์มิกซ์ออกไซด์(spherical mixed oxide) ทำให้วัสดุเกิดการสึกต้ำและสามารถขัดแต่งได้สวยงาม รวมถึงมีไอโซฟิลเลอร์(isofiller) หรือพอลิเมอร์ฟิลเลอร์(polymer filler) ร้อยละ 17 ซึ่งช่วยลดการหดตัวและความเค้นจากการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ได้ ในส่วนของเรซินเมทริกซ์จะประกอบด้วยไดเมทาครีเลท ได้แก่ บิส-จีเอ็มเอ, บิส-อีเอ็มเอและยูดีเอ็มเอ

นอกจากนี้ยังมีตัวเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงคือ ไอโวเซอริน(Ivocerin) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไดเบนโซอิลเจอร์เมเนียม(dibenzoyl germanium) สามารถดูดซับความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงินระหว่าง 390 ถึง 445 นาโนเมตร และมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงสูงกว่าแคมฟอร์ควิโนน ทำให้วัสดุชนิดนี้มีการเกิดพอลิเมอร์อย่างรวดเร็วและสามารถบ่มระยะโพรงฟันได้หนา 4 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องฉายแสงที่มีความเข้มแสงมากกว่า 1000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 10 วินาที โดยไม่สูญเสียคุณสมบัติทางแสง เช่น ความโปร่งแสงหรือสี⁽⁴⁴⁾



ภาพประกอบ 11 แสดงวัสดุเรซินคอมโพสิต Tetric N-Ceram Bulk Fill

3.3 Filtek™ One Bulk Fill

เป็นวัสดุชนิดนาโนฟิลคอมโพสิต (ภาพประกอบ12) ประกอบด้วยวัสดุอัดแทรก รวมร้อยละ 76.5 โดยน้ำหนัก ได้แก่ อิตเทอร์เบียมไตรฟลูออไรด์(ytterbium trifluoride), วัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาด 20 นาโนเมตร และวัสดุอัดแทรกเซอร์โคเนีย(zirconia) ขนาด 4 ถึง 11 นาโนเมตร ซึ่งรวมเรียกว่าวัสดุอัดแทรกเซอร์โคเนีย/ซิลิกาคลัสเตอร์((zirconia/silica cluster filler) ทำให้วัสดุมีความแข็งแรง ความต้านทานการสึก ความทึบรังสี(radiopacity) และลดการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์

ในส่วนของเรซินเมทริกซ์มีการเติมแอดดิชันแฟรกเมนเทนโมโนเมอร์(addition fragmentation monomer) หรือเอเอฟเอ็ม(AFM) โมโนเมอร์ชนิดนี้สามารถแทรกกลางระหว่างโมโนเมอร์ปกติในขณะที่เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์เพื่อลดความเค้น และเมื่อความเค้นลดลงแล้วสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ได้อีกครั้ง อีกทั้งยังมีการเติมวงแหวนยูรีเทนไดเมทาครีเลท (aromatic urethane dimethacrylate) หรือเอยูดีเอ็มเอ (AUDMA) ซึ่งเป็นโมโนเมอร์ขนาดใหญ่ จึงช่วยลดการหดตัวและความเค้นในระหว่างการเกิดพอลิเมอร์

นอกจากนี้ทางบริษัทผู้ผลิตได้มีการพัฒนานาโนเทคโนโลยีแบบใหม่เพื่อปรับปรุงข้อด้อยของเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลเดม ด้วยการจัดการปฏิกิริยา(interaction) และดัชนีหักเห (refractive index) ระหว่างวัสดุอัดแทรกและเรซินเมทริกซ์ ทำให้วัสดุมีค่าความเปรียบต่าง (contrast Ratio) เป็น 51 ซึ่งสูงขึ้นจากวัสดุชนิดเดิม วัสดุนี้จึงมีความทึบแสงมากขึ้นและยังคงความสามารถในการบูรณะโพรงฟันได้หนา 4 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องมือฉายแสงที่มีความเข้มแสงตั้งแต่ 1000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรขึ้นไป เป็นเวลา 20 วินาที โดยเรซินคอมโพสิตชนิดนี้มีตัวเริ่มปฏิกิริยาดำเนินการคือแคมฟอร์ควิโนน⁽⁵⁾



ภาพประกอบ 12 แสดงวัสดุเรซินคอมโพสิต Filtek™ One Bulk Fill

ความเสถียรของสีของเรซินคอมโพสิต

หนึ่งในความท้าทายที่สำคัญของงานทันตกรรมในปัจจุบันคือการเลือกสีของวัสดุบูรณะให้เหมือนฟันธรรมชาติ แม้เรซินคอมโพสิตจะได้รับการพัฒนาอย่างมากโดยเฉพาะในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา แต่ยังคงเกิดปัญหาเรื่องความเสถียรของสี วัสดุที่สามารถคาดการณ์สีที่สมบูรณ์ได้จึงเป็นที่ต้องการ อย่างไรก็ตามมีการหมุนเวียนวัสดุทางทันตกรรมอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นผลมาจากความก้าวหน้าของงานวิจัย และการเติบโตในเชิงพาณิชย์ ทำให้ขาดการรายงานผลทางคลินิกในระยะยาว ดังนั้นการทดสอบในหลอดทดลอง(in vitro test) ที่มีการเร่งอายุการใช้งานของวัสดุจึงได้รับการพัฒนาขึ้น เพื่อทำนายความสวยงามของวัสดุ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับความเสถียรของสี⁽⁶⁾ ความเสถียรของสีของเรซินคอมโพสิตเป็นคุณสมบัติสำคัญที่มีผลต่ออายุการใช้งานในทางคลินิก ซึ่งถือเป็นปัจจัยที่ทำนายการพัฒนาของวัสดุ⁽⁴⁵⁾ หากเกิดการเปลี่ยนสีของวัสดุจนทำให้ผู้ป่วยไม่พึงพอใจอาจต้องบูรณะฟันใหม่ทั้งหมดหรือบางส่วน⁽⁴⁶⁾

การเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต

การศึกษาเรื่องการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตส่วนใหญ่พบว่าเกิดขึ้นหลังการบ่ม (curing) และการใช้งานเป็นเวลานาน หลังการบ่มเรซินคอมโพสิตแสดงให้เห็นว่าเฉดสีที่อ่อนกว่ามีแนวโน้มที่จะเกิดการเปลี่ยนสีมากกว่าเฉดสีที่เข้มกว่า⁽⁴⁷⁾ โดยการเปลี่ยนสีอาจเกิดได้จากปัจจัยหลายประการ ทั้งปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายใน

การเปลี่ยนสีจากปัจจัยภายนอกได้แก่ การติดคราบสี(staining) การดูดซึมน้ำ การเกิดพอลิเมอร์ไม่เพียงพอ ความหยาบของพื้นผิว(surface roughness) การสูบบุหรี่ อนามัยช่องปาก(oral hygiene)ที่ไม่เหมาะสม การรับประทานอาหารและเครื่องดื่ม เช่น ไวน์แดง ชา กาแฟ เป็นต้น ส่วนการเปลี่ยนสีจากปัจจัยภายในคือการเปลี่ยนแปลงในเนื้อวัสดุเกิดจากปฏิกิริยาทางกายภาพและทางกล(physico-mechanical reaction)ของวัสดุ เช่น ชนิดของวัสดุอัดแทรก ชนิดของเรซินเมทริกซ์^(2, 45)

แม้ว่าในปัจจุบันสังคมจะตระหนักถึงเรื่องการรับประทานอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพมากขึ้น แต่เครื่องดื่มอัดลม(carbonated beverage) ก็ยังคงได้รับความนิยมในกลุ่มวัยรุ่นและผู้ใหญ่⁽⁷⁾ ในขณะเดียวกันชาวมักก็เป็นผู้บริโภคเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมทั่วเอเชีย สหรัฐอเมริกาและยุโรป⁽⁴⁸⁾ ซึ่งเครื่องดื่มเหล่านี้เป็นปัจจัยภายนอกที่อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตได้

การทดสอบความเสถียรของสี

สำหรับในงานวิจัยการทดสอบความเสถียรของสีของเรซินคอมโพสิตจะมีการเร่งอายุการใช้งานของวัสดุ ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การนำวัสดุไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส⁽⁴⁹⁾ การฉายด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต(UV light)^(50, 51) การทดสอบด้วยหลอดไฟซีนอน(Xenon lamp) ตามมาตรฐาน ISO7491:2000⁽⁵²⁾ การนำวัสดุไปแช่ในสารละลายต่างๆที่สามารถติดสีได้ เช่น ไวน์แดง กาแฟ^(2, 8, 45, 53, 54)

การศึกษาของ Guler และคณะในปี 2005 ได้ทดสอบความเสถียรของสีของวัสดุบูรณะเฉพาะกาลเรซินคอมโพสิต(resin composite provisional restoration) โดยนำวัสดุเรซินคอมโพสิตทั้งหมด 5 ชนิด คือ Protemp II(3M ESPE, Seefeld, Germany), Revotek LC (GC Dental Products Corp, Aichi, Japan), Micronew(Bisco Inc, Schaumburg, Ill), Filtek Z250(3M ESPE, Seefeld, Germany) และHerculite XRV(Kerr, Orange, Calif) แช่ในน้ำกลั่น(distilled water) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้วัสดุเกิดการคืนกลับของน้ำ(rehydration) เนื่องจากส่วนใหญ่วัสดุที่ใช้ในการศึกษาจะดูดซึมน้ำในช่วงวันแรกของการแช่ อีกทั้งยังเป็นการจำลองสิ่งแวดล้อมช่องปาก(oral environment) และเพื่อให้วัสดุเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์สมบูรณ์ จากนั้นทำการวัดสีวัสดุครั้งที่ 1 เพื่อเป็นข้อมูลมาตรฐาน แล้วจึงนำวัสดุทั้งหมดแช่ในสารละลาย 9 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น, กาแฟ, กาแฟผสมน้ำตาล, ชา, ชาผสมน้ำตาล, ไวน์แดง, กาแฟผสมน้ำตาลและครีมเทียม(artificial creamer), เครื่องดื่มอัดลม และน้ำผลไม้เชอร์รี่ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการวัดสีวัสดุครั้งที่ 2 เพื่อดูการเปลี่ยนสี เนื่องจากผู้ผลิต

เครื่องตีหมาแฟออ้างว่าเวลาเฉลี่ยในการบริโภคเครื่องดื่ม 1 ถ้วย เท่ากับ 15 นาที และในกลุ่มนักดื่มกาแฟจะบริโภคกาแฟเฉลี่ย 3.2 ถ้วยต่อวัน ดังนั้นระยะเวลาในการแช่วัสดุในสารละลายเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงเป็นการจำลองการบริโภคเครื่องดื่มเป็นเวลา 1 เดือน⁽⁵⁵⁾

การวัดสี

สีในธรรมชาติส่วนใหญ่จะถูกกำหนดด้วยสเปกตรัมที่มองเห็นได้จากการดูดกลืน (absorption) และการกระเจิง(scattering)ของแสงภายในวัสดุร่วมกับสเปกตรัมของการส่องสว่าง ทฤษฎีการสะท้อนแสงที่แม่นยำสำหรับวัสดุโปร่งแสงอาจใช้การคำนวณการดูดกลืนแสง(k) และสัมประสิทธิ์การกระเจิง(s) ซึ่งขึ้นกับความยาวคลื่น ความหนาของวัสดุ และการสะท้อนกลับของพื้นผิวที่รองรับ อย่างไรก็ตามวิธีนี้อธิบายสีในธรรมชาติได้ยาก จึงสนับสนุนให้ใช้วิธีการคำนวณสีแบบ CIE(Commission Internationale de l'Eclairage) ซึ่งมีความแม่นยำมากกว่า ความเป็นจริงแล้วสีในธรรมชาติเป็นสีที่มีความหนาไม่สิ้นสุดบนพื้นผิวรองรับใดๆ ซึ่งในการวัดสีสำหรับวัสดุบูรณะทางทันตกรรมจะคำนวณค่าความโปร่งแสงที่ความหนาคงที่ค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น เพื่อให้สามารถกำหนดคุณสมบัติทางแสงพื้นฐานได้⁽⁴²⁾

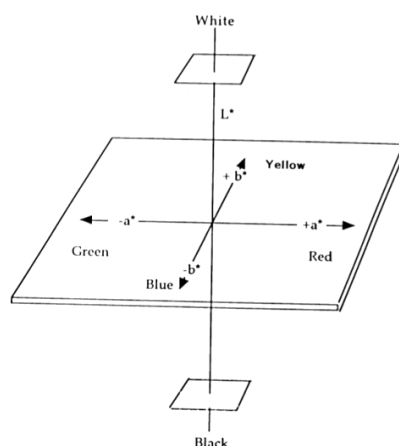
ในปัจจุบันการศึกษาความแตกต่างของสีทางทันตกรรมนิยมใช้ระบบ CIELAB(ΔE^*_{ab}) ซึ่งเป็นระบบสามมิติ⁽⁶⁾ ด้วยเครื่องวัดสีเลอริมิเตอร์(colorimeter) หรือเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์(spectrophotometer)⁽⁵⁵⁾ โดยมีสูตรดังนี้

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

โดย L^* คือค่าความสว่างของวัตถุ มีค่าตั้งแต่ 0 คือสีดำ ถึง 100 คือสีขาว

a^* คือพิกัดสีที่อยู่ระหว่างสีแดงกับสีเขียว ถ้า a^* มีค่าเป็นบวกหมายถึงวัตถุมีสีใกล้เคียงไปทางสีแดง แต่ถ้า a^* มีค่าเป็นลบหมายถึงวัตถุมีสีใกล้เคียงไปทางสีเขียว

b^* คือพิกัดสีที่อยู่ระหว่างสีเหลืองกับสีน้ำเงิน ถ้า b^* มีค่าเป็นบวกหมายถึงวัตถุมีสีใกล้เคียงไปทางสีเหลือง แต่ถ้า b^* มีค่าเป็นลบหมายถึงวัตถุมีสีใกล้เคียงไปทางสีน้ำเงิน (ภาพประกอบ13)



ภาพประกอบ 13 แสดงระบบสามมิติของ CIELAB(ΔE_{ab}^*)

ที่ ม า : Uchida H, Vaidyanathan J, Viswanadhan T, Vaidyanathan TK. Color stability of dental composites as a function of shade. J Prosthet Dent. 1998;79(4):372-7.⁽⁵¹⁾

เนื่องจากสายตาของมนุษย์มีความสามารถในการแยกสีที่แตกต่างกัน จึงมีการกำหนดค่าทั้งหมด 3 ช่วงเพื่อแยกความแตกต่างของสี ดังนี้

$\Delta E < 1$ หมายถึงตาของมนุษย์ไม่สามารถแยกความแตกต่างของสีได้

$\Delta E > 1$ แต่ < 3.3 หมายถึงความแตกต่างของสีสามารถยอมรับได้ในทางคลินิก

$\Delta E > 3.3$ หมายถึงตาของมนุษย์สามารถแยกความแตกต่างของสีในทางคลินิกได้⁽⁶⁾

การศึกษาของ Vichi และคณะ ในปี 2004 ทำการทดสอบเรซินคอมโพสิต 3 ชนิด ได้แก่ Spectrum TPH(De Trey, Konstanz, Germany), Tetric Ceram(Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) และ Z100(3M, St Paul, MN, USA) โดยแต่ละชนิดจะใช้สีทั้งหมด 6 เฉด คือ A2, A3, A3.5, A4, B2 และ B3 หลังฉายแสงเป็นเวลา 50 วินาที นำชิ้นงานเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการวัดสีของวัสดุ หลังจากนั้นนำวัสดุไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน ทำการวัดสีของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไป แล้วคำนวณการเปลี่ยนสีโดยใช้ระบบ CIELAB(ΔE_{ab}^*) พบว่าจากค่ามาตรฐานของ ΔE ที่สามารถยอมรับได้ในทางคลินิกคือค่าน้อยกว่า 3.3 ในการทดลองนี้มีเพียงวัสดุเดียวที่พบการเปลี่ยนสีในระดับที่สามารถยอมรับได้ในทางคลินิกทั้ง 6 เฉด คือ Tetric Ceram ส่วน Spectrum TPH พบค่าการเปลี่ยนแปลงของสีมาก

ที่สุดทั้ง 6 เจด ซึ่งความแตกต่างของการเปลี่ยนสีในเรซินคอมโพสิตแต่ละชนิดอาจเกิดจากลักษณะเรซินเมทริกซ์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการกระจายขนาดของวัสดุอัดแทรกด้วย⁽⁶⁾

การศึกษาของ ERTAS และคณะ ในปี 2006 ทำการทดสอบเรซินคอมโพสิต 5 ชนิด คือ Filtek P60(3M ESPE, Seefeld, Germany), Filtek Z250(3M ESPE, Seefeld, Germany), Quadrant LC(Cavex, Haarlem, Netherlands), Grandio(Voco, Cuxhaven, Germany) และ Filtek Supreme(3M ESPE, Seefeld, Germany) โดยนำชิ้นงานทั้งหมดแช่ไว้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการวัดสีของวัสดุเพื่อเป็นข้อมูลมาตรฐาน หลังจากนั้นแบ่งชิ้นงานออกเป็น 5 กลุ่ม แช่ในสารละลายต่างกัน ได้แก่ น้ำกลั่น, กาแฟ, ชา, ไวน์แดง และเครื่องดื่มอัดลม ผลการทดสอบพบว่ากลุ่มวัสดุที่แช่ในไวน์แดงมีการเปลี่ยนสีมากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่แช่ในกาแฟ และพบว่ากลุ่มวัสดุที่แช่ในน้ำกลั่นมีการเปลี่ยนสีน้อยที่สุด สำหรับวัสดุเรซินคอมโพสิตทั้ง 5 ชนิด พบว่า Filtek P60 และ Filtek Z250 มีการเปลี่ยนสีน้อยกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดอื่น⁽⁵⁴⁾

การศึกษาของ Topcu และคณะ ในปี 2009 ทำการทดสอบเรซินคอมโพสิต 4 ชนิด คือ Filtek Z 250(3M ESPE, St. Paul, MN, USA), Filtek Supreme(3M ESPE, St. Paul, MN, USA), Quadrant (Cavex, Holland BV, Netherlands), and Charisma(Heraeus-Kulzer, GmbH, Wehrheim, Germany) โดยแต่ละชนิดจะใช้สี A2 นำชิ้นงานทั้งหมดเก็บไว้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการวัดสีของวัสดุ หลังจากนั้นแบ่งชิ้นงานเป็น 8 กลุ่ม นำไปแช่ในสารละลายชนิดต่างๆคือ น้ำกลั่น, น้ำลายเทียม, น้ำมะนาว, กาแฟไม่ผสมน้ำตาล, เครื่องดื่มอัดลม, น้ำผลไม้เชอร์รี่, น้ำแครอท และไวน์แดง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการวัดสีของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไป แล้วคำนวณการเปลี่ยนสีโดยใช้ระบบ CIELAB(ΔE^*_{ab}) พบว่าวัสดุที่แช่ในไวน์แดงมีการเปลี่ยนสีมากที่สุด แต่วัสดุที่แช่ในน้ำลายเทียมมีการเปลี่ยนสีน้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาที่วัสดุเรซินคอมโพสิตพบว่า Filtek Z 250 มีการเปลี่ยนสีมากที่สุด ในขณะที่ Filtek Supreme มีการเปลี่ยนสีน้อยที่สุด⁽⁸⁾

การศึกษาของ Shamszadeh และคณะ ในปี 2016 ทำการทดสอบเรซินคอมโพสิต 2 ชนิดคือ เรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม (Tetric EvoCeram universal) และเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิล (Tetric EvoCeram bulk-fill) โดยเตรียมวัสดุทั้งหมด 3 กลุ่ม กลุ่มแรกคือเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม ความหนา 2 มิลลิเมตร กลุ่มที่สองคือเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิล ความหนา 2 มิลลิเมตร และกลุ่มที่สามคือเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิล ความหนา 4 มิลลิเมตร โดยทั้งสามกลุ่มมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร หลังฉายแสงชิ้นงานด้วยเครื่องฉายแสงแฮไลเจนเป็นเวลา

40 วินาที นำชิ้นงานไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน แบ่งชิ้นงานออกเป็น 2 กลุ่มย่อย กลุ่มย่อยแรกยังคงแช่ชิ้นงานในน้ำกลั่น ส่วนกลุ่มย่อยที่สองนำชิ้นงานแช่ในสารละลายกาแฟเป็นเวลา 20 วินาทีต่อวัน สลับกับแช่ในน้ำกลั่นระหว่างรอบในแต่ละวัน คำนวณการเปลี่ยนสีโดยใช้ระบบ CIELAB ร่วมกับระบบภาพถ่ายดิจิทัล(digital imaging system) เมื่อเวลาผ่านไป 1, 7, 14 และ 28 วัน พบว่าเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลเกิดการเปลี่ยนสีมากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม โดยที่ความหนา 4 มิลลิเมตรพบการเปลี่ยนสีอย่างมากเมื่อเวลาผ่านไป 14 และ 28 วัน นอกจากนี้พบว่าเรซินคอมโพสิตที่แช่ในสารละลายกาแฟมีการเปลี่ยนสีมากกว่าเรซินคอมโพสิตที่แช่ในน้ำกลั่น⁽⁴⁵⁾

การศึกษาของ Barutçigil และคณะ ในปี 2018 ทำการทดสอบวัสดุ 4 ชนิดคือ นาโนไฮบริดคอมโพสิต(Filtek Z550), เรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิล (Filtek Bulk-fill, Xtra fil) และ ออโมเซอร์(Admira Fusion Xtra) ทำการวัดสีของวัสดุหลังการฉายแสงเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน จากนั้นแบ่งเรซินคอมโพสิตเป็น 3 กลุ่มย่อยแช่ในสารละลายแตกต่างกัน กลุ่มแรกแช่ในน้ำกลั่นซึ่งเป็นกลุ่มควบคุม กลุ่มที่สองแช่ในไวน์แดง และกลุ่มที่สามแช่ในกาแฟ ทำการวัดสีของวัสดุทั้งหมดอีก 3 ครั้งในเวลาที่แตกต่างกัน คือ หลังจากแช่ในสารละลายเป็นเวลา 24 ชั่วโมง, 1 สัปดาห์ และ 3 สัปดาห์ พบว่าเมื่อพิจารณาในกลุ่มที่แช่ในน้ำกลั่น วัสดุออโมเซอร์มีการเปลี่ยนสีมากที่สุด ส่วนเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลมีการเปลี่ยนสีเมื่อแช่ในไวน์แดงและกาแฟ และพบการเปลี่ยนสีมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป แต่นาโนไฮบริดคอมโพสิตไม่มีการเปลี่ยนสี หลังแช่ในสารละลายเป็นเวลา 1 สัปดาห์ขึ้นไป⁽²⁾

การศึกษากการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตส่วนใหญ่เป็นการเปรียบเทียบเรซินคอมโพสิตที่นำไปแช่ในน้ำกลั่น กาแฟ และไวน์แดง^(2, 8, 45, 54, 55) ยังไม่พบการศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต 4 ชนิดได้แก่ SonicFillTM2, Tetric N-Ceram Bulk Fill, FiltekTM One Bulk Fill และ FiltekTM Z350XT ที่แช่ในเครื่องดื่มชนิดต่างๆ ได้แก่ กาแฟ, เครื่องดื่มอัดลม และชาวม จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

- 1.การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
- 2.วิธีการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.การวิเคราะห์ข้อมูล

การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในงานวิจัย

เรซินคอมโพสิต 4 ชนิด

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

กำหนดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยทั้งหมด 160 ชิ้น แบ่งเป็น 4 กลุ่มหลัก กลุ่มละ 40 ชิ้น ดังนี้

1. เรซินคอมโพสิตชนิดบัลคฟิล SonicFill™2
2. เรซินคอมโพสิตชนิดบัลคฟิล Tetric N-Ceram Bulk Fill
3. เรซินคอมโพสิตชนิดบัลคฟิล Filtek™ One Bulk Fill
4. เรซินคอมโพสิต Filtek™ Z350XT

หลังจากนั้นแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 4 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 10 ชิ้น (n=10) ดังนี้

1. กลุ่มควบคุมคือเรซินคอมโพสิตชนิดบัลคฟิลที่แช่ในน้ำกลั่น
2. เรซินคอมโพสิตชนิดบัลคฟิลที่แช่ในกาแฟ
3. เรซินคอมโพสิตชนิดบัลคฟิลที่แช่ในเครื่องดื่มอัดลม
4. เรซินคอมโพสิตชนิดบัลคฟิลที่แช่ในชานม

ตาราง 1 แสดงรายละเอียดวัสดุเรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการวิจัย

ผลิตภัณฑ์	บริษัท	ชนิด	ส่วนประกอบ	สี
SonicFill™2	Kerr	นาโนฟิล	Bis-EMA, TEGDMA, Silicon dioxide, glass oxide, ytterbium trifluoride	A2
Tetric N-Ceram Bulk Fill	Ivoclar Vivadent	นาโนไฮบริด	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, barium aluminium silicate glass, ytterbium fluoride, spherical mixed oxide, isofiller	Universal A
Filtek™ One Bulk Fill	3M ESPE	นาโนฟิล	AFM, AUDMA, UDMA, DDDMA, Silica filler, Zirconia filler, Zirconia/silica cluster, ytterbium trifluoride	A2
Filtek™ Z350XT	3M ESPE	นาโนฟิล	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, TEGDMA, PEGDMA, Silica filler, Zirconia filler, Zirconia/silica cluster	A2B

วิธีการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

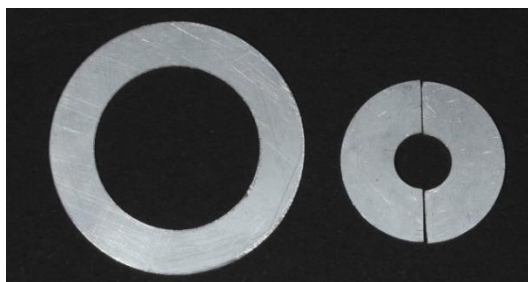
เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

1. วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลด์ฟิล SonicFill™2 (Kerr corp., USA)
2. วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลด์ฟิล Tetric N-Ceram Bulk Fill (Ivoclar Vivadent, Germany)
3. วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบัลด์ฟิล Filtek™ One Bulk Fill (3M ESPE, USA)
4. วัสดุเรซินคอมโพสิต Filtek™ Z350XT (3M ESPE, USA)
5. เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี รุ่น Elipar™ DeepCure-L (3M ESPE, USA)

6. เครื่องวัดความเข้มแสง รุ่น check MARC (BlueLight Analytics Inc., Canada)
7. เครื่องขัดผิววัสดุ รุ่น MINITECH 233 (PRESI, France)
8. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น UltraScan PRO (Hunter Lab, USA)
9. เครื่องอัลตราโซนิก รุ่น 5210 (BRANSONIC, Germany)
10. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ รุ่น CONTHERM 160M (CONTHERM Scientific Ltd., New Zealand)
11. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM-6520LV (JEOL, USA)
12. แบบหล่อโลหะรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ความสูง 2 มิลลิเมตร และตัวครอบโลหะ
13. พลาสติกอินสตรูเมนต์ (Plastic instrument)
14. แถบเซลลูโลยด์ (Celluloid strip)
15. แผ่นกระจกสไลด์
16. น้ำกลั่น
17. กาแฟ Nescafe Black Ice (Nestle, Thailand)
18. เครื่องดื่มอัดลม Coca-Cola (Thainamthip Co, Thailand)
19. ชานม Sunsui Classic Milk Tea (Sunsui Solution Co, Thailand)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. เตรียมชิ้นตัวอย่างวัสดุเรซินคอมโพสิต 4 ชนิด ได้แก่ SonicFill™2, Tetric N-Ceram Bulk Fill, Filtek™ One Bulk Fill และ Filtek™ Z350XT อย่างละ 40 ชิ้น โดยมีขั้นตอนการเตรียมชิ้นตัวอย่าง ดังนี้
 - 1.1 เตรียมแบบหล่อโลหะรูปครึ่งวงกลม ความสูง 2 มิลลิเมตร นำมาประกอบกันให้เป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ยึดให้ติดกันด้วยตัวครอบโลหะ (ภาพประกอบ14)
 - 1.2 ใช้พลาสติกอินสตรูเมนต์ตัดวัสดุเรซินคอมโพสิตใส่ในแบบหล่อโลหะ โดยให้แบบหล่อโลหะอยู่บนแถบเซลลูโลยด์ ซึ่งอยู่เหนือกระจกสไลด์
 - 1.3 ปิดทับด้านบนแบบหล่อโลหะด้วยแถบเซลลูโลยด์และแผ่นกระจกสไลด์ เพื่อให้พื้นผิวของเรซินคอมโพสิตเรียบและเป็นตัวกำหนดระยะห่างของการฉายแสง



ภาพประกอบ 14 แสดงแบบหล่อโลหะรูปครึ่งวงกลมและตัวครอบโลหะ

1.4 ฉายแสงวัสดุด้วยเครื่องฉายแสงแอลอีดีที่ความเข้มแสงมากกว่า 1,000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (ภาพประกอบ15) เป็นเวลา 20 วินาที โดยทำการวัดความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงก่อนการใช้งานทุกครั้ง (ภาพประกอบ16)



ภาพประกอบ 15 แสดงเครื่องฉายแสงแอลอีดี



ภาพประกอบ 16 แสดงเครื่องวัดความเข้มแสง

1.5 ขัดชิ้นงานทั้งด้านบนและด้านล่าง ด้วยเครื่องขัดผิววัสดุกระดาษทรายเบอร์ 1000 เป็นเวลา 10 วินาที โดยมีน้ำไหลผ่านตลอดเวลา (ภาพประกอบ17)



ภาพประกอบ 17 แสดงเครื่องขัดผิววัสดุ

1.6 เก็บชิ้นงานไว้ในน้ำกลั่น ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ภาพประกอบ18) หลังจากนั้นใช้กระดาษชำระซับชิ้นงานให้แห้ง ทำการวัดสีของวัสดุครั้งที่ 1 ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (ภาพประกอบ19)



ภาพประกอบ 18 แสดงตู้ควบคุมอุณหภูมิ



ภาพประกอบ 19 แสดงเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

2. แบ่งชิ้นงานเป็นกลุ่มย่อย กลุ่มละ 10 ชิ้น เก็บชิ้นงานไว้ในสารละลายต่างๆ ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.1 เก็บชิ้นงานในน้ำกลั่น ขนาด 50 มิลลิลิตรต่อชิ้น

2.2 เก็บชิ้นงานในกาแฟ ขนาด 50 มิลลิลิตรต่อชิ้น

2.3 เก็บชิ้นงานในเครื่องดื่มอัดลม ขนาด 50 มิลลิลิตรต่อชิ้น

2.4 เก็บชิ้นงานในชาวม ขนาด 50 มิลลิลิตรต่อชิ้น

3. ล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 5 นาที (ภาพประกอบ 20) ซับชิ้นงานให้แห้งด้วยกระดาษชำระ ทำการวัดสีของวัสดุครั้งที่ 2 ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (ภาพประกอบ 19)

4. คำนวณค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต แล้วบันทึกผล



ภาพประกอบ 20 แสดงเครื่องอัลตราโซนิก

5. สุ่มชิ้นตัวอย่างวัสดุเรซินคอมโพสิตทั้ง 16 กลุ่ม กลุ่มละ 1 ชิ้น มาตรวจลักษณะและรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) (ภาพประกอบ 21) แล้วบันทึกลักษณะรูปร่างที่ปรากฏ



ภาพประกอบ 21 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา(Descriptive statistics) โดยนำค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตทั้ง 4 ชนิดหลังการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ มาคำนวณด้วยโปรแกรม SPSS statistics 20 (IBM®) โดยกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) โดยประมวลผลข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ใช้สถิติทดสอบโคโมโกรอฟ-สเมอรโนฟ(Kolmogorov-Smirnov test) ตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลว่ามีการแจกแจงเป็นปกติหรือไม่
2. ใช้สถิติทดสอบของเลวีเน่(Levene's test) ตรวจสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูล
3. ตรวจสอบความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้สถิติความแปรปรวนสองทาง(Two-way ANOVA) หากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจะทำการตรวจสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติทดสอบบอนเฟอโรนี(Bonferroni Test)

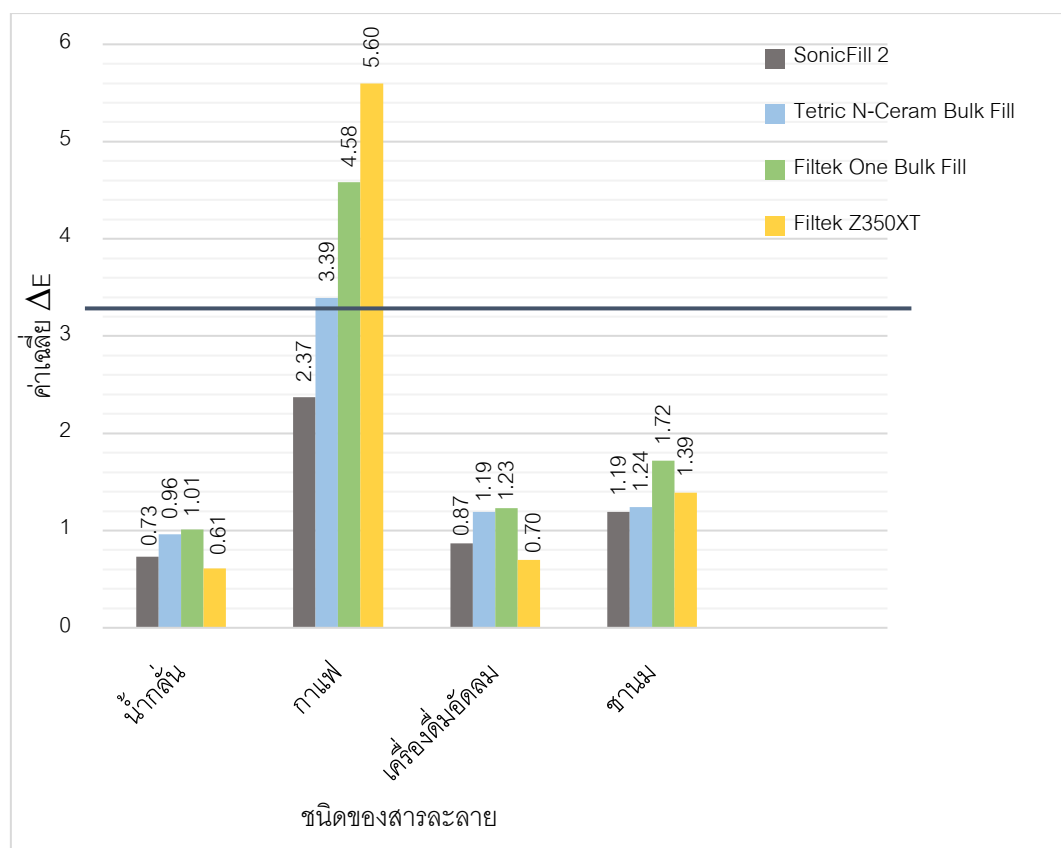
บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

การทดสอบค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต หลังการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยมีกลุ่มตัวอย่างคือเรซินคอมโพสิต 4 ชนิด ได้แก่ SonicFill™2, Tetric N-Ceram Bulk Fill, Filtek™ One Bulk Fill และ Filtek™ Z350XT ชนิดละ 40 ชิ้น จากนั้นแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 4 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 10 ชิ้น โดยมีกลุ่มควบคุมคือ กลุ่มที่แช่ในน้ำกลั่น และกลุ่มทดลองคือ กลุ่มที่แช่ในกาแฟ เครื่องดื่มอัดลม และชาเขียว ซึ่งจะคำนวณค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตด้วยระบบ CIELAB(ΔE^*_{ab}) โดยมีรายละเอียดผลของการศึกษาดังนี้

ผลการศึกษาด้วยสถิติเชิงพรรณนา(Descriptive statistics)

ผลการทดสอบค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต หลังการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีดังนี้ กลุ่มเรซินคอมโพสิต SonicFill™2 พบว่ากลุ่มที่แช่ในกาแฟมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตมากที่สุด คือ 2.37 ± 0.23 รองลงมาได้แก่ กลุ่มที่แช่ในชาเขียว เครื่องดื่มอัดลม และน้ำกลั่น คือ 1.19 ± 0.19 , 0.87 ± 0.20 และ 0.73 ± 0.22 ตามลำดับ เช่นเดียวกับเรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการทดสอบอีก 3 ชนิด ได้แก่ Tetric N-Ceram Bulk Fill, Filtek™ One Bulk Fill และ Filtek™ Z350XT โดยกลุ่มเรซินคอมโพสิต Tetric N-Ceram Bulk Fill พบว่ากลุ่มที่แช่ในกาแฟมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตมากที่สุด คือ 3.39 ± 0.29 รองลงมาได้แก่ กลุ่มที่แช่ในชาเขียว เครื่องดื่มอัดลม และน้ำกลั่น คือ 1.24 ± 0.20 , 1.19 ± 0.30 และ 0.96 ± 0.29 ตามลำดับ สำหรับกลุ่มเรซินคอมโพสิต Filtek™ One Bulk Fill พบว่ากลุ่มที่แช่ในกาแฟมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตมากที่สุด คือ 4.58 ± 0.28 รองลงมาได้แก่ กลุ่มที่แช่ในชาเขียว เครื่องดื่มอัดลม และน้ำกลั่น คือ 1.72 ± 0.27 , 1.23 ± 0.27 และ 1.01 ± 0.29 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มเรซินคอมโพสิต Filtek™ Z350XT พบว่ากลุ่มที่แช่ในกาแฟมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตมากที่สุด คือ 5.60 ± 0.27 รองลงมาได้แก่ กลุ่มที่แช่ในชาเขียว เครื่องดื่มอัดลม และน้ำกลั่น คือ 1.39 ± 0.30 , 0.70 ± 0.19 และ 0.61 ± 0.18 ตามลำดับ (ตาราง 2) เนื่องจากเรซินคอมโพสิต Tetric N-Ceram Bulk Fill, Filtek™ One Bulk Fill และ Filtek™ Z350XT ที่แช่ในกาแฟ มีค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตมากกว่า 3.3 จึงมีผลให้สายตาของมนุษย์สามารถแยกความแตกต่างของสีในทางคลินิกได้อย่างมีนัยสำคัญ (ภาพประกอบ 22)



ภาพประกอบ 22 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีตามชนิดของสารละลายและจำแนกตามชนิดของเรซินคอมโพสิต โดยค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตมากกว่า 3.3 สายตาของมนุษย์จะสามารถแยกความแตกต่างของสีในทางคลินิกได้

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลด้วยสถิติความแปรปรวนสองทาง(Two-way ANOVA)

การวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลด้วยสถิติความแปรปรวนสองทางนั้น ข้อมูลจะต้องมีการแจกแจงเป็นปกติ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ด้วยสถิติทดสอบโคโมโกรอฟ สเมอร์โนฟ (Kolmogorov-Smirnov test) (ตาราง 7) เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีมากกว่า 50 ตัวอย่าง และจะต้องมีความแปรปรวนของข้อมูลไม่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ด้วยสถิติทดสอบของเลวิน(Levene's test) (ตาราง 8)

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลด้วยสถิติความแปรปรวนสองทาง (ตาราง 9) เพื่อทดสอบสมมติฐานงานวิจัย เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านชนิดของเรซินคอมโพสิตพบว่า ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.001$) เช่นเดียวกับการพิจารณาปัจจัยด้านชนิดของสารละลายพบว่า

ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.001$) และเมื่อนำปัจจัยทั้งสองชนิดมาปฏิสัมพันธ์กัน (Interaction) พบว่า ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.001$) ดังนั้นชนิดของเรซินคอมโพสิตและสารละลายมีผลต่อการเปลี่ยนสีแตกต่างกัน จึงทำให้ปฏิเสธสมมติฐานงานวิจัยในครั้งนี้

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติทดสอบบอนเฟอโรนี (Bonferroni test)

หลังจากวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลเมื่อพิจารณาปัจจัยที่ปฏิสัมพันธ์กันแล้ว พบว่า ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตมีความแตกต่างกัน จึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตระหว่างกลุ่มด้วยสถิติทดสอบทุกีย

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูล (ตาราง 2) พบว่า เรซินคอมโพสิตทั้ง 4 ชนิดที่เข้าในการเพิ่มค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.001$) โดยเรซินคอมโพสิต Filtek™ Z350XT มีการเปลี่ยนสีมากที่สุด คือ 5.60 ± 0.27 รองลงมาได้แก่ Filtek™ One Bulk Fill, Tetric N-Ceram Bulk Fill และ SonicFill™2 คือ 4.58 ± 0.28 , 3.39 ± 0.29 และ 2.37 ± 0.23 ตามลำดับ ตาราง 2 แสดงผลค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต (จำนวน n แต่ละกลุ่ม = 10)

ชนิดของ สารละลาย	ชนิดของเรซินคอมโพสิต Mean $\Delta E \pm SD$			
	SonicFill™2	Tetric N-Ceram Bulk Fill	Filtek™ One Bulk Fill	Filtek™ Z350XT
น้ำกลั่น	0.73 ± 0.22^{ABa}	0.96 ± 0.29^{Aa}	1.01 ± 0.29^{Aa}	0.61 ± 0.18^{Ba}
กาแฟ	2.37 ± 0.23^{Ab}	3.39 ± 0.29^{Bb}	4.58 ± 0.28^{Cb}	5.60 ± 0.27^{Db}
เครื่องดื่มอัดลม	0.87 ± 0.20^{Aa}	1.19 ± 0.30^{Ba}	1.23 ± 0.27^{Ba}	0.70 ± 0.19^{Aa}
ชานม	1.19 ± 0.19^{Ac}	1.24 ± 0.20^{Aa}	1.72 ± 0.27^{Bc}	1.39 ± 0.30^{Ac}

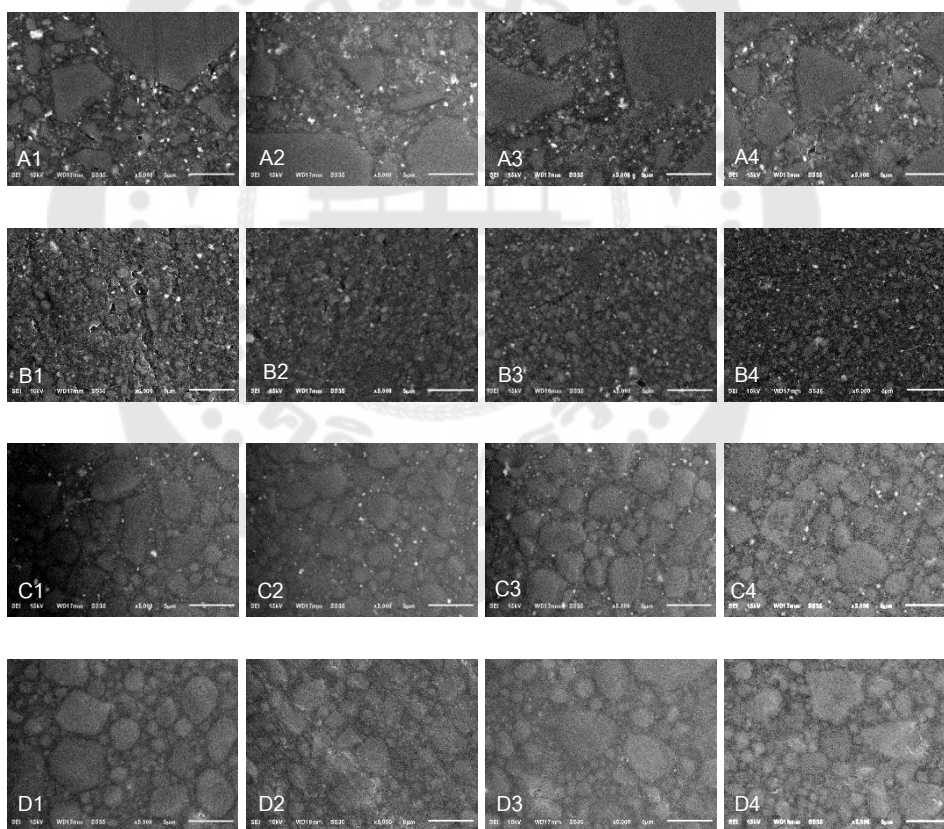
A,B,C,D ตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ระหว่างชนิดของเรซินคอมโพสิต

a,b,c ตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ระหว่างชนิดของสารละลาย

ผลการตรวจลักษณะและรูปร่างของเรซินคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)

ลักษณะและรูปร่างของวัสดุอุดแทรกของเรซินคอมโพสิต ได้ถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ได้ผลดังนี้ (ภาพประกอบ 23)

เรซินคอมโพสิต SonicFill™2 มีรูปร่างวัสดุอุดแทรกเป็นรูปทรงหลายเหลี่ยม ขนาดเล็กและใหญ่ปนกัน ในขณะที่เรซินคอมโพสิต Tetric N-Ceram Bulk Fill พบวัสดุอุดแทรกขนาดเล็กอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน สำหรับเรซินคอมโพสิต Filtek™ One Bulk Fill พบอนุภาควัสดุอุดแทรกทรงกลมขนาดเล็กและใหญ่ปะปนกัน ส่วนเรซินคอมโพสิต Filtek™ Z350XT พบวัสดุอุดแทรกทรงกลมและรูปทรงหลายเหลี่ยม ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ปนกัน โดยในสารละลายที่แตกต่างกัน เรซินคอมโพสิตชนิดเดียวกัน ปรากฏรูปร่างของวัสดุอุดแทรกไม่แตกต่างกัน



ภาพประกอบ 23 แสดงผลลักษณะและรูปร่างของเรซินคอมโพสิตทั้ง 4 ชนิด หลังแช่ในสารละลาย

ชนิดต่างๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (A) SonicFill™2;

(B) Tetric N-Ceram Bulk Fill; (C) Filtek™ One Bulk Fill; (D) Filtek™ Z350XT;

(1) ในน้ำกลั่น; (2) ในกาแฟ; (3) ในเครื่องดื่มอัดลม; (4) ในชาวม.

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต หลังการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าหลังการแช่ในสารละลายเรซินคอมโพสิตทั้ง 4 ชนิด มีแนวโน้มการเปลี่ยนสีไปในทิศทางเดียวกันกล่าวคือ กลุ่มที่แช่ในกาแฟมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีมากที่สุด รองลงมาได้แก่ กลุ่มที่แช่ในชาวม เครื่องดื่มอัดลม และน้ำกลั่น ตามลำดับ โดยเมื่อแช่ในกาแฟเรซินคอมโพสิตทั้ง 4 ชนิด มีค่าการเปลี่ยนสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเรซินคอมโพสิต Filtek™ Z350XT มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีมากที่สุดเท่ากับ 5.60 รองลงมาคือ Filtek™ One Bulk Fill, Tetric N-Ceram Bulk Fill มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีเท่ากับ 4.58 และ 3.39 ตามลำดับ ซึ่งเรซินคอมโพสิตทั้ง 3 ชนิดนี้ มีค่าการเปลี่ยนสีมากกว่า 3.3 ซึ่งเป็นค่าที่ระบุว่าสายตาของมนุษย์สามารถแยกความแตกต่างของสีในทางคลินิกได้อย่างชัดเจน⁽⁶⁾ ส่วนเรซินคอมโพสิต SonicFill™2 มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีน้อยที่สุดเท่ากับ 2.37 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1 กับ 3.3 โดยเป็นค่าที่ระบุว่าความแตกต่างของสีสามารถยอมรับได้ในทางคลินิก ในขณะที่เมื่อแช่ในชาวมเรซินคอมโพสิต SonicFill™2, Tetric N-Ceram Bulk Fill และ Filtek™ Z350XT มีค่าการเปลี่ยนสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งมีค่าน้อยกว่า Filtek™ One Bulk Fill อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับกลุ่มที่แช่ในเครื่องดื่มอัดลมเรซินคอมโพสิต Tetric N-Ceram Bulk Fill และ Filtek™ Z350XT มีค่าการเปลี่ยนสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งมีค่ามากกว่า SonicFill™2 และ Filtek™ Z350XT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกลุ่มที่แช่ในน้ำกลั่นเรซินคอมโพสิต SonicFill™2, Tetric N-Ceram Bulk Fill และ Filtek™ One Bulk Fill มีค่าการเปลี่ยนสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่ามากกว่า Filtek™ Z350XT โดย SonicFill™2 และ Filtek™ Z350XT มีค่าการเปลี่ยนสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตทั้ง 4 ชนิดที่แช่ในน้ำกลั่น เครื่องดื่มอัดลม และชาวมนั้นน้อยกว่า 3.3 จึงสามารถยอมรับความแตกต่างของสีในทางคลินิกได้ นอกจากนี้เรซินคอมโพสิต SonicFill™2, Tetric N-Ceram Bulk Fill, Filtek™ Z350XT ที่แช่ในน้ำกลั่น และ SonicFill™2, Filtek™ Z350XT ที่แช่ในเครื่องดื่มอัดลม มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีน้อยกว่า 1 ซึ่งเป็นค่าที่ระบุว่าสายตาของมนุษย์ไม่สามารถแยกความแตกต่างของสีได้⁽⁶⁾

ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงปฏิเสธสมมติฐานงานวิจัย เนื่องจากชนิดของเรซินคอมโพสิต และชนิดของสารละลายมีผลต่อค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตแตกต่างกัน และสามารถสรุปได้ว่าการบูรณะฟันด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตโดยเฉพาะบริเวณที่ต้องการความสวยงาม ควรคำนึงถึงพฤติกรรมการบริโภคของผู้ป่วยด้วย หากผู้ป่วยนิยมบริโภคเครื่องดื่มที่มีความสามารถในการติดสี ทันตแพทย์ควรเลือกใช้เรซินคอมโพสิตให้เหมาะสม และควรให้คำแนะนำแก่ผู้ป่วยในการดูแลวัสดุภายหลังการบูรณะด้วย

อภิปรายผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต 4 ชนิด หลังการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยเรซินคอมโพสิตทั้ง 4 ชนิด ประกอบด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลที่มีนิยมใช้ในประเทศไทย 3 ชนิดคือ SonicFill™² Tetric N-Ceram Bulk Fill Filtek™ One Bulk Fill และเรซินคอมโพสิต Filtek™ Z350XT ซึ่งเป็นนาโนฟิลคอมโพสิตที่นิยมใช้ในปัจจุบัน สำหรับสารละลายที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ กาแฟ เครื่องดื่มอัดลม ชาเขียว และน้ำกลั่นซึ่งเป็นตัวควบคุม เนื่องจากน้ำกลั่นเป็นสารละลายที่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีจนสายตาของมนุษย์สามารถแยกความแตกต่างของสีได้⁽⁵⁶⁾

ความเสถียรของสีถูกทดสอบในหลอดทดลองหลายการศึกษา โดยการเปลี่ยนสีสามารถประเมินได้ด้วยสายตาหรือเทคนิคการใช้เครื่องมือต่างๆในการทดสอบ⁽⁸⁾ การศึกษานี้ได้เลือกแบบ CIELAB(ΔE^*_{ab}) มาใช้ในการคำนวณค่าความแตกต่างของสี เนื่องจากระบบนี้เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย สามารถบันทึกความแตกต่างของสีได้ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์^(56, 57) อีกทั้งยังเป็นวิธีที่เหมาะสมในการระบุความแตกต่างของสีเพียงเล็กน้อย^(8, 55) สามารถทำซ้ำได้⁽⁵⁶⁾ และเป็นวิธีมาตรฐานในการวัดความแตกต่างของสีตามการรับรู้ของมนุษย์อีกด้วย โดยจะแสดงผลออกมาเป็นค่า ΔE ซึ่งบ่งบอกความแตกต่างของสีของวัสดุทางทันตกรรมก่อนและหลังการสัมผัสกับสารละลายต่างๆ⁽⁴⁵⁾ ค่า $\Delta E > 3.3$ เป็นค่าที่ได้รับความสนใจเพราะเป็นค่าที่บ่งบอกว่าสายตาของมนุษย์สามารถแยกความแตกต่างของสีได้ จึงไม่เป็นที่ยอมรับในทางคลินิก^(6, 45)

หลายการศึกษากล่าวถึงความหยาบของพื้นผิว(surface roughness) มีผลต่อความสวยงาม และอายุการใช้งานของวัสดุ หากพื้นผิวมีความขรุขระจะทำให้เกิดการติดคราบสี การยึดเกาะของคราบจุลินทรีย์ เกิดการระคายเคืองต่อเหงือก และเกิดรอยผุซ้ำ ดังนั้นการขัดวัสดุบูรณะเพื่อให้พื้นผิวมีความเรียบจึงเป็นขั้นตอนสำคัญในการบูรณะทางคลินิก^(54, 55, 58) จากการศึกษาของ Sarac และคณะในปี 2006⁽⁵⁸⁾ พบว่าเรซินคอมโพสิตที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1000 มีค่าเฉลี่ยความหยาบของพื้นผิวน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับการขัดผิววัสดุด้วยอุปกรณ์อื่นๆ ในการศึกษาครั้งนี้จึง

ขัดผิววัสดุภายหลังการฉายแสงด้วยกระดาศทรายเบอร์ 1000 เพื่อกำหนดมาตรฐานของการขัดวัสดุและเป็นการจำลองขั้นตอนการบูรณะจริงในทางคลินิก

ในการศึกษานี้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติความแปรปรวนสองทาง ซึ่งได้วิเคราะห์ปัจจัยด้านชนิดของเรซินคอมโพสิต ปัจจัยด้านชนิดของสารละลาย และปัจจัยที่มีการปฏิสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรทั้งสองชนิด พบว่าเมื่อทดสอบปัจจัยทั้งสามรูปแบบ ค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.001$) กล่าวคือทั้งชนิดของเรซินคอมโพสิตและชนิดของสารละลายส่งผลต่อค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต โดยไม่สามารถระบุได้ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลมากกว่ากัน แต่ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกัน

การปรับปรุงคุณสมบัติของเรซินคอมโพสิตให้สามารถบูรณะได้หนาถึง 4 มิลลิเมตรด้วยเทคนิคการอุดแบบชั้นเดียวนั้น อาจต้องมีการเพิ่มความโปร่งแสงของวัสดุ เพื่อให้แสงที่ช่วยในการบ่มทะลุผ่านวัสดุไปได้ลึกขึ้น อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเหล่านี้อาจส่งผลเสียต่อความเสถียรของสีของเรซินคอมโพสิตได้⁽⁵⁶⁾ ซึ่งการเปลี่ยนสีของวัสดุเรซินคอมโพสิตนั้นสัมพันธ์กับคุณสมบัติชอบน้ำของวัสดุ(hydrophilic properties) โดยนอกจากจะสามารถดูดซึม(adsorb) และดูดซับ(adsorb)น้ำได้แล้ว ยังดูดซึมของเหลวที่มีสีได้อีกด้วย^(53, 59) ปัจจัยที่มีเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตได้แก่ อัตราส่วนของเรซินเมทริกซ์ต่อวัสดุอุดแทรก ความสามารถในการดูดน้ำของเรซินเมทริกซ์⁽⁵⁶⁾ การเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ชนิดของวัสดุอุดแทรก ชนิดของสารติดคราบสี^(53, 55) และปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเรซินคอมโพสิตกับสารติดคราบสี⁽⁵⁷⁾

เรซินคอมโพสิตที่มีอัตราส่วนของเรซินเมทริกซ์ต่อวัสดุอุดแทรกสูง คือมีปริมาณเรซินเมทริกซ์มาก แต่มีปริมาณวัสดุอุดแทรกน้อย มักจะมีการดูดซึมน้ำได้มากขึ้นที่บริเวณรอยต่อของวัสดุอุดแทรกกับเรซินเมทริกซ์(filler-matrix interface) ซึ่งนำไปสู่การย่อยสลายวัสดุอุดแทรกด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส(hydrolytic degradation) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีตามมา ดังนั้นเรซินคอมโพสิตที่มีปริมาณวัสดุอุดแทรกต่ำ จะมีความเสถียรของสีที่ไม่ดี^(8, 57, 59) การศึกษาครั้งนี้พบว่า SonicFill™² มีแนวโน้มการเปลี่ยนสีน้อยที่สุด ซึ่งอาจเนื่องมาจาก SonicFill™² มีปริมาณวัสดุอุดแทรกสูงที่สุดเมื่อเทียบกับเรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด คือมีปริมาณวัสดุอุดแทรกร้อยละ 82 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้การเปลี่ยนสีของ SonicFill™² หลังแช่ในสารละลายทุกกลุ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมงมีค่าน้อยกว่า 3.3 จึงเป็นวัสดุที่สามารถยอมรับความแตกต่างของสีในทางคลินิกได้

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าเรซินคอมโพสิตมีความสามารถในการดูดซึมน้ำและของเหลวที่มีสีต่างๆ^(53, 59) ซึ่งความสามารถในการดูดซึมน้ำนี้เป็นคุณสมบัติโดยตรงของเรซินเมทริกซ์⁽⁵⁷⁾ ในขณะที่

วัสดุอุดแทรกไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ แต่สามารถทำให้เกิดการดูดซึมน้ำที่บริเวณพื้นผิวของวัสดุเท่านั้น^(53, 57, 59) การดูดซึมน้ำที่รุนแรงทำให้เรซินคอมโพสิตเกิดการขยายตัว ทำหน้าที่เป็นสารพลาสติไซเซอร์(plasticizer) มีการย่อยสลายของวัสดุอุดแทรก จึงทำให้เกิดรอยแตกเล็ก (microcracks) หรือช่องว่างบริเวณรอยต่อของวัสดุอุดแทรกกับเรซินเมทริกซ์ สารติดคราบสีจึงแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างและทำให้เรซินคอมโพสิตเปลี่ยนสี ส่งผลให้วัสดุมีอายุการใช้งานลดลง^(53, 57)

อย่างไรก็ตามหลายการศึกษาพบว่า การติดสีมักเกิดที่พื้นผิวของวัสดุเพราะเรซินเมทริกซ์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ(hydrophobic monomers) เช่น ยูติเอ็มเอเป็นโมโนเมอร์ที่มีความสามารถในการติดสีน้อยกว่าโมโนเมอร์ชนิดบิส-จีเอ็มเอเรซิน อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติที่หนืดต่ำและดูดซึมน้ำน้อย ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ได้ดี^(8, 53, 59) ในการศึกษาพบว่าเรซินคอมโพสิต Filtek™ One Bulk Fill เป็นเพียงชนิดเดียวที่ประกอบด้วยยูติเอ็มเอแต่ไม่มีบิส-จีเอ็มเอเรซิน จึงควรมีค่าการเปลี่ยนสีน้อยที่สุดแต่ผลการทดลองกลับพบว่า Filtek™ One Bulk Fill มีค่าการเปลี่ยนสีมากที่สุดเมื่อแช่ในน้ำกลั่น เครื่องดื่มอัดลมและชาวม อาจเนื่องมาจากว่าเป็นวัสดุชนิดเดียวที่ไม่มีบิส-อีเอ็มเอเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากบิส-อีเอ็มเอ ไม่มีกลุ่มไฮดรอกซิลจึงเป็นสารที่มีความไม่ชอบน้ำสูงและมีการดูดซึมน้ำต่ำกว่ายูติเอ็มเอ⁽⁵⁶⁾ สำหรับบิส-จีเอ็มเอเรซิน มีการศึกษาของ Gajewski และคณะ ในปี 2012⁽²⁷⁾ พบว่าบิส-จีเอ็มเอเรซินสามารถดูดซึมน้ำได้มากที่สุด เมื่อเทียบกับบิส-อีเอ็มเอและยูติเอ็มเอ เนื่องจากบิส-จีเอ็มเอเรซินเป็นโมโนเมอร์ที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ ดูดซึมน้ำมาก และมีความหนืดสูง จึงมีการเติมทีอีจีดีเอ็มเอเข้าไปเพื่อลดความหนืดของวัสดุ^(9, 53) อย่างไรก็ตามมีการศึกษาที่พบว่าการมีทีอีจีดีเอ็มเอจำนวนมากขึ้น ส่งผลให้การดูดซึมน้ำในเรซินเมทริกซ์ที่มีบิส-จีเอ็มเอเรซินเพิ่มขึ้น^(2, 8) จากการศึกษาของ Bahbishi และคณะ ในปี 2020⁽⁵⁶⁾ ทำการทดสอบเรซินคอมโพสิต SonicFill™2, Tetric N-Ceram Bulk Fill, Filtek™ Bulk Fill และ Filtek™ Z350XT ที่แช่ในกาแฟ โดยผลการทดลองพบว่า Filtek™ Z350XT มีการเปลี่ยนสีมากที่สุดเมื่อแช่ในกาแฟ ซึ่งค่าการเปลี่ยนสีแตกต่างจากเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลทั้ง 3 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามเรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลทั้ง 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลการทดลองมีความสอดคล้องกับการศึกษาในปัจจุบันบางส่วน กล่าวคือการศึกษา Filtek™ Z350XT มีการเปลี่ยนสีมากที่สุดเช่นเดียวกัน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการมีบิส-จีเอ็มเอเรซินและทีอีจีดีเอ็มเอเป็นองค์ประกอบ อย่างไรก็ตามพบว่าเรซินคอมโพสิตทั้ง 4 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้

อาจไม่สามารถเปรียบเทียบสองการศึกษาได้โดยตรง เนื่องจากมีวิธีการเตรียมสารละลายและระยะเวลาในการทดลองต่างกัน

ในทางคลินิกการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์นั้นจะมีโมโนเมอร์ส่วนเหลือ(residual monomer) ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่⁽⁶⁰⁾ มีรายงานว่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์(degree of conversion) จากการฉายแสงของเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมส่วนใหญ่มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 50-75 ในขณะที่เรซินคอมโพสิตชนิดบัลคฟิลอยู่ที่ร้อยละ 50-79 จากการศึกษาของ Par และคณะ ในปี 2015⁽⁶¹⁾ พบว่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์หลังการฉายแสงของเรซินคอมโพสิตชนิดบัลคฟิลมากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม ซึ่งปริมาณการเกิดพอลิเมอร์จะแปรผกผันกับโมโนเมอร์ส่วนเหลือ⁽⁶⁰⁾ โดยจากการศึกษาของ Silami และคณะ ในปี 2013⁽⁶²⁾ พบว่าเรซินคอมโพสิตที่มีโมโนเมอร์ส่วนเหลือมากจะไวต่อปฏิกิริยาการย่อยสลาย(reactions of degradation) ส่งผลให้ความเสถียรของสีลดลง เนื่องจากน้ำจะเข้าไปที่ช่องว่างระหว่างโครงข่ายพอลิเมอร์(polymer network) ทำให้เกิดการขยายตัวของช่องว่างเพิ่มมากขึ้น^(60, 63) ในขณะเดียวกันน้ำก็ได้ทำลายพันธะระหว่างโมโนเมอร์และกำจัดโมโนเมอร์ส่วนเหลือออกไป ซึ่งโมโนเมอร์ที่มีขนาดเล็กเช่นทีอีจีดีเอ็มเอ จะถูกกำจัดออกได้เร็วกว่าโมโนเมอร์ขนาดใหญ่⁽⁶⁰⁾ จึงทำให้เกิดช่องว่างและมีการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้นอีกส่งผลให้วัสดุเกิดการย่อยสลายและนำไปสู่การติดสีในที่สุด⁽⁶²⁾ โดยมีการศึกษาพบว่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของโมโนเมอร์ทีอีจีดีเอ็มเอสูงกว่าบิส-จีเอ็มเอเรซินและยูดีเอ็มเอตามลำดับ⁽⁶³⁾ อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้พบว่า Filtek™ Z350XT ซึ่งเป็นเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมและมีทีอีจีดีเอ็มเอเป็นส่วนประกอบ มีค่าการเปลี่ยนสีมากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดบัลคฟิลในกลุ่มที่แช่กาแฟเพียงกลุ่มเดียว ในขณะที่เมื่อแช่น้ำกลั่น เครื่องดื่มอัดลม และชาเขียว มีค่าการเปลี่ยนสีน้อยกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดบัลคฟิล ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบอื่นๆในเรซินคอมโพสิต

นอกเหนือจากชนิดของโมโนเมอร์แล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ เช่น องค์ประกอบของวัสดุอุดแทรก และระบบตัวเริ่มปฏิกิริยาดำรงเป็นต้น^(45, 64) โดยตัวเริ่มปฏิกิริยาดำรงแสงของเรซินคอมโพสิตส่วนใหญ่คือแคมโฟควิโนน(camphorquinone)⁽⁶⁵⁾ อีกทั้งยังมีตัวเริ่มปฏิกิริยาดำรงแสงชนิดอื่นๆ เช่น ฟีนิลโพรเพนไดโอน(phenylpropanedione; PPD) เอซิลฟอสฟีนออกไซด์(acylphosphine oxide; TPO) และไอโซเซอริน เป็นต้น ตัวเริ่มปฏิกิริยาดำรงแสงเหล่านี้จะต้องถูกกระตุ้นด้วยเครื่องฉายแสง(Light curing unit)ที่มีความยาวคลื่นเหมาะสมจึงจะสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ได้⁽⁶⁶⁾ โดยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี(Light emitting diode; LED)ได้ถูกนำมาใช้ในทางทันตกรรมตั้งแต่ช่วงปี 2000 ซึ่งมีทั้งแบบความยาวคลื่นเดียว

(monowave) และหลายความยาวคลื่น (polywave)⁽⁶⁷⁾ ในการศึกษาเรซินคอมโพสิตทุกชนิดมีตัวเริ่มปฏิกิริยาดำเนินแสงเป็นแคมโฟควิโนน ซึ่งดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 425-495 นาโนเมตร ยกเว้นเรซินคอมโพสิต Tetric N-Ceram Bulk Fill มีแคมโฟควิโนนร่วมกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ซึ่งไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 390-445 นาโนเมตรและมีประสิทธิภาพมากกว่าแคมโฟควิโนน^(64, 68, 69) การที่วัสดุในการศึกษานี้มีตัวเริ่มปฏิกิริยาดำเนินแสงแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงการเลือกเครื่องฉายแสงที่มีความยาวคลื่นเหมาะสมกับปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุแต่ละชนิด อย่างไรก็ตามการทดสอบปริมาณการเกิดพอลิเมอร์สามารถทำได้หลายวิธีหนึ่งในนั้นคือการหาความแข็งผิวระดับไมโคร (microhardness measurement) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบทางอ้อม หากมีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่ต่ำจะส่งผลให้ความแข็งผิวระดับไมโครเกิดในระดับต่ำเช่นเดียวกัน⁽⁷⁰⁾ จากการศึกษาของ Shimokawa และคณะ ในปี 2020⁽⁶⁴⁾ พบว่าเรซินคอมโพสิต Tetric N-Ceram Bulk Fill ที่ความหนา 2 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งผิวระดับไมโครไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี รุ่น Bluephase 20i ซึ่งเป็นเครื่องฉายแสงที่มีหลายความยาวคลื่น และรุ่น Elipar™ DeepCure-S ซึ่งเป็นเครื่องฉายแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว จึงสรุปได้ว่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของ Tetric N-Ceram Bulk Fill ที่ความหนา 2 มิลลิเมตร เมื่อฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดีที่มีความยาวคลื่นเดียวและหลายความยาวคลื่นไม่แตกต่างกัน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี รุ่น Elipar™ DeepCure-L ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ที่ 430-480 นาโนเมตรและมีคุณสมบัติเหมือนกับเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี รุ่น Elipar™ DeepCure-S แต่แตกต่างกันที่วิธีการชาร์จแบตเตอรี่และวัสดุที่ใช้ในการผลิตตัวเครื่องเท่านั้น⁽⁷¹⁾

ชนิดและขนาดของวัสดุอุดแทรกมีผลต่อการดูดซับของเหลวและการเปลี่ยนสีบริเวณพื้นผิวของวัสดุ^(53, 59) โดยวัสดุอุดแทรกขนาดเล็กจะมีพื้นผิวเรียบและด้านทานการติดสีได้ดีกว่าวัสดุอุดแทรกขนาดใหญ่ จากการศึกษาของ Erdemir และคณะ ในปี 2012⁽⁵³⁾ พบว่าเรซินคอมโพสิต 2 ชนิดที่มีวัสดุอุดแทรกขนาดเล็กซึ่งในที่นี้คือนาโนฟิลคอมโพสิต มีการเปลี่ยนสีน้อยกว่าวัสดุอุดแทรกไมโครไฮบริดคอมโพสิต อย่างไรก็ตามเรซินคอมโพสิตทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณวัสดุอุดแทรกแตกต่างกัน จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนสีต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษานี้ โดยพบว่าเรซินคอมโพสิต SonicFill™ 2, Filtek™ One Bulk Fill และ Filtek™ Z350XT มีการเปลี่ยนสีที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือเมื่อแช่ในน้ำกลั่นและเครื่องดื่มอัดลม ค่าการเปลี่ยนสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มที่แช่ในกาแฟและชาวม โดยเรซินคอมโพสิต 3 ชนิดนี้มีวัสดุอุดแทรกเป็นนาโนฟิลคอมโพสิตเหมือนกัน ในขณะที่เรซินคอมโพสิต

Tetric N-Ceram Bulk Fill ซึ่งมีวัสดุอัดแทรกเป็นนาโนไฮบริดคอมโพสิตให้ผลที่ต่างกัน คือเมื่อแช่ในน้ำกลั่น เครื่องดื่มอัดลม และชาวม ค่าการเปลี่ยนสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มที่แช่ในกาแฟ อย่างไรก็ตามมีบางการศึกษาพบว่าชนิดและขนาดของวัสดุอัดแทรกไม่มีผลต่อการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต โดยการศึกษาของ Mundim และคณะ ในปี 2010⁽⁷²⁾ พบว่าเรซินคอมโพสิตที่มีวัสดุอัดแทรกขนาดใหญ่มีการเปลี่ยนสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเรซินคอมโพสิตที่มีวัสดุอัดแทรกขนาดเล็ก เช่นเดียวกับการศึกษาของ Malek และคณะ ในปี 2015⁽⁷³⁾ พบว่าการเปลี่ยนสีไม่สัมพันธ์กับชนิดของเรซินคอมโพสิตแต่สัมพันธ์กับชนิดของสารละลาย นอกจากชนิดและขนาดของวัสดุอัดแทรกแล้ว ความแตกต่างของการเปลี่ยนสีอาจเป็นผลมาจากวิธีการเตรียมวัสดุอัดแทรกที่ต่างกัน โดยในการศึกษานี้เรซินคอมโพสิต SonicFill™2 มีการเตรียมวัสดุอัดแทรกแบบพรีพอลิเมอร์ไรต์ (Prepolymerized filler) ในขณะที่เรซินคอมโพสิต Tetric N-Ceram Bulk Fill, Filtek™ One Bulk Fill และ Filtek™ Z350XT มีการเตรียมวัสดุอัดแทรกแบบแอกโกลเอร์เรตเตด (Agglomerated filler) (ภาพประกอบ 23) ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่ SonicFill™2 มีการเปลี่ยนสีน้อยกว่าเรซินคอมโพสิตอื่นๆ สอดคล้องกับการศึกษาของ Imamura และคณะ ในปี 2008⁽⁷⁴⁾ ทำการศึกษาการเปลี่ยนสีของฟันเทียมที่ผสมเรซินคอมโพสิตชนิดต่างๆ พบว่าฟันเทียมที่มีส่วนผสมของวัสดุอัดแทรกชนิดพรีพอลิเมอร์ไรต์มีการเปลี่ยนสีน้อยกว่าฟันเทียมที่ผสมวัสดุอัดแทรกชนิดซิลิกาเมื่อแช่ในสารละลายกาแฟ อีกทั้งการศึกษาของ Ertas และคณะ ในปี 2006⁽⁵⁴⁾ พบว่าเรซินคอมโพสิตที่มีวิธีการเตรียมวัสดุอัดแทรกแบบแอกโกลเอร์เรตเตดทนต่อการติดสีน้อยกว่าวัสดุอัดแทรกชนิดซิลิกาและเซอโรโคเนีย ซึ่งในการศึกษานี้ Filtek™ One Bulk Fill และ Filtek™ Z350XT มีการเตรียมวัสดุอัดแทรกแบบแอกโกลเอร์เรตเตดสูงถึงร้อยละ 60-70 ซึ่งมากกว่า Tetric N-Ceram Bulk Fill ที่มีการเตรียมวัสดุอัดแทรกแบบแอกโกลเอร์เรตเตดอยู่ร้อยละ 17 ด้วยเหตุนี้จึงอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้ Filtek™ One Bulk Fill และ Filtek™ Z350XT มีการเปลี่ยนสีมากกว่า Tetric N-Ceram Bulk Fill ในสารละลายเกือบทุกชนิด นอกจากนี้เมื่อพิจารณาลักษณะและรูปร่างของวัสดุอัดแทรกพบว่าหลังแช่ในสารละลายชนิดต่างๆเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เรซินคอมโพสิตชนิดเดียวกันมีรูปร่างวัสดุอัดแทรกไม่แตกต่างกัน (ภาพประกอบ 23) ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าในเวลา 24 ชั่วโมงสารละลายต่างๆ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของวัสดุอัดแทรก อย่างไรก็ตามแนวคิดเกี่ยวกับชนิดและขนาดของวัสดุอัดแทรกยังไม่สามารถหาข้อสรุปได้ เนื่องจากแต่ละบริษัทผู้ผลิตไม่ได้ระบุข้อมูลปริมาณองค์ประกอบต่างๆของวัสดุอย่างชัดเจน

จากการที่เรซินคอมโพสิตสามารถดูดซึมสารละลายที่มีสีต่างๆได้นั้น^(53, 59) หลาย การศึกษาระบุว่ากาแฟทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตมากที่สุด ตามด้วยเครื่องดื่ม อัดลมและน้ำกลั่น^(8, 54, 55) เช่นเดียวกับในการศึกษานี้ที่พบว่ากาแฟเป็นสารละลายที่ทำให้เกิดการ เปลี่ยนสีมากที่สุด ($\Delta E = 2.37-5.60$) โดยกาแฟประกอบด้วยเม็ดสีสีเหลือง(yellow colorant pigment) เป็นโมเลกุลมีขั้ว(polarities)จึงสามารถเกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ได้⁽²⁾ ทำให้อาจะมี ดูดซึมสีเข้าไปในส่วนของเรซินเมทริกซ์⁽⁸⁾ อีกทั้งยังประกอบด้วยสารติดคราบสี(staining agent) จำนวนมาก เช่น กรดแกลลิก(gallic acid)⁽⁴⁵⁾ จากการศึกษาของ Bahbishi และคณะ ปี 2020⁽⁵⁶⁾ สรุปว่าสารละลายที่มีสีเข้มกว่าสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนสีได้มากกว่า ซึ่งในทางคลินิกการ เปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตมีโอกาสเพิ่มสูงขึ้น ถ้าผู้ป่วยรับประทานอาหารหรือดื่มเครื่องดื่มที่มีสี เข้ม เช่น ชา กาแฟ และไวน์แดง เป็นต้น แม้ว่าในกาแฟและชาจะมีเม็ดสีสีเหลืองเป็นองค์ประกอบ เช่นเดียวกัน แต่การศึกษาของ Guler และคณะ ในปี 2005⁽⁵⁵⁾ และ Ertas และคณะ ในปี 2006⁽⁵⁴⁾ พบว่าเรซินคอมโพสิตที่แช่ในกาแฟมีการเปลี่ยนสีมากกว่าเรซินคอมโพสิตที่แช่ในชา เนื่องจาก ส่วนประกอบที่มีขั้วในชาถูกกำจัดออกได้เร็วกว่าส่วนประกอบที่มีขั้วในกาแฟ โดยการดูดซับสี บริเวณพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตที่แช่ในชาสามารถกำจัดออกได้ด้วยการแปรงฟัน ในขณะที่การ ดูดซับสีบริเวณพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตที่แช่ในกาแฟถูกกำจัดออกยาก อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ ผ่านมาส่วนใหญ่เป็นการเปรียบเทียบการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตที่แช่ในน้ำกลั่น กาแฟ และ ไวน์แดง^(2, 8, 45, 54, 55) แต่ในช่วงไม่กี่ปีมานี้ชาวมักกลายเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมทั่วเอเชีย สหรัฐอเมริกา และยุโรป⁽⁴⁸⁾ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงต้องการประเมินค่าการเปลี่ยนสีของเรซิน คอมโพสิตที่แช่ในชาวมเทียบกับสารละลายอื่นๆ เนื่องจากชาวมก็เป็นเครื่องดื่มที่มีสีเข้ม และมีเม็ดสีสีเหลืองเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับกาแฟ โดยในการทดลองนี้ผลการศึกษานี้ได้คือ ชาวมทำให้เกิดการเปลี่ยนสีเป็นอันดับสอง ($\Delta E = 1.19-1.72$) รองจากกาแฟแต่มากกว่าเครื่องดื่ม อัดลมและน้ำกลั่น ซึ่งอาจเป็นเพราะชาวมมีส่วนผสมของ ชา น้ำตาลและครีมเทียม สอดคล้อง กับการศึกษาของ Guler และคณะ ในปี 2005⁽⁵⁵⁾ ที่พบว่าวัสดุบูรณะชั่วคราว(provisional restoration) และไมโครไฮบริดคอมโพสิต มีการเปลี่ยนสีของวัสดุเมื่อแช่ในกาแฟมากที่สุด รองลงมาคือกาแฟที่ผสมน้ำตาลและครีมเทียม, ชาที่มีส่วนผสมของน้ำตาล, เครื่องดื่มอัดลม และ น้ำกลั่น ตามลำดับ โดยครีมเทียมอาจมีผลทำให้ความเข้มของสารละลายลดลงจึงเกิดการติดสี น้อยลง สำหรับเครื่องดื่มอัดลมนั้น แม้ว่าจะมีความเป็นกรดสูงมีโอกาสดึงการทำลายพื้นผิวของ วัสดุมาก แต่เกิดการเปลี่ยนสีน้อยกว่ากาแฟและชาวม ($\Delta E = 0.70-1.23$) อาจเพราะเครื่องดื่ม อัดลมไม่มีเม็ดสีสีเหลืองเป็นองค์ประกอบ⁽⁵⁴⁾

อย่างไรก็ตามการศึกษานี้พบว่า Filtek™ Z350XT ที่แช่ในน้ำกลั่น เครื่องดื่มอัดลม และ ชานม มีการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตน้อย เนื่องจากมีบิส-อีเอ็มเอและยูดีเอ็มเอเป็น องค์ประกอบ จึงมีความสามารถในการดูดซึมน้ำน้อย แต่ในขณะเดียวกัน Filtek™ Z350XT ก็ ประกอบด้วยบิส-จีเอ็มเอเรซินและทีอีจีดีเอ็มเอ ซึ่งมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมาก อาจ สันนิษฐานได้ว่าองค์ประกอบดังกล่าวสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารที่อยู่ในกาแฟได้อย่างรวดเร็ว จึง เป็นสาเหตุให้ Filtek™ Z350XT ที่แช่ในกาแฟมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีมากที่สุดเท่ากับ 5.60 นอกจากนี้สารละลายแต่ละชนิดก็มีผลต่อการทำลายโครงสร้างพอลิเมอร์แตกต่างกัน⁽⁶³⁾ จึงทำให้ เรซินคอมโพสิตที่แช่ในสารละลายต่างชนิดกันมีการเปลี่ยนสีที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจต้องมีการศึกษา รายละเอียดการเกิดปฏิกิริยาเคมีขององค์ประกอบในเรซินคอมโพสิตและในสารละลายเพิ่มเติม ต่อไป

ความหนาของเรซินคอมโพสิตเป็นหนึ่งในปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนสี^(45, 55) โดย การศึกษาของ Shamszadeh และคณะในปี 2016⁽⁴⁵⁾ พบว่าเรซินคอมโพสิตชนิดบัลคฟิลที่มีความ หนา 4 มิลลิเมตร มีการเปลี่ยนสีมากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดเดียวกันที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เพื่อเป็นการกำจัดปัจจัยในเรื่องนี้ การศึกษานี้จึงได้ทำการทดสอบ เรซินคอมโพสิตทุกชนิดที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรเท่ากัน

ในการศึกษานี้ใช้ระยะเวลาสัมผัสสารละลายเพียง 24 ชั่วโมง ซึ่งจากการศึกษาของ Guler และคณะ ในปี 2005⁽⁵⁵⁾ กล่าวว่านักดื่มกาแฟจะบริโภคกาแฟเฉลี่ย 3.2 ถ้วยต่อวัน และใช้ เวลาในการดื่มกาแฟ 1 ถ้วย เท่ากับ 15 นาที ดังนั้นการแช่วัสดุในสารละลายเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เทียบเท่ากับการบริโภคเครื่องดื่มเป็นเวลา 1 เดือน อย่างไรก็ตามหากมีการสัมผัสสารละลายใน ระยะเวลาที่นานขึ้น วัสดุอาจเกิดการเปลี่ยนสีในลักษณะที่แตกต่างออกไปได้ โดยการศึกษาของ Barutçigil และคณะ ในปี 2018⁽²⁾ ได้ทำการทดสอบการเปลี่ยนสีของวัสดุหลังแช่ในสารละลายเป็น เวลา 24 ชั่วโมง, 1 สัปดาห์ และ 3 สัปดาห์ ซึ่งพบว่าหลังแช่ในสารละลายเป็นเวลา 1 สัปดาห์ขึ้นไป วัสดุชนิดนาโนไฮบริดคอมโพสิตและเรซินคอมโพสิตชนิดบัลคฟิลไม่มีการเปลี่ยนสีอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ แตกต่างจากการศึกษาของ Shamszadeh และคณะในปี 2016⁽⁴⁵⁾ ที่ทดสอบ การเปลี่ยนสีของวัสดุหลังแช่ในสารละลายเป็นเวลา 1, 7, 14 และ 28 วัน พบว่าเรซินคอมโพสิต ชนิดบัลคฟิลจะมีการเปลี่ยนสีอย่างมีนัยสำคัญหลังแช่ในสารละลายเป็นเวลา 14 และ 28 วัน ในขณะที่การศึกษาของ Erdemir และคณะในปี 2012⁽⁵³⁾ ทำการทดสอบการเปลี่ยนสีของวัสดุหลัง แช่ในสารละลายเป็นเวลา 1 เดือนและ 6 เดือน พบว่าวัสดุทุกชนิดหลังแช่ในสารละลายเป็นเวลา 6 เดือน มีการเปลี่ยนสีมากกว่าหลังแช่ในสารละลายระยะเวลา 1 เดือนอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น

ระยะเวลาในการแพร่สารละลายจึงมีอิทธิพลอย่างมากต่อความเสถียรของสีของเรซินคอมโพสิต โดยระยะเวลาที่นานขึ้นพบการเปลี่ยนสีของวัสดุมากขึ้น อาจเป็นเพราะเกิดปฏิกิริยา(interaction) ระหว่างสารเคมีในสารละลายกับเรซินคอมโพสิตมากขึ้น รวมทั้งมีการซึมผ่านของสารย้อมสีลงในเรซินเมทริกซ์ได้ดีขึ้น⁽⁵³⁾

การเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตมีความสัมพันธ์กับหลายปัจจัยดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยในการศึกษานี้เรซินคอมโพสิต SonicFill™ 2 มีแนวโน้มการเปลี่ยนสีน้อยที่สุด เพราะมีปริมาณวัสดุอุดแทรกมากที่สุดและมีบิส-อีเอ็มเอเป็นองค์ประกอบ ในขณะที่ Filtek™ One Bulk Fill มีแนวโน้มการเปลี่ยนสีมากที่สุด อาจเนื่องมาจากการเตรียมวัสดุอุดแทรกแบบแอ็กโกลเมอเรตเตด และเป็นเรซินคอมโพสิตชนิดเดียวที่ไม่มีบิส-อีเอ็มเอเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ยังพบว่ากาแพเป็นสารละลายที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ชานม เครื่องดื่มอัดลม และน้ำกลั่น ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้การเลือกวัสดุเรซินคอมโพสิตสำหรับการบูรณะจึงควรพิจารณาพฤติกรรมการบริโภคเครื่องดื่มของผู้ป่วยด้วย โดยเฉพาะการบูรณะในบริเวณฟันหน้าที่ต้องการความสวยงาม⁽⁶⁾

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการอาจไม่สามารถจำลองสภาวะการใช้งานจริงในช่องปากได้อย่างสมบูรณ์ กล่าวคือในการศึกษานี้ได้แช่วัสดุในสารละลายชนิดต่างๆเป็นเวลา 24 ชั่วโมงต่อเนื่องกัน แต่ในสถานการณ์จริงในช่องปากมีการสัมผัสกับเครื่องดื่มแบบไม่ต่อเนื่องและมีน้ำลายที่อาจทำให้เครื่องดื่มต่างๆเจือจางลง ดังนั้นอาจต้องใช้ระยะเวลานานขึ้นในการประเมินค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตจากการบริโภคเครื่องดื่มชนิดต่างๆเป็นประจำ และเนื่องจากการศึกษานี้ได้ทำการทดลองในเครื่องดื่มเพียง 4 ชนิดเท่านั้น อาจแตกต่างจากพฤติกรรมบริโภคจริง และอาจไม่สามารถนำผลการทดลองไปใช้ในการประเมินเครื่องดื่มชนิดอื่นได้ เพราะเครื่องดื่มแต่ละชนิดมีส่วนประกอบแตกต่างกันแม้จะเป็นเครื่องดื่มที่มีรสชาติคล้ายคลึงกันก็ตาม นอกจากนี้ในชีวิตประจำวันมนุษย์มีการทำความสะอาดช่องปากด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การแปรงฟันซึ่งส่งผลต่อการติดสีเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ชิ้นงานไม่ได้รับการขัดหรือแปรงภายหลังการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ ซึ่งอาจส่งผลให้เรซินคอมโพสิตติดสีมากกว่าการใช้งานจริง อีกทั้งแบบหล่อที่ใช้ในการทดลองเป็นทรงกระบอกซึ่งมีรูปร่างแตกต่างจากโพรงฟันที่บูรณะทางในคลินิก ดังนั้นในอนาคตจึงควรมีการศึกษาความเสถียรของสีของเรซินคอมโพสิตเพิ่มเติมในทางคลินิกต่อไป

บรรณานุกรม

1. Kim Y, Kim CK, Cho BH, Son HH, Um CM, Kim OY. A new resin matrix for dental composite having low volumetric shrinkage. J Biomed Mater Res B Appl Biomater. 2004;70(1):82-90.
2. Barutçigil C, Barutçigil K, Ozarslan MM, Dundar A, Yilmaz B. Color of bulk-fill composite resin restorative materials. J Esthet Restor Dent. 2018;30(2):E3-E8.
3. Benetti AR, Havndrup-Pedersen C, Honore D, Pedersen MK, Pallesen U. Bulk-fill resin composites: polymerization contraction, depth of cure, and gap formation. Oper Dent. 2015;40(2):190-200.
4. Reis AF, Vestphal M, Amaral RCD, Rodrigues JA, Roulet JF, Roscoe MG. Efficiency of polymerization of bulk-fill composite resins: a systematic review. Braz Oral Res. 2017;31(suppl 1):e59.
5. Filtek™ One Bulk Fill Restorative [Internet]. 2016 [cited 2019 December 5]. Available from: <https://multimedia.3m.com/mws/media/1317671O/3m-filtek-one-bulk-fill-restorative-technical-product-profile.pdf>.
6. Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Color and opacity variations in three different resin-based composite products after water aging. Dent Mater. 2004;20(6):530-4.
7. Wongkhantee S, Patanapiradej V, Maneenut C, Tantbirojn D. Effect of acidic food and drinks on surface hardness of enamel, dentine, and tooth-coloured filling materials. J Dent. 2006;34(3):214-20.
8. Topcu FT, Sahinkesen G, Yamanel K, Erdemir U, Oktay EA, Ersahan S. Influence of different drinks on the colour stability of dental resin composites. Eur J Dent. 2009;3(1):50-6.
9. Peutzfeldt A. Resin composites in dentistry: the monomer systems. Eur J Oral Sci. 1997;105(2):97-116.
10. Chesterman J, Jowett A, Gallacher A, Nixon P. Bulk-fill resin-based composite restorative materials: a review. Br Dent J. 2017;222(5):337-44.
11. Zimmerli B, Strub M, Jeger F, Stadler O, Lussi A. Composite materials:

composition, properties and clinical applications. A literature review. *Schweiz Monatsschr Zahnmed.* 2010;120(11):972-86.

12. Chen H, Wang R, Qian L, Ren Q, Jiang X, Zhu M. Dental Restorative Resin Composites: Modification Technologies for the Matrix/Filler Interface. *Macromolecular Materials and Engineering.* 2018;303(10):1800264.
13. Chen MH. Update on dental nanocomposites. *J Dent Res.* 2010;89(6):549-60.
14. Sakaguchi RL, Powers JM. *Craig's Restorative Dental Materials* 13th ed 2012. p. 164-5.
15. Matinlinna JP, Ozcan M, Lassila LV, Vallittu PK. The effect of a 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane and vinyltriisopropoxysilane blend and tris(3-trimethoxysilylpropyl)isocyanurate on the shear bond strength of composite resin to titanium metal. *Dent Mater.* 2004;20(9):804-13.
16. Chan KH, Mai Y, Kim H, Tong KC, Ng D, Hsiao JC. Review: Resin Composite Filling. *Materials.* 2010;3(2):1228-43.
17. Brownawell AM, Berent S, Brent RL, Bruckner JV, Doull J, Gershwin EM, et al. The potential adverse health effects of dental amalgam. *Toxicol Rev.* 2005;24(1):1-10.
18. Adiguzel O, Cangul S. The Latest Developments Related to Composite Resins. *International Dental Research.* 2017;7(2):32.
19. Ferracane JL. Resin composite--state of the art. *Dent Mater.* 2011;27(1):29-38.
20. Puckett AD, Fitchie JG, Kirk PC, Gamblin J. Direct composite restorative materials. *Dent Clin North Am.* 2007;51(3):659-75, vii.
21. Ritter AV. Direct resin-based composites: current recommendations for optimal clinical results. *Compend Contin Educ Dent.* 2005;26(7):481-2, 4-90; quiz 92, 527.
22. Alzraikat H, Burrow MF, Maghaireh GA, Taha NA. Nanofilled Resin Composite Properties and Clinical Performance: A Review. *Oper Dent.* 2018;43(4):E173-E90.
23. Filtek™ Z350 XT technical product profile [Internet]. 2010 [cited 2020 November 15]. Available from: <https://multimedia.3m.com/mws/media/6315470/filtek-z350-xt-technical-product-profile.pdf>.
24. Borak J, Fields C, Andrews LS, Pemberton MA. Methyl methacrylate and

respiratory sensitization: a critical review. *Crit Rev Toxicol*. 2011;41(3):230-68.

25. Gonçalves JAV, Campos DAT, Oliveira GdJ, Rosa MdLdS, Macêdo MA.

Mechanical Properties of Epoxy Resin Based on Granite Stone Powder from the Sergipe Fold-and-Thrust Belt Composites. *Materials Research*. 2014;17(4):878-87.

26. Meng Z, Bessa MA, Xia W, Kam Liu W, Keten S. Predicting the Macroscopic Fracture Energy of Epoxy Resins from Atomistic Molecular Simulations. *Macromolecules*. 2016;49(24):9474-83.

27. Gajewski VE, Pfeifer CS, Froes-Salgado NR, Boaro LC, Braga RR. Monomers used in resin composites: degree of conversion, mechanical properties and water sorption/solubility. *Braz Dent J*. 2012;23(5):508-14.

28. Cornelio RB, Wikant A, Mjosund H, Kopperud HM, Haasum J, Gedde UW, et al. The influence of bis-EMA vs bis GMA on the degree of conversion and water susceptibility of experimental composite materials. *Acta Odontol Scand*. 2014;72(6):440-7.

29. Monsarrat P, Garnier S, Vergnes JN, Nasr K, Grosogeat B, Joniot S. Survival of directly placed ormocer-based restorative materials: A systematic review and meta-analysis of clinical trials. *Dent Mater*. 2017;33(5):e212-e20.

30. Hahnel S, Henrich A, Burgers R, Handel G, Rosentritt M. Investigation of mechanical properties of modern dental composites after artificial aging for one year. *Oper Dent*. 2010;35(4):412-9.

31. Marchesi G, Breschi L, Antonioli F, Di Lenarda R, Ferracane J, Cadenaro M. Contraction stress of low-shrinkage composite materials assessed with different testing systems. *Dent Mater*. 2010;26(10):947-53.

32. Ilie N, Hickel R. Silorane-based dental composite: behavior and abilities. *Dent Mater J*. 2006;25(3):445-54.

33. Weinmann W, Thalacker C, Guggenberger R. Siloranes in dental composites. *Dent Mater*. 2005;21(1):68-74.

34. Ottobelli M, Ionescu A, Cazzaniga G, Brambilla E. Influence of Light-curing Parameters on Biofilm Development and Flexural Strength of a Silorane-based Composite. *Oper Dent*. 2016;41(2):219-27.

35. Eick JD, Smith RE, Pinzino CS, Kostoryz EL. Stability of silorane dental monomers in aqueous systems. *J Dent*. 2006;34(6):405-10.
36. Bektas OO, Eren D, Akin EG, Akin H. Evaluation of a self-adhering flowable composite in terms of micro-shear bond strength and microleakage. *Acta Odontol Scand*. 2013;71(3-4):541-6.
37. Vichi A, Margvelashvili M, Goracci C, Papacchini F, Ferrari M. Bonding and sealing ability of a new self-adhering flowable composite resin in class I restorations. *Clin Oral Investig*. 2013;17(6):1497-506.
38. Flury S, Hayoz S, Peutzfeldt A, Husler J, Lussi A. Depth of cure of resin composites: is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials? *Dent Mater*. 2012;28(5):521-8.
39. Fronza BM, Rueggeberg FA, Braga RR, Mogilevych B, Soares LE, Martin AA, et al. Monomer conversion, microhardness, internal marginal adaptation, and shrinkage stress of bulk-fill resin composites. *Dent Mater*. 2015;31(12):1542-51.
40. Orlowski M, Tarczydło B, Chalas R. Evaluation of marginal integrity of four bulk-fill dental composite materials: in vitro study. *ScientificWorldJournal*. 2015;2015:701262.
41. Theodoridis M, Dionysopoulos D, Koliniotou-Koumpia E, Dionysopoulos P, Gerasimou P. Effect of preheating and shade on surface microhardness of silorane-based composites. *J Investig Clin Dent*. 2017;8(2).
42. Mikhail SS, Schricker SR, Azer SS, Brantley WA, Johnston WM. Optical characteristics of contemporary dental composite resin materials. *J Dent*. 2013;41(9):771-8.
43. SonicFill™2 A proven procedure now better than ever [Internet]. 2015 [cited 2019 December 4]. Available from: <https://www.aegisdentalnetwork.com/media/58358>.
44. Tetric N Ceram Bulk Fill The nano-optimized 4-mm composite [Internet]. 2014 [cited 2019 December 4]. Available from: <https://asia.ivoclarvivadent.com/zoolu-website/media/document/15761/Tetric+N-Ceram+Bulk+Fill>.
45. Shamszadeh S, Sheikh-Al-Eslamian SM, Hasani E, Abrandabadi AN, Panahandeh N. Color Stability of the Bulk-Fill Composite Resins with Different Thickness in Response to

Coffee/Water Immersion. *Int J Dent*. 2016;2016:7186140.

46. Eom A-H, Kim D-S, Lee S-H, Byun C-W, Park N-H, Choi K-K. Optical characteristics of resin composite before and after polymerization. *Journal of Korean Academy of Conservative Dentistry*. 2011;36(3):219.
47. Lee YK, Lim BS, Rhee SH, Yang HC, Powers JM. Changes of optical properties of dental nano-filled resin composites after curing and thermocycling. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2004;71(1):16-21.
48. Min JE, Green DB, Kim L. Calories and sugars in boba milk tea: implications for obesity risk in Asian Pacific Islanders. *Food Sci Nutr*. 2017;5(1):38-45.
49. ASMUSSEN E. An accelerated test for color stability of restorative resins. *Acta Odontol Scand*. 1981;39:329-32.
50. Cuevas-Suarez CE, Meereis CTW, D'Accorso N, Macchi R, Ancona-Meza AL, Zamarripa-Calderon E. Effect of radiant exposure and UV accelerated aging on physico-chemical and mechanical properties of composite resins. *J Appl Oral Sci*. 2019;27:e20180075.
51. Uchida H, Vaidyanathan J, Viswanadhan T, Vaidyanathan TK. Color stability of dental composites as a function of shade. *J Prosthet Dent*. 1998;79(4):372-7.
52. Furuse AY, Gordon K, Rodrigues FP, Silikas N, Watts DC. Colour-stability and gloss-retention of silorane and dimethacrylate composites with accelerated aging. *J Dent*. 2008;36(11):945-52.
53. Erdemir U, Yildiz E, Eren MM. Effects of sports drinks on color stability of nanofilled and microhybrid composites after long-term immersion. *J Dent*. 2012;40 Suppl 2:e55-63.
54. Ertas E, Guler AU, Yucel AC, Koprulu H, Guler E. Color stability of resin composites after immersion in different drinks. *Dent Mater J*. 2006;25(2):371-6.
55. Guler AU, Yilmaz F, Kulunk T, Guler E, Kurt S. Effects of different drinks on stainability of resin composite provisional restorative materials. *J Prosthet Dent*. 2005;94(2):118-24.
56. Bahbishi N, Mzain W, Badeeb B, Nassar HM. Color Stability and Micro-Hardness of Bulk-Fill Composite Materials after Exposure to Common Beverages. *Materials (Basel)*.

2020;13(3).

57. Nuaimi H, Ragab H. Effect of aggressive beverage on the color stability of different nano-hybrid resin based composite. *European Journal of General Dentistry*.

2014;3(3):190-3.

58. Sarac D, Sarac YS, Kulunk S, Ural C, Kulunk T. The effect of polishing techniques on the surface roughness and color change of composite resins. *J Prosthet Dent*.

2006;96(1):33-40.

59. Karadas M, Demirbuga S. Evaluation of Color Stability and Surface Roughness of Bulk-Fill Resin Composites and Nanocomposites. *Meandros Med Dent J*. 2017;18:199-205.

60. Cebe MA, Cebe F, Cengiz MF, Cetin AR, Arpag OF, Ozturk B. Elution of monomer from different bulk fill dental composite resins. *Dent Mater*. 2015;31(7):e141-9.

61. Par M, Gamulin O, Marovic D, Klaric E, Tarle Z. Raman spectroscopic assessment of degree of conversion of bulk-fill resin composites--changes at 24 hours post cure. *Oper Dent*. 2015;40(3):E92-101.

62. Silami FD, Mundim FM, Garcia Lda F, Sinhoreti MA, Pires-de-Souza Fde C. Color stability of experimental composites containing different photoinitiators. *J Dent*. 2013;41 Suppl 3:e62-6.

63. Ferracane JL. Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. *Dent Mater*. 2006;22(3):211-22.

64. Shimokawa C, Turbino ML, Giannini M, Braga RR, Price RB. Effect of Curing Light and Exposure Time on the Polymerization of Bulk-Fill Resin-Based Composites in Molar Teeth. *Oper Dent*. 2020;45(3):E141-E55.

65. Yu P, Yap A, Wang XY. Degree of Conversion and Polymerization Shrinkage of Bulk-Fill Resin-Based Composites. *Oper Dent*. 2017;42(1):82-9.

66. Menees TS, Lin CP, Kojic DD, Burgess JO, Lawson NC. Depth of cure of bulk fill composites with monowave and polywave curing lights. *Am J Dent*. 2015;28(6):357-61.

67. Gan JK, Yap AU, Cheong JW, Arista N, Tan C. Bulk-Fill Composites: Effectiveness of Cure With Poly- and Monowave Curing Lights and Modes. *Oper Dent*. 2018;43(2):136-43.

68. Ilie N, Kessler A, Durner J. Influence of various irradiation processes on the mechanical properties and polymerisation kinetics of bulk-fill resin based composites. *J Dent*. 2013;41(8):695-702.
69. Rueggeberg FA, Giannini M, Arrais CAG, Price RBT. Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review. *Braz Oral Res*. 2017;31(suppl 1):e61.
70. Albino LG, Rodrigues JA, Kawano Y, Cassoni A. Knoop microhardness and FT-Raman evaluation of composite resins: influence of opacity and photoactivation source. *Braz Oral Res*. 2011;25(3):267-73.
71. Elipar DeepCure LED Curing Lights Technical Product Profile [Internet]. 2015 [cited 2020 December 20]. Available from: <https://multimedia.3m.com/mws/media/1173327O/elipar-deeppcure-led-curing-lights-technical-product-profile-pdf.pdf>.
72. Mundim FM, Garcia Lda F, Pires-de-Souza Fde C. Effect of staining solutions and repolishing on color stability of direct composites. *J Appl Oral Sci*. 2010;18(3):249-54.
73. Malek Afzali B, Ghasemi A, Mirani A, Abdolazimi Z, Akbarzade Baghban A, Kharazifard MJ. Effect of Ingested Liquids on Color Change of Composite Resins. *J Dent (Tehran)*. 2015;12(8):577-84.
74. Imamura S, Takahashi H, Hayakawa I, Loyaga-Rendon PG, Minakuchi S. Effect of filler type and polishing on the discoloration of composite resin artificial teeth. *Dent Mater J*. 2008;27(6):802-8.



ภาคผนวก

ตาราง 3 แสดงผลการศึกษาดัวยสถิติเชิงพรรณนาของค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต SonicFill™2 ในตัวอย่างทั้ง 40 ชิ้น

ชนิดของสารละลาย	ΔE	จำนวน	Mean ΔE	SD
น้ำกลั่น	1.18 0.58	10	0.73	0.22
	0.87 0.55			
	0.91 0.62			
	0.41 0.72			
	0.78 0.63			
กาแฟ	2.79 2.54	10	2.37	0.23
	2.61 2.37			
	2.23 2.22			
	2.40 2.10			
	2.39 2.04			
เครื่องดื่มอัดลม	1.24 0.92	10	0.87	0.20
	0.63 0.75			
	0.89 1.14			
	0.62 0.85			
	0.86 0.82			
ชานม	1.08 1.50	10	1.19	0.19
	1.27 1.14			
	1.23 1.17			
	0.96 0.89			
	1.46 1.24			

ตาราง 4 แสดงผลการศึกษาดัวยสถิติเชิงพรรณนาของค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต Tetric N-Ceram Bulk Fill ในตัวอย่างทั้ง 40 ชิ้น

ชนิดของสารละลาย	ΔE	จำนวน	Mean ΔE	SD
น้ำกลั่น	1.19 1.24	10	0.96	0.29
	0.59 0.82			
	0.73 1.10			
	1.27 0.65			
	0.68 1.33			
กาแฟ	3.88 3.02	10	3.39	0.29
	3.14 3.44			
	3.74 3.44			
	3.10 3.31			
	3.66 3.20			
เครื่องดื่มอัดลม	0.95 0.98	10	1.19	0.30
	1.03 1.22			
	0.82 1.41			
	1.54 1.48			
	0.88 1.63			
ชานม	1.27 1.09	10	1.24	0.20
	1.47 0.99			
	0.91 1.30			
	1.55 1.25			
	1.33 1.19			

ตาราง 5 แสดงผลการศึกษาดัวยสถิติเชิงพรรณนาของค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต Filtek™ One Bulk Fill ในตัวอย่างทั้ง 40 ชิ้น

ชนิดของสารละลาย	ΔE	จำนวน	Mean ΔE	SD
น้ำกลั่น	0.70 0.87	10	1.01	0.29
	1.08 1.28			
	0.63 1.26			
	1.33 1.37			
	0.84 0.72			
กาแฟ	4.96 4.66	10	4.58	0.28
	4.57 4.55			
	4.07 4.44			
	5.04 4.42			
	4.41 4.63			
เครื่องดื่มอัดลม	1.46 1.04	10	1.23	0.27
	1.01 0.91			
	1.51 0.95			
	1.61 1.21			
	1.56 1.07			
ชานม	1.30 1.71	10	1.72	0.27
	1.45 1.90			
	1.69 1.41			
	1.99 1.66			
	1.97 2.12			

ตาราง 6 แสดงผลการศึกษาดัวยสถิติเชิงพรรณนาของค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต Filtek™ Z350XT ในตัวอย่างทั้ง 40 ชิ้น

ชนิดของสารละลาย	ΔE	จำนวน	Mean ΔE	SD
น้ำกลั่น	0.49 0.55	10	0.51	0.18
	0.48 0.85			
	0.45 0.76			
	0.44 0.87			
	0.43 0.76			
กาแฟ	5.64 5.82	10	5.60	0.27
	5.87 5.43			
	5.83 5.62			
	5.58 5.52			
	5.71 4.93			
เครื่องดื่มอัดลม	0.95 0.93	10	0.70	0.19
	0.48 0.86			
	0.51 0.52			
	0.58 0.77			
	0.88 0.54			
ชาวม	1.70 1.59	10	1.39	0.30
	1.44 1.31			
	1.01 1.74			
	0.99 1.29			
	1.06 1.72			

ตาราง 7 แสดงผลการวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลด้วยสถิติทดสอบโคโมโกรอฟ สเมอร์โนฟ (Kolmogorov-Smirnov test)

กลุ่มที่ศึกษา		Kolmogorov-Smirnov		
ชนิดของเรซินคอมโพสิต	ชนิดของสารละลาย	Statistic	df	Sig.
SonicFill™2	น้ำกลั่น	0.167	10	0.200
Tetric N-Ceram Bulk Fill	น้ำกลั่น	0.184	10	0.200
Filtek™ One Bulk Fill	น้ำกลั่น	0.209	10	0.200
Filtek™ Z350XT	น้ำกลั่น	0.244	10	0.094
SonicFill™2	กาแฟ	0.147	10	0.200
Tetric N-Ceram Bulk Fill	กาแฟ	0.146	10	0.200
Filtek™ One Bulk Fill	กาแฟ	0.180	10	0.200
Filtek™ Z350XT	กาแฟ	0.192	10	0.200
SonicFill™2	เครื่องดื่มอัดลม	0.204	10	0.200
Tetric N-Ceram Bulk Fill	เครื่องดื่มอัดลม	0.208	10	0.200
Filtek™ One Bulk Fill	เครื่องดื่มอัดลม	0.224	10	0.168
Filtek™ Z350XT	เครื่องดื่มอัดลม	0.236	10	0.120
SonicFill™2	ชานม	0.147	10	0.200
Tetric N-Ceram Bulk Fill	ชานม	0.130	10	0.200
Filtek™ One Bulk Fill	ชานม	0.144	10	0.200
Filtek™ Z350XT	ชานม	0.162	10	0.200

ตาราง 8 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยสถิติทดสอบของเลวีเน่ (Levene's test)

Levene Statistic	Df1	Df2	Sig.
1.242	15	144	0.248

ตาราง 9 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลด้วยสถิติความแปรปรวนสองทาง(Two-way ANOVA)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	324.939	15	21.663	338.645	0.000
Intercept	517.249	1	517.249	8085.876	0.000
Composite type	18.273	3	6.091	95.217	0.000
Solution type	261.147	3	87.049	1360.810	0.000
Composite x Solution	45.520	9	5.058	79.066	0.000
Error	9.211	144	0.064		
Total	851.400	160			
Corrected Total	334.151	159			

ตาราง 10 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติทดสอบบอนเฟอโรนี (Bonferroni test) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเรซินคอมโพสิต

						95% Confidence	
Solution		Composite type	Mean	Std.	Sig.	Interval for	
type						Difference	Error
						Lower	Upper
						Bound	Bound
Water	SonicFill™2	Tetric N-Ceram Bulk Fill	-0.235	0.113	0.237	-0.538	0.068
		Filtek™ One Bulk Fill	-0.283	0.113	0.081	-0.586	0.020
		Filtek™ Z350XT	0.117	0.113	1.000	-0.186	0.420
	Tetric N-Ceram Bulk Fill	SonicFill™2	0.235	0.113	0.237	-0.068	0.538
		Filtek™ One Bulk Fill	-0.048	0.113	1.000	-0.351	0.255
		Filtek™ Z350XT	0.352	0.113	0.013	0.049	0.655
	Filtek™ One Bulk Fill	SonicFill™2	0.283	0.113	0.081	-0.020	0.586
		Tetric N-Ceram Bulk Fill	0.048	0.113	1.000	-0.255	0.351
		Filtek™ Z350XT	0.400	0.113	0.003	0.097	0.703

ตาราง 10 (ต่อ)

Solution type	Composite type		Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval for Difference	
						Lower Bound	Upper Bound
Water	Filtek™ Z350XT	SonicFill™2	-0.117	0.113	1.000	-0.420	0.186
		Tetric N-Ceram Bulk Fill	-0.352	0.113	0.013	-0.655	-0.049
		Filtek™ One Bulk Fill	-0.400	0.113	0.003	-0.703	-0.097
Coffee	SonicFill™2	Tetric N-Ceram Bulk Fill	-1.024	0.113	0.000	-1.327	-0.721
		Filtek™ One Bulk Fill	-2.206	0.113	0.000	-2.509	-1.903
		Filtek™ Z350XT	-3.226	0.113	0.000	-3.529	-2.923
	Tetric N-Ceram Bulk Fill	SonicFill™2	1.024	0.113	0.000	0.721	1.327
		Filtek™ One Bulk Fill	-1.182	0.113	0.000	-1.485	-0.879
		Filtek™ Z350XT	-2.202	0.113	0.000	-2.505	-1.899
	Filtek™ One Bulk Fill	SonicFill™2	2.206	0.113	0.000	1.903	2.509
		Tetric N-Ceram Bulk Fill	1.182	0.113	0.000	0.879	1.485
		Filtek™ Z350XT	-1.020	0.113	0.000	-1.323	-0.717
	Filtek™ Z350XT	SonicFill™2	3.226	0.113	0.000	2.923	3.529
		Tetric N-Ceram Bulk Fill	2.202	0.113	0.000	1.899	2.505
		Filtek™ One Bulk Fill	1.020	0.113	0.000	0.717	1.323
Coke	SonicFill™2	Tetric N-Ceram Bulk Fill	-0.322	0.113	0.030	-0.625	-0.019
		Filtek™ One Bulk Fill	-0.361	0.113	0.010	-0.664	-0.058
		Filtek™ Z350XT	0.170	0.113	0.810	-0.133	0.473
	Tetric N-Ceram Bulk Fill	SonicFill™2	0.322	0.113	0.030	0.019	0.625
		Filtek™ One Bulk Fill	-0.039	0.113	1.000	-0.342	0.264
		Filtek™ Z350XT	0.492	0.113	0.000	0.189	0.795
	Filtek™ One Bulk Fill	SonicFill™2	0.361	0.113	0.010	0.58	0.664
		Tetric N-Ceram Bulk Fill	0.039	0.113	1.000	-0.264	0.342
		Filtek™ Z350XT	0.531	0.113	0.000	0.228	0.834
	Filtek™ Z350XT	SonicFill™2	-0.170	0.113	0.810	-0.473	0.133
		Tetric N-Ceram Bulk Fill	-0.492	0.113	0.000	-0.795	-0.189
		Filtek™ One Bulk Fill	-0.531	0.113	0.000	-0.834	-0.228
Milk tea	SonicFill™2	Tetric N-Ceram Bulk Fill	-0.041	0.113	1.000	-0.344	0.262
		Filtek™ One Bulk Fill	-0.526	0.113	0.000	-0.829	-0.223
		Filtek™ Z350XT	-0.191	0.113	0.561	-0.494	0.112

ตาราง 10 (ต่อ)

						95% Confidence	
Solution	Composite type		Mean	Std.	Sig.	Interval for	
type			Difference	Error		Difference	
						Lower	Upper
						Bound	Bound
Milk tea	Tetric N-Ceram Bulk Fill	SonicFill™2	0.041	0.113	1.000	-0.262	0.344
		Filtek™ One Bulk Fill	-0.485	0.113	0.000	-0.788	-0.182
		Filtek™ Z350XT	-0.150	0.113	1.000	-0.453	0.153
	Filtek™ One Bulk Fill	SonicFill™2	0.526	0.113	0.000	0.223	0.829
		Tetric N-Ceram Bulk Fill	0.485	0.113	0.000	0.182	0.788
		Filtek™ Z350XT	0.335	0.113	0.021	0.032	0.638
	Filtek™ Z350XT	SonicFill™2	0.191	0.113	0.561	-0.112	0.494
		Tetric N-Ceram Bulk Fill	0.150	0.113	1.000	-0.153	0.453
		Filtek™ One Bulk Fill	-0.335	0.113	0.021	-0.638	-0.032

ตาราง 11 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติทดสอบ บอนเฟอโรนี (Bonferroni test) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของสารละลาย

Composite type	Solution type		Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval for Difference	
						Lower Bound	Upper Bound
SonicFill™2	Water	Coffee	-1.644	0.113	0.000	-1.947	-1.341
		Coke	-0.147	0.113	1.000	-0.450	0.156
		Milk tea	-0.469	0.113	0.000	-0.772	-0.166
	Coffee	Water	1.644	0.113	0.000	1.341	1.947
		Coke	1.497	0.113	0.000	1.194	1.800
		Milk tea	1.175	0.113	0.000	0.872	1.478
	Coke	Water	0.147	0.113	1.000	-0.156	0.450
		Coffee	-1.497	0.113	0.000	-1.800	-1.194
		Milk tea	-0.322	0.113	0.030	-0.625	-0.019
	Milk tea	Water	0.469	0.113	0.000	0.166	0.772-
		Coffee	-1.175	0.113	0.030	-1.478	0.872
		Coke	0.322	0.113	0.000	0.019	0.625

ตาราง 11 (ต่อ)

Composite type			Solution type		Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval for Difference	
								Lower Bound	Upper Bound
Tetric N-Ceram Bulk Fill	Water	Coffee	-2.433	0.113	0.000	-2.736	-2.130		
		Coke	-0.234	0.113	0.242	-0.537	0.069		
		Milk tea	-0.275	0.113	0.098	-0.578	0.028		
		Coffee	Water	2.433	0.113	0.000	2.130	2.735	
			Coke	2.199	0.113	0.000	1.896	2.502	
			Milk tea	2.158	0.113	0.000	1.855	2.461	
		Coke	Water	0.234	0.113	0.242	-0.069	0.537	
			Coffee	-2.199	0.113	0.000	-2.502	-1.896	
			Milk tea	-0.041	0.113	1.000	-0.344	0.262	
	Milk tea	Water	0.275	0.113	0.098	-0.28	0.578		
		Coffee	-2.158	0.113	1.000	-2.461	-1.855		
		Coke	0.041	0.113	0.000	-0.262	0.344		
	Filtek™ One Bulk Fill	Water	Coffee	-3.567	0.113	0.000	-3.870	-3.264	
			Coke	-0.225	0.113	0.291	-0.528	0.078	
			Milk tea	-0.712	0.113	0.000	-1.015	-0.409	
		Coffee	Water	3.567	0.113	0.000	3.264	3.870	
			Coke	3.342	0.113	0.000	3.039	3.645	
			Milk tea	2.855	0.113	0.000	2.552	3.158	
		Coke	Water	0.225	0.113	0.291	-0.078	0.528	
			Coffee	-3.342	0.113	0.000	-3.645	-3.039	
			Milk tea	-0.487	0.113	0.000	-0.790	-0.184	
Milk tea		Water	0.712	0.113	0.000	0.409	1.015		
		Coffee	-2.855	0.113	0.000	-3.158	-2.552		
		Coke	0.487	0.113	0.000	0.184	0.790		
Filtek™ Z350XT		Water	Coffee	-4.987	0.113	0.000	-5.290	-4.684	
			Coke	-0.094	0.113	1.000	-0.397	0.209	
			Milk tea	-0.777	0.113	0.000	-1.080	-0.474	
	Coffee	Water	4.987	0.113	0.000	4.684	5.290		
		Coke	4.893	0.113	0.000	4.590	5.196		
		Milk tea	4.210	0.113	0.000	3.907	4.513		

ตาราง 11 (ต่อ)

Composite type		Solution type	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence	
						Interval for Difference	
						Lower Bound	Upper Bound
Filtek™ Z350XT	Coke	Water	0.094	0.113	1.000	-0.209	0.397
		Coffee	-4.893	0.113	0.000	-5.196	-4.590
		Milk tea	-0.683	0.113	0.000	-0.986	-0.380
	Milk tea	Water	0.777	0.113	0.000	0.474	1.080
		Coffee	-4.210	0.113	0.000	-0.4513	-3.907
		Coke	0.683	0.113	0.000	0.380	0.986

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ลัดณิ์ลิตา ภัทรรณาสมบัติ
วัน เดือน ปี เกิด	6 กุมภาพันธ์ 2533
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2558 ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น
ที่อยู่ปัจจุบัน	13/5 ซ.สุขุมวิท64/1 ถ.สุขุมวิท แขวงบางจาก เขตพระโขนง กรุงเทพมหานคร

