

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากในปัจจุบันผู้ป่วยมีความต้องการเรื่องความสวยงามเพิ่มขึ้น ดังนั้นการพัฒนาวัสดุบูรณะทางทันตกรรมจึงมีแนวโน้มในการผลิตวัสดุสีเหมือนฟันมากขึ้น ในยุคแรกๆ ทันตแพทย์ใช้ซิลิเกต (silicate) ในการบูรณะฟัน ซิลิเกตมีส่วนประกอบของผงอลูมินาและซิลิกาพร้อมกับกรดฟอสฟอริก (Ferracane, 2001) และถึงแม้ว่าซิลิเกตจะมีข้อดีคือมีฟลูออไรด์ซึ่งสามารถป้องกันฟันผุได้ (Baum, Phillips และ Lund, 1995) แต่ซิลิเกตมักมีผลทำให้เกิดการระคายเคืองต่อโพรงประสาทฟันเนื่องจากมีความเป็นกรด นอกจากนี้ยังสามารถละลายได้ในช่องปาก มีสีขุ่นไม่สวยงาม มีการแตกร้าวของฟันผิว และมีคุณสมบัติเชิงกลไม่ดีเพียงพอ ดังนั้นในยุคต่อมาจึงมีการใช้เรซินอะคริลิก (acrylic resin) ซึ่งเป็นวัสดุบูรณะที่ไม่มีวัสดุอัดแทรก (inorganic filler particles) แต่มีข้อดีกว่าซิลิเกต คือ แข็งแรงกว่า การละลายในช่องปากน้อยกว่า และมีเสถียรภาพของสี (color stability) มากกว่า อย่างไรก็ตามความแข็งแรงและความแข็งผิวของเรซินอะคริลิกยังไม่ดีเพียงพอไม่สามารถทนต่อแรงบดเคี้ยวสูงๆ ได้ ทำให้เกิดการสึกได้ง่ายอายุการใช้งานจึงสั้น และการที่เรซินอะคริลิกใช้เอมีน (amine) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เรซินอะคริลิกเกิดการเปลี่ยนสีได้ง่าย นอกจากนี้เรซินอะคริลิกมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นต่ำ จึงเกิดการบิดตัว (flex) เมื่อได้รับแรงบดเคี้ยวทำให้เกิดการรั่วตามขอบ (marginal leakage) เป็นผลให้น้ำลายสามารถซึมเข้าไปใต้วัสดุบูรณะและเกิดฟันผุซ้ำ เรซินอะคริลิกยังมีการหดตัวสูง มีโมโนเมอร์ตกค้างหลังการเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดอาการแพ้และอาการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อในช่องปาก (McCabe, 1990) เรซินอะคริลิกมีการเปลี่ยนรูปร่างหลังเกิดปฏิกิริยาถึงร้อยละ 5-8 และค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน (coefficient of thermal expansion) สูงกว่าฟัน 7-8 เท่า (Baum, Phillips และ Lund, 1995) จากข้อเสียข้างต้นปัจจุบันจึงไม่ใช้เรซินอะคริลิกในการบูรณะฟัน แต่นำมาใช้ทำครอบฟันหรือสะพานฟันชั่วคราวและใช้เป็นฐานของฟันปลอมถอดได้เท่านั้น (McCabe, 1990)

ในปี 1960 Bowen และ Buonocore (Ferracane, 2001) ได้ผลิตเรซินคอมโพสิตขึ้นเป็นครั้งแรก โดยมีการเติมวัสดุอัดแทรก (inorganic filler particles) เข้าไปในอินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์ (organic polymer matrix) และยึดเข้าด้วยกันโดยสารควบคู่ (coupling agent) (Baum, Phillips และ Lund, 1995) การที่เรซินคอมโพสิตมีองค์ประกอบหลายชนิดเนื่องจากต้องการให้มีคุณสมบัติเชิงกลต่างๆ ดีขึ้นจากข้อดีขององค์ประกอบแต่ละชนิดรวมกัน ดังนั้นเรซินคอมโพสิตจึงมีการขยายตัวต่ำเมื่อได้

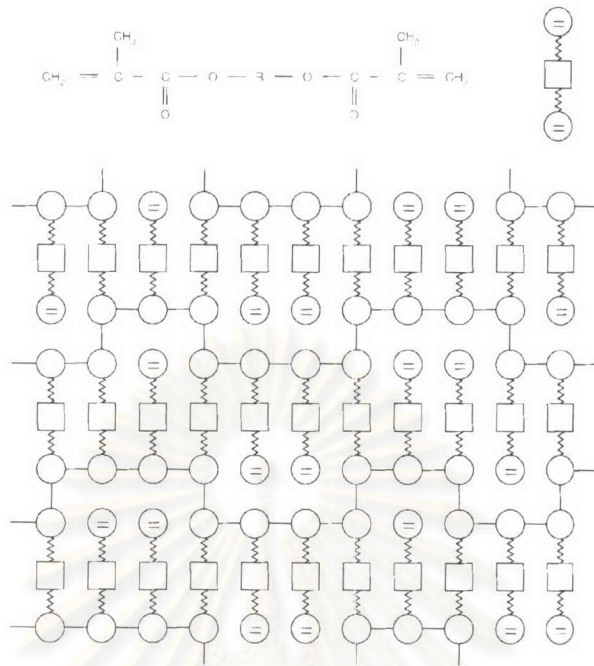
รับความร้อน มิติเสถียร ด้านทานการสึกกร่อนได้ดีเนื่องจากมีความแข็งแรงและความแข็งผิวเพิ่มขึ้น และมีสีคล้ายฟันธรรมชาติเนื่องจากวัสดุอัดแทรกที่ใช้มีความโปร่งแสง (McCabe, 1990) ในระยะแรกเรซินคอมโพสิตใช้บูรณะโพรงฟันแบบที่ 3 4 และ 5 ซึ่งเน้นเรื่องความสวยงามเป็นสำคัญ และยังใช้บูรณะโพรงฟันแบบที่ 1 ซึ่งรับแรงไม่มาก แต่หลังจากปี 1990 เป็นต้นมา ได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของเรซินคอมโพสิตรวมทั้งเทคนิคการบูรณะ เรซินคอมโพสิตจึงสามารถใช้ในการบูรณะโพรงฟันแบบที่ 2 และ โพรงฟันแบบที่ 6 ซึ่งเป็นบริเวณที่รับแรงในฟันหลังได้ (Craig และ Power, 2002)

องค์ประกอบของเรซินคอมโพสิต

เรซินคอมโพสิตมีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ อินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์ (organic polymer matrix) อนินทรีย์วัสดุที่กระจายในอินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์หรือวัสดุอัดแทรก (inorganic filler particles) และสารควบคู่ (coupling agent)

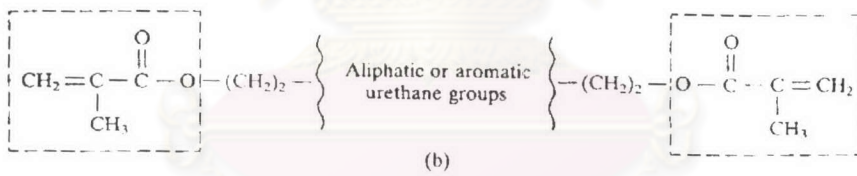
อินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์หรือโพลิเมอร์ (organic polymer matrix)

อินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์หรือโพลิเมอร์ที่ใช้กันมากในเรซินคอมโพสิตมี 2 ชนิด ได้แก่ ไดเมทาคริเลท (dimethacrylates) หรือ บีส-จีเอ็มเอ (Bis-GMA) (2,2-bis [4 (2-hydroxy-3-methacrylyloxy-propyloxy) - phenyl] propane) (ภาพที่ 1) และ ยูรีเทนไดเมทาคริเลท (urethane dimethacrylate) หรือยูดีเอ็มเอ (UDMA) (1,6-bis(methacrylyloxy-2-ethoxycarbonylamino)-2,4,4-trimethylhexane) (ภาพที่ 2) อินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์ทั้งสองชนิดมีคาร์บอนพันธะคู่อยู่ที่ส่วนปลายทั้งสองข้างของโมเลกุล ซึ่งจะช่วยในการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) บางผู้ผลิตอาจใช้ทั้งบีส-จีเอ็มเอและยูดีเอ็มเอเป็นอินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์ แต่เนื่องจากอินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์ทั้งสองชนิดมีความหนืด โดยเฉพาะบีส-จีเอ็มเอมีความหนืดค่อนข้างมากทำให้ใช้งานยาก ดังนั้นจึงต้องใส่สารที่ช่วยลดความหนืดพวกไตรเอทิลีน ไกรคอล ไดเมทาคริเลท (triethylene glycol dimethacrylate) หรือ TEGDMA (ภาพที่ 3) เพื่อให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสมเมื่อนำไปผสมกับวัสดุอัดแทรก นอกจากนี้ยังช่วยลดการหดตัวหลังการเกิดพอลิเมอร์ และทำให้คุณสมบัติเชิงกลต่างๆดีขึ้นช่วยยืดอายุการใช้งานของเรซินคอมโพสิต (Craig และ Power, 2002) TEGDMA เป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และมีคาร์บอนพันธะคู่ทั้ง 2 ข้างที่ส่วนปลาย ช่วยในการเกิดพอลิเมอร์ได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดพันธะที่แข็งแรงขึ้นหลังการเกิดพอลิเมอร์ (McCabe, 1990)



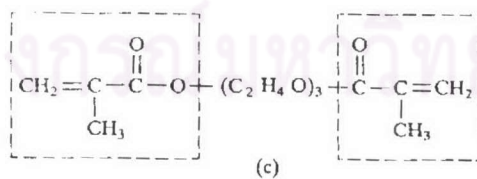
ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของบิส-จีเอ็มเอ

*คัดจาก Adhesion The Silent Revolution in Dentistry. Quintessence Publishing Co, Inc, 2000



ภาพที่ 2* โครงสร้างโมเลกุลของยูดีเอ็มเอ

*คัดจาก Applied Dental Materials. Blackwell Scientific Publications, 1990



ภาพที่ 3* โครงสร้างโมเลกุลของ TEGDMA

*คัดจาก Applied Dental Materials. Blackwell Scientific Publications, 1990

อินทรีย์วัสดุภาคที่กระจายในโพลีเมอร์เมทริกซ์ หรือวัสดุอัดแทรก (inorganic filler particles or fillers)

วัสดุอัดแทรกที่ใช้ในเรซินคอมโพสิตประกอบด้วยยกลาส หรือควอทซ์ หรือคอลลอยดอลซิลิกา หรือโบโรซิลิเกตกลาส (Baum, Phillips และ Lund, 1995) วัสดุอัดแทรกที่ใช้มีอนุภาคหลายขนาด ในยุคแรกๆ วัสดุอัดแทรกที่ใช้มีรูปร่างทรงกลมขนาดใหญ่ (large spherical particles or conventional) เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20-30 ไมครอน ต่อมาได้มีการปรับปรุงโดยใช้วัสดุอัดแทรกที่มีขนาดเล็กลง ได้แก่ ชนิดอนุภาคละเอียด (fine particles) มีขนาดอนุภาคประมาณ 0.4-3.0 ไมครอน และ ชนิดอนุภาคละเอียดมาก (microfine particle) ซึ่งมีขนาดอนุภาคประมาณ 0.04-0.2 ไมครอน (ตารางที่ 1) ในปี 2002 Craig และ Power ได้จำแนกเรซินคอมโพสิตตามชนิดของวัสดุอัดแทรกเป็น 2 ชนิด คือ เรซินคอมโพสิตชนิดไมโครไฮบริด (microhybrid composite resin) และเรซินคอมโพสิตชนิดไมโครฟิลล์ (microfilled composite resin) (ตารางที่ 2)

เรซินคอมโพสิตชนิดไมโครไฮบริด ประกอบด้วยยกลาสที่มีรูปร่างไม่แน่นอน เช่น โบโรซิลิเกตกลาส ลิเทียมอะลูมิเนียมซิลิเกต แบเรียมอะลูมิเนียมซิลิเกต สตรอนเตียมกลาส ซิงค์กลาส หรือควอทซ์ที่มีขนาดเท่าๆกัน โดยทั่วไปเรซินคอมโพสิตชนิดไมโครไฮบริดประกอบด้วยวัสดุอัดแทรกชนิดละเอียด 2 ชนิดขึ้นไปรวมกับชนิดละเอียดมากร้อยละ 5-15 การกระจายแบบนี้จะทำให้อนุภาคชิดกันมากขึ้น อนุภาคที่มีขนาดเล็กจะแทรกตัวเข้าไประหว่างอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ เรซินคอมโพสิตชนิดไมโครไฮบริดประกอบด้วยวัสดุอัดแทรกร้อยละ 60-70 โดยปริมาตร หรือ ร้อยละ 77-84 โดยน้ำหนัก (Craig และ Power, 2002) อาจจำแนกเรซินคอมโพสิตชนิดไมโครไฮบริดเป็น 2 แบบ ได้แก่ เรซินคอมโพสิตชนิดมินิฟิลล์ไฮบริด (minifills hybrid) มีขนาดอนุภาคประมาณ 1-2 ไมครอน และเรซินคอมโพสิตชนิดมิดิฟิลล์ไฮบริด (midifills hybrid) มีขนาดอนุภาคประมาณ 3-8 ไมครอน ถือได้ว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไมโครไฮบริดเป็นเรซินคอมโพสิตที่ให้ทั้งความสวยงามและความคงทนในการใช้งานจึงใช้ได้ทั้งในการบูรณะฟันหน้าและฟันหลัง (Ferracane, 2001)

เรซินคอมโพสิตชนิดไมโครฟิลล์ ประกอบด้วยซิลิกาที่มีวัสดุอัดแทรกชนิดละเอียดมาก ซึ่งการที่วัสดุอัดแทรกมีขนาดอนุภาคที่ละเอียดมากนั้นทำให้วัสดุอัดแทรกมีพื้นที่ผิวมากถึง 100-300 ตารางเมตรต่อ 1 กรัม จึงเป็นเหตุผลที่บริษัทผู้ผลิตสามารถใส่วัสดุอัดแทรกเพียงร้อยละ 25 โดยปริมาตร หรือ ร้อยละ 38 โดยน้ำหนักก็เพียงพอสำหรับความเข้มข้นในการใช้งานทางคลินิก แต่วัสดุอัดแทรกชนิดละเอียดมากไม่สามารถผสมกับอินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์ได้โดยตรงเนื่องจากวัสดุอัดแทรกที่มีขนาดละเอียดมาก

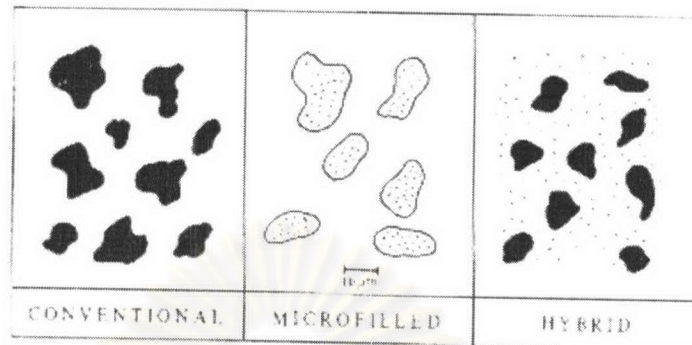
มักจับตัวเป็นก้อนทำให้การกระจายของวัสดุอุดแทรกไม่สม่ำเสมอ จึงนิยมเตรียมวัสดุอุดแทรกให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคใหญ่ขึ้น เรียกว่า วัสดุอุดแทรกพรีพอลิเมอร์เรซิน (prepolymerized resin fillers) ซึ่งเตรียมโดยใช้วัสดุอุดแทรกชนิดอนุภาคชนิดละเอียดมากผสมกับเรซินที่เจือจาง (diluted resin) และทำให้แข็งโดยใช้ความร้อน ซึ่งจะทำให้ส่วนอนินทรีย์วัฏภาคเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 32-50 โดยปริมาตร หรือ ร้อยละ 50-60 โดยน้ำหนัก เป็นการเพิ่มความแข็งแรง และทำให้ใช้งานง่ายขึ้น รวมทั้งมีความสวยงามและขัดแต่งง่าย การศึกษาส่วนใหญ่พบว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไมโครฟิลล์ไม่สามารถทนแรงบดเคี้ยวได้ดีเทียบเท่ากับเรซินคอมโพสิตชนิดไมโครไฮบริด (McCabe, 1990 ; Ferracane, 2001 ; Craig และ Power, 2002) แต่เมื่อปี 1982 Suzuki และคณะได้ผลิตเรซินคอมโพสิตชนิดไมโครฟิลล์ที่มีวัสดุอุดแทรกเป็นสารอินทรีย์ (organic filler particles) โดยใช้ไตรเมโทลโพรเพน ไตรเมทาคริเลท (trimethylol propane trimethacrylate, TMPT) เป็นวัสดุอุดแทรก ซึ่งจะมีผลทำให้เรซินคอมโพสิตชนิดไมโครฟิลล์มีความต้านทานต่อการดูดน้ำ และการสึกกร่อนมากขึ้น รวมทั้งทำให้คุณสมบัติทางกลต่างๆ ดีขึ้นด้วย

ตารางที่ 1 ขนาดของวัสดุอุดแทรกชนิดต่างๆ

ชนิดของวัสดุอุดแทรก	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ไมครอน)
large spherical particles (conventional)	20-30
fine particles	0.4-3.0
microfine particle	0.04-0.2

ตารางที่ 2 วัสดุอุดแทรกของเรซินคอมโพสิตแต่ละชนิด

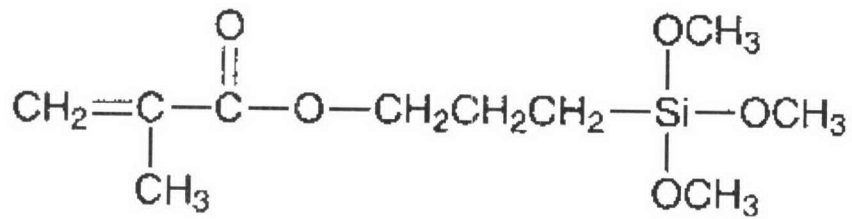
ชนิดของเรซินคอมโพสิต	วัสดุอุดแทรกที่ใช้
microhybrid	fine particles 2 ชนิด หรือมากกว่า + microfine particles 5-15 %
microfilled	microfine particles



ภาพที่ 4* วัสดุอุดแทรกที่ใช้ในเรซินคอมโพสิต *คัดจาก Applied Dental Materials.Blackwell Scientific Publications,1990

สารควบคู่ (coupling agent)

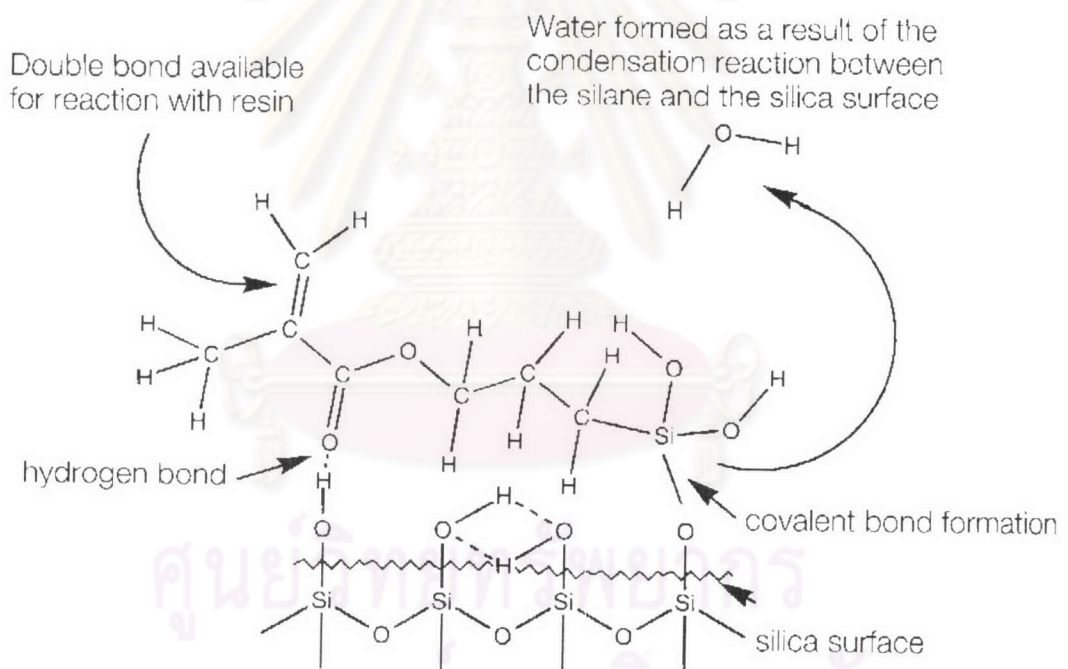
สารควบคู่เป็นตัวเชื่อมระหว่างอินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์และวัสดุอุดแทรก เรซินคอมโพสิตที่มีคุณสมบัติทางกลที่ดีต้องมีการยึดที่ดีระหว่างอินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์กับวัสดุอุดแทรก การยึดกันทำได้โดยเคลือบผิวของวัสดุอุดแทรกด้วยสารควบคู่ก่อนที่จะนำมาผสมกับอินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์ สารควบคู่ส่วนใหญ่คือพวกสารประกอบอินทรีย์ซิลิกอน (organic silicon compound) หรือไซเลน (silane) (Craig และ Power, 2002 ; Ferracane, 2001 ; Baum, Phillips และ Lund, 1995) สารควบคู่ที่ใช้ได้แก่ แกมมา-เมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมธอกซีไซเลน (γ -methacryloxypropyltrimethoxysilane) (McCabe,1990) (ภาพที่ 5) ระหว่างการเคลือบผิวของวัสดุอุดแทรกด้วยไซเลน กลุ่มเมธอกซีของไซเลนจะไฮโดรไลซ์ (hydrolyze) โดยการดึงกลุ่มไฮดรอกซี (hydroxy group) จากวัสดุอุดแทรก และเกิดปฏิกิริยาควบแน่น (condense) กับกลุ่มไฮดรอกซีอื่นๆ บนไซเลนที่ผ่านการไฮโดรไลซ์แล้ว เพื่อสร้างเป็นฟิล์มของโพลีเมอร์ชนิดเดียวกัน (homopolymer film) บนผิวของวัสดุอุดแทรก ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาควบแน่นจะเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างซิลิกาของไซเลนและออกซิเจนบนผิวของวัสดุอุดแทรก และเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างออกซิเจนของไซเลนและไฮโดรเจนบนผิวของวัสดุอุดแทรก ผลจากการเกิดปฏิกิริยาควบแน่นจะได้น้ำ 1 โมเลกุล (Roulet และ Degrange, 1999) (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 5*

โครงสร้างโมเลกุลของสารควบคู่

*คัดจาก Restorative Dental Materials. The C.V. Mosby Company, 2000

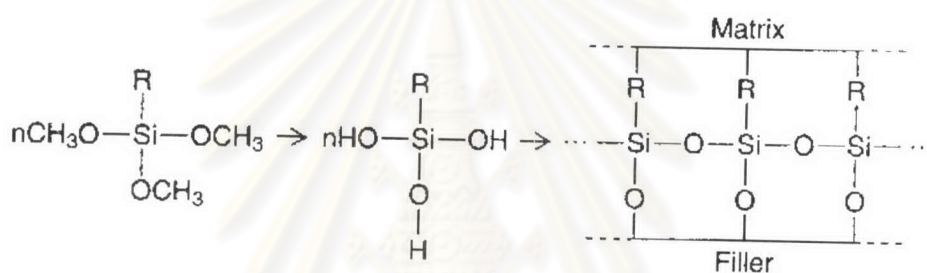


ภาพที่ 6*

การเกิดปฏิกิริยาควบแน่นของไฮเลนบนผิวของวัสดุอัดแทรก

*คัดจาก Adhesion The Silent Revolution in Dentistry. Quintessence Publishing Co, Inc, 2000

ระหว่างการแข็งตัวของอินทรีย์โพลีเมอร์แมทริกซ์ คาร์บอนพันธะคู่ของไซเลนจะทำปฏิกิริยากับ คาร์บอนพันธะคู่ของอินทรีย์โพลีเมอร์แมทริกซ์ ดังนั้นจะมีการยึดกันระหว่างอินทรีย์โพลีเมอร์แมทริกซ์ และวัสดุอุดแทรกโดยมีสารควบคู่เป็นตัวเชื่อม (Craig และ Power, 2002) (ภาพที่ 7) เมื่อมีแรงลงบนเรซินคอมโพสิตแรงจะถูกส่งผ่านจากวัสดุอุดแทรกที่แข็งแรง ไปยังอินทรีย์โพลีเมอร์แมทริกซ์ที่แข็งแรงน้อยกว่า ทำให้ความแข็งแรงของเรซินคอมโพสิตอยู่ระหว่างความแข็งแรงของวัสดุอุดแทรกและอินทรีย์โพลีเมอร์แมทริกซ์ (Calais และ Solderholm, 1988) การยึดกันระหว่างวัสดุอุดแทรกและอินทรีย์โพลีเมอร์แมทริกซ์อาจเสื่อมลงได้ ถ้ามีการดูดน้ำของเรซินคอมโพสิตในระหว่างการใช้งานเนื่องจากการเสื่อมสภาพของสารควบคู่ (Craig และ Power, 2002)



ภาพที่ 7* การยึดกันระหว่างอินทรีย์โพลีเมอร์แมทริกซ์และวัสดุอุดแทรกโดยมีสารควบคู่เป็นตัวเชื่อม
*คัดจาก Restorative Dental Materials. The C.V. Mosby Company, 2000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเกิดพอลิเมอร์ของเรซินคอมโพสิต

เรซินคอมโพสิตแบ่งตามการเกิดพอลิเมอร์ได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ ชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาทางเคมี (chemical cured) ชนิดบ่มตัวด้วยแสง (light cured) และ ชนิดบ่มตัวด้วยแสงและปฏิกิริยาทางเคมี (dual cured)

เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาทางเคมี

เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาทางเคมี ใช้เปอร์ออกไซด์เป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา และเอมีนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Ferracane, 2001 ; Baum, Phillips และ Lund, 1995) โดยทั่วไปไม่มีวิธีการผสมหลายแบบ ระบบที่นิยมใช้คือ แบบ 2 หลอด (two-paste system) แต่ละหลอดมีอินทรีย์พอลิเมอร์แมทริกซ์และวัสดุอัดแทรกผสมอยู่ โดยหลอดแรกมีเปอร์ออกไซด์ เช่น เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา อยู่ร้อยละ 1 ส่วนหลอดที่สองมีเอมีน เช่น N,N' dimethyl-p-toluidine หรือ p-tolyl diethanolamine เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อยู่ร้อยละ 0.5 ทั้งสองหลอดเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องโดยเปอร์ออกไซด์ในหลอดแรกทำปฏิกิริยากับเอมีนในหลอดที่สองให้อนุมูลอิสระ มาทำปฏิกิริยากับคาร์บอนพันธะคู่เกิดพอลิเมอร์ เมื่อนำ 2 หลอดมาผสมกันจะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว (McCabe, 1990) ระยะเวลาในการผสมโดยทั่วไปประมาณ 2 นาที (Ferracane, 2001) การใช้มือผสมเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาทางเคมีจะทำให้มีรูพรุนในเนื้อของวัสดุทำให้ความแข็งแรงน้อยกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสง (McCabe, 1990)

เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสง

เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงประกอบด้วยเอมีนและแคมโฟควิโนนซึ่งเสถียรอยู่ในส่วนอินทรีย์พอลิเมอร์แมทริกซ์ที่อุณหภูมิห้องเมื่อไม่ได้รับแสง แคมโฟควิโนน (camphoquinone) โดยทั่วไปจะมีอยู่ประมาณร้อยละ 0.2 ถึง 1.0 เป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาเมื่อได้รับแสง (photo-initiator) แคมโฟควิโนนจะดูดแสงสีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร (Ferracane, 2001 ; Baum, Phillips และ Lund, 1995) หลังจากนั้นการเกิดพอลิเมอร์ถูกเร่งโดยเอมีน (amine) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerator) มีคาร์บอนพันธะคู่เป็นตัวทำให้เกิดพอลิเมอร์อย่างรวดเร็ว หลังการฉายแสงใน 10 นาทีแรกเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงจะเกิดพอลิเมอร์ร้อยละ 75 และปฏิกิริยาจะเกิดต่อไปเรื่อยๆ จนถึง 24 ชั่วโมง คาร์บอนพันธะคู่ไม่ได้เกิดพอลิเมอร์ทุกตัว ถ้าผิวของเรซินคอมโพสิตสัมผัสอากาศก็จะยับยั้งการเกิดพอลิเมอร์ได้ โดยทั่วไปมีคาร์บอนพันธะคู่ที่ไม่ได้เกิดพอลิเมอร์เหลือประมาณ

ร้อยละ 25 การป้องกันการเกิดพอลิเมอร์ที่ไม่สมบูรณ์ทำได้โดยใช้แผ่นกั้น (transparent matix) ขณะบูรณะฟัน ซึ่งจะลดการสัมผัสกับอากาศและยังช่วยให้ผิวของเรซินคอมโพสิตเรียบและง่ายต่อการขัดแต่ง (Ferracane, 2001) การเกิดพอลิเมอร์ของเรซินคอมโพสิตที่บ่มตัวด้วยแสงขึ้นอยู่กับระยะทางจากเรซินคอมโพสิตถึงแหล่งกำเนิดแสง ถ้าเรซินคอมโพสิตอยู่ไกลจากแหล่งกำเนิดแสงมากจะเกิดพอลิเมอร์ได้น้อย ดังนั้นในการบูรณะไม่ควรใช้เรซินคอมโพสิตแต่ละชั้นหนาเกินไป โดยทั่วไปควรบูรณะเป็นชั้นๆ และแต่ละชั้นมีความหนาไม่เกิน 1 มิลลิเมตร (Craig และ Power, 2002)

เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงและปฏิกิริยาทางเคมี

เรซินคอมโพสิตชนิดนี้จะเกิดการบ่มตัวด้วยแสงก่อน หลังจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีในบริเวณที่แสงเข้าไปไม่ถึง เรซินคอมโพสิตชนิดนี้ได้แก่ เรซินคอมโพสิตที่ใช้ทำแกนฟัน (core) วัสดุบูรณะชั่วคราว (temporary restoration) และ กาวยึดเรซิน (resin cement) (McCabe, 1990 ; Braga, Ferracane และ Condon, 2002 ; Craig และ Power, 2002 ; Foxton และคณะ, 2003)

คุณสมบัติเชิงกลของเรซินคอมโพสิต

ปัจจุบันเรซินคอมโพสิตเป็นวัสดุบูรณะสีเหมือนฟันที่มีความแข็งแรง นอกจากนี้ใช้บูรณะฟันเพื่อความสะดวกแล้วยังสามารถใช้บูรณะด้านบดเคี้ยวของฟันหลังได้ด้วย แต่เมื่อผ่านการใช้งานไปนานๆ เรซินคอมโพสิตมักจะมีคุณสมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงไป เช่น มีความแข็งแรงลดลง (Soderholm, 1983) มีการดูดน้ำ มีการละลายน้ำ (Soderholm, 1983 ; Oysaed และ Ruyter, 1986 ; Dietschi, 1994) และความต้านทานการสึกกร่อน (Soderholm, 1983) ซึ่งการสึกของเรซินคอมโพสิตเป็นปัญหาที่สำคัญต่อการบูรณะฟันหลัง การสึกของเรซินคอมโพสิตทำให้สูญเสียเสถียรภาพของการสบฟัน และจะก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบบดเคี้ยวได้ (Denbo, 1990 ; McIntyre, 2000)

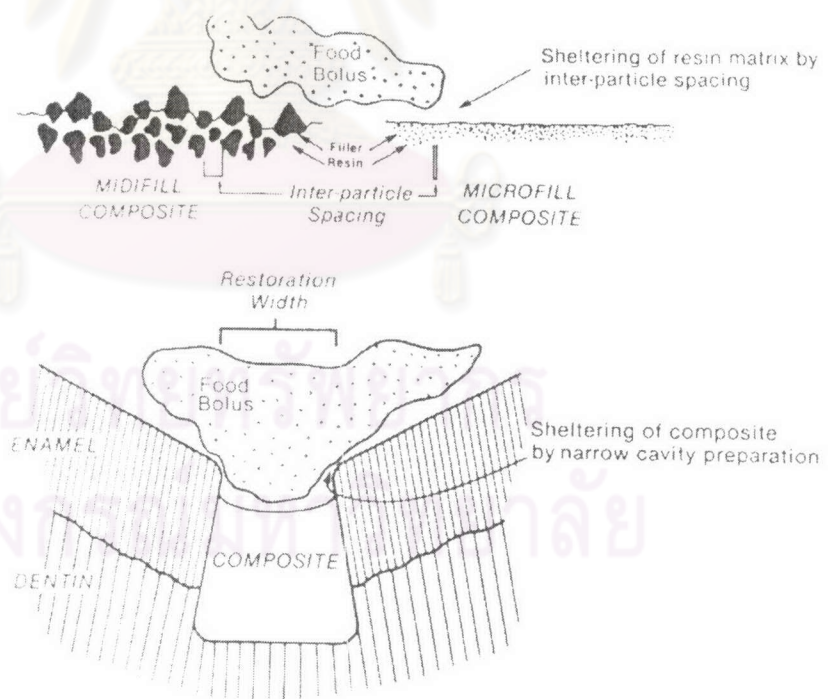
สาเหตุของการสึกของเรซินคอมโพสิต

สาเหตุของการสึกของเรซินคอมโพสิตมีหลายทฤษฎี ได้แก่ ทฤษฎีไมโครแฟรกเจอร์ (microfracture theory) ทฤษฎีโพรเทคชัน (protection theory) ทฤษฎีไฮโดรไลซิส (hydrolysis theory) และทฤษฎีการกัดกร่อนทางเคมี (chemical degradation theory) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. **ทฤษฎีไมโครแฟรกเจอร์** (microfracture theory) กล่าวว่า การสึกของเรซินคอมโพสิตเกิดขึ้นเนื่องจากขณะขัดแต่งอาจทำให้เกิดรอยแตกเล็กๆ (microfracture) เกิดขึ้นทำให้ผิวของเรซินคอมโพสิต

สึกได้ง่าย และหลังการขัดแต่งถ้าพื้นผิวของเรซินคอมโพสิตไม่เรียบ จะทำให้พื้นผิวบริเวณที่ยื่นออกมา รับแรงบดเคี้ยวมากกว่าส่วนอื่นๆ นอกจากนี้ขณะที่เรซินคอมโพสิตสัมผัสกับฟันคู่สบโดยไม่มีอาหารคั้น กลางจะมีแรง (stress) ที่ผิวของเรซินคอมโพสิตและทำให้เกิดการสึกได้ (Leinfelder, 1986)

2.ทฤษฎีโพรเทคชั่น (protection theory) กล่าวว่า ถึงแม้เรซินคอมโพสิตจะไม่มีสัมผัสกับ ฟันคู่สบ ชิ้นส่วนเล็กๆของอาหารก็สามารถทำให้มีการสึกของเรซินคอมโพสิตได้ การป้องกันการสึกของ เรซินคอมโพสิตมี 2 วิธี ได้แก่ การป้องกันการสึกในระดับมหภาค (macroscopic basis) คือ การเตรียม โพรงฟันให้แคบ (narrow cavity preparation) เรซินคอมโพสิตจะมีการสึกน้อยลง และการป้องกันการ สึกในระดับจุลภาค (microscopic basis) คือ เรซินคอมโพสิตที่มีวัสดุอัดแทรกอยู่ชิดกันและมีช่องว่าง ระหว่างอนุภาคของวัสดุอัดแทรกน้อยกว่า 0.1 ไมครอน จะมีการสึกลดลงเนื่องจากวัสดุอัดแทรกแต่ละ อนุภาคจะช่วยป้องกันไม่ให้อินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์มีการสึก ดังนั้นในเรซินคอมโพสิตชนิดไมโครฟิลล์ และชนิดไมโครไฮบริดจะมีอัตราการสึกที่ค่อนข้างต่ำเพราะมีวัสดุอัดแทรกที่มีขนาดอนุภาคละเอียดและ อยู่ชิดกัน (Jorgensen และคณะ, 1979) (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8*

ทฤษฎีโพรเทคชั่น (protection theory)

*คัดจาก Dental Materials 8:305- 309, September, 1992

3. ทฤษฎีไฮโดรไลซิส (hydrolysis theory) กล่าวว่า เมื่อเรซินคอมโพสิตอยู่ในช่องเคลือบจะมีการดูดน้ำทำให้สารควบคู่เสื่อมสภาพ อีออนบางชนิดในวัสดุอุดแทรกจะหลุดออกมาจากอินทรีย์โพลีเมอร์แมทริกซ์ ทำให้เกิดการสึกของเรซินคอมโพสิต (Soderholm, 1981)

4. ทฤษฎีการกัดกร่อนทางเคมี (chemical degradation theory) กล่าวว่า ส่วนประกอบทางเคมีจากอาหารและน้ำลายจะถูกดูดซับโดยอินทรีย์โพลีเมอร์แมทริกซ์ อินทรีย์โพลีเมอร์แมทริกซ์จะอ่อนตัวและถูกทำลายทำให้เกิดการสึกของเรซินคอมโพสิต (Wu และคณะ, 1984) ทฤษฎีนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Ferracane, Berge และ Condon ในปี 1998 ซึ่งพบว่า การแช่เรซินคอมโพสิตในน้ำอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 3 ปี ทำให้ความแข็งผิวและความแข็งแรงของเรซินคอมโพสิตลดลงเนื่องจากอินทรีย์โพลีเมอร์แมทริกซ์มีการดูดน้ำและมีการอ่อนตัว

เนื่องจากการศึกษาอัตราการสึก (wear rate) เป็นขบวนการที่ยุ่งยาก ต้องใช้เครื่องมือเฉพาะและมีข้อจำกัดคือไม่สามารถจำลองการเคลื่อนของฟันได้เหมือนในช่องปากขณะบดเคี้ยว นอกจากนี้ อาจมีความผิดพลาดจากปัจจัยก่อกรวนต่างๆ จึงได้มีผู้พยายามศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสึกและความแข็งผิว (hardness) ของเรซินคอมโพสิตเพื่อที่จะนำความแข็งผิวซึ่งทำได้ง่ายไม่ซับซ้อนมาทำนายอัตราการสึกของเรซินคอมโพสิต พบว่า ความแข็งผิวมีอิทธิพลต่ออัตราการสึก และ อัตราการสึกมีความสัมพันธ์กับความแข็งผิวของเรซินคอมโพสิต (Jorgensen, 1980 ; Leinfelder, Wilder และ Teixeira, 1986 ; Anusavice, 1996 ; Peutzfeldt และ Asmussen, 1996 ; Mandikos และคณะ, 2001 ; Say และคณะ, 2003)

ความแข็งผิวของวัสดุ (hardness)

ความแข็งผิวเป็นคุณสมบัติที่เกิดจากการวัดโดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ทำการกดลงไปบนผิวของวัสดุนั้น โดยสิ่งที่ใช้ในการกดจะมีรูปร่างที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวซึ่งจะสร้างจากวัสดุที่มีความแข็งผิวสูง เช่น โลหะ หรือเพชร แล้วนำมาวัดรอยกดที่อยู่บนพื้นผิว คำนวณออกมาเป็นค่าความแข็งผิว (Craig และ Power, 2002) หรือความแข็งผิวคือความต้านทานของวัสดุชนิดหนึ่งต่อการกดหรือการทะลุทะลวง (Brien, 1997)

ความแข็งผิวมีหน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่ เช่น กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร ความแข็งผิวสามารถบ่งบอกถึงความยากง่ายของการขัดชิ้นงานและความต้านทานต่อรอยขีดขูด คุณสมบัตินี้จึงมีความสำคัญในทางทันตกรรม เพราะการขัดชิ้นงานเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้เกิดความสวยงาม และการเป็นรอยขีดข่วนและส่งผลต่อความล้าของวัสดุนั้น

เครื่องมือวัดความแข็งผิว (Brien, 1997 ; Anusavice, 1996)

เครื่องมือวัดความแข็งผิว เรียกว่า เครื่องวัดความแข็ง (hardness tester) หลักการหาค่าความแข็งผิวคือใช้น้ำหนักกดผ่านหัวกด (indenter) ไปยังผิวของวัสดุนั้น ทำให้เกิดรอยยุบตัว พื้นที่ผิวที่ถูกกดจะเป็นเนื้อที่ที่วัสดุนั้นต้านทานต่อน้ำหนักที่กดในเวลาที่กำหนด

การทดสอบความแข็งผิวมีหลายแบบ ได้แก่ บริเนลล์ (Brinell) นูป (Knoop) วิคเกอร์ (Vickers) ร็อกเวลล์ (Rockwell) และ ชอร์ เอ (Shore A) (ภาพที่ 9) แต่ละวิธีใช้ทดสอบวัสดุต่างชนิดกัน การเลือกวิธีทดสอบขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทดสอบ ช่วงของความแข็งผิวที่คาดว่าจะได้ (expected hardness range) และตำแหน่งที่ต้องการวัดบนวัสดุ (desired degree of localization) การทดสอบความแข็งผิว จะวัดรอยกดที่เกิดจากการกดของหัวกดผ่านทางกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งความกว้างของรอยกดจะมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งผิวเมื่อใช้แรงและหัวกดขนาดเท่ากัน วัสดุที่มีความแข็งผิวน้อยจะให้เส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกดมากกว่าวัสดุที่มีความแข็งผิวมาก ถ้าค่าของความแข็งผิวสูงก็จะมีค่าตัวเลขความแข็งผิวสูงตามไปด้วย

ค่าความแข็งผิวบริเนลล์ (Brinell hardness number-BHN)

หัวกดของบริเนลล์เป็นลูกเหล็กทรงกลมขนาดเล็ก ซึ่งจะให้แรงกดลงบนผิววัสดุที่จำเพาะ รอยกดเป็นวงกลม ค่าความแข็งผิวหาได้จากเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด ใช้ทดสอบวัสดุที่มีคุณสมบัติอ่อนนุ่ม (ductility) เท่านั้น เหมาะสำหรับทดสอบความแข็งของโลหะ

ค่าความแข็งผิวร็อกเวลล์ (Rockwell hardness number- R_A, R_B, \dots, R_C)

หัวกดของร็อกเวลล์เป็นหัวกดที่เป็นลูกเหล็กกลม หรือหัวกดรูปเพชร ใช้วัดความแข็งผิวของเหล็กกล้า (steel) การวัดค่าความแข็งร็อกเวลล์จะนำมาจัดเป็นค่าร็อกเวลล์สเกล (จัดเรียงเป็น A,B,C สเกล) ความแตกต่างของสเกลหมายถึงระดับความแข็งผิวที่ต่างกัน (Brien, 1997) การวัดความแข็งผิวแบบร็อกเวลล์มักนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรม

ค่าความแข็งผิวชอร์ เอ (Shore A durometer)

วิธีนี้จะใช้วัดความแข็งผิวของยางและวัสดุที่อ่อนนุ่ม ชอร์ เอ สเกลจะแบ่งเป็น 0 ถึง 100 หน่วย ถ้าวัสดุถูกกดได้มากก็จะมีค่าสเกลเป็น 0 แต่ถ้าไม่สามารถทำให้เกิดรอยกดได้เลยจะมีสเกลเป็น 100 วัสดุที่นำมาวัดด้วยวิธีนี้ได้แก่ วัสดุฐานฟันปลอม (denture liners-resilient) วัสดุพิมพ์ปาก วัสดุบุรณะช่องปากใบหน้าและขากรรไกร (maxillofacial materials) และวัสดุป้องกันริมฝีปาก (mouth protector materials)

ค่าความแข็งผิวนูปล (Knoop hardness number-KNH)

หัวกดของนูปลทำมาจากเพชรมีรูปร่างและขอบเขตของหัวกดแตกต่างกัน นูปลจะได้รอยกดเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่มีเส้นทะแยงมุมสองเส้นยาวไม่เท่ากัน การหาค่าความแข็งผิวนูปลจะคำนวณจากเส้นทะแยงมุมที่ยาวกว่าเพียงเส้นเดียว โดยคำนวณจากสูตร

$$KNH = L / l^2 C_p$$

โดยที่ L คือ น้ำหนักที่ใช้กด หน่วยเป็นกิโลกรัม
 l คือ ความยาวของเส้นทะแยงมุมที่ยาวกว่า
 C_p คือ ค่าคงที่ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของค่า l ต่อ พื้นที่ของรอยกด

การทดสอบสามารถเปลี่ยนน้ำหนักหัวกดได้หลายค่า ผลที่ได้จะแปรตามน้ำหนักที่กดและลักษณะของวัสดุนั้น การทดสอบความแข็งนูปลเหมาะสำหรับชิ้นตัวอย่างที่เรียบและมัน

วัสดุที่นำมาทดสอบได้แก่ ตัวขัด (abrasive) กาวยึด (cementing-luting) ซีเมนต์ไลเนอร์ (cement liner) โลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม เรซินที่ใช้ทำฟันปลอม (denture resin) ทอง และพอร์ซเลน

ค่าความแข็งผิวแบบวิกเกอร์ (Vickers hardness number-VHN)

วิธีนี้ใช้หัวกดเป็นรูปปิระมิดที่ทำจากเพชรซึ่งมีมุม 136 องศา เหมาะสำหรับวัดความแข็งผิวของวัสดุที่มีความเปราะ ดังนั้นจึงเหมาะกับการวัดความแข็งผิวในฟันธรรมชาติและฟันปลอมนอกจากนี้ยังสามารถใช้วัดความแข็งผิวของโลหะผสมทอง (dental casting gold alloys) ได้ การวัดความแข็งผิวแบบวิกเกอร์มีหลักการคล้ายการทดสอบความแข็งนูปลและบริเนลล์ ต่างกันที่วิธีนี้ใช้หัวกดรูปปิระมิด แรงกดทำให้เกิดรอยกดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสบนผิววัสดุ ค่าความแข็งของวัสดุจะคำนวณจากเส้นทะแยงมุมทั้งสองเส้นของรูปสี่เหลี่ยม

การทดสอบความแข็งบริเนลล์และวิกเกอร์ต่างถูกนำมาใช้วัดความแข็งของโลหะผสมที่ใช้ในทางทันตกรรม ค่าความแข็งของวิกเกอร์และบริเนลล์มีความสัมพันธ์กัน ดังสูตร

$$\text{VHN} = 1.05 \times \text{BHN}$$

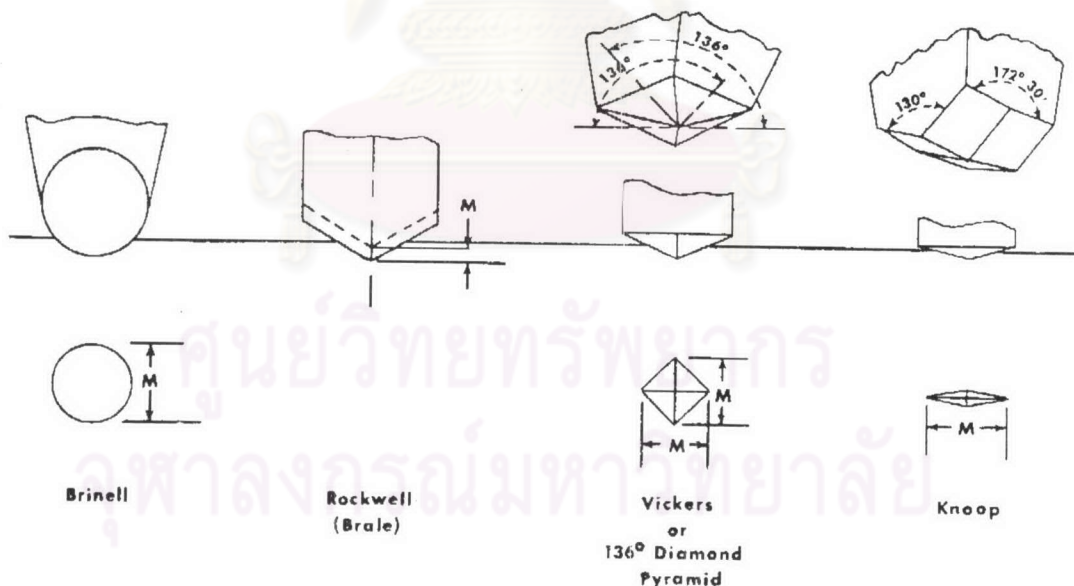
การคำนวณค่าความแข็งผิวแบบวิกเกอร์ คำนวณได้จากสูตร

$$\text{HV} = 1.854 \text{ L/d}^2$$

โดยที่ L คือ แรงที่ใช้ในการทดสอบ หน่วยเป็นกิโลกรัม

d คือ เส้นทแยงมุมเฉลี่ยที่เกิดจากหัวกดทดสอบ หน่วยเป็นไมครอน

การวัดความแข็งผิวรูปและวิกเกอร์จัดเป็นการทดสอบความแข็งผิวจุลภาค (microhardness test) ใช้แรงกดน้อยกว่า 9.8 นิวตัน รอยกด (indentation) จะเล็กและตื้น โดยมีความลึกของรอยกดน้อยกว่า 19 ไมครอน ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับวัดความแข็งผิวของวัสดุที่มีขนาดเล็กและบาง ซึ่งต่างจากการทดสอบความแข็งผิวบริเนลล์และร็อกเวลล์ ที่จัดเป็นการวัดความแข็งผิวมหภาค (macrohardness test) และใช้แรงกดสูงกว่า จึงเหมาะสำหรับวัดความแข็งผิวของวัสดุที่มีขนาดใหญ่ (Craig และ Power, 2002 ; Anusavice, 1996)



ภาพที่ 9* รูปร่างของหัวกดและรอยกดของวิธีทดสอบความแข็งผิวแบบต่างๆ

*คัดจาก Phillips' science of dental materials.W.B. Saunders Company,1996

การวัดความแข็งแรงผิวของเรซินคอมโพสิตเป็นการวัดความแข็งแรงผิวจุลภาค โดยทั่วไปนิยมใช้ทั้งการวัดค่าความแข็งแรงผิวรูป (Schulze และคณะ, 2003 ; Arusavice, 1996) และการวัดค่าความแข็งแรงผิววิกเกอร์ (Chadwick และคณะ, 1990 ; McCabe, 1990) ความแข็งแรงผิวของเรซินคอมโพสิตโดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 30 – 90 VHN (McCabe, 1990) หรือ 25-60 KHN (Anusavice, 1996) โดยทั่วไปเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงจะมีความแข็งแรงผิวมากกว่าชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาทางเคมี (Jorgensen, 1980) ซึ่งอาจเป็นเพราะผิวของเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงมีรูพรุนน้อยกว่าชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งมักเกิดรูพรุนที่ผิวของเรซินคอมโพสิตเนื่องจากมีอากาศเข้าไปขณะผสมด้วยมือ (Jorgensen, 1980 ; Leinfelder และคณะ, 1975) เรซินคอมโพสิตเมื่ออยู่ในของเหลวเป็นเวลานานจะมีความแข็งแรงผิวลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าอยู่ในของเหลวที่มีความเป็นกรด (Chadwick และคณะ, 1990) หรือการแช่อยู่ในของเหลวอาจทำให้เกิดจากการหลุดของอีออนบางชนิดจากวัสดุอัดแทรก (Solderholm, 1983) หรือการดูดน้ำทำให้เกิดรอยร้าวระหว่างผิวของอินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์และวัสดุอัดแทรก (Solderholm และคณะ, 1984) และทำให้ความแข็งแรงผิวลดลง

การดูดน้ำและการละลายน้ำของเรซินคอมโพสิต (water sorption and water solubility)

การดูดน้ำของเรซินคอมโพสิต

การดูดน้ำ หมายถึง ความสามารถในการดูดซับและดูดซึมน้ำเข้าไปขณะใช้งาน บ่งบอกถึงความเป็นไปได้ในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เพราะวัสดุที่มีการดูดน้ำมากจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้มาก (Craig และ Power, 2002) เรซินคอมโพสิตมักเกิดการดูดน้ำและการละลายน้ำไปพร้อมๆกัน ในปี 1979 Pearson พบว่า เมื่อนำเรซินคอมโพสิตมาแช่ในน้ำเป็นระยะเวลาอันยาวนานจะมีการดูดน้ำอย่างรวดเร็ว ส่วนการละลายน้ำจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในปี 1986 Oysaed และ Ruyter พบว่าเรซินคอมโพสิตมีอัตราการดูดน้ำเร็วที่สุดในช่วงสัปดาห์แรกและจะค่อยๆลดลงจนเข้าสู่สมดุลเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 1-2 เดือน ในปี 2002 Yab และ Wee พบว่าเมื่อเรซินคอมโพสิตอยู่ในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (thermal-cycling) โดยมีอุณหภูมิสูงสุดเป็น 60 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิต่ำสุดเป็น 35 องศาเซลเซียส จะมีการดูดน้ำมากขึ้น ในปี 1984 Soderholm และคณะ พบว่าการดูดน้ำทำให้เกิดรอยร้าว (crack formation) ที่รอยต่อระหว่างวัสดุอัดแทรกและอินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์ และจากการศึกษาของ Dietschi และคณะ ในปี 1994 พบว่า คุณสมบัติการดูดน้ำทำให้มีการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตเนื่องจากการดูดน้ำทำให้การยึดระหว่างอินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์และวัสดุอัดแทรกลดลง และจะเกิดช่องว่างในเนื้อเรซินคอมโพสิตทำให้ดูดซับสารละลายที่มีสีได้มากขึ้น

การละลายน้ำของเรซินคอมโพสิต

เรซินคอมโพสิตสามารถละลายน้ำได้ เมื่อทดลองนำเรซินคอมโพสิตแช่น้ำเป็นระยะเวลาาน พบว่า มีไอออนบางชนิดโดยเฉพาะซิลิกาหลุดออกมาจากวัสดุอัดแทรก (Soderholm และคณะ, 1983) นอกจากนี้สิ่งแฉะล่อมในช่องปากและอาหารบางชนิดสามารถเป็นตัวทำละลายเรซินคอมโพสิตที่มี อินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์เช่นบิส-จีเอ็มเอเป็นส่วนประกอบ โดยทำให้อินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์อ่อนตัว และมีพื้นผิวบางส่วนหลุดออกมา (McKinney และ Wu, 1982) เรซินคอมโพสิตชนิดไมโครฟิลล์ละลาย ได้มากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีอัตราส่วนของอินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์ต่อวัสดุอัดแทรก สูง การที่เรซินคอมโพสิตสามารถละลายน้ำได้จะทำให้ความต้านทานในการสึกกร่อน การละลายน้ำของ เรซินคอมโพสิตอยู่ระหว่าง 0.01-0.06 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร (Craig และ Power, 2002) เรซินคอมโพสิตที่เกิดพอลิเมอร์ไม่สมบูรณ์เนื่องจากฉายแสงไม่เพียงพอ จะมีการดูดน้ำและการละลาย น้ำมากขึ้น (Pearson และ Longman, 1989)

การเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต (color change)

เรซินคอมโพสิตเป็นวัสดุบูรณะที่มีความสวยงาม ในปัจจุบันมีสีให้เลือกหลากหลาย โดยสีที่ใช้ จะอยู่ระหว่างสีขาวไปจนถึงสีเหลืองและสีเทา จึงสามารถเลือกใช้ให้กลมกลืนกับสีของฟันธรรมชาติได้ มากขึ้น สีของเรซินคอมโพสิตเกิดจากการเติมอนินทรีย์ออกไซด์ (inorganic oxide) ปริมาณเล็กน้อยลง ไปในเรซินคอมโพสิต เมื่อผ่านการใช้งานเรซินคอมโพสิตมักมีการเปลี่ยนสี ซึ่งการเปลี่ยนสีอาจเป็นเหตุ ผลหนึ่งที่ทำให้ผู้ป่วยต้องการรีหรือเปลี่ยนวัสดุบูรณะใหม่ การเปลี่ยนสีอาจเกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงแรกหลัง เกิดพอลิเมอร์ (Craig และ Power, 2002) แต่ส่วนใหญ่การเปลี่ยนสีมักเกิดหลังการใช้งาน จากการ ศึกษาการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตทางคลินิก โดยการสังเกตการเปลี่ยนสีจากภาพถ่าย พบว่า เรซิน คอมโพสิตที่ผ่านการใช้งานเป็นเวลานาน 5 ปีจะมีสีคล้ำลง (slightly dark) โดยเรซินคอมโพสิตชนิดบ่ม ตัวด้วยปฏิกิริยาทางเคมีจะมีการเปลี่ยนสีมากกว่าชนิดบ่มตัวด้วยแสง (Tyas, 1992)

การเปลี่ยนสีเกิดจากสาเหตุหลัก 2 ประการคือ การเปลี่ยนสีจากปัจจัยจากภายนอก (extrinsic factor) และการเปลี่ยนสีจากปัจจัยภายใน (intrinsic factor)

1. การเปลี่ยนสีจากปัจจัยจากภายนอก ได้แก่ การติดสีจากอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีสี และการติดสีจาก คราบขุ่นหรือ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนสีเฉพาะผิวของเรซินคอมโพสิตแก้ไขได้ด้วยการขัด (Craig และ Power, 2002)

2. การเปลี่ยนสีจากปัจจัยภายใน เป็นการเปลี่ยนสีภายในเนื้อของเรซินคอมโพสิต ไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยการขัด ถ้ามีการเปลี่ยนสีที่เห็นชัดเจนผู้ป่วยมักต้องการรีหรือเปลี่ยนวัสดุบูรณะใหม่ การเปลี่ยนสีจากปัจจัยภายใน ได้แก่
 - 2.1 การเกิดพอลิเมอร์ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้พื้นผิวของเรซินคอมโพสิตสามารถดูดซับสารละลายที่มีสีได้ นอกจากนี้การดูดน้ำเป็นผลให้เกิดรอยร้าวภายในอินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์ และการเสื่อมสภาพของสารควบคู่ ทำให้เกิดช่องว่างเล็กๆ (gap) ระหว่างอินทรีย์โพลีเมอร์เมทริกซ์และวัสดุอัดแทรก ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงดัชนีการหักเหของแสง (refractive index) เรซินคอมโพสิต จะทึบ แสงและเกิดการเปลี่ยนสีขึ้น (Soderholm, 1983 ; Pearson และ Longman, 1989 ; Imazato และคณะ, 1995 ; Bark และคณะ, 2000 ; Craig และ Power, 2002)
 - 2.2 ความไม่เสถียรของส่วนประกอบในเรซินคอมโพสิต เช่น ผลของเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) ในเรซินคอมโพสิตที่บ่มตัวด้วยปฏิกิริยาทางเคมีสามารถเกิดพอลิเมอร์ขึ้นได้เองขณะเก็บแม้ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับเอมีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง นอกจากนี้การสลายของเอมีนและการทำปฏิกิริยาระหว่างเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์และสารยับยั้งก็มีโอกาสทำให้เกิดสารที่มีสีได้ (Ferracane, Moser และ Greener, 1985)
 - 2.3 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอนพันธะคู่ที่เหลือจากการเกิดพอลิเมอร์ทำให้เกิดเปอร์ออกไซด์ที่มีสี (colored peroxide products) และทำให้เรซินคอมโพสิตเปลี่ยนสีได้ (Ferracane, Moser และ Greener, 1985 ; Imazato และคณะ, 1995)
 - 2.4 การได้รับพลังงานจากแหล่งพลังงานต่างๆ เช่น ความร้อนจากน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (Asmussen, 1980 ; Brauer, 1988) แสงอัลตราไวโอเล็ต (ADA SpecNo.27, 1977) และแสงจากหลอดซินนอน (ISO 7491, 2000)

เรซินคอมโพสิตที่มีสีอ่อนจะเปลี่ยนสีง่ายกว่าเรซินคอมโพสิตที่มีสีเข้ม (Uchida, 1998) และเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงจะมีเสถียรภาพของสีมากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาทางเคมี (Brauer, 1988) เพราะเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาทางเคมีเกิดปฏิกิริยาโดยอะโรมาติกเทอเทียรีเอมีน (aromatic tertiary amine) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีสี (chromatogenic compound) และไม่เสถียร จึงเกิดการเปลี่ยนสีได้ง่ายกว่า (Asmussen, 1983)

การทดสอบเสถียรภาพของสี

การทดสอบการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตทำได้โดยนำเรซินคอมโพสิตมาทำให้แก่ (accelerated aging) หมายถึง การเร่งให้เรซินคอมโพสิตแก่และเปลี่ยนสีเหมือนกับผ่านการใช้งานมานาน ซึ่งการทำให้แก่มีหลายวิธี ได้แก่

1. การทดสอบด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต ทดสอบโดยนำเรซินคอมโพสิตที่ต้องการทดสอบไปวางบนจานหมุนในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (weathering chamber) ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 60 ถึง 65 องศาเซลเซียส ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตและใช้น้ำปราศจากไอออนฉีดพ่นตลอดเวลา เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการทำให้แก่มาเปรียบเทียบกับเปลี่ยนสีกับเรซินคอมโพสิตในกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการทำให้แก่ (ADA Specification Number 27, 1977)
2. การแช่น้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้แก่ การศึกษาของ Asmussen ในปี 1981 ซึ่งทำการทดสอบเสถียรภาพของสีของเรซินคอมโพสิตโดยนำเรซินคอมโพสิต ไปแช่น้ำที่อุณหภูมิต่างๆ กัน 3 กลุ่ม ได้แก่ แช่น้ำอุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส แต่ละกลุ่มแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ กลุ่มย่อยที่ 1 ใช้เวลา 1 เดือน และกลุ่มย่อยที่ 2 ใช้เวลา 2 เดือน ตามลำดับ แล้วนำค่าการเปลี่ยนสีของ 6 กลุ่มย่อยมาเปรียบเทียบกับค่าการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตที่แช่น้ำอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 เดือน พบว่า กลุ่มที่แช่น้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 1 เดือน มีค่าการเปลี่ยนสีสัมพันธ์กับกลุ่มที่แช่น้ำอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 เดือน มากที่สุด ดังนั้น Asmussen จึงแนะนำการทำให้เรซินคอมโพสิตเปลี่ยนสีโดยการแช่เรซินคอมโพสิตในน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 เดือน
3. การทดสอบด้วยแสงจากหลอดซีนอน โดยให้ยึดเรซินคอมโพสิตที่ต้องการทดสอบกับตัวจับ (holder) ในอ่างน้ำ (water bath) ที่มีอุณหภูมิประมาณ 37 ± 5 องศาเซลเซียส ใช้แสงจากหลอดซีนอน (xenon lamp) ส่องไปที่ชิ้นเรซินคอมโพสิต เป็นเวลา 24 ± 1 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นเรซินคอมโพสิตที่ผ่านการทำให้แก่มาเปรียบเทียบกับเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิตในกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการทำให้แก่ (ISO 7491, 2000)
4. การนำเรซินคอมโพสิตมาแช่ในสารละลายต่างๆ ที่มีสี เช่น ชา กาแฟ น้ำผลไม้ วิสกี้ และไวน์ เป็นระยะเวลาต่างๆ กัน แล้วนำค่าการเปลี่ยนสีมาเปรียบเทียบกับค่าสีของเรซินคอมโพสิตก่อนแช่ในสารละลาย (Craig และ Power, 2002 ; Bark และคณะ, 2000 ; Stober, Glide และ Lenz, 2001 ; Brauer, 1988)

การทำให้เก๋า 3 วิธีแรกเป็นการทำให้เรซินคอมโพสิตเปลี่ยนสีโดยปัจจัยจากภายใน ส่วนการทำให้เก๋าวิธีสุดท้ายเป็นการทำให้เรซินคอมโพสิตเปลี่ยนสีโดยปัจจัยจากภายนอก ในงานวิจัยนี้สนใจเฉพาะการทำให้เรซินคอมโพสิตเปลี่ยนสีโดยปัจจัยจากภายใน

การวัดสี

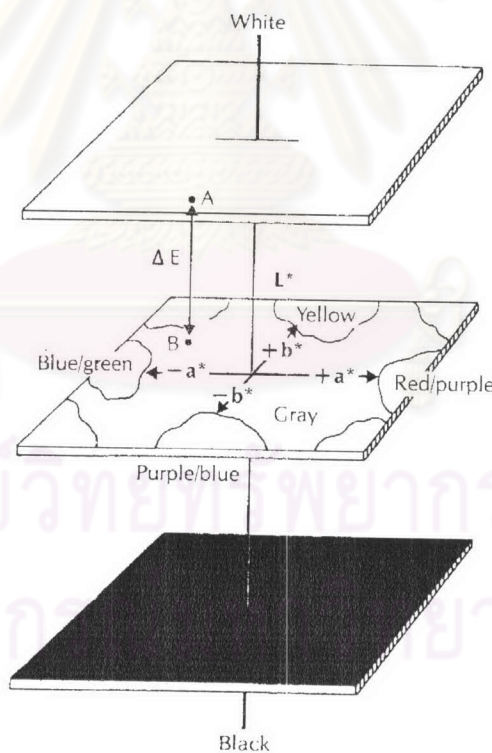
ในระยะแรกการวัดการเปลี่ยนแปลงของสีใช้ตามนุษย์ในการสังเกต แต่การสังเกตด้วยตาเปล่ามักมีปัญหาเพราะตามนุษย์แต่ละคนจะมีความสามารถในการมองเห็นสีได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นกับประสบการณ์ การฝึกฝนของแต่ละคน ตามนุษย์จะบอกความแตกต่างของสี ณ จุดต่างๆ บนแผนผังของสี (chromaticity diagram) ได้ไม่เท่ากัน ตามนุษย์จะปรับตัวให้เข้ากับสีที่ใกล้เคียงกันได้ง่ายมากดังนั้นจึงไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ชัดเจน ความสามารถในการมองเห็นสีขึ้นกับแสงและมุมของสายตาก็มองวัตถุที่มีสี และตามนุษย์ไม่สามารถบันทึกค่าหรือบอกค่าที่แน่นอนว่าสีของตัวอย่างจะซีดไปมากน้อยเพียงใดเมื่อเวลาผ่านไป และสีเดิมเป็นอย่างไร ดังนั้นปัจจุบันจึงมีการใช้เครื่องวัดสี (spectrophotometer) ซึ่งช่วยให้บอกความแตกต่างของสีได้ง่ายขึ้น อย่างมีมาตรฐาน และสามารถบอกค่าออกมาเป็นตัวเลข (Yab และคณะ, 1999) ปัจจุบันระบบที่นิยมในการวัดสี ได้แก่ ระบบ CIE $L^*a^*b^*$ color system ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นในปี 1931 โดย Commission International De l'Eclairage or International Commission on Illumination (CIE) ข้อดีคือเป็นระบบที่ไม่ขึ้นกับการมองเห็นของแต่ละบุคคล สามารถวัดสีออกมาเป็นตัวเลข ดังนั้นจึงเป็นระบบที่นำไปคำนวณการเปลี่ยนสีได้ (Yab และคณะ, 1999 ; Mulla และ Weimer, 1991 ; Rosenteil, Land และ Fujimoto, 2001) ระบบนี้จะแยกสีออกเป็น 3 องค์ประกอบที่มนุษย์มองเห็นและรับรู้ความแตกต่างได้ แสดงค่าที่วัดออกมาเป็นตัวเลขในแกน 3 มิติของ CIE color space (ภาพที่ 10) ดังนี้

ค่า L^* คือ ความสว่าง (lightness) ของวัตถุ จะเป็นแกนในแนวตั้ง ถ้า L^* มีค่ามาก หมายถึงวัตถุ นั้นมีความสว่างของสีมาก ค่า a^* และ b^* คือค่าสี (chrome) ของวัตถุ จะเป็นแกนในแนวราบตั้งฉากกัน สีของวัตถุจะแสดงโดยค่าสีร่วมกัน (chromaticity coordinates) ของค่าแกน a^* และค่าแกน b^* ค่าแกน a^* จะแสดงสีที่อยู่ระหว่างสีแดงกับสีเขียว ถ้า a^* มีค่าเป็นบวก หมายถึงวัตถุมีสีค่อนข้างแดง ค่าลบ หมายถึงสีค่อนข้างเขียว ค่าแกน b^* จะแสดงสีที่อยู่ระหว่างสีเหลืองกับสีน้ำเงิน ถ้า b^* มีค่าเป็นบวก หมายถึงวัตถุมีสีค่อนข้างเหลือง ค่าลบ หมายถึงสีค่อนข้างน้ำเงิน

ความแตกต่างของสีที่วัดออกมาจากระบบ CIE คือ เดลตาอี (ΔE) ซึ่งหมายถึง ความแตกต่างของวัตถุ 2 ชิ้น หรือ ระยะห่าง 3 มิติ (euclidean distance) ระหว่างจุดตัดร่วมของค่า $L_1^*a_1^*b_1^*$ ของวัตถุชิ้นที่ 1 (ค่าสี E_1) กับจุดตัดของค่า $L_2^*a_2^*b_2^*$ ของวัตถุชิ้นที่ 2 (ค่าสี E_2) ใน color space คำนวณได้จากสูตร

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$$

จากการศึกษาของ Seghi, Hewlett และ Kim ในปี 1989 ถ้า ΔE มากกว่าหรือเท่ากับ 1 ยูนิท พบว่ามีผู้สังเกต (observer) ครั้งหนึ่งจากจำนวนผู้สังเกตทั้งหมดสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีได้ (distinguishable value) ส่วน Ruyter, Nilner และ Moller ในปี 1987 พบว่าถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นได้ในทางคลินิกต้องมี ΔE มากกว่าหรือเท่ากับ 3.3 ยูนิท



ภาพที่ 10*

CIE Color Space

*คัดจาก Contemporary Fixed Prosthodontics, Mosby, Inc., 2001

ปริมาณการเปลี่ยนสีหรือ ΔE ของเรซินคอมโพสิตขึ้นกับวิธีการที่ทำให้เรซินคอมโพสิตเปลี่ยนสี โดยทั่วไปการทำให้เรซินคอมโพสิตเปลี่ยนสีโดยปัจจัยจากภายนอกมักมีค่า ΔE มากกว่าการทำให้เปลี่ยนสีโดยปัจจัยจากภายใน เช่น การศึกษาของ Stober, Glide และ Lenz ในปี 1999 ได้ทำให้เรซินคอมโพสิตเปลี่ยนสีโดยการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ ที่มีสีซึ่งเป็นปัจจัยจากภายนอก พบว่า เรซินคอมโพสิตมี ΔE ถึง 20 ยูนิต ส่วนการทำให้เรซินคอมโพสิตเปลี่ยนสีโดยปัจจัยจากภายในจะมี ΔE ประมาณ 0.8 ถึง 12.5 ยูนิต (Asmussen, 1989 ; Bark และคณะ, 2000 ; Imazato และคณะ, 1995)

ในชีวิตประจำวันเรซินคอมโพสิตอาจมีการเปลี่ยนสีได้ทั้งจากปัจจัยภายนอกและจากปัจจัยภายใน การเปลี่ยนสีจากปัจจัยภายนอกนั้นสามารถแก้ไขได้ด้วยการขัด แต่การเปลี่ยนสีจากปัจจัยภายในนั้นไม่สามารถขัดได้ การเปลี่ยนสีจากปัจจัยภายในมักเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่องปาก เช่น การรับประทานอาหารร้อน และกรดจากคราบจุลินทรีย์ (Asmussen และ Hansen, 1986) หรือจากการดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ หรือสุรา (Oysaed และ Ruyter, 1986) เป็นไปได้หรือไม่ว่าเมื่อเรซินคอมโพสิตมีการเปลี่ยนสีอาจมีความแข็งผิวลดลงไปพร้อมๆกัน ซึ่งถ้าความแข็งผิวลดลงจะทำให้เรซินคอมโพสิตมีการสึก และอาจจะเกิดผลเสียอื่นๆตามมา ถ้าสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนสีและความแข็งผิวของเรซินคอมโพสิตได้ อาจใช้การเปลี่ยนสีซึ่งสังเกตได้ง่ายกว่าการเปลี่ยนแปลงความแข็งผิวเพื่อสังเกตการสึกของเรซินคอมโพสิต

เมื่อปี 2003 Schulze และคณะ ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนสีและความแข็งผิวของเรซินคอมโพสิต หลังการทำให้เก่าโดยการใช้แสงจากหลอดซินอนอน ในเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (weathering machine) ใช้เวลาทดสอบทั้งหมด 122 ชั่วโมง แต่ฉายแสงเพียง 80 ชั่วโมง โดยผ่านวงจรการทดสอบ (test cycle) ดังนี้ เริ่มจากฉายแสงเพียงอย่างเดียว 40 นาที ฉายแสงรวมกับการฉีดน้ำ 20 นาที แล้วกลับมาฉายแสงเพียงอย่างเดียว 60 นาที หลังจากนั้นหยุดฉายแสงแล้วฉีดน้ำ 60 นาที ซึ่งมีอุณหภูมิเมื่อได้รับแสง 47 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเมื่อไม่ได้รับแสง 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เมื่อได้รับแสงร้อยละ 50 ความชื้นสัมพัทธ์เมื่อไม่ได้รับแสงร้อยละ 95 และมีอุณหภูมิของน้ำ 50 องศาเซลเซียส พบว่าหลังผ่านวงจรการทดสอบเรซินคอมโพสิตมีการเปลี่ยนสีและมีความแข็งผิวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนสีและความแข็งผิวของเรซินคอมโพสิต การที่ความแข็งผิวของเรซินคอมโพสิตในงานวิจัยของ Schulze และคณะเพิ่มขึ้นนั้นเป็นเพราะมีการเกิดพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น (secondary cure) เนื่องจากได้รับความร้อนและพลังงานจากแสงในระยะเวลาดำเนินการ (Stenley และ Wendt, 1987) แต่ถ้ามองในแง่ของการใช้งาน พบว่า เรซินคอมโพสิตเมื่อผ่านการใช้งานไประยะเวลา

หนึ่งจะมีการฝึกและมีความแข็งแรงลดลง (Jorgensen,1980 ; Leinfelder, Wilder และ Teixeira, 1986) การศึกษาของ Schulze และคณะนั้นใช้เวลาศึกษาค่อนข้างสั้น และเรซินคอมโพสิตไม่ได้แช่อยู่ในน้ำเป็นระยะเวลานานเหมือนสภาวะในช่องปาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลของการแช่เป็นระยะเวลานานต่อการเปลี่ยนสีและความแข็งแรงผิวของเรซินคอมโพสิต แล้วนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนสีและความแข็งแรงผิวของเรซินคอมโพสิต



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย