

บทที่ 5

การอภิปรายผลการวิจัย

การสึก (wear) ในช่องปากมีทั้งการสึกของฟันและวัสดุบูรณะฟัน ซึ่งการสึกคือ ผลรวมของการสูญเสียบางส่วนจากพื้นผิวของวัตถุ ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้งาน (Smith, Bartlett and Robb, 1977) ทำให้สูญเสียรูปร่างเดิมของฟันและวัสดุบูรณะไป การสึกนี้ไม่ได้เกิดจากกระบวนการเพียงกระบวนการเดียว แต่เกิดจากผลรวมของหลายกระบวนการร่วมกัน (Craig, 1997:91) โดยทั่วไปการสึกของวัสดุมี 4 ชนิดคือ การสึกยึดติด (adhesive wear) เกิดจากการเสียดสีของสองพื้นผิว ทำให้เกิดการหลุดออกของอนุภาคเล็กๆจากพื้นผิวหนึ่งแล้วไปเชื่อมติดแบบเชื่อมกตเย็น (cold welding) บนอีกพื้นผิวหนึ่ง การสึกเหตุขัดถู (abrasive wear) เกิดเมื่อวัตถุที่มีความแข็งสูงเคลื่อนไถลไปบนพื้นผิวที่อ่อนกว่าของอีกวัตถุหนึ่ง การสึกเหตุขัดถูในช่องปากเกิดขึ้นได้หลายลักษณะเช่น การสึกบริเวณด้านบดเคี้ยว การสึกที่ด้านประชิดและการสึกจากการแปร่งฟัน การสึกเหตุขัดถูมี 2 ชนิดคือการสึกเหตุขัดถูสององค์ประกอบ (two-body abrasion) การสึกแบบนี้พบได้ในผู้ป่วยที่นอนกัดฟัน (bruxism) และการสึกเหตุขัดถูสามองค์ประกอบ (three-body abrasion) เป็นการสึกที่พบได้ในช่องปากขณะที่ทำการบดเคี้ยว การสึกจากการล้า (fatigue wear) เกิดเมื่อพื้นผิวของวัตถุหนึ่งเคลื่อนไถลผ่านอีกพื้นผิวหนึ่งซ้ำๆ ทำให้เกิดการขยายเชื่อมของรอยร้าวที่พื้นผิวและบริเวณใต้พื้นผิววัตถุนั้น ทำให้เกิดการแตกออกของอนุภาคที่พื้นผิว และการสึกแบบกัดกร่อน (corrosive wear) เกิดจากการที่ชั้นผิวปกป้องที่คลุมผิววัตถุไว้นั้นถูกกำจัดออกไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีของสถานะแวดล้อมกับผิววัตถุนั้น ทำให้เกิดการสึกขึ้น (Mair, 1992) ส่วนการสึกของฟันมี 3 แบบคือการสึกขัดสี (attrition) ซึ่งเกิดจากการสัมผัสผ่านกันของด้านสบฟันของฟันคู่สบ การสึกขัดถู (abrasion) ซึ่งเกิดจากการเคี้ยวอาหารตามปกติทำให้เกิดการสึกของด้านบดเคี้ยวและการแปร่งฟันทำให้เกิดการสึกด้านหน้า (facial) และด้านลิ้น (lingual) ของฟันและการสึกกร่อน (erosion) ซึ่งเกิดจากการสัมผัสกับความเป็นกรดของอาหาร เครื่องดื่ม หรือมลพิษในอากาศจากอุตสาหกรรม (Smith, Bartlett and Robb, 1997) ดังนั้นเพื่อให้ชิ้นงานบูรณะใช้งานได้คงทนในระยะยาว วัสดุที่นำมาใช้ทำการบูรณะควรมีความต้านทานต่อการสึกสูง (Bayne, 1992) และไม่ทำอันตรายต่อฟันคู่สบที่เป็นฟันธรรมชาติ ดังนั้นจึงควรมีอัตราการสึกเท่ากับผิวเคลือบฟัน (Sulong and Aziz, 1990) ซึ่งอัตราการสึกของเคลือบฟันของฟันกรามใหญ่ในคนที่ไม่นอนกัดฟันคือ 29 ไมโครเมตรต่อปี (Lambrechts et al., 1989)

วัสดุที่ใช้บูรณะทางอ้อมที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันคือ เซรามิค โลหะผสม และเรซินคอมโพสิต จากหลายการศึกษาพบว่า เซรามิคทำให้เกิดการสึกทำลายผิวเคลือบฟันคู่สบได้ (Mahalick, Knap, and Weiter, 1971; Wiley, 1989; Hudson, Goldstein, and Georgescu, 1995) การศึกษาของ Krejei และคณะ(1993) พบว่าพื้นผิวของเซรามิคที่ผ่านการขัด ทำให้เกิดการสึกของเคลือบฟันน้อยกว่าพื้นผิวที่ผ่านการเคลือบสี(glazing)ผลการศึกษาทั้งสองสอดคล้องกับการศึกษาของ Elmaria และคณะ(2006) พบว่าเซรามิคเอ็มเพรสที่พื้นผิวผ่านการเคลือบสี เมื่อผ่านการทดสอบการสึกขัดสีภายใต้แรง 180 กรัมจำนวน 10,000 รอบทำให้เกิดการสึกของเคลือบฟันมากที่สุดคือ 1.52 ไมโครเมตร ซึ่งมากกว่าเซรามิคเอ็มเพรสที่พื้นผิวผ่านการเคลือบสีแล้วนำไปขัดด้วยชุดขัดพอร์ซเลน เซรามิคเอ็มเพรสที่พื้นผิวผ่านการเคลือบสีทำให้เกิดการสึกของเคลือบฟันมากกว่าโลหะผสมทองชนิดที่ 3 (type III gold alloy) ที่ทำให้ผิวเคลือบฟันสึกน้อยที่สุดคือ 0.11 ไมโครเมตร นอกจากนี้ยังพบว่าความหยาบของพื้นผิววัสดุมีความสัมพันธ์กับการสึกของเคลือบฟัน แต่ไม่ใช่เป็นเพียงปัจจัยเดียวที่ใช้กำหนดถึงการทำให้เกิดการสึกของเคลือบฟันได้ต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วยคือความแข็งผิวและค่าโมดูลัส(modulus)ของวัสดุ องค์ประกอบและขนาดของผลึก(grain size) ของเซรามิค โดยค่าความแข็งผิวแบบวิกเคอร์ของเซรามิคเอ็มเพรสมีค่าเท่ากับ 662.8 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งสูงกว่าค่าความแข็งผิวแบบวิกเคอร์ของโลหะผสมทองชนิดที่ 3 ที่มีค่า 133 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตรเท่านั้น

Heintze และคณะ(2008) รายงานว่าเซรามิค E.max Press ที่ผ่านการเคลือบสีทำให้เกิดการสึกของเคลือบฟันมากที่สุดคือ 6.16 ไมโครเมตร ในขณะที่วัสดุเซรามิคเองเกิดการสึกน้อยกว่าคือ 4.9 ไมโครเมตร ซึ่งค่าความแข็งผิวแบบวิกเคอร์ของเซรามิค E.max Press มีค่าเท่ากับ 5.9 จิกะปาสคาล (601.42 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร) ซึ่งสูงกว่าค่าความแข็งผิวแบบวิกเคอร์ของเคลือบฟันที่ Xu และคณะรายงานไว้ในปี 1998 ว่ามีค่าเท่ากับ 2.8 ถึง 3.7 จิกะปาสคาล (285.42 ถึง 377.16 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร) ผลการศึกษาทางคลินิกของ Sorenson, Cruz และ Berge (2000) พบว่าภายหลังจากการใช้งานไป 1 ปีของสะพานฟันที่ทำจากเซรามิค E.Max Press ที่มีชั้นเซรามิคด้านนอกเป็นเซรามิค Eris ทำให้เคลือบฟันคู่สบสึกไป 125 ไมโครเมตร ดังนั้นจากผลการศึกษาดังที่กล่าวมาเป็นไปได้ว่าการที่ความแข็งผิวของเคลือบฟันต่ำกว่าเซรามิคมาก จึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสึกของเคลือบฟันคู่สบได้ (Heintze et al, 2008) นอกจากนี้ในการศึกษาของ Heintze และคณะ(2008) ยังพบว่าเซรามิค E.max Press ที่ผ่านการเคลือบสีทำให้เกิดการสึกของเคลือบฟันคู่สบมากกว่ากลุ่มเซรามิค E.max Press ที่ไม่ผ่านการเคลือบสี แต่ขัดพื้นผิวด้วยชุดขัดเซรามิคของ Ivoclar Vivadent เนื่องจากการเคลือบสีนั้นไม่สามารถทำให้พื้นผิวที่ขรุขระของ

เซรามิกนั้นเรียบได้เพียงพอ จึงทำให้เกิดการสึกของเคลือบฟันคู่สบได้ ดังนั้นเพื่อลดการทำอันตรายต่อฟันคู่สบของเซรามิกจึงควรทำการขัดพื้นผิวเซรามิกให้เรียบก่อนแล้วจึงนำไปเคลือบซึ่ง (Anusavice, 2003: 708)

วัสดุบูรณะอีกชนิดที่เป็นที่นิยมใช้คือ เรซินคอมโพสิต ซึ่งในปัจจุบันยังพบว่าปัญหาทางคลินิกที่สำคัญคือการต้านทานการสึก โดยพบว่าการสึกของเรซินคอมโพสิต ส่วนมากเกิดจากการสึกเหตุขัดถู, การสึกยึดติดและการสึกจากการล่า ซึ่งการเกิดกลไกการสึกทั้ง 3 แบบนี้เกี่ยวข้องโดยตรงกับความสัมพันธ์ของเรซินเมทริกซ์กับอนุภาคเติมเต็ม (matrix-filler relationship) (Mair, 1992) กระบวนการสึกของเรซินคอมโพสิตมีความซับซ้อน ดังนั้นปัจจัยที่ใช้กำหนดถึงความต้านทานการสึกของเรซินคอมโพสิตต้องใช้หลายปัจจัยร่วมกัน โดยพบว่าสูตรที่ใช้คำนวณถึงอัตราการสึกของเรซินคอมโพสิตเมื่อเรซินคอมโพสิตมีอัตราการสึกมากจะสัมพันธ์กับการมีค่าการดูดซับพลังงานก่อนแตกหัก (fracture toughness) ต่ำ ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) สูง ขนาดและสัดส่วนเชิงปริมาตรของอนุภาคเติมเต็มสูง และมีค่าความแข็งผิวแบบวิกเคอร์ต่ำ (Heintz, Zellweger and Zappini, 2007) การศึกษาของ Say และคณะ(2003) พบว่าเรซินคอมโพสิตชนิดอัดแน่นที่มีอนุภาคเติมเต็มเป็นเซอร์โคเนียและซิลิกา (Filtek P60, 3M Dental Products, St Paul, MN, USA) ภายหลังจากทดสอบการสึกขัดสีกับคู่สบที่เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel antagonist wheel) ด้วยแรง 15 นิวตันจำนวน 200,000 รอบเป็นเวลา 55 ชั่วโมง เกิดการสึกแบบการสึกเหตุขัดถูตามองค์ประกอบน้อยที่สุดคือ 50.8 มิลลิเมตรซึ่งสัมพันธ์กับการที่เรซินคอมโพสิตชนิดนี้มีค่าความแข็งผิวแบบวิกเคอร์สูงสุดคือ 88 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร ขณะที่เรซินคอมโพสิต Admira ซึ่งมีความแข็งผิวแบบวิกเคอร์ต่ำสุดคือ 58.33 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตรเกิดการสึกสูงที่สุดคือ 103.2 มิลลิเมตร ซึ่งในการศึกษานี้พบว่าการสึกของเรซินคอมโพสิตมีความสัมพันธ์กับความแข็งผิวในเชิงลบ (negative correlation) ขณะที่การศึกษาของ Mandikos และคณะ(2001) พบว่า เรซินคอมโพสิต Targis (Ivoclar North America, Amherst, N.Y.) ซึ่งเป็นรุ่นที่ 2 ที่ใช้ทำเป็นชิ้นงานบูรณะในห้องปฏิบัติการ (secondary-generation laboratory composite) ภายใต้อการจำลองการแปรงฟันเป็นเวลา 1 ปีเกิดการสึก 20.6 ไมโครเมตรต่อปี ซึ่งเกิดการสึกมากกว่าเรซินคอมโพสิตรุ่นแรกที่ใช้ทำเป็นชิ้นงานบูรณะ Concept (Ivoclar-Vivadent North America Inc, Amherst, N.Y.) ที่มีอัตราการสึก 2.5 ไมโครเมตรต่อปี โดยเรซินคอมโพสิต Targis มีความแข็งผิวแบบวิกเคอร์ต่ำที่สุดคือ 40.5 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร ขณะที่เรซินคอมโพสิต Concept มีความแข็งผิวแบบวิกเคอร์ 68.8 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร ใน การศึกษานี้ยังพบว่าไม่มีวัสดุเรซินคอมโพสิตตัวใดที่มีความแข็งได้เท่ากับเคลือบฟัน โดยพบว่า

เคลือบฟันมีความแข็งแรงแบบวิคเคอร์ 331.7 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งเกิดการสึกน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเรซินคอมโพสิตทุกตัว

จากผลการทดลองตอนที่ 1 ค่าความแข็งแรงแบบวิคเคอร์ของทุกกลุ่มทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตารางที่ 2) โดยเซรามิกมีค่าความแข็งแรงผิวสูงที่สุดและสูงกว่ากลุ่มเคลือบฟันมาก ขณะที่เรซินคอมโพสิตมีค่าความแข็งแรงต่ำที่สุด ทำให้เกิดการสึกของเรซินคอมโพสิตอย่างรวดเร็ว สูญเสียคุณสมบัติทางกลและความสวยงามไปได้ วัสดุทดลองนั้นมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าเรซินคอมโพสิตแต่ต่ำกว่าเซรามิก ดังนั้นการต้านทานการสึกของวัสดุทดลองน่าจะมากกว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตและทำให้เกิดการสึกของเคลือบฟันคู่สบน้อยกว่าที่เกิดจากเซรามิก นอกจากนี้การศึกษาของ Göhring, Besek, และ Schmidlin (2002) ยังพบว่าการสึกของเคลือบฟันเมื่อขัดสีกับคู่สบที่เป็นเคลือบฟันเกิดการสึกน้อยที่สุดคือ 30.2 ไมโครเมตรเมื่อเปรียบเทียบกับ การสึกของเรซินคอมโพสิตที่ขัดสีกับคู่สบที่เป็นเคลือบฟันพบว่าเรซินคอมโพสิตส่วนใหญ่เกิดการสึกมากกว่าเคลือบฟัน และเมื่อใช้วัสดุบูรณะ เซรามิก โลหะผสมทองและเรซินคอมโพสิตเป็นคู่สบขัดสีกับเรซินคอมโพสิตแทนการใช้เคลือบฟันเป็นคู่สบ พบว่าทุกกลุ่มวัสดุบูรณะที่เป็นคู่สบทำให้เกิดการสึกของเรซินคอมโพสิตมากกว่าการใช้เคลือบฟันเป็นคู่สบ และเกิดการสึกของตัววัสดุบูรณะที่เป็นคู่สบเองมากกว่าเคลือบฟันที่ใช้เป็นคู่สบ แสดงว่าเคลือบฟันมีคุณสมบัติที่ดีในเรื่องการต้านทานการสึกจากการขัดสีและมีการสึกที่ไม่ทำอันตรายต่อวัสดุบูรณะ ดังนั้นวัสดุทดลองที่มีส่วนผสมของเรซินและไฮดรอกซีอะปาไทต์มีค่าความแข็งแรงผิวใกล้เคียงกับเคลือบฟันมากกว่าวัสดุบูรณะชนิดอื่น จึงน่าจะมีอัตราการสึกของวัสดุทดลองใกล้เคียงกับอัตราการสึกของเคลือบฟันเมื่อขัดสีกับเคลือบฟันและน่าจะมีพฤติกรรมการสึกคล้ายคลึงกับเคลือบฟันเมื่อขัดสีกับวัสดุบูรณะอื่นๆ

จากผลการทดลองในตอนที่ 2 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงยึดของกลุ่มโลหะผสมชนิดพื้นฐานที่ยึดกับเรซินซีเมนต์ Super-Bond มีค่าสูงสุดและไม่แตกต่างกับกลุ่มเรซินคอมโพสิต และวัสดุทดลองที่ยึดกับเรซินซีเมนต์ Super-Bond (ดังตารางที่ 3) มีลักษณะการแตกที่บริเวณรอยต่อเหมือนกันคือเกิดการแตกในชั้นเรซินและการแตกแบบผสมของการแตกในชั้นเรซินร่วมกับการแตกระหว่างชั้นเรซินกับแท่งพีเอ็มเอ็มเอ (ดังรูปที่ 9-11) ซึ่งเมื่อทำการศึกษาริเวณที่แตกหักในแนวขนานกับแรงดึงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าภายหลังการปรับสภาพผิวของโลหะผสมชนิดพื้นฐาน และเรซินคอมโพสิตด้วยวิธีการเป่าทรายด้วยผงอลูมินาขนาด 50 ไมโครเมตร ทำให้เกิดพื้นผิวที่ขรุขระเป็นหลุมร่องลึกประมาณ 5 ไมโครเมตร (ดังรูปที่ 18 และ 19) ในการยึดกับเรซินซีเมนต์ Super-Bond ไว้ ซึ่งทำให้เกิดการยึดเชิงกลระดับไมโครเมตร (micromechanical bonding) นอกจากนี้เรซินซีเมนต์ Super-Bond ยังมีไฟร์เมตตาที่เป็นสารเพิ่ม

การยึดติดซึ่งโฟร์เมตตานี้มีความชอบ(affinity)สูงต่อออกไซด์ของโลหะ (Yoshida et al., 1996) โดยโลหะผสมชนิดพื้นฐานนิกเกิล-โครเมียม-เบริลเลียมนี้ เมื่อสัมผัสกับอากาศในอุณหภูมิห้องตามปกติก็สามารถถูกออกซิไดซ์เกิดชั้นออกไซด์ของโลหะได้ง่าย (Tanaka et al., 1981) ดังนั้นองค์ประกอบและความสมบูรณ์ของชั้นออกไซด์ของโลหะจึงมีความสำคัญ ดังการศึกษาของ Diaz-Arnold และคณะ (1996) พบว่าเมื่อทำการเป่าทรายด้วยผงอลูมินาขนาด 50 ไมโครเมตร บนพื้นผิวของโลหะผสมนิกเกิล-โครเมียม-เบริลเลียมจะทำให้เกิดชั้นออกไซด์ที่มีความหนาน้อยกว่า 10 นาโนเมตรและถ้าไม่มีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีการใดๆก็สามารถเกิดชั้นออกไซด์ได้เองโดยมีความหนา 5 นาโนเมตร ดังนั้นจึงเกิดการยึดที่ตีบริเวณรอยต่อระหว่างโลหะผสมชนิดพื้นฐานกับเรซินซีเมนต์ Super-Bond มากกว่าการยึดของแท่งพีเอ็มเอ็มเอกับเรซินซีเมนต์ Super-Bond และจากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดภายหลังการรับแรงในกลุ่มของวัสดุทดลองที่ยึดกับเรซินซีเมนต์ Super-Bond พบว่าเกิดชั้นรอยต่อที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างเรซินซีเมนต์กับวัสดุทดลอง ซึ่งการแช่ชั้นตัวอย่างในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกนั้น ทำให้สามารถตรวจหาชั้นไฮบริดที่มีลักษณะที่ดีได้ (Shinchi, Soma, and Nakabayashi, 2000) ชั้นไฮบริดที่มีลักษณะที่ดีมีความต่อเนื่องจะบอกถึงความน่าเชื่อถือของการยึด(reliable bonding)ได้จากการศึกษาชั้นรอยต่อที่เกิดขึ้นนี้ภายหลังการรับแรงและหลังการแช่ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก พบว่าชั้นรอยต่อที่เกิดขึ้นในกลุ่มนี้มีลักษณะที่ดีมีความต่อเนื่องสม่ำเสมอ ไม่พบการแยกตัวของชั้นรอยต่อ(ดังรูปที่24และ25) แม้ชั้นตัวอย่างจะผ่านการทดสอบความแข็งแรงดึงมาแล้วก็ตาม ชั้นรอยต่อนี้มีความหนาประมาณ 3 ไมโครเมตร ซึ่งไม่แตกต่างจากก่อนแช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก แสดงว่าชั้นรอยต่อที่เกิดขึ้นนี้มีความสมบูรณ์มีเรซินแทรกซึมเข้าไปในวัสดุทดลองที่ถูกปรับสภาพผิวแล้วได้อย่างทั่วถึง โดยพบว่าชั้นรอยต่อมีลักษณะเป็นโครงข่ายตาข่าย(network)สามมิติ(ดังรูปที่26) เป็นการยึดเชิงกลในระดับไมโครเมตรของเรซินซีเมนต์ Super-Bondกับวัสดุทดลอง ทำให้ได้ค่าความแข็งแรงดึงยึดที่สูงกว่าค่าความแข็งแรงดึงยึดระหว่างแท่งพีเอ็มเอ็มเอกับเรซินซีเมนต์ Super-Bond และสูงกว่าค่าความแข็งแรงดึงยึดของเรซินซีเมนต์ Super-Bond ที่เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์สมบูรณ์แล้ว

เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มเรซินคอมโพสิตกับกลุ่มเซรามิกที่ยึดกับเรซินซีเมนต์ Super-Bond พบว่าค่าความแข็งแรงดึงยึดของกลุ่มเรซินคอมโพสิตมีค่าสูงกว่าเซรามิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ดังตารางที่3) นอกจากนี้ลักษณะการแตกที่พบในกลุ่มเซรามิกนั้นเป็นการแตกแบบผสมทั้งหมด โดยเป็นการแตกในชั้นเรซินร่วมกับการแตกระหว่างผิวเซรามิกกับชั้นเรซิน(ดังรูปที่12) แสดงว่าการปรับสภาพพื้นผิววัสดุด้วยการเป่าทรายและใช้ร่วมกับสารคู่ควบไซเลนก่อนทำการยึดกับเรซิน

ซีเมนต์ ทำให้เกิดการยึดอยู่ที่ดีเพียงพอสำหรับเรซินคอมโพสิต แต่ไม่ดีพอสำหรับเซรามิก เนื่องจากการเป่าทรายนั้นทำให้พื้นผิวเรซินคอมโพสิตขรุขระเพิ่มพื้นที่ผิวในการยึดติด ในขณะที่พื้นผิวของเซรามิกค่อนข้างเรียบ ทำให้เกิดการยึดเชิงกลน้อยเนื่องจากเซรามิกที่ใช้เป็นชนิดที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัดด้วยความร้อนสูง ซึ่งทำให้มีความแข็งระดับที่ทำให้เกิดความขรุขระโดยการเป่าทรายน้อยกว่าเรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการทดลองนี้ ดังจะเห็นได้จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่ทำการศึกษาชิ้นตัวอย่างในแนวนานกับแรงดึงภายหลังจากการทดสอบความแข็งแรงดึงยึดมาแล้ว(ดังรูปที่20-23) ซึ่งการศึกษาของ Nilsson และคณะ(2000) ก็พบว่าชิ้นงานเรซินคอมโพสิตภายหลังจากการเป่าทรายมาแล้วจะทำให้เกิดพื้นผิวที่มีความหยาบ (surface roughness)มากที่สุด ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงยึดสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ผ่านการเป่าทราย ดังนั้นการปรับสภาพพื้นผิวเซรามิกให้เกิดการยึดเชิงกลมากขึ้น เพื่อให้เกิดการยึดที่ดีกับเรซินซีเมนต์ควรมีวิธีการอื่นเพิ่มเติม เช่นการศึกษาของ Spohr และคณะ (2003) และ Nagai และคณะ (2005) พบว่าการปรับสภาพพื้นผิวของเซรามิกเอ็มเพรส 2 ที่ทำให้มีค่าความแข็งแรงดึงยึดกับเรซินซีเมนต์ได้มากที่สุดคือการใช้กรดกัดแก้ว (hydrofluoric acid) ร่วมด้วยซึ่งจะทำให้เกิดพื้นผิวลักษณะที่มีส่วนเว้าคอดระดับไมโครเมตร(micro-undercut) เรซินจะเข้าไปยึดอยู่ได้โดยอาศัยกลไกการยึดเชิงกล (Nagai et al.,2005)

จากผลการทดลองตอนที่ 2 พบว่าทุกกลุ่มวัสดุที่ยึดกับสารยึดเรซิน All-Bond2 และเรซินซีเมนต์ Duo-Link มีค่าความแข็งแรงดึงยึดต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ Super-Bond และลักษณะการแตกของวัสดุบูรณะที่ยึดกับเรซินซีเมนต์ Super-Bond ส่วนมากเป็นการแตกในชั้นเรซิน ในขณะที่การแตกของกลุ่มที่ยึดกับสารยึดเรซิน All-Bond2 ส่วนมากเป็นการแตกบริเวณรอยต่อของวัสดุบูรณะกับสารยึดเรซิน(ดังรูปที่13-15) แสดงว่าค่าความแข็งแรงดึงยึดที่ได้แตกต่างกันนั้นมีสาเหตุมาจากชนิดของสารยึดเรซินและเรซินซีเมนต์ที่แตกต่างกัน โดยสารยึดเรซิน All-Bond2 และเรซินซีเมนต์ Duo-Link มีส่วนประกอบเป็นบิสจีเอ็มเอ และยูรีเทนไดเมทาอะคริเลต ซึ่งมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่าเมทิลเมทาอะคริเลต ที่เป็นส่วนประกอบในเรซินซีเมนต์ Super-Bond ดังนั้นสารยึดเรซิน All-Bond 2 และเรซินซีเมนต์ Duo-Link จึงมีความหนืด (viscosity)มากกว่าเรซินซีเมนต์Super-Bond (Albers,2002:83) ทำให้ไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปในบริเวณพื้นผิวที่ขรุขระได้อย่างทั่วถึง (van Noort,2002:70-73) และการที่สารยึดเรซิน All-Bond2 มีตัวทำละลายเป็นอะซิโตน (acetone-based adhesive) ซึ่งระเหยได้อย่างรวดเร็วจึงมีช่วงเวลาในการแทรกซึมเข้าสู่บริเวณที่มีความซับซ้อนได้น้อย (De Munk et al., 2005) จึงเกิดการยึดเชิงกลได้น้อยกว่าเรซินซีเมนต์Super-Bond ดังผลการทดลองในกลุ่มวัสดุทดลองที่ยึดด้วยสาร

ยึดเรซิน All-Bond2 พบว่ามีการแตกแบบผสม 8 ชั้นคือการแตกในชั้นเรซินร่วมกับการแตกระหว่างผิววัสดุกับสารยึดเรซิน และมีการแตกในชั้นเรซิน 2 ชั้น เมื่อทำการศึกษาระดับรอยต่อที่เกิดขึ้นภายหลังการรับแรงของชั้นตัวอย่างที่เกิดการแตกหักในชั้นเรซินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดก่อนแช่ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก พบว่าชั้นรอยต่อระหว่างสารยึดเรซินกับวัสดุทดลองมีความต่อเนื่องไม่พบการแยกตัว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับหลังการแช่ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก พบชั้นรอยต่อที่ไม่สม่ำเสมอและไม่ต่อเนื่อง(ดังรูปที่27และ28) แสดงว่าลักษณะของชั้นรอยต่อระหว่างสารยึดเรซินกับผิววัสดุทดลองมีเรซินแทรกซึมเข้าไปได้ไม่สมบูรณ์ ชั้นรอยต่อจึงถูกละลายออกไป และเมื่อพิจารณาการแตกหักของชั้นตัวอย่างที่เกิดการแตกหักแบบผสมของการแตกในชั้นเรซินร่วมกับการแตกระหว่างผิววัสดุกับสารยึดเรซินในแนวขนานกับแรงดึงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่ามีการแยกตัวของชั้นเรซินและสารยึดเรซินออกจากผิววัสดุทดลอง ชั้นรอยต่อมีความไม่ต่อเนื่อง และพบว่าการแตกหักในพื้นที่ผิววัสดุทดลองที่ผ่านการกัดด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ32 ที่อยู่ติดชั้นรอยต่อ แสดงว่าจุดบกพร่อง(defect) คือบริเวณที่อยู่ติดชั้นรอยต่อ(ดังรูปที่29) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีเรซินแทรกซึมเข้าไปได้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เป็นจุดที่อ่อนแอ การแตกหักจึงน่าจะเริ่มจากจุดนี้แล้วผ่านเข้าสู่ชั้นสารยึดเรซินทำให้ค่าความแข็งแรงดึงยึดที่ได้มีค่าต่ำ แสดงว่าวัสดุทดลองเมื่อผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดฟอสฟอริกแล้วจะทำให้เกิดโครงสร้างที่ซับซ้อนเกินกว่าการที่สารยึดเรซิน All-Bond2 จะสามารถแทรกซึมเข้าไปได้อย่างทั่วถึง นอกจากนี้การที่กลุ่มเซรามิกที่ยึดกับสารยึดเรซิน All-Bond2 มีค่าความแข็งแรงดึงยึดต่ำกว่ากลุ่มที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์Super-Bondอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ดังตารางที่3) ทั้งๆที่มีลักษณะพื้นผิวเซรามิกที่เรียบ ไม่ซับซ้อน อาจเนื่องมาจากสารยึดเรซินAll-Bond2 และ เรซินซีเมนต์Duo-Link มีส่วนประกอบเป็น บิสฟีเอ็มเอ ยูรีเทนไดเมทาอะคริเลต ทีอีจีเอ็มเอ และอนุภาคเติมเต็มที่เป็นแก้ว ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้สามารถดูดซับน้ำได้ เพื่อคลายความเครียดที่เกิดขึ้น (Feilzer et al., 1990) ทำให้เกิดการบวมน้ำแล้วเกิดความเครียดขึ้นบริเวณรอยต่อของเรซินกับผิววัสดุนี้และถ้าบริเวณรอยต่อนี้มีการยึดเชิงกลของวัสดุกับเรซินต่ำ จะทำให้สูญเสียการยึดของวัสดุกับเรซินได้อย่างรวดเร็ว (El Zohairy et al., 2003) ซึ่งในการทดลองนี้ทำการปรับสภาพผิวเซรามิกด้วยการเป่าทรายเท่านั้น ดังที่กล่าวไว้ตอนต้นแล้วว่า วิธีนี้ไม่สามารถทำให้พื้นผิวเซรามิกมีความขรุขระพอที่จะทำให้เกิดการยึดเชิงกลที่ดีได้ ดังนั้นค่าความแข็งแรงดึงยึดบริเวณรอยต่อของเซรามิกกับสารยึดเรซินAll-Bond2จึงต่ำที่สุด และเกิดการแตกระหว่างผิวเซรามิกกับสารยึดเรซินทุกชั้น(ดังรูปที่15) ขณะที่เรซินซีเมนต์Super-Bond มีเวลาในการแข็งตัวนานคือ 8.5-9.5 นาที ทำให้เกิดการไหลของเรซินซีเมนต์ระหว่างเกิดการแข็งตัวได้เพื่อไปชดเชยกับ

ความเครียดที่เกิดขึ้นจากการหดตัวของเนื้อเยื่อที่เกิดปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ของเรซิน(Mak et.al.,2002) ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงยึดบริเวณรอยต่อของเซรามิกกับเรซินซีเมนต์Super-Bond สูงกว่ากลุ่มที่ยึดกับสารยึดเรซินAll-Bond2อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีการแตกเป็นแบบผสมของการแตกในชั้นเรซินร่วมกับการแตกระหว่างผิวเซรามิกกับเรซิน (ดังตารางที่3และรูปที่12)

จากผลการทดลองตอนที่2 กลุ่มวัสดุทดลองที่ยึดด้วยสารยึดเรซิน All-Bond2 มีค่าความแข็งแรงดึงยึดมากกว่ากลุ่มโลหะผสมชนิดพื้นฐานและเซรามิกที่ยึดด้วยสารยึดเรซิน All-Bond2 และมีการแตกหักแบบผสมของการแตกหักในชั้นเรซินร่วมกับการแตกหักระหว่างผิววัสดุทดลองกับสารยึดเรซินเป็นส่วนใหญ่(ดังรูปที่16) ในขณะที่การแตกหักของกลุ่มโลหะผสมชนิดพื้นฐานและเซรามิกเป็นการแตกระหว่างผิววัสดุและสารยึดเรซินทั้งหมด(ดังรูปที่13และ15) และเมื่อทำการศึกษาบริเวณแตกหักในแนวขนานกับแรงดึงด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดภายหลังการรับแรงของชิ้นตัวอย่างวัสดุทดลอง แสดงว่ามีชั้นรอยต่อด้วยแม้จะไม่สมบูรณ์และมีลักษณะพื้นผิวที่เป็นหลุมร่องจากการเป่าทรายช่วยยึดเรซินไว้(ดังรูปที่27และ28) ซึ่งให้การยึดเชิงกลกับสารยึดเรซินได้ดีกว่าการที่มีลักษณะพื้นผิวเป็นแค่หลุมร่อง 2 มิติในกลุ่มโลหะผสมชนิดพื้นฐาน(ดังรูปที่9)เท่านั้น จากผลการทดลอง กลุ่มเรซินคอมโพสิตที่ยึดกับสารยึดเรซิน All-Bond2 มีค่าความแข็งแรงดึงยึดมากกว่ากลุ่มโลหะผสมชนิดพื้นฐานและเซรามิก เนื่องจากในการยึดเรซินคอมโพสิตมีการใช้สารคู่ควบไซเลนร่วมด้วย ทำให้เพิ่มความสามารถในการไหลแผ่ปกคลุมพื้นผิว (surface wettability) และการแทรกซึมของสารยึดเรซินและเรซินซีเมนต์(Jardel et al.,1999) เข้าในหลุมร่องที่เกิดขึ้นภายหลังการปรับสภาพผิวด้วยการเป่าทราย ทำให้มีการยึดเชิงกลที่มากกว่ากลุ่มโลหะผสมชนิดพื้นฐาน ที่ไม่ได้ใช้สารปรับสภาพผิวใดๆ ร่วมด้วย ในขณะที่กลุ่มเซรามิกแม้จะมีการใช้สารคู่ควบไซเลนร่วมด้วย แต่ลักษณะพื้นผิวภายหลังการเป่าทรายไม่สามารถทำให้เกิดการยึดเชิงกลที่ดีได้ ดังนั้นค่าความแข็งแรงดึงยึดบริเวณรอยต่อของเซรามิกกับสารยึดเรซิน All-Bond2 และเรซินซีเมนต์ Duo-Link จึงมีค่าต่ำที่สุด แสดงว่าปัจจัยหลักสำคัญในการทำให้เกิดความคงทนของการยึดบริเวณรอยต่อของวัสดุบูรณะกับสารยึดเรซินและเรซินซีเมนต์ คือ การปรับสภาพผิววัสดุบูรณะให้เกิดลักษณะพื้นผิวที่เอื้ออำนวยให้เกิดการยึดเชิงกลที่ดีร่วมกับการใช้เรซินซีเมนต์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการแทรกซึมเข้าสู่ผิววัสดุบูรณะ

จากผลการทดลองพบว่ากลุ่มโลหะผสมชนิดพื้นฐาน วัสดุทดลอง และเรซินคอมโพสิตที่ยึดกับ Super-Bond มีค่าความแข็งแรงดึงยึดสูง ขณะที่กลุ่มเซรามิกและโลหะผสมชนิดพื้นฐาน ที่ยึดด้วยสารยึดเรซิน All-Bond2 มีค่าต่ำแสดงว่าปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงยึดคือ ลักษณะพื้นผิวของวัสดุภายหลังการปรับสภาพผิวและความสามารถในการแทรกซึมของสารยึด

เรซินและเรซินซีเมนต์ กลุ่มวัสดุทดลองที่ยึดกับสารยึดเรซิน All-Bond2 มีค่าความแข็งแรงดึงยึดไม่แตกต่างจากกลุ่มเซรามิกที่ยึดด้วย Super-Bond และกลุ่มเรซินคอมโพสิตที่ยึดด้วยสารยึดเรซิน All-Bond2 แสดงว่าการปรับสภาพผิววัสดุทดลองด้วยกรดฟอสฟอริกทำให้เกิดพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลง (surface irregularity) มีลักษณะเหมาะสมก่อให้เกิดการยึดเชิงกลได้

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทั้งหมดทำให้ทราบค่าความแข็งแรงผิวของวัสดุบูรณะและค่าความแข็งแรงดึงยึดที่บริเวณรอยต่อของวัสดุบูรณะกับเรซินซีเมนต์ ลักษณะการแตกหักเมื่อได้รับแรงดึง ลักษณะผิวรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและลักษณะชั้นรอยต่อระหว่างวัสดุทดลองกับเรซินซีเมนต์ ทำให้ทราบว่าสิ่งสำคัญในการยึดอยู่ของชิ้นงานคือ การใช้เรซินซีเมนต์ที่ดี มีการยึดอยู่ที่น่าเชื่อถือ และการปรับสภาพผิวชิ้นงานให้เหมาะสมกับวัสดุที่เลือกใช้ทำเป็นชิ้นงานบูรณะ เพื่อให้เกิดลักษณะพื้นผิวที่ทำให้เกิดการยึดที่ดีโดยเฉพาะการยึดเชิงกล โดยวิธีที่ใช้ปรับสภาพผิวควรเป็นวิธีที่ง่าย, สะดวก ไม่ยุ่งยาก ไม่ต้องการอุปกรณ์เครื่องมือพิเศษเพิ่มเติม และไม่มีความเสี่ยงต่อผู้ป่วยและบุคลากรทางทันตกรรมในการใช้เครื่องมือและสารเคมีในการปรับสภาพผิววัสดุบูรณะ ดังนั้นการเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้ทำเป็นชิ้นงานบูรณะทางทันตกรรม จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการนำไปสู่การประสบความสำเร็จในการรักษา ซึ่งวัสดุที่ดีควรเป็นวัสดุที่สามารถทำการปรับสภาพผิวได้ด้วยวิธีง่ายๆ ที่จะทำให้เกิดการยึดอยู่ที่ยาวนานและสามารถซ่อมแซมภายในช่องปากได้เมื่อเกิดการแตกออกบางส่วนของชิ้นงานบูรณะภายหลังผ่านการใช้งานแล้ว นอกจากนี้ควรมีค่าความแข็งแรงผิวที่สูงมากพอที่จะต้านทานต่อการสึกที่เพิ่มขึ้นคือ การสึกจากการขัดสี การสึกจากการขัดถูและการสึกจากสารเคมีที่มาจากอาหารที่รับประทานเข้าไป แต่ต้องไม่มากเกินไปจนทำอันตรายต่อฟันคู่สบที่เป็นพันธมิตรชาติ ดังนั้นควรมีค่าความแข็งแรงผิวที่ใกล้เคียงกับผิวเคลือบฟัน ซึ่งการทดลองนี้พบว่าวัสดุทดลองเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติดังที่กล่าว ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาพัฒนาวัสดุทดลองนี้ต่อไปเพื่อให้สามารถนำมาใช้บูรณะทางทันตกรรมได้ต่อไป