

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### แนวคิดและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเกี่ยวกับวัสดุที่สามารถยึดติดกับฟันได้โดยตรงได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน การใช้สารบอนด์ร่วมกับวัสดุเรซินคอมโพสิตในการบูรณะฟันเป็นวัสดุที่สามารถยึดติดกับฟันที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ซึ่งในปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตได้มีการผลิตสารบอนด์ชนิดใหม่ๆออกมาในท้องตลาดมากมาย และมีการพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆให้สามารถนำไปใช้งานได้ง่ายขึ้น โดยพยายามลดขั้นตอนในการทำงานให้เหลือน้อยที่สุด

ระบบสารบอนด์ที่ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพในการยึดติดที่ดี และนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวางตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน คือ สารบอนด์ระบบโททอลเอทช์ (total etch) แบบ 3 ขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วย ขั้นตอนการใช้กรดกัดผิวฟัน ขั้นตอนการทาสารไพรเมอร์ และขั้นตอนการทาสารเอทช์ซีฟ แต่เนื่องจากในปัจจุบันผู้ผลิตได้พยายามพัฒนาสารบอนด์ให้มีความสะดวกในการนำไปใช้งานโดยพยายามลดขั้นตอนการทำงานให้ลดลงเหลือเพียง 2 ขั้นตอน หรือขั้นตอนเดียว แต่สารบอนด์ที่มีการลดขั้นตอนลงเหล่านี้เพียงจะได้รับการพัฒนาในช่วงหลังๆ ซึ่งยังมีการศึกษาวิจัยถึงคุณสมบัติต่างๆและความเข้ากันได้กับวัสดุอื่นไม่มากนัก โดยมีบางการศึกษาที่พบว่าระบบสารบอนด์ที่สารไพรเมอร์และสารเอทช์ซีฟรวมอยู่ในขวดเดียวกัน มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างสารบอนด์กับวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองมีค่าลดลง (Sanares และคณะ, 2001; Swift และคณะ, 2001)

การแบ่งประเภทของระบบสารบอนด์นิยมใช้การแบ่งตามขั้นตอนในการใช้งานและกลไกการทำงานของระบบสารบอนด์ต่อเนื้อฟัน (Van Meerbeek และคณะ, 2001b) โดยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระบบ ได้แก่ สารบอนด์ระบบโททอลเอทช์ สารบอนด์ระบบเซลฟ์เอทช์ (self etch) และสารบอนด์ระบบเรซิน-ไอโอโนเมอร์ (resin-modified glass ionomer) ในระยะเริ่มแรกที่มีการคิดค้นวัสดุเรซินคอมโพสิต ได้มีการแนะนำถึงวิธีการใช้กรดกัดผิวฟันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะกับผิวฟัน ต่อมาได้มีการพัฒนาระบบสารบอนด์จนเกิดเป็นแนวคิดในระบบโททอลเอทช์ระบบสารบอนด์

สารบอนด์ระบบโททอลเอทช์เป็นระบบที่แยกขั้นตอนการใช้กรดกัดผิวฟัน หรือการเตรียมสภาพผิวฟันด้วยกรดซึ่งโดยทั่วไปกรดที่นิยมใช้ได้แก่ กรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นประมาณ 30-40% (Silverstone, 1974) โดยในระยะแรกการใช้สารบอนด์ระบบโททอลเอทช์จะประกอบด้วย 3

ขั้นตอน คือหลังจากการทากรดกัดผิวฟันและล้างน้ำออกแล้ว จะตามด้วยการทาสารไพรเมอร์ และการทาสารแอทชีฟตามลำดับ ต่อมาได้มีการพัฒนาสารบอนด์ระบบโททอลเอทซ์ให้มีการใช้งานที่สะดวกมากขึ้น โดยมีการลดขั้นตอนในการทำงานลงเป็นสารบอนด์ระบบโททอลเอทซ์แบบ 2 ขั้นตอน ซึ่งรวมเอาขั้นตอนการใช้สารไพรเมอร์และขั้นตอนการใช้สารแอทชีฟเป็นขั้นตอนเดียว

#### ขั้นตอนที่ 1 การปรับสภาพฟันโดยใช้กรดกัด (acid-etching)

##### - การปรับสภาพเคลือบฟันโดยใช้กรดกัด (enamel conditioning)

ส่วนประกอบและโครงสร้างของเคลือบฟัน จะมีลักษณะเป็นโครงสร้างที่คล้ายคลึงกันโดยตลอด (homogenous) และมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นอนินทรีย์สารซึ่งส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ไฮดรอกซีอะพาไทท์ (hydroxyapatite) ส่วนที่เหลือจะประกอบไปด้วยอินทรีย์สารและน้ำในปริมาณเพียงเล็กน้อย การเริ่มต้นการใช้กรดในการปรับสภาพผิวเคลือบฟันเพื่อเพิ่มการยึดเกาะต่อสารเรซินได้ถูกคิดค้นขึ้นโดย Buonocore ในปี 1955 (Buonocore, 1955) พบว่า การใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 85% กัดผิวเคลือบฟันจะทำให้ผิวเคลือบฟันมีลักษณะเป็นรูพรุนในระดับจุลภาค (microporosities) ซึ่งจะทำให้เกิดการยึดติดทางกลในระดับจุลภาค (micromechanical interlock) เมื่อทำการบูรณะด้วยวัสดุอะคริลิกเรซิน (acrylic resin)

กรดจะกัดผิวเคลือบฟันออกประมาณ 10 ไมโครเมตร และทำให้เกิดชั้นรูพรุนระดับจุลภาค ลึกประมาณ 5-50 ไมโครเมตร เมื่อสารเรซินแทรกซึมไปบนผิวเคลือบฟันที่ถูกกรดกัดจะทำให้เกิดโครงสร้างเป็นเรซินแท็ก (resin tag) 2 ชนิด (Peumans และคณะ, 1999) คือ แมโครแท็ก (macrotags) และไมโครแท็ก (microtags) ซึ่งส่วนไมโครแท็กจะมีปริมาณและพื้นที่ผิวมากจึงเป็นโครงสร้างที่จะบ่งบอกถึงความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างสารเรซินกับผิวเคลือบฟัน

ค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนในการยึดติดระหว่างเรซินคอมโพสิตต่อพื้นผิวเคลือบฟันที่ถูกกัดด้วยกรดฟอสฟอริก มีค่าประมาณ 20 เมกะปาสคาล (MPa) (Gwinnett และ Kanca, 1992; Barkmeier และคณะ, 1986; Gilpatrick และคณะ, 1991) ซึ่งจะให้ค่าความแข็งแรงเพียงพอต่อการต้านทานแรงจากการหดตัวของเรซินคอมโพสิตในขณะเกิดปฏิกิริยาการแข็งตัว (polymerization shrinkage) (Davidson, de Gee และ Feilzer, 1984; Munksgaard, Irie และ Asmussen, 1985)

##### - การปรับสภาพเนื้อฟันโดยใช้กรดกัด (dentin conditioning)

ถึงแม้ว่าการพัฒนาสารบอนด์ให้ยึดติดกับเคลือบฟันจะประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี แต่การยึดติดของสารบอนด์ต่อเนื้อฟันมีความยุ่งยากซับซ้อน และมีความไวต่อขั้นตอนการทำงาน (technique sensitive) ที่มากกว่า (Swift และคณะ, 1995; Perdigao และ Lopez, 1999; Pashley และคณะ, 1995) เนื่องจากส่วนประกอบและโครงสร้างของเนื้อฟันที่มีความแตกต่างจากส่วน

เคลือบฟัน ซึ่งในส่วนเนื้อฟันจะมีองค์ประกอบที่มีความซับซ้อนมากกว่า มีลักษณะโครงสร้างที่ไม่เป็นรูปแบบเดียวกันในแต่ละส่วนของเนื้อฟัน (heterogenous) กล่าวคือ เนื้อฟันจะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นท่อเนื้อฟัน(dentinal tubule) เนื้อฟันส่วนรอบท่อเนื้อฟัน (peritubular dentin) และเนื้อฟันที่อยู่ระหว่างท่อเนื้อฟัน(intertubular dentin) โดยภายในท่อเนื้อฟันจะเป็นของเหลวและล้อมรอบด้วยส่วนเนื้อฟันที่มีแร่ธาตุสูง (hypermineralized) ส่วนเนื้อฟันบริเวณที่อยู่ระหว่างท่อเนื้อฟันเป็นส่วนที่มีแร่ธาตุต่ำและมีเส้นใยเนื้อฟัน (fibrous dentin) อยู่มาก (Perdigao และ Lopez, 1999) แต่ละส่วนของเนื้อฟันดังกล่าวจะมีการตอบสนองต่อการยึดติดที่แตกต่างกัน (Gwinnett, 1993) และที่ระดับความลึกของเนื้อฟันที่ต่างกันก็จะมีอัตราส่วนขององค์ประกอบในส่วนต่างๆนี้ต่างกันไป ซึ่งทำให้เกิดผลในการยึดติดที่แตกต่างกัน โดยเนื้อฟันส่วนใกล้โพรงประสาทฟันจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อเนื้อฟันประมาณ 2.5 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าส่วนใกล้รอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (dentinoenamel junction) ที่มีขนาดประมาณ 0.8 ไมโครเมตร และจำนวนของท่อเนื้อฟันบริเวณใกล้โพรงประสาทฟันก็ยังมีปริมาณที่มากกว่าบริเวณใกล้รอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเนื้อฟันด้วย (Garberoglio และ Brannstrom, 1976) นอกจากนี้องค์ประกอบของเนื้อฟันที่ประกอบด้วยอินทรีย์สารและน้ำมากกว่าในส่วนเคลือบฟัน ยังเป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้การยึดติดของเนื้อฟันกับสารเรซินซึ่งมีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เกิดขึ้นได้ยากกว่าการยึดติดกับเคลือบฟันซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบเพียงเล็กน้อย

ในการกรอตัดฟันเพื่อเตรียมโพรงฟันทำให้บริเวณพื้นผิวฟันที่ถูกกรอตัดถูกปกคลุมไปด้วยชั้นผงฟันที่เกิดจากการกรอตัด หรือชั้นสเมียร์ (smear layer) (Eick และคณะ, 1970) โดยลักษณะรูปร่าง ส่วนประกอบ และความหนาของชั้นสเมียร์นี้จะมีความแตกต่างกันออกไปขึ้นกับเครื่องมือที่ใช้ในการกรอ และตำแหน่งของเนื้อฟันที่ถูกกรอ (Gwinnett, 1984; Pashley, 1984) ในสมัยก่อนสารบอนด์ที่ใช้กับเนื้อฟัน (dentin bonding agent) จะใช้ทาที่ชั้นสเมียร์ ซึ่งชั้นไฮบริดที่เกิดจะมีชั้นสเมียร์รวมอยู่ด้วย (Nakabayashi และ Pashley, 1998) การศึกษาถึงผลของความลุ่มเหลวในการยึดติดของสารบอนด์ชนิดนี้พบว่า ค่าความแข็งแรงการยึดติดที่ได้มีค่าต่ำ และเมื่อนำไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy) พบว่าพื้นผิวที่เกิดการแตกหักทั้งสองด้าน คือด้านเนื้อฟันและด้านสารเรซินถูกปกคลุมด้วยชั้นสเมียร์ (Tao และคณะ, 1988) หมายความว่าค่าความแข็งแรงยึดติดที่ได้ซึ่งมีค่าต่ำ เกิดจากความลุ่มเหลวในการยึดติดภายในชั้นสเมียร์ (cohesive bond failure) ดังนั้นการกำจัดชั้นสเมียร์ออกก่อนใช้สารบอนด์เชื่อว่าจะทำให้ค่าความแข็งแรงยึดติดมีค่าสูงขึ้น

สารที่ใช้ปรับสภาพเนื้อฟันโดยกำจัดชั้นสเมียร์ได้แก่ EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) และกรดต่างๆ เช่น กรดซิตริก (citric acid) กรดโพลีอะคริลิก (polyacrylic acid) และ

กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) เป็นต้น ซึ่งการกำจัดชั้นสเมียร์ออกจะเป็นการเปิดท่อเนื้อฟัน และทำให้เกิดโครงร่างของเส้นใยคอลลาเจน (collagen fibrils) ที่มีลักษณะเป็นรูพรุนในระดับจุลภาคในส่วนเนื้อฟันที่อยู่ระหว่างท่อเนื้อฟัน (Hilton, 2001) ในเนื้อฟันปกติโครงร่างของเส้นใยคอลลาเจนจะถูกรองรับไว้ด้วยองค์ประกอบที่เป็นอนินทรีย์สารในเนื้อฟัน การปรับสภาพเนื้อฟันโดยการละลายแร่ธาตุออกไป (demineralization) จะทำให้เกิดการยุบตัว (collapse) ของเส้นใยคอลลาเจนได้ (Van Meerbeek และคณะ, 1993; Marshall และ Balouch, 1993) เส้นใยคอลลาเจนที่ไม่มีแร่ธาตุล้อมรอบ (exposed collagen) จะมีความไวต่อความชื้นสูง กล่าวคือ หลังจากการปรับสภาพเนื้อฟันด้วยกรดและทำการล้างออกด้วยน้ำแล้ว น้ำจะเป็นตัวที่เข้าไปแทนที่ช่องว่างบริเวณที่ผลึกอะพาไทท์ถูกละลายออกไป ซึ่งจะช่วยคงช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจนเพื่อให้สารโมโนเมอร์แพร่ผ่านเข้าไปได้ (Van Meerbeek และคณะ, 1996a) แต่ถ้าทำการเป่าฟันให้แห้งเกินไปจะทำให้เส้นใยคอลลาเจนที่ไม่มีแร่ธาตุล้อมรอบเกิดการยุบตัว (Ten Cate และคณะ, 1991; Carvalho และคณะ, 1996a; Carvalho และคณะ, 1996b) ดังนั้นจึงควรปล่อยให้พื้นผิวเนื้อฟันที่ถูกปรับสภาพด้วยกรดแล้วมีความชื้นเล็กน้อย (moist dentin) เพื่อป้องกันการเกิดการยุบตัวของคอลลาเจน ซึ่งจะทำให้ความแข็งแรงในการยึดติดสูงขึ้นด้วย (Kanca, 1992a; Kanca, 1992b; Gwinnett, 1992) ระบบสารบอนด์ในปัจจุบันส่วนใหญ่มีตัวทำละลายเป็นอะซิโตน (acetone) หรือเอทานอล (ethanol) ซึ่งเชื่อว่าตัวทำละลายเหล่านี้จะสามารถเข้าไปแทนที่น้ำที่เหลืออยู่ และนำพาเอาสารโมโนเมอร์แทรกผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจนได้ (Jacobsen และ Söderholm, 1995; Kanca, 1992c)

## ขั้นตอนที่ 2 การทาสารไพรเมอร์

โมเลกุลของสารไพรเมอร์ประกอบด้วย 2 กลุ่ม (functional groups) คือ กลุ่มที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) และกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) ละลายอยู่ในตัวทำละลาย เช่น อะซิโตน เอทานอล หรือน้ำ โดยกลุ่มที่ชอบน้ำจะไปจับกับพื้นผิวของเนื้อฟัน ส่วนกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำจะทำหน้าที่ไปจับกับสารเรซิน (Erickson, 1992) ซึ่งการทาสารไพรเมอร์จะเป็นการช่วยเพิ่มพลังงานบนพื้นผิว (surface energy) และเพิ่มความสามารถในการแผ่กระจายของของเหลว (wettability) บนพื้นผิวเนื้อฟันซึ่งจะทำให้เกิดการยึดติดที่ดี (Swift และคณะ, 1995) หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ขั้นตอนการทาสารไพรเมอร์เพื่อต้องการเปลี่ยนลักษณะพื้นผิวของเนื้อฟันที่มีลักษณะชอบน้ำ ให้กลายเป็นพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำเพื่อให้สารเรซินซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำสามารถแทรกผ่านเข้าไประหว่างโครงร่างเส้นใยคอลลาเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Eliades, 1994; Nakabayashi และ Takarada, 1992)

### ขั้นตอนที่ 3 การทาสารแอทอีซีฟ

ส่วนประกอบหลักของสารแอทอีซีฟจะเป็นพวกโมโนเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำซึ่งจะทำหน้าที่แทรกผ่านเข้าไปในส่วนของเนื้อฟันที่มีสารไพรเมอร์อยู่ เมื่อสารเรซินเกิดปฏิกิริยาการบ่มตัว (polymerization) จะไปช่วยคงสภาพของคอลลาเจนเกิดเป็นชั้นไฮบริด (hybrid layer) (Nakabayashi และคณะ, 1982) ส่วนของเรซินที่แทรกเข้าไปในท่อเนื้อฟัน เรียกว่า เรซินแท้กการพัฒนาาระบบสารบอนด์ต่อเนื้อฟัน (dentin bonding agents)

ความพยายามในการพัฒนาระบบสารบอนด์ต่อเนื้อฟันเพื่อให้ได้การยึดติดที่ดีใกล้เคียงกับการยึดติดกับเคลือบฟันได้มีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงมาอย่างต่อเนื่อง เพราะเป็นที่ทราบแล้วว่า การยึดติดของสารบอนด์ต่อเนื้อฟันมีความซับซ้อนและมีความยุ่งยากมากกว่าการยึดติดกับเคลือบฟัน โดยสามารถแบ่งช่วงเวลาในการพัฒนาระบบสารบอนด์ต่อเนื้อฟันเป็น 5 ช่วงเวลา (generation) ตั้งแต่ประมาณปี 1956 Buonocore และคณะได้คิดค้นสารบอนด์ที่สามารถยึดติดกับพื้นผิวเนื้อฟันได้ (Buonocore, 1956) แต่ในช่วงแรกๆของการพัฒนาระบบสารบอนด์ ความแข็งแรงในการยึดติดต่อเนื้อฟันที่ได้ยังมีค่าต่ำ และการยึดติดที่ได้เป็นการยึดติดกับชั้นสเมียร์ซึ่งความล้มเหลวที่เกิดมักเกิดภายในชั้นสเมียร์ (Torney, 1978) เนื่องจากในช่วงแรกแนวคิดในการปรับสภาพเนื้อฟันด้วยกรดยังไม่ได้รับการยอมรับ โดยเชื่อว่ากรดที่ใช้จะไปทำอันตรายต่อโพรงประสาทฟัน (Bertolotti, 1992; Cox, 1992; Stanley และคณะ, 1975) ต่อมาในปี 1979 Fusayama และคณะได้แนะนำว่าการกำจัดชั้นสเมียร์ออกโดยใช้กรดกัดเนื้อฟันจะช่วยให้ได้ความแข็งแรงในการยึดติดที่ดีขึ้น (Fusayama และคณะ, 1979) แต่ยังไม่ประสบความสำเร็จในช่วงแรกเนื่องจากยังมีข้อโต้แย้งเกี่ยวกับอันตรายต่อโพรงประสาทฟัน และการใช้กรดปรับสภาพเนื้อฟันจะเป็นการเปิดท่อเนื้อฟันทำให้ของเหลวภายในท่อเนื้อฟันมาเกิดขวางการยึดติดของสารเรซิน ซึ่งในสมัยนั้นสารเรซินที่ใช้ยังเป็นสารเรซินที่ไม่ชอบน้ำ (Torney, 1978) จนถึงประมาณช่วงต้นทศวรรษที่ 1990 หรือประมาณช่วงเวลาที่สี่ (fourth generation) แนวคิดในการใช้กรดปรับเนื้อฟันจึงเป็นที่ยอมรับ และประสบความสำเร็จในการใช้กรดกัดเคลือบฟันและเนื้อฟันพร้อมกันหรือแนวคิดของการใช้ระบบสารบอนด์ชนิดโททอลเอทซ์ ซึ่งระบบสารบอนด์ในช่วงที่สี่ได้มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการยึดติดที่ดีขึ้น โดยการใช้สารไพรเมอร์เพื่อเปลี่ยนแปลงผิวเนื้อฟันที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มากให้เข้ากันได้กับสารเรซินที่มีลักษณะไม่ชอบน้ำ ระบบสารบอนด์ในช่วงที่สี่จะประกอบไปด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอน คือขั้นตอนการใช้กรดปรับสภาพผิวฟัน ขั้นตอนการทาสารไพรเมอร์ และขั้นตอนการทาสารแอทอีซีฟ สารบอนด์ในกลุ่มนี้ เช่น All-Bond 2(Bisco), Scotchbond Multi Purpose(3M ESPE), Optibond FL(Kerr) เป็นต้น

แต่เนื่องจากระบบสารบอนด์ในช่วงที่สี่ยังมีความยุ่งยากในการใช้งาน มีขั้นตอนการใช้งานหลายขั้นตอน ใช้เวลาในการทำงานค่อนข้างมาก และมีความไวต่อขั้นตอนการทำงานสูง จึงได้มีการพัฒนาระบบสารบอนด์ในช่วงที่ห้า (fifth generation) โดยมีการรวมขั้นตอนการทำงานให้ลดลง เพื่อให้สะดวกต่อการนำไปใช้งานมากขึ้นโดยรวมสารไพรเมอร์และสารแอทชีฟไว้ในขวดเดียวกัน หรือที่เรียกว่า สารบอนด์ระบบโททอลเอทช์แบบขวดเดียว (total-etch, one-bottle adhesives) สารบอนด์ในกลุ่มนี้ เช่น Prime&Bond NT(Dentsply), OptiBond Solo Plus(Kerr), One-Step(Bisco), Excite(Ivoclar Vivadent), Single Bond(3M ESPE) เป็นต้น

ระบบสารบอนด์ต่อเนื้อฟันที่ใช้ในปัจจุบันจะเป็นกลุ่มที่อยู่ในช่วงที่สี่และช่วงที่ห้า ซึ่งมีรายงานถึงความสำเร็จในการยึดติดทั้งในห้องปฏิบัติการและในคลินิก (Swift และคณะ, 1995; Van Meerbeek และคณะ, 1994; Van Meerbeek และคณะ, 1996b) แต่ถึงแม้ว่าจะมีรายงานถึงค่าความแข็งแรงยึดติดที่ดีของสารบอนด์ระบบโททอลเอทช์แบบขวดเดียว (Swift และ Bayne, 1997) แต่มีบางการศึกษาที่พบว่าค่าความแข็งแรงในการยึดติดของสารบอนด์ระบบนี้มีค่าไม่แน่นอน (Perdigao และคณะ, 1997b) และเมื่อเปรียบเทียบความแนบสนิทกับขอบเนื้อฟันแล้วพบว่าสารบอนด์ในระบบโททอลเอทช์แบบขวดเดียวจะให้ค่าที่ต่ำกว่าสารบอนด์ระบบโททอลเอทช์แบบสามขั้นตอน ส่วนความแนบสนิทกับส่วนเคลือบฟันพบว่าสารบอนด์ในระบบโททอลเอทช์แบบขวดเดียวบางชนิดให้ค่าที่ใกล้เคียงกับสารบอนด์ระบบโททอลเอทช์แบบสามขั้นตอน แต่ค่าที่ได้จะมีความแปรปรวนที่มากกว่า (Blunck และ Roulet, 1998) โดยทั่วไปแล้วสารบอนด์ระบบโททอลเอทช์แบบขวดเดียวจะให้การยึดติดที่ใกล้เคียงกับสารบอนด์ระบบโททอลเอทช์แบบสามขั้นตอนเมื่อใช้ยึดติดกับเคลือบฟัน แต่เมื่อใช้กับเนื้อฟันการแยกขั้นตอนการทำสารไพรเมอร์และสารแอทชีฟจะให้ผลที่ดีกว่า (Van Meerbeek และคณะ, 2001a)

สารบอนด์ระบบเซลฟ์เอทช์เป็นอีกระบบหนึ่งที่มีความสนใจ และมีการนำมาใช้งานในปัจจุบัน โดยระบบนี้เป็นระบบที่รวมขั้นตอนการใช้กรดกัดผิวฟันกับการทำสารไพรเมอร์ไว้ในขั้นตอนเดียว โดยไม่ต้องล้างน้ำออก ซึ่งทำให้การใช้สารบอนด์ในระบบนี้มีความไวต่อการนำไปใช้งานน้อย กล่าวคือ ไม่มีปัญหาในเรื่องของการควบคุมปริมาณความชื้นที่ผิวเนื้อฟันภายหลังการกัดผิวฟันด้วยกรด (Kanca, 1992c; Van Meerbeek และคณะ, 2001b; Kanca, 1992a) นอกจากนี้ยังเป็นระบบที่มีการลดขั้นตอนเหลือเพียงสองขั้นตอน คือขั้นตอนการทำสารไพรเมอร์ที่มีความเป็นกรด(acidic primer) โดยไม่ต้องล้างน้ำออก และขั้นตอนการทำสารแอทชีฟ หรือมีการลดขั้นตอนเหลือเพียงขั้นตอนเดียว คือการรวมเอาขั้นตอนทั้งสามไว้ในขั้นตอนเดียว ซึ่งทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้งาน และเสียเวลาการทำงานลดลง กลไกการทำงานของสารบอนด์ระบบนี้ไม่ได้มีการกำจัดชั้นสเมียร์ออกไป แต่เป็นการรวมเอาชั้นสเมียร์เข้าไปเป็นส่วนเดียวกับชั้นไฮบริด (Swafford และ

คณะ,2000; Perdigao และคณะ, 1997a) อย่างไรก็ตาม การศึกษาจำนวนมากถึงประสิทธิภาพในการทำงานของระบบสารบอนด์แบบเซลฟ์เอทช์พบว่า สารบอนด์ในระบบนี้ยังให้ค่าความแข็งแรงในการยึดติดต่อเคลือบฟันที่ต่ำกว่าระบบสารบอนด์แบบโททอลเอทช์อย่างมีนัยสำคัญ (Glasspoole และคณะ, 2001) และความแนบสนิทกับขอบเคลือบฟันยังมีประสิทธิภาพที่ไม่ดีนักเมื่อเทียบกับในระบบโททอลเอทช์ (Ferrari และคณะ, 1997; Opdam และคณะ, 1998) แต่เมื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพการยึดติดต่อเนื้อฟันแล้วพบว่า การใช้ระบบสารบอนด์แบบเซลฟ์เอทช์จะมีความไวต่อการนำไปใช้งานน้อยกว่าเมื่อเทียบการใช้ระบบสารบอนด์แบบโททอลเอทช์ เนื่องจากระบบโททอลเอทช์เมื่อทำการกัดผิวฟันด้วยกรดและล้างน้ำออกแล้ว ปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ที่เนื้อฟันจะมีผลต่อค่าการยึดติดได้กล่าวมาแล้ว แต่ในระบบเซลฟ์เอทช์ไม่มีขั้นตอนการล้างน้ำออก ซึ่งจะช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ ส่วนค่าความแข็งแรงในการยึดติด มีหลายการศึกษาที่พบว่า การใช้สารบอนด์ระบบเซลฟ์เอทช์ให้ค่าความแข็งแรงในการยึดติดต่อเนื้อฟันที่สูงใกล้เคียงกับระบบโททอลเอทช์ (Yoshiyama และคณะ,1997; Fortin และคณะ, 1994; Nunes และคณะ, 2000)

ส่วนประกอบโดยทั่วไปขององค์ประกอบต่างๆในระบบสารบอนด์ (Bayne, 2002)

#### 1. กรดกัดผิวฟัน (Etchant)

ส่วนใหญ่กรดที่นิยมใช้ในการกัดผิวฟันได้แก่ กรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นประมาณ 30-40% แต่สารบอนด์บางระบบอาจใช้กรดชนิดอื่น เช่น กรดมาเลอิก(maleic acid) กรดซิตริก(citric acid) กรดไนตริก(nitric acid) กรดโพลีอะคริลิก(polyacrylic acid) เป็นต้น กรดที่ใช้กัดผิวฟันส่วนใหญ่จะมีความเป็นกรดค่อนข้างสูง คือมีค่าพีเอช(pH) ประมาณ 1 ลักษณะของกรดที่เป็นสารละลายจะมีการไหลแผ่ได้ง่าย ทำให้ควบคุมตำแหน่งในการใช้กรดกัดผิวฟันได้ยาก ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนากรดที่ใช้กัดผิวฟันให้มีลักษณะเป็นเจล(gel) โดยการเติมฟิลเลอร์หรือพวกรวมเซลลูโลสที่เพิ่มความหนา(cellulose thickening agents)ปริมาณเล็กน้อย เพื่อให้มีความหนืดและไม่ทำให้กรดไหลไปในตำแหน่งที่ไม่ต้องการได้

#### 2. สารไพรเมอร์ (Primer)

สารไพรเมอร์ประกอบด้วยเรซินโมโนเมอร์ที่ชอบน้ำ อาจมีเพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิด หรือเป็นโมเลกุลที่มีทั้ง 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ชอบน้ำและกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ เช่น HEMA(2-hydroxyethyl methacrylate), BPDM(biphenyldimethacrylate), 4-META(4-methacryloxyethyl trimellitic anhydride) (Combe, Burke และ Douglas, 1999) และ PENTA(depentaerythritol penta acrylate monophosphate) เป็นต้น และมีตัวทำละลายพวกอะซีโตน เอทานอล/น้ำ หรือน้ำอยู่ด้วย ซึ่งตัวทำละลายที่ต่างกันจะมีผลทำให้คุณสมบัติของสารไพรเมอร์แต่ละชนิดแตกต่างกัน เช่น

อัตราการระเหย การเป่าให้แห้ง และการแทรกซึมของสาร โดยตัวทำละลายชนิดอะซีโตนจะทำให้แห้งได้เร็ว แต่ข้อเสียคือระเหยง่าย และไวต่อปริมาณความชื้นในเนื้อฟัน ส่วนตัวทำละลายชนิดเอธานอล/น้ำและชนิดที่เป็นน้ำจะระเหยยากกว่าและมีความไวต่อปริมาณความชื้นในเนื้อฟันน้อยกว่า (Tay และคณะ, 1996; Van Meerbeek และคณะ, 1998)

สารบอนด์ระบบเซลฟ์เอทซ์ซึ่งรวมเอากรดกัดผิวฟันและสารไพโรเมอริไว้ในขวดเดียว ส่วนใหญ่โมโนเมอร์ที่ใช้จะเป็นพวกโมโนเมอร์ที่ขอบน้ำที่ถูกดัดแปลงด้วยฟอสเฟต (phosphate derivatives) เช่น Phynyl-P(2-(methacryloxy)ethyl phenyl hydroge phosphate) ซึ่งเป็นโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรด (Combe และคณะ, 1999 ; Watanabe และคณะ, 1994)

### 3. สารแอทซีซีฟ

สารแอทซีซีฟส่วนใหญ่จะประกอบด้วยโมโนเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ เช่น Bis-GMA(Bisphenol A dimethacrylate) และ UDMA(urethane dimethacrylate) ซึ่งโมโนเมอร์เหล่านี้จะมีความหนืดสูง จึงมีการใส่โมโนเมอร์ชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและชอบน้ำ ได้แก่ TEG-DMA(Triethylene glycol dimethacrylate) และ HEMA เพื่อเป็นตัวควบคุมความหนืด ให้สารแอทซีซีฟมีความหนืดน้อยลง

- ตัวเริ่มต้นและตัวกระตุ้นปฏิกิริยา (Initiators and Accelerators) สารบอนด์ส่วนใหญ่ที่ใช้จะเป็นชนิดแข็งตัวด้วยแสง ซึ่งจะมีตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาเป็นพวกแคมโฟโรควิโนน (camphoroquinone) และ เอมีน(amine) ส่วนในสารบอนด์ชนิดที่มีการแข็งตัวสองรูปแบบจะมีการเพิ่มตัวกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา(catalyst) เข้าไปเพื่อทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาการแข็งตัวด้วยตัวเองได้

- ฟิลเลอร์ (Fillers) สารบอนด์บางชนิดได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการเติมฟิลเลอร์เข้าไปในปริมาณเล็กน้อย ประมาณ 0.5%-40% โดยน้ำหนัก ซึ่งเชื่อว่าฟิลเลอร์ที่ใส่เข้าไปจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพและลดการเกิดความเครียด(stress)ลงได้ เป็นผลให้การเกิดรอยรั่วซึมตามขอบ (microleakage)ลดลง (Swift และคณะ, 1996)

- ส่วนประกอบอื่นๆ เช่น สารบอนด์บางชนิดมีการเติมฟลูออไรด์ หรือสารฆ่าเชื้อเข้าไปบางชนิดเติมกลูตารัลดีไฮด์ (glutaraldehyde) เพื่อหวังผลในการลดการเสียวฟัน เป็นต้น

วัสดุเรซินคอมโพสิต

ในปัจจุบันวัสดุเรซินคอมโพสิตได้รับความนิยมในการนำมาใช้บูรณะฟันมากขึ้น เนื่องจากเป็นวัสดุที่ให้ความสวยงาม สามารถยึดติดกับฟันได้เมื่อใช้ร่วมกับสารบอนด์ และยังมีการพัฒนาคุณสมบัติต่างๆให้ดีขึ้นจนสามารถนำมาใช้ในการบูรณะฟันได้หลายรูปแบบ เช่น ในฟันหน้าที่ต้องการความสวยงาม ในฟันหลังที่ต้องการความแข็งแรงและการยึดติดที่ดีกับผิวฟัน หรือในกรณีที่ใช้เป็นวัสดุในการบูรณะส่วนแกนฟัน เป็นต้น วัสดุเรซินคอมโพสิตแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มตาม



ปฏิกิริยาการบ่มตัว ได้แก่ เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสง เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยตัวเอง และเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวสองรูปแบบ วัสดุเรซินคอมโพสิตโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน (Powers, 2002) ได้แก่

1. โพลีเมอร์เมทริกซ์ (polymer matrix)

ส่วนเมทริกซ์ของวัสดุเรซินคอมโพสิตส่วนใหญ่จะเป็นเรซินชนิดไดเมทาคริเลท (Dimethacrylate) เช่น Bis-GMA และ UDMA ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนพันธะคู่ที่ปลายแต่ละข้างทำให้เกิดปฏิกิริยาการแข็งตัวของเรซินคอมโพสิตได้ นอกจากนี้ยังมีการเติมโมโนเมอร์บางชนิดที่ช่วยลดความหนืด เช่น TEGDMA และ HEMA

2. ฟิลเลอร์ (filler particles)

วัสดุเรซินคอมโพสิตแต่ละชนิดจะมีปริมาณ ขนาด และรูปร่างของฟิลเลอร์แตกต่างกันออกไปซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกล (mechanical properties) และคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดนั้นๆ (Ferracane และคณะ, 1987; Ferracane และ Marker, 1992) ฟิลเลอร์จะเป็นวัสดุที่เป็นพวกอนินทรีย์สาร เช่น แก้ว(glass) ควอทซ์(quartz) หรือ ซิลิกา(silica) ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของเรซินคอมโพสิตออกตามขนาดของฟิลเลอร์ได้ เช่น มาโครฟิล(macrofill) มิติฟิล(midifill) มินิฟิล(minifill) ไมโครฟิล(microfill) นาโนฟิล(nanofill) และชนิดไฮบริด(hybrid) ( Bayne และคณะ, 2002)

3. สารเชื่อมต้อ (coupling agent)

เป็นสารที่ใช้ปรับสภาพพื้นผิวของฟิลเลอร์ให้สามารถยึดติดกับส่วนโพลีเมอร์เมทริกซ์ได้ ส่วนใหญ่สารเชื่อมต้อที่ใช้ในเรซินคอมโพสิตจะเป็นประเภทไซเลนไดเมทาคริเลท (silane dimethacrylate) ซึ่งการเชื่อมต้อให้ฟิลเลอร์ยึดติดกับส่วนเมทริกซ์ได้ดีนั้นจะช่วยให้วัสดุเรซินคอมโพสิตมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นและมีความคงตัว (stability) ที่ดี

4. สารเริ่มต้นปฏิกิริยาและสารกระตุ้นปฏิกิริยา (initiator-accelerator system)

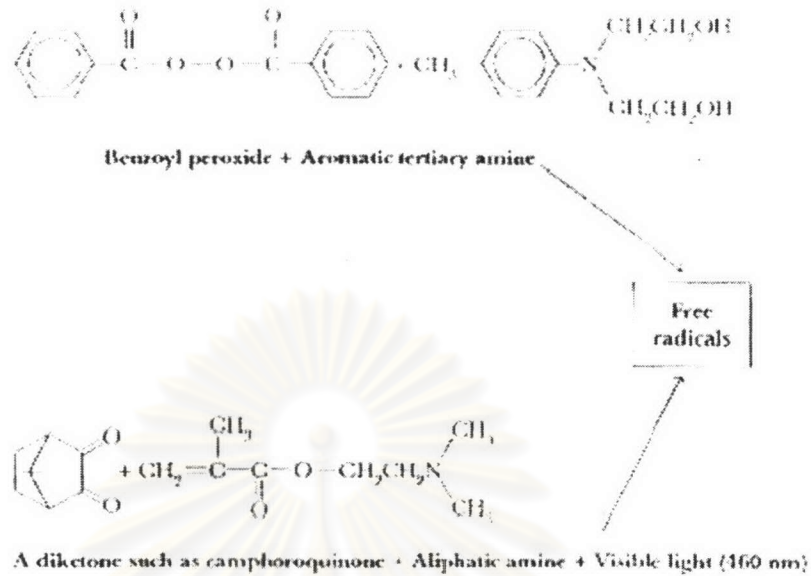
วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสง จะเกิดปฏิกิริยาการบ่มตัวได้ต่อเมื่อได้รับแสงสีฟ้าจากเครื่องฉายแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400-500 นาโนเมตร ซึ่งสารที่จะเป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาจะต้องเป็นสารที่สามารถดูดซับแสงที่ความยาวคลื่นนี้ได้ สารเริ่มต้นปฏิกิริยาในเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงโดยทั่วไปจะเป็นชนิดแคมโฟโรควิโนน และสารเอมีน เมื่อได้รับแสงจากเครื่องฉายแสงจะเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งจะไปทำให้คาร์บอนพันธะคู่ที่ปลายทั้งสองข้างของไดเมทาคริเลทแตกตัวต่อกันเป็นสายโมเลกุลยาวของโพลีเมอร์ในลักษณะเครือข่ายสามมิติและเกิดการเชื่อมไขว้ (cross-link) ระหว่างสายโมเลกุลทำให้วัสดุเกิดการแข็งตัว (Stansbury, 2000)

วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยตัวเอง สามารถเกิดปฏิกิริยาการบ่มตัวได้ที่อุณหภูมิห้อง โดยสารประเภทเปอร์ออกไซด์ (peroxide) จะเกิดการแตกตัวเมื่อถูกกระตุ้นด้วยสารกระตุ้น ปฏิกิริยาซึ่งเป็นสารประเภทเอมีน เกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระซึ่งจะไปจับกับคาร์บอนพันธะคู่ จนเกิดการแข็งตัวของวัสดุ

#### การเกิดปฏิกิริยาการบ่มตัวของเรซินคอมโพสิต

วัสดุเรซินคอมโพสิตมีการเกิดปฏิกิริยาการบ่มตัวชนิดเติมแบบเกิดอนุมูลอิสระ (free-radical addition polymerization) โดยปฏิกิริยาจะเกิดได้จากอนุมูลอิสระไปจับตัวกับคาร์บอนพันธะคู่ที่ปลายของโมโนเมอร์ เกิดการแตกตัวต่อเนื่องกันไปเป็นสายโมเลกุลยาวและเกิดการเชื่อมไขว้ระหว่างสายโมเลกุลทำให้เกิดการแข็งตัวของวัสดุ การเกิดอนุมูลอิสระในการเริ่มต้นของปฏิกิริยาการบ่มตัวของเรซินคอมโพสิตจะพบได้สองระบบ ได้แก่ ระบบเปอร์ออกไซด์-เอมีน (peroxide-amine system) และ ระบบไดคีโตน-เอมีน (diketone-amine system) ร่วมกับการใช้แสงสีฟ้า (blue visible light) (Craig, 2002) (ภาพที่ 1) โดยระบบเปอร์ออกไซด์-เอมีนจะพบได้ในเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยตัวเอง ซึ่งจะผลิตออกมาเป็นแบบ 2 หลอดให้มาผสมกัน หลอดหนึ่งจะมีสารเอมีนเป็นส่วนประกอบ อีกหลอดจะมีสารเปอร์ออกไซด์เป็นส่วนประกอบ เมื่อนำมาผสมกันที่อุณหภูมิห้องสารเปอร์ออกไซด์จะเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ เกิดการเริ่มต้นของปฏิกิริยาการบ่มตัวต่อไป ส่วนระบบไดคีโตน-เอมีนร่วมกับการใช้แสงสีฟ้าจะพบได้ในเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสง โดยปฏิกิริยาการบ่มตัวจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อมีการฉายแสงสีฟ้าที่วัสดุ แสงสีฟ้าจะไปกระตุ้นให้สารไดคีโตน เช่น แคมโฟโรควิโนน และสารประเภทเอมีนเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ เกิดเป็นปฏิกิริยาการบ่มตัวต่อไป

ปฏิกิริยาการบ่มตัวแบบเกิดอนุมูลอิสระ จะถูกยับยั้งได้โดยสารใดๆก็ตามที่สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระได้ ซึ่งจะไปลดอัตราการเกิดการเริ่มต้นของปฏิกิริยาการบ่มตัว สารที่สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการบ่มตัวได้ เช่น ไฮโดรควิโนน (hydroquinone) ยูจีนอล (eugenol) หรือออกซิเจนในปริมาณสูง เป็นต้น (Craig, 2002)



ภาพที่ 1 แสดงการเกิดอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยาการบ่มตัวของเรซินคอมโพสิต (Craig, 2002)

#### ความเข้ากันได้ของสารบอนด์ต่อเรซินคอมโพสิต

ในปัจจุบันจะเห็นว่า เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงจะได้รับความนิยมในการนำมาใช้บูรณะฟันมากกว่าชนิดบ่มตัวด้วยตัวเอง เนื่องจากมีความคงตัวของวัสดุที่ดีกว่า มีเวลาในการทำงานมากกว่า ค่าการเปลี่ยนแปลงเป็นโพลีเมอร์ (degree of conversion) มากกว่า และมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่า (Lutz และคณะ, 1983) แต่อย่างไรก็ตามเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและชนิดบ่มตัวสองรูปแบบก็ยังคงมีความสำคัญในการนำมาใช้งานบางชนิด เช่น ใช้เป็นวัสดุบูรณะแกนฟัน (Cohen และคณะ, 1998; Hagge และ Lindemuth, 2001) เป็นซีเมนต์ยึดฟัน (luting cement) (Hofmann และคณะ, 2001; Kramer และคณะ, 2000) และใช้สำหรับยึดเดือยฟัน เป็นต้น

วัสดุเรซินคอมโพสิตจะต้องใช้ร่วมกับสารบอนด์ซึ่งความเข้ากันได้ระหว่างสารบอนด์ต่อเรซินคอมโพสิตเป็นสิ่งจำเป็นที่จะมีผลต่อความแข็งแรงในการยึดติด โดยเฉพาะระบบสารบอนด์ใหม่ๆ ที่พยายามลดขั้นตอนให้มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น เช่น สารบอนด์ระบบโทพอลเอทซ์ที่รวมไพรเมอร์และเอทซีซีฟไว้เป็นขวดเดียว หรือสารบอนด์ระบบเซลฟ์เอทซ์แบบสองขั้นตอนหรือแบบขั้นตอนเดียว สารบอนด์ในระบบดังกล่าวบางชนิดพบว่าเมื่อใช้ร่วมกับเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองจะมีค่าความแข็งแรงในการยึดติดลดลง (Sanares และคณะ, 2001; Swift และคณะ, 2001; Hagge และ Lindemuth, 2001; O'Keefe และ Powers, 2001;

Dong และคณะ, 2003) การลดลงของค่าความแข็งแรงพันธะดึงของเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองต่อเนื้อฟัน พบว่าจะเป็นส่วนผกผันกับค่าความเป็นกรดของระบบสารบอนด์แบบลดชั้นตอน (Sanares และคณะ, 2001) โดยเชื่อว่าเมื่อวัสดุเรซินคอมโพสิตสัมผัสกับสารบอนด์แบบลดชั้นตอนที่บ่มตัวแล้ว ชั้นออกซิเจนอินฮิบิทีฟ (oxygen inhibiting layer) ของสารบอนด์ซึ่งยังมีสารโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรดหลงเหลืออยู่ สารโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรดในสารบอนด์แบบลดชั้นตอนจะเกิดปฏิกิริยากรดต่าง (acid-base reaction) กับสารเอมีนซึ่งเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาในเรซินคอมโพสิต (Schiltz และ Suh, 2001; Suh, 2003) ทำให้เกิดการยับยั้งปฏิกิริยาการบ่มตัวของเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยตัวเอง ปฏิกิริยาการบ่มตัวของเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองจะเป็นแบบเกิดอนุภาคอิสระ ซึ่งตัวเริ่มต้นของปฏิกิริยาประกอบด้วยเพอร์ออกไซด์และนิวคลีโอฟิลิกเทอเชียรีเอมีน (nucleophilic tertiary amine) แต่สำหรับเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงตัวกระตุ้นที่เป็นเทอเชียรีเอมีนจะมีความเป็นนิวคลีโอฟิลิกน้อยกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยตัวเอง (Tay และคณะ, 2003a) ดังนั้นความไม่เข้ากันระหว่างเรซินโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรดกับเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงจึงมักไม่ค่อยพบ แต่อย่างไรก็ตามมีการศึกษาที่พบว่า ค่าความแข็งแรงในการยึดติดเมื่อใช้สารบอนด์ที่มีการลดชั้นตอนบางชนิด ร่วมกับการใช้วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงจะมีค่าลดลง เมื่อภายหลังการบ่มด้วยเรซินคอมโพสิตแล้วไม่ทำการฉายแสงทันที โดยทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งก่อนทำการฉายแสง (Tay และคณะ, 2002) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความแข็งแรงพันธะดึงในระดับจุลภาคมีค่าลดลง เมื่อใช้สารบอนด์ระบบเซลล์เฟอเทอแบบชั้นตอนเดียวร่วมกับเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสง ที่เปลี่ยนแปลงตัวกระตุ้นปฏิกิริยาจากเทอเชียรีเอมีนเป็นชนิดอื่น เช่น กรดไตรเมทิล บาบิทูริก (trimethyl barbituric acid) หรือไดบิวทิล ทิน ไดลาอูเลท (dibutyl tin dilaurate) (Pashley และ Tay, 2002) ซึ่งชี้ให้เห็นว่านอกจากความไม่เข้ากันของสารเคมีระหว่างสารบอนด์กับเรซินคอมโพสิต ยังมีปัจจัยอื่นที่มีความเกี่ยวข้องต่อการลดลงของค่าแรงยึดติดระหว่างสารบอนด์ระบบเซลล์เฟอเทอแบบชั้นตอนเดียวกับเรซินคอมโพสิต โดยพบว่าสารบอนด์ระบบเซลล์เฟอเทอแบบชั้นตอนเดียวที่บ่มตัวแล้วจะมีบทบาทคล้ายเป็นเซมิเพอมีเอเบิลเมมเบรน (semi-permeable membrane) ที่ยอมให้น้ำข้างใต้ที่อยู่ในท่อเนื้อฟันซึ่งจะมีแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ทำให้น้ำภายในท่อเนื้อฟันสามารถแพร่ผ่านไปยังรอยต่อที่อยู่ระหว่างชั้นของสารบอนด์กับเรซินคอมโพสิตที่ยังไม่บ่มตัว เกิดเป็นบริเวณที่อ่อนแอทำให้ค่าความแข็งแรงยึดติดลดลง (Tay และคณะ, 2002)

มีการศึกษาที่พบว่า ค่าความแข็งแรงพันธะดึงระดับจุลภาคของเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวสองรูปแบบต่อเนื้อฟัน เมื่อใช้สารบอนด์ระบบเซลล์เฟอเทอแบบชั้นตอนเดียว โดยทำการบ่มตัวด้วยแสงเปรียบเทียบกับบ่มตัวด้วยตัวเอง ในพื้นที่มีน้ำและพื้นที่กำจัดน้ำออกจนหมด ได้ผลคือ ค่า

ความแข็งแรงพันธะดึงระดับจุลภาคเมื่อใช้เรซินคอมโพสิตในรูปแบบการบ่มตัวด้วยตัวเอง จะมีค่าต่ำกว่าเรซินคอมโพสิตในรูปแบบการบ่มตัวด้วยแสง ถึงแม้ว่าจะเป็นที่ยึดระหว่างเรซินคอมโพสิตในรูปแบบการบ่มตัวด้วยตัวเองกับเนื้อฟันที่กำลังจัดน้ำออกจนหมดก็ตาม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสารบอนด์ระบบเซลฟ์เอทช์แบบขั้นตอนเดียวจะมีความไม่เข้ากันกับคอมโพสิตที่บ่มตัวด้วยตัวเอง โดยจะทำให้ค่าความแข็งแรงยึดติดมีค่าต่ำลง (Tay และคณะ, 2003a) นอกจากนี้กลุ่มผู้วิจัยกลุ่มนี้ยังได้ทำการศึกษาถึงผลของสารบอนด์ลิงค์ (BondLink) ซึ่งเป็นสารเริ่มต้นปฏิกิริยาร่วมให้เกิดการบ่มตัวด้วยตัวเอง (chemical co-initiator) โดยทดลองไปบนผิวฟันที่ทาสารบอนด์ระบบเซลฟ์เอทช์แบบขั้นตอนเดียวและฉายแสงแล้ว ก่อนการยึดติดกับเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยตัวเอง พบว่าค่าความแข็งแรงยึดติดมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเปรียบเทียบกับเมื่อไม่ทาสารบอนด์ลิงค์ แต่ค่าที่ได้ยังคงต่ำกว่าเมื่อใช้เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวสองรูปแบบในรูปแบบการบ่มตัวด้วยแสงทันที (Tay และคณะ, 2003a) การเติมสารกระตุ้นลงในสารบอนด์ เช่น สารเอมีนร่วมกับเกลือไฮเดียมของกรดทีโพลูอินซัลฟินิก (sodium salt of p-toluenesulphonic acid) ก็สามารถช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงยึดติดได้เมื่อใช้กับเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยตัวเอง แต่ค่าที่ได้ก็ยังไม่สูงเท่ากับการใช้ร่วมกับเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงที่ฉายแสงทันที (Tay และคณะ, 2003c) การศึกษาในสารบอนด์ระบบโททอลเอทช์ที่รวมขั้นตอนทาสารไพรเมอร์และสารเอทชีฟเป็นขบวนการเดียวกัน เมื่อมีการเติมสารกระตุ้นปฏิกิริยา (activator) ลงไปในสารบอนด์เพื่อให้สามารถบ่มตัวแบบสองรูปแบบ ถึงแม้ว่าค่าความแข็งแรงยึดติดจะสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไม่เติมสารกระตุ้นปฏิกิริยา แต่ค่าที่ได้ยังคงต่ำกว่าเมื่อเรซินคอมโพสิตได้รับการบ่มตัวด้วยแสงทันที (Tay และคณะ, 2003b)

ในการทดลองนี้ต้องการศึกษาถึง ค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนของเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวสองรูปแบบและชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองต่อเนื้อฟัน เมื่อใช้สารบอนด์ต่างๆกัน โดยใช้สารบอนด์ระบบโททอลเอทช์แบบสองขั้นตอน เปรียบเทียบกัน 3 ชนิด ได้แก่ Excite(Ivoclar Vivadent) และ One-Step(Bisco) ซึ่งเป็นชนิดบ่มตัวด้วยแสง และ Excite DSC(Ivoclar Vivadent) ซึ่งเป็นชนิดบ่มตัวสองรูปแบบ และเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงพันธะเฉือนระหว่างการฉายแสงและไม่ฉายแสงที่สารบอนด์ก่อนใส่วัสดุเรซินคอมโพสิต นำมาตรวจสอบลักษณะการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ และตรวจดูลักษณะพื้นผิวที่แตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด