หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง

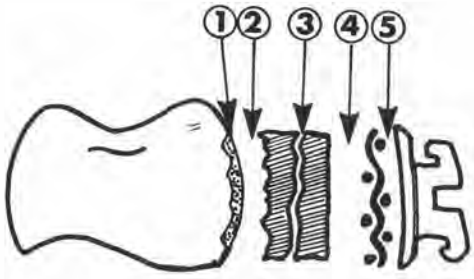
เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นโดยใช้ปลอกโลหะรัดฟันร่วมกับซีเมนต์ในการยึดติดนั้นได้มีการปฏิบัติกันมานานกว่า 100 ปี (13) แต่เนื่องจากวิธีดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เวลาในการปฏิบัติงานในคลินิกมาก รวมทั้งก่อให้เกิดความไม่สะดวกกับผู้ป่วยหลายด้าน จึงมีผู้พยายามที่จะค้นหาวิธีติดเครื่องมือจัดฟันกับตัวฟันโดยตรง

ในปี ค.ศ.1955 M.G.Buonocore(14) ได้เสนอบทความเกี่ยวกับวัสดุยึดและผิวเคลือบฟัน โดยชี้ให้เห็นว่า ถ้าผิวเคลือบฟันถูกกัดด้วยกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 85 เสียก่อนจะทำให้วัสดุยึดที่อยู่บนผิวเคลือบฟันนั้นมีความแข็งแรงในการยึดมากขึ้น และจากบทความดังกล่าวทำให้มีการพัฒนาวัสดุและวิธีการมากมายจนกระทั่งเป็นเทคนิคการติดเครื่องมือกับตัวฟันโดยตรง และให้ชื่อว่า "เทคนิคไดเรกบอนด์" (Direct bond technique)

ปัจจัยในการยึดของแบรกเก็ตกับผิวเคลือบฟันมีหลายประการ ซึ่งสามารถแยกได้เป็นปัจจัยทางด้านเทคนิคการติด และ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับส่วนต่างๆในบริเวณที่ติดเครื่องมือเข้ากับตัวฟัน(15) ปัจจัยทางด้านเทคนิคการติดเครื่องมือได้แก่ การทำความสะอาดผิวฟันไม่เพียงพอ การแยกบริเวณที่จะทำการติดเครื่องมือจากน้ำลายไม่ได้ หรือการกัดผิวฟันด้วยกรดไม่ถูกวิธี ล้างกรดออกไม่หมด วิธีการใช้วัสดุไม่ถูกต้อง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้สามารถควบคุมได้โดยทันตแพทย์ขณะปฏิบัติงานในคลินิก ปัจจัยเกี่ยวข้องกับส่วนต่างๆในบริเวณที่ติดเครื่องมือเข้ากับตัวฟันแสดงให้เห็นได้ในลักษณะของสายโซ่ ซึ่งประกอบด้วย ผิวเคลือบฟัน วัสดุยึด และแบรกเก็ต ความล้มเหลวในการยึดติดของแบรกเก็ตอาจเกิดขึ้นได้หลายลักษณะ (รูปที่ 2) กล่าวคือ

1. เกิดภายในผิวเคลือบฟัน
2. เกิดขึ้นระหว่างวัสดุยึดกับผิวเคลือบฟัน
3. เกิดขึ้นภายในวัสดุยึด
4. เกิดขึ้นระหว่างวัสดุยึดกับฐานแบรกเก็ต
5. เกิดขึ้นภายในตัวแบรกเก็ต

ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ทันตแพทย์ผู้รักษาไม่สามารถควบคุมได้ในการปฏิบัติงานแต่สามารถควบคุมได้โดยการเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้งานและวิธีการต่างๆที่ได้มีผู้ทำการศึกษามาแล้ว



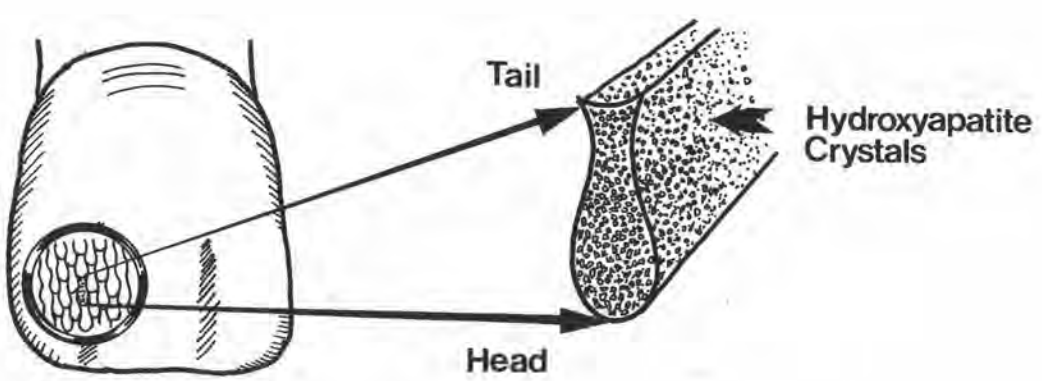
รูปที่ 2 แสดงแผนภาพของบริเวณที่อาจจะเกิดความล้มเหลวขึ้นในการยึดเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่นเข้ากับผิวเคลือบฟันด้วยวัสดุยึด(15)

ผิวเคลือบฟัน

โครงสร้างของผิวเคลือบฟันประกอบด้วยหน่วยเล็กๆซึ่งเป็นผลึกของไฮดรอกซีอะปาไทต์ที่เรียงตัวกันอยู่อย่างเป็นระเบียบเรียกว่า Enamel Prism (รูปที่ 3) ด้วยลักษณะดังกล่าวเมื่อใช้กรดอนินทรีย์ที่มีความเข้มข้นพอเหมาะกัดผิวเคลือบฟัน(ในปัจจุบันนิยมใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 หรือ ร้อยละ 50) ผลึกของไฮดรอกซีอะปาไทต์ส่วนที่เรียงตัว

ตั้งฉากกับผิวเคลือบฟันจะมีการละลายตัวออกไปเกิดเป็นช่องว่างขนาดเล็กขึ้น เราจึงสามารถยึดแบรกเก็ตติดกับผิวเคลือบฟันได้โดยใช้วัสดุยึด (Bonding agent) ส่วนของวัสดุยึดจะแทรกตัวลงไปในช่องว่างขนาดเล็กเหล่านี้ ทำหน้าที่ยึดบริเวณฐานของแบรกเก็ตติกับผิวเคลือบฟัน อย่างไรก็ตามผิวของเคลือบฟันที่ถูกกัดด้วยกรดนี้อาจจะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปอันเนื่องมาจาก

1. การเรียงตัวของผลึกไฮดรอกซีอะปาไทต์ในผิวเคลือบฟัน
2. ส่วนประกอบและรูปร่างของฟันแต่ละซี่
3. ความแตกต่างในส่วนประกอบของเคลือบฟันในแต่ละตำแหน่งบนตัวฟัน
4. ปริมาณของผิวเคลือบฟันที่ปราศจาก ปริซึม (Prismless enamel) บนผิวฟันของฟันแต่ละซี่
5. ความผิดปกติของโครงสร้างทั้งในส่วนประกอบที่เป็นอินทรีย์และอนินทรีย์ของผิวเคลือบฟัน
6. ปริมาณของ Acquire pellicle ที่ปกคลุมผิวเคลือบฟันอยู่



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงการเรียงตัวของปริซึมในชั้นของเคลือบฟัน

Diedrich (16) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผิวเคลือบฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า ผิวเคลือบฟันภายหลังจากการกัดด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 50 มีความแตกต่างกัน 4 ลักษณะได้แก่ (รูปที่ 4)

1. Central etch type

เกิดจากการละลายตัวของผลึกไฮดรอกซีอะปาไทต์ที่อยู่ในบริเวณแกนกลางของปริซึมทำให้เกิดลักษณะคล้ายรวงผึ้งขึ้นบนผิวเคลือบฟัน

2. Peripheral etch type

ผลจากการกัดของกรดต่อบริเวณกึ่งกลางของปริซึมน้อยมาก การละลายตัวของผลึกไฮดรอกซีอะปาไทต์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นบริเวณขอบของปริซึม Diedrich ได้ตั้งข้อสังเกตุว่าลักษณะเช่นนี้อาจจะเกิดจากการกัดของกรดในส่วนของปริซึมที่วางตัวอยู่ลึกลงไปในผิวเคลือบฟันซึ่งเป็นผลมาจากความไวต่อการกัดของกรดที่ไม่เท่ากันของบริเวณบนผิวเคลือบฟัน

3. Less structured etch type

มักจะพบลักษณะเช่นนี้ในบริเวณผิวเคลือบฟันที่มีปริซึมน้อย โดยเฉพาะในฟันที่ขึ้นใหม่และส่วนคอฟันของฟันที่มีอายุมาก โดยผิวเคลือบฟันจะมีลักษณะเป็นรูพรุนปะปนไปกับปุ่มเล็กๆที่ยื่นขึ้นมา

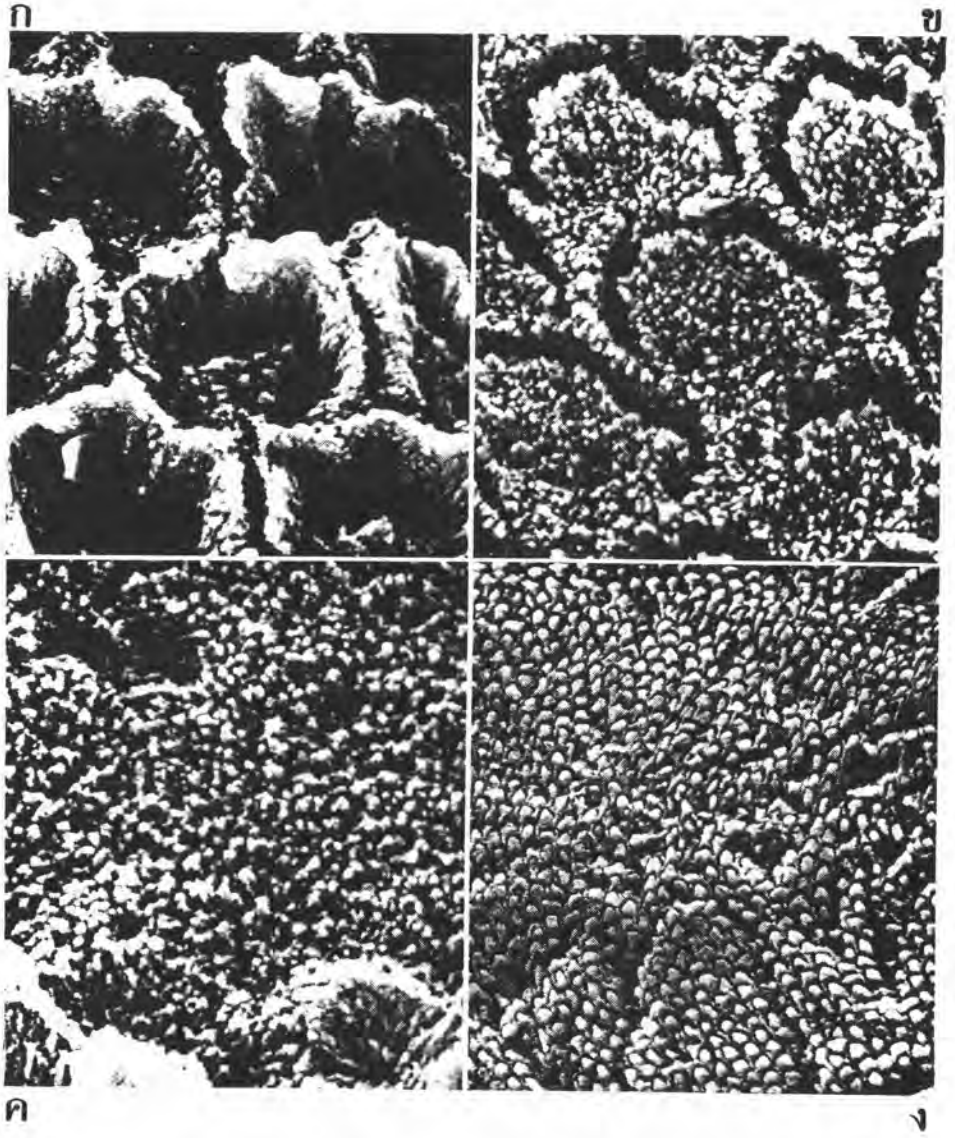
4. มีลักษณะคล้ายดาวหรือต้นเฟิร์น

เป็นลักษณะที่พบได้น้อย เป็นผลเนื่องมาจากการเรียงตัวที่ผิดปกติของกลุ่มปริซึม

ซึ่งลักษณะของผิวเคลือบฟันดังกล่าวมาแล้วในข้อ 1 และ 2 ได้แก่ลักษณะ Central และ Peripheral etch typeเป็นลักษณะที่สามารถยึดกับวัสดุยึดได้ดีส่วนลักษณะในข้อ 3 และ 4 เป็นลักษณะที่ให้แรงยึดเกาะต่ำ

Sheykholeslam และ Brandt (17) ได้ชี้ให้เห็นว่ามีปัจจัยอยู่สองกลุ่มที่มีอิทธิพลต่อการละลายตัวของผิวเคลือบฟัน และ รูปแบบที่เกิดจากการกัดกร่อนของผิวฟันด้วยกรดคือ

1. ปัจจัยก่อนฟันขึ้น(Pre-eruptive Factors) ที่อาจมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและ จุลกายวิภาคของฟัน ซึ่งเกิดขึ้นในขณะที่ฟันยังมีการพัฒนาหรือก่อนที่จะขึ้นมาในช่องปาก เช่น การเกิด Hypocalcification หรือ Hypoplasia ของฟันแท้ เนื่องมาจากการติดเชื้อของรากฟันน้ำนม หรือการดูดซึมสารฟลูออไรด์จากอาหารและน้ำมาสะสมไว้มาก



รูปที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงในลักษณะต่างๆที่เกิดขึ้นบนผิวเคลือบฟันจากการทดลองของ Diedrich (16)

ก. บริเวณผิวเคลือบฟันที่มีลักษณะแบบ Central etch type

ข. บริเวณผิวเคลือบฟันที่มีลักษณะแบบ Peripheral etch type ซึ่งสันนิษฐานว่าเกิดจากการแตกหักของบริเวณขอบของปริซึมในกลุ่มแรก

ค. บริเวณผิวเคลือบฟันที่มีลักษณะแบบ Less structured etch type ผิวเคลลือบฟันจะมีลักษณะเป็นรูพรุนเล็กๆจำนวนมาก

ง. บริเวณผิวเคลือบฟันที่มีลักษณะคล้ายดาวหรือเฟิร์น

เกินไปจนเกิดภาวะ Fluorosis ขึ้นในผิวเคลือบฟัน และการได้รับฟลูออไรด์ที่เพียงพอจะมีผลให้ฟันอิ่มตัวด้วยฟลูออไรด์ สภาวะเช่นนี้จะเพิ่มความต้านทานของตัวฟันต่อการกัดกร่อนของกรด

2. ปัจจัยหลังฟันขึ้น (Post-eruptive factor) ได้แก่ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายตัวของผิวเคลือบฟันภายหลังจากที่ฟันได้ขึ้นมาในช่องปากแล้วเช่น การใช้ฟลูออไรด์เฉพาะที่ จะเป็นสาเหตุให้ผิวเคลือบฟันมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนของกรดได้มากขึ้น นอกจากนี้การมีคราบจุลินทรีย์และ Acquire pellicle จะเป็นสิ่งที่ขัดขวางไม่ให้กรดแพร่ไปสู่ผิวเคลือบฟันได้

Fejerkov และคณะ(18) รายงานว่าในขณะที่ฟันกำลังขึ้นนั้นผิวเคลือบฟันบริเวณกึ่งกลางและบริเวณเหนือคอฟันจะมีความพรุนมาก Oliver(19)ได้ทำการทดลองยึดแบรกเก็ตเข้ากับผิวเคลือบฟันของฟันถาวรที่ยังไม่ขึ้นเปรียบเทียบกับการยึดแบรกเก็ตเข้ากับฟันถาวรที่ขึ้นมาในช่องปากแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน

Nordenvall, Brannstrom และ Malmgren (20) พบว่าไม่มีความแตกต่างของผิวฟันน้ำนมที่กัดด้วยกรดเป็นเวลา 15 วินาที และ 60 วินาที ส่วนในฟันแท้ที่มีอายุน้อย (อายุเฉลี่ย 13 ปี) ผิวฟันที่กัดด้วยกรดเป็นเวลา 15 วินาที จะมีลักษณะของผิวที่ยึดเกาะกับวัสดุยึดได้ดีกว่าผิวฟันที่กัดด้วยกรดเป็นเวลา 60 วินาที ส่วนในฟันแท้ที่มีอายุมากจะให้ผลกลับกับฟันแท้ที่มีอายุน้อย และหากไม่คำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการกัดผิวเคลือบฟันด้วยกรดพบว่าฟันน้ำนมจะมีลักษณะของผิวเคลือบฟันที่สามารถยึดกับวัสดุยึดได้ดีที่สุด

<u>วัสดุยึด</u>

ปัจจุบันวัสดุยึดที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟันสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้ 2 กลุ่มคือ

1. เรซินชนิดบ่มตัวได้เองที่มีเมธิลเมตาคริเลต (MMA) เป็นโมโนเมอร์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอะคริลิกเรซิน ซึ่งเรซินชนิดนี้ถูกนำมาใช้ในการอุดฟันเป็นเวลานานมาแล้ว ต่อมาได้ถูกนำมาใช้ในทางทันตกรรมจัดฟันเพื่อยึดเครื่องมือชนิดติดแน่นเข้ากับผิวเคลือบฟัน ตัวเร่งปฏิกริยาที่ใช้ในเรซินชนิดนี้คือเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์(BPO-System) วัสดุชนิดนี้ให้ผลดี

ในการยึดติดกับแบรกเก็ตพลาสติก เรซินชนิดนี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของผงและน้ำซึ่งมีความเหลวเพียงพอไม่จำเป็นต้องใช้ซีลแลนต์ทาลงบนผิวฟันก่อน อย่างไรก็ตามเมธิลเมตาคริเลตเป็นสารระเหยที่มีกลิ่นแรง(21) นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงได้มากตามอุณหภูมิ (Thermo plastic) โดยจะอ่อนตัวลงเมื่อเพิ่มความร้อนขึ้น และมีการหดตัวมากเนื่องจากปฏิกริยาโพลีเมอไรเซชัน ทำให้มีการดูดน้ำมาก อย่างไรก็ตาม Miura(22) ได้ปรับปรุงวัสดุดังกล่าวโดยเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกริยาของอะคริลิกเรซินนี้จากเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ เป็น tri-n-butyl borane (TBB) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงยึดโดยใช้ร่วมกับ ไซเลน(Silane) และกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 65 เป็นกรดกัดผิวเคลือบฟัน

2. ไดอะคริเลตเรซิน (Diacrylate resin) เป็นเรซินที่ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาและความอุ่งยากบางประการของอะคริลิกเรซินพัฒนาขึ้นมาจากเรซินของโบเวน (Bowen's resin)มีส่วนของโมโนเมอร์เป็น BIS-GMA(Bisphenol-A-diglycidylmethacrylate) มีความแตกต่างจากอะคริลิกเรซินคือเป็นโพลีเมอร์ที่มีโครงสร้าง 3 มิติ ในขณะที่อะคริลิกเรซินมีโพลีเมอร์เป็นชนิดเส้นตรง(23) จึงทำให้มีความแข็งแรงสูงกว่า การหดตัวและการดูดซึมน้ำเมื่อแข็งตัวเต็มที่ (Polymerization shrinkage) น้อยกว่าอะคริลิกเรซิน (24,25)

เนื่องจากโครงสร้างของเรซินชนิด BIS-GMA ทำให้มีความข้นหนืดสูง และจำเป็นจะต้องทำให้มีความข้นหนืดน้อยลงเมื่อนำมาใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน โดยส่วนมากสารที่นำมาใช้เพื่อทำให้ความเข้มข้นของเรซินชนิด BIS-GMA ลดลงคือGlycol dimethacrylate แต่ในขณะเดียวกันความข้นหนืดของเรซินชนิด BIS-GMA ก็ยังคงมีความจำเป็นในการที่จะยึดให้แบรกเก็ตอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการก่อนที่จะแข็งตัว ฉะนั้นจึงมีการนำวัสดุยึดชนิดนี้มาใช้โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือ ซีลแลนต์ ความข้นหนืดต่ำมีความสามารถในการแทรกตัวลงไปในผิวเคลือบฟันภายหลังจากการกัดกร่อนด้วยกรดแล้ว ส่วนที่สอง คือ เรซินชนิด BIS-GMA ที่มักจะผลิตออกมาในลักษณะเพสต์สองส่วนแต่ชนิดที่เป็นของเหลวสองส่วน หรือของเหลวและผง ก็ยังมีผลิตจำหน่ายเช่นกัน

ปัจจุบันมีการผลิตวัสดุยึดชนิดต่างๆออกจำหน่าย (ตารางที่ 1) ส่วนใหญ่เป็นวัสดุยึดชนิดที่บ่มตัวได้เองซึ่งจะมีการบ่มตัวทั่วถึงโดยไม่ขึ้นกับความหนาของวัสดุ แต่ก็จะมีการเปลี่ยน

017861

สีเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาร Tertiary amine ซึ่งใช้เป็นตัวเร่งปฏิกริยา (Accelerator) ในวัสดุยึดเหล่านี้ นอกจากนี้ส่วนของ Peroxide ซึ่งเป็นสารเริ่มต้นปฏิกริยา (Initiator) จะมีการสลายตัวทำให้วัสดุเหล่านี้มีอายุการใช้งานค่อนข้างจะจำกัดโดยเฉพาะเมื่อเก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง ดังนั้นจึงควรเก็บวัสดุเหล่านี้ไว้ในที่มีอุณหภูมิต่ำ(21) นอกจากนี้เวลาการบ่มตัวยังขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิของห้อง วิธีการผสม และบริเวณที่ทำการเก็บวัสดุก่อนหน้าที่จะนำมาใช้ Bishara และคณะ(26) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบความแข็งแรงยึดจากวัสดุยึดที่มีอุณหภูมิต่างกัน คือ 5 องศาเซลเซียส และ 25 องศาเซลเซียส พบว่าความแตกต่างของอุณหภูมิของวัสดุยึดไม่มีผลต่อความแข็งแรงยึดระหว่างแบรกเก็ตและผิวเคลือบฟัน นอกจากนั้นบริเวณที่เกิดความล้มเหลวในการยึดระหว่างแบรกเก็ตกับผิวเคลือบฟันในกลุ่มทั้งสองไม่มีความแตกต่างกัน

วัสดุที่เป็นเรซินบ่มตัวได้เองชนิด โพลีเมธิลเมตาคริเลต เป็นเรซินชนิดแรกที่นำมาใช้เป็นวัสดุยึดทางทันตกรรมจัดฟัน และใช้ได้ดีกับแบรกเก็ตพลาสติก จากส่วนผสมที่ค่อนข้างเหลวทำให้วัสดุสามารถแทรกผ่านเข้าไปในผิวเคลือบฟันที่ถูกกัดกร่อนด้วยกรดแล้วเป็นอย่างดีโดยไม่จำเป็นต้องใช้ซีลแลนต์ อย่างไรก็ตามส่วนโมโนเมอร์ที่เป็นเมธิลเมตาคริเลตเป็นสารระเหยที่มีกลิ่นแรง นอกจากนี้เรซินชนิดนี้ยังมีคุณสมบัติ Thermoplastic และมีการหดตัวจากปฏิกริยา Polymerize และมีการดูดน้ำมากดังที่กล่าวมาแล้ว ในระยะต่อมาวัสดุประเภท BIS-GMA จึงได้รับความนิยมมากขึ้น และเพื่อแก้ปัญหาการเปลี่ยนสีและอายุการใช้งานที่จำกัดของวัสดุ Antonucci และคณะ(28) ได้เสนอให้ทำการปรับปรุงโดยใช้ระบบที่อาศัยปฏิกริยา Oxidation-reduction ของ Organic Hydroperoxide และสารประกอบโลหะ Transition บางตัวร่วมกับกรด Ascorbic ชนิด L(+) เป็นตัวเร่งปฏิกริยา

จากการศึกษาพบว่าเมื่อนำคอมโพสิตเรซินมีความเข้มข้นสูงถึง 350 cp มาใช้ทางทันตกรรมจัดฟัน จะทำให้มีส่วนของเรซินที่แทรกเข้าไปในผิวเคลือบฟันสั้นมาก ทั้งนี้เนื่องจากการใส่วัสดุอัดแทรก (Filler) ขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและลดการหดตัวจากปฏิกริยา Polimerization รวมไปถึงการลดการขยายตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

Power และคณะ(29) พบว่าถ้าลดวัสดุอัดแทรกอนินทรีย์ลงร้อยละ 5 จะเป็นสาเหตุให้ Linear coeficient of thermal expansion ของ วัสดุยึดลดลงร้อยละ 25

Product - % filler	System	Base Resin	Dilutent Monomer	Characteristics
1. Solo-Tach (55%)	Self-cured	Bisphenol A	methyl methacrylate	paste-paste, metal + plastic
2. Concise (75%) (highly filled)	Self-cured	BIS-GMA	triethylene glycol dimethacrylate	paste-paste, metal + plastic initiator:peroxide amine
3. Endur (28%) (low filled)	Self-cured	BIS-GMA	ethylene glycol dimethacrylate	paste-paste, metal + plastic initiator:benzoyl peroxide
4. Bond-Eze (unfilled)	Self-cured	Polymethyl methacrylate	methyl methacrylate N,N-dimethyl-para-toluidine	powder-liquid, metal + plastic initiator:benzoyl peroxide
5. Insta-Bond	Self-cured	BIS-GMA	polymetyl methacrylate	liquid-paste
6. Mono-Lock	Self-cured	BIS-GMA		liquid-paste
7. Righton (70%)	Self-cured	BIS-GMA	methacrylate 80% BIS-GMA 20%	liquid-paste
8. Autotach (64.5%)		BIS-GMA	—	initiator:peroxide amine
9. Direct-on		Bis-2-Hydroxy Propyl Methycrylate	—	initiator:peroxides
10. Dynabond (30%) (low filled)		—	—	
11. Genie II (50%)		BIS-GMA	methacrylate monomers	initiator:peroxide amine
12. Interlock (50%)		BIS-GMA	—	initiator:peroxide amine
13. Leebon (70%)		BIS-GMA	methacrylate monomers	initiator:dioxolane
14. Nuvatach/Nuvaceal	U.V.	BIS-GMA	—	—
15. Unique (30%)		BIS-GMA	methacrylate monomers	initiator:peroxide amine
16. Brocket bond		Acrylic		
17. Unitek	Self-cured	Acrylic	methyl methacrylate	
18. Orthomite		Acrylic, trin-n-borane derivative		metal + plastic brackets
19. Durelon		Polycarbo-xylate cement		
20. Bondmor (I)	Self-cured	Bisphenol A	mono-methacrylate	liquid-powder
21. Bondmor (II)	Self-cured	Bisphenol A	dimethacrylate	liquid-powder
22. GAC	Self-cured	Acrylic	methyl methacrylate	

ตารางที่ 1 แสดงชื่อทางการค้าและประเภทของวัสดุยึดทางทันตกรรมจัดฟันบางชนิดที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน (27)

ส่วนใหญ่ของคอมโพสิตเรซินเช่น Concise, Autotach, Solotach มักประกอบด้วยวัสดุอัดแทรกที่เป็น ควอทซ์ หรือแก้วซิลิกาขนาดต่างๆกันตั้งแต่ 3 ถึง 20 ไมครอน ซึ่งทำให้มีคุณสมบัติทนต่อการสึกกร่อนได้ดี แต่ในขณะเดียวกันก็เป็นที่สะสมของคราบจุลินทรีย์ได้ง่าย (30) Gwinnett และ Ceen (31) ชี้ให้เห็นว่าวัสดุยึดทั้งชนิดที่มีวัสดุอัดแทรกมากและชนิดที่มีวัสดุอัดแทรกน้อย มีโอกาสที่จะก่อให้เกิดสะสมคราบจุลินทรีย์ได้โดยไม่มีความแตกต่างกัน แต่คอมโพสิตเรซินชนิดอื่นเช่น Endur ซึ่งมีวัสดุอัดแทรกขนาดเล็ก (0.2-0.3 ไมครอน) มีความแข็งแรงในการยึดน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ(30,32) Alexander และคณะ(32) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างความแข็งแรงในการยึดของ Concise ซึ่งมีวัสดุอัดแทรกมาก และ Dynabond ซึ่งมีวัสดุอัดแทรกน้อย และ Concise จะยึดติดกับผิวเคลือบฟันแข็งแรงกว่ายึดกับฐานแบรกเก็ต ต่างกับ Endur และ DynaBond ซึ่งให้ผลตรงกันข้าม

เมื่อพิจารณาถึงขั้นตอนของการถอดแบรกเก็ต Brown และ Way (33) พบว่าการถอดแบรกเก็ตที่ยึดกับผิวเคลือบฟันด้วยวัสดุยึดที่มีวัสดุอัดแทรกนั้น มีการสูญเสียผิวเคลือบฟันมากกว่าแบรกเก็ตที่ยึดด้วยวัสดุยึดที่ไม่มีวัสดุอัดแทรก ผลการทดลองนี้ได้รับการยืนยันโดย Pus และ Way (34) ว่าการสูญเสียผิวเคลือบฟันเนื่องมาจากการใช้วัสดุยึดที่ไม่มีวัสดุอัดแทรกจะอยู่ในพิสัยระหว่าง 26.1 ถึง 31.8 ไมครอน ในขณะที่การสูญเสียผิวเคลือบฟันเนื่องมาจากวัสดุที่มีวัสดุอัดแทรกมากอยู่ในพิสัยระหว่าง 29.5 ถึง 41.2 ไมครอน

การใช้ ซีลแลนต์ ซึ่งได้แก่ Sealing เรซิน หรือนำมาใช้ในลักษณะของไพรเมอร์ (Primer) เนื่องจากซีลแลนต์ไม่มีวัสดุอัดแทรกจึงสามารถทำให้ผิวเคลือบฟันเปียกก่อนที่จะใช้วัสดุยึดคอมโพสิตกับผิวเคลือบฟัน TenCate, Keizer และ Arund (35) สังเกตุพบว่าโมโนเมอร์ที่มีความข้นหนืดต่ำสามารถแทรกเข้าไปในผิวเคลือบฟันที่เตรียมไว้ได้ถึงระดับ Inter และ Intraprismatic ในขณะที่การใช้คอมโพสิตเรซินเพียงลำพังสามารถแทรกเข้าไปได้เพียงระดับ Interprismatic เท่านั้น

อย่างไรก็ตามได้มีความเห็นแตกต่างกันออกไปมากมายเกี่ยวกับความจำเป็นของการใช้ซีลแลนต์เพื่อปรับปรุงลักษณะทางคลินิกของวัสดุยึด เช่นเพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการยึดหรือเป็นการป้องกันการเกิดฟันผุบนผิวเคลือบฟันที่ถูกกัดด้วยกรดแล้วทั้งก่อนที่จะติดเครื่องมือและหลังการถอดเครื่องมือแล้ว เรซินชนิด BIS-GMA ที่ไม่มีวัสดุอัดแทรกได้ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นซีลแลนต์

ระหว่างผิวเคลือบฟันและคอมโพสิตเรซิน เพราะเป็นที่เชื่อกันว่าความแข็งแรงในการยึดของวัสดุยึดจะดีขึ้นเมื่อใช้ซีลแลนต์ ร่วมกับ คอมโพสิต Bishara และคณะ(36)ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการใช้วัสดุยึดเพียงอย่างเดียวเปรียบเทียบกับการใช้ร่วมกับ ซีลแลนต์ Ortiz และคณะ(37) ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าสารไพรเมอร์ซึ่งประกอบด้วยกรดอะคริลิก-butylacrylate เมื่อทาลงบนผิวเคลือบฟันซึ่งใช้กรดกัดไว้แล้วจะเพิ่มความแข็งแรงยึดของคอมโพสิตเรซิน

ในปัจจุบันวัสดุยึดที่นำมาใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน นอกจากใช้ในลักษณะของการผสมส่วนเบสกับส่วนแคตาลิสต์เข้าด้วยกันแล้ว ได้มีการผลิตวัสดุยึดใหม่เพื่อความสะดวกในการใช้อีก 2 ระบบกล่าวคือ

1. วัสดุยึดชนิดไม่ต้องผสม (No-mix adhesive) โดยส่วนมากวัสดุนี้จะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของเบสซึ่งมีลักษณะเป็นเพสต์ และส่วนของสารเริ่มหรือเร่งปฏิกริยาที่เรียกว่า Primer หรือ Activator:ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวหรือเป็นเพสต์ วัสดุจะแข็งตัวเมื่อส่วนที่เป็นเพสต์ถูกกดด้วยแรงพอสมควรเป็นผลให้ส่วนของ Primer ที่เป็นของเหลวซึ่งจะต้องทาลงบนผิวเคลือบฟันซึ่งใช้กรดกัดไว้แล้ว และ บริเวณด้านล่างของฐานแบรกเก็ตเข้าผสมและทำปฏิกริยากับส่วนเพสต์ เช่น Unique, Right-on, System 1+, Unite ฯลฯ หรือสัมผัสกับเพสต์อีกส่วนหนึ่งที่อยู่บนผิวเคลือบฟันที่ได้เตรียมไว้แล้ว เช่น Secure-on-touch ฯลฯเมื่อจัดตำแหน่งเครื่องมือเข้าที่แล้วจึงออกแรงกดเครื่องมือให้อยู่กับที่ โดยปกติวัสดุก็จะแข็งตัวภายในเวลา 30-60 วินาที

ถึงแม้ว่าการติดแบรกเก็ตกับตัวฟันด้วยวัสดุชนิดที่ไม่ต้องผสมนี้จะทำได้ง่าย แต่ความแข็งแรงที่ได้จะน้อยกว่าวัสดุชนิดเพสต์สองส่วน และปริมาณของวัสดุที่ไม่ได้ทำปฏิกริยาไม่สามารถตรวจสอบได้(38) จากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าส่วนของ Activator หรือ Primer ที่เป็นของเหลวนั้นเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อ (39,40) และจากการทดลองในสัตว์ทดลองพบว่าส่วนของ Primer นี้สามารถทำให้เกิดการอักเสบบนผิวหนังของสัตว์ทดลองได้ และมีรายงานว่าพบการอักเสบของผิวหนังบริเวณมือของผู้ช่วยทันตแพทย์ที่ใช้ Primer นี้ (41)

Evans และ Powers (42) ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงยึดของแบรกเก็ตเมื่อใช้วัสดุยึดชนิดไม่ต้องผสมสามชนิด คือ Mono-Lok (RMO) System 1+ (Ormco) และ Unite (Uitek Corp.) เปรียบเทียบกับวัสดุยึดชนิดเพสต์สองส่วน (Concise;3M) เมื่อใช้กับแบรกเก็ตที่ฐานมีลักษณะเป็นตะแกรงโลหะพบว่า มีความสัมพันธ์กันระหว่าง ความข้นหนืดของวัสดุส่วนที่เป็นเพสต์ และ ความหนาของวัสดุที่ใช้กับความต้านทานต่อแรงดึงของวัสดุยึดชนิดไม่ต้องผสม โดย System 1+ เป็นวัสดุที่มีความข้นหนืดสูงที่สุดและให้ความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุดเมื่อมีความหนาของวัสดุน้อยมาก (น้อยกว่า 0.25 มิลลิเมตร) แต่เมื่อวัสดุมีความหนาเพิ่มขึ้น System 1+ จะเป็นวัสดุชนิดแรกที่มีความล้มเหลวของการยึดเกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุ ส่วน Mono-Lok และ Unite เป็นวัสดุที่มีความข้นหนืดและความต้านทานต่อแรงดึงน้อยกว่า System 1+เมื่อความหนาของวัสดุน้อยมากแต่เมื่อความหนาของวัสดุเพิ่มขึ้นกลับมีความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่า โดยเฉพาะ Unite สามารถต้านทานต่อแรงดึงจนกระทั่งวัสดุมีความหนาถึง 0.38 มิลลิเมตร (ตารางที่ 2)

		Bond strength (kg/mm²)				
Code	*No shim*	*0.25 mm*	*0.30 mm*	*0.33 mm*	*0.38 mm*	*0.51 mm*
CO	0.44 (0.07)*	0.86 (0.04)	0.84 (0.04)	0.82 (0.10)	0.78 (0.07)	0.70 (0.06)
ML	0.66 (0.07)	0.71 (0.09)	0.47 (0.06)	—	—	—
UN	0.60 (0.11)	0.55 (0.12)	0.66 (0.05)	0.64 (0.13)	0.49 (0.19)	—
SY	0.92 (0.02)	0.33 (0.08)	0.30 (0.03)	—	—	—

*Means of five replications with standard deviations in parentheses.
Values of Tukey interval for comparing differences among thicknesses and cements were 0.07 and 0.09 kg/mm², respectively.

ตารางที่ 2 แสดงความต้านทานต่อแรงดึงของแบรกเก็ตเมื่อเพิ่มความหนาของวัสดุยึดในการศึกษาของ Evans และ Powers
(CO=Concise, ML=Mono-Lok, UN=Unite, SY=System 1+)

อย่างไรก็ตามเมื่อความหนาของวัสดุเพิ่มขึ้นจะมีผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงลดลง และมีความล้มเหลวของการยึดเกิดขึ้นในเนื้อวัสดุเนื่องจากปฏิกริยาโพลีเมอไรเซชันของวัสดุเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์เช่นเดียวกับ System 1+ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการแข็งตัวของวัสดุยึดชนิดไม่ต้องผสมนี้จำเป็นต้องอาศัยปฏิกริยาระหว่างสารไพรเมอร์กับส่วนที่เป็นเพสต์ เมื่อความหนาของวัสดุเพิ่มขึ้นจึงเป็นการลดโอกาสในการเข้าทำปฏิกริยาของสารทั้งสองลง ความข้นหนืดของวัสดุก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนในปฏิกริยาการแข็งตัวของวัสดุนี้ได้เช่นกัน กล่าวคือเมื่อวัสดุมีความข้นหนืดเพิ่มขึ้นส่วนของไพรเมอร์ซึ่งเป็นของเหลวจะแทรกเข้าไปทำปฏิกริยากับส่วนที่เป็นเพสต์ได้ยากขึ้นทำให้อัตราการเกิดโพลิเมอไรเซชันของวัสดุลดลง อย่างไรก็ตามความข้นหนืดของวัสดุก็ยังเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการติดแบรกเก็ตในเทคนิคไดเร็กบอนด์โดยเป็นปัจจัยที่จะควบคุมตำแหน่งของแบรกเก็ตให้อยู่ในตำแหน่งที่ทันตแพทย์ต้องการก่อนที่วัสดุยึดจะแข็งตัว

Delport และ Grobler (43) ทำการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงของวัสดุยึดทางทันตกรรมจัดฟัน 7 ชนิด ซึ่งแบ่งเป็นวัสดุชนิดเพสต์สองส่วน 3 ชนิดได้แก่ Achieve("A"Company), TP 1-to-1(TP Laboratory), Concise (3M Company) และวัสดุชนิดไม่ต้องผสม 4 ชนิด ได้แก่ Right-on(TP Laboratory), Attain ("A" Company), System 1+ (Ormco), Mono-Lok(Rocky Mountain Orthodontic) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. วัสดุที่บ่มตัวด้วยแสงที่มองเห็นได้ วัสดุประเภทนี้บ่มตัวได้โดยแสงที่ส่องผ่านโครงสร้างของฟัน เช่น Fotofil, Durafil ฯลฯ ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกริยาโพลีเมอไรเซชันของ ไดอะคริเลตเรซินสามารถเกิดได้ใน 2 ลักษณะ กล่าวคือ

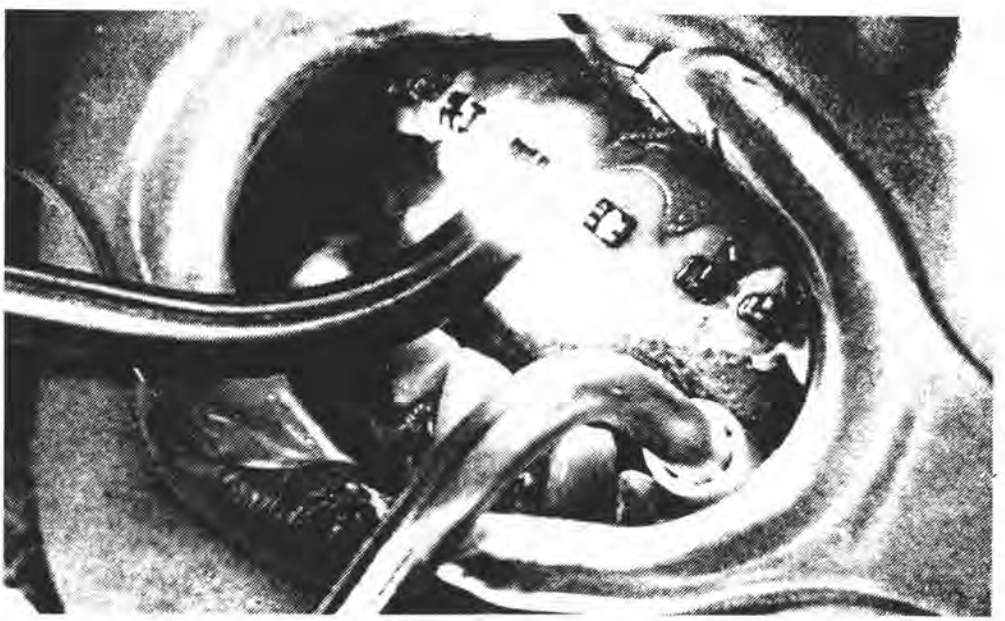
2.1 โดยปฏิกริยาเคมี ในการใช้วัสดุประเภทนี้เวลาในการทำงานจะถูกจำกัด และสามารถติดแบรกเก็ตได้จำนวนน้อยต่อการผสม 1 ครั้ง

2.2 โดยพลังงานที่ได้จากแสงเหนือม่วงที่มีความยาวคลื่น 364 - 367 นาโนเมตร วัสดุประเภทนี้เคยได้รับความนิยมอยู่ระยะหนึ่งเนื่องจากทันตแพทย์สามารถควบคุมเวลาการก่อตัวของวัสดุได้ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ต้องสิ้นเปลืองเวลาในการทำงานมากเนื่องจากต้องฉายแสงเหนือม่วงเป็นเวลานานถึง 90 วินาทีต่อการติดแบรกเก็ต 1 ตัว นอกจากนี้แสงเหนือม่วงที่ใช้นี้ไม่สามารถที่จะส่องผ่านตัวฟันได้จึงจำเป็นต้องใช้แบรกเก็ตที่มีความโปร่งใส เช่น แบรกเก็ตโพลีคาร์บอเนต หรือแบรกเก็ตโลหะที่มีลักษณะของฐานเป็นรูพรุน อีกทั้งใน

ระยะหลังได้มีความวิตกกังวลเกี่ยวกับอันตรายที่อาจจะเกิดจากได้รับแสงเหนือม่วงเป็นเวลานาน วัสดุประเภทนี้จึงเสื่อมความนิยมลง(44)

2.3 โดยการใช้ตัวกระตุ้นปฏิกริยา (Catalyst system) ซึ่งอาศัยแสงที่มองเห็นได้ (ความยาวคลื่น 440-480 นาโนเมตร) ในการกระตุ้นเพื่อให้เกิดปฏิกริยา ระบบนี้เป็นระบบที่มีข้อได้เปรียบมาก โดยเฉพาะในด้านความปลอดภัยเนื่องจากช่วงของความยาวคลื่นที่ใช้จะไม่มีการเปล่งรังสีเหนือม่วงออกมา นอกจากนี้วัสดุส่วนที่เกินยังสามารถกำจัดออกได้ง่าย เวลาที่ใช้ต่อชิ้นก็น้อยกว่าเวลาที่ใช้ด้วยแสงเหนือม่วง วัสดุยึดสามารถบ่มตัวได้ภายใต้ฐานแบรกเก็ตโลหะ เนื่องจากโครงสร้างของฟันสามารถส่งผ่านแสงนี้ได้ดี(45) และวัสดุที่ใช้ไม่ต้องผสมอีกทั้งยังมีความข้นหนืดเพียงพอที่จะยึดแบรกเก็ตให้อยู่กับที่ได้ก่อนก่อตัว แต่ข้อเสียประการสำคัญก็คือค่าใช้จ่ายค่อนข้างจะสูง

Tavas และ Watts (46) พบว่าวัสดุยึดชนิดบ่มตัวด้วยแสงที่ให้ความต้านทานแรงเฉือน/ปอกเท่าเทียมกับวัสดุที่บ่มตัวด้วยปฏิกริยาเคมี แต่มีข้อได้เปรียบในกรณีที่สามารถควบคุมการก่อตัวและทาวัสดุไว้บนแบรกเก็ตก่อนนำไปใช้ได้ จากการทดลองพบว่าการทาวัสดุไว้บนตัวแบรกเก็ตก่อนเป็นเวลานาน 48 ชั่วโมง ไม่มีผลในการลดความแข็งแรงในการยึดของวัสดุชนิดนี้



รูปที่ 5 แสดงการฉายแสงและทิศทางของต้นกำเนิดแสง
เพื่อบ่มวัสดุยึดชนิดบ่มตัวด้วยแสง

จากการศึกษาผลของสิ่งแวดล้อมที่มีต่อความแข็งแรงของวัสดุยึด เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ระยะเวลาในการบ่มตัวของวัสดุ ฯลฯ Bishara และคณะ(36) มีความเห็นร่วมกันว่า การมีวัสดุยึดสัมผัสกับความร้อน ความชื้น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรุนแรงเป็นเวลานาน จะมีผลให้ความแข็งแรงยึดของวัสดุลดลง Kwowassah และคณะ (47) พบว่าความแข็งแรงยึดของวัสดุยึดบนตัวฟันที่ปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นร้อยละ 100 หลังจากยึดแบรกเก็ตเข้ากับผิวเคลือบฟันแล้วเป็นเวลา 15 วัน 22 วันและ 30 วัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้วัสดุยึดของบริษัท RMO และ Unitek แต่พบว่ามีความแตกต่างกับวัสดุยึดที่ปล่อยทิ้งไว้เพียง 30 นาที ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกริยา Polymerization ของวัสดุยังเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ Jassem และคณะ (48)แสดงให้เห็นว่าการจุ่มฟันที่ติดแบรกเก็ตลงในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Temperature Cycling) ระหว่างอุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส ในอัตรา 500 รอบ เป็นเวลา 1 นาที ไม่มีผลต่อความต้านทานต่อแรงเฉือนของวัสดุเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ผ่านกรรมวิธีดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามความต้านทานต่อแรงดึงในกลุ่มทดลองมีค่าต่ำกว่าในกลุ่มควบคุม Evan และ Power(42) พบว่ามีการลดลงของความต้านทานต่อแรงดึงของแบรกเก็ตที่ยึดด้วยวัสดุยึดชนิดไม่ต้องผสม เมื่อทำการทาส่วนที่เป็น Primer ทิ้งไว้ในสภาพที่จำลองให้มีความชื้นและอุณหภูมิเช่นเดียวกับช่องปากตั้งแต่ 1 นาทีขึ้นไปสำหรับวัสดุ Mono-Lok และ ตั้งแต่ 2.5 นาทีขึ้นไปสำหรับวัสดุ System 1+ และ Unite

<u>แบรกเก็ต</u>

แบรกเก็ตเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องมือที่มีบทบาทสำคัญในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น เนื่องจากเป็นส่วนที่ส่งผ่านแรงที่เกิดขึ้นในการจัดฟันไปยังตัวฟัน (6) ในปัจจุบันแบรกเก็ตที่ใช้ในเทคนิกไดเร็กบอนด์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กล่าวคือ

1. แบรกเก็ตพลาสติก

G.V. Newman (49) เป็นบุคคลแรกที่พัฒนาแบรกเก็ตพลาสติกเพื่อใช้ในเทคนิกไดเร็กบอนด์โดยเลือกใช้โพลีคาร์บอเนตที่ไม่มีวัสดุอัดแทรก (Unfilled Polycarbonate) ในการผลิตแบรกเก็ต แบรกเก็ตพลาสติกนี้จะใช้ อีพอกซีเรซิน เป็นวัสดุยึดติดแบรกเก็ตเข้า

กับตัวฟัน นอกเหนือจากอีพอกซีเรซินแล้วแบรกเก็ตนี้ยังสามารถยึดติดกับวัสดุยึดที่มีเบสเป็นเมธิลเมตาคริเลต เช่น Orthomite II (Rocky Mountain Orthodontics), Bracket Bond (G.A.C. NY.) และ Bond-Eze(Unitek Corporation) ซึ่งเป็นเบสที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับแบรกเก็ตพลาสติกได้โดยตรง แต่ถ้าหากจะใช้วัสดุยึดที่มีเบสเป็น BIS-GMA กับแบรกเก็ตพลาสติกจะต้องใช้ร่วมกับ Primer Pulido (50)พบว่าในการยึดแบรกเก็ตพลาสติกด้วยวัสดุในกลุ่ม BIS-GMA ถ้าหากใช้ร่วมกับไพรเมอร์จะมีความต้านทานต่อแรงดึงมากกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้ไพรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญ

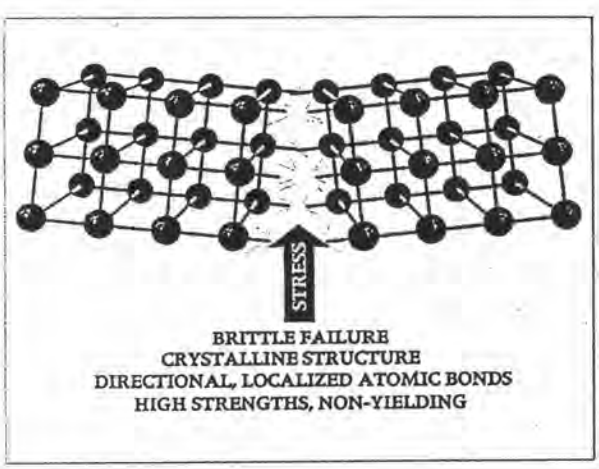
แบรกเก็ตพลาสติกมีข้อดีในด้านให้ความสวยงาม และสามารถสร้างพันธะเคมีกับวัสดุยึดได้ ทำให้มีความแข็งแรงในการยึดสูงกว่าแบรกเก็ตโลหะ(51) แต่แบรกเก็ตพลาสติกก็มีข้อเสียบางประการ เช่น มีความแข็งแรงน้อยมักจะบิดหรือแตกหักในระหว่างการรักษา Aird และ Durning (52) ได้ทำการศึกษาการแตกหักของแบรกเก็ตพลาสติกโดยการใช้ลวดและขนาดแรงที่ใช้ในการจัดฟัน พบว่าการใส่ลวดลงในร่องแบรกเก็ตไม่ว่าจะเป็น ลวดกลม หรือลวดสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือแม้แต่การผูกแบรกเก็ตด้วยลวดโลหะไร้สนิมสามารถเป็นปัจจัยทำให้เกิดการแตกหักของแบรกเก็ตพลาสติกได้ นอกจากนี้แบรกเก็ตยังมีการสึกกร่อนของร่องแบรกเก็ต (Bracket slot) ทำให้สูญเสียความสามารถในการควบคุมแนวแกนฟันของแบรกเก็ต สามารถเปลี่ยนสีได้ และต้องใช้วัสดุยึดโดยเฉพาะ

2. แบรกเก็ตเซรามิก (Ceramic bracket)

จากข้อบกพร่องของแบรกเก็ตพลาสติกซึ่งมีความแข็งแรงน้อยและเปลี่ยนสีได้เมื่ออยู่ในช่องปากเป็นเวลานาน ทำให้แบรกเก็ตพลาสติกไม่ได้รับความนิยมในการนำไปใช้กับผู้ป่วยมากเท่ากับแบรกเก็ตโลหะแม้ว่าจะให้ความสวยงามมากกว่า จากการสำรวจความนิยมของทันตแพทย์จัดฟันในประเทศสหรัฐอเมริกาโดย Gorelick(7) ในปี ค.ศ.1979 พบว่ามีผู้นิยมใช้แบรกเก็ตโลหะชนิดที่มีรูพรุนบริเวณฐานร้อยละ 22 ชนิดฐานเป็นตะแกรงโลหะมากถึงร้อยละ 77 และแบรกเก็ตพลาสติกมีเพียงร้อยละ 29 ถึงแม้ว่าจะมีการพัฒนาแบรกเก็ตพลาสติกเสริมโลหะเพื่อให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นแล้วก็ตาม ความนิยมในการใช้แบรกเก็ตพลาสติกของทันตแพทย์ก็ยังคงมีจำนวนน้อยอยู่ (53) ด้วยเกรงว่าจะต้องเปลี่ยนแบรกเก็ตให้ผู้ป่วยบ่อยครั้ง

แบรกเก็ตเซรามิกจึงถูกประดิษฐ์ขึ้นมาเพื่อรวมเอาข้อดีของแบรกเก็ตพลาสติกในด้านความสวยงาม กับความแข็งแรงของแบรกเก็ตโลหะเข้าด้วยกัน (6) เนื่องจากเซรามิกเป็นวัสดุที่มีความแข็งสูง ทนต่อความร้อนและการเสื่อมสภาพทางเคมีได้ดี แต่ก็มีจุดอ่อนที่ด้อยกว่าโลหะอยู่ประการเดียวคือ เซรามิกมีความเปราะสูง เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลที่ต่างกัน(54) เมื่อโลหะความเค้น (Stress) เกิดขึ้นโมเลกุลของโลหะซึ่งยึดกันอยู่ด้วยพันธะโลหะสามารถที่จะบิดเบือนตำแหน่งไปเพื่อลดความเค้นลง แต่โครงสร้างโมเลกุลของเซรามิกมีตำแหน่งที่แน่นอนและยึดกันอยู่ในลักษณะสามมิติไม่สามารถบิดเบือนได้ เมื่อมีความเค้นเกิดขึ้นจนถึงจุดวิกฤต พันธะระหว่างโมเลกุลของเซรามิกก็จะแตกออกทำให้เกิดการแตกหักของวัสดุ (รูปที่ 6)

ดังนั้นหากมีรอยขีดข่วนหรือตำหนิบนชิ้นเซรามิกแล้ว เซรามิกมีโอกาสที่จะแตกออกจากกันได้ง่ายกว่าโลหะ



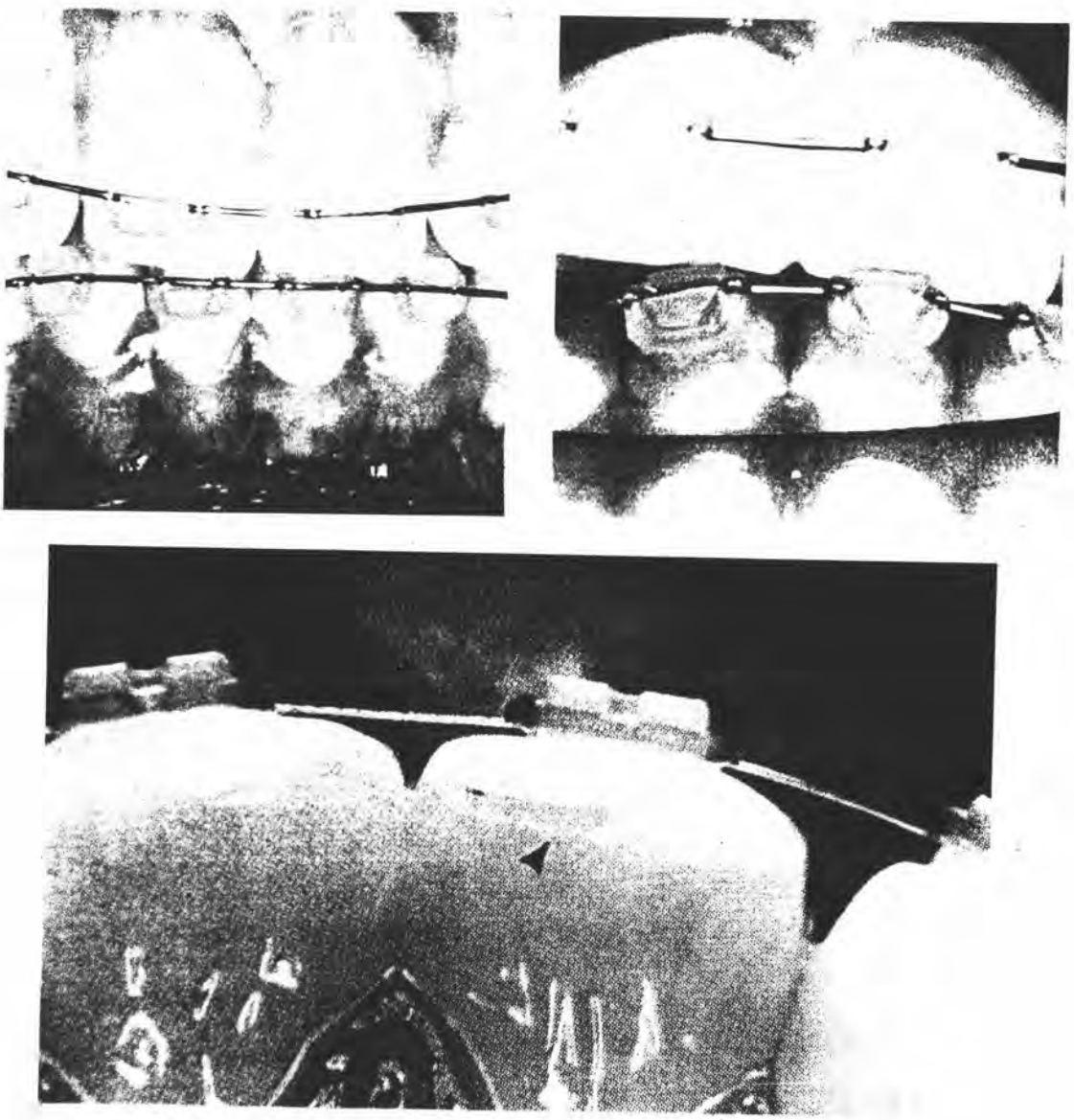
รูปที่ 6 แสดงถึงผลของความเค้นที่มีต่อโครงสร้างของเซรามิก

ปัจจุบันแบรกเก็ตเซรามิกถูกออกแบบมาเพื่อให้ยึดติดกับตัวฟันได้ใน 2 ลักษณะ คือ การเกาะเกี่ยวเชิงกลจากร่องขนาดใหญ่บริเวณฐานของแบรกเก็ตได้แก่แบรกเก็ต Gem ของบริษัท ORMCO และการยึดแบบพันธะเคมีโดยใช้สารคั่นกลาง เช่นในกรณีของ Starfire (A-Company) และ Trancend (Unitek Corporation/3M) ซึ่งในกรณีนี้ผลึกแก้วจะถูกทำให้ยึดกับอลูมิเนียมออกไซด์บริเวณฐานแบรกเก็ตแล้วจึงเคลือบทับด้วยไซเลน (Silane)สารไซเลนนี้สามารถจะเกิดพันธะเคมีกับผลึกแก้วในขณะเดียวกันก็จะเหลือปลายอิสระของโมเลกุลไปทำปฏิกริยากับวัสดุยึด ดังนั้นฐานของแบรกเก็ตเซรามิกประเภทนี้จึงสามารถยึดกับวัสดุยึดได้ด้วยพันธะเคมี

จากการศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงในการยึดของแบรกเก็ตเซรามิก 2 ชนิด (53) คือ Allure (GAC NY.) ซึ่งฐานมีลักษณะผสมผสานระหว่างการเคลือบด้วยไซเลน ร่วมกับร่องที่ทำขึ้นเพื่อการเกาะเกี่ยวเชิงกล และ Trancend ซึ่งใช้ฐานที่เคลือบด้วย ไซเลน เปรียบเทียบกับแบรกเก็ตโลหะอีก 2 ชนิด ที่มีลักษณะของฐานเป็นแบบตะแกรงโลหะ (Ormesh:ORMCO Corp.) และชนิดที่มีลักษณะของฐานเป็นแบบกัดกร่อนด้วยน้ำยาไวแสง (Microloc:G.A.C. NY.) นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบกับแบรกเก็ตพลาสติกที่มีเซรามิกเป็นวัสดุอัดแทรกอีก 1 ชนิด (Mirage: American Orthodontics) พบว่าแบรกเก็ตเซรามิกทั้งสองชนิดมีความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าแบรกเก็ตโลหะและแบรกเก็ตพลาสติก และแบรกเก็ตเซรามิกที่ยึดกับผิวฟันด้วยไซเลน (กลุ่ม E) จะเหลือวัสดุยึดติดค้างอยู่บนผิวเคลือบฟันน้อยที่สุดซึ่งช่วยลดเวลาในการทำความสะอาดเคลือบฟันภายหลังจากการถอดแบรกเก็ต อย่างไรก็ตามก็มีอัตราเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายบนผิวเคลือบฟันจากการถอดแบรกเก็ตชนิดนี้สูงขึ้นด้วย(54)

ถึงแม้ว่าแบรกเก็ตเซรามิกจะให้ความแข็งแรงยึดสูงกว่าแบรกเก็ตโลหะแต่ก็อาจจะก่อให้เกิดอันตรายแก่ผิวเคลือบฟันได้มากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อมีแรงกระทำกับตัวแบรกเก็ต แบรกเก็ตโลหะจะมีความสามารถในการเปลี่ยนแรงส่วนหนึ่งไปในรูปของการบิดเบือนรูปร่างของโลหะทำให้ความล้มเหลวของการยึดเกิดขึ้นระหว่างฐานแบรกเก็ตกับวัสดุยึด ส่วนในแบรกเก็ตเซรามิกซึ่งมีความแข็งสูงแบรกเก็ตจึงสามารถรับแรงได้สูงและส่งผ่านแรงทั้งหมดผ่านวัสดุยึดไปยังผิวเคลือบฟัน ซึ่งหากความแข็งแรงในการยึดระหว่างฐานแบรกเก็ตและวัสดุยึดมีมาก การแตกหักก็จะเกิดขึ้นในตัวแบรกเก็ตเองหรือในวัสดุยึดหรือภายในผิวเคลือบฟัน

เมื่อมีแรงกระแทกทันทีทันใดบริเวณที่จะได้รับความเสียหายก็คือบริเวณที่มีความเปราะมากที่สุด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเซรามิกหรือไม่ก็เป็นผิวเคลือบฟัน นอกจากนี้ความแข็งของแบรกเก็ตเซรามิกที่สูงมากสามารถทำให้ฟันคู่สบสึกได้ จึงควรให้ความระมัดระวังเป็นพิเศษในการใช้แบรกเก็ตชนิดนี้กับการรักษาผู้ป่วยที่มีการสบฟันลึก(Deep bite)(รูปที่ 7)

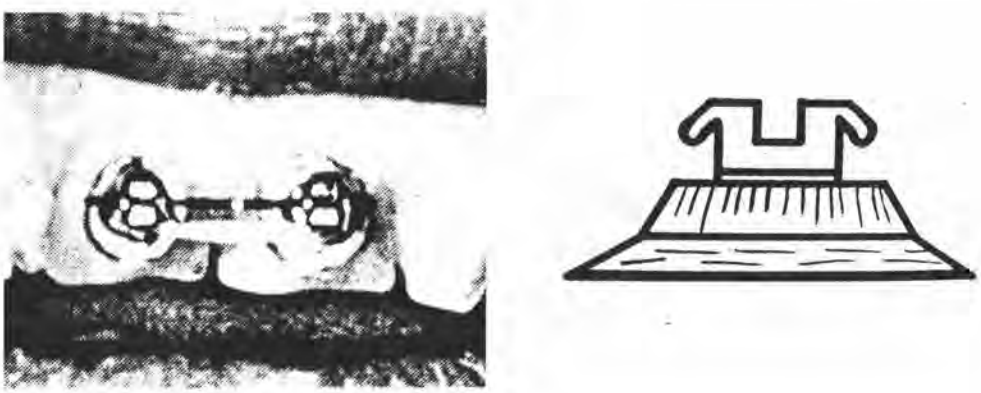


รูปที่ 7 แสดงการสึกของฟันอันเนื่องมาจากการใช้แบรกเก็ตเซรามิก ในการรักษาผู้ป่วยที่มีฟันสบลึก

3. แบรกเก็ตโลหะ (Metal bracket)

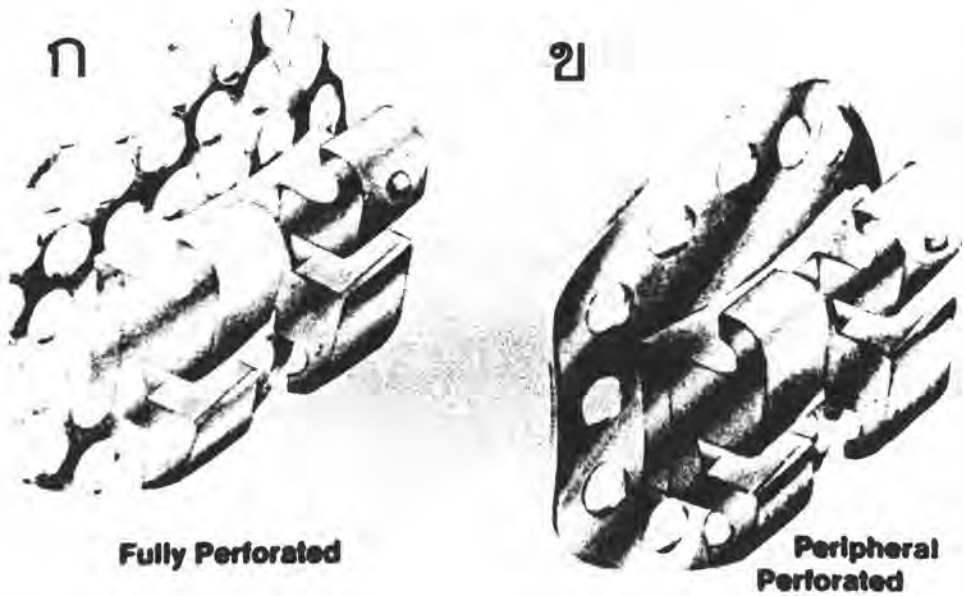
แบรกเก็ตโลหะที่ใช้ในเทคนิกไดเร็กบอนด์ ได้ถูกดัดแปลงมาจากแบรกเก็ตแบบเดิมที่ใช้เชื่อมติดกับปลอกโลหะรัดฟัน โดยการนำตัวแบรกเก็ตเชื่อม (Weld) หรือ บัดกรี(Braze) เข้ากับฐานแบบต่างๆ ซึ่งได้มีการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงรูปแบบอย่างมากมาย เนื่องมาจากแบรกเก็ตพลาสติกซึ่งพัฒนาขึ้นมาโดย Newman (49) นั้นแตกหักง่ายและบ่อยครั้งเมื่อทำการถอดใส่ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน

ในปี ค.ศ.1967 Mitchell (55) ได้เสนอรายงานการทดลองใช้แบรกเก็ตทางทันตกรรมจัดฟันติดเข้ากับฟันโดยตรง โดยไม่ต้องใช้ปลอกโลหะรัดฟัน ซึ่งมีจุดมุ่งหมายในการเปรียบเทียบแรงยึดอยู่ของซีเมนต์ชนิดต่างๆที่มีต่อแบรกเก็ตดังกล่าวในการเคลื่อนฟันธรรมชาติ แบรกเก็ตที่นำมาใช้เป็นแบรกเก็ตที่ใช้ในเทคนิก Edgewise เชื่อมติดกับฐานซึ่งทำด้วยทอง 24 กะรัต ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร รูปร่างเหมือนหมวก (รูปที่ 8) และมีลวดกลมขนาด 0.020 นิ้ว เชื่อมพาดขวางด้านในบริเวณกึ่งกลางของฐานเพื่อช่วยเพิ่มแรงเกาะเกี่ยวเชิงกล ซึ่ง Mitchell เรียกแบรกเก็ตนี้ว่า "M Bracket" ขอบของฐานแบรกเก็ตที่ทำด้วยทองนี้มีความอ่อนตัวสามารถจะรีดให้แนบกับผิวฟันได้ การยึดแบรกเก็ตเข้ากับตัวฟันทำโดยใช้แบล็กคอปเปอร์ซีเมนต์ จากนั้นป้องกันความชื้นด้วยการทาซิลิโคนกรีสลงบนแบรกเก็ต พบว่าในการแก้ไขตำแหน่งของฟันเฉพาะที่สามารถเคลื่อนฟันไปสู่ตำแหน่งที่ต้องการได้โดยแบรกเก็ตอยู่ในตำแหน่งเดิม อย่างไรก็ตามไม่ปรากฏว่าได้มีการผลิตแบรกเก็ตชนิดนี้ออกจำหน่าย หรือนำมาใช้ในเวลาต่อมาแต่อย่างใด



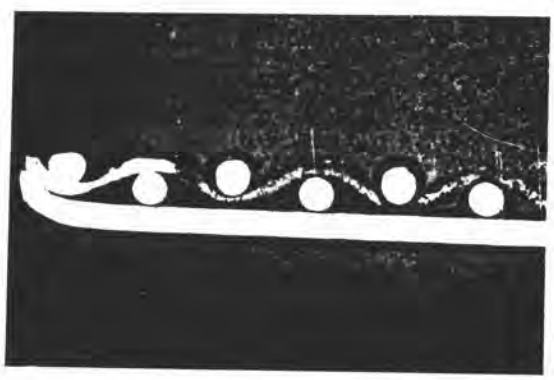
รูปที่ 8 แสดง "M.Bracket" ของ Mitchell (55)

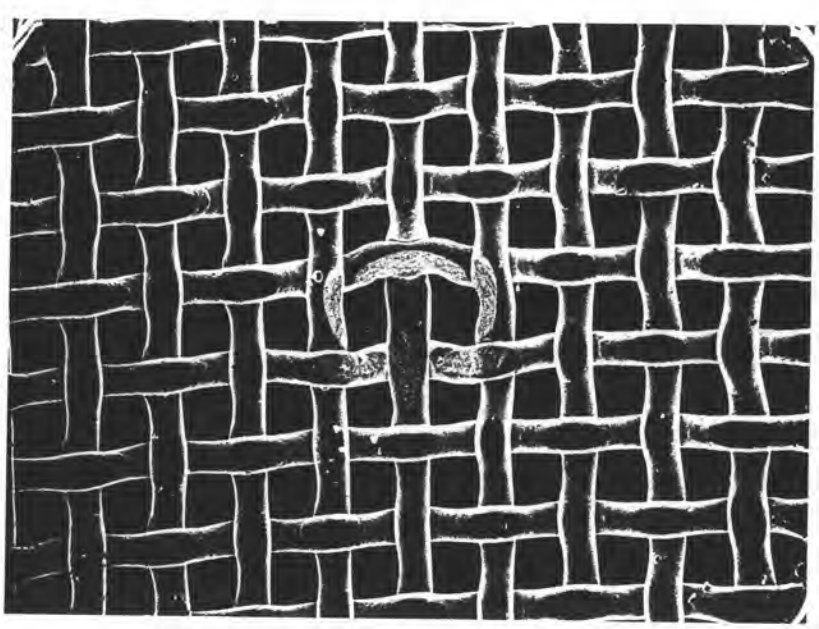
แบรกเก็ตโลหะที่มีการนำมาใช้กับเทคนิกไดเร็กบอนด์อย่างจริงจังในระยะแรกทำโดยการดัดแปลงจากแถบโลหะที่ใช้ทำปลอกโลหะรัดฟัน โดยการเชื่อมแถบโลหะขนาดเล็กเข้ากับตัวแบรกเก็ตด้วยไฟฟ้า และเจาะรูเล็กๆจำนวน 7-8 รูลงบนแถบโลหะดังกล่าวเพื่อช่วยในการยึดเกาะกับวัสดุยึด(21) จากนั้นได้มีการผลิตแบรกเก็ตที่มีฐานมีลักษณะเป็นรูพรุนโดยรอบตามขอบของฐานแบรกเก็ตเพื่อนำมาใช้กับวัสดุยึดซึ่งสามารถบ่มตัวได้ด้วยแสงเหนือม่วง ในช่วงต้นทศวรรษ 1970 ด้วยหวังว่าวัสดุยึดจะสามารถบ่มตัวได้ด้วยแสงเหนือม่วงจากรูเล็กๆที่มีอยู่ตามขอบของฐานแบรกเก็ต ต่อมาได้มีการปรับปรุงแบรกเก็ตดังกล่าวมาเป็นแบรกเก็ตที่มีรูพรุนทั่วบริเวณฐานแบรกเก็ต (Fully perforated) เพื่อให้มีการบ่มตัวของวัสดุยึดด้วยแสงเหนือม่วงอย่างทั่วถึง อีกทั้งเป็นการเพิ่มการเกาะเกี่ยวเชิงกลของแบรกเก็ตอีกด้วย (รูปที่ 9) แต่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถเพิ่มความแข็งแรงในการยึดของแบรกเก็ตได้เพียงเล็กน้อยในขณะที่ผลเสียที่เกิดขึ้นตามมาก็คือมีวัสดุส่วนเกินทะลักออกมาตามรูพรุนที่เพิ่มขึ้นบริเวณฐานของแบรกเก็ต วัสดุที่เกินออกมานี้เมื่อแข็งตัวจะเป็นส่วนที่ขัดขวางการผูกลวดรอบปีกของแบรกเก็ต อีกทั้งยังทำให้เกิดพื้นผิวหยาบซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดคราบจุลินทรีย์ได้ง่าย และเมื่อวัสดุที่อยู่ตามรูพรุนเหล่านี้แตกออกก็จะเป็นการเปิดโอกาสให้น้ำลาย เศษอาหาร และคราบจุลินทรีย์ หลุดลอดเข้าไปสะสมอยู่ระหว่างฐานแบรกเก็ตและวัสดุยึด



รูปที่ 9 แบรกเก็ตโลหะชนิดที่ฐานมีลักษณะเป็นรูพรุน ก. มีรูพรุนบางส่วนของฐาน
ข. มีรูพรุนทั่วบริเวณฐาน

เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและแก้ไขข้อเสียซึ่งเกิดจากแบรกเก็ตที่ฐานมีลักษณะรูพรุนจึงทำให้มีการพัฒนาแบรกเก็ตที่ด้านล่างของฐานมีลักษณะเป็นตะแกรงโลหะขึ้นมา ซึ่งฐานแบรกเก็ตแบบนี้จะมีส่วนเกาะเกี่ยว (Retentive part) เป็นตะแกรงโลหะอยู่บริเวณส่วนล่างของฐานแบรกเก็ตที่จะสัมผัสกับผิวฟัน ส่วนของฐานที่เชื่อมติดกับตัวแบรกเก็ตจะเป็นแผ่นเหล็กไร้สนิมซึ่งเรียบและบาง (รูปที่10) ทั้งสองส่วนนี้จะถูกเชื่อมติดกันด้วยวิธีเชื่อมด้วยความร้อนที่เกิดจากไฟฟ้า (Weld) หรือใช้วิธีบัดกรี(Braze)ให้ติดกันโดยมีโลหะผสมเป็นตัวกลาง (Filler) ส่วนที่เป็นแผ่นโลหะไร้สนิมจะป้องกันไม่ให้วัสดุยึดส่วนเกินทะลักออกมาทางด้านหน้า และตะแกรงลวดที่อยู่ทางด้านหลังก็สามารถให้ความแข็งแรงในการยึดที่ดี





รูปที่ 10 แสดงฐานของแบรกเก็ตที่มีลักษณะเป็นตะแกรงโลหะ

Reynold(56) ศึกษาความสั้น-ยาวของตะแกรงโลหะที่ใช้ทำส่วนเกาะเกี่ยวของฐานแบรกเก็ตกับความแข็งแรงในการยึดที่เกิดจากการใช้วัสดุยึดชนิด ไดอะคริเลตเรซินที่มีวัสดุอัดแทรก 3 ชนิด ส่วนตะแกรงที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีขนาดต่างๆกัน 6 ขนาด พบว่าการหลุดของแบรกเก็ตออกจากตัวฟันเกิดจากความล้มเหลวของการยึดอยู่บริเวณระหว่างตะแกรงกับวัสดุยึดทั้งหมด นอกจากตะแกรงขนาด 100 และ 150 ช่องต่อความยาว 1 นิ้ว พบว่ามีการหลุดของแผ่นตะแกรงออกจากส่วนของฐานแบรกเก็ต และมีบางส่วนติดอยู่กับวัสดุยึดที่ยังคงติดอยู่บนผิวเคลือบฟัน และตะแกรงที่มีความห่างมากกว่า (ตัวเลขน้อย) จะให้ความแข็งแรงในการยึดดีกว่าตะแกรงละเอียดโดยกลุ่มที่ใช้ตะแกรงขนาด 50-70 ช่องต่อความยาว 1 นิ้ว ให้ความแข็งแรงในการยึดมากกว่ากลุ่มที่ใช้ตะแกรงขนาด 100-150 ช่องต่อความยาว 1 นิ้ว อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.01$) และไม่มีความแตกต่างของความแข็งแรงในการยึดที่ได้จากวัสดุยึดต่างชนิดกัน รวมทั้งได้เสนอว่าลวดที่ใช้ในการทำตะแกรงโลหะไม่ควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำกว่า 150 ไมครอน ในปี ค.ศ. 1977 Reynolds และ von Fraunhofer(51) รายงานผลการทดลองเปรียบเทียบความแข็งแรงในการยึดของแบรกเก็ตที่มีฐานต่างๆกัน 4 ชนิดคือ แบรกเก็ตโลหะที่มีฐานเป็นตะแกรงโลหะขนาด 50 แบรกเก็ตโลหะที่มีรูพรุนรอบฐานแบรกเก็ต แบรกเก็ตโลหะทั้งสองชนิดนี้จะยึดกับวัสดุยึดด้วยแรงเกาะเกี่ยวเชิงกล แบรกเก็ตโลหะชนิดที่สามมีฐานที่เคลือบด้วยสารโพลีเมอร์ การยึดอยู่กับวัสดุยึดจะเป็นการยึดแบบพันธะเคมีเช่นเดียวกับแบรกเก็ตโพลีคาร์บอเนต ซึ่งเป็นแบรกเก็ตชนิดที่สี่ที่ใช้ในการทดลองนี้ ผลการทดลองที่ได้พบว่าแบรกเก็ต โพลีคาร์บอเนตให้ความแข็งแรงในการยึดสูงสุดและต่ำที่สุดคือแบรกเก็ตโลหะที่มีฐานเป็นรูพรุน ส่วนแบรกเก็ตโลหะที่มีลักษณะของฐานเป็นตะแกรงให้ความแข็งแรงในการยึดสูงสุดในบรรดาแบรกเก็ตโลหะด้วยกัน ซึ่งสูงกว่าแบรกเก็ตโลหะที่เคลือบบริเวณฐานด้วยสารโพลีเมอร์เพื่อให้เกิดพันธะเคมีกับวัสดุยึด

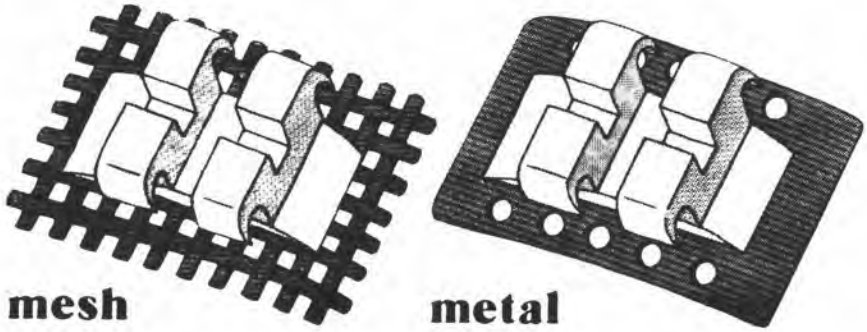
Sheykhoslam และ Brandt (17) ได้ชี้ให้เห็นถึงเหตุผลที่ฐานแบรกเก็ตชนิดตะแกรงโลหะให้ความแข็งแรงในการยึดมากกว่าฐานชนิดที่มีรูพรุน ว่าเนื่องมาจากฐานแบรกเก็ตชนิดที่มีลักษณะเป็นตะแกรงโลหะจะมีจุดที่สามารถเกาะเกี่ยวกับวัสดุยึดสูงถึง 10,000 จุด ต่อพื้นที่ 1 ตารางนิ้ว ซึ่งมากกว่าแบรกเก็ตชนิดที่ฐานมีลักษณะเป็นรูพรุนมาก นอกจากนี้ยังได้มีการปรับปรุงฐานแบรกเก็ตที่มีลักษณะเป็นตะแกรงโลหะให้ส่วนที่เป็นตะแกรงโลหะสามารถติดอยู่กับฐานแบรกเก็ตได้ดีขึ้น ทำให้ส่วนที่เป็นตะแกรงโลหะไม่หลุดออกจากฐานแบรกเก็ตในขณะที่ทำการถอดแบรกเก็ต ซึ่งในแบรกเก็ตแบบเก่าจะใช้การเชื่อมด้วยไฟฟ้า

(Weld) ทำให้เกิดจุดเชื่อม (Weld spot) ขึ้นจำนวนหนึ่งซึ่งบริเวณจุดเชื่อมนี้จะมีลักษณะแบนราบทำให้ไม่สามารถยึดเกาะกับวัสดุยึดได้ เพื่อขจัดปัญหาเหล่านี้จึงได้มีการปรับปรุงวิธียึดตะแกรงโลหะเข้ากับฐานแบรกเก็ต จากการเชื่อมด้วยไฟฟ้ามาเป็นวิธีบัดกรี (brazing) ทำให้ตะแกรงโลหะสามารถยึดกับวัสดุยึดได้อย่างเต็มที่

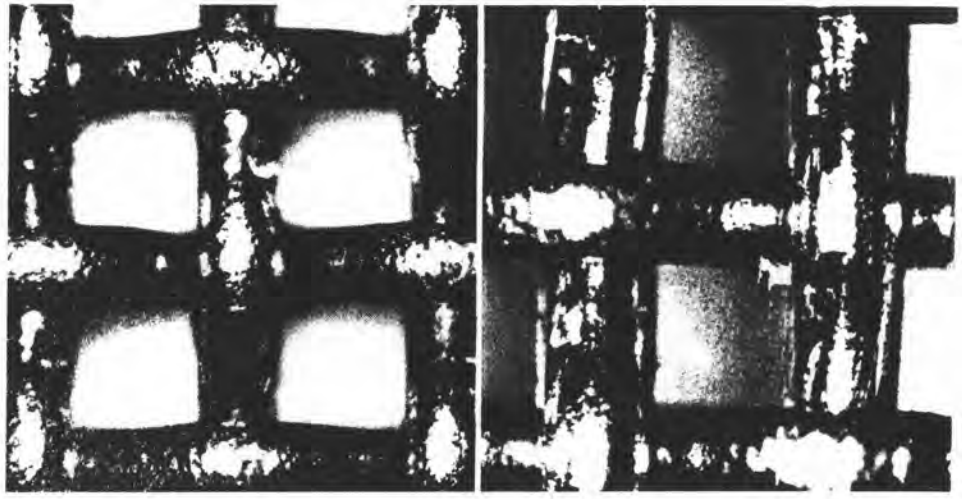
Zachrisson และ Brobakken (30) พบว่าในผู้ป่วยที่ใช้แบรกเก็ตโลหะที่ฐานมีลักษณะเป็นแบบตะแกรงมีการเกิดคราบจุลินทรีย์น้อยกว่าผู้ป่วยที่ใช้แบรกเก็ตที่มีฐานเป็นรูพรุน นอกจากนี้แบรกเก็ตที่มีฐานเป็นแบบตะแกรงโลหะยังสามารถผลิตให้มีขนาดเล็กกว่าแบรกเก็ตที่มีฐานเป็นรูพรุน ทำให้มีผลในด้านความสวยงามมากกว่า ด้วยเหตุผลเหล่านี้จึงแนะนำให้เลิกใช้แบรกเก็ตที่มีฐานเป็นรูพรุนต่อไป

Thanos, Munholland และ Caputo (57) ทำการทดลองเกี่ยวกับความแข็งแรงในการยึดของแบรกเก็ต โดยทำการเชื่อมตัวแบรกเก็ตด้วยไฟฟ้าเข้ากับตะแกรงโลหะที่ไม่มีแผ่นโลหะปิดทับด้านหน้าขนาด 50 และ 60 ช่องต่อความยาว 1 นิ้วและฐานที่เป็นแผ่นโลหะซึ่งเจาะรูไว้ตามขอบจำนวน 10 รู โดยฐานแบรกเก็ตแต่ละแบบมีพื้นที่เท่ากัน (รูปที่ 11, 12) พบว่าฐานแบรกเก็ตชนิดที่เป็นตะแกรงโลหะให้ความแข็งแรงในการยึดที่ดีกว่า ยกเว้นเมื่อทำการทดสอบด้วยแรงเฉือนแบรกเก็ตที่ฐานมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะเจาะรูจะสามารถทนต่อแรงเฉือนได้มากกว่า

Gorelick (7) ทำการสำรวจความนิยมของทันตแพทย์จัดฟันในสหรัฐอเมริกาเมื่อปีค.ศ.1979 พบว่ามีผู้ใช้แบรกเก็ตที่ฐานมีลักษณะเป็นตะแกรงโลหะร้อยละ 77 ในขณะที่ผู้นิยมใช้แบรกเก็ตที่ฐานเป็นรูพรุนมีเพียงร้อยละ22เท่านั้น Gorelickได้วิเคราะห์ถึงผลการสำรวจดังกล่าวว่า อาจจะเนื่องมาจากแบรกเก็ตที่ฐานมีลักษณะเป็นตะแกรงโลหะมีความแข็งแรงในการยึดมากกว่าแบรกเก็ตที่มีฐานเป็นรูพรุน ซึ่งเชื่อกันว่าจะช่วยลดอัตราการหลุดของแบรกเก็ตได้ และเมื่อใช้แบรกเก็ตชนิดที่ฐานมีลักษณะเป็นตะแกรงโลหะกับผู้ป่วยจะทำให้ช่องปากของผู้ป่วยดูสะอาดกว่าเนื่องจากมีพื้นที่ฐานที่เล็กกว่า รวมทั้งยังทำให้เกิดการสะสมแผ่นคราบจุลินทรีย์ได้น้อยกว่า และเหตุผลประการสุดท้ายก็คือการเสื่อมความนิยมในการใช้วัสดุยึดชนิดที่บ่มตัวด้วยแสงเหนือม่วงซึ่งจำเป็นต้องใช้แบรกเก็ตที่มีฐานเป็นรูพรุน



รูปที่ 11 แสดงลักษณะของแบรกเก็ตและฐานที่ใช้ในการทดลอง
ของ Thanos และคณะ (40)

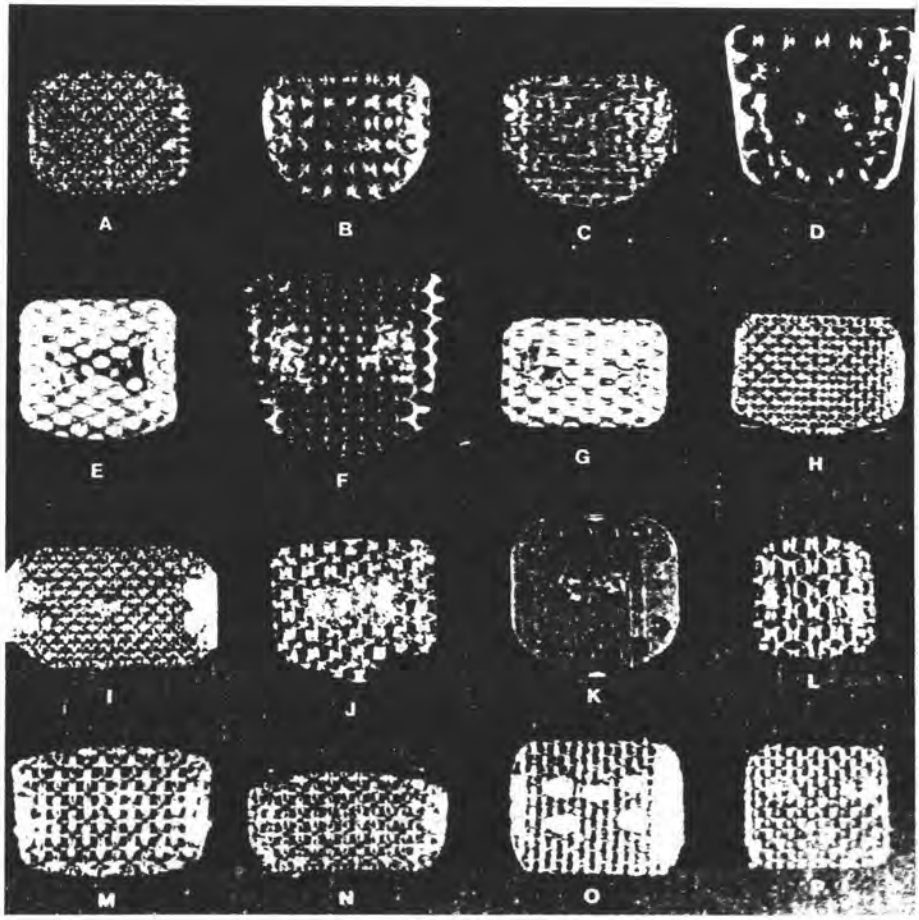


รูปที่ 12 เปรียบเทียบตะแกรงโลหะขนาด 60 (ซ้าย)
และขนาด 50 (ขวา)ที่กำลังขยาย 60 เท่า

Lopez (8) รายงานผลการทดลองเปรียบเทียบความแข็งแรงเฉือนของแบรกเก็ตโลหะที่มีฐานต่างกัน 16 ชนิด (รูปที่ 13 และตารางที่ 3) โดยทำการยึดแบรกเก็ตลงบนฟันวัวด้วยวัสดุยึดชนิดเดียวกัน การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ 24 ชั่วโมง และ 30 วัน ภายหลังจากการติดแบรกเก็ตลงบนตัวฟัน ในแต่ละกลุ่มจะมีฟันที่ติดแบรกเก็ตกลุ่มละ 10 ซี่ และฟันที่ติดแบรกเก็ตแล้วจะถูกเก็บไว้ในน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในความแข็งแรงเฉือนของฟันที่ติดแบรกเก็ตทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ 30 วัน ในแบรกเก็ตทุกชนิดที่ทำการทดลอง และแบรกเก็ตชนิด H ซึ่งมีลักษณะของฐานเป็นแบบตะแกรงโลหะซึ่งตะแกรงโลหะดังกล่าวยึดติดกับแผ่นโลหะบริเวณฐานของแบรกเก็ตด้วยวิธีบัดกรี (brazing) สามารถทนต่อแรงเฉือนได้มากกว่าแบรกเก็ตชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในกลุ่มที่ติดแบรกเก็ตทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในกลุ่มที่ติดแบรกเก็ตทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วัน พบว่าแบรกเก็ต H และ O สามารถทนต่อแรงเฉือนได้ไม่แตกต่างกัน แต่สูงกว่าแบรกเก็ตชนิดอื่น และเมื่อคิดเป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่ (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ก็ยังคงพบว่าในกลุ่มซึ่งติดแบรกเก็ตทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แบรกเก็ต H สามารถทนต่อแรงเฉือนได้มากกว่าแบรกเก็ตชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนในกลุ่มที่ติดแบรกเก็ตทิ้งไว้ 30 วันนั้นแบรกเก็ตชนิด H, B, C และ G สามารถทนต่อแรงเฉือนได้ไม่แตกต่างกันแต่สูงกว่าแบรกเก็ตชนิดอื่น แบรกเก็ตที่สามารถทนต่อแรงเฉือนได้ต่ำที่สุดได้แก่กลุ่มของแบรกเก็ตที่มีลักษณะของฐานเป็นรูพรุน แบรกเก็ตที่มีฐานแบบ Micro Lok ซึ่งเกิดจากการกัดกร่อนด้วยสารเคมีที่ไวต่อแสง (Photo etching) มีลักษณะเป็นหลุมเล็กๆจำนวนมากอันได้แก่แบรกเก็ต B,E และ G อยู่ในกลุ่มที่สามารถทนต่อแรงเฉือนได้สูงซึ่งอาจจะเนื่องมาจากหลุมเล็กๆเหล่านั้น สำหรับแบรกเก็ตที่ฐานมีลักษณะเป็นตะแกรงโลหะเป็นกลุ่มที่มีความแปรปรวนมากที่สุดคือมีทั้งที่อยู่ในกลุ่มที่สามารถทนต่อแรงเฉือนได้ต่ำที่สุดและสูงที่สุด ความแตกต่างที่มากมายนี้อาจจะเนื่องมาจากชนิดและขนาดของตะแกรง รวมถึงวิธีในการยึดตัวแบรกเก็ตเข้ากับส่วนที่เป็นฐาน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกาะเกี่ยวของฐานแบรกเก็ตประเภทนี้ ทำให้ความแตกต่างของขนาดของฐานแบรกเก็ตไม่มีผลต่อความทนทานต่อแรงเฉือนที่ได้จากแบรกเก็ตชนิดต่างๆในการทดลองนี้

Dickinson และ Power (9) ศึกษาเปรียบเทียบแบรกเก็ตที่มีลักษณะของฐานต่างๆกัน14ชนิด โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับ ขนาดของตะแกรง (Mesh size)



รูปที่ 13 แสดงลักษณะของฐานแบรกเก็ตชนิดต่างๆในการทดลองของ Lopez

i17845765

Identification letter	*Manufacturer*	*Manufacturer's identification No. and description of base*
A	Rocky Mountain	Bracket #A216 Base #D2205 (medium Lok-Mesh base)
B	TP Laboratories	209-807 (laminated perforated base)
C	TP Laboratories	209-907 (laminated mesh base)
D	GAC	232CN18-10PT (Series 1 perforated base)
E	GAC	K232CN18-10PT (Series 4 Micro Lok base)
F	GAC	MP232CN18-10PT (Series 2 multiperforated base)
G	GAC	(S)K232CN22 (Series 4 Micro Lok base)
H	Ormco	342-0401 (braised bracket to base)
I	Ormco	300-0180 (Ormesh Slimline II base)
J	Unitek	019-312 (Dyna Bond base)
K	Unitek	019-011 (perforated base)
L	Unitek	019-415 (Mini-Dyna Bond base)
M	American	665-010 (Trim Line base)
N	American	663-010 (Ultra-Trim Line base)
O	A-Company	022 FM UIR 120 (foil mesh base)
P	A-Company	022 MM UIR (Micro Mesh base)

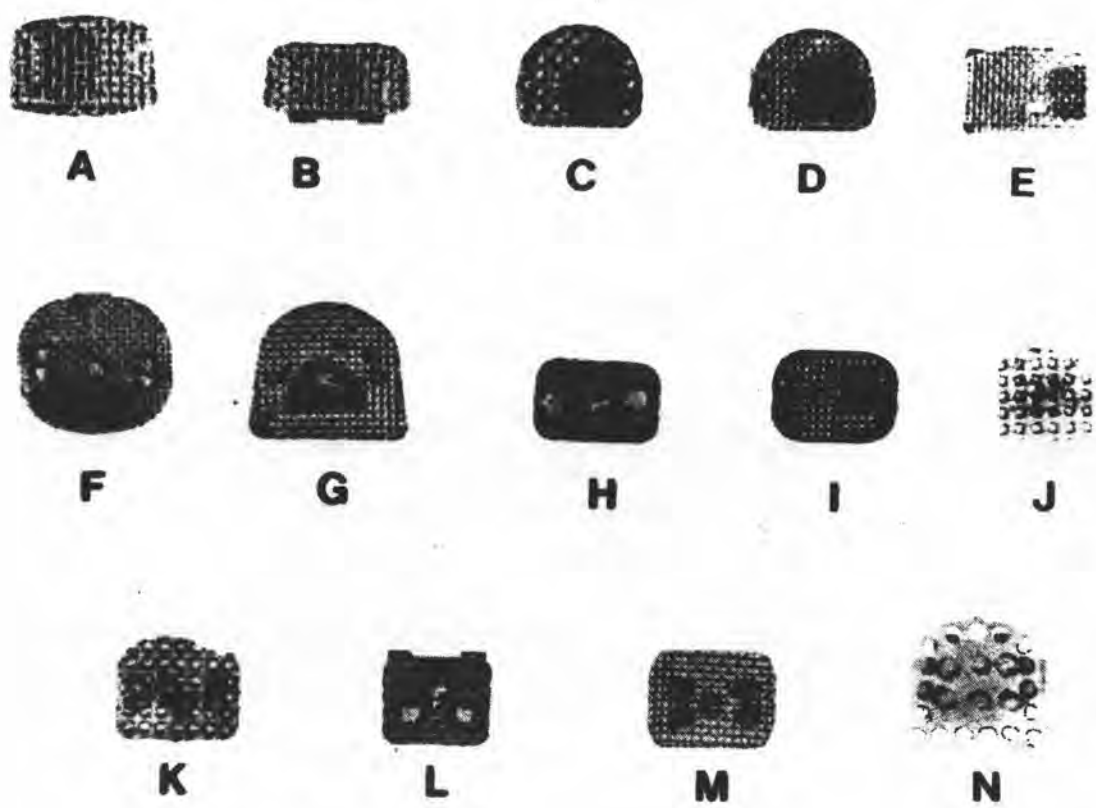
ตารางที่ 3 แสดงชนิดของฐานแบรกเก็ตในการทดลองของ Lopez (8) และบริษัทผู้ผลิต

	24 hours		*30 days*	
Sample	*Mean*	*Standard deviation*	*Mean*	*Standard deviation*
A	1,280.0	275.47	1,326.6	189.02
B	2,221.0	659.36	2,415.7	679.22
C	1,573.6	379.88	2,281.5	520.37
D	834.12	258.99	866.54	267.06
E	1,413.3	335.39	1,660.0	537.60
F	1,226.8	329.25	1,046.3	379.08
G	1,924.7	428.94	1,912.0	730.55
H	3,111.1	505.66	2,440.6	373.54
I	831.67	172.56	831.67	197.44
J	1,706.9	406.33	1,662.0	405.03
K	1,083.8	192.88	907.31	202.49
L	1,684.2	396.31	1,747.3	475.91
M	1,368.1	377.16	1,271.2	247.52
N	2,005.8	402.93	1,823.0	516.02
O	1,437.5	325.36	1,725.0	584.81
P	1,211.5	307.81	1,020.5	381.49

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยของแรงเฉือน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ที่ใช้ในการทำให้แบรกเก็ตหลุดออกจากตัวฟันในการทดลองของ Lopez (42)

พื้นที่ในการยึดติด (Area of bonding) และชนิด ที่มีผลต่อแรงดึงซึ่งได้จากวัสดุยึดสองชนิด กับแท่งพลาสติกและฟันธรรมชาติ (ตารางที่ 5 และรูปที่ 14)

จากผลการทดสอบแบรกเก็ตทั้ง 14 ชนิดนี้ พบว่าแบรกเก็ตต่างๆมีความต้านทานต่อแรงดึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยฐานของแบรกเก็ตชนิด E และ B มีความต้านทานต่อแรงดึงมากที่สุด ในขณะที่แบรกเก็ต N และ D มีความต้านทานต่อแรงดึงต่ำที่สุด และความต้านทานต่อแรงดึงนี้ไม่มีความสัมพันธ์กับพื้นที่และขนาดของตะแกรงของฐานแบรกเก็ตที่ใช้ในการทดสอบ บริเวณที่เกิดความล้มเหลวของการยึดเกิดขึ้นบริเวณระหว่าง ฐานแบรกเก็ตกับวัสดุยึดร้อยละ 91.4 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองส่วนใหญ่ที่ผ่านมา (8,25,51) แบรกเก็ต E และ B ที่มีความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุดในการทดลองนี้ต่างก็มีลักษณะของฐานเป็นแบบตะแกรงโลหะที่ปราศจากจุดเชื่อมเนื่องจากทำการยึดติดกับตัวแบรกเก็ตด้วยวิธีบัดกรี



รูปที่ 14 แสดงฐานของแบรกเก็ตที่ใช้ในการทดลองของ Dickinson และ Power ซึ่งใช้รหัสตามตารางที่ 5

Code	*Product*	*Catalog No.*	*Manufacturer*
A	Trim Line base	665-Base 002-008-Bracket	American Orthodontics 1714 Cambridge Ave. Sheboygan, Wis. 53081
B	Ultra-Trim Line base	663-Base 002-008-Bracket	American Orthodontics
C	Laminated perforated base	208-176-Base 280-104-Bracket	T.P. Laboratories, Inc. P.O. Box 73 La Porte, Ind. 46350
D	Laminated mesh base	210-357-Base 280-104-Bracket	T.P. Laboratories, Inc.
E	Mini-mesh base	300-0059-Base 100-3022-Bracket	Ormoco Corporation 1332 S. Lone Hill Ave. Glendora, Calif. 91740
F	Ormesh wide central	300-0031-Base 100-3022-Bracket	Ormco Corporation
G	Foil-mesh base	BB-320-Base EDG-6 0.022 × 0.028-Bracket	Masel Orthodontics Div. 3021 Darnell Rd. Philadelphia, Pa. 19154
H	Micro-Lok base	K232-CN-22-Base and bracket	GAC International, Inc. P.O. Box 374 Commack, N.Y. 11725
I	Lok-Mesh base	D-2205-Base A-0216-Bracket	Rocky Mountain Orthodontics P.O. Box 17085 Denver, Colo. 80217
J	Mini-Dyna Bond base	019-411-Base 001-377-Bracket	Unitek Corporation 2724 South Peck Rd. Monrovia, Calif. 91016
K	Dyna Bond base	019-311-Base 001-377-Bracket	Unitek Corporation
L	Micro-mesh base	Micro-mesh U-1-Base U1R-022/S-Bracket	"A"-Company, Inc. 11436 Sorrento Valley Rd. San Diego, Calif. 92121
M	Foil-mesh base	Foil-mesh U-1-Base U1R-022/S-Bracket	"A"-Company, Inc.
N	Peripheral perforated base	Perp.-perf. U-1-Base U1R-022/S-Bracket	"A"-Company, Inc.

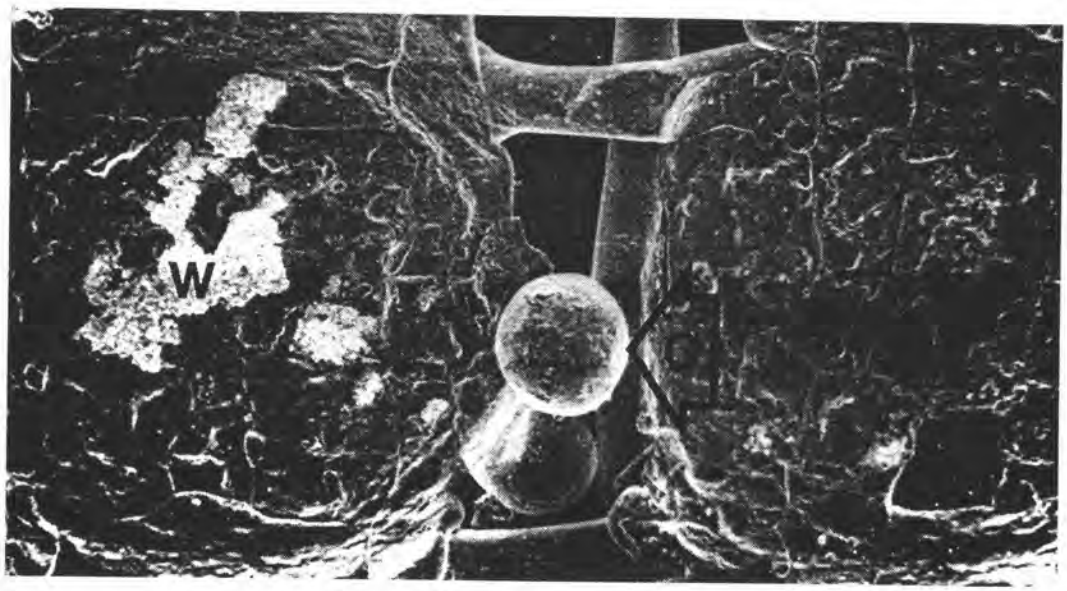
ตารางที่ 5 แสดง รหัส (Code) ผลิตภัณฑ์ (Product) และบริษัทผู้ผลิต แบรกเก็ตที่ใช้ในการทดลองของ Dickinson และ Power (43)

Dickinson และ Power (9) Maijer และ Smith (58) มีความเห็นตรงกันจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการว่า จุดเชื่อม ซึ่งพบได้ในฐานของแบรกเก็ตบางชนิดที่ทำการยึดส่วนของฐานเข้ากับตัวแบรกเก็ตด้วยวิธีเชื่อมเฉพาะจุด (Spot welding) จะทำให้พื้นที่ในการยึดกับเรซินของบริเวณเกาะเกี่ยวของฐานแบรกเก็ตลดลง และจากภาพถ่ายซึ่งได้จากกล้องจุลทรรศอิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าบริเวณที่เป็นจุดเชื่อมนี้มีการทำลายส่วนของตะแกรงโลหะเกิดเป็นบริเวณที่มีลักษณะแหลมคมขึ้น ทำให้ความแข็งแรงในการยึดของฐานแบรกเก็ตลดลงเนื่องจากเมื่อมีแรงมากระทำกับแบรกเก็ตวัสดุยึดในบริเวณนั้นจะมีความเค้นเกิดขึ้น(Stress cocentration)

Maijer และ Smith(58) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงในการยึดของแบรกเก็ตโลหะชนิดต่างๆ 7 ชนิด(ตารางที่ 6) พบว่าแบรกเก็ตในกลุ่ม A (รูปที่ 15) ซึ่งมีฐานชนิดตะแกรงโลหะเชื่อมติดกับแบรกเก็ตโดยการเชื่อมด้วยไฟฟ้าทำให้เกิดปุ่มโลหะจากการเชื่อมนั้น (Weld globbet) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้ฐานของแบรกเก็ตอยู่ห่างจากผิวเคลือบฟันมากขึ้นความหนาของวัสดุยึดที่ใช้จึงต้องเพิ่มขึ้นเมื่อวัสดุยึดมีการบ่มตัวจะทำให้มีความเค้นหลงเหลืออยู่เพิ่มขึ้นนอกจากนี้ปุ่มโลหะยังเป็นสิ่งที่ก่อให้เกิดความเค้นเพิ่มขึ้นในวัสดุยึดอีกด้วย

Manufacturer	*Code*	*Mesh size*
A Company 11436 Sorrento Valley Rd. San Diego, Calif. 92121	A	80
American Orthodontics 1714 Cambridge Ave. Sheboygan, Wis. 53081	B	50
Unitek 1744 Midland Ave. Scarborough, Ontario M1P 3C2	C	40
G.A.C. 495 Smith St. Farmingdale, N. Y. 11735	D	—
American Ormco 1332 South Lone Hill Ave. Glendora, Calif. 91740	E	100
Rocky Mountain 5-11 Progress Ave. Scarborough, Ontario M1P 4S7	F	80
Strite Industries 298 Shepherd Ave.	G	80

ตารางที่ 6 แบรกเก็ตโลหะชนิดต่างๆจากการทดลองของ Maijer และ Smith (58)

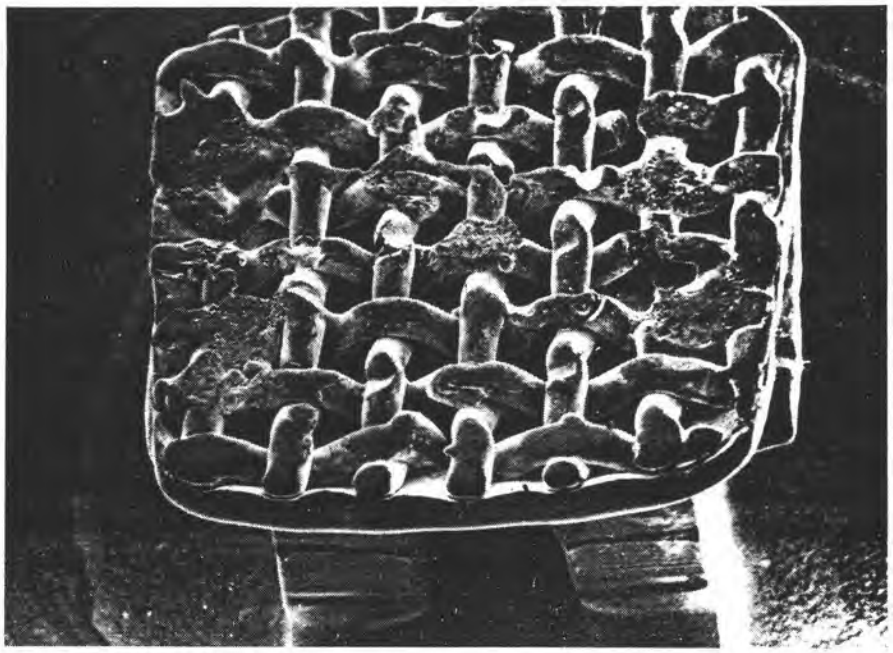


รูปที่ 15 แสดงรูปถ่ายซึ่งได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด บริเวณจุดเชื่อม(W)ของฐานแบรกเก็ตชนิดตะแกรงโลหะ และปุ่มโลหะที่เกิดขึ้น (G)

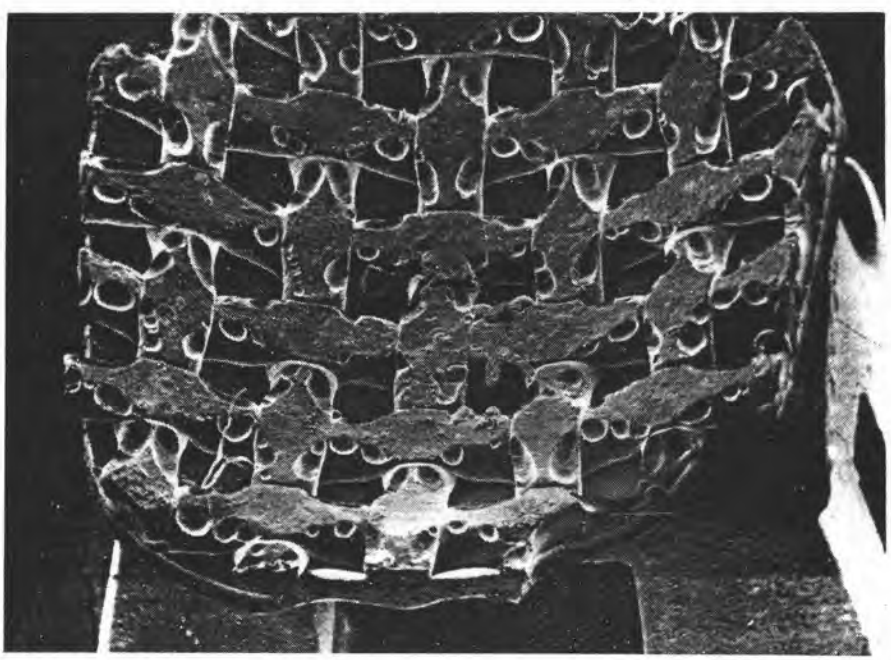
ในกลุ่ม B (รูปที่ 16) ถึงแม้ว่าบริเวณฐานของแบรกเก็ตในกลุ่มนี้จะไม่มีปุ่มโลหะเกิดขึ้นจากการเชื่อมด้วยไฟฟ้า แต่ก็ยังคงมีจุดเชื่อมอยู่ชิดกับขอบของฐานแบรกเก็ตมาก และจุดเชื่อมเหล่านี้ไม่สามารถที่จะเกาะเกี่ยวกับวัสดุยึดได้ ทำให้เกิดการรั่วซึมตามขอบของแบรกเก็ต

ในแบรกเก็ตกลุ่ม C (รูปที่ 17) มีฐานชนิดตะแกรงโลหะแต่เส้นลวดที่สานกันเป็นตะแกรงโลหะเหล่านั้นมีลักษณะแบน และขอบของลวดที่มีลักษณะแบนนี้เองที่เป็นปัจจัยในการเพิ่มความเค้นระหว่างวัสดุยึดกับแผ่นตะแกรงเมื่อมีแรงมากระทำ เนื่องจากมีความคมมากกว่าลวดที่มีลักษณะกลม ทำให้ความแข็งแรงในการยึดของฐานแบรกเก็ตชนิดนี้ลดลง

ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่มีความสำคัญในการลดความแข็งแรงในการยึดของแบรกเก็ตและวัสดุยึดลงก็คือ ฟองอากาศ ที่หลงเหลืออยู่ระหว่างด้านล่างของฐานแบรกเก็ตกับวัสดุยึด ซึ่งฐานแบรกเก็ตชนิดที่เป็นตะแกรงโลหะมักจะไม่พบปัญหานี้ยกเว้นในบริเวณที่เป็น

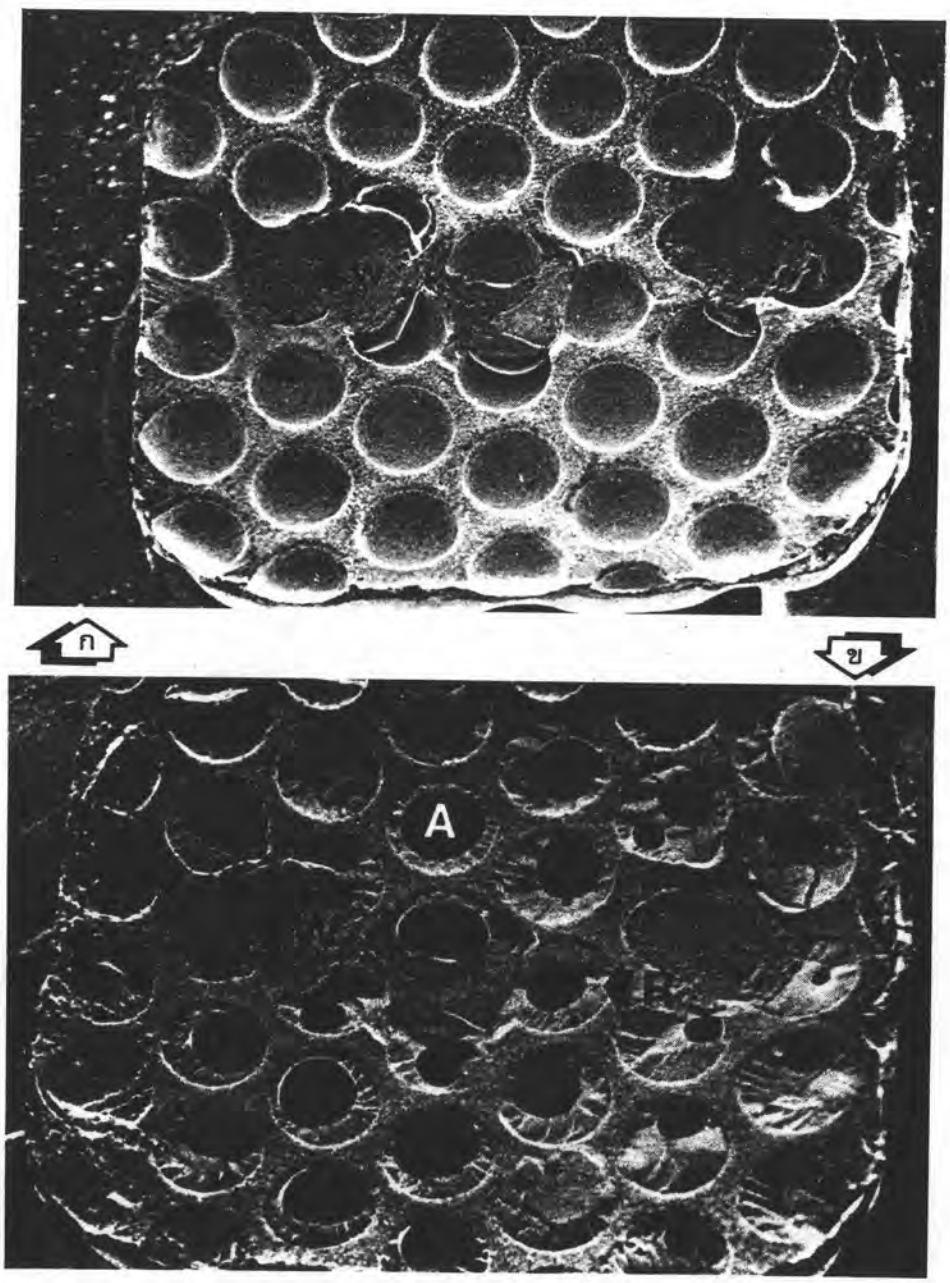


รูปที่ 16 ฐานแบรกเก็ตในกลุ่ม B ซึ่งมีจุดเชื่อมขนาดใหญ่
บริเวณขอบแบรกเก็ตทั้งด้านซ้ายและขวา



รูปที่ 17 แสดงฐานแบรกเก็ตในกลุ่ม C ซึ่งลวดที่ใช้สาน
เป็นตะแกรงโลหะมีลักษณะแบน

จุดเชื่อม ส่วนในแบรกเก็ตที่ส่วนเกาะเกี่ยวบริเวณฐานของแบรกเก็ตเกิดจากการกัดกร่อนด้วยสารเคมีไวแสง (Photoetched base) คือแบรกเก็ตในกลุ่ม D (รูปที่ 18) พบว่าอากาศไม่สามารถหลุดออกมาจากผิวที่มีลักษณะเป็นหลุมเล็กๆจำนวนมากของฐานแบรกเก็ตได้

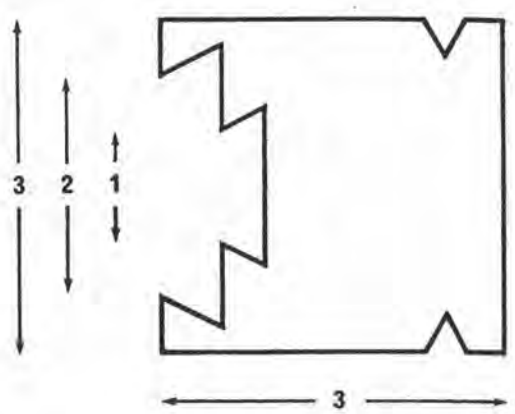


รูปที่ 18 ก. แสดงฐานแบรกเก็ตในกลุ่ม D ที่ส่วนเกาะเกี่ยวที่มีลักษณะเป็นหลุมเกิดจากการกัดกร่อนด้วยสารเคมีไวแสง

ข. แสดงฐานของแบรกเก็ตในกลุ่ม D ภายหลังจากการ Debond W=จุดเชื่อม, A=ฟองอากาศ, R=วัสดุอุดที่ค้างอยู่

นอกจากปัจจัยต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว Maijer และ Smith ยังได้พบว่าแบรกเก็ตในกลุ่มที่ฐานมีลักษณะเป็นตะแกรงโลหะชนิดที่มีความถี่มาก (E,F,G) จะมีความแข็งแรงในการยึดสูงกว่าแบรกเก็ตในกลุ่มที่ฐานมีลักษณะเป็นตะแกรงโลหะชนิดที่มีความถี่น้อย (A,B,C) อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.01$) เมื่อใช้วัสดุยึดชนิด BIS-GMA ที่มีวัสดุอัดแทรกต่ำ (Dynabond; Unitek Corp.)

Roger และ Griffith (59) ได้เสนอรูปแบบของแบรกเก็ตชนิดใหม่ที่บริเวณฐานของแบรกเก็ตได้รับการออกแบบพิเศษให้มีลักษณะเป็น Double undercut เพื่อให้มีความต้านทานต่อแรงได้สูงขึ้น(รูปที่ 19) อย่างไรก็ตามแบรกเก็ตในลักษณะนี้มีความยากลำบากในการผลิตออกมาเป็นจำนวนมากๆ (60)

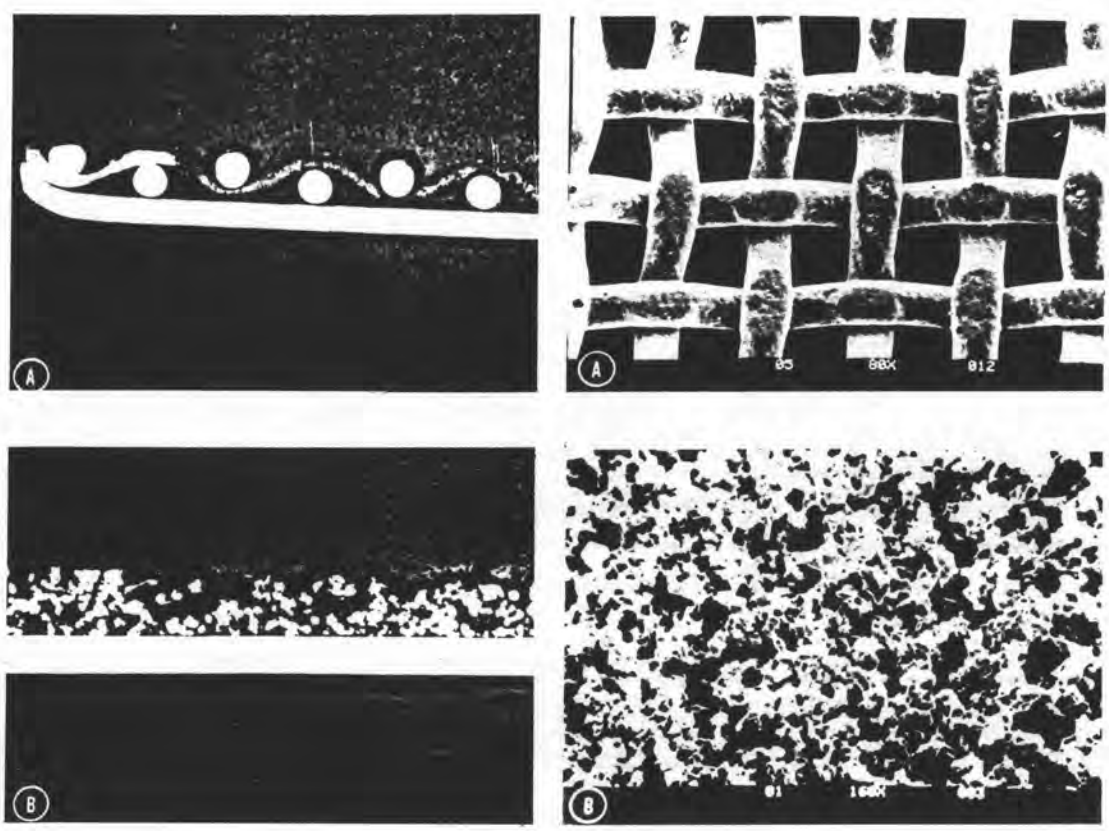


รูปที่ 19 ลักษณะของแบรกเก็ตที่ออกแบบโดย Roger และ Griffith (59)

Hanson, Gibbon และ Shimizu (61) ได้เสนอความคิดเห็นว่าเมื่อความแข็งแรงในการยึดระหว่างผิวเคลือบฟันและวัสดุยึดมีค่ามากกว่าระหว่างฐานแบรกเก็ตกับวัสดุยึด หากสามารถผลิตฐานของแบรกเก็ตให้มีลักษณะคล้ายคลึงกับผิวเคลือบฟันที่ถูกกัดด้วยกรดได้ย่อมสามารถปรับปรุงความแข็งแรงในการยึดให้ดีขึ้นเทียบเท่ากับผิวเคลือบฟันได้เช่นกัน ดังนั้นพวกเขาจึงได้ออกแบบฐานแบรกเก็ตชนิดใหม่ขึ้นมาโดยการเคลือบฐานของแบรกเก็ตโลหะด้วยผงโลหะซึ่งมีขนาดไม่เกิน 44 ไมโครเมตร แล้วนำไปเผาด้วยวิธีพิเศษทำให้มีชั้นของผง

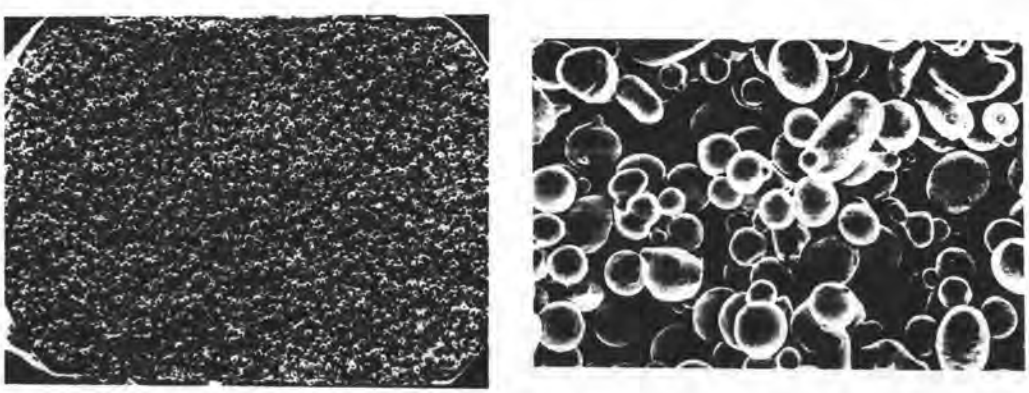
โลหะหนาประมาณ0.005 นิ้ว ติดอยู่กับฐานแบรกเก็ตและผงโลหะนี้จะหลอมตัวรวมกันมีรูปร่างไม่แน่นอนมีขนาดต่างๆกันไปตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของส่วนที่กว้างที่สุดประมาณ 100 ไมโครเมตร (รูปที่ 20)

จากผลการทดลองเปรียบเทียบกับแบรกเก็ตที่มีฐานชนิดตะแกรงที่ทำด้วยโลหะชนิด 316L ขนาด 80 พบว่าแบรกเก็ตที่ฐานมีลักษณะเป็นตะแกรงโลหะมีความแข็งแรงในการยึดน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ บริเวณที่เกิดความล้มเหลวของการยึดอยู่พบว่าอยู่ระหว่างแบรกเก็ตกับวัสดุยึดหรือภายในวัสดุยึดเองเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในแบรกเก็ตที่มีฐานชนิดตะแกรงโลหะ



รูปที่ 20 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเปรียบเทียบฐานแบรกเก็ตชนิดตะแกรงโลหะ(A)และชนิดที่เคลือบด้วยผงโลหะ(B)

Smith และ Maijer (60) ได้ทดลองเคลือบฐานของลิงกวลบัตตอน (Lingual button) ด้วยเม็ดโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม หรือเม็ดโลหะ โคบอลต์-โครเมี่ยม ขนาดต่างๆกัน (รูปที่ 21) โดยการเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในอากาศเฉื่อย นอกจากนี้ยังทำการเคลือบฐานแบรกเก็ตด้วยผงเซรามิกโดยการเผาด้วยวิธีเดียวกับผงโลหะ หรือด้วยสารเคมีที่สามารถยึดเซรามิกกับเหล็กไร้สนิมได้ พบว่าความแข็งแรงในการยึดของแบรกเก็ตที่เคลือบฐานด้วยผงโลหะมีมากกว่าแบรกเก็ตที่ฐานมีลักษณะเป็นตะแกรงโลหะอย่างมีนัยสำคัญและร้อยละ 30 ถึงร้อยละ 100 ของความล้มเหลวในการยึดเกิดขึ้นในชั้นของวัสดุยึด ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุยึดสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างผงโลหะที่เคลือบอยู่ได้ดี ด้วยแรงแบบ แคปิลารี (Capillary action) เป็นผลให้เกิดการเกาะเกี่ยวที่แข็งแรงกว่า ส่วนในแบรกเก็ตที่เคลือบด้วยผงเซรามิกนั้นให้ความแข็งแรงยึดที่น้อยกว่า ซึ่งยังต้องได้รับการปรับปรุงอีก แต่ก็ยังมีข้อดีคือผงเซรามิกสามารถลดอัตราการผุกร่อนของฐานแบรกเก็ต และสามารถผสมกับฟลูออไรด์เพื่อผลในการป้องกันฟันผุได้



รูปที่ 21 แสดงลักษณะของฐาน ลิงกวลบัตตอน ที่เคลือบด้วยผงโลหะ
โดย Smith และ Maijer (60)

อย่างไรก็ตามแบรกเก็ตที่มีฐานเคลือบด้วยผงโลหะ หรือ เซรามิกก็ยังไม่มี ไม่มีบริษัทใดผลิตออกจำหน่าย ในปี ค.ศ. 1983 บริษัท ยูนิเท็ก (Unitek Corporation) ได้ผลิตแบรกเก็ตชนิดใหม่ออกจำหน่ายโดยใช้ชื่อทางการค้าว่า Dyna-lock แบรกเก็ตชนิดนี้มีลักษณะพิเศษคือส่วนของฐานและตัวแบรกเก็ตเป็นโลหะชิ้นเดียวกัน ทำให้ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับ

จุดเชื่อม ส่วนเกาะเกี่ยวบริเวณฐานของแบรกเก็ตมีลักษณะเป็นร่องตามขวางและร่องเล็กๆ ตามแนวตั้งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการยึด

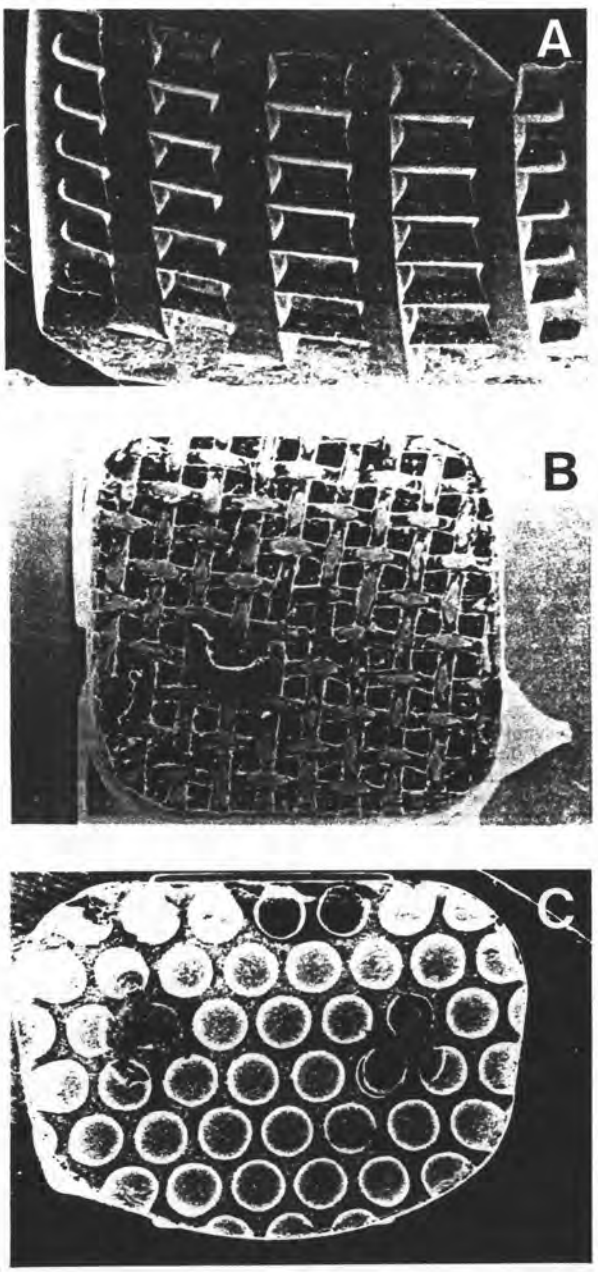
Ferguson, Read และ Watts (10) พบว่าแบรกเก็ต Dyna-lock ให้ความแข็งแรงในการยึดน้อยกว่าแบรกเก็ตที่ฐานเป็นตะแกรงโลหะ และ ชนิดที่มีฐานชนิดที่เกิดจากการกัดกร่อนด้วยสารเคมีไวแสง(รูปที่ 22) เมื่อใช้วัสดุยึดชนิดไม่ต้องผสม (No-mix adhesive:TP Right-on) อย่างไรก็ตามเมื่อใช้วัสดุยึดชนิดเพสต์สองส่วนที่มีวัสดุอัดแทรกมาก (Two paste system adhesive : Concise) ความแข็งแรงในการยึดของแบรกเก็ตนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้น และเท่ากับแบรกเก็ตที่มีฐานชนิดที่ผ่านการกัดกร่อนด้วยน้ำยาไวแสง แต่มากกว่าแบรกเก็ตที่มีฐานเป็นแผ่นตะแกรงโลหะ โดยลักษณะของฐานแบรกเก็ตที่มีลักษณะเป็นร่องเช่นในกรณีของแบรกเก็ต Dyna-lock นี้ สามารถที่จะลดการเกิดฟองอากาศที่จะเกิดขึ้นในวัสดุยึดภายใต้ฐานแบรกเก็ตซึ่งมักจะพบในแบรกเก็ตที่มีลักษณะของบริเวณเกาะเกี่ยวใต้ฐานเป็นหลุมเล็กๆ ที่ได้รับการกัดกร่อนด้วยสารเคมีไวแสง (58) และอาจจะมีผลให้เกิดความแข็งแรงในการยึดมากขึ้น แต่ผลจากการทดลองที่ได้กลับไม่เป็นไปตามสมมติฐานดังกล่าว เมื่อวิเคราะห์บริเวณฐานของแบรกเก็ต Dyna-lock พบว่าบริเวณขอบของโลหะด้านข้างของบริเวณที่เป็นร่องและส่วนของโลหะที่อยู่ชิดกับผิวฟันมีลักษณะเป็นมุมแหลม ซึ่งทำให้เกิดความเค้นวัสดุยึดบริเวณนั้นอาจจะทำให้เป็นปัจจัยในการล้มเหลวของการยึดอยู่บริเวณนั้น ซึ่งจากการทดลองพบว่าความล้มเหลวที่เกิดขึ้นเป็นไปตามสมมติฐานคือเกิดขึ้นระหว่างฐานแบรกเก็ตและวัสดุยึดร่วมกับมีวัสดุยึดบางส่วนติดอยู่ในร่องบริเวณฐานแบรกเก็ต

Siomca และ Power (11) ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ของความแข็งแรงในการยึดกับกรรมวิธีต่างๆซึ่งอาจจะทำให้ความแข็งแรงในการยึดที่ได้จากฐานแบรกเก็ตที่ผ่านกรรมวิธีดังกล่าวมีมากขึ้น กรรมวิธีเหล่านั้นได้แก่

1. Silanation คือการใช้สาร Silane ช่วยเพิ่มความสามารถในการทำให้เปียกของวัสดุยึดบริเวณฐานแบรกเก็ต (S)

2. การกัดกร่อนด้วยกรด ทำโดยการใช้สารละลายกรดกัดผิวของฐานแบรกเก็ตให้หยาบเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกาะเกี่ยวเชิงกล (E)

3. Activation โดยการใช้ขบวนการทางไฟฟ้า-เคมีเพื่อขจัดคราบน้ำมันฝุ่น และแผ่นฟิล์มซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันบนผิวโลหะเจือ ซึ่งเป็นสิ่งขัดขวางการยึด (A)



รูปที่ 22 ฐานของแบรกเก็ตลักษณะต่างๆในการทดลองของ Ferguson และคณะ A. Dyna-lock:Unitek, B. Mini-Mono foil-mesh : Forestadent, C.Micro-Loc photo-etched : GAC (54)

4. การกัดกร่อนร่วมกับ Silanation (SE)

5. การกัดกร่อนร่วมกับ Activation (AE)

6. การควบคุมผิวของฐานแบรกเก็ตโดยไม่ทำขบวนการใดๆบนผิวเลย

โดยทำการทดลองกับแบรกเก็ตที่ฐานมีลักษณะต่างกัน 3 ชนิด คือ

1. ชนิดตะแกรง (Minimesh : Ormco Corporation) (MM)

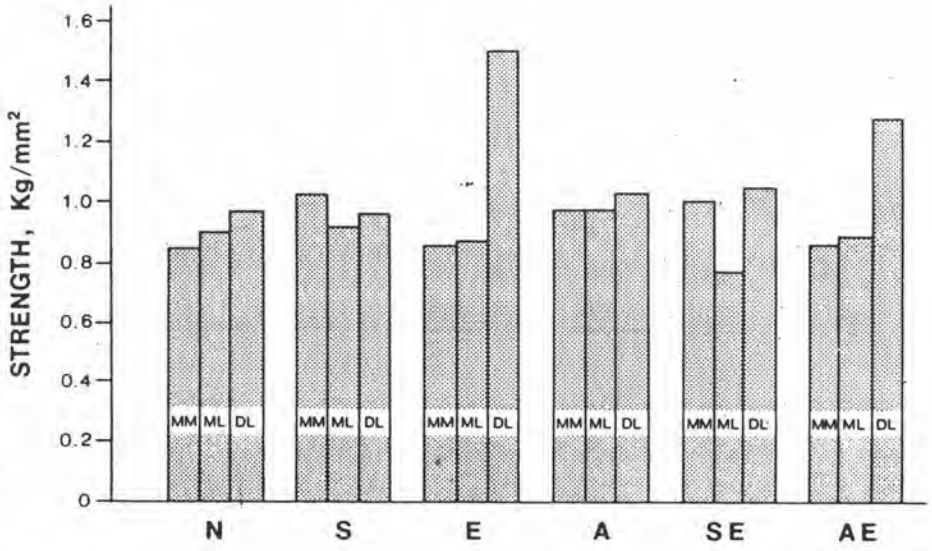
2. ชนิดกัดกร่อนด้วยสารเคมีไวแสง (Micro-Loc : GAC.) (ML)

3. ชนิดที่เป็นร่อง (Dyna-Lock : Unitek Corporation)(DL)

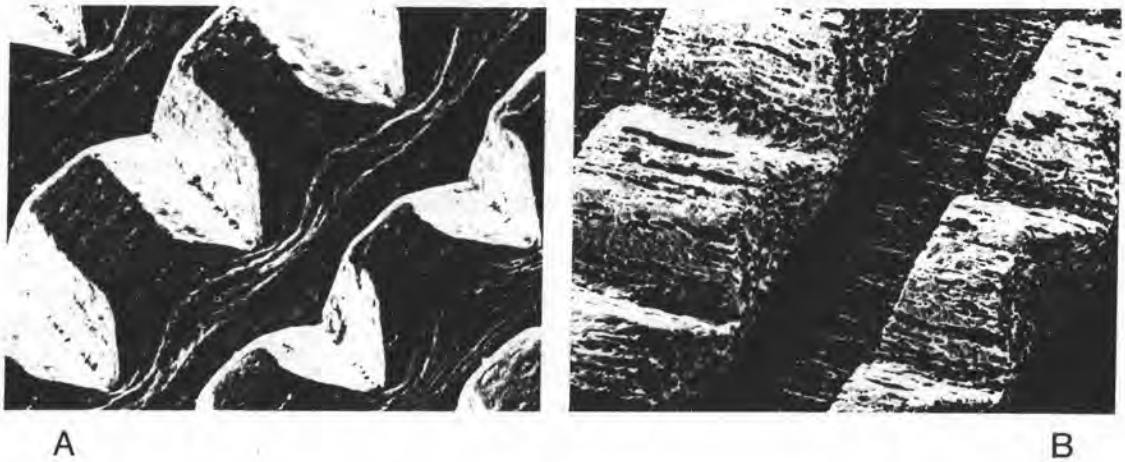
วัสดุยึดที่ใช้ในการทดลองเป็นวัสดุยึดไดอะคริเลตชนิดไม่ต้องผสม และทำการยึดแบรกเก็ตเข้ากับแท่งพลาสติก

ผลการทดลอง (รูปที่ 23) พบว่าในสภาวะปกติ (N) ฐานแบรกเก็ตชนิดเป็นร่อง (DL) จะมีความแข็งแรงในการยึดสูงสุด และเมื่อผ่านการกัดกร่อนด้วยกรด (E) (รูปที่ 24) ความแข็งแรงในการยึดของฐานแบรกเก็ตชนิดเป็นร่องจะเพิ่มขึ้นจากสภาวะปกติอีกร้อยละ 56 เมื่อผ่านการ Silanation ความแข็งแรงในการยึดของแบรกเก็ตที่ฐานมีลักษณะเป็นตะแกรงโลหะ (MM) จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 28 อาจจะเนื่องมาจาก Silanation ไปเพิ่มความสามารถในการไหลแผ่ของวัสดุยึดซึ่งมีผลในการเพิ่มความแข็งแรงในการยึดของฐานแบรกเก็ตที่มีลักษณะเป็นตะแกรงโลหะ การทำ Activation ให้กับผิวของฐานแบรกเก็ตไม่มีผลเพิ่มความแข็งแรงในการยึดของแบรกเก็ตอย่างมีนัยสำคัญ การทำ Silanation หรือการทำ Activation ร่วมกับการกัดกร่อนด้วยกรด (SE, AE) จะเพิ่มประสิทธิภาพของการยึดอยู่ได้น้อยกว่า การกัดกร่อนด้วยกรด หรือ Silanation เพียงอย่างเดียว และไม่มีกรรมวิธีใดๆที่มีผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงในการยึดของฐานแบรกเก็ตชนิด ML

Reagan และ Noort (12) ทำการศึกษาอิทธิพลของลักษณะฐานแบรกเก็ตที่มีต่อความต้านทานแรงดึงและความต้านทานแรงเฉือน โดยทำการศึกษาในแบรกเก็ตที่มีฐานเป็นโลหะชิ้นเดียวกับตัวแบรกเก็ต 2 ชนิด คือ Edgeway (Ortho Organizer) ซึ่งส่วนเกาะเกี่ยวบริเวณด้านล่างของฐานมีลักษณะเป็นร่องตามแนวตั้งและแนวนอนและแบรกเก็ต Dyna-Lock(Unitek Corporation) ซึ่งส่วนเกาะเกี่ยวบริเวณด้านล่างของฐาน



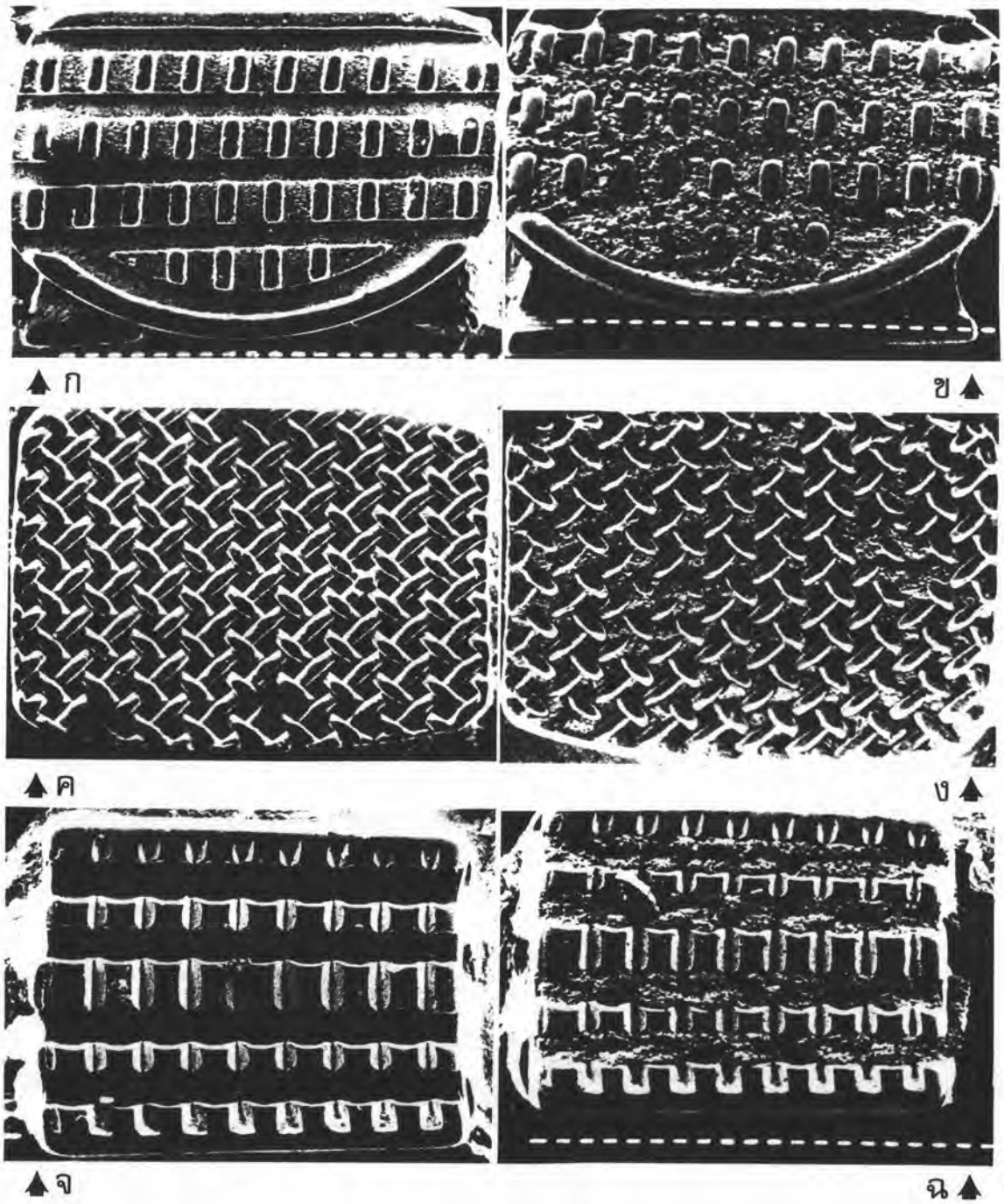
รูปที่ 23 แผนภูมิแสดงผลการทดลองของ Siomca และ Power (55)



รูปที่ 24 รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ
ฐานแบรกเก็ตชนิดเป็นร่อง (DL) A. ไม่ผ่านกรรมวิธีใดๆ (N)
B. ผ่านการกัดกร่อนด้วยกรด(E)

มีลักษณะเป็นร่องตามแนวนอนร่วมกับร่องเล็กๆตามแนวตั้ง เปรียบเทียบกับแบรกเก็ตที่มีฐานแบบตะแกรงโลหะของบริษัท Rocky Mountain (รูปที่ 25) แบรกเก็ตโลหะทั้งหมดยึดกับแท่งพลาสติกด้วยวัสดุยึดชนิดไม่ต้องผสม (Advantage; Ortho Organizer) และวัสดุชนิดเพสต์สองส่วน(Phase II; Reliance Orthodontic)

ผลการทดลองพบว่า แบรกเก็ตที่มีส่วนฐานเป็นโลหะชิ้นเดียวกับตัวแบรกเก็ต Edgeway มีความต้านทานต่อแรงดึง/ปอก และแรงเฉือน/ปอกมากที่สุด ในขณะที่ Dyna-Lock มีความต้านทานต่อแรงทั้งสองน้อยที่สุด แบรกเก็ตทั้งหมดมีความต้านทานแรงเฉือน/ปอก (Shear/Peel) มากกว่าความต้านทานต่อแรงดึง/ปอก (Tensile/Peel) และวัสดุยึดชนิดเพสต์สองส่วนจะมีความแข็งแรงในการยึดสูงกว่าวัสดุยึดชนิดที่ไม่ต้องผสม ความแตกต่างของแรงที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากแบบของฐานแบรกเก็ตที่แตกต่างกันมิใช่เป็นผลมาจากขนาดของฐานแบรกเก็ตที่ใหญ่หรือเล็กกว่ากันทั้งนี้เนื่องจากแบรกเก็ต Edgeway ซึ่งมีความต้านทานต่อแรงทั้งสองชนิดมากที่สุดเป็นแบรกเก็ตที่มีขนาดเล็กที่สุดในการทดลองนี้ ผู้ศึกษาได้อธิบายถึงผลที่ได้จากการทดลองว่าเมื่อพิจารณาฐานของแบรกเก็ต Edgeway จากภาพที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่ามีผิวที่หยาบกว่าแบรกเก็ตอีกสองชนิดทำให้มี Micro mechanical retention มากกว่า และลักษณะของบริเวณเกาะเกี่ยวที่บริเวณฐานของแบรกเก็ต Edgeway มีบริเวณที่เป็นส่วนยึดเกาะมากกว่าเมื่อเทียบกับแบรกเก็ต Dynalock ซึ่งมีเพียงร่องตามแนวนอนเท่านั้นส่วนร่องในแนวตั้งของแบรกเก็ต Dynalock นั้นมีผลต่อการยึดของแบรกเก็ตน้อยมาก หรืออาจจะกล่าวได้ว่าไม่มีผลต่อการยึดของแบรกเก็ตเลย อีกทั้งพื้นผิวของโลหะบริเวณฐานของแบรกเก็ต Dynalock มีความเรียบมากเนื่องมาจากขบวนการ Milling บริเวณใต้ฐานเพื่อให้เกิดร่องภายหลังจากการหล่อตัวแบรกเก็ตแล้วต่างกับแบรกเก็ต Edgeway ซึ่งมีพื้นผิวของโลหะหยาบกว่าซึ่งเป็นผลมาจากขบวนการผลิตที่ทำการหล่อส่วนเกาะเกี่ยวบริเวณฐานออกมาพร้อมกับตัวแบรกเก็ต นอกจากนี้แบบของฐานแบรกเก็ต Edgeway มีการเก็บกักฟองอากาศน้อยมากเมื่อเทียบกับฐานแบรกเก็ตชนิดที่เป็นตะแกรงโลหะ



รูปที่ 25 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงส่วนฐานของแบรกเก็ตในการทดลองของ Reagan และ Noort (60)

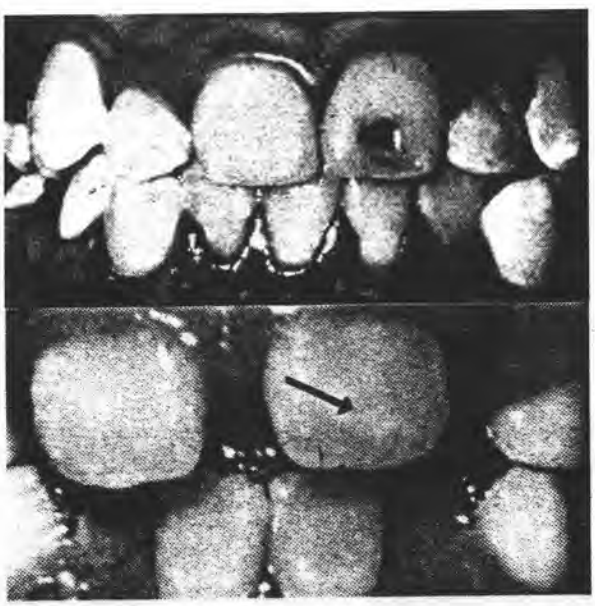
ก., ข. ฐานของแบรกเก็ต Edgeway

ค., ง. ฐานแบรกเก็ต Rocky Mountain

จ., ฉ. ฐานแบรกเก็ต Dyna-Lock

การผุกร่อนของแบรกเก็ตโลหะ

Ceen และ Gwinnett (3) ได้รายงานการติดสีของผิวเคลือบฟัน (Enamel staining)(รูปที่ 26) ภายหลังจากการถอดแบรกเก็ตโลหะให้กับผู้ป่วย จากการวิเคราะห์เรซินซึ่งติดสีบนผิวเคลือบฟันดังกล่าว พบว่าโลหะที่ทำให้เกิดการติดสีคือโครเมียมซึ่งเกลือของโลหะโครเมียมนี้จะมีสีเขียว-ม่วงพบได้บริเวณของฐานแบรกเก็ต โดยมักจะเกิดขึ้นในบริเวณที่มีการเชื่อมซึ่งเกลือของโครเมียมในบริเวณดังกล่าวจะสามารถแพร่กระจายเข้าไปได้ในส่วนโมโนเมอร์ของเรซินที่ใช้เป็นซีลแลนต์ โดยเฉพาะบริเวณของผิวเคลือบฟันที่มีลักษณะเป็นจุดขุ่นขาว (White spot lesion)



รูปที่ 26 ก. แสดงบริเวณที่มีการติดสีบนผิวเคลือบฟันของผู้ป่วย
ข. บริเวณเดียวกับที่มีการติดสีซึ่งถ่ายภาพไว้ก่อนการรักษา(ศรชี้)

แบรกเก็ตโลหะที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบันทำจากโลหะเหล็กไร้สนิม AISI (American Iron and Steel Institute) ชนิด 303 304 304L และ 316L จำนวนตัวเลขที่เพิ่มขึ้นนั้นหมายถึงการที่มีจำนวนคาร์บอนที่ผสมอยู่ลดลง การลดจำนวนคาร์บอนลงเพื่อให้โลหะเหล่านี้ซึ่งเป็นโลหะผสมออสเทนนิติกมีโอกาสที่จะเกิดการผุกร่อนน้อยลง นอกจากนี้โลหะผสมชนิด 316 มีการผสมโมลิบดีนัม (Molybdenum) เพื่อเพิ่มความต้านทานต่อการผุกร่อน (4) (ตารางที่ 7)

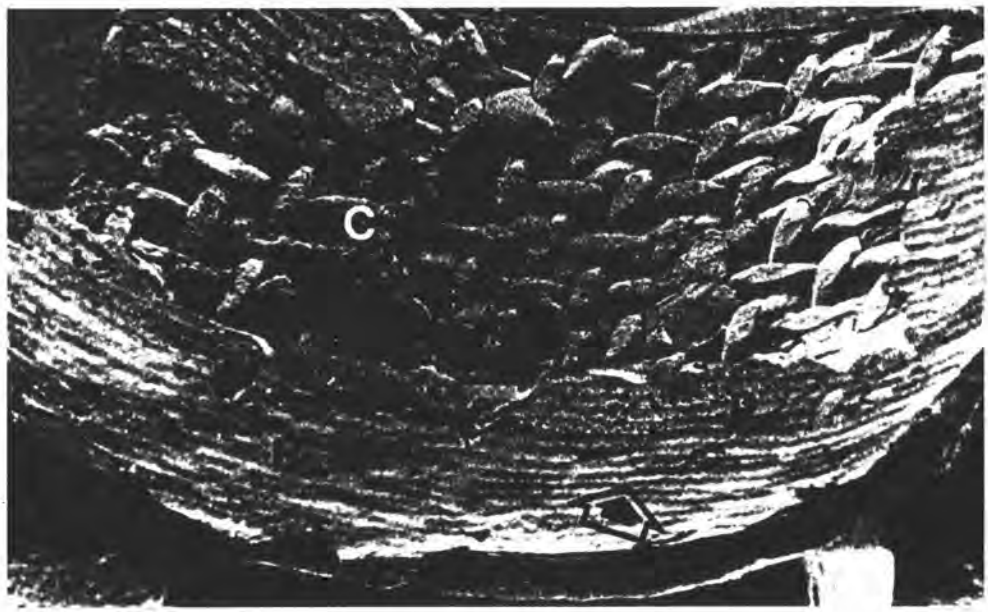
Type	UNS no.	Composition,%(a) C	Mn	Si	Cr	Ni(b)	P	S	Others
303	S30300	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.20	0.15min	0.6Mo(c)
304	S30400	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	
304L	S30403	0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-12.0	0.045	0.03	
316	S31600	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0Mo
316L	S31603	0.03	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0Mo
317	S31700	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	11.0-15.0	0.045	0.03	3.0-4.0Mo
317L	S31703	0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	11.0-15.0	0.045	0.03	3.0-4.0Mo

(a) Single values are maximum values unless otherwise indicated,(b)For some tubemaking processes, the nickel content of certain austenitic types must be slightly higher than shown.(c)Optional.

ตารางที่ 7 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติก(62)

การผุกร่อนของแบรกเก็ตโลหะมักจะเกิดในส่วนของฐานแบรกเก็ตโดยเฉพาะบริเวณขอบของฐานแบรกเก็ต ดังนั้นแบรกเก็ตที่มีจุดเชื่อมอยู่บริเวณขอบของฐานแบรกเก็ตซึ่งเป็นสาเหตุให้มีการรั่วซึมของสารที่อยู่ในช่องปากเข้าไปภายใต้ฐานจึงมีโอกาสที่จะเกิดการผุกร่อนได้มากกว่า (5, 58) จากการตรวจการติดสีเขียวบนแบรกเก็ตชนิดต่างๆจำนวน 9 ตัว แสดงให้เห็นว่าเกิดจากการผุกร่อนของฐานแบรกเก็ตซึ่งส่วนใหญ่เป็นเหล็กไร้สนิมชนิด 303 304 และ 304L ซึ่งเกิดได้ในฐานแบรกเก็ตที่มีลักษณะต่างๆกัน เช่นชนิดเป็นรูพรุนบางส่วน ชนิดที่เป็นรูพรุนทั้งฐาน หรือชนิดที่เป็นตะแกรง และมักพบว่ามีรอยร้าวหรือรูพรุนเกิดขึ้นในเรชินไปยังตำแหน่งที่เกิดการผุกร่อนซึ่งเชื่อว่าเป็นสาเหตุของการผุกร่อนที่เกิดขึ้น ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Crevice corrosion(4) (รูปที่ 27)

ปัจจัยอื่นๆที่ส่งเสริมให้เกิดการผุกร่อนของโลหะก็คือ ผลจากการเชื่อมหรือบัดกรีที่ทำให้โครงสร้างของโลหะผสมเปลี่ยนไป ซึ่งจะมีผลต่อความต้านทานการผุกร่อนของโลหะ ส่วนผสมของโลหะมีอิทธิพลอย่างมากต่อความต้านทานการผุกร่อนแบบไฟฟ้า-เคมี (Electrochemical corrosion) ซึ่งเกิดขึ้นในช่องปาก นอกจากนี้ยังเป็นผลมาจาก pH ส่วนประกอบของสารละลายอีเลคโตรไลต์ และ สภาวะแวดล้อม ในกรณีของโลหะผสมเหล็กไร้สนิมถ้า pH ในช่องปากลดลงจาก 7 เป็น 5 จะเกิดแผ่นฟิล์มบางๆจากปฏิกริยา Passivation เกิด



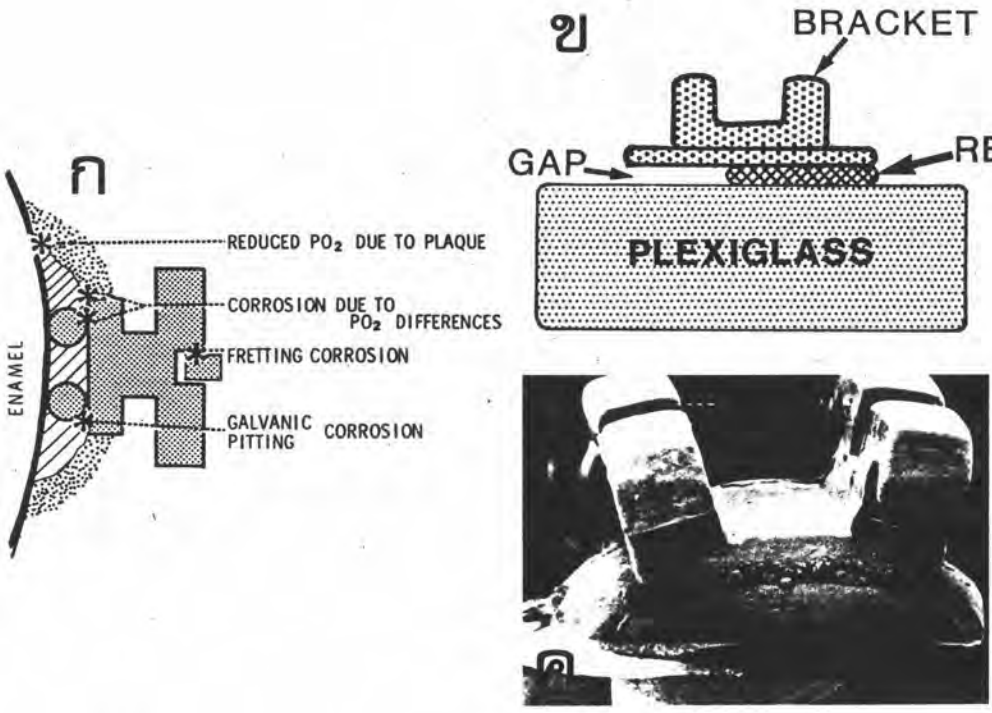
รูปที่ 27 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของฐานแบรกเก็ตแบบตะแกรงโลหะที่เกิดการผุกร่อน R=วัสดุยึด, C=ตะแกรงโลหะที่เกิดการผุกร่อน P=รูพรุน ในเนื้อวัสดุยึด

ออกไซด์ของโครเมียมที่สามารถหยุดหรือชลอการผุกร่อนของเหล็กได้ ในบริเวณที่มีออกซิเจนน้อย(เช่นบริเวณระหว่างฐานแบรกเก็ตกับวัสดุยึด) สามารถเกิดการผุกร่อนแบบ Crevice หรือ Pitting corrosionได้ ความร้อนก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้คุณสมบัติของโลหะผสมออสเทนนิติกเปลี่ยนไป เนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติกสามารถเปลี่ยนเป็น เฟอร์ไรต์เมื่อได้รับความร้อน คาร์บอนจากสารละลายของแข็ง (Solid solution)จะแยกออกมารวมกับโครเมียมเกิดผลึกโครเมียมคาร์ไบด์ หรือเกิดผลึกโครเมียมกับโลหะอื่นๆ การสูญเสียโครเมียมออกจากสารละลายของแข็งทำให้ความต้านทานต่อการผุกร่อนของเหล็กไร้สนิมลดลง การสูญเสียคุณสมบัติต่อต้านการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทเนติกด้วยการเอาโครเมียมออกจากบริเวณเหล็กแกมมา เรียกว่า Sensitization ซึ่งจะเกิดเมื่อเผาเหล็กกล้าไร้สนิม 18-8 ที่อุณหภูมิ 400-900 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการตกผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ ($Cr_{23}C_6$) การป้องกันการตกผลึกทำได้โดย ลดปริมาณของคาร์บอนในเหล็กกล้าลงจะทำให้การตกผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ลดลง (แต่ลดได้ต่ำสุด ร้อยละ 0.03 เท่านั้น)

Maijer และ Smith (5) พบว่าการติดสีที่เกิดขึ้นบนผิวเคลือบฟันส่วนใหญ่เป็นการติดสี สีดำ ซึ่งอาจจะเกิดจาก นิเกิลซัลไฟด์ หรือ โครเมี่ยมซัลไฟด์ การติดสีที่นบนี้เกิดบนตัวฟันที่ติดด้วยแบรกเก็ตที่ฐานทำด้วยโลหะAISI 304และไม่พบการติดสีใดๆบนตัวฟันที่ใช้แบรกเก็ตที่ฐานทำด้วยโลหะ AISI 316 การติดสีส่วนใหญ่เกิดในฟันหน้าการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นบริเวณฐานแบรกเก็ตส่วนใหญ่เกิดในลักษณะของ Crevice corrosionซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดรูพรุนขึ้นจำนวนมากในการติดแบรกเก็ตเข้ากับตัวฟันด้วยวัสดุยึดร่วมกับการใช้แบรกเก็ตที่บริเวณฐานทำด้วยโลหะ AISI 304 นอกจากนี้ยังรวมถึงปัจจัยอื่นๆอีก เช่น ปฏิกริยาไฟฟ้าสถิตแบบของฐานแบรกเก็ตและขบวนการผลิต สภาวะในช่องปาก และปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือการนำแบรกเก็ตกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ความร้อน

Maijer และ Smith (1) ได้ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาการผุกร่อนของแบรกเก็ตโลหะ 9 ชนิด ที่ทำจากโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 316L และ 317 ในน้ำลายเทียม การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ แบรกเก็ตใหม่ และภายหลังจากผ่านขบวนการทำความสะอาดเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยบริษัทที่รับทำความสะอาดแบรกเก็ต พบว่าแบรกเก็ตใหม่ส่วนใหญ่เกิดการผุกร่อนภายหลังวันที่ 56 โดยแบรกเก็ตที่เกิดการผุกร่อนเป็นแบรกเก็ตที่ทำจากโลหะ 304 ส่วนแบรกเก็ตที่ทำจากโลหะ 316L ไม่พบการผุกร่อน ภายหลังจากที่แบรกเก็ตผ่านขบวนการทำความสะอาดแล้วพบว่ามีโอกาสที่จะเกิดการผุกร่อนได้มากขึ้นทั้ง 3 วิธี โดยเฉพาะวิธีของบริษัท C สามารถทำให้แบรกเก็ตที่ทำจากโลหะ 316L เกิดการผุกร่อนขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าจุดเริ่มต้นของการผุกร่อนมักเกิดขึ้นตรงบริเวณที่เป็นรอยเชื่อมของตัวแบรกเก็ตกับฐาน ดังนั้นโลหะผสมที่ใช้เป็นตัวกลางในการบัดกรีจึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเกิดการผุกร่อนในบริเวณดังกล่าวโดยเฉพาะในกรณีที่มีจุดเชื่อมอยู่ด้วย (รูปที่ 28 ก-ค และตารางที่ 8)

การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นบริเวณฐานของแบรกเก็ตนอกจากจะทำให้เกิดการติดสีบนผิวเคลือบฟันแล้วยังมีผลทำให้ความแข็งแรงในการยึดระหว่างแบรกเก็ตกับวัสดุยึดลดลงด้วย



รูปที่ 28 ก. เครื่องหมาย * แสดงบริเวณของแบรกเก็ตที่อาจจะเกิดการผุกร่อนได้

ข. แสดงแบบจำลองการทดลองของ Maijer และ Smith

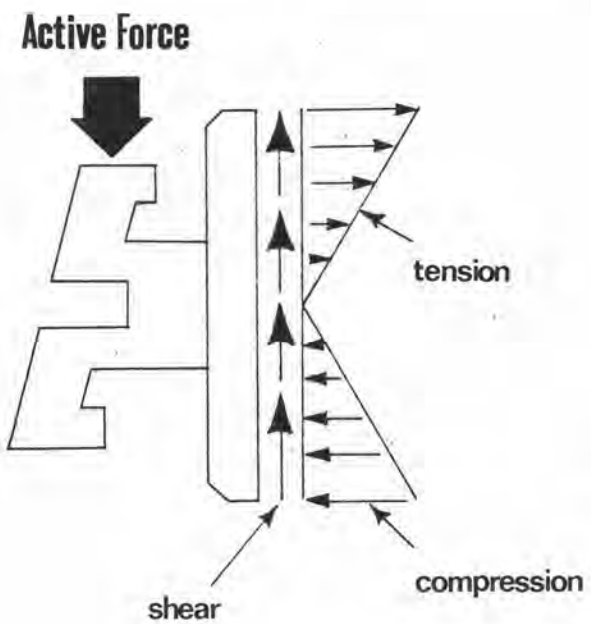
ค. แสดงบริเวณที่มักจะเกิดการผุกร่อนได้ง่าย (b)

Company	*Bracket no.*	*AISI no.*	*Address*
Forestadent	711-4341	304	Pfortzheim, West Germany
Rocky Mountain	A-5103	304	Denver, Colo.
S. S. White	—	304	Holmdel, N.J.
A Company	092-062	316L	San Diego, Calif.
American Ortho	002-705	304	Sheboygan, Wis.
Ormco	348-2101	304	Glendora, Calif.
Lancer	210-305	304	Carlsbad, Calif.
Unitek	006-214	304	Monrovia, Calif.
Strite	0023-D	317	Cambridge, Ontario, Canada

ตารางที่ 8 แสดงชนิดของโลหะที่ใช้ผลิตแบรกเก็ตของบริษัทต่างๆ (1)

จากการศึกษาวิจัยของผู้วิจัยหลายๆท่าน แบรกเก็ตโลหะยังคงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการบำบัดผู้ป่วยทางทันตกรรมจัดฟัน ถึงแม้ว่าจะได้มีการผลิตแบรกเก็ตชนิดที่ทำด้วยเซรามิกและพลาสติกออกมาจำหน่ายโดยเน้นถึงข้อได้เปรียบทางด้านความสวยงามแต่แบรกเก็ตเหล่านั้นก็มีข้อจำกัดในการนำไปใช้อย่างมากมายซึ่งต้องได้รับการปรับปรุงและพัฒนาอีก

แบรกเก็ตโลหะเป็นแบรกเก็ตที่ยึดกับผิวเคลือบฟันโดยการเกาะเกี่ยวเชิงกลระหว่างส่วนเกาะเกี่ยวบริเวณด้านล่างของฐาน-วัสดุยึด-และผิวเคลือบฟัน เพื่อต่อต้านต่อแรงที่เกิดขึ้นจากการจัดฟันและแรงปกติที่เกิดขึ้นภายในช่องปาก เช่น แรงที่เกิดขึ้นกับตัวฟันในระหว่างการกลืน การบดเคี้ยวอาหาร ฯลฯ ซึ่งได้มีการศึกษาพบว่าแรงที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการหลุดของแบรกเก็ตก็คือแรงจากการบดเคี้ยวอาหารในบริเวณฟันหลัง(63,65)แรงที่เกิดขึ้นนี้จะกระทำกับปีกด้านบดเคี้ยวของแบรกเก็ต เป็นผลให้แรงที่ส่งต่อไปยังฐานของแบรกเก็ตซึ่งยึดกับฟันอยู่นั้นเป็นแรงชนิด เฉือน/ปอกเป็นการผสมผสานกันระหว่างแรงเฉือน และแรงดึงที่เกิดขึ้นพร้อมๆกัน(รูปที่ 29) แรงทั้งสองลักษณะนี้ต่างก็มีความสัมพันธ์เป็นอัตราส่วนที่คงที่กับพื้นที่ของบริเวณที่ทำหน้าที่เกาะเกี่ยวของฐานแบรกเก็ต(66)



รูปที่ 29 แสดงทิศทางและลักษณะของแรงซึ่งเกิดขึ้นบริเวณฐานของแบรกเก็ตอันเนื่องมาจากแรงที่กระทำบนปีกด้านบดเคี้ยว

ความแข็งแรงในการยึดระหว่างแบรกเก็ตกับผิวเคลือบฟัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายประการอันได้แก่ แบรกเก็ต วัสดุยึด และธรรมชาติของผิวเคลือบฟัน นับตั้งแต่ได้มีผู้คิดค้นเทคนิกไดเร็กบอนด์ขึ้นได้มีการศึกษามากมายเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงยึดกับลักษณะของฐานแบรกเก็ต และชนิดของวัสดุยึด อย่างไรก็ตามจากการที่แบรกเก็ตเป็นส่วนของเครื่องมือที่มีความสำคัญในการจัดฟันด้วยเครื่องมือชนิดติดแน่น กอปรกับการที่แบรกเก็ตและวัสดุยึดมีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ การศึกษาเปรียบเทียบแบรกเก็ตและวัสดุยึดชนิดต่างๆ ที่มีการพัฒนาขึ้นใหม่ ว่ามีผลต่อความแข็งแรงในการยึดแตกต่างกันหรือไม่ มากขึ้นหรือลดลงจากในอดีตเพียงใด จึงยังคงเป็นสิ่งที่น่าศึกษาเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการวิจัยที่เกี่ยวข้องและการเลือกใช้แบรกเก็ตและวัสดุยึดในการจัดฟันชนิดติดแน่นต่อไป