

## บทที่ 2

### แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โพลีเมอร์ (polymers) เป็นวัสดุที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในงานทันตกรรม เนื่องจากมีคุณสมบัติหลายประการที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในทางคลินิกได้ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบกว่าวัสดุประเภทอื่นๆ ในวงการทันตแพทย์มักนำโพลีเมอร์มาใช้เป็นวัสดุหลักในการทำฟันปลอมทั้งปากหรือฐานฟันปลอมบางส่วนถอดได้ ดังนั้นการศึกษาถึงทฤษฎีของโพลีเมอร์ไม่ว่าจะเป็นในแง่ประวัติความเป็นมา ส่วนประกอบและคุณสมบัติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโพลีเมอร์ จะนำไปสู่ข้อสรุปผลการวิจัยถึงกระแสการใช้โพลีเมอร์เป็นวัสดุในการทำฟันปลอมทั้งปากหรือฟันปลอมบางส่วนถอดได้ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดจากการเลือกใช้วัสดุประเภทนี้ ซึ่งนับวันจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นและเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของคนเรามากยิ่งขึ้น

### โพลีเมอร์และการเกิดโพลีเมอร์ (Polymer and polymerization)

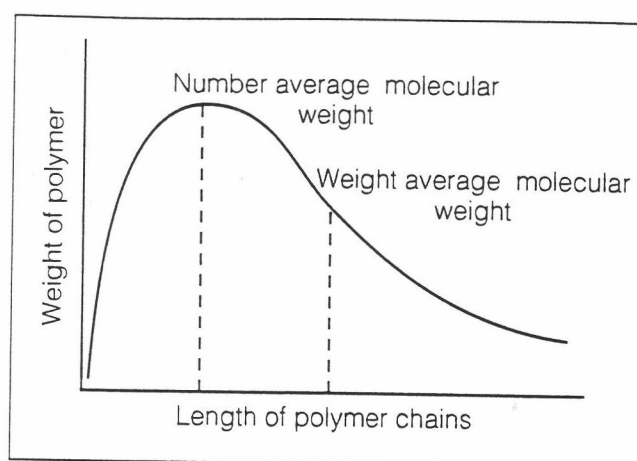
#### 1. ส่วนประกอบของโพลีเมอร์

โพลีเมอร์เป็นศัพท์ที่ได้จาก poly แปลว่ามาก กับ mer แปลว่าหน่วย ดังนั้นโพลีเมอร์จึงเป็นสารที่เกิดจากการรวมของหน่วยเล็กๆ ของสารประกอบอินทรีย์จำนวนมากเข้าด้วยกันกลายเป็นก้อนมหโมเลกุล (เจน รัตน์ไพศาล, 2533; Anusavice, 1996; และ O'Brien, 1997) หน่วยเคมีเล็กๆ ที่ประกอบเป็นโพลีเมอร์ มักใช้เป็นพื้นฐานในการเรียกชื่อวัสดุนั้นๆ เช่น โพลีสไตรีน (polystyrene) เป็นโพลีเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยเล็กๆ ของสไตรีน (styrene units)

โมโนเมอร์ (monomers) เป็นหน่วยเคมีเล็กๆ ที่ประกอบเป็นโพลีเมอร์ จากการเกิดปฏิกิริยาที่เรียก โพลีเมอไรเซชัน (polymerization) โดยโพลีเมอร์ไม่ว่าชนิดใดก็ตามจะเชื่อมกันด้วยพันธะปฐมภูมิของโคเวเลนต์ ซึ่งมีความแข็งแรงมาก ถ้าโมโนเมอร์ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดหรือมากกว่ามาเชื่อมกันเรียกว่า โพลีเมอร์ร่วม (copolymer) (O'Brien, 1997)

## 2. น้ำหนักโมเลกุลของโพลีเมอร์

หาได้จากผลรวมของน้ำหนักโมเลกุลของหน่วยเคมีเล็กๆที่ประกอบเป็นโพลีเมอร์ ซึ่งแต่ละสายโซ่โพลีเมอร์ที่มีความยาวไม่เท่ากันมาต่อกัน จากการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลในเนื้อวัสดุ จึงต้องหาค่าเป็นน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (average molecular weight) หรือถ้าจะให้ถูกต้องควรเรียกการกระจายน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight distribution) ซึ่งมีตั้งแต่ 1,000-1,000,000 โพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 10,000 ขึ้นไปเรียกไฮโพลีเมอร์ (high polymers)



รูปที่ 2 - 1 แสดงการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของโพลีเมอร์

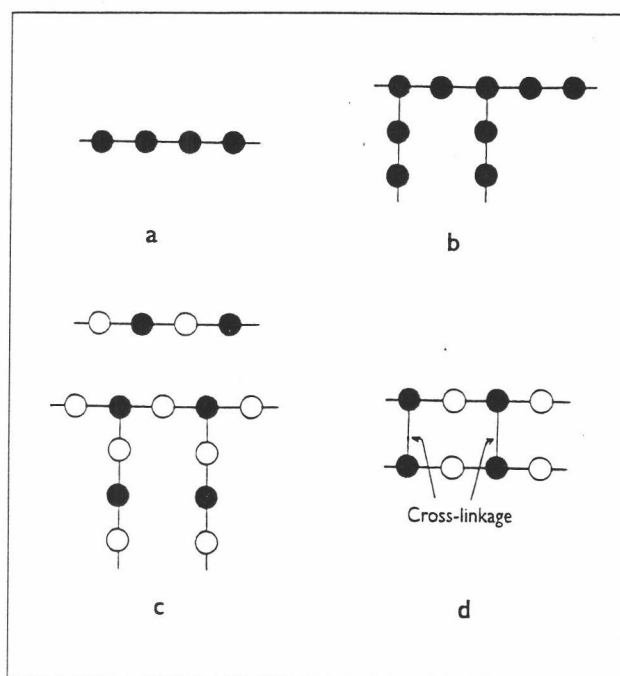
(ที่มา : van Noort, R. 1994. Introduction to dental materials. : 36)

## 3. รูปโครงสร้างของโพลีเมอร์โมเลกุล

โพลีเมอร์มีโครงสร้างพื้นฐาน 3 ชนิด (O'Brien, 1997) ได้แก่

- ก. โพลีเมอร์ชนิดเส้น (Linear polymers) เกิดจากโมโนเมอร์เชื่อมเป็นเส้นยาวโดยปลายต่อกัน
- ข. โพลีเมอร์ชนิดกิ่ง (Branched polymers) เกิดจากโมโนเมอร์เส้นหนึ่งต่อเป็นกิ่งกับโมโนเมอร์อีกเส้นหนึ่ง มีคุณสมบัติบางอย่างดีกว่าชนิดเส้น

ค. โพลีเมอร์ชนิดเชื่อมไขว้ (Cross-linked polymers) เป็นโพลีเมอร์ที่มีโครงสร้าง 3 มิติหรือเชื่อมเป็นตาข่าย ได้จากโพลีเมอร์กิ่งเส้นหนึ่งต่อกับโพลีเมอร์กิ่งอีกเส้นหนึ่ง มีความแข็งแรงสูงและทนต่อแรงกระแทก



รูปที่ 2 - 2 แสดงโครงสร้างสายโซ่โพลีเมอร์ a) ชนิดเส้น b) ชนิดกิ่ง

c) สายโซ่โพลีเมอร์ร่วมชนิดเส้น (บวม) และชนิดกิ่ง (ล่าง) d) ชนิดเชื่อมไขว้

(ที่มา : O'Brien, W.J. 1997. Dental materials and their selection. 2nd ed. Chapter 6 : 80)

โมเลกุลของโพลีเมอร์ชนิดเส้นและชนิดกิ่ง จะยึดกับอีกโมเลกุลด้วยพันธะทางกายภาพที่อ่อน (weak physical bonds) เมื่อได้รับความร้อนพันธะจะแตกตัวได้เป็นวัสดุที่อ่อน และเมื่อได้รับความเย็นจะเกิดการรวมตัวของพันธะขึ้นใหม่เหมือนเดิมได้เป็นวัสดุที่แข็ง คุณสมบัติของวัสดุที่เปลี่ยนรูปภายใต้อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงนี้ เรียกว่า เทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) ตัวอย่างเช่น โพลีสไตรีน โพลีไวนิลอะคริลิก (polyvinyl acrylics) และโพลีเมทิลเมทาคริเลต (polymethyl methacrylate (PMMA))

การเชื่อมไขว้ (cross-linking) เป็นผลจากการเชื่อมเป็นตาข่ายของอะตอมด้วยพันธะปฐมภูมิโคเวเลนต์ การเชื่อมต่อกันจะเกิดระหว่างสายโซ่ได้โพลีเมอร์เป็นก้อนมหโมเลกุลขนาดใหญ่

(single giant macromolecule) โพลีเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบนี้ไม่มีการแตกตัวเมื่อได้รับความร้อนจึงไม่อ่อนตัว เรียกวัสดุประเภทนี้ว่า เทอร์โมเซต (thermosets) ตัวอย่างเช่น ซิลิโคน ซีส-โพลีซิลอกเซน (cis-polysiloxane) ไบฟีนอลเอ-ไดอะคริเลต (biphenol A-diacrylate) และโพลีเมอร์เชื่อมไขว้ (cross-linked polymethylmethacrylate) (O'Brien, 1997)

#### 4. ปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์

เมื่อโมโนเมอร์ทำปฏิกิริยาเชื่อมต่อกันกลายเป็นโพลีเมอร์ เรียกปฏิกิริยานั้นว่าโพลีเมอไรเซชัน (polymerization) ซึ่งมี 2 แบบ

ก. โพลีเมอไรเซชันแบบขั้นหรือควบแน่น (step growth or condensation polymerization) เป็นปฏิกิริยาที่มีการขับโมเลกุลเล็กๆเชิงเดียว (by-product) ออกมา อาทิ น้ำหรือแอลกอฮอล์ เช่น วัสดุพิมพ์ปากโพลีซิลไฟด์หรือซิลิโคน

ข. โพลีเมอไรเซชันแบบสายโซ่ (chain or addition polymerization) เป็นปฏิกิริยาที่ไม่มีการขับโมเลกุลเล็กๆเชิงเดียวออกมา เช่น วัสดุ PMMA ที่ใช้ทำฐานฟันปลอม

โพลีเมอไรเซชันแบบสายโซ่ การเกิดปฏิกิริยาจะมี 3 ขั้นตอน ซึ่งอาจเร่งการเกิดปฏิกิริยาด้วยความร้อน แสง หรือเติมเปอร์ออกไซด์ (peroxide) ลงไปเล็กน้อย ดังนี้ (Craig, 1993; และ O'Brien, 1997)

##### ขั้นเริ่มต้น (initiation)

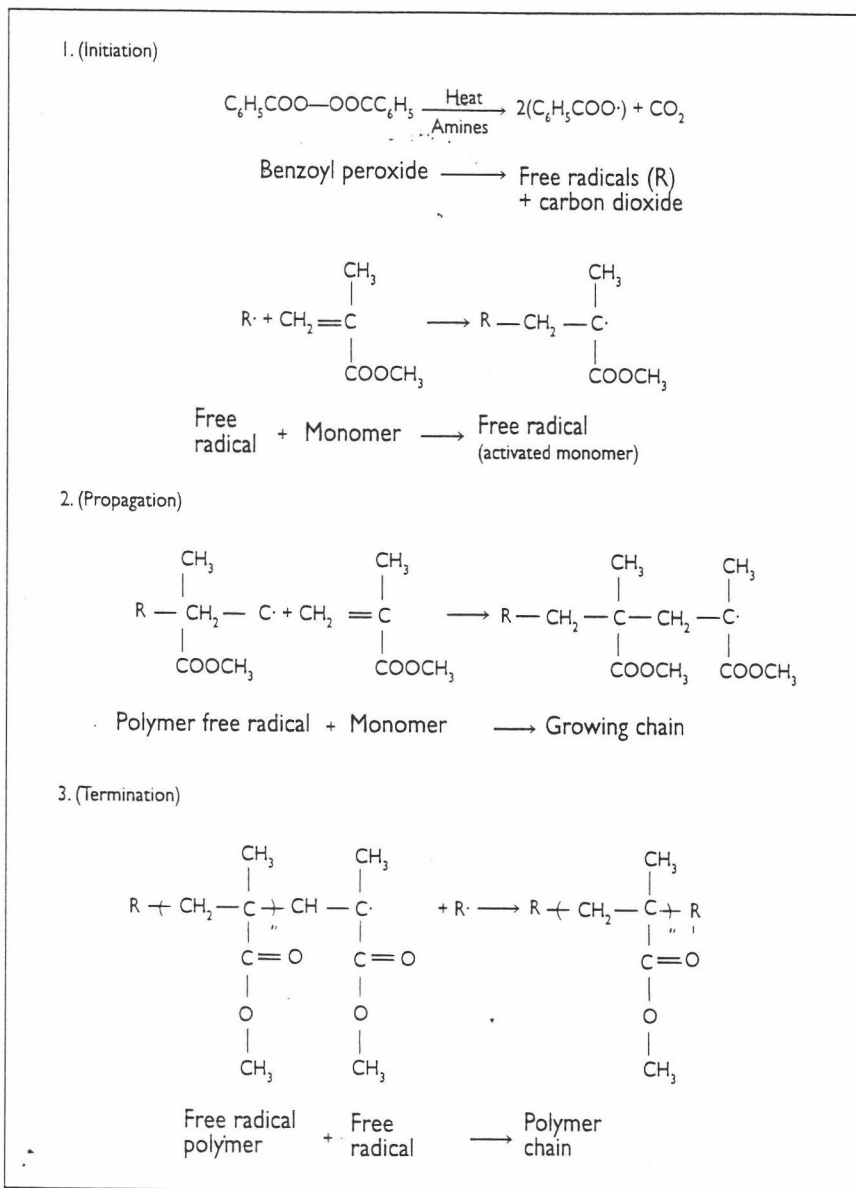
การเกิดปฏิกิริยาในขั้นนี้ให้เรดิคัลอิสระ (free radical) ซึ่งทำให้สายโซ่โพลีเมอร์มีขนาดโตขึ้น (รูปที่ 2-3) อะไมด์ (amine) ซึ่งเป็นตัวกระตุ้น (activator) จะทำปฏิกิริยากับออร์แกนิกเปอร์ออกไซด์ (organic peroxide) ที่เป็นตัวเริ่มต้น (initiator) เกิดเรดิคัลอิสระซึ่งจะรวมตัวกับโมโนเมอร์โมเลกุลด้วยพันธะคู่ และมีการเคลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ (unshared electron) ไปที่ส่วนปลายของโมโนเมอร์และรวมตัวได้แอกติเวตโมโนเมอร์โมเลกุล (activated monomer molecule) ที่จะเกิดปฏิกิริยาในขั้นต่อไป

##### ขั้นแผ่ขยายห่วงโซ่ (propagation)

แอกติเวตโมโนเมอร์จะรวมตัวกับโมโนเมอร์ที่เหลือจำนวนมาก ปฏิกิริยาจะเกิดอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว จนหมดเรดิคัลอิสระที่โตขึ้น

##### ขั้นสิ้นสุดของปฏิกิริยา (termination)

การสิ้นสุดของปฏิกิริยา อาจเกิดจากกลไกบางอย่างที่เป็นผลจากการรวมตัวของสายโซ่ชนิดกิ่งและชนิดเชื่อมไขว้



รูปที่ 2 - 3 แสดงขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันแบบสายโซ่ของเมทิลเมทาคริลेट (ที่มา : O'Brien, W.J. 1997. Dental materials and their selection. 2nd ed. Chapter 6 : 81)

การยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดเรดิคัลอิสระ (Craig, 1993) สามารถทำได้โดย

1. เติมนสารที่จะไปทำปฏิกิริยากับเรดิคัลอิสระทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้นลดลงหรือเพิ่มขั้นสิ้นสุดของปฏิกิริยาซึ่งเป็นผลจากการหน่วงปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน ตัวอย่างสารยับยั้งได้แก่ ไฮโดรควิโนน (hydroquinone) ยูจีนอล (eugenol) และออกซิเจนจำนวนมาก จากกลไก

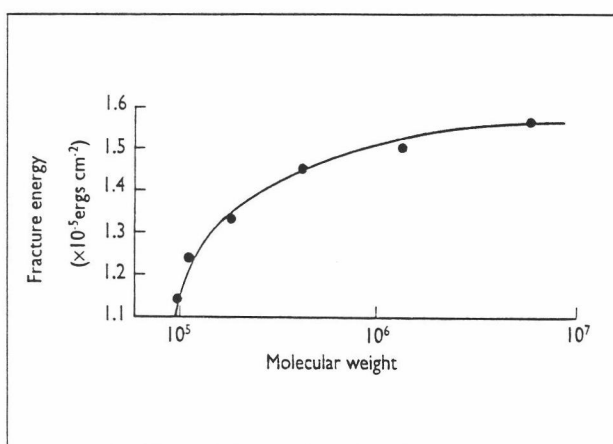
การทำงานของสารเหล่านี้จึงใช้ไฮโดรควิโนนปริมาณเล็กน้อยเติมในเมทิลเมทาคริเลต เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดโพลีเมอร์ไรเซชันถาวร ทำให้ยืดอายุการใช้งานของวัสดุ

## 2. ลดน้ำหนักโมเลกุลของโพลีเมอร์

## 5. คุณสมบัติของโพลีเมอร์

มีหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของโพลีเมอร์ ได้แก่

5.1 น้ำหนักโมเลกุล โพลีเมอร์ที่มีสายโซ่ยาว มีน้ำหนักโมเลกุลมาก ทำให้คุณสมบัติอ่อนตัวและความเหนียวสูงขึ้น คุณสมบัติสูงขึ้น สามารถต้านทานต่อความร้อนได้ดีกว่าโพลีเมอร์ขนาดเล็ก



รูปที่ 2 - 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงและน้ำหนักโมเลกุลของโพลีเมอร์

(ที่มา : O'Brien, W.J. 1997. Dental materials and their selection. 2nd ed. Chapter 6 : 81)

Beech (1975) ศึกษาสภาวะการเกิดโพลีเมอร์ไรเซชันต่อการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของอะคริลิกที่ใช้ทำฐานฟันปลอมพบว่าถ้าน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า  $10^5$  จะทำให้คุณสมบัติและกายภาพสมบัติของอะคริลิกต่ำไปด้วยไม่ว่าจะเป็นค่ากำลังแรงดึง (tensile strength) ระยะของการยืดตัว (elongation) สภาพยืดหยุ่นมอดูลัส (modulus of elasticity) ความทนแรงกระแทก (impact strength) ความต้านทานต่อการล้าของวัสดุ (fatigue resistance) และอุณหภูมิอ่อนตัว (glass transitional temperature) ในขณะที่ Jagger และ Huggett (1975) ศึกษาพบว่า ถ้าอะคริลิกนั้นมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า  $10^5$  แม้จะใส่สารเชื่อมไขว้ในฐานอะคริลิก ก็ไม่ทำให้คุณสมบัติของอะคริลิกแตกต่างกันนัก

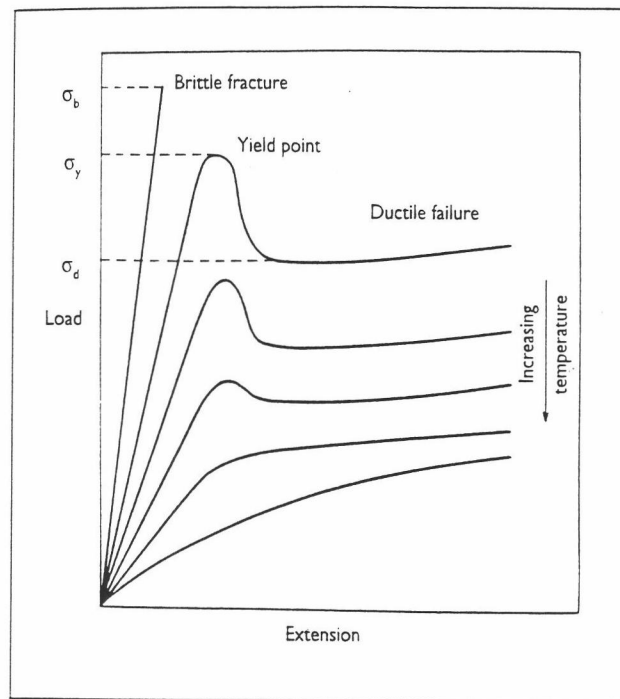
คุณสมบัติต่าง ๆ ของอะคริลิกที่ต่ำลง นอกจากขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลแล้ว ปริมาณโมโนเมอร์ที่ตกค้าง ฟองอากาศ รอยร้าว หรือความเค้นที่หลงเหลืออยู่ในเนื้ออะคริลิกก็เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหานี้ขึ้น ซึ่งการโพลีเมอไรซ์อะคริลิกด้วยกรรมวิธีตามปกติที่นิยมใช้ (conventional heat curing method) ให้ค่าการกระจายน้ำหนักโมเลกุลเป็นที่น่าพอใจ หมายความว่าถึงอะคริลิกที่ผ่านการบ่มด้วยความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 14 ชั่วโมง และที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ตามด้วย 100 องศาเซลเซียส ต่ออีก 2 ชั่วโมง ให้คุณสมบัติและกายภาพสมบัติเป็นที่ยอมรับ

5.2 ส่วนประกอบทางเคมีของสายโซ่โพลีเมอร์ โพลีเมอร์ร่วมมีคุณสมบัติดีกว่าโพลีเมอร์ธรรมดา

5.3 โครงสร้างของโพลีเมอร์ กลสมบัติ สมบัติความร้อน เคมีและไฟฟ้า เพิ่มมากขึ้น ตามลำดับจากโพลีเมอร์ห่วงโซ่ กิ่งและตาข่าย ฉะนั้นการใส่สารเชื่อมโซ่เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงเป็นตาข่าย ทำให้โพลีเมอร์มีคุณสมบัติต่าง ๆ สูงกว่าชนิดห่วงโซ่และชนิดกิ่ง

5.4 ตัวทำให้นุ่ม (plasticizer) เป็นสารที่ผสมในโพลีเมอร์ เพื่อให้อ่อนนุ่ม ลดความหนืด และมอดูลัสยืดหยุ่น โดยตัวทำให้นุ่มจะไปลดอุณหภูมิอ่อนตัว (glass transitional temperature, Tg) ของโพลีเมอร์ลง

Glass transitional temperature คืออุณหภูมิในสภาวะที่โพลีเมอร์กลายสภาพจากแข็งเหมือนแก้ว (glassy) และเปราะ (brittle) มาอยู่ในสภาพอ่อนคล้ายยาง (rubber-like)



รูปที่ 2 - 5 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อกำลังแรงดึงของโพลีเมอร์

อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดที่เกิดการแตกหัก เรียกว่า Glass transitional temperature ( $T_g$ )

(ที่มา : O'Brien, W.J. 1997. Dental materials and their selection. 2nd ed. Chapter 6 : 82)

ปัจจัยดังที่กล่าวมานอกจากจะมีผลต่อคุณสมบัติของโพลีเมอร์แล้ว ในขณะเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน โพลีเมอร์จะลดปริมาตรลงเป็นผลทำให้เกิดการหดตัว และเกิดแรงเค้นภายในเนื้อวัสดุ ทำให้โพลีเมอร์เกิดการบิดเบี้ยว (warpage) ซึ่งอาจพบปรากฏการณ์นี้ได้เมื่อโพลีเมอร์ถูกความร้อนซ้ำ นอกจากนี้โพลีเมอร์ยังมีคุณสมบัติดูดน้ำที่ต่างกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมิติเสถียร ซึ่งอาจพบการขยายตัวของโพลีเมอร์จากการดูดน้ำในขณะเกิดปฏิกิริยาได้

## 6. วิธีหล่อ (Method of moulding)

การหล่อแบบโพลีเมอร์ ทำได้หลายวิธี เช่น

ก. แบบอัด (compression moulding) อบโพลีเมอร์ชนิดบ่มด้วยความร้อนแล้วนำไปอัดในแบบ ปล่อยให้เย็นลงจะได้ได้แบบที่ต้องการ

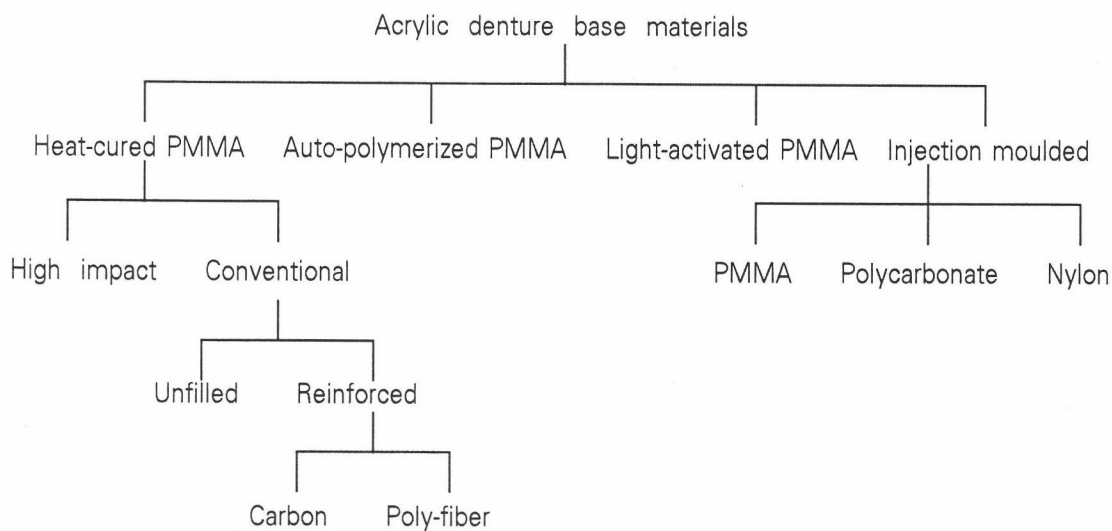


ข. แบบฉีด (injection moulding) บรรจุโพลีเมอร์ชนิดอ่อนตัวด้วยความร้อนในกระบอฉีด แล้วอบด้วยความร้อนจนอ่อนตัว จึงฉีดเข้าแบบและอัดทิ้งไว้ให้เย็น จะได้แบบจำลองที่ต้องการ

ค. แบบหล่อ (casting technic) ผสมโพลีเมอร์ชนิดสายโซ่ค่อนข้างเหลวเหนียวเข้าในบ้ำ ในการหล่อแบบของโพลีเมอร์ชนิดสายโซ่ต้องใช้วิธีผสมให้ข้น (dough technic) ผสมโมโนเมอร์และตัวเริ่มต้นให้โพลีเมอร์เป็นเนื้อเดียวกัน ปล่อยให้โมโนเมอร์ที่เกินระเหยออกจนโพลีเมอร์ข้นราว ร้อยละ 80 นำไปอัดในแบบและให้เกิดโพลีเมอร์ไรเซชัน โดยการบ่มด้วยความร้อนหรือสารเคมี จะได้แบบที่ต้องการ

**โพลีเมอร์ วัสดุประดิษฐ์ฐานฟันปลอม (Polymeric denture base materials)**

ก่อนปีค.ศ.1940 วัสดุจำพวกวัลคาไนต์ (vulcanite) เป็นที่นิยมกว้างขวางในการใช้เป็นฐาน ฟันปลอมโพลีเมอร์ วัลคาไนต์เป็นยางธรรมชาติมีสารเชื่อมโซ่จำนวนมาก ย่อมสียากและไม่ สะอาดเนื่องจากคุดน้ำลายในช่องปากได้ ปัจจุบันเกือบทุกประเทศทั่วโลกหันมาใช้อะคริลิกเรซิน เป็นวัสดุประดิษฐ์ฐานฟันปลอมโดยมีการจัดแบ่งประเภทของอะคริลิกเรซินที่ใช้ทำฐานฟันปลอม ดังแผนภูมิต่อไปนี้



รูปที่ 2 - 6 แสดงแผนภูมิการจัดแบ่งประเภทของอะคริลิกที่ใช้ทำฐานฟันปลอม

(ที่มา : ดัดแปลงจาก O'Brien, W.J. 1997. Dental materials and their selection. 2nd ed. Chapter 6 : 83)

## 1. คุณสมบัติที่ต้องการของฐานฟันปลอมโพลีเมอร์ (Requirements of denture base polymers)

### 1.1 สมบัติทางเคมีและชีวภาพ

- ไม่เป็นอันตรายหรือระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อในช่องปาก
- ไม่ละลายในน้ำลาย ไม่มีกลิ่นและรส

### 1.2 กายภาพสมบัติ

- การขยายตัวเมื่อร้อน ควรเท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่าของฟันธรรมชาติ
- การนำความร้อนควรมีค่าสูงพอ เพื่อนำความร้อนสู่เนื้อเยื่อของช่องปาก
- ความหนาแน่นควรต่ำ น้ำหนักจะเบา
- อุณหภูมิอ่อนตัว (Tg) ควรสูงกว่าอุณหภูมิของร่างกาย เพื่อป้องกันการอ่อนตัวและบิดเบี้ยวขณะใช้งาน
- ไม่เปลี่ยนมิติขณะหล่อและใช้
- ควรทึบ (radiopaque) เมื่อรังสีผ่าน

1.3 คุณสมบัติต่างๆไม่ว่าจะเป็นขีดยืดหยุ่น (elastic limit) โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) กำลังกระแทก (impact strength) กำลังล้า (fatigue strength) และกำลังดัดขวาง (transverse or flexural strength) ควรมีค่าสูงเท่าหรือใกล้เคียงกับค่าของฟันธรรมชาติ พอด้านแรงบิดเคี้ยวโดยไม่เปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร

### 1.4 คุณสมบัติอื่น ๆ

- ควรโปร่งแสง สามารถยอมสีให้เข้ากับเนื้อเยื่อในช่องปากได้และไม่เปลี่ยนสี
- วิธีการใช้วัสดุง่าย ไม่ยุ่งยาก และทำความสะอาดง่าย
- ซ่อมได้เมื่อแตกหรือร้าว
- ราคาไม่แพง อายุการใช้งานยาวนาน

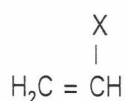
ข้อกำหนดเลขที่ 12 ว่าด้วยโพลีเมอร์สร้างฐานฟันปลอมของสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา (ANSI / ADA Specification No.12 for denture base resin) เกี่ยวกับคุณสมบัติของโพลีเมอร์ที่ปัมแล้ว

1) หลังผสมส่วนผงและส่วนเหลวของโพลีเมอร์เป็นเนื้อเดียวกัน 5 นาที วัสดุควรแผ่เข้าไปในร่องขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 มิลลิเมตรได้อย่างน้อยที่ระดับความลึก 0.5 มิลลิเมตร ภายใต้แรง 5,000 กรัมที่กดลงบนแผ่นขนาดความหนา 5 มิลลิเมตร พื้นที่ 50 ตารางมิลลิเมตร

- 2) ไม่ควรดูดน้ำเกินกว่า 0.8 มิลลิเมตร/ตารางเซนติเมตร ภายหลังจากแช่น้ำนาน 7 วันที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส
- 3) การละลายตัวไม่เกิน 0.04 มิลลิกรัม/ตารางเซนติเมตร
- 4) เปลี่ยนสีไม่มากเมื่อทดสอบด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต นาน 24 ชั่วโมง
- 5) ระยะดัดขวาง (transverse deflection) ควรอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้

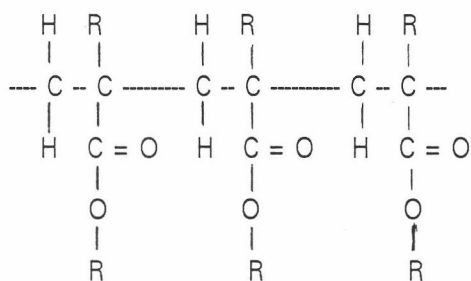
## 2. โพลีเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl methacrylate, PMMA)

อะคริลิกเรซิน เป็นอนุพันธ์ของเอทิลีน (ethylene) ที่ประกอบด้วยกลุ่มไวนิลมีสูตรโครงสร้างคือ



จากสูตรโครงสร้างที่แสดง อนุกรมของอะคริลิกเรซิน (acrylic resin series) ที่เกี่ยวข้องกับงานทางทันตกรรม มีอย่างน้อย 2 อนุกรม ได้แก่ อนุกรมที่ได้จากกรดอะคริลิก ( $\text{CH}_2 = \text{CHCOOH}$ ) กับอนุกรมจากกรดเมทาคริลิก ( $\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3)\text{COOH}$ ) สารประกอบของอนุกรมทั้งสองได้จากโพลีเมอไรเซชันแบบรวมตัว (เจน รัตนไพศาล, 2533; และ Anusavice, 1996)

แม้ว่าสารเหล่านี้จะแข็งและใสแต่ดูดน้ำมาก เนื่องจากมีกลุ่มคาร์บอกซิล (carboxyl group,  $-\text{COOH}$ ) อยู่ที่ซั้วด้านหนึ่ง น้ำเป็นตัวทำให้สายโซ่โพลีเมอร์แยกตัว ทำให้วัสดุอ่อนและลดกำลังความแข็งแรงลง ไม่เหมาะกับการนำมาใช้ในปาก แต่เอสเตอ์ (ester group,  $-\text{COOR}$ ) ของกรดเหล่านี้ใสและดูดน้ำน้อยมาก จึงนำมาใช้ในปาก เช่น โพลีเมทาคริเลตเป็นเรซินที่มีความแข็งแรงสูงสุดในกลุ่มเดียวกัน อ่อนตัวที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ( $T_g = 125$  องศาเซลเซียส) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



เมื่อ R แทนเอสเตอ์ แรดิคัล (ester radical) ซึ่งทำให้เกิดอะคริลิกชนิดต่างๆมากมาย แต่ที่นิยมใช้ทำซีฟันปลอมและฐานฟันปลอม ได้แก่ โพลีเมทิลเมทาคริเลตที่มี R เป็น  $\text{CH}_3$  แรดิคัล

เมทิลเมทาคริเลต เป็นของเหลวใสมีสมบัติทางกายภาพดังนี้

- จุดหลอมเหลว - 48 องศาเซลเซียส
- จุดเดือด 100.8 องศาเซลเซียส
- ความหนาแน่น 0.945 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (68 องศาฟาเรนไฮด์)
- ความร้อนที่เกิดระหว่างปฏิกิริยา (heat of polymerization) 12.9 กิโลกรัม-แคลอรี/โมล
- เป็นตัวละลายสารอินทรีย์ที่ดีมาก

เมทิลเมทาคริเลตโมเลกุลเชิงเดี่ยวหรือเรียกว่าโมโนเมอร์ (simple molecule or monomer) สามารถรวมตัวเป็นมหโมเลกุลหรือเรียกว่าโพลีเมอร์ได้ โดยเกิดปฏิกิริยาโพลีเมไรเซชันแบบรวมตัวซึ่งเกิดจากตัวกระตุ้นอาจเป็นแสงอัลตราไวโอเล็ต สารอินทรีย์หรือความร้อน ไปแยกหรือทำปฏิกิริยากับตัวเริ่มต้นให้ปล่อยเรดิคัลอิสระออกมา เรดิคัลอิสระนี้ทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนต่อคาร์บอนของเมทิลเมทาคริเลตเชิงเดี่ยว กลายเป็นโพลีเมทิลเมทาคริเลต หรือ อะคริลิกเรซิน

อะคริลิกเรซินที่ใช้ทำฟันปลอมประกอบด้วยส่วนผงและส่วนเหลว ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตารางที่ 2-1 แสดงส่วนประกอบของอะคริลิก วัสดุประดิษฐ์ฐานฟันปลอม (ที่มา : ดัดแปลงจาก McCabe, J.F. 1990. Applied dental materials. 7th ed. Chapter 13 : 88)

|          |  |   |
|----------|--|---|
| ส่วนผง   | โพลีเมอร์<br>ตัวเริ่มต้น<br>รงควัตถุ                     | Polymethylmethacrylate beads<br>A peroxide such as benzoyl peroxide (approximately 0.5 %)<br>Salt of calcium or iron or organic dyes                      |
| ส่วนเหลว | โมโนเมอร์<br>สารเชื่อมไขว้<br>สารหักห้าม<br>สารกระตุ้น * | Methylmethacrylate<br>Ethylene glycol dimethacrylate (approximately 10 %)<br>Hydroquinone (trace)<br>N' N' - dimethyl - p - toluidine (approximately 1 %) |

\* มีเฉพาะในวัสดุชนิดบ่มตัวเอง (self - curing materials)

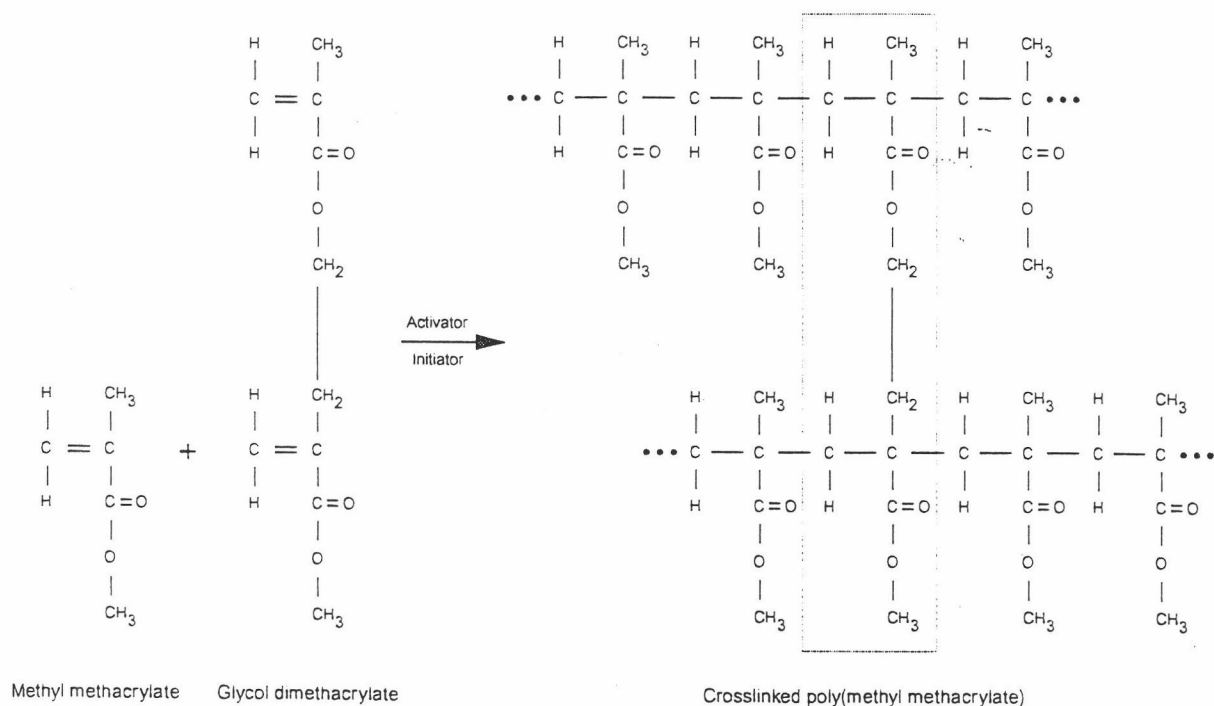
### 3. อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนสำหรับประดิษฐ์ฐานฟันปลอม (Heat-curing denture base acrylic resin)

#### 3.1 องค์ประกอบของอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

เป็นโพลีเมทิลเมทาคริเลตที่เกิดโพลีเมอไรเซชันได้ด้วยความร้อน อาจเป็นน้ำร้อนหรือแสงอัลตราไวโอเล็ต แต่ต้องไม่ร้อนเกิน 70 องศาเซลเซียส (158 องศาฟาเรนไฮต์) ดังสมการที่แสดง (Craig, 1993) คือ



สารเชื่อมไขว้ที่เติมในส่วนเหลวเพื่อให้สายโซ่โพลีเมอร์ 2 เส้นเชื่อมโยงกัน เกิดเป็นโครงสร้าง 3 มิติหรือตาข่าย ทำให้กำลังความแข็งแรงสูงขึ้นและทนต่อแรงกระแทก ที่ใช้บ่อย ได้แก่ โกลคอลลไดเมทาคริเลต ซึ่งมีโครงสร้างและสูตรทางเคมีเหมือนกับเมทิลเมทาคริเลต เมื่อทั้ง 2 ทำปฏิกิริยากัน จะได้สายโซ่โพลีเมอร์ที่โตขึ้น ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2 - 7 แสดงการเกิดการเชื่อมไข้วของ PMMA ซึ่งมีไกลคอลไดเมทาคริเลตเป็นสารเชื่อมไข้วเข้าไปยึด PMMA ในลักษณะ “สะพาน” (bridge) หรือ “การเชื่อมต่อ” (interconnect) ระหว่างสายโซ่ PMMA (ที่มา : Anusavice, K.J. 1996. Phillip’s science of dental materials. 10th ed. Chapter 11 : 239)

### 3.2 คุณสมบัติของอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

#### ก. กลสมบัติ

- ความถ่วงจำเพาะ 1.2
- น้ำหนักโมเลกุลของโพลีเมอร์ หนักตั้งแต่ 500 หน่วยขึ้นไป ส่วนของโมโนเมอร์เพียง 100 หน่วย โพลีเมอร์หลังบ่มแล้วมีค่าตั้งแต่ 10,000 ขึ้นไป
- กำลังแรงดึง 8,500 ปอนด์/ตารางนิ้ว (597.6 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร หรือ 58.6 เมกะนิวตัน/ตารางเมตร)
- โมดูลัสยืดหยุ่น 350,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว (24,605 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร หรือ 2,413.3 เมกะนิวตัน/ตารางเมตร)

- กำลังกระแทกเพียง 60 ปอนด์/ตารางนิ้ว (4.2 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร หรือ 0.41 เมกะนิวตัน/ตารางเมตร) ซึ่งต่ำมาก จึงเปราะ

- ความแข็งผิวรูป (Knoop Hardness Number, KHN) 18-20 ซึ่งต่ำมาก จึงสึกกร่อนง่าย

#### ข. กายภาพสมบัติ

- อัตราขยายตัวเมื่อร้อน  $81 \times 10^{-6}$  / องศาเซลเซียส

- การนำความร้อนต่ำมาก

- ละลายน้ำเพียง 0.028 มิลลิกรัม/ตารางเซนติเมตร ใน 24 ชั่วโมง

- การดูดน้ำ น้ำหนักเพิ่มอีกร้อยละ 0.5 จากน้ำหนักเดิม เมื่อแช่น้ำนาน 7 วัน

- ปริมาตร การหดตัวเกิด 2 ระยะ คือ ระยะแรก เกิดเมื่อผสมส่วนผงกับส่วนเหลวจนถึงระยะอ่อนนุ่มก่อนอัด เรียกว่าการหดตัวเชิงปริมาตรของระยะอ่อนนุ่ม (volume shrinkage of dough stage) หดตัวร้อยละ 7 ไม่มีผลกับมิติของฟันปลอม ระยะที่ 2 เกิดการหดตัวระหว่างเชิงปฏิบัติการ (processing) ขณะที่บ่มและทำให้เย็นลงหดตัวประมาณร้อยละ 2 มีผลต่อมิติของฟันปลอม

- ความหนาแน่นของโมโนเมอร์ 0.94 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และของโพลีเมทิลเมทาคริลิต 1.19 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของโพลีเมทิลเมทาคริลิตที่เพิ่มขึ้นเป็นผลจากการหดตัวขณะเกิดโพลีเมไรเซชัน (polymerization shrinkage) ซึ่งมีค่าร้อยละ 21

- ในการเชื่อมฟันปลอมที่แตก กำลังความแข็งแรงระหว่างรอยต่อที่ใช้โพลีเมทิลเมทาคริลิตเป็นตัวเชื่อมลดลงร้อยละ 25 จากเดิม ที่เป็นเช่นนี้เพราะเป็นการเชื่อมยึดบริเวณรอยต่อ (adhesive bond) โดยโมโนเมอร์จากโพลีเมทิลเมทาคริลิตใหม่ละลายพื้นผิวตรงรอยต่อของโพลีเมทิลเมทาคริลิตเก่าเท่านั้น อาจเพิ่มสูงได้เล็กน้อยด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้มากขึ้น โดยทำให้เกิดการยึดอยู่เชิงกล เช่น dovetail

- อาจระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อในปาก เกิดจากโมโนเมอร์ที่ตกค้างหลังบ่มแล้ว มีประมาณร้อยละ 0.2 ถ้าโพลีเมทิลเมทาคริลิตยี่ห้อ โมโนเมอร์ที่ตกค้างก็ยิ่งมาก

### 3.3 วิธีอัด (Compression - moulding technique)

#### 3.3.1 การเตรียมแบบหล่อ

ก. ฝังแบบจำลองที่มีกระสวนซี่ฝังกับซี่ฟันติดอยู่ลงในพลาสติกครึ่งล่างด้วยปูนพลาสติกอร์เมื่อปูนพลาสติกอร์แข็งตัว ทาสารคั่นกลางที่ผิวของปูนพลาสติกอร์ทุกส่วน

ข. สารคั่นกลางอาจเป็นวาสลินหรือน้ำสบู่อ้อยละ 15 เพื่อป้องกันไม่ให้ปูนปลาสเตอร์ต่อปูนปลาสเตอร์ติดกัน เสร็จแล้วเทปูนปลาสเตอร์หลังจากใส่พลาสติกครึ่งบน (บางเทคนิคเทปูนปลาสเตอร์ 2 ชั้น)

ค. เมื่อปูนปลาสเตอร์แข็งตัว ทำการกำจัดซี่ผึ้งออกด้วยน้ำอุ่น

ง. ทาสารคั่นกลางเพื่อป้องกันการแยกอะคริลิกออกจากปูนปลาสเตอร์ ด้วยเหตุผล 2 ประการ (Phillips, 1991) คือ

1) ป้องกันน้ำจากปูนปลาสเตอร์ซึมสัมผัสกับอะคริลิก ซึ่งมีผลต่ออัตราเร็วของการเกิดโพลีเมอไรเซชันและสีของอะคริลิก ถ้าน้ำจากปูนปลาสเตอร์ซึมผ่านเข้าไปในเนื้ออะคริลิกขณะบ่ม จะทำให้เกิดรอยรานในเนื้อเรซินซึ่งเป็นความเค้นจากน้ำที่ระเหยออกมาภายหลังการบ่มโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าอะคริลิกนั้นไม่มีสารเชื่อมไขว้

2) ป้องกันไม่ให้อะคริลิกแทรกในเนื้อของปูนปลาสเตอร์ของแบบหล่อ ซึ่งจะแยกออกยากและเสียเวลามาก

ในอดีตใช้แผ่นตะกั่วบางๆ (tin foil) แต่ปัจจุบันนิยมใช้อัลจิเนตที่ละลายน้ำแทน (water soluble alginate) ทำเป็นสารละลาย บางคนเรียก tin foil substitute

### 3.3.2 อัตราส่วนผสม

เป็นข้อแนะนำจากบริษัทผู้ผลิตในการใช้ปริมาณของส่วนเหลว (โมโนเมอร์) ทำปฏิกิริยาพอดีกับส่วนผง (โพลีเมอร์) โดยสัดส่วนของส่วนผงต่อส่วนเหลวใช้ 3:1 โดยปริมาตร หรือ 2.5:1 โดยน้ำหนัก ควรตรวจหรือชั่งให้ได้สัดส่วนตามที่กำหนด และผสมในภาชนะที่มีฝาปิดเพื่อป้องกันการระเหยของโมโนเมอร์ เพื่อให้เกิดโพลีเมอไรเซชันสมบูรณ์ โดยโมโนเมอร์สัมผัสและกระจายเข้าไปในเม็ดโพลีเมอร์อย่างรวดเร็ว ทำให้เม็ดโพลีเมอร์บวมตัวและยึดติดกันได้เป็น cohesive gel เม็ดโพลีเมอร์จะไม่ละลายตัวอย่างสมบูรณ์ แม้ว่าโมโนเมอร์จะซึมผ่านเข้าไปส่วนแกนของเม็ดโพลีเมอร์ได้อย่างดีก็ตาม (O'Brien, 1997)

ในการผสมส่วนผงและส่วนเหลวที่ไม่ได้สัดส่วน

- ถ้าใช้โพลีเมอร์มากเกินไป โพลีเมอร์ที่ไม่ละลายจะตกค้างเป็นเม็ดเล็กๆ ในเนื้อของโพลีเมอร์หลังบ่ม

- ถ้าใช้โมโนเมอร์มากเกินไป โพลีเมอร์ที่ได้หลังบ่มจะหดตัวมากขึ้น



### 3.3.3 การละลายของโพลีเมอร์

โพลีเมอร์ละลายในโมโนเมอร์ตามขั้นตอน ดังนี้

ก. ชั้นเป็นเม็ดทราย (wet sand-like/sandy stage) เป็นระยะที่โพลีเมอร์เริ่มผสมกับโมโนเมอร์ แต่ยังไม่ละลาย ยังเห็นเป็นเม็ดทรายอยู่

ข. ชั้นเป็นเส้นใย (stringy stage) เป็นระยะที่โมโนเมอร์เริ่มละลายโพลีเมอร์ โดยผิวชั้นนอกของเม็ดโพลีเมอร์ถูกเจาะ แล้วละลายในโมโนเมอร์ ลักษณะเป็นเส้นใยและเหนียว

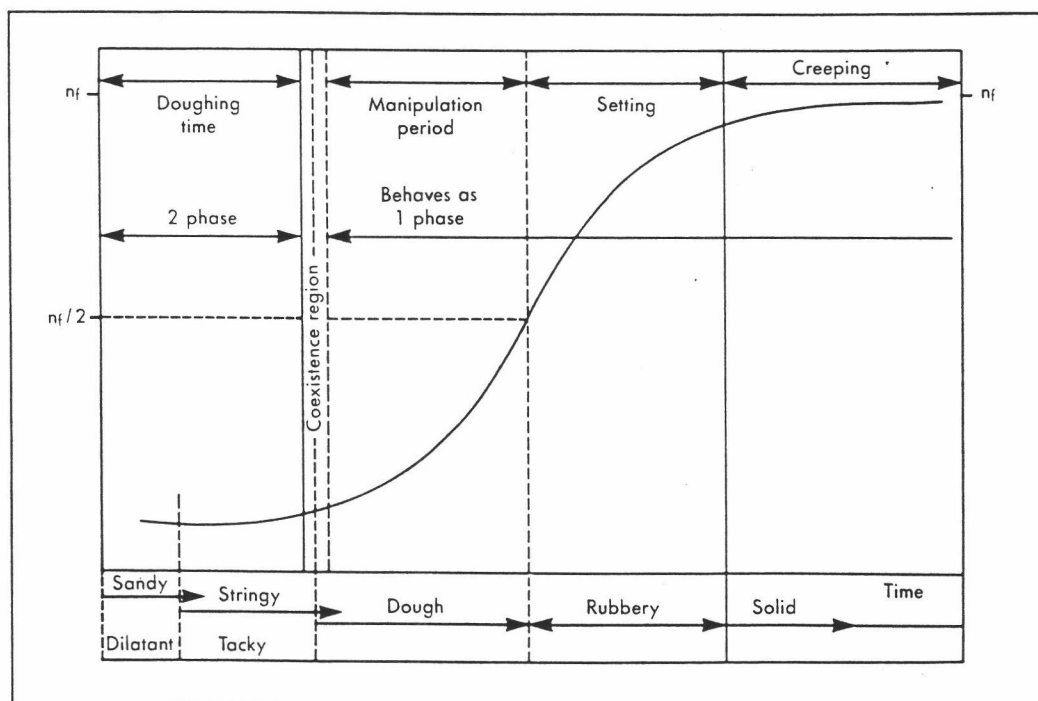
ค. ชั้นอ่อนนุ่ม (dough stage) เป็นระยะที่โพลีเมอร์ละลายในโมโนเมอร์กลายเป็นเนื้อเดียว เหลือจำนวนโมโนเมอร์เพียงเล็กน้อย ชั้นนี้มีลักษณะอ่อนนุ่ม บั่นเป็นก้อนได้ไม่ติดภาชนะหรือมือ ไม่มีเส้นใยและแผ่ตามชอกตามมุมได้ เป็นชั้นที่เหมาะสมสำหรับอัดลงแบบหล่อ ไม่เกิดรูพรุน แต่ละบริษัทผู้ผลิตจะกำหนดระยะเวลาตั้งแต่การผสมจนถึงชั้นอ่อนนุ่ม และช่วงเวลาในการอัดลงแบบหล่อแตกต่างกันไปตามประเภทของวัสดุที่ใช้

เวลาตั้งแต่เริ่มผสมโพลีเมอร์กับโมโนเมอร์จนกระทั่งถึงระยะอ่อนนุ่ม เรียกว่าระยะเวลาอัด (dough time) ไม่ควรต่ำกว่า 5 นาที ซึ่งจะช้าหรือเร็วยอมแล้วแต่

- ขนาดของโพลีเมอร์ ถ้าขนาดเล็กละลายได้เร็ว ระยะเวลาอัดก็เร็ว
- น้ำหนักโมเลกุลของโพลีเมอร์สูง ละลายตัวช้า ระยะเวลาอัดก็ช้า
- ถ้าใส่สารทำให้นุ่ม (plasticizer) ระยะเวลาอัดช้าลง
- อุณหภูมิสูงจะเร่งให้ระยะเวลาอัดเร็วขึ้น
- อัตราส่วนของโพลีเมอร์มากกว่าอัตราส่วนตามปกติ ทำให้ระยะเวลาอัดเร็วขึ้น

ง. ชั้นคล้ายยาง (rubber-like stage) เป็นขั้นสุดท้ายที่มีโมโนเมอร์เหลือน้อยที่สุด ลักษณะคล้ายยาง ยืดหยุ่นได้ ไม่สามารถแผ่ออกได้ ไม่เหมาะสำหรับอัด

ชั้นการละลายต่าง ๆ ของโพลีเมอร์ แสดงด้วยรูปแบบของความหนืด (viscosity) ของโพลีเมอร์ที่ผสมกับโมโนเมอร์ ดังนี้



รูปที่ 2 - 8 แสดงชั้นการละลายต่าง ๆ ของโพลีเมอร์หลังผสมส่วนผงและส่วนเหลว ก่อนเกิดโพลีเมอร์ไรเซชัน

$n_f$  = ค่าความหนืดสุดท้าย

$n_f/2$  = ครึ่งหนึ่งของค่าความหนืดสุดท้าย

(ที่มา : Mutlu et al. 1990. Dent Mater. 6 : 288 - 293)

### 3.3.4 การอัด (Packing)

สิ่งที่ต้องการคือให้โพลีเมทิลเมทาคริลิตไหลเต็มแบบหล่อด้วยแรงอัด โดยมีหลักเกณฑ์

- คือ
- โพลีเมอร์ต้องอยู่ในชั้นอ่อนนุ่ม
  - จะมีปริมาณมากกว่าปริมาตรของเบ้าเล็กน้อย
  - แรงอัดจะต้องสูงพอที่จะให้โพลีเมอร์ไหลถึงซอกมุมเล็กๆได้ และจะต้องให้โพลีเมอร์นั้นแน่น (สังเกตได้จากเนื้อโพลีเมอร์เป็นเงามัน ไม่มีจุดเล็กเป็นแฉกที่ผิวเมื่อแยกพลาสติกดู)

เทคนิคการอัดมี 2 แบบ คือ

ก. แบบอัดระหว่างพลาสติกส่วนบนและล่างสามารถดูว่าอัดโพลีเมอร์เต็มแบบหล่อหรือไม่ (trial closure technic)

ข. แบบฉีดตามท่อ (injection technic) ไม่สามารถแยกออกมาดูว่าเต็มแบบหล่อหรือไม่ เพียงฉีดโพลีเมอร์เต็มท่ออัดเท่านั้น ข้อดีของแบบนี้ คือ ไม่มีส่วนเกินของโพลีเมอร์ตามขอบของฟันปลอม แต่วิธีการยุ่งยากและค่าใช้จ่ายสูง

### 3.3.5 วิธีบ่ม (Curing process)

นิยามการบ่ม (curing) หมายถึง การเปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นวัสดุที่ใช้งานได้ โดยการให้ความร้อนหรือสารเคมี เรียกว่า ตัวบ่ม (curing agent) ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสรีรเคมี (physiochemical change)

หลักการบ่มให้ความร้อนแยกเรดิคัลอิสระจากเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ เพื่อทำปฏิกิริยากับโมโนเมอร์เฉพาะที่เป็นตัวละลายเท่านั้นให้กลายเป็นโพลีเมอร์ ความร้อนที่ใช้บ่มอาจเป็นน้ำร้อน แสงอัลตราไวโอเล็ต เตาอบ และอื่นๆ วิธีที่สะดวกและประหยัด ได้แก่ บ่มในน้ำอุ่น (water bath) แต่ต้องควบคุมอุณหภูมิและเวลาที่ถูกต้อง

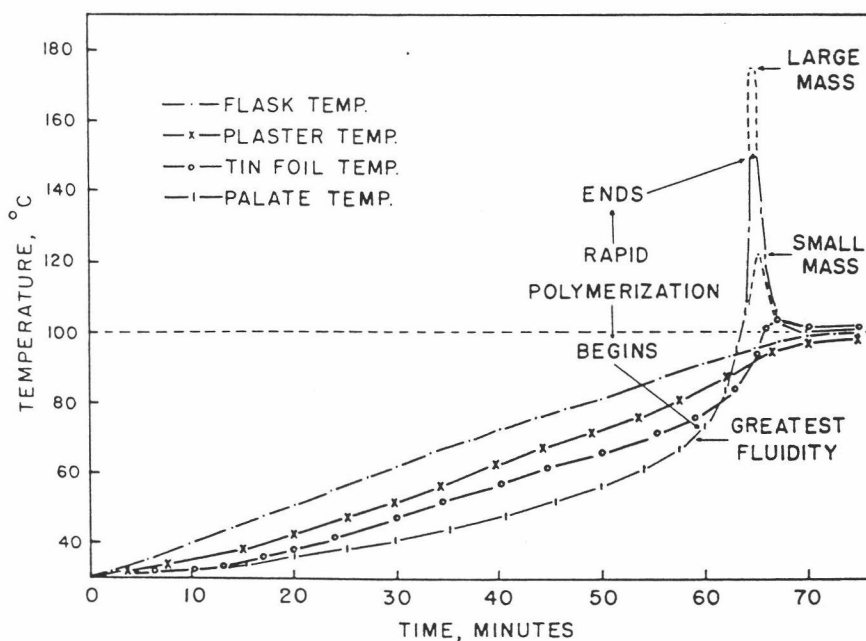
สมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริการะบุอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการโพลีเมอร์ไรซ์เมทิลเมทาคริเลตตามข้อกำหนดเลขที่ 12 ว่าด้วยโพลีเมอร์สร้างฐานฟันปลอมไว้ดังนี้

ก. บ่มระยะยาวในน้ำอุ่นที่มีอุณหภูมิ 73.9 องศาเซลเซียส (165 องศาฟาเรนไฮต์) ต่อเนื่องกันเป็นเวลาอย่างน้อย 9 ชั่วโมง วิธีนี้เหมาะสำหรับบ่มฟันปลอมที่มีฐานหนาๆ

ข. บ่มระยะสั้นในน้ำอุ่น 73.9 องศาเซลเซียส (165 องศาฟาเรนไฮต์) เป็นเวลา 90 นาที เพื่อให้เกิดโพลีเมอร์ไรซ์และเร่งให้น้ำนั้นเดือดอีก 30 นาที เพื่อให้โพลีเมอร์ไรซ์ชั้นนั้นสมบูรณ์และได้โมโนเมอร์ที่เหลือออก วิธีนี้เหมาะสำหรับงานเร่งด่วนและฟันปลอมที่มีฐานบาง ๆ

อุณหภูมิเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้นจากการบ่ม จะเริ่มจากพลาสติก ตามด้วยปูนปลาสเตอร์ สารคั่นกลางและอะคริลิกเรซิน ดังรูปที่ 2-9 เนื่องจากส่วนนอกของพลาสติกเท่านั้นที่สัมผัสกับน้ำอุ่น ประมาณว่าอุณหภูมิในส่วนประกอบอื่น ๆ เพิ่มขึ้นในอัตราที่เหมือนกัน จนกระทั่งถึง 70 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ ณ จุดนี้ วัสดุจะเริ่มเป็นของเหลวและมีการแยกตัวของเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์อย่างรวดเร็วเพียงพอที่จะเกิดโพลีเมอร์ไรซ์ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction) ความร้อนจากปฏิกิริยา ไปเพิ่มอุณหภูมิของอะคริลิกให้สูงกว่าส่วนประกอบอื่นๆ และสูงกว่าจุดเดือดของเมทิลเมทาคริเลตโมโนเมอร์ ทั้งนี้เนื่องจากทั้งอะคริลิกและปูนปลาสเตอร์เป็นตัวนำ

ความร้อนที่แยะและอุณหภูมิของปฏิกิริยาก็จะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ดังนั้นในส่วนของอะคริลิกที่มีปริมาณมากหรือหนามากจะมีอุณหภูมิสูงกว่าที่มีปริมาณน้อยหรือบาง จะมีโอกาสเกิดฟองอากาศได้มากกว่า



รูปที่ 2 - 9 แสดงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในส่วนประกอบต่าง ๆ ของพลาสติกขณะบ่ม (ที่มา : Craig, R.G. 1993. Restorative dental materials. 9th ed. : 519)

Fritell, Green, and Elahi (1981) ศึกษาการใช้เรซิน Coe 20 (Coe laboratories, Inc., Chicago Ill) เป็นเรซินชนิดบ่มพิเศษใช้เวลาบ่ม 20 นาที ที่อุณหภูมิ 212 องศาฟาเรนไฮด์ พบว่า นอกจากเป็นการช่วยประหยัดเวลาแล้วยังเสียรูป (distortion) น้อยกว่าโพลีเมทิลเมทาคริเลตที่บ่มด้วยกรรมวิธีปกติ (165 องศาฟาเรนไฮด์ นาน 9 ชั่วโมง) อย่างมีนัยสำคัญ Fritell and Harman (1983) ได้ศึกษาต่อเนื่องถึงคุณสมบัติของเรซินชนิดบ่มพิเศษนี้เปรียบเทียบกับเรซินชนิดที่บ่มด้วยวิธีปกติแต่เปลี่ยนแปลงความหนาตั้งแต่ 1.5-19.5 มิลลิเมตร เพื่อดูการเกิดฟองอากาศ จากผลการทดลองพบว่า

- เรซินที่บ่มด้วยกรรมวิธีปกติ ไม่พบฟองอากาศทั้งผิวนอกและในเนื้อเรซิน ไม่ว่าจะความหนาใด
- เรซินชนิดบ่มพิเศษ ไม่พบฟองอากาศที่ผิวนอกแต่พบในเนื้อเรซินที่มีความหนาตั้งแต่ 6 มิลลิเมตรขึ้นไป

ลักษณะฟองอากาศที่พบจากการใช้เรซินชนิดบ่มพิเศษเป็นฟองอากาศเล็กๆ อยู่ในเนื้อเรซิน ซึ่งฟองอากาศที่เกิดขึ้นนี้สัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้บ่มมากขึ้นดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น ดังนั้นสามารถใช้เรซินชนิดบ่มพิเศษนี้ในงานใฝ่พื้นที่ใช้ความหนาเรซินของชิ้นงานน้อยกว่า 6 มิลลิเมตรได้ เนื่องจากประหยัดเวลา มีความแข็งแรงและอยู่ในช่องปากได้อย่างถูกสุขอนามัย ถ้าชิ้นงานมีความหนาตั้งแต่ 6 มิลลิเมตรขึ้นไป ควรใช้เรซินชนิดที่บ่มด้วยกรรมวิธีตามปกติจะดีกว่า

#### การตกค้างของโมโนเมอร์หลังการบ่ม

McCabe and Basker (1976) รายงานถึงโพลีเมทิลเมทาคริลเลตโมโนเมอร์เป็นสารที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองและมีผลต่อเนื้อเยื่อในช่องปาก ซึ่งโดยทั่วไปพบว่าความไวของเนื้อเยื่อในช่องปากต่ออะคริลิกที่ใช้เป็นวัสดุทำฐานฟันปลอมนั้นขึ้นกับปริมาณของโมโนเมอร์ที่ตกค้าง และเพิ่มมากขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มของโมโนเมอร์ที่ตกค้างในเนื้อเรซิน นอกจากนี้โมโนเมอร์ที่ตกค้างในเนื้อเรซินในปริมาณสูงส่งผลต่อคุณสมบัติของเรซินโดยลดกำลังแรงดึง และเพิ่มการดูดน้ำ (Dogan et al., 1995)

#### ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการตกค้างของโมโนเมอร์

ก. ประเภทของอะคริลิกที่ใช้บ่ม อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนจะมีปริมาณโมโนเมอร์ตกค้างร้อยละ 0.5 (Smith and Bains, 1955) น้อยกว่าอะคริลิกชนิดบ่มได้เองซึ่งมีร้อยละ 1-4 (Craig, 1993)

ข. ความหนาของอะคริลิกที่ใช้บ่ม

Sadamori et al. (1994) ศึกษาปริมาณโมโนเมอร์ที่ตกค้างในเรซินที่ความหนาต่างๆกัน พบว่า วิธีการบ่มและความหนา มีความแตกต่างของปริมาณโมโนเมอร์ที่ตกค้างอย่างมีนัยสำคัญ อะคริลิกที่หนาจะมีปริมาณโมโนเมอร์ตกค้างน้อยกว่าอะคริลิกที่บาง ซึ่งสนับสนุนการทดลองของ Austin and Basker (1980) ด้วยเหตุผลที่ว่าในอะคริลิกที่หนามีอุณหภูมิสูงกว่าอะคริลิกที่บาง (อธิบายในรูปที่ 2-9) เนื่องจากการเกิดความร้อนภายในเนื้ออะคริลิกขณะบ่ม ทำให้เกิดโพลีเมอร์ไรเซชันได้มาก จึงมีปริมาณโมโนเมอร์ตกค้างน้อยกว่า

### ค. วิธีการบ่ม

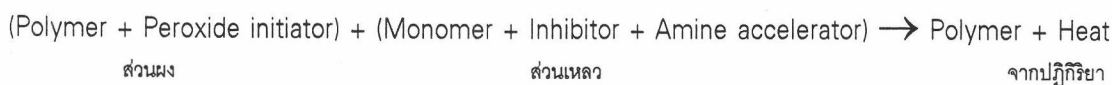
ทั้งเวลาและอุณหภูมิที่ใช้บ่มล้วนมีผลต่อปริมาณโมโนเมอร์ที่ตกค้างในเนื้ออะคริลิก (Smith, 1959) จากการศึกษาของ McCabe and Basker (1976) รายงานปริมาณโมโนเมอร์ที่ตกค้างร้อยละ 0.233 และ 0.186 ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อในช่องปาก และพบว่าอะคริลิกที่บ่มระยะยาวที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 7 ชั่วโมง ตามด้วย 100 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง มีโมโนเมอร์ตกค้างเพียงร้อยละ 0.045 เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Austin and Basker (1982); และ Dogan et al. (1995) ที่ใช้วิธีการบ่มระยะสั้น พบว่ามีปริมาณโมโนเมอร์ตกค้างมากกว่าบ่มระยะยาวถึง 7 เท่าโดยประมาณ ซึ่งมีผลต่อการระคายเคืองเนื้อเยื่อในช่องปาก แต่สิ่งสำคัญประการหนึ่งซึ่ง Turrell (1966) ได้ศึกษาถึงวัสดุที่ใช้ทำฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซิน เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อช่องปากน้อยมาก ซึ่งยังมีการศึกษาต่อเนื่องเพื่อให้ได้ผลที่ชัดเจนอยู่

## 4. อะคริลิกชนิดบ่มได้เองสำหรับประดิษฐ์ฐานฟันปลอม (Self-curing denture base acrylic resin)

ชื่อพ้อง cold curing, auto-polymerization, chemical activated materials, pour type)

### 4.1 ปฏิกริยาเคมี

องค์ประกอบทางเคมีเหมือนกับอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน เว้นแต่ตัวกระตุ้นไม่เหมือนกัน กล่าวคือ อะคริลิกชนิดบ่มได้เองใช้สารเคมีแทนความร้อน สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ เทอเทีย-รีอะไมน์ (tertiary amine) เติมลงในโมโนเมอร์ ปฏิกริยาเคมีระหว่างตัวกระตุ้นกับเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ที่อุณหภูมิห้องให้เรดิคัลอิสระ ซึ่งไปทำปฏิกิริยาห่วงโซ่ต่อไปเหมือนกับชนิดบ่มด้วยความร้อน ดังสมการ (Craig, 1993)



การผสมและอัดอะคริลิกชนิดบ่มได้เองเหมือนกับชนิดบ่มด้วยความร้อน มีบางเทคนิคผสมให้เหลวมากหน่อย แล้วเทหรือป้ายด้วยฟุ้งกลงในเบ้าโดยไม่อัดหรืออัดในพลาสติกภายใต้แรงดัน เรียกว่า fluid resin technique หรือ pour technique

#### 4.2 เรซินเหลว (Fluid resin)

มีการพัฒนาในช่วงปีค.ศ.1960 เทคนิคนี้จะผสมส่วนผงและส่วนเหลวในสัดส่วน 2.5 : 1 โดยปริมาตรให้เป็นเนื้อเดียวกันและเทผ่านรูเท (sprue) เข้าไปในแบบหล่อที่ทำจากไฮโดรคอลลอยด์ชนิดผันกลับได้ (reversible hydrocolloid) นำไปอัดพลาสติกในน้ำอุ่นด้วยแรงดัน 0.1-0.2 เมกะปาสคาล นาน 30-45 นาที สำหรับโพลีเมอไรเซชันเทคนิคนี้เป็นที่ยอมรับในทางคลินิก แม้จะมีกายภาพสมบัติบางประการต่ำกว่าอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน (Shepard, 1968)

##### 4.2.1 คุณสมบัติของเรซินเหลว (Bate et al, 1977)

- ค่ากำลังกระแทกและกำลังล้าต่ำ
- การเกิดครีฟ (creep) สูง
- กำลังดัดขวางต่ำ
- การละลายตัวสูง

##### 4.2.2 ข้อดีของเรซินเหลว (Anusavice, 1996; และ O'Brien, 1997)

- แยกชิ้นฟันปลอมออกจากแบบง่าย ไม่เกิดปัญหาการแตกหักของฟันปลอมหรือซีฟันปลอม
- ควบคุมขั้นตอนการบ่มอะคริลิกง่าย
- ใช้เวลาในการบ่มสั้น
- เพิ่มความแนบสนิทในส่วนฐานฟันปลอมกับเนื้อเยื่อที่รองรับข้างใต้
- วัสดุที่ใช้ทำแบบสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (reversible hydrocolloid)
- ลดต้นทุนการผลิต

##### 4.2.3 ข้อเสียของเรซินเหลว (Anusavice, 1996; และ O'Brien, 1997)

- ให้ความถูกต้องน้อยกว่าอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน เนื่องจากปริมาณโมโนเมอร์ที่เหลือตกค้างมาก ทำให้เกิดการหดตัวสูง การหดตัวของเรซินเหลวที่มากกว่าเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน ไม่มีผลในการลดความแข็งแรงของการยึดแน่นกับซีฟันปลอมอะคริลิก (Koblitz et al., 1975)
- ซีฟันปลอมมีโอกาสเคลื่อนตัวง่าย
- ถ้าผสมได้ความหนืดไม่เหมาะสม จะเกิดฟองอากาศจากปริมาณโมโนเมอร์ที่ตกค้างอยู่มากและการแทรกฟองอากาศ (air trap)
- ควบคุมเทคนิคการทำยาก เกิดความผิดพลาดค่อนข้างสูง
- ให้การยึดแน่นระหว่างซีฟันกับฐานอะคริลิกไม่ดี

- ราคาวัสดุสูงกว่าอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน 2-10 เท่า

การผสมส่วนผงและส่วนเหลวให้ได้ความหนืดที่เหมาะสมในการเทแบบ เป็นปัจจัยสำคัญที่พึงตระหนักรวมถึงการปรับปรุงเทคนิคในด้านต่างๆ เพื่อแก้ไขปัญหาจากข้อเสียเปรียบของเรซินเหลวนี้

Civjan, Huguet, and de Simon (1972) ได้ทำการปรับปรุงเทคนิคบางประการเพื่อเพิ่มการยึดแน่นระหว่างซีฟันปลอมกับเรซินเหลว โดย

ก. ดัดแปลงซีฟันอะคริลิก โดย

- ไม่มีการปรับสภาพพื้นผิวด้านใต้ของซีฟัน
- ปรับสภาพพื้นผิวด้านใต้ของซีฟันด้วยการทาโมโนเมอร์
- ปรับสภาพพื้นผิวด้านใต้ของซีฟันโดยการกรอให้หยาบ

ข. ดัดแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มที่อุณหภูมิ 72, 100, 150 และ 212 องศาฟาเรนไฮด์

ค. ดัดแปลงความดันที่ใช้ในการบ่มที่ความดัน 15 และ 40 ปอนด์

ผลการทดลองพบว่า ความแข็งแรงของการยึดแน่นระหว่างซีฟันปลอมกับฐานฟันปลอมอะคริลิก

- ในกลุ่มที่ไม่มีมีการปรับสภาพพื้นผิวด้านใต้ของซีฟัน อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มความแข็งแรงของการยึดแน่น แต่ไม่ถึงค่าต่ำสุดที่กำหนดไว้

- การเพิ่มแรงดันหรือปรับสภาพด้วยโมโนเมอร์ ไม่มีผลในการเพิ่มความแข็งแรงของการยึดแน่น ซึ่งค้านกับการทดลองของ Rupp, Bowen, and Paffenbarger (1971) และ Chiayi, Frank, and Birns (1984) ที่ใช้สารเคมีทาพื้นผิวด้านใต้ของซีฟันก่อนอัดอะคริลิก พบว่าช่วยเพิ่มความแข็งแรงต่อการยึดแน่นได้

- การกรอพื้นผิวด้านใต้ของซีฟันปลอมออกให้หยาบ พบว่าเพิ่มความแข็งแรงของการยึดแน่นได้อย่างมีนัยสำคัญซึ่งสูงกว่าค่าต่ำสุดที่กำหนดไว้เล็กน้อย แต่ก็ยังต่ำกว่ากลุ่มควบคุมที่ใช้อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้นการใช้เรซินเหลวเป็นฐานฟันปลอม ควรกรอพื้นผิวด้านใต้ของซีฟันให้หยาบ เพื่อผลในการเพิ่มความแข็งแรงของการยึดแน่นระหว่างซีฟันปลอมกับฐานฟันปลอม



4.3 เปรียบคุณสมบัติของอะคริลิกชนิดบ่มได้เองกับชนิดบ่มด้วยความร้อน (Moradians et al., 1982)

- ใช้ตัวกระตุ้นไม่เหมือนกัน
- ระยะเวลาผสมของชนิดบ่มได้เองเร็วกว่าชนิดบ่มด้วยความร้อน
- ฐานชนิดบ่มได้เองมีมากกว่า ถ้าใช้เทคนิคเทลงในแบบหล่อ ไม่ใช้แรงอัด
- ชนิดบ่มได้เองมีโมโนเมอร์ตกค้างมากกว่า คือ ตกค้างระหว่างร้อยละ 2-5 เพราะไม่ใช้ความร้อนไล่ส่วนที่เหลือ
- กำลังความแข็งแรงต่ำกว่าชนิดบ่มด้วยความร้อนประมาณร้อยละ 20
- การเปลี่ยนมิติน้อยกว่าชนิดบ่มด้วยความร้อน
- ชนิดบ่มได้เองเมื่อใช้ไปนาน ๆ จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองแกมน้ำตาลของเทอเทียรีอะไมด์

5. อะคริลิกชนิดบ่มด้วยแสงสำหรับประดิษฐ์ฐานฟันปลอม (Light-cured denture base materials)

#### 5.1 ปฏิกริยาทางเคมี

อะคริลิกชนิดบ่มด้วยแสงประกอบด้วยยูรีเทนเมทิลเมทาคริเลตกับระบบไดคีโตน-อะไมด์ (Urethane methylmethacrylate and Diketone-Amine system) และวัสดุอุดแทรกซิติลิกา โดยใช้แสงเห็นด้วยตาเปล่า (visible light) ช่วงความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตรเป็นตัวกระตุ้นสารเริ่มต้น

ยูรีเทน เป็นโพลีเมอร์ที่อ่อนตัวเมื่อถูกความร้อน ซึ่งเตรียมได้จากปฏิกิริยาควบนั่นของโพลีไอโซไซอะเนตกับไฮดรอกซีคอมพาวด์ (Polyisocyanate and hydroxy compound) เช่น โพลีอัลกอฮอล์ (polyol) มีมอดูลัสยืดหยุ่นสูงทนต่อความชื้น และมีความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าสูง

#### 5.2 คุณสมบัติ

##### 5.2.1 ข้อดี

- ประหยัดเวลา
- มีเวลาดกแต่งก่อนนำไปบ่มนาน
- เปลี่ยนมิติน้อย
- ทนต่อการฉีกขาด
- ใช้กับงานซ่อม (repair) ฐานฟันปลอม (base and postdam lining) และสร้างภาชนะพิมพ์ปาก (impression tray)

- ไม่มีเมทิลเมทาคริเลตโมโนเมอร์ที่ก่อให้เกิดระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อช่องปาก
- ลดการหดตัวจากโพลีเมอร์ไรเซชัน

#### 5.2.2 ข้อเสีย

- ราคาสูง
- ลดมอดุลัสยืดหยุ่น

### 6. วัสดุประดิษฐ์ฐานฟันปลอมชนิดฉีดเข้าแบบหล่อ (Injection molded denture base materials)

#### 6.1 คุณสมบัติทั่วไป

ประกอบด้วยโพลีเมอร์ร่วมของไวนิลคลอไรด์กับเมทิลเมทาคริเลต (copolymer of vinyl chloride and methylmethacrylate) ใช้ฉีดเข้าแบบหล่อทางรูเท ขณะอยู่ในสภาวะเหลว ขึ้นตอนและวิธีการอัดยุ่งยาก อุปกรณ์มีราคาแพง และกลสมบัติบางอย่างด้อยกว่าอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

#### 6.2 วัสดุที่ใช้ (O'Brien; 1997)

##### 6.2.1 อะคริลิกเรซิน

เป็นโพลีเมทิลเมทาคริเลตชนิดเส้นตรง (linear PMMA) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (MW=150,000) มีโมโนเมอร์เหลือตกค้างน้อย ที่สำคัญคืออะคริลิกนี้ไม่มีสารเชื่อมไข้ว จะเหลวขณะฉีดเข้าแบบหล่อ และจากน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำทำให้ไม่ต้องใส่ตัวทำให้นุ่มมากเหมือนกับอะคริลิก ชนิดบ่มด้วยความร้อน

##### 6.2.2 โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate)

มีความเหนียว ไม่เหมาะในการฉีดเข้าแบบหล่อ ไม่ใส่สารเชื่อมไข้ว จึงทำให้มีความต้านทานต่อการเกิดครีฟและรอยร้าวต่ำ และก่อให้เกิดปัญหาในการยึดแน่นกับซีฟฟันปลอม

##### 6.2.3 ไนลอนและโพลีอะไมด์ (Nylon and polyamides)

ในระยะแรกของการใช้ในลอนทางทันตกรรมไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากเกิดครีฟมาก ต่อมาพัฒนาโดยเติมใยแก้วเพื่อเสริมความแข็งแรง (glass-fiber reinforce nylons) และการดูน้ำต่ำ เช่น ไนลอน 66

## 7. วัสดุประดิษฐ์ฐานฟันปลอมที่ดัดแปลง (Modified denture base materials)

### 7.1 วัสดุชนิดทนต่อแรงกระแทก (high impact acrylic) (Craig, 1993; O'Brien, 1997)

เป็นวัสดุที่ทนต่อแรงกระแทกสูงกว่าอะคริลิกธรรมดา โดยการเติม butadiene-styrene rubber ไปเชื่อมกับเมทิลเมทาคริเลตที่จะยึดกับอะคริลิก ทำให้เพิ่มความแข็งแรงและยับยั้งการเกิดรอยร้าว ขั้นตอนและวิธีการอัดเหมือนกับอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนต่างกันตรงโมโนเมอร์ที่ใช้จะไม่มีสารเชื่อมไขว้หรือมีในปริมาณเล็กน้อย

### 7.2 อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนแข็งตัวเร็ว (Rapid heat-polymerized resins) (Craig, 1993)

เป็นการพัฒนาเทคนิคบางอย่างให้เร็วขึ้นและดีขึ้น โดยการนำไฮบริดอะคริลิก (hybrid acrylic) มาโพลีเมอไรซ์ในน้ำเดือดทันทีหลังอัดอะคริลิกนาน 20 นาที ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและแยกชั้นฟันปลอมออกจากพลาสติก

### 7.3 ฐานฟันปลอมชนิดทึบแสงรังสี (Radiopaque denture base)

สารทึบแสง ได้แก่ ดีบุกผสมโมโนเมอร์ เช่น ไทริบิวทิลดีบุกเมทาคริเลต (tributyl tin methacrylate) มีดีบุกร้อยละ 5 ในไทริบิวทิลดีบุกเมทาคริเลต และปริมาณของไทริบิวทิลดีบุกเมทาคริเลตร้อยละ 40 ของโมโนเมอร์โดยประมาณ

ไทริบิวทิลดีบุกเมทาคริเลตให้คุณสมบัติทึบแสงรังสีช่วยในการวินิจฉัยเมื่อกลืนโดยบังเอิญ

### 7.4 ฐานฟันปลอมอะคริลิกชนิดดูดซับน้ำ (Hydrophilic denture base resin) (Barsby and Braden, 1979)

อาศัยคุณสมบัติของอะคริลิกที่ชอบน้ำมาผลิตฐานฟันปลอม ประกอบด้วยส่วนผงที่เป็นโพลีเมทิลเมทาคริเลตกับส่วนเหลวเป็นเมทิลเมทาคริเลตและไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (hydroxy ethyl methacrylate) ทำให้ส่วนเมทริกซ์ (matrix) มีการดูดซับน้ำมากกว่าส่วนแอดดิทีฟ (additive) สำหรับเรซินที่บ่มแล้ว จึงอาศัยหลักการนี้มาใช้ในการเพิ่มการยึดเกาะให้กับฟันปลอมด้วยการดูดซับของเหลวในช่องปาก แต่พบว่าคุณสมบัติต่าง ๆ ด้อยกว่าอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน จากการทดลองของ Hargreaves (1978) พบว่าอะคริลิกชนิดนี้ดูดน้ำมากถึงร้อยละ 3-4 มีผลต่อมิติเสถียรของฟันปลอม เนื่องจากค่าที่ยอมรับได้ที่ไม่ส่งผลต่อมิติเสถียรของอะคริลิกประมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักโดยน้ำหนัก (2 % w/w) ทำให้เกิดปัญหาความไม่เหมาะสมของฐานฟันปลอมที่ขยายตัวจากการดูดซับน้ำเข้าไป และฟันปลอมมีโอกาสแตกหักได้

### ซีฟันปลอมอะคริลิก (Acrylic teeth)

เป็นซีฟันปลอมสำเร็จรูปเตรียมจากโพลีเมทิลเมทาคริเลต มีรูปร่าง ขนาดและสีต่างๆกัน มักเติมสารเชื่อมไขว้ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและป้องกันการเกิดรอยร้าวเล็กๆ ในซีฟันปลอม

#### 1. คุณสมบัติของซีฟันปลอมอะคริลิก

- ให้การยึดแน่นทางเคมีอย่างดีกับโพลีเมทิลเมทาคริเลตที่ใช้ทำฐานฟันปลอม
- ไม่เป็นพิษ ไม่ละลายในช่องปากแต่ละลายในตัวทำละลายบางตัว เช่น คีโตน (ketones) และอะโรเมติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbon)
- มีคุณสมบัติต้านทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) และมีความอ่อน (softness)
- สารเชื่อมไขว้ที่ใส่จะทำให้เกิดการยึดแน่นกับฐานอะคริลิกยากขึ้น

ข้อกำหนดเลขที่ 15 ของสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกาได้ระบุคุณสมบัติของฟันอะคริลิก (ANSI/ADA Specification No.15 for acrylic teeth) ไว้ดังนี้

- ก. วัสดุที่ใช้อาจเป็นโพลีเมอร์ของเอสเทอร์ของกรดอะคริลิก หรือโพลีเมอร์ร่วมของส่วนผสมนี้
- ข. สีและขนาดใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ
- ค. สามารถยึดกับฐานฟันปลอมอะคริลิกด้วยแรงยึดทางเคมี (chemical bonds) ต่อกันไม่น้อยกว่า 315 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (31 เมกะปาสกัล หรือ 4,500 ปอนด์/ตารางนิ้ว หรือ 31 เมกะนิวตัน/ตารางเมตร)
- ง. ความแข็งผิวรูปไม่น้อยกว่า 15 กิโลกรัม / ตารางมิลลิเมตร
- จ. ไม่เปลี่ยนสี
- ฉ. ไม่แตกร้าวง่ายทั้งก่อนและหลังบ่มอะคริลิก

#### 2. วิธีอัดและบ่ม

2.1 แบบแยกชิ้น (dough moulding technique) ใช้อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนอัดในเบ้าแบบเดียวกับอัดฐานฟันปลอม

2.2 แบบฉีด (injection moulding technique) อบผงโพลีเมทิลเมทาคริเลตให้อ่อนตัว แล้วฉีดเข้าไปในแบบ ปล่อยให้เย็นตัว

### 3. การพัฒนาคุณสมบัติของซีฟันปลอมอะคริลิก

ปัจจัยสำคัญ 2 ประการที่ต้องการของซีฟันปลอม คือ มีความทนทานต่อการขัดสีและให้การยึดแน่นกับฐานฟันปลอม ฟันพอร์ซเลนมีลักษณะเด่นใกล้เคียงฟันธรรมชาติ แต่ให้การยึดกับฐานอะคริลิกได้ไม่ดี ในทางกลับกัน ซีฟันอะคริลิกที่เตรียมจากโพลีเมทิลเมทาคริเลตชนิดเส้นถึงจะมีความต้านทานต่อการขัดสีต่ำ แต่ถ้าเติมสารเชื่อมไขว้เป็นส่วนประกอบในซีฟันจะตอบสนองต่อการขัดสีในลักษณะการยืดตัวของผิวตามแรง (ductile) (Raptis, Powers, and Fan, 1981) ซึ่งแก้ไขปัญหานี้ได้และปัจจุบันนำมาใช้ทางคลินิกแล้ว (Whitman et al., 1987; และ von Fraunhofer, Razavi, and Khan, 1988)

#### 3.1 ซีฟันปลอมชนิดทนทานต่อการขัดสี (High strength acrylic teeth)

เกิดจากการรวมเอาสายโซ่โพลีเมอร์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนจำนวน 2 สาย หรือมากกว่าเข้าด้วยกัน เกิดเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนอย่างถาวร ซึ่งเป็นผลในการพัฒนาคุณสมบัติต่าง ๆ โดยเฉพาะความสามารถในการทนทานต่อการขัดสี นอกเหนือจากความสวยงามและโพลีเมอร์ที่ได้สะดวกแล้ว ซีฟันปลอมเหล่านี้จะมีสารเชื่อมไขว้เป็นส่วนประกอบ เช่น Trubite Bioform IPN 20 (Dentsply) และ Livdent FB 20 Plastic 100 (GC) ซึ่งผลิตโดยใช้ปฏิกิริยาโคโพลีเมอร์ไรเซชันของเมทิลเมทาคริเลต (MMA) ที่มีไตรเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต (triethylene glycol dimethacrylate, TEGDMA) เป็นสารเชื่อมไขว้อยู่ปริมาณเล็กน้อยในส่วนผงของโพลีเมทิลเมทาคริเลต (partially cross-linked acrylic with PMMA powders) หรือ Crystal ND (Major) และ SR-Orthosit-PE (Ivoclar) ซึ่งเป็นซีฟันที่มีสารเชื่อมไขว้ชนิดคอลลอยดอลด์ ซิลิกา (colloidal silica) ในปริมาณสูง เป็นสารอัดแทรกแทนส่วนผงของโพลีเมทิลเมทาคริเลต (highly cross-linked acrylic with composite filler) (Suzuki, Sakoh, and Shiba, 1990)

จากการเชื่อมเป็นโครงสร้างตาข่ายโพลีเมอร์ที่แข็งแรงและมีความเสถียรทางเคมีของซีฟันปลอมชนิดทนทานต่อการขัดสี เมื่อสัมผัสกับตัวทำละลาย เช่น โมโนเมอร์ ก็จะเพียงแค่วมตัวแทนที่จะละลาย ทำให้การยึดแน่นกับฐานอะคริลิกเป็นไปได้ยากขึ้น (Whitman et al., 1987; Caswell and Norling, 1986; และ Kawara et al., 1991)

#### 3.2 ซีฟันปลอมแบบอัดหลายชั้น (Multilithic acrylic teeth)

เป็นการรวมตัวระหว่างคอมโพสิตเรซิน (composite resin) กับอะคริลิกเรซินชนิดธรรมดา (conventional acrylic resin) ซึ่งมีข้อได้เปรียบในแง่ทนทานต่อการขัดสีจากคอมโพสิตเรซินและให้การยึดแน่นกับฐานฟันปลอมจากอะคริลิกเรซิน (Kawara et al., 1991)

โครงสร้างที่เป็นเครือข่ายของสารเชื่อมไข้ว สามารถเพิ่มคุณสมบัติและกายภาพสมบัติต่อ อะคริลิกเรซินได้ เช่น ความแข็งแรงกด (compressive strength) ความแข็งผิว (hardness) และมีความทนทานต่อการขัดสี อย่างไรก็ตามโพลีเมอร์ที่มีสารเชื่อมไข้วปริมาณสูง มีแนวโน้มจะเกิด ปัญหาใหม่ๆในทางคลินิกเมื่อนำมาใช้ทำซีฟันปลอม ปัญหาหนึ่งที่พบบ่อย คือ ซีฟันปลอมหลุด ออกจากฐานอะคริลิก เนื่องจากการยึดแน่นไม่ดีกับฐานฟันปลอม ซึ่งแสดงให้เห็นในซีฟันพอร์ซเลนที่ไม่มีการยึดแน่นกับฐานเรซิน อันเป็นข้อเสียเปรียบอย่างมีนัยสำคัญ (Suzuki, Sakoh, and Shiba, 1990)

### การยึดแน่นระหว่างซีฟันปลอมกับฐานฟันปลอมอะคริลิก (Bonding between acrylic teeth and denture base)

#### 1. หลักทฤษฎีการเกิดการยึดแน่นของซีฟันปลอมกับฐานอะคริลิก

การยึดแน่นระหว่างซีฟันปลอมกับฐานอะคริลิกเป็นการยึดแน่นทางเคมีเกิดจาก โมโนเมอร์อิสระที่เหลืออยู่จากการผสมอะคริลิกจนถึงระยะอ่อนนุ่ม สัมผัสและละลายผิวของซีฟันปลอมอย่างเพียงพอและเป็นระยะเวลาสั้น ทำให้โมโนเมอร์ซึมผ่านชั้นพื้นผิวของซีฟันปลอมได้ เมื่อมีโพลีเมอร์เซชันจากการบ่มด้วยความร้อน โมโนเมอร์ส่วนนี้ก็จะเกิดปฏิกิริยาผ่านรอยต่อของซีฟันกับฐานอะคริลิก และเกิดการยึดแน่นทางเคมีขึ้น ถ้าอะคริลิกที่ผสมระยะอ่อนนุ่มเป็นเวลานานก่อนการอัด จะเหลือปริมาณโมโนเมอร์เพียงเล็กน้อยที่จะสัมผัสกับผิวซีฟันปลอม ทำให้เกิดการยึดตรงบริเวณรอยต่อระหว่างซีฟันปลอมกับฐานอะคริลิกไม่ดี (Anderson, 1958)

ประสิทธิภาพของการยึดแน่น (Chung, Clark, and Darvell, 1995) ขึ้นกับ

- อัตราการแพร่กระจายของเมทิลเมทาคริเลตจากเนื้ออะคริลิกที่ผสมก่อนการบ่ม
- เวลาที่เหมาะสมในการแพร่กระจายของเมทิลเมทาคริเลต
- ความสะอาดของพื้นผิวที่จะเกิดการยึดแน่น

#### 2. ปัจจัยที่มีผลต่อการยึดแน่นของซีฟันปลอมกับฐานอะคริลิก

##### 2.1 กระบวนการทางห้องปฏิบัติการ

กระบวนการเปลี่ยนฐานฟันปลอมชั่วคราวที่มีกระสวนซี่ฝังยึดติดกับซีฟันปลอมมาเป็น ฐานอะคริลิก เป็นขั้นตอนทางห้องปฏิบัติการที่สำคัญและส่งผลต่อความแข็งแรงของการยึดแน่น ระหว่างซีฟันปลอมและฐานอะคริลิก

2.1.1 การลงพลาสติก เป็นการเตรียมแบบหล่อเพื่อใช้เป็นเบ้าในการอัดอะคริลิก

2.1.2 การกำจัดขี้ผึ้ง เป็นขั้นตอนที่มีผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงของการยึดแน่นระหว่างซีฟันกับฐานอะคริลิก ซึ่งจากการทดลองของ Schoonover et al., (1952) ที่เปรียบเทียบการยึดแน่นกับฐานอะคริลิกระหว่างซีฟันปลอมที่ไม่เคยสัมผัสกับขี้ผึ้งกับซีฟันปลอมที่ยึดกับขี้ผึ้ง และมีการกำจัดขี้ผึ้งด้วยเทคนิคมาตรฐานต่าง ๆ ที่ใช้เตรียมทำฐานฟันปลอม พบว่าการใช้น้ำเดือดทำความสะอาดเพียงอย่างเดียว ไม่เพียงพอในการกำจัดขี้ผึ้งออกให้หมดได้ และแม้ว่าสารละลายคีโรซีน-อีเทอร์ (kerosene-ether) อัตราส่วน 1:1 จะเป็นวิธีการที่ยอมรับในการกำจัดขี้ผึ้ง แต่เป็นสารที่อันตรายติดไฟง่าย มีกลิ่นเหม็น และราคาสูง จึงไม่เหมาะที่จะใช้ในทางทันตกรรม วิธีการกำจัดขี้ผึ้งอย่างมีประสิทธิภาพ คือ ใช้สารละลายผงซักฟอกความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ทำให้ร้อน (ผงซักฟอก 1 ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 1/8 แกลลอน หรือ 437.17 มิลลิลิตร) ตามด้วยน้ำเดือดทำความสะอาดสารละลายที่ตกค้างซ้ำอีกครั้ง จะให้ค่าความแข็งแรงของการยึดแน่นใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมที่ซีฟันปลอมไม่เคยสัมผัสขี้ผึ้ง และสูงกว่าค่าต่ำสุดที่ ANSI/ADA 15 รับรอง ซึ่งสูงกว่ากลุ่มทดลองที่ซีฟันปลอมสัมผัสขี้ผึ้งและใช้น้ำเดือดกำจัดขี้ผึ้งเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญ เทคนิคการกำจัดขี้ผึ้งด้วยวิธีนี้ได้รับการรับรองจาก ADA (1976-1978)

Spratley (1987) เสนอแนะว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมใช้กำจัดขี้ผึ้งไม่ควรต่ำกว่า 90 องศาเซลเซียส (194 องศาฟาเรนไฮต์) ถ้าต่ำกว่านี้จะไม่มีประสิทธิภาพพอที่จะกำจัดขี้ผึ้งออกได้หมด และควรทำให้พลาสติกร้อนก่อนที่จะกำจัดขี้ผึ้ง เพื่อให้ขี้ผึ้งอ่อนตัว ง่ายต่อการกำจัดออก

2.1.3 การทาสารคั่นกลาง

Schoonover et al., (1952); Morrow et al., (1978); และ Catterlin, Plummer, and Gulley (1993) พบว่าการปนเปื้อนของสารคั่นกลางที่บริเวณรอยต่อระหว่างซีฟันปลอมกับฐานอะคริลิก จะลดความแข็งแรงของการยึดแน่นลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากสารคั่นกลางเป็นตัวป้องกันไม่ให้เกิดการยึดแน่นระหว่างซีฟันปลอมกับฐานอะคริลิก แต่จากการทดลองของ Spratley (1987) กลับให้ผลในทางตรงกันข้าม กล่าวคือ สารคั่นกลางไม่มีผลต่อการยึดแน่นของซีฟันปลอมกับฐานฟันปลอมทั้งนี้อาจเนื่องมาจากขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทดลองเป็นกลุ่มเล็กและขั้นตอนกำจัดขี้ผึ้งที่ไม่ได้มาตรฐาน ทำให้ได้ผลการทดลองในลักษณะเช่นนี้

2.1.4 การผสมส่วนผงโพลีเมอร์และส่วนเหลวเมทิลเมทาคริลิตโมโนเมอร์ อัตราส่วนผสมควรเป็นไปตามบริษัทผู้ผลิตกำหนด โดยทั่วไปใช้ 3:1 โดยปริมาตร หรือ 2.5:1 โดยน้ำหนัก ยกเว้นกรณีเรซินเหลว ซึ่งเป็นอะคริลิกบ่มได้เองจะใช้สัดส่วน 30 : 12 (2.5 : 1) โดยปริมาตร เพื่อให้ได้เรซินที่ผสมมีลักษณะเหลว ความหนืดต่ำ ง่ายต่อการเทเข้าแบบหล่อ (Shepard, 1968)

การผสมในสัดส่วนที่ถูกต้องทำให้ลดปัญหาการบิดเบี้ยว จากอะคริลิกหดตัวหลังบ่มหรือเกิดฟองอากาศที่ทำให้อะคริลิกหลังบ่มไม่แข็งแรง ซึ่งส่งผลต่อการยึดแน่นระหว่างซีฟัพกับฐานอะคริลิกที่ไม่แข็งแรงนี้ได้

2.1.5 การอัดอะคริลิก ควรอัดในระยะอ่อนนุ่มตามบริษัทผู้ผลิตกำหนด ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา ถ้าอัดเกินระยะนี้ไปแล้ว ปริมาณโมโนเมอร์ที่จะละลายผ่านผิวพื้นเข้าไปทำปฏิกิริยาและเกิดแรงยึดแน่นจะเหลือน้อย เป็นผลให้การยึดแน่นระหว่างซีฟัพกับฐานอะคริลิกลดความแข็งแรงลง

2.1.6 วิธีบ่ม เลือกให้เหมาะสมกับชนิดและสภาพของอะคริลิก

อะคริลิกที่มีปริมาณมากหรือหนามาก ขณะเกิดโพลีเมอไรเซชันจะมีอุณหภูมิสูงกว่าที่มีปริมาณน้อยหรือบาง และมีโอกาสเกิดฟองอากาศได้มากกว่า จึงควรบ่มที่อุณหภูมิต่ำและใช้เวลานาน (74 องศาเซลเซียส นาน 9 ชั่วโมง)

- อะคริลิกที่หนาจะมีปริมาณของโมโนเมอร์ที่ตกค้างน้อยกว่าอะคริลิกที่บาง (Austin and Basker, 1980; และ Sodamori et al, 1990)

- อะคริลิกที่บ่มระยะสั้นมีปริมาณโมโนเมอร์ตกค้างมากกว่าบ่มระยะยาว 7 เท่า โดยประมาณ (Smith, 1959; Austin and Basker, 1982; Craig, 1993; และ Dogan et al, 1995)

- โมโนเมอร์ที่ตกค้างในเนื้อเรซินปริมาณสูงจะลดกำลังแรงดึงและดูดน้ำมากขึ้น (Dogan et al, 1995) ส่งผลต่อความแข็งแรงของการยึดแน่นระหว่างซีฟัพปลอมและฐานอะคริลิก Polyzois and Dahl (1993) เปรียบเทียบการยึดแน่นระหว่างซีฟัพปลอมกับฐานอะคริลิกที่บ่มด้วยความร้อนกับไมโครเวฟ พบว่าวิธีการบ่มด้วยไมโครเวฟให้การยึดแน่นต่ำกว่าบ่มด้วยความร้อนจากฟองอากาศที่เกิดเนื่องจากไมโครเวฟจะควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอไรเซชันยาก และปฏิกิริยาที่ได้เป็นชนิดคายความร้อน ทำให้อุณหภูมิในเนื้ออะคริลิกสูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือดของโมโนเมอร์ เป็นผลทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้ออะคริลิก ลดความแข็งแรงของการยึดแน่นระหว่างซีฟัพปลอมกับฐานอะคริลิกลง

จะเห็นว่าขั้นตอนต่างๆทางห้องปฏิบัติการ ล้วนมีผลต่อความแข็งแรงของการยึดแน่นระหว่างซีฟัพปลอมกับฐานอะคริลิก จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการควบคุมเทคนิคและตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ซึ่ง Cunningham และ Benington (1995) ได้ทดลองให้เห็นแล้วว่าเป็นสิ่งสำคัญที่จะให้การยึดแน่นระหว่างซีฟัพปลอมกับฐานอะคริลิกเป็นที่ยอมรับได้



## 2.2 การปรับสภาพพื้นผิวของซีฟันทึบที่ปลอมที่จะให้การยึดแน่น

หลักการเบื้องต้นในการเกิดการยึดแน่นอย่างมีประสิทธิภาพ คือ ทำให้พื้นผิวที่จะยึดแน่นนั้นสะอาดและแห้ง (van Noort, 1994) นอกจากนี้ยังมี

### 2.2.1 การกรอผิวด้านใต้ของซีฟันทึบที่ปลอม ทำให้

- เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและให้การยึดอยู่ทางกล
- โอกาสที่ฟองอากาศแทรกอยู่ระหว่างรอยต่อของซีฟันทึบที่ปลอมและฐานอะคริลิกเกิดมากขึ้น
- เกิดความแตกต่างของพลังงานอิสระที่ผิวพื้นเมื่อเทียบกับผิวที่ไม่กรอ

มีหลายการศึกษาที่พบว่าการกรอพื้นผิวด้านใต้ของซีฟันทึบที่ปลอมออก เป็นการเพิ่มความแข็งแรงของการยึดแน่นระหว่างซีฟันทึบที่ปลอมกับฐานอะคริลิก แต่มีการศึกษาหนึ่ง (Spratley, 1987) รายงานว่าไม่มีผลในการเพิ่มความแข็งแรงของการยึดแน่น เหตุผลที่อธิบายได้คือพื้นผิวที่กรอให้หยาบนั้น ยากที่จะกำจัดสิ่งสกปรกที่ตกค้างออกให้หมดได้ นอกจากนี้โอกาสที่ฟองอากาศจะแทรกอยู่ระหว่างรอยต่อที่จะให้การยึดแน่นก็มีมาก ซึ่งอาจเป็นผลทำให้ลดความแข็งแรงของการยึดแน่นลงได้

### 2.2.2 การใช้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวด้านใต้ของซีฟันทึบที่ปลอม

ซีฟันทึบที่ปลอมที่มีสารเชื่อมไขว้ปริมาณสูง มีความทนทานต่อการขัดสีดี แต่ให้การยึดแน่นกับฐานอะคริลิกได้ไม่ดีเนื่องจากมีความเสถียรทางเคมี ในการขัดอะคริลิกกระยะอ่อนนุ่ม โมโนเมอร์ส่วนที่เหลือที่สัมผัสกับผิวของซีฟันทึบที่ปลอมที่จะให้การยึดแน่น จะเพียงแต่ทำให้ผิวของซีฟันทึบที่ปลอมบวมตัว แต่ไม่ละลาย เมื่อเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน บริเวณรอยต่อส่วนนี้จึงให้ความแข็งแรงของการยึดแน่นได้ไม่ดี การใช้สารเคมีบางตัว เช่น 4-META สามารถปรับปรุงข้อด้อยของซีฟันทึบที่ปลอมประเภทนี้ได้ โดยทาที่ผิวด้านใต้ของซีฟันทึบที่ปลอมก่อนการขัดอะคริลิก 4-META จะไปละลายผิวของซีฟันทึบที่ปลอม เป็นผลทำให้โมโนเมอร์สามารถซึมผ่านเข้าไปในผิวของซีฟันทึบที่ปลอมได้ ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันตรงรอยต่อนี้ด้วย จึงมีผลในการเพิ่มความแข็งแรงของการยึดแน่นกับฐานอะคริลิกได้ (Suzuki, Sakoh, and Shiba, 1990)

สารละลายโมโนเมอร์สามารถกำจัดส่วนเกินของสารคั่นกลางและสิ่งสกปรกทั้งหลายที่ปนเปื้อนอยู่ที่พื้นผิวด้านใต้ของซีฟันทึบที่ปลอม เพื่อให้สภาพพื้นผิวที่จะยึดแน่นมีความสมบูรณ์ก่อนการขัดอะคริลิก เหตุผลดังกล่าวนี้เป็นสิ่งที่พึงตระหนักในการนำไปใช้ในทางปฏิบัติ เพื่อลดปัญหาการหลุดของซีฟันทึบที่ปลอมออกจากฐานอะคริลิก แต่มีบางการศึกษา (Morrow et al, 1978; และ

Spratley, 1987) ที่รายงานว่า การทาสารละลายโมโนเมอร์ไม่มีผลในการเพิ่มความแข็งแรงของการยึดแน่นกับฐานอะคริลิก

### 2.2.3 การกรอทำร่องยึดที่ผิวด้านใต้ของซีฟันปลอมอะคริลิก ให้ผลในแง่

- เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างซีฟันปลอมกับฐานอะคริลิก
- สร้างการยึดอยู่ทางกล

จากข้อได้เปรียบเหล่านี้ Cardash, Liberman, และ Helft (1986) ทดลองกรอทำร่องยึดที่พื้นผิวด้านใต้ของซีฟันปลอมในแนวใกล้กลางและไกลกลาง (mesio-distal direction) โดยใช้หัวกรอ 3 รูปแบบ คือ หัวกรอพีชเชอร์ หัวกรออินเวอร์เตด และหัวกรอครึ่งวงกลม กำหนดทิศทางของแนวแรงทางด้านใกล้แก้ม (labial direction) ทดสอบค่ากำลังกดเฉือนโดยให้ส่วนปลายของซีฟันปลอมด้านใกล้ลิ้นเป็นตำแหน่งที่แนวแรงกดลงมา จะได้ทิศทางของแนวแรงทำมุม 130 องศา กับแนวแกนความยาวของซีฟัน พบว่าซีฟันในกลุ่มที่ไม่กรอทำร่องยึดแต่กรอให้ผิวมีความหยาบ จะเกิดการหักตรงบริเวณรอยต่อมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 80 ส่วนซีฟันที่กรอทำร่องยึดด้วยหัวกรอทั้ง 3 รูปแบบ เกิดการหักทั้งบริเวณที่เป็นรอยต่อและในส่วนเนื้ออะคริลิกที่ทนแรงกระแทก (high impact) ซึ่งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทั้งในกลุ่มที่กรอทำร่องยึดและระหว่างกลุ่มที่กรอทำร่องยึดกับไม่กรอทำร่องยึด หมายความว่า การกรอทำร่องยึดลงบนผิวด้านใต้ของซีฟันในแนวใกล้กลางและไกลกลางโดยเปลี่ยนรูปแบบของหัวกรอ ไม่มีผลในการเพิ่มความแข็งแรงของการยึดแน่นระหว่างซีฟันปลอมกับฐานอะคริลิกชนิดทนแรงกระแทก เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการกรอทำร่องยึด

จากการศึกษาต่อเนื่องของ Cardash et al., (1990) โดยใช้ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างและการทดสอบเหมือนกับการทดลองข้างต้น แต่เพิ่มทิศทางการกรอทำร่องยึดในแนวใกล้แก้มและใกล้ลิ้น (labio-lingual direction) โดยใช้หัวกรอพีชเชอร์เพียงรูปแบบเดียว เปรียบเทียบระหว่างอะคริลิกชนิดธรรมดา กับชนิดทนแรงกระแทก เมื่อใช้ฟันตัดกลาง ฟันตัดข้าง และฟันเขี้ยว พบว่าค่าแรงสูงสุดได้จากฟันเขี้ยวกรอทำร่องในแนวใกล้แก้มและใกล้ลิ้นที่ยึดกับอะคริลิกชนิดทนแรงกระแทกอย่างมีนัยสำคัญ และอะคริลิกชนิดทนแรงกระแทกมีความแข็งแรงสูงกว่าชนิดธรรมดาอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะพื้นที่ผิวสัมผัสด้านใต้ของซีฟันเขี้ยวมีมากกว่าฟันซี่อื่น และร่องยึดในแนวใกล้แก้มและใกล้ลิ้นมีข้อได้เปรียบเชิงกลเนื่องจากอยู่ใกล้จุดที่แรงกระทำ ทำให้แกนของคานสั้น จึงต้องใช้แรงมากขึ้นในการทำให้ซีฟันปลอมหลุดออกจากฐานอะคริลิก ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างประเภทของซีฟันกับการกรอทำร่องยึด และระหว่างกรอทำร่องยึดกับ

ประเภทของอะคริลิก พบเพียงความแตกต่างระหว่างประเภทของซีฟันกับฐานอะคริลิก ผลการทดลองนี้นำไปสู่ข้อสรุปในการแนะนำให้ทำร่องยึดเพื่อเพิ่มการยึดแน่นทางกายภาพและเคมี (physical and chemical bonding) ระหว่างซีฟันปลอมกับฐานอะคริลิก

ทั้ง 2 การทดลองนี้ ขึ้นตัวอย่างออกแบบให้ส่วนฐานอะคริลิกเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่ามีความหนา 3 มม. ยึดติดกับซีฟันปลอม 30 ซีใน 1 ขึ้นตัวอย่างและบ่มด้วยอะคริลิกชนิดแข็งตัวเร็ว ซึ่งทั้งรายละเอียดเกี่ยวกับความหนาของส่วนฐานที่หนา และบ่มด้วยอะคริลิกชนิดแข็งตัวเร็ว อาจมีข้อผิดพลาดที่จะส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของการยึดแน่นระหว่างซีฟันปลอมกับฐานอะคริลิกได้ เนื่องจากการบ่มระยะสั้น แม้จะเป็นไปตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต แต่ก็อาจพบปริมาณโมโนเมอร์ที่ตกค้างหลังการบ่มมากพอที่จะเกิดการหดตัว และเกิดฟองอากาศในเนื้ออะคริลิกได้ (Smith, 1959; Austin and Basker, 1982; และ Dogan et al., 1995) นอกจากนี้ขั้นตอนการยึดซีฟันปลอมเข้ากับฐานรูปสามเหลี่ยม ก็ไม่ได้อธิบายรายละเอียดที่ชัดเจนในการที่จะยึดให้ได้ค่ามุมระหว่างแนวแรงที่กระทำกับแนวแกนความยาวของซีฟันเป็น 130 องศาตามลักษณะการสบฟันแบบที่ 1 และการยึดซีฟันปลอมจำนวนมากเข้ากับฐานสามเหลี่ยมเพียง 1 ซีฟัน โดยใช้ซิลิโคนคลุมทับในการลงพลาสติกเพื่อให้ง่ายต่อการแกะขึ้นตัวอย่างออกจากพลาสติก ก็อาจมีการคลาดเคลื่อนของซีฟันออกจากฐานได้ เนื่องจากซิลิโคนมีความยืดหยุ่นสูงและการอัดอะคริลิกต้องใช้แรงดันในการอัดที่มากพอ เพื่อให้อะคริลิกแผ่ขยายเข้าไปจนเต็มเบ้า ข้อสังเกตเหล่านี้เป็นประเด็นที่น่าสนใจในการพิจารณาถึงค่าแรงที่ได้จากการทดสอบว่ามีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด และการกรอทำร่องยึดที่ใช้หัวกรอรูปแบบต่างๆ รวมถึงความลึกในการกรอทำร่องยึดและทิศทางของการกรอทำร่องยึด จะส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของการยึดแน่นระหว่างซีฟันปลอมกับฐานอะคริลิกได้หรือไม่ นั่น เป็นสิ่งที่ควรศึกษาต่อไป

### 2.3 การเลือกวัสดุที่ใช้ทำซีฟันปลอมและฐานฟันปลอม

หลักการคือ เลือกซีฟันปลอมที่ทำจากวัสดุชนิดเดียวกันหรือเข้ากันได้กับฐานฟันปลอมจากหลายๆ บทความได้กล่าวไว้ว่าซีฟันปลอมอะคริลิกจะเกิดการยึดแน่นกับฐานอะคริลิกได้ดี ถ้า ก. พื้นผิวของซีฟันที่จะยึดแน่นมีความสะอาด (Schoonover et al., 1952; Morrow et al., 1978; และ van Noort, 1994)

ข. ซีฟันปลอมต้องไม่มีสารเชื่อมไขว้ปริมาณสูงเกินไป (Anderson, 1958)

ค. อะคริลิกในระยะอ่อนนุ่ม เมื่อสัมผัสกับซีฟีนปลอมต้องไม่เกิดโพสิเมอร์เซชันเร็วเกินไป (Anderson, 1958; Rupp, Bowen, and Paffenbarger, 1971, และ Chung, Clark, and Darvell, 1995)

จากการศึกษาต่างๆที่ทำการทดสอบความแข็งแรงของการยึดแน่นโดยใช้ซีฟีนปลอมและฐานฟันปลอมแต่ละชนิด พอสรุปได้ดังนี้

จากการศึกษาของ Clency and Boyer (1989) และ Clency et al., (1991) ทดสอบกำลังแรงดึง โดยใช้ซีฟีนมาตรฐานกับชนิดทนทานต่อการขัดสี เปรียบเทียบความแข็งแรงของการยึดแน่นกับฐานอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน บ่มได้เอง และบ่มด้วยแสง ที่ผ่านปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ (thermocycling) พบว่าในส่วนอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนให้ความแข็งแรงสูงสุดตามด้วยชนิดบ่มได้เองและบ่มด้วยแสง ฐานอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนให้การยึดแน่นกับซีฟีนปลอมมาตรฐานสูงสุดและมากกว่าซีฟีนชนิดทนทานต่อการขัดสีอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าใช้อะคริลิกชนิดบ่มได้เองจะให้การยึดแน่นไม่ต่างกันชนิดของซีฟีน อะคริลิกชนิดบ่มด้วยแสงให้การยึดแน่นกับซีฟีนปลอมต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของอะคริลิกบ่มด้วยแสงพบว่า Triad มีความแข็งแรงสูงกว่า Extoral การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิไม่มีผลต่อความแข็งแรงของการยึดแน่นในอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนและบ่มด้วยแสงที่เป็น Triad แต่การยึดแน่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญใน Extoral ความสัมพันธ์นี้บ่งบอกถึงการเลือกใช้อะคริลิกบ่มด้วยความร้อนให้ค่าการยึดแน่นกับซีฟีนมาตรฐานสูงสุด ในขณะที่อะคริลิกชนิดบ่มได้เองและบ่มด้วยแสงนิยมใช้เป็นวัสดุซ่อมฟันปลอมเนื่องจากความแข็งแรงด้อยกว่า และถ้าจะเลือกใช้ซีฟีนปลอมชนิดทนทานต่อการขัดสีควรเลือกฐานอะคริลิกที่เป็นชนิดบ่มด้วยความร้อน ซึ่งให้ค่าการยึดแน่นสูงกว่าชนิดอื่น

Razavi, Khan และ von Fraunhofer (1990) ทดสอบกำลังเฉือนของการยึดแน่นระหว่างอะคริลิกชนิดบ่มด้วยแสงกับชนิดบ่มด้วยความร้อน 4 ชนิดด้วยกัน ไม่พบความแตกต่างในแต่ละกลุ่ม แต่ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทุกกลุ่มภายหลังแช่น้ำ 48 ชั่วโมง ซึ่งยอมรับได้ในทางคลินิก ดังนั้น ในการซ่อมฟันปลอมด้วยอะคริลิกชนิดบ่มด้วยแสง ควรแช่น้ำให้เกิดการอิมมัลเต็มที่ก่อนที่จะนำไปใช้งาน

จากการศึกษาของ Caswell and Norling (1986) เปรียบเทียบความแข็งแรงของการยึดแน่นระหว่างซีฟันปลอมชนิดทนทานต่อการขัดสี 3 ชนิด (IPN, Orthosit, Crystal ND) กับฐานอะคริลิกชนิดเชื่อมโยงและชนิดกึ่งเชื่อมโยง (cross-linked and grafted, cross-linked acrylic denture base) ทดสอบตาม ADA 15 และใช้ซีฟันปลอมที่ ADA รับรองเป็นกลุ่มควบคุม พบว่าซีฟัน Orthosit และ Crystal ND ที่มีสารเชื่อมโยงปริมาณสูงนั้นลดความแข็งแรงของการยึดแน่นกับฐานอะคริลิกอย่างมีนัยสำคัญไม่ว่าจะใช้ฐานอะคริลิกชนิดใด ส่วนซีฟัน IPN ที่มีสารเชื่อมโยงปริมาณน้อยกว่า พบว่าให้การยึดแน่นกับฐานอะคริลิกเชื่อมโยงได้ดีพอๆกับซีฟันปลอมมาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าสารเชื่อมโยงในซีฟันปลอมที่มีปริมาณสูงขึ้นเป็นปัจจัยสำคัญในการลดความแข็งแรงของการยึดแน่นกับฐานอะคริลิก

Suzuki, Sakoh and Shiba (1990) เปรียบเทียบการยึดแน่นระหว่างซีฟันปลอมที่มีสารเชื่อมโยงปริมาณต่างๆกันกับฐานอะคริลิก โดยวัดความลึกในการซึมผ่านของสีพบว่าซีฟันที่มีสารเชื่อมโยงปริมาณสูงมีการซึมผ่านของสีลึกกว่าซีฟันที่มีสารเชื่อมโยงปริมาณน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับฟันพอร์ซเลนที่มีการซึมผ่านของสีลึกที่สุด ซึ่งสรุปผลได้เช่นเดียวกับ Caswell และ Norling

มีผู้ศึกษาในลักษณะเดียวกันนี้แต่ได้ผลค้านกัน โดย Thean, Chew, and Goh (1996) เปรียบเทียบความแข็งแรงของการยึดแน่นระหว่างฐานอะคริลิกชนิดทนแรงกระแทกกับซีฟันปลอม 3 ชนิดประกอบด้วยซีฟันมาตรฐาน ซีฟัน IPN และซีฟันที่มีสารเชื่อมโยงปริมาณสูง พบว่าลักษณะการหักแทนที่จะเกิดบริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างซีฟันกับฐานอะคริลิก กลับพบในตัวซีฟันหรือในส่วนของฐานอะคริลิกเอง แสดงให้เห็นว่าซีฟันปลอมทั้ง 3 ชนิดให้ความแข็งแรงของการยึดแน่นกับฐานอะคริลิกชนิดทนแรงกระแทกอย่างพอเพียงแม้ว่าจะไม่มีการกรอผิวด้านใต้ของซีฟันออกเพื่อเพิ่มการยึดอยู่ทางกลก็ตาม และซีฟันที่มีสารเชื่อมโยงปริมาณสูงให้ค่าความแข็งแรงของการยึดแน่นสูงกว่าอีก 2 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นสิ่งสำคัญที่ควรพิจารณาถึงก็คือ ชนิดของฐานอะคริลิกที่จะยึดแน่น ควรเลือกให้เหมาะสมกับชนิดซีฟันปลอมที่นำมาใช้ ในการทดลองนี้จะเห็นว่าฐานอะคริลิกชนิดทนแรงกระแทกจะให้การยึดแน่นกับซีฟันปลอมที่มีสารเชื่อมโยงปริมาณสูงได้ดีที่สุด

การศึกษาในปัจจุบัน มุ่งพัฒนาคุณสมบัติของการยึดแน่นระหว่างซีฟันปลอมกับฐานอะคริลิกซึ่งเป็นกรรมวิธีผลิตฟันปลอมที่นิยมใช้ โดยเน้นถึงวิธีการทำที่ง่าย สะดวก ประหยัด และปลอดภัย แนวคิดที่แต่ละคนเสนอแนะเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการยึดแน่นระหว่างซีฟันปลอมกับฐานอะคริลิก ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมเทคนิคในห้องปฏิบัติการให้ได้มาตรฐาน การปรับสภาพพื้นผิวด้านใต้ของซีฟันปลอมด้วยการเพิ่มการยึดอยู่ทางกลหรือใช้สารเคมี และการเลือกชนิดของซีฟันปลอมกับฐานฟันปลอมอะคริลิกจากที่ Cunningham (1993) ได้รวบรวมไว้ แม้ว่าจะยังไม่มีรายงานที่แน่ชัดถึงวิธีการมาตรฐานที่จะปรับปรุงคุณสมบัติการยึดแน่นระหว่างซีฟันปลอมกับฐานอะคริลิกให้ดีขึ้น แต่ก็พอเป็นแนวทางในการพิจารณาเพื่อลดปัญหาที่เกิดจากการไม่ยึดแน่นนี้โดยนำความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยมาใช้ร่วมกัน เพื่อให้ได้ความแข็งแรงของการยึดแน่นอย่างมีประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้