

อายุความล้ำของวัสดุฐานพื้นปลอมอะคริลิกเรซินชนิดปมตัวด้วยความร้อน  
ที่ซ่อมแซมด้วยวิธีต่างกัน



นางสาว วิภาภรณ์ ไชคชัยวรกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE FATIGUE LIFE OF HEAT-ACTIVATED ACRYLIC RESIN DENTURE BASE  
MATERIALS REPAIRED WITH VARIOUS METHODS



Miss Wipaporn Chokchaivorakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Sciences Program in Prosthodontics

Department of Prosthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University



วิภาภรณ์ โชคชัยวรกุล : อายุความล้าของวัสดุฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนที่ซ่อมแซมด้วยวิธีต่างกัน. (THE FATIGUE LIFE OF HEAT-ACTIVATED ACRYLIC RESIN DENTURE BASE MATERIALS REPAIRED WITH VARIOUS METHODS) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ชัยรัตน์ วิวัฒน์วรพันธ์, 91 หน้า

**วัตถุประสงค์** งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอายุความล้าของวัสดุฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนที่ซ่อมแซมด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

**วิธีการทดลอง** อะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนถูกเตรียมเป็นชิ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (80x10x2.5 มม.) แบ่งเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ (1) กลุ่มที่ไม่มีการซ่อมแซม จะให้แรงคงที่ที่ระดับ 51.46, 48.75, 46.04, 43.34, 40.63 และ 37.92 นิวตัน, (2,3) กลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน (แบ่งเป็นกลุ่มที่เตรียมผิวหน้าก่อนซ่อมแซมด้วยส่วนเหลือของอะคริลิกเรซิน และสารผลิตภัณฑ์ Rebase II) จะให้แรงคงที่ที่ระดับ 43.34, 40.63, 37.92, 35.21, 32.50, 29.79 และ 27.09 นิวตัน, (4,5) กลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวเอง (แบ่งเป็นกลุ่มที่เตรียมผิวหน้าก่อนซ่อมแซมด้วยส่วนเหลือของอะคริลิกเรซิน และสารผลิตภัณฑ์ Rebase II) จะให้แรงคงที่ที่ระดับ 37.92, 32.50, 27.09, 21.67 และ 16.25 นิวตัน ในแต่ละระดับแรงจะใช้ชิ้นทดสอบ 5 ชิ้น จนกระทั่งชิ้นทดสอบเกิดการแตกหัก หรือครบที่  $10^6$  รอบ (ขีดจำกัดความล้า) แล้วบันทึกจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหัก

**ผลการทดลอง** ระดับแรงที่ทำให้อายุความล้าของทุกกลุ่มมีค่าตั้งแต่  $10^6$  รอบของอะคริลิกเรซินที่ไม่มีการซ่อมแซมจะสูงที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน และกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวเองมีค่าต่ำที่สุด, ส่วนอายุความล้าเฉลี่ยของอะคริลิกเรซินที่ซ่อมแซมด้วยการเตรียมผิวหน้าระหว่างสารเคมีทั้ง 2 ชนิด คือ ส่วนเหลือของอะคริลิกเรซิน 180 วินาที และสารผลิตภัณฑ์ Rebase II 20 วินาที ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญภายในกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดเดียวกัน

**สรุป** อะคริลิกเรซินที่ไม่มีการซ่อมแซมจะมีอายุความล้าที่ทนต่อระดับแรงที่สูงกว่าได้มากกว่าอะคริลิกเรซินที่มีการซ่อมแซม จึงควรที่จะทำการเปลี่ยนฐานฟันปลอมมากกว่าที่จะทำการซ่อมแซม ในกรณีที่จำเป็นต้องทำการซ่อมแซมควรใช้อะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนมากกว่าชนิดบ่มตัวเอง และควรใช้สารเคมีในการเตรียมผิวหน้าก่อนการซ่อมแซมร่วมด้วย

ภาควิชา ทันตกรรมประดิษฐ์  
สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์  
ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนิสิต.....*ฉิ่งหนงส์*.....*โกลย์ครกค*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*ชยรัตน์ วิวัฒน์วรพันธ์*.....

# # 4876126932 : MAJOR PROSTHODONTICS

KEY WORD : ACRYLIC RESIN / FATIGUE LIFE / REPAIR

WIPAPORN CHOKCHAIVORAKUL: THE FATIGUE LIFE OF HEAT-ACTIVATED ACRYLIC RESIN DENTURE BASE MATERIALS REPAIRED WITH VARIOUS METHODS. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF.CHAIRAT WIWATWARRAPAN, 91 pp.

**Objective.** In this study the fatigue life of heat-activated acrylic resin denture base materials repaired with various methods was examined.

**Material & Methods.** Rectangular specimens(80x10x2.5 mm) of heat-activated acrylic resin were divided into 5 groups: (1) unrepaired test specimens were tested by a constant force fatigue test at 51.46, 48.75, 46.04, 43.34, 40.63, 37.92 Newton (2,3) repaired with heat-activated acrylic resin (were divided into 2 surface treatment for repair surface: Liquid of acrylic resin 180-s and Rebase II 20-s) were tested by a constant force fatigue test at 43.34, 40.63, 37.92, 35.21, 32.50, 29.79 and 27.09 Newton (4,5) repaired with auto-polymerizing acrylic resin (were divided into 2 surface treatment: Liquid of acrylic resin and Rebase II) were tested by a constant force fatigue test at 37.92, 32.50, 27.09, 21.67 and 16.25 Newton. Five specimens for each force fatigue test, applied force until specimen was fracture or limited at 10<sup>6</sup> cycles. The number of loading cycles were determined.

**Results.** Unrepaired test specimens showed the highest force which specimen had fatigue life up to 10<sup>6</sup> cycles, repaired with heat-activated acrylic resin and auto-polymerizing acrylic resin, respectively. The mean fatigue life of repaired with the same acrylic resin were not significantly among the surface treatment for repair surface.

**Conclusion.** Unrepaired heat-activated acrylic resin had higher fatigue life (at higher force) than repaired resin. The repair with heat-activated acrylic resin is recommended and should be used chemical surface treatment for repair denture.

Department Prosthodontics  
Field of Study Prosthodontics  
Academic Year 2007

Student's Signature *Wipaporn C.*  
Advisor's Signature *Chairat Wiwatwarrapan*

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือ และดูแลเอาใจใส่ของ รองศาสตราจารย์ ชัยรัตน์ วิวัฒน์วรพันธ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ทำให้การดำเนินการในขั้นตอนต่าง ๆ มีความสะดวกรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพตลอดการทำงานในครั้งนี้ จึงกราบขอบพระคุณอย่างสูง และขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ไพพรรณ พิทยานนท์ สำหรับคำแนะนำเกี่ยวกับสถิติที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในศูนย์วิจัยทันตวัสดุ และหน่วยงานปฏิบัติการทันตกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่อำนวยความสะดวก และความช่วยเหลือในการทำงานวิจัย ขอขอบพระคุณบริษัททันต-สยาม วิสาหกิจ, บริษัทแอดคอร์ด คอร์ปอเรชั่น และบริษัท ยูนิตี้ เด็นทัล จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อวัสดุสำหรับงานวิจัย และขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนร่วมอีกหลายท่านซึ่งไม่ได้แสดงนามไว้ในที่นี้ที่กรุณาให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
สมมติฐานการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	5
คำสำคัญที่ใช้ในการวิจัย.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
วิธีดำเนินการวิจัย.....	5
บทที่ 2 ปรัชญาวิธีวิทยา.....	6
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	34
วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	34
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	34
การเตรียมชิ้นงาน และการทดลอง.....	35
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	45
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	46
บทที่ 5 การอภิปรายผลการวิจัย.....	67

บทที่ 6 สรุปลงการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	72
รายการอ้างอิง.....	74
ภาคผนวก.....	78
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	91



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของอะคริลิกเรซินชนิดปัมด้วยความร้อน.....	21
ตารางที่ 2 แสดงชื่อผลิตภัณฑ์ และชื่อผู้ผลิตของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	34
ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอายุความล้าของอะคริลิกเรซินกลุ่ม ที่ไม่มีการซ่อมแซม.....	46
ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอายุความล้าของอะคริลิกเรซินกลุ่ม ที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดปัมด้วยความร้อน.....	46
ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอายุความล้าของอะคริลิกเรซินกลุ่ม ที่มีการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดปัมได้เอง.....	47
ตารางที่ 6 แสดงระดับแรงที่ทำให้อายุความล้าของกลุ่มทดสอบมีค่า 1 ล้านรอบ.....	47
ตารางที่ 7 แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอายุความล้าในการทดสอบที่ระดับแรง 37.92 นิวตัน ของกลุ่มทดสอบ (จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มทดสอบด้วยการเปรียบเทียบ เชิงซ้อนชนิดทูคี).....	48
ตารางที่ 8 แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอายุความล้าของอะคริลิกเรซินกลุ่มที่ ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดปัมด้วยความร้อน (จากการวิเคราะห์ความ แปรปรวนแบบทางเดียว ครู คัล-วัลลิส และการทดสอบของแมน-วิทนีย์).....	49
ตารางที่ 9 แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอายุความล้าของอะคริลิกเรซินกลุ่มที่ ซ่อมแซมด้วย อะคริลิกเรซินชนิดปัมได้เอง (จากการวิเคราะห์ความ แปรปรวนแบบทางเดียว ครู คัล-วัลลิส และการทดสอบของแมน-วิทนีย์).....	51
ตารางที่ 10 แสดงความชันของกราฟ Weibull ของอายุความล้าของอะคริลิกเรซินกลุ่ม ที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดปัมด้วยความร้อนที่ระดับแรงต่างๆ.....	54
ตารางที่ 11 แสดงความชันของกราฟ Weibull ของอายุความล้าของอะคริลิกเรซินกลุ่ม ที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดปัมได้เองที่ระดับแรงต่างๆ.....	60
ตารางที่ 12 แสดงจำนวนและชนิดการแตกหักของแต่ละกลุ่มทดสอบ.....	60

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 1 แสดงการเกิดการเชื่อมไขว้ของ PMMA ซึ่งมีไกลคอลไดเมทาคริเลตเป็น สารเชื่อมไขว้เข้าไปยึด PMMA ในลักษณะ “สะพาน” (bridge) หรือ “การเชื่อมต่อ” (interconnect) ระหว่างสายโซ่ PMMA.....	17
ภาพที่ 2 แสดง ความสัมพันธ์ระหว่างแรง (load) ที่ให้ และ ความแอ่นตัว (deflection) ในชิ้นงานเรซิน.....	19
ภาพที่ 3(ก) แสดงเส้นโค้งเอส-เอ็น ของวัสดุซึ่งแสดงขีดจำกัดความล้า.....	29
ภาพที่ 3(ข) แสดงเส้นโค้งเอส-เอ็น ของวัสดุซึ่งไม่แสดงขีดจำกัดความล้า.....	29
ภาพที่ 4 แสดงการแบ่งเส้นโค้งเอส-เอ็น เป็น 3 ช่วง .....	30
ภาพที่ 5 แสดงความล้าของพอลิเมอร์จำนวนหนึ่งได้แก่ PET (polyethylene terephthalate), PS (polystyrene), PMMA (polymethylmethacrylate), PP (polypropylene), PE (polyethylene), PTFE (polytetrafluoroethylene).....	31
ภาพที่ 6 แสดงการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางแบบ 3 จุด.....	32
ภาพที่ 7 แสดงการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางแบบ 4 จุด.....	32
ภาพที่ 8 แสดงการเกิดช่องว่างขนาดเล็กใหญ่ขึ้นและเชื่อมกัน แล้วเริ่มเกิดรอยร้าว.....	33
ภาพที่ 9 แสดงขนาดและรูปร่างชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ.....	35
ภาพที่ 10 แสดงแผ่นพลาสติกใสที่มีขนาดดังกล่าว.....	35
ภาพที่ 11 แสดงการนำแม่แบบแผ่นพลาสติกใสมาลงในภาชนะหล่อแบบพื้นป्लอมทองเหลือง...	36
ภาพที่ 12 แสดงการส่วนผสมที่อัดเข้าไปในภาชนะหล่อแบบส่วนครึ่งล่างและ ตัดส่วนเกินออกแล้ว.....	37
ภาพที่ 13 แสดงชิ้นงานอะคริลิกเรซินตามขนาดที่ต้องการก่อนทดสอบ.....	37
ภาพที่ 14 แสดงชิ้นงานอะคริลิกเรซินตามขนาดที่ต้องการมาทำการลงในภาชนะหล่อแบบ พื้นป्लอมทองเหลืองเพื่อทำการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน.....	38
ภาพที่ 15 แสดงชิ้นงานอะคริลิกเรซินตามขนาดที่ต้องการมาทำการลงในพลาสติก ออพวีสเพื่อทำการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกชนิดบ่มได้เอง.....	38
ภาพที่ 16 แสดงรูปร่างแบบหล่อเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อใส่ชิ้นงานอะคริลิกเรซินลงไป ตามแนวนอน โดยมีร่องตามแนวขวางขนาด 3 มิลลิเมตร.....	39

ภาพที่ 17 แสดงแบบหล่อเหล็กกล้าไร้สนิม ที่ใส่ชิ้นงานอะคริลิกเรซินเพื่อทำการตัดชิ้นงาน ขนาดตามแนวของร่อง 3 มิลลิเมตรนั้นให้ชิ้นงานแบ่งออกจากกันเป็น 2 ส่วน.....	39
ภาพที่ 18 แสดงรูปร่างแบบหล่อเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อใส่ชิ้นงานอะคริลิกเรซิน ลงไปได้ตามแนวขวาง.....	40
ภาพที่ 19 แสดงแบบหล่อเหล็กกล้าไร้สนิม ที่ใส่ชิ้นงานอะคริลิกเรซินลงไปได้ตามแนวขวาง.....	40
ภาพที่ 20 แสดงขนาด และรูปร่างชิ้นงานอะคริลิกเรซินที่นำมากรอดัดเพื่อนำไปทำ การซ่อมแซม.....	41
ภาพที่ 21 แสดงชิ้นงานอะคริลิกเรซินที่นำมากรอดัดก่อนนำไปทำการซ่อมแซมใส่กลับ ลงไปในภาชนะหล่อแบบฟีนอลอมทองเหลืองที่เทเป็นแบบไว้แล้ว.....	41
ภาพที่ 22 แสดงชิ้นงานอะคริลิกเรซินที่นำมากรอดัดก่อนนำไปทำการซ่อมแซมใส่กลับ ลงไปใบบลาสเตอร์ออฟปารีสที่เทเป็นแบบไว้แล้ว.....	42
ภาพที่ 23 แสดงการใส่วัสดุที่ทำการซ่อมแซม.....	42
ภาพที่ 24 แสดงชิ้นงานอะคริลิกเรซินที่ซ่อมแซมและขัดแต่งแล้ว .....	43
ภาพที่ 25 แสดงลักษณะการทดสอบความต้านทานต่อความล้าที่ใช้ในการวิจัย.....	44
ภาพที่ 26 แสดงเส้นโค้งเอส-เอ็น ของกลุ่มทดสอบทั้ง 5 กลุ่ม.....	53
ภาพที่ 27 ก-จ แสดงกราฟ Weibull ของอายุความล้าของอะคริลิกเรซินกลุ่มที่ซ่อมแซม ด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ระดับแรงต่างๆ .....	55
ภาพที่ 28 ก-ง แสดงกราฟ Weibull ของอายุความล้าของอะคริลิกเรซินกลุ่มที่ซ่อมแซม ด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เองที่ระดับแรงต่างๆ.....	58
ภาพที่ 29 แสดงรูปแบบการแตกหักของชิ้นทดสอบ.....	61
ภาพที่ 30 แสดงตัวอย่างการแตกหักของชิ้นทดสอบ.....	61
ภาพที่ 31 แสดงตัวอย่างพื้นผิวของรอยหักของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง.....	62
ภาพที่ 32 แสดงตัวอย่างพื้นผิวของรอยหักของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน.....	62
ภาพที่ 33 แสดงพื้นผิวของอะคริลิกเรซินบริเวณที่ทำเป็นหน้าตัดเฉียง 45 องศา โดยยังไม่มีกร เตรียมพื้นผิวด้วยสารเคมี ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	64
ภาพที่ 34 แสดงพื้นผิวของอะคริลิกเรซินบริเวณที่ทำเป็นหน้าตัดเฉียง 45 องศา ที่มีการ เตรียมพื้นผิวด้วยสารที่ใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟีนอลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II เป็นเวลา 20 วินาที ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	65

- ภาพที่ 35 แสดงพื้นผิวของอะคริลิกเรซินบริเวณที่ทำเป็นหน้าต่างเฉียง 45 องศา ที่มีการเตรียมพื้นผิวด้วยส่วนผสมเหลวของอะคริลิกเรซิน เป็นเวลา 180 วินาที ด้วย  
 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... 66
- ภาพที่ 36 แสดงเส้นโค้งความน่าจะเป็นของอายุความล้มเหลว เอส-เอ็น ในการแตกหัก..... 69



สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการนำพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl methacrylate) มาใช้ในการทำเป็นฐานฟันปลอม (denture base) จำนวนมาก (*Phoenix และคณะ, 2004*) จากการที่พอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นวัสดุที่ถูกเลือกนำมาใช้ทำเป็นฐานฟันปลอมนั้น เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางกายภาพ และความสวยงามที่เหมาะสมกับการใช้งาน รวมทั้งมีราคาเหมาะสมและใช้ง่าย (*Anusavice, 2003*) ซึ่งก็มีรายงานว่า ฟันปลอมทั้งปากอะคริลิกเรซิน (Acrylic resin complete denture) จะเสี่ยงต่อการแตกหักหลังจากการใช้งานในทางคลินิก (*Vallittu, 1997*) โดยมีรายงานว่า การแตกแนวกลาง (midline fracture) ของฟันปลอมทั้งปากขากรรไกรบน (maxillary complete denture) (*Smith, 1961; Beyli และ von Fraunhofer, 1981*) ซึ่งเป็นปัญหาต่อทันตแพทย์และผู้ป่วยนั้น ส่วนใหญ่เกิดหลังจากใช้งาน 15-30 เดือน (*Smith, 1961*) และมีการศึกษาที่คล้ายกันในฟินแลนด์ว่า การแตกหักในฟันปลอมบางส่วนฐานอะคริลิก (acrylic resin-based partial denture) ร้อยละ 64 เกิดหลังจากใช้ไป 3 ปี (*Vallittu, Lassila และ Lappalainen, 1993*) รวมทั้งมีการศึกษาในสหราชอาณาจักร (England) และเวลส์ (Wales) (*Johnston, Nichools และ Smith, 1981*) พบว่า ฟันปลอมจำนวน 17.5 ล้านชิ้นจะมีการซ่อมแซมเกือบ 1 ล้านชิ้นในทุกปี ยังมีการวิเคราะห์หืออื่นๆในสหราชอาณาจักร แนะนำว่าร้อยละ 68 ของฟันปลอมจะแตกหักภายใน 3 ปีหลังจากใช้งาน (*Hargreaves, 1961*) ซึ่งการจะทำฟันปลอมใหม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย เวลา และกระบวนการมาก นอกจากนี้การที่ไม่มีฟันปลอมก็สร้างความไม่สะดวกให้แก่ผู้ป่วยเป็นอย่างมาก จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีความคิดที่จะทำการซ่อมแซมฟันปลอม เพื่อใช้เป็นฟันปลอมเฉพาะกาล (interim) หรือ ฟันปลอมถาวร (definitive) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ทำกัน (*Ng และคณะ, 2004*) ในการซ่อมแซมฟันปลอมฐานอะคริลิกที่แตกหักก็มีรายงานถึงเทคนิควิธีการซ่อมแซมมาก่อน (*Winkler, 1994*) โดยวัสดุที่มักจะถูกนำมาใช้ในการซ่อมแซมได้แก่ อะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน (heat-activated acrylic resin) หรือ อะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง (auto polymerizing acrylic resin) ซึ่งสิ่งสำคัญที่ต้องการสำหรับการซ่อมแซม คือ 1. การซ่อมแซมต้องรวดเร็ว 2. โครงสร้างที่ถูกต้องซ่อมแซมต้องการมีความแข็งแรงเพียงพอ 3. ฟันปลอมต้องไม่เปลี่ยนมิติ

ระหว่าง และหลังจากซ่อมแซมแล้ว (Beyli และ von Fraunhofer, 1980) อย่างไรก็ตาม การซ่อมแซมฐานพื้นปลอมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง ก็ยังพบมีการแตกซ้ำเกิดขึ้นบริเวณที่ทำการซ่อมแซม (Zarb และคณะ, 1990) และมีรายงานบ่อยครั้งว่าขึ้นทดสอบอะคริลิกเรซินที่ซ่อมแซมแล้วจะเกิดการแตกหักบริเวณรอยต่อของวัสดุเก่าและใหม่มากกว่าตรงกลางวัสดุที่ซ่อมแซมซึ่งเป็นบริเวณที่รับแรงกระทำลงไป (Shen, Colaizzi และ Birns, 1984) ดังนั้นจึงมีการเพิ่มความแข็งแรงของส่วนที่ซ่อมแซม ด้วยการออกแบบพื้นผิวซ่อมแซมรูปแบบต่างๆ (Harrison และ stansburry, 1970; Leong และ Grant, 1971; Beyli และ von Fraunhofer, 1980) และการปรับพื้นผิวซ่อมแซมด้วยสารเคมีร่วมด้วย (Rached และ Del Bel Cury, 2001)

การแตกหักของฐานพื้นปลอมอาจเกิดจากอุบัติเหตุที่มีการกระแทกโดยทำหล่นเมื่ออยู่นอกช่องปาก (Kelly, 1969) ซึ่งเป็นแรงชนิดกระแทก (Johnston, Nichools และ Smith, 1981; Gregory, Andreas และ panagiotis, 1996) ส่วนการแตกหักของพื้นปลอม ขณะอยู่ในช่องปากนั้นเป็นความล้าดัดขวาง (flexural fatigue failure) (Tallgren, 1972) ซึ่งเป็นผลมาจากการเคี้ยวซ้ำๆ ในขณะใช้งาน ทำให้เกิดการงอโค้ง (flexure) ของฐานพื้นปลอมซ้ำๆ ในช่วงเวลาหนึ่ง และทำให้ฐานพื้นปลอม เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง นำไปสู่การเกิดการแตกหัก (Beyli และ von Fraunhofer, 1981; Gregory, Andreas และ panagiotis, 1996) ในสภาวะดังกล่าว ทำให้วัสดุเกิดการแตกหักได้ด้วยแรงระดับต่ำกว่ากำลังประลัย (ultimate strength) ของวัสดุ การแตกหักของวัสดุที่เกิดจากการได้รับแรงกระทำซ้ำๆ อยู่ระยะเวลาหนึ่งนี้ เกิดเนื่องจากวัสดุมีความล้า (fatigue) ซึ่งส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุ ความล้านี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อความเสียหายในวัสดุพวกโลหะ เซรามิก รวมถึง พอลิเมอร์ด้วย (William, 2003) ดังนั้นสมบัติเชิงกลที่สำคัญที่สุดของฐานพื้นปลอมพอลิเมทิลเมทาคริเลต จะเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงที่ต้านต่อความล้า (fatigue resistance) ได้ (Smith, 1961)

เนื่องจากความล้าเป็นสาเหตุหลักของการแตกหักในพื้นปลอมฐานอะคริลิกเรซิน (Kelly, 1967) การหาค่าอายุความล้าจึงเป็นข้อมูลที่สำคัญที่จะบ่งบอกถึงความทนทานของพื้นปลอมฐานอะคริลิกเรซิน ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาถึงอายุความล้าของวัสดุฐานพื้นปลอมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่มีการซ่อมแซมจากการให้แรงกระทำซ้ำๆ

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอายุความล้าของวัสดุฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินที่แตกต่างกัน
2. เพื่อศึกษาอายุความล้าของวัสดุฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดเดียวกันที่เตรียมผิวหน้าก่อนการซ่อมแซมด้วยสารเคมีที่แตกต่างกัน

## สมมติฐานการวิจัย

1. **สมมติฐานว่าง (Ho) :** ระดับแรงที่ทำให้วัสดุฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ไม่มีการซ่อมแซม และที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินกับการเตรียมผิวหน้าด้วยสารเคมีที่แตกต่างกันนั้น มีอายุความล้า  $10^6$  รอบโดยไม่เกิดการแตกหัก ไม่แตกต่างกัน  
**สมมติฐานแย้ง (Ha) :** ระดับแรงที่ทำให้วัสดุฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ไม่มีการซ่อมแซม และที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินกับการเตรียมผิวหน้าด้วยสารเคมีที่แตกต่างกันนั้น มีอายุความล้า  $10^6$  รอบโดยไม่เกิดการแตกหัก แตกต่างกัน
2. **สมมติฐานว่าง (Ho) :** ค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบด้วยแรงที่กำหนดให้ค่าหนึ่ง ที่ทำให้เกิดการแตกหักในการทดสอบหาอายุความล้าของวัสดุฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดเดียวกัน แต่เตรียมผิวหน้าด้วยสารเคมีที่แตกต่างกัน ไม่แตกต่างกัน  
**สมมติฐานแย้ง (Ha) :** ค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบด้วยแรงที่กำหนดให้ค่าหนึ่ง ที่ทำให้เกิดการแตกหักในการทดสอบหาอายุความล้าของวัสดุฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดเดียวกัน แต่เตรียมผิวหน้าด้วยสารเคมีที่แตกต่างกัน แตกต่างกัน
3. **สมมติฐานว่าง (Ho) :** วัสดุฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่แตกหักเมื่อซ่อมแซมด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน แต่เตรียมผิวหน้าก่อนการซ่อมแซมด้วยสารชนิดเดียวกัน มีระดับของ เส้นโค้งเอส-เอ็นไม่แตกต่างกัน

**สมมติฐานแย้ง (Ha) :** วัสดุฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่แตกหักเมื่อซ่อมแซมด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน แต่เตรียมผิวหน้าก่อนการซ่อมแซมด้วยสารชนิดเดียวกัน มีระดับของ เส้นโค้งเอส-เอ็น แตกต่างกัน

## ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดสอบหาอายุความล้าของวัสดุฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซินในห้องปฏิบัติการ มีการเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบภายใต้สภาวะอุณหภูมิ และความชื้นของห้องปฏิบัติการ และทำการทดสอบโดยให้แรงกระทำซ้ำๆ ต่อชิ้นงาน โดยขณะทำการทดสอบจะทำภายใต้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ  $37 \pm 1$  องศาเซลเซียส

## ข้อตกลงเบื้องต้น

ในการเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบ และการทำการทดสอบในทุกขั้นตอนจะกระทำโดยผู้วิจัยเพียงคนเดียว ในการทดลองจะกำหนดให้ความถี่ 2 รอบต่อวินาที (Hz) (Hargreaves, 1983) จะทำการให้แรงดังนี้

1. กลุ่มที่ไม่มีการซ่อมแซมวัสดุฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซิน จะให้แรงคงที่ที่ระดับ 51.46 (เริ่มลดลงจาก 54.17 (65MPa, ISO)), 48.75, 46.04 และ 43.34, 40.63, 37.92 นิวตัน จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการแตกหัก หรือครบจำนวนรอบที่  $10^6$  รอบ
2. กลุ่มที่มีการซ่อมแซมวัสดุฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซินด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน จะให้แรงคงที่ที่ระดับ 43.34, 40.63, 37.92, 35.21, 32.50, 29.79 และ 27.09 นิวตัน จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการแตกหัก หรือครบจำนวนรอบที่  $10^6$  รอบ
3. กลุ่มที่มีการซ่อมแซมวัสดุฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซินด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง จะให้แรงคงที่ที่ระดับ 37.92, 32.50, 27.09, 21.67 และ 16.25 นิวตัน จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการแตกหัก หรือครบจำนวนรอบที่  $10^6$  รอบ

ในการทดสอบถ้าครบจำนวนรอบที่  $10^6$  รอบ แล้วชิ้นทดสอบไม่เกิดการแตกหักจะทำการหยุดทดสอบ เนื่องจากกำหนดให้ที่  $10^6$  รอบ เป็นขีดจำกัดความล้า (Wiskott, Nicholls และ Belser, 1995; Hargreaves, 1983) คือเป็นอายุการใช้งานของฟันปลอมที่มากเกิน 3 ปี ซึ่งเป็นจุดที่มีอุบัติการณ์เกิดการแตกหัก และหลังจากที่  $10^6$  รอบแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในวัสดุ (Hargreaves, 1983)



## ข้อจำกัดของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการจำลองปัจจัยต่างๆของสภาวะแวดล้อมโดยรอบไม่สามารถทำให้เหมือนสภาพในช่องปากจริงทุกประการได้ และชิ้นงานที่ใช้ทดสอบแตกต่างจากที่ใช้จริงในคลินิก

## คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

- Acrylic resin (อะคริลิกเรซิน)
- Denture base (ฐานฟันปลอม)
- Fatigue (ความล้า)
- Fatigue life (อายุความล้า)
- Repair (การซ่อมแซม)
- S-N curve (เส้นโค้งเอส-เอ็น)

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงอายุความล้าของวัสดุฟันปลอมฐานอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนที่ซ่อมแซมด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน โดยเกิดจากการให้แรงกระทำซ้ำๆ ซึ่งเป็นลักษณะของแรงที่ใกล้เคียงกับแรงที่เกิดกับฟันปลอมในช่องปาก
2. สามารถใช้เป็นข้อมูลในการเลือกวัสดุ และวิธีที่จะใช้ในการซ่อมแซมฟันปลอมฐานอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนที่เกิดการแตกหัก
3. เป็นแนวทางในการวิจัยเกี่ยวกับการหาอายุความล้าของวัสดุทางทันตกรรมอื่นๆต่อไป

## วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลอง (experimental research)

## บทที่ 2

### วรรณกรรมปริทัศน์

#### แนวคิดและทฤษฎี

ค่าความแข็งแรงที่ได้จากการวัดการเกิดความล้มเหลวจากการให้แรง (failure load) เช่น ความแข็งแรงดัดขวาง (flexure strength) ถ้านำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของวัสดุที่ได้รับแรงกระทำซ้ำๆ (repeated หรือ cycle loading) นั้นอาจเป็นการผิด การแตกหักบางอย่างทางคลินิก เกิดโดยการให้แรงทีเดียวนั้น (single load) ซึ่งถ้าเกิดการแตกหักบ่อยครั้งมากผลิตภัณฑ์นั้นจะถูกถอดถอนออกจากตลาด ส่วนการแตกหักของงานทันตกรรมประดิษฐ์ และวัสดุบูรณะจะเกิดโดยมีรอบของความเค้น (stress cycle) จำนวนมาก หลังจากเริ่มมีรอยร้าว (crack) ที่มาจากรอยตำหนิ (critical flaw) และเกิดการดำเนินไป (propagation) ของรอยแตก จนกระทั่งแตก โดยค่าความเค้น (stress) นี้จะต่ำกว่าความแข็งแรงดึงประลัย (ultimate tensile strength) ก็สามารถทำให้เกิดการแตกหักได้สำหรับงานทันตกรรมประดิษฐ์ เพราะรอยตำหนิขนาดเล็ก (microscopic flaws) จะขยายขึ้นอย่างช้าๆจากรอบของความเค้นจำนวนมาก ปรากฏการณ์นี้เรียก ความล้มเหลวจากความล้า (fatigue failure) ซึ่งการเคี้ยวในเวลาปกติจะเกิดรอบของความเค้นหลายพันรอบต่อวัน ภายในวัสดุบูรณะทางทันตกรรม (Anusavice, 2003) ดังนั้นการศึกษาภาวะความล้าในทางห้องปฏิบัติการจะทำให้เราเข้าใจการเกิดความล้าในทางคลินิกได้ดีขึ้น (Braem และคณะ, 1994)

มีการศึกษาถึงค่าความแข็งแรงดัดขวาง (transverse strength) เปรียบเทียบระหว่าง อะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน หรือ อะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เองมากมาย พบว่า อะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน จะมีความแข็งแรงดัดขวางมากกว่าอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง (Peyton, Shiere และ Delgado, 1953) แต่เมื่อมีการศึกษาอายุความล้าของอะคริลิกเรซินทั้ง 2 ชนิดนี้แล้วกลับพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (Peyton, Shiere และ Delgado, 1953 ; Asmussen และ Jorgensen, 1982)

ดังนั้นอายุความล้าของฟันปลอมฐานอะคริลิกเรซินนั้น เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์เนื่องจากใกล้เคียงความเป็นจริงในทางคลินิกดังที่กล่าว ในเรื่องของความแข็งแรงทนทานของฟันปลอมฐานอะคริลิกเรซิน แต่เนื่องจากการทดสอบหาอายุความล้าที่ใช้เวลานาน ใช้ขั้นตอนทดสอบจำนวนมาก และต้องการเครื่องมือที่สามารถให้แรงกระทำซ้ำๆแบบไดนามิกได้ จึงเป็นข้อจำกัดที่ทำให้ผู้วิจัยหัน

มาทำการทดสอบความแข็งแรงโดยการให้แรงสแตติกคงที่มากกว่า ทำให้ข้อมูลของอายุความล้าของฟันปลอมฐานอะคริลิกเรซินมีรายงานผลออกมาไม่มากโดยเฉพาะข้อมูลของอายุความล้าของฟันปลอมฐานอะคริลิกเรซินที่มีการซ่อมแซมหลังจากแตกหัก ทั้งๆที่เป็นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบที่มีรูปแบบการให้แรงที่ใกล้เคียงกับการบดเคี้ยวมากกว่า

## เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัสดุที่ใช้ทำฟันปลอมจะมีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลา ในช่วง ค.ศ. 1800 มีการใช้งาช้างและไม้ทำฐานฟันปลอม ต่อมามีการใช้ยางวัลคาไนต์ (Vulcanite) ซึ่งมีสีเข้าที่บแสง , มีรูพรุน ดูดน้ำ และหนัก ในช่วงต้นของปี ค.ศ. 1930 ได้มีการใช้พอลิเมอร์ (polymer) ในทางทันตกรรม และในปี ค.ศ. 1937 มีการแนะนำ พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl methacrylate) มาใช้ทำเป็นฐานฟันปลอม และใช้เป็นส่วนใหญ่ (เจน รัตนไพศาล, 2533; Anusavice, 2003; Power และ Sakaguchi, 2006) จนถึงปัจจุบัน

**คุณสมบัติของวัสดุประดิษฐ์ฐานฟันปลอม** ที่ต้องการได้แก่ (Power และ Sakaguchi, 2006)

1. มีความแข็งแรง และมีอายุการใช้งานที่นาน
2. มีคุณสมบัติทางความร้อน (thermal properties) ตามต้องการ
3. มีเสถียรภาพทางมิติ
4. มีเสถียรภาพทางเคมี
5. ไม่ละลาย และ มีการดูดซึมน้ำในช่องปาก
6. ไม่มีรส และ กลิ่น
7. มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในช่องปาก
8. มีความสวยงามเป็นธรรมชาติ
9. มีสีสวยงาม
10. ยึดได้กับพลาสติก, โลหะ และพอร์ซเลน
11. นำมาใช้ และ ซ่อมแซมได้ง่าย
12. ราคาเหมาะสม

## พอลิเมอร์ ( Polymer )

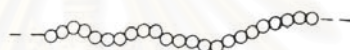
### ส่วนประกอบของพอลิเมอร์

พอลิเมอร์ เป็นศัพท์ที่ได้จาก พอลิ (poly) แปลว่ามาก กับ เมอร์ (mer) แปลว่า หน่วย ดังนั้นพอลิเมอร์จึงเป็นสารที่เกิดจากการรวมของหน่วยเล็กๆ ของสารประกอบอินทรีย์จำนวนมาก เข้าด้วยกันกลายเป็นก้อนมหโมเลกุล ซึ่งหน่วยเคมีเล็กๆที่ประกอบเป็นพอลิเมอร์นั้น เรียกว่า มอนอเมอร์ (monomer)

### รูปโครงสร้างของพอลิเมอร์โมเลกุล

มี 3 ชนิด คือ

1. พอลิเมอร์ชนิดเส้น (Linear polymers) เกิดจากมอนอเมอร์เชื่อมเป็นเส้นยาวโดยปลายต่อ

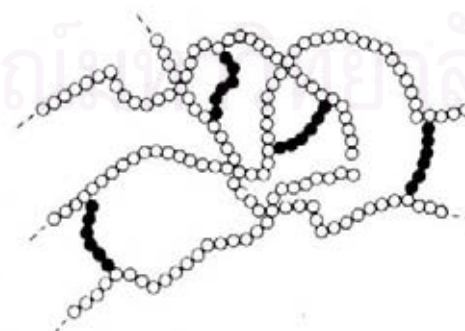


กัน

2. พอลิเมอร์ชนิดกิ่ง (Branched polymers) เกิดจากมอนอเมอร์เส้นหนึ่งต่อเป็นกิ่งกับมอนอเมอร์อีกเส้นหนึ่ง พอลิเมอร์ชนิดกิ่งมีคุณสมบัติบางอย่างดีกว่าชนิดเส้น



3. พอลิเมอร์ชนิดเชื่อมไขว้ (Crosslinked polymers) เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างสามมิติ หรือเชื่อมเป็นตาข่าย ได้จากพอลิเมอร์กิ่งเส้นหนึ่งต่อกับพอลิเมอร์กิ่งอีกเส้นหนึ่ง พอลิเมอร์ ชนิดเชื่อมไขว้มีคุณสมบัติบางอย่างดีกว่าชนิดเส้น และชนิดกิ่ง



พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ หรือโมเลกุลที่มีหน่วยเคมีชนิดเดียว จะเรียกว่า โฮโมพอลิเมอร์ (homopolymers)

พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ หรือโมเลกุลที่มีหน่วยเคมีตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป จะเรียกว่า โคพอลิเมอร์ (copolymers) หรือ พอลิเมอร์ร่วม ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ชนิด

แบบสุ่ม (Random copolymer) – เป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีหน่วยเคมีต่างชนิดคละกันไม่เป็นระเบียบ

AAABBBABBAABAAABBBBABABB

แบบกลุ่ม (Block copolymer) – เป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีหน่วยเคมีต่างชนิดอยู่เป็นกลุ่ม

AAAAAABBBBBBAAAAAABBBBBBBB

แบบสลับ (Alternating copolymer) – เป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีหน่วยเคมีต่างชนิดอยู่สลับกัน

ABABABABABABABABABABABAB

### น้ำหนักโมเลกุลพอลิเมอร์

สายโซ่โมเลกุลในวัสดุพอลิเมอร์นั้นจะประกอบไปด้วยสายโซ่โมเลกุลที่มีความยาวแตกต่างกันไป จึงต้องหาค่าเป็นน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (average molecular weight) โดยทั่วไปที่ใช้กันจะมี 2 วิธี

วิธีที่ 1 หาจากจำนวนมอนอเมอร์เฉลี่ยของแต่ละโมเลกุลพอลิเมอร์ (number average molecular weight;  $M_n$ )

$$M_n = M_o X_n$$

$M_o$  คือ น้ำหนักโมเลกุลของโครงสร้างมอนอเมอร์หนึ่งหน่วย

$X_n$  คือ จำนวนเฉลี่ยของการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (number average degree of polymerization) หาได้จาก จำนวนมอนอเมอร์ทั้งหมดหารด้วยจำนวนโมเลกุลพอลิเมอร์ทั้งหมด

วิธีที่ 2 หาจากน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (weight average molecular weight;  $M_w$ )

$$M_w = M_o X_w$$

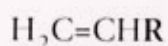
$X_w$  คือ น้ำหนักเฉลี่ยของการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (weight average degree of polymerization) หาได้จาก น้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่างหารด้วยจำนวนโมล (mole) ที่มีอยู่ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของพอลิเมอร์ได้ตั้งแต่ 8,000 ถึง 39,000 แต่มีรายงานพบน้ำหนักโมเลกุลสูงถึง 600,000

อัตราส่วนของ  $M_w / M_n$  เรียกว่า พอลิดีสเพอร์ซิตี (polydispersity) ใช้ในการหาขอบเขตการกระจายขนาดโมเลกุลของพอลิเมอร์ โดยพอลิเมอร์ที่มีค่า  $M_w$  เท่ากันแต่มีค่าพอลิดีสเพอร์ซิตี (polydispersity) ต่างกันจะแสดงคุณสมบัติที่แตกต่างกัน (เจน รัตนไพศาล, 2533; Anusavice, 2003; Power และ Sakaguchi, 2006)

พอลิเมอร์ชนิดเส้นและกิ่งจะยึดระหว่างโมเลกุลด้วยพันธะทางกายภาพที่อ่อน (weak physical bond) เมื่อได้รับความร้อนจะแตกตัวและสามารถรวมพันธะได้ใหม่เมื่อเย็นลง เรียกคุณสมบัตินี้ว่า เทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) ในขณะที่พอลิเมอร์ชนิดเชื่อมไขว้จะเชื่อมด้วยพันธะปฐมภูมิโคเวเลนต์ ซึ่งแข็งแรงกว่าและไม่แตกตัวเมื่อได้รับความร้อน จึงเรียกคุณสมบัตินี้ว่า เทอร์โมเซต (thermosets) (O' Brien, 1997)

### อะคริลิกเรซิน (Acrylic resins)

อะคริลิกเรซิน เป็นอนุพันธ์ของเอทิลีน (ethylene) ที่ประกอบด้วยกลุ่มไวนิลมีสูตรโครงสร้างคือ

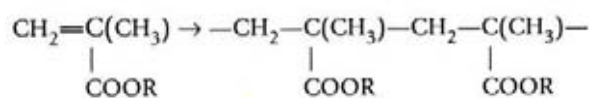


จากสูตรโครงสร้างที่แสดง อนุกรมของอะคริลิกเรซิน (acrylic resin series) ที่เกี่ยวข้องกับงานทางทันตกรรม มีอย่างน้อย 2 อนุกรม ได้แก่ อนุกรมที่ได้จากกรดอะคริลิก ( $CH_2=CHCOOH$ ) กับอนุกรมจากกรดเมทาคริลิก ( $CH_2=C(CH_3)COOH$ ) สารประกอบของอนุกรมทั้งสองได้จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบรวมตัว

เป็นกลุ่มของเทอร์โมพลาสติกเรซินที่เกิดจากการปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์กลุ่มเอสเทอร์ของอะคริลิก หรือกรดเมทาคริลิก (The Glossary of Prosthodontic Terms, 2005)

แม้ว่าสารเหล่านี้จะแข็งและใส แต่ดูตื้นมาก เนื่องจากมีกลุ่มคาร์บอกซิล (carboxyl group,  $-COOH$ ) อยู่ที่ขั้วด้านหนึ่ง น้ำเป็นตัวทำให้สายโซ่พอลิเมอร์แยกตัวเป็นสาเหตุให้วัสดุอ่อนและลดกำลังความแข็งแรงลง ไม่เหมาะกับการนำมาใช้ในปาก แต่เอสเทอร์ (ester group,  $-COOR$ ) ของกรดเหล่านี้ใสและดูตื้นน้อยมาก จึงนำมาใช้ในปาก เช่น พอลิเมทาคริลิกเป็นเรซินที่

มีความแข็งแรงสูงสุดในกลุ่มเดียวกัน อ่อนตัวที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ( $T_g = 125$  องศาเซลเซียส) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



เมื่อ R แทนอนุมูลเอสเตอรัล (ester radical) ซึ่งทำให้เกิดอะคริลิกชนิดต่างๆมากมาย แต่ที่นิยมใช้ทำซีพินปลอม ได้แก่ พอลิเมทิลเมทาคริเลตที่มี R เป็นอนุมูล  $\text{CH}_3$  (เจน รัตนไพศาล, 2533; Anusavice, 2003; Power และ Sakaguchi, 2006)

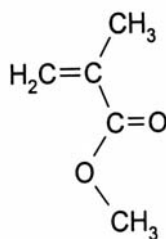
### เมทิลเมทาคริเลต (Methyl Methacrylate)

พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl methacrylate) นั้นไม่ได้ใช้ในทางทันตกรรมสำหรับกระบวนการหล่อ (molding process) แต่จะใช้ มอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลต (monomer methyl methacrylate) มาผสมกับพอลิเมอร์ ซึ่งทำมาในรูปแบบของผง โดยมอนอเมอร์จะละลายบางส่วนของพอลิเมอร์เป็นสารอ่อนนุ่มของพลาสติก (plastic dough) แล้วจะถูกอัดลงในแบบหล่อ และ มอนอเมอร์จะผ่านกลไกปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ต่อไป

เมทิลเมทาคริเลต เป็นของเหลวสีที่อุณหภูมิห้องมีสมบัติทางกายภาพดังนี้คือ จุดหลอมเหลว  $-48$  องศาเซลเซียส, จุดเดือด  $100.8$  องศาเซลเซียส, ความหนาแน่น  $0.945$  กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรที่อุณหภูมิ  $20$  องศาเซลเซียส ( $68$  องศาฟาเรนไฮต์), ความร้อนที่เกิดระหว่างปฏิกิริยา (heat of polymerization)  $12.9$  กิโลกรัม-แคลอรีต่อโมล, เป็นตัวละลายสารอินทรีย์ที่ตีมาก

เมทิลเมทาคริเลตโมเลกุลเชิงเดี่ยว หรือ เรียกว่ามอนอเมอร์ (simple molecule or monomer) สามารถรวมตัวเป็นมหโมเลกุล หรือเรียกว่าพอลิเมอร์ได้ โดยกลไกปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบรวมตัว ซึ่งเกิดจากตัวกระตุ้นอาจเป็นแสงอัลตราไวโอเล็ต สารอินทรีย์หรือความร้อน ไปแยก หรือทำปฏิกิริยากับตัวเริ่มต้นให้ปล่อยอนุมูลอิสระ (free radical) ออกมา อนุมูลอิสระนี้ทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนต่อคาร์บอนของเมทิลเมทาคริเลตเชิงเดี่ยว กลายเป็นพอลิเมทิลเมทาคริเลต

ระดับการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์จะแปรผันกับสถานะของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ เช่น อุณหภูมิ, วิธีการกระตุ้น, ชนิดของสารตั้งต้น (initiator), ความเข้มข้นของสารตั้งต้น, ความบริสุทธิ์ของสารเคมี (เจน รัตนไพศาล, 2533; Anusavice, 2003; Power และ Sakaguchi, 2006)



โมเลกุลเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์

### พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl methacrylate)

พอลิเมทิลเมทาคริเลต เป็นเรซินแข็ง มีความแข็งแบบนूप (knoop hardness number) 18-20, มีความแข็งแรงดึง (tensile strength) ประมาณ 60 เมกะปาสคาล (MPa), มีความหนาแน่น 1.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร, มีมอดุลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ประมาณ 2400 เมกะปาสคาล (MPa)

พอลิเมอร์นี้จะมีเสถียรภาพมาก โดยไม่เปลี่ยนสีในแสงอัลตราไวโอเล็ต, จะมีเสถียรภาพทางเคมีต่อความร้อนและอ่อนนุ่มที่ 125 องศาเซลเซียส สามารถถูกหล่อแบบเป็นวัสดุเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic material) ที่ระหว่างอุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ถึง 200 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของพอลิเมอร์ (depolymerization) ที่ประมาณ 450 องศาเซลเซียส, พอลิเมอร์ร้อยละ 90 จะมีการสลายตัวไปเป็นมอนอเมอร์, น้ำหนักโมเลกุลที่สูงของพอลิเมทิลเมทาคริเลตจะถูกสลายเป็นพอลิเมอร์ที่ต่ำลงแล้วไปเป็น มอนอเมอร์ (Anusavice, 2003)

### กลไกของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization mechanism)

เมื่อมอนอเมอร์ทำปฏิกิริยาต่อกันกลายเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์

เกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบลูกโซ่ หรือ รวมตัว (chain or addition polymerization) และ ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบขั้น หรือ ควบแน่น (step growth or condensation polymerization)

#### 1. ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบลูกโซ่ หรือ รวมตัว (chain or addition polymerization)

พลาสติกทางทันตกรรมส่วนใหญ่จะเกิดปฏิกิริยานี้ ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบลูกโซ่จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และได้พอลิเมอร์โมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งไม่สามารถจำกัดขนาดโมเลกุลได้จำนวนมาก โดยปฏิกิริยาจะเริ่มจากมอนอเมอร์ตัวแรกที่ถูกระตุ้น และเกิดการสร้างสายโซ่พอลิ



เมอร์อย่างรวดเร็วจนกระทั่งหน่วยมอนอเมอร์ที่ใช้ทำปฏิกิริยาหมด ดังนั้นขบวนการเกิดปฏิกิริยานั้นเกิดขึ้นได้ง่าย แต่ยากต่อการควบคุม

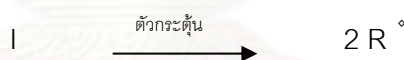
มีความแตกต่างจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบขั้น เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของพอลิเมอร์ขณะเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ หรือ อีกในหนึ่ง คือ โมเลกุลพอลิเมอร์ขนาดใหญ่จะประกอบไปด้วยหน่วยมอนอเมอร์ที่มีโครงสร้างซ้ำๆ จำนวนมากตลอดสาย

สิ่งจำเป็นในปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบลูกโซ่ คือ มอนอเมอร์ที่ทำปฏิกิริยาจะต้องมีกลุ่มไม่อิ่มตัว (unsaturated group) หรือพันธะคู่ (double bond) อยู่ในโครงสร้างและจะต้องมีอนุมูลอิสระ (free radical) กระตุ้นให้เกิดการสร้างสายโซ่พอลิเมอร์ขึ้นได้

ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบลูกโซ่จะประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ ขั้นเริ่มต้น (induction or initiation), ขั้นแผ่ขยายห่วงโซ่ (propagation), ปฏิกิริยาการย้ายสายโซ่ (chain transfer), และขั้นสิ้นสุดของปฏิกิริยา (termination)

ขั้นเริ่มต้น (induction or initiation) ประกอบด้วย 2 ขบวนการ คือ การกระตุ้น (activation) และการเริ่มต้น (initiation)

ขบวนการแรกเกิดจากตัวกระตุ้น (activator) ทำปฏิกิริยากับตัวเริ่มต้น (initiator, I) ทำให้ตัวเริ่มต้นแยกตัวให้ อินิเทียล แพรคเมนต์ แรดิคัล (initial fragment radical, R) หรือที่เรียกกันว่าอนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งได้แก่ อินทรีย์โมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว (unpaired electron)



ตัวกระตุ้น ที่ใช้ในการแยกอนุมูลอิสระ มีมากมาย ได้แก่ ความร้อน, แสงที่มองเห็นได้ (visible light), แสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet light), รังสี, สารเคมี, การใช้ปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox initiation) เป็นต้น ซึ่งจะเป็นการเร่งให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น สำหรับฐานพันธะอะคริลิกส่วนใหญ่จะใช้การกระตุ้นด้วยความร้อน

ขบวนการที่สอง อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์โมเลกุลได้ อินิเทียล มอนอเมอร์ แรดิคัล (initial monomer radical) สรุปปฏิกิริยาตอนนี้ได้ดังนี้



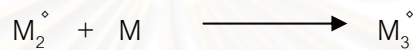
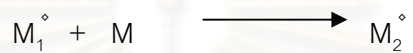
เมื่อ M เป็นมอนอเมอร์โมเลกุล และ  $M_1^\bullet$  เป็น อินิเทียล มอนอเมอร์ แรดิคัล

ตัวแทนที่ (initial fragment radical) ได้จากตัวเริ่มต้น อนุโลมเรียกว่า คตะลิสต์ (catalyst) ทำปฏิกิริยาเปลี่ยนพันธะคู่ของ คาร์บอน-คาร์บอน ของมอนอเมอร์เป็นพันธะเดี่ยว แล้วให้ อินิเทียล มอนอเมอร์ แรดิคัล ซึ่งมี แอคทีฟเซ็นเตอร์ (active center) ติดท้ายและพร้อมทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์อื่นเป็นสายโซ่ต่อไป

ตัวเริ่มต้นที่ใช้มากที่สุดในการเกิดพอลิเมอร์ของพอลิเมทิลเมทาคริเลต คือ เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) ซึ่งจะถูกกระตุ้นอย่างรวดเร็วระหว่าง 50 และ 100 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ

ขั้นแพร่ขยายห่วงโซ่ (propagation) ประกอบด้วยการรวมตัวของ  $M_1^\bullet$  กับมอนอเมอร์ที่เหลือจำนวนมาก อาจเป็นพัน เป็นหมื่น เป็นแสน หรือมากกว่า ได้สายโซ่โพรเพกเต็งพอลิเมอร์ ซึ่งมีแอกทิฟเซ็นเตอร์ต่อท้าย

การรวมของมอนอเมอร์แต่ละหน่วย จะได้สายโซ่โพรเพกเต็งพอลิเมอร์ใหม่ โครงสร้างคงเหมือนกับ  $M_1^\bullet$  แต่ขนาดโตขึ้น



หรืออาจเขียนสูตรทั่วไป

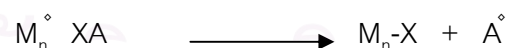


ปฏิกิริยาห่วงโซ่เกิดรวดเร็วมาก

ปฏิกิริยาการย้ายสายโซ่ (chain transfer) ไปทำปฏิกิริยากับสายโซ่โมเลกุลที่กำลังแผ่ขยายให้หยุดโต โดยปฏิกิริยาการย้ายสายโซ่ อาจเกิดจาก

- (1) ย้ายส่วนแอกทิฟเซ็นเตอร์ของอนุมูลจากตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่ง
- (2) ย้ายอะตอมระหว่างสายโซ่อนุมูล กับมอนอเมอร์

สารที่ทำให้เกิดการย้ายสายโซ่ เรียกว่า ตัวกระทำให้เกิดการย้ายสายโซ่ (chain transfer agent) เช่น มอนอเมอร์ตัวเริ่มต้น และสารละลายโดยมีสูตรทั่วไปคือ



ขั้นสิ้นสุดของปฏิกิริยา ของสายโซ่โพรเพกเต็งพอลิเมอร์ มี 2 แบบ คือ

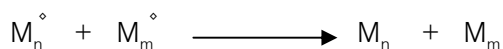
1. แบบจับคู่ หรือ ผสมกัน (coupling or combination) เกิดขึ้นโดยแอกทิฟเซ็นเตอร์ของสายโซ่โพรเพกเต็งพอลิเมอร์ 2 สาย ทำปฏิกิริยากันเป็น 1 สายโซ่โมเลกุลโดยมีสูตรทั่วไปคือ



ปฏิกิริยาสิ้นสุดของสายโซ่โพรเพกเต็งพอลิเมอร์ส่วนมากเป็นแบบจับคู่

2. แบบไม่ได้สัดส่วน (disproportionation) เกิดขึ้นโดย อนุมูลไฮโดรเจน จากแรดิคัลเซ็นเตอร์ของสายโซ่โพรเพกเต็งพอลิเมอร์สายหนึ่ง ย้ายไปทำปฏิกิริยากับแรดิคัลเซ็นเตอร์ของอีกสายโซ่โพรเพกเต็งพอลิเมอร์อีกสายหนึ่ง

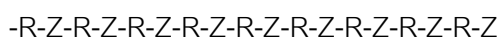
จากการรวมลักษณะนี้จะได้พอลิเมอร์โมเลกุล 2 พวกรวม คือ ชนิดอิ่มตัว (saturated polymer molecules) กับชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated polymer molecules) โดยมีสูตรทั่วไปคือ



การยับยั้ง และ การหน่วง (inhibition and retardation) สารบางชนิดสามารถยับยั้งหรือหน่วงอนุมูลทุกชนิดให้หยุดทำปฏิกิริยา หรือทำให้ปฏิกิริยาของอนุมูลช้าลง สารที่สามารถหยุดปฏิกิริยาของอนุมูล เรียกว่า ตัวยับยั้งปฏิกิริยา (inhibitor) ปฏิกิริยาที่หยุดนั้น เรียกว่า การยับยั้ง และสารที่ทำให้ปฏิกิริยาของอนุมูลเกิดช้าลง เรียกว่า ตัวหน่วงปฏิกิริยา (retarder) ดังนั้นการลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นเริ่มต้นจะเป็นการหน่วงปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ และการเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นสิ้นสุดจะเป็นการลดระดับปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ หรือเป็นการลดน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้น ตัวอย่างสารที่ทำให้เกิดการยับยั้งหรือการหน่วงปฏิกิริยา ได้แก่ ไฮโดรควิโนน (hydroquinone) ยูจีนอล (eugenol) และออกซิเจนจำนวนมาก จากกลไกการทำงานของสารเหล่านี้จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์โดยเติมไฮโดรควิโนนปริมาณเล็กน้อยในเมทิลเมทาคริเลต เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์อย่างถาวร เป็นการยืดอายุการใช้งานของวัสดุ

## 2. ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบขั้น หรือ ควบแน่น (step growth or condensation polymerization)

โดยหลังจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ จะมีโมเลกุลเล็กๆเชิงเดี่ยวเกิดขึ้น (by product) เช่น น้ำ, แอลกอฮอล์ (alcohols), แอมโมเนีย (ammonia) และ กรดแฮโลเจน (halogen acid) ซึ่งมอนอเมอร์ที่จะเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบขั้น จะต้องมีกลุ่มฟังก์ชันแนล (functional group) เป็นตัวทำปฏิกิริยาให้สายโซ่พอลิเมอร์เชื่อมต่อกัน เช่น -OCO-, -O-, -NHCO-, -S-, -OCOO- และ -SO<sub>2</sub>- โดยกลุ่มฟังก์ชันแนลต่างชนิดกันอย่างน้อยสองกลุ่มที่ทำปฏิกิริยากัน กลุ่มฟังก์ชันแนลเหล่านี้อาจอยู่ในมอนอเมอร์โมเลกุลเดียวกันหรือจากต่างมอนอเมอร์ก็ได้ และเมื่อกลายเป็นพอลิเมอร์แบบขั้นจะมีโครงสร้างดังนี้

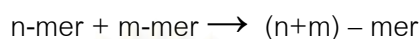


เมื่อ R เป็นกลุ่มอะลิฟาติก หรือ อะโรมาติก (aliphatic or aromatic groups) และ Z เป็นกลุ่มฟังก์ชันแนล

โดยทั่วไปนิยมเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบขั้น มากกว่าควบแน่น เนื่องจากในบางกรณีการทำปฏิกิริยากันระหว่างมอนอเมอร์โดยกลุ่มฟังก์ชันแนล อาจไม่มีการขับ

โมเลกุลเล็กๆเชิงเดี่ยวออกมา เช่น พอลิยูลิเทน จึงควรเรียกปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบขั้นจะเหมาะสมกว่า

ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบขั้นจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ โดยค่อยๆเพิ่มโมเลกุลจาก มอนอเมอร์ เป็น ไดเมอร์ (dimer-), ไตรเมอร์ (trimer-) จนกลายเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเขียนปฏิกิริยาโดยสูตรทั่วไปได้ดังนี้

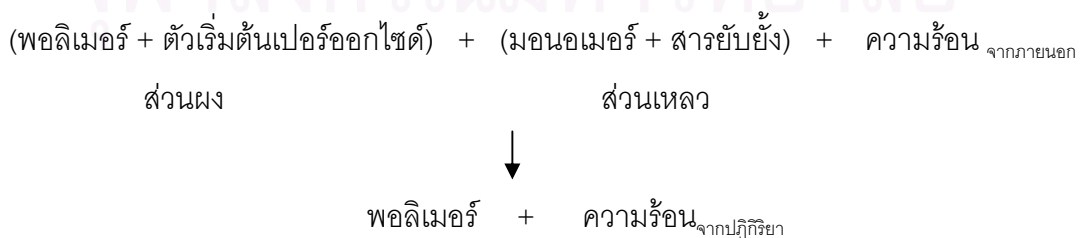


ในการพยายามยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบขั้นก่อนที่โมเลกุลของพอลิเมอร์จะมีขนาดใหญ่เท่าจริง เนื่องจากยิ่งพอลิเมอร์มีขนาดโมเลกุลใหญ่ก็จะทำให้คุณสมบัติในการเคลื่อนที่ของโมเลกุล และ จำนวนโมเลกุลลดลง เช่น ไนลอน (nylon) ต้องการขนาดโมเลกุลเพียง 10,000 ถึง 20,000 เท่านั้น จึงจะให้คุณสมบัติที่ดี แต่การยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบขั้นนี้ก็ทำได้ยาก

ในปัจจุบันพลาสติกที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบขั้น ไม่ได้ถูกนำมาใช้ในการบูรณะทางทันตกรรม หรือ ทางทันตกรรมประดิษฐ์มากนัก แต่จะนำไปใช้กันมากในชีวพอลิเมอร์ (biologic polymers) เช่น คอลลาเจน กรดโบริโบนิวคลีอิก ตัวอย่างวัสดุทางทันตกรรมที่ใช้พอลิเมอร์ชนิดนี้ ได้แก่ วัสดุพิมพ์ปากพอลิซิลไฟด์ และซิลิโคนชนิดควบแน่น เป็นต้น (เจน รัตน์ไพศาล, 2533; Anusavice, 2003; Power และ Sakaguchi, 2006)

### อะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนสำหรับประดิษฐ์ฐานฟันปลอม ( Heat-activated denture base acrylic resins )

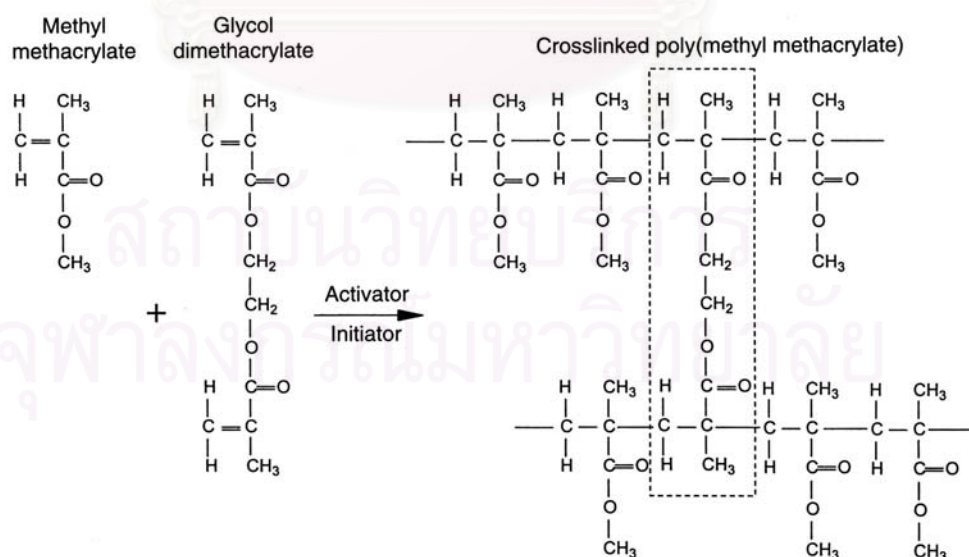
โดยส่วนใหญ่วัสดุที่ใช้เป็นฐานฟันปลอมเป็นพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ได้ด้วยความร้อน อาจเป็นน้ำร้อนหรือแสงอัลตราไวโอเล็ต หรือ ตู้อบไมโครเวฟ แต่ต้องไม่ร้อนเกิน 70 องศาเซลเซียส (158 องศาฟาเรนไฮต์) ดังสมการที่แสดง



องค์ประกอบของอะคริลิกเรซินที่บ่มตัวด้วยความร้อน ประกอบด้วยส่วนผง (Powder) และส่วนเหลว(Liquid) ซึ่งส่วนผงประกอบด้วยพอลิเมอร์ ลักษณะใสหรือมีสีเป็นเม็ดละเอียดของพอลิเมทิลเมทาคริเลต ขนาด 50-250 ไมโครเมตร ขนาดอนุภาคของส่วนผงจะมีอิทธิพลต่อระยะเวลาในการอัด (doughing time) อาจมีพอลิเมอร์ร่วมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของพอลิเมอร์ ตัวเริ่มต้นส่วนใหญ่มักเป็นเบนโซิลเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.2-0.5 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังมีการเติมสีที่จับตามผิวของเม็ดพอลิเมอร์ ประมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักนอกจากนี้ยังประกอบด้วยส่วนอื่นๆ ได้แก่ สารทึบแสง (opacifier), ตัวทำให้นุ่มและเส้นใยอินทรีย์ (organic fiber)

สำหรับส่วนเหลวประกอบด้วยมอนอเมอร์ของเมทิลเมทาคริเลต เป็นของเหลวใสไม่เสถียรระเหยง่าย จึงใส่สารช่วยให้เสถียร (stabilizer) เช่น ไฮโดรควิโนน(hydroquinone) 0.006 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและบรรจุในขวดสีชา เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ขณะเก็บนอกจากนี้ยังมีการเติมสารเชื่อมไขร้อยละ 1-2 โดยปริมาณ และยังมีส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่ เอทิลอะคริเลต (ethyl acrylate) ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เพื่อให้เป็นพอลิเมอร์ร่วม

สารเชื่อมไขที่เติมในส่วนเหลวเพื่อให้สายโซ่พอลิเมอร์ 2 เส้นเชื่อมโยงกัน เกิดเป็นโครงสร้าง 3 มิติหรือตาข่ายทำให้กำลังความแข็งแรงสูงขึ้นและทนต่อการกระแทก ที่ใช้บ่อย ได้แก่ ไกลคอลไดเมทาคริเลต (glycol dimethacrylate) ซึ่งมีโครงสร้างและสูตรทางเคมีคล้ายกับเมทิลเมทาคริเลตเมื่อทั้ง 2 ทำปฏิกิริยากัน จะได้สายโซ่พอลิเมอร์ที่โตขึ้น(Anusavice, 2003; Power และ Sakaguchi, 2006) ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงการเกิดการเชื่อมไขของ PMMA ซึ่งมีไกลคอลไดเมทาคริเลตเป็นสารเชื่อมไขเข้าไปยึด PMMA ในลักษณะ “สะพาน” (bridge) หรือ “การเชื่อมต่อ” (interconnect) ระหว่างสายโซ่ PMMA (ที่มา: Anusavice K. J.2003. Phillip's Science of dental materials. 11<sup>th</sup> ed)

## สมบัติทางกายภาพ (physical properties)

### การหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization shrinkage)

เมื่อเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ผ่านกลไกปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ไปเป็นพอลิเมทิลเมทาคริเลต ความหนาแน่นของมวลจะเปลี่ยนจาก 0.94 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ( $\text{g/cm}^3$ ) เป็น 1.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีผลให้มีการหดตัวเชิงปริมาตร (volumetric shrinkage) ร้อยละ 21 การหดตัวเชิงปริมาตรจะแสดงโดยมวลที่ผ่านกลไกปฏิกิริยาการเกิด

พอลิเมอร์ประมาณร้อยละ 7

### การเกิดรูพรุน (porosity)

การมีรูพรุนที่พื้นผิว (surface) และใต้พื้นผิว (subsurface) นั้นขึ้นกับการยอมรับทางกายภาพ (physical), ความสวยงาม และคุณสมบัติของความสะอาดของฟันปลอม รูพรุนจะมากในส่วนที่มีความหนามากกว่าของฐานฟันปลอม รูพรุนนี้เป็นผลมาจากการกลายเป็นไอของมอนอเมอร์ที่ยังไม่ทำปฏิกิริยา และพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เมื่อถึงอุณหภูมิของเรซิน หรือผ่านจุดเดือดของสารเหล่านี้

รูพรุนอาจเป็นผลมาจากการผสมส่วนผงและส่วนเหลวไม่เพียงพอ ทำให้บางบริเวณของเรซินมีมอนอเมอร์มากกว่าบริเวณอื่น ซึ่งระหว่างกลไกปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ บริเวณเหล่านี้จะมีการหดตัวมากกว่าบริเวณอื่น และการหดตัวเฉพาะที่นำไปสู่การเกิดรูพรุน

### การดูดซึมน้ำ (water absorption)

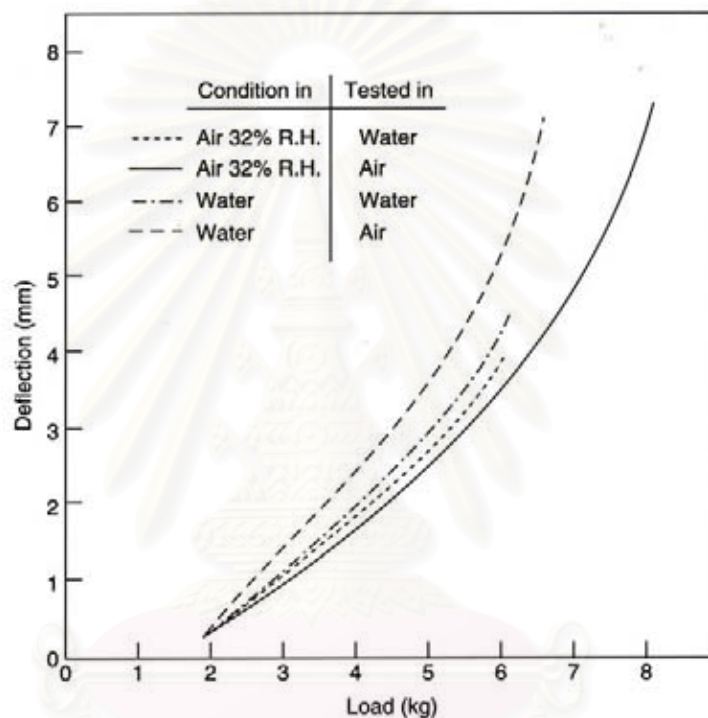
พอลิเมทิลเมทาคริเลตดูดซึมน้ำเล็กน้อยเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ประกอบด้วยน้ำ ซึ่งน้ำจะมีผลต่อสมบัติทางกล และทางมิติของพอลิเมอร์

การดูดซึมน้ำจะเกิดจากความชื้นของพอลิเมทิลเมทาคริเลตโมเลกุล กลไกการแพร่ผ่านเป็นการตอบสนองหลักสำหรับการเข้าไปของน้ำ โดยโมเลกุลของน้ำจะแทรกไปในเนื้อพอลิเมทิลเมทาคริเลต และอยู่ในตำแหน่งระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ มีผลให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดแรงแยกออกจากกัน การมีโมเลกุลของน้ำข้างในวัสดุนี้จะมีผลสำคัญสองอย่าง โดยอย่างแรก คือ เป็นสาเหตุของการขยายตัวของวัสดุ และอย่างที่สอง คือ โมเลกุลน้ำจะขัดขวางการพันกันของสายโซ่พอลิเมอร์ และมีผลเป็นพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer)

### ความแข็งแรง (strength)

ความแข็งแรงของฐานฟันปลอมเรซินขึ้นกับหลายปัจจัย ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่ ส่วนประกอบของเรซิน, เทคนิคของกระบวนการทำฟันปลอม และสภาวะภายในช่องปาก

การยอมรับคุณสมบัติทางกายภาพ ฐานฟันปลอมเรซินต้องผ่านมาตรฐานสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา เลขที่ 12 (American National Standards Institute / American Dental Association (ANSI/ADA) Specification No12) ซึ่งการทดสอบกำลังดัดขวาง (transverse test) ถูกใช้ประเมินความสัมพันธ์ระหว่างแรง (load) ที่ให้ และความแอ่นตัว (deflection) ในชิ้นงานเรซิน ดังในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดง ความสัมพันธ์ระหว่างแรง (load) ที่ให้ และความแอ่นตัว (deflection) ในชิ้นงานเรซิน (ที่มา: Anusavice K. J. 2003. *Phillip's Science of dental materials*. 11<sup>th</sup> ed)

พบว่า แต่ละกราฟไม่เป็นเส้นตรงอาจจะสรุปได้ว่า เกิดการยืดหดตัวที่ถาวร หรือเสียรูปถาวร(plastic deformation) ระหว่างกระบวนการให้แรง บางครั้งเกิดการยืดหดตัวไม่ถาวร หรือเสียรูปชั่วคราว (elastic deformation) ในทางคลินิกหมายถึง เมื่อให้แรงจะทำให้เกิดความเค้น (stress) ภายในเรซิน และเปลี่ยนรูปร่างโดยรวมทั้งหมดของฐานฟันปลอม เมื่อเอาแรงกระทำออกความเค้นภายในเรซินจะคลายลง และฐานฟันปลอมจะเริ่มกลับมาที่รูปร่างเดิม อย่างไรก็ตาม การยืดหดตัวที่ถาวรหรือเสียรูปถาวรจะป้องกันการคืนกลับโดยสมบูรณ์

บางครั้งส่วนสำคัญที่สุดของความแข็งแรงของเรซิน คือ ระดับของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์โดยเมื่อวัสดุมีระดับของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของเรซินก็จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นวงจรการบ่ม (curing cycle) จะมีผลสำคัญมากกับเรซินที่บ่มด้วยความร้อน

เรซินที่บ่มได้เองจะมีระดับของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ต่ำกว่า เรซินที่บ่มด้วยความร้อนเป็นผลให้มีการเพิ่มระดับของมอนอเมอร์ตกค้าง (residual monomer) และลดความแข็งแรง (strength) และความแข็งตึง (stiffness)

#### การคืบ (creep)

ฟันปลอมเรซินเป็น viscoelastic หรือเรียกว่าเป็น rubbery solid ซึ่งมีการยืดหดตัวไม่ถาวร หรือเสียรูปชั่วคราวเมื่อได้รับความเค้นแล้วกำจัดออกไป เมื่อฟันปลอมเรซินได้รับแรงวัสดุจะเริ่มเกิดการเสียรูป ถ้าไม่มีการเอาแรงออกไปจะเกิดการยืดหดตัวที่ถาวร หรือเสียรูปถาวร การเกิดการเสียรูปนี้เรียกว่า การคืบ

#### การร่วน (crazing)

การเกิดการคลายลงของความเค้น (stress relaxation) อาจจะทำให้เกิดรอยตำหนิขนาดเล็กบนพื้นผิว ซึ่งมีผลต่อความสวยงาม และคุณสมบัติทางกายภาพของฟันปลอม การทำให้เกิดรอยตำหนิ หรือ รอยร้าวขนาดเล็ก เรียก การร่วน

การร่วนอาจเป็นผลจากการทำให้เกิดความเค้น หรือการละลายบางส่วนของเรซิน เช่น โดยตัวทำละลาย, ความเค้นแรงดึงเป็นการตอบสนองที่พบบ่อยที่สุดของการร่วนในฐานฟันปลอม ซึ่งเชื่อว่าการร่วนถูกทำให้เกิดโดยการแยกทางกลของสายโซ่พอลิเมอร์ ซึ่งเกิดจากความเค้นแรงดึง

โดยทั่วไปการร่วนเริ่มที่ผิวของเรซิน และเรียงตัวไปสู่แรงดึง เกิดการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กต่อภายใน ดังนั้นการพัฒนาฟันปลอมเรซินแบบเชื่อมไขว้เป็นผลเพื่อลดอุบัติการณ์เกิดการร่วนของฟันปลอม

นอกจากนี้วัสดุฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนยังมีคุณสมบัติอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

- การนำความร้อนต่ำมาก

- ในการเชื่อมฟันปลอมที่แตก ความแข็งแรงระหว่างรอยต่อที่ใช้พอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นตัวเชื่อมลดลงร้อยละ 25 จากเดิม ที่เป็นเช่นนี้เพราะเป็นการเชื่อมยึดบริเวณรอยต่อ (adhesive bond) โดยมอนอเมอร์จากพอลิเมทิลเมทาคริเลตใหม่ละลายพื้นผิวตรงรอยต่อของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเก่าเท่านั้น อาจเพิ่มสูงได้เล็กน้อยด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้มากขึ้น โดยทำให้เกิดการยึดอยู่เชิงกล



- อาการคายเคืองต่อเนื้อเยื่อในปาก เกิดจากมอนอเมอร์ที่ตกค้างหลังบ่มแล้ว มีประมาณร้อยละ 0.2 ถ้าพอลิเมทิลเมทาคริเลตยี่ห้อ Anusavice, 2003; Power และ Sakaguchi, 2006)

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน

คุณสมบัติ	ค่า	หน่วย
ความแข็งแรงเฉือน	55	MPa
ความแข็งแรงกด	76	MPa
ขีดยึดปริมาตร	26	MPa
โมดูลัสความยืดหยุ่น	3800	MPa
ความแข็งแรงกระแทก	1	cm kg/cm
การยึดตัว	2	percent
การดัดงอตามขวาง		
- ที่ 3500 กรัม	2	mm
- ที่ 5000 กรัม	4	mm
ความแข็งแรงนูน	15	kg/ mm <sup>2</sup>
การนำความร้อน	0.0006	°C/mm <sup>2</sup>
อุณหภูมิความร้อนที่ทำให้เสียรูป	95	°C
การดูดน้ำ (24 ชั่วโมง)	0.6	mg/ mm <sup>2</sup>
การละลายน้ำ	0.02	-
การยึดติดกับอะคริลิก (ทดสอบแรงเฉือน)	41	MPa
ความคงตัวของสี	good	-
กลิ่นและรสชาติ	none	-
การเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ	good	-

คุณสมบัติทั้งหมดทดสอบจากส่วนผสมที่มีส่วนผง:ส่วนเหลว เท่ากับ 3:1

(ที่มา : ดัดแปลงจาก Power J. M. 2006. Craig's restorative dental materials. 12<sup>th</sup> ed)

## อะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เองสำหรับประดิษฐ์ฐานฟันปลอม (Auto polymerizing denture base resins)

มีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายกับ อะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน ยกเว้นมีการกระตุ้นทางเคมี (chemical activation) จะเป็นการเติม เทอร์เทียรีเอมีน (tertiary amine) เช่น ไดเมทิล-พารา-โทลูอิดีน (dimethyl-para-toluidine) ในส่วนเหลว เมื่อทำการผสมส่วนผงและส่วนเหลว เทอร์เทียรีเอมีนจะเป็นสาเหตุให้ เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) แตกตัวเกิด อนุมูลอิสระเปอร์ออกไซด์ (peroxide free radicals) ซึ่งเป็นตัวเริ่มต้นกลไกปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของมอนอเมอร์ในการทำฐานฟันปลอม

พลังงานความร้อนและไม่ไครเวฟจะใช้ในการเหนี่ยวนำ กลไกปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ โดยพลังงานความร้อนจะทำให้ เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ แตกตัว และเกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระจะทำให้เริ่มเกิดกลไกปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์

ตัวกระตุ้นทางเคมี (chemical activator) จะใช้ในการเหนี่ยวนำกลไกปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ซึ่งการกระตุ้นทางเคมีไม่ได้ใช้พลังงานความร้อน ดังนั้นอาจเกิดปฏิกิริยาสมบูรณได้ที่อุณหภูมิต่ำ โดย อะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง (auto polymerizing resins) จะหมายถึง cold-curing , self-curing หรือ chemically activated resins

ดังนั้น ความแตกต่างพื้นฐานระหว่าง อะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน และ อะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง คือ วิธีที่ทำให้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ เป็น อนุมูลอิสระ

ระดับกลไกปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของการใช้อะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง จะไม่สมบูรณเท่าการใช้ชนิดบ่มด้วยความร้อน ดังนั้นฐานฟันปลอมที่ถูกเตรียมโดยใช้อะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง จะมีมอนอเมอร์ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยา (unreacted monomer) ปริมาณมากในฐานฟันปลอม ซึ่งมีมอนอเมอร์ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยา จะทำให้มีปัญหาหลัก 2 อย่างคือ ข้อแรกจะเป็น สารทำให้พอลิเมอร์นุ่ม (plasticizer) ซึ่งลดความแข็งแรงดัดขวาง (transverse strength) ของฐานฟันปลอม ข้อที่สองคือ มอนอเมอร์ที่เหลือจะเป็นสิ่งระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อ

จากคุณสมบัติทางกายภาพ อะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง จะมีการหดตัวน้อยกว่า อะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน ดังนั้น อะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง จะมีความเที่ยงตรงของมิติมากกว่า อะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน

เสถียรภาพของสีของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง โดยทั่วไปจะต่ำกว่าอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน เนื่องจากความสัมพันธ์ของเทอร์เทียรีเอมีน ภายในอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง โดยเอมีนจะเสถียรต่อการเกิด ออกซิเดชัน (oxidation) และเกิดการเปลี่ยนแปลงของสี ซึ่งการ

เปลี่ยนแปลงของสีของเรซินนั้น อาจทำให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดได้โดยการเพิ่ม ตัวคงเสถียรภาพ (stabilizing agent) เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Anusavice, 2003; Power และ Sakaguchi, 2006)

### เรซินที่ใช้ซ่อมแซมฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซิน (Repair resins)

ในการเลือกใช้วัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมส่วนใหญ่จะใช้อะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง มากกว่า ชนิดบ่มด้วยความร้อน และ ชนิดบ่มด้วยแสง ทั้งนี้ในการเลือกวัสดุ ยังคงขึ้นกับปัจจัย ได้แก่ 1) เวลาที่ใช้ในการซ่อมแซม, 2) ความแข็งแรงตัดขวางที่ได้รับเมื่อใช้ในการซ่อมแซม, 3) ระดับความเที่ยงตรงทางมิติ (dimensional accuracy) ที่ยังคงอยู่ระหว่างการซ่อมแซม ซึ่ง อะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง จะมีความแข็งแรงตัดขวาง (transverse strength) ที่ต่ำกว่า แต่ข้อดีหลักของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง คือ สามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิห้อง ส่วน ชนิดบ่มด้วยความร้อน และ ชนิดบ่มด้วยแสง ต้องใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ และ กล่องอบด้วยแสง (light chambers) ตามลำดับ ซึ่งความร้อนที่ผลิตโดยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ และ กล่องอบด้วยแสง มักจะทำให้เกิด การปล่อยความเค้น และการบิดเบี้ยว (distortion) ของฐานฟันปลอมส่วนที่เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์มาก่อนแล้ว (Anusavice, 2003) ส่วนอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง จะมีการเกิดความร้อนไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการปล่อยความเค้นส่วนที่เหลือ (residual stress) จึงไม่ทำให้เกิดการบิดเบี้ยว (distortion) ของฐานฟันปลอม (Rached, Powers และ Del Bel Cury, 2004)

ในการซ่อมแซมฐานฟันปลอมโดยใช้ อะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง จะทำการทามอนอเมอร์ ปริมาณเล็กน้อยลงบนพื้นผิวที่เตรียมไว้ของฐานฟันปลอม เพื่อให้มีการเชื่อมติด (bonding) ของ วัสดุที่ใช้ซ่อม การเติมเป็นชั้นๆของมอนอเมอร์ และ พอลิเมอร์ ในบริเวณที่ซ่อมแซมโดยใช้แปรง เล็กๆหรือเครื่องมือที่เหมาะสม ใส่วัสดุให้มากเกินเล็กน้อยที่บริเวณซ่อมแซมเพื่อชดเชย การหดตัว หลังกลไกปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization shrinkage) (Anusavice, 2003; Power และ Sakaguchi, 2006)

### อัตราส่วนมอนอเมอร์ต่อพอลิเมอร์ หรือ ส่วนเหลวต่อส่วนผง

อัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ต่อมอนอเมอร์เป็นสิ่งสำคัญต่อคุณสมบัติทางกายภาพของฐานฟันปลอม ซึ่งอัตราส่วนของพอลิเมอร์ต่อมอนอเมอร์ยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่

การเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของฐานฟันปลอมจะมีผลต่อการหดตัว (shrinkage) ในเชิงปริมาตร และเชิงเส้น ซึ่งมีงานวิจัยบ่งชี้ว่า ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของเมทิลเมทาคริเลตไปเป็นพอลิเมทิลเมทาคริเลตจะมีการหดตัวเชิงปริมาตรร้อยละ 21

ระบบที่ใช้ทำฐานฟันปลอมจะประกอบด้วยส่วนผงและส่วนเหลว ส่วนผงจะประกอบด้วยเม็ดของพอลิเมทิลเมทาคริเลต โดยทั่วไปเรียกว่า พอลิเมอร์ ส่วนเหลวประกอบด้วย เมทิลเมทาคริเลต เรียกว่า มอนอเมอร์ เมื่อส่วนผงและส่วนเหลวผสมกันด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะมีลักษณะเป็นก้อนอ่อนนุ่ม อัตราส่วนที่ยอมรับกันคือ 3:1 โดยปริมาตร ซึ่งอัตราส่วนนี้จะจำกัดการหดตัวเชิงปริมาตรที่ประมาณร้อยละ 6 (การหดตัวเชิงเส้นร้อยละ 0.5) ควรตวงหรือชั่งให้ได้อัตราส่วนที่กำหนด เนื่องจากหากพอลิเมอร์มากเกินไป พอลิเมอร์ที่ละลายจะตกค้างเป็นเม็ดเล็กๆ ในเนื้อของพอลิเมอร์หลังบ่ม แต่หากมอนอเมอร์มากเกินไปพอลิเมอร์ที่ได้จะหดตัวมากขึ้น (เจน รัตนไพศาล, 2533; Anusavice, 2003)

### ปฏิกิริยาของพอลิเมอร์-มอนอเมอร์

เมื่อพอลิเมอร์และมอนอเมอร์ถูกผสมด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสม จะเกิด 5 ขั้นตอนคือ

1. ขั้นเป็นเม็ดทราย (wet sand-link stage) เป็นระยะที่พอลิเมอร์เริ่มผสมกับมอนอเมอร์ แต่ยังไม่ละลาย ยังเห็นเป็นเม็ดคล้ายทรายอยู่
2. ขั้นเป็นเส้นใย (stringy stage) เป็นระยะที่มอนอเมอร์เริ่มละลายพอลิเมอร์ โดยผิวชั้นนอกของเม็ดพอลิเมอร์ถูกเจาะ แล้วละลายในมอนอเมอร์ ลักษณะเป็นเส้นใยและเหนียว
3. ขั้นอ่อนนุ่ม (dough stage) เป็นระยะที่พอลิเมอร์ละลายในมอนอเมอร์กลายเป็นเนื้อเดียว จำนวนมอนอเมอร์เหลือเพียงเล็กน้อย ขั้นนี้มีลักษณะอ่อนนุ่ม บั่นเป็นก้อนได้ ไม่ติดภาชนะหรือมือ ไม่มีเส้นใย และแผ่ตามชอกมุมได้ เป็นขั้นที่เหมาะสมสำหรับอัดลงแบบหล่อ ไม่เกิดรูพรุน

เวลาตั้งแต่เริ่มผสมพอลิเมอร์กับมอนอเมอร์จนกระทั่งถึงระยะอ่อนนุ่มนี้ เรียกว่า ระยะเวลาอัด (dough time)

ระยะเวลาอัดอาจเร็ว หรือช้าย้อมแล้วแต่ขนาดของพอลิเมอร์ ถ้าขนาดเล็กจะละลายได้เร็ว ระยะเวลาอัดก็เร็ว น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์สูง ละลายตัวได้ช้า ระยะเวลาอัดช้า ถ้าใส่สารทำให้นุ่ม ระยะเวลาอัดช้าลง อุณหภูมิสูงเร่งให้ระยะเวลาอัดเร็วขึ้น อัตราส่วนของพอลิเมอร์มากกว่า อัตราส่วนปกติทำให้ระยะเวลาอัดเร็วขึ้น

ระยะเวลาอัดไม่ต่ำกว่า 5 นาที (ควรดูคำแนะนำบนฉลากและปฏิบัติตามคำแนะนำนั้นๆ ซึ่งอาจมีระยะเวลาแตกต่างกันออกไป)

4. ขั้นคล้ายยาง (rubber-like stage) เป็นขั้นที่มีมอนอเมอร์เหลือน้อยที่สุด ลักษณะคล้ายยาง ยืดหยุ่นได้ ไม่สามารถแผ่ออกได้ ไม่เหมาะสำหรับอัด

5. ขั้นแข็งตัว (stiff stage) จะมีการระเหยของมอนอเมอร์หมดแล้ว ส่วนผสมจะแข็งมาก และต้านต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางกล (mechanical deformation)

จากสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา เลขที่ 12 ( American National Standards Institute / American Dental Association (ANSI/ADA) Specification No12) สำหรับฐานฟันปลอมอะคริลิกควรจะใช้ระยะเวลาอัดน้อยกว่า 40 นาทีตั้งแต่เริ่มผสม ในทางคลินิกระยะเวลาชั้นอ่อนนุ่มควรจะใช้เวลาน้อยกว่า 10 นาที (เจน รัตนไพศาล, 2533; Anusavice, 2003; Power และ Sakaguchi, 2006)

### การอัด (Packing)

เทคนิคการอัดมี 2 แบบ คือ แบบอัดระหว่างภาชนะหล่อแบบฟันปลอม (flask) ส่วนครึ่งบนกับส่วนครึ่งล่างสามารถดูว่าอัดพอลิเมอร์เต็มแบบหล่อหรือไม่ (trial closure technic) กับแบบฉีดตามท่อ (injection technic) ซึ่งไม่สามารถแยกออกมาดูว่าเต็มแบบหล่อหรือไม่ เพียงอัดให้พอลิเมอร์เต็มท่ออัดเท่านั้น ข้อดีของแบบนี้คือไม่มีส่วนเกินพอลิเมอร์ตามขอบฟันปลอม แต่วิธีการยุ่งยาก ในที่นี้จะกล่าวถึงแบบอัดระหว่างภาชนะหล่อแบบฟันปลอมส่วนครึ่งบนกับส่วนครึ่งล่าง ซึ่งใช้ในการทดลองนี้

#### แบบอัดระหว่างภาชนะหล่อแบบฟันปลอมส่วนครึ่งบนกับส่วนครึ่งล่าง

เป็นการทำให้เรซินฐานฟันปลอมไหลเต็มแบบหล่อด้วยแรงอัด กระบวนการนี้เป็นหนึ่งในขั้นตอนที่สำคัญในการทำฟันปลอม การใส่วัสดุในแบบหล่อควรใส่ในช่วงเวลาของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ การใส่วัสดุมากเกินไป (overpacking) จะทำให้มีความหนาเกินไป และมีผลให้ฟันปลอมนั้นอยู่ผิดตำแหน่งได้ แต่ถ้าใส่วัสดุน้อยไป (underpacking) จะทำให้ฟันปลอมมีรูพรุน ในการจะลดการเกิดดังที่กล่าวมา ควรจะทำการอัดวัสดุในแบบหล่อหลายๆขั้นตอน

ในขั้นแรก กระบวนการอัดควรจะทำขณะเรซินฐานฟันปลอมอยู่ในขั้นอ่อนนุ่ม โดยเมื่อนำออกจากภาชนะที่ผสมมาปั่นใส่ในแบบหล่อ นำแผ่นพอลิเอทีลีน (polyethylene sheet) ปิดบนเรซิน แล้วปิดแบบหล่อ นำเข้าเครื่องอัด ค่อยๆทำการอัด แล้วเรซินจะค่อยๆไหลออกมาตามช่องว่างของแบบหล่อ ทำการตัดวัสดุส่วนเกินออก แล้วให้แรงอัดอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งแบบหล่อปิดสนิท แยกแบบหล่อออกและนำแผ่นพอลิเอทีลีนออก

การตัดควรรทำไทรอัลโคลสเซอร์ (trial closure) จนกระทั่งไม่มีส่วนเกินออกมาในการตัดครั้งสุดท้ายต้องไม่มีแผ่นพอลิเอทีลีนแล้ว นำภาชนะหล่อแบบฟันปลอม ใส่ในตัวนำภาชนะหล่อแบบฟันปลอม (flask carrier) ซึ่งยังคงให้แรงอัดในระหว่างกระบวนการทำฟันปลอมต่อไป (เจนรัตน์ไพศาล, 2533; Anusavice, 2003; Power และ Sakaguchi, 2006)

## การบ่ม (Curing process)

นิยามการบ่ม (curing) หมายถึง การเปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นวัสดุที่ใช้งานได้ โดยการให้ความร้อนหรือสารเคมี เรียกว่า ตัวบ่ม (curing agent) ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี-ฟิสิกส์ (physiochemical change)

หลักการบ่มจะให้ความร้อนไปแยกอนุมูลอิสระจากเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เพื่อทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ให้กลายเป็นพอลิเมอร์ ความร้อนที่ใช้บ่ม อาจเป็นความร้อน แสงอัลตราไวโอเล็ต เตอบอบ และอื่นๆ

วิธีที่สะดวกและประหยัดได้แก่ บ่มในน้ำอุ่น (water bath) แต่ต้องควบคุมอุณหภูมิและเวลาให้ถูกต้องมี 2 วิธี ตามข้อกำหนดของสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา เลขที่ 12 (American Dental Association Specification No.12) สำหรับพอลิเมอร์สร้างฐานฟันปลอม คือ

1. การบ่มระยะสั้นในน้ำอุ่น 73.9 องศาเซลเซียส (165 องศาฟาเรนไฮน์) ระยะเวลา 90 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ แล้วเร่งให้น้ำเดือดอีก 30 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์สมบูรณ์ และได้มอนอเมอร์ที่เหลือออกมา

2. บ่มระยะยาวในน้ำอุ่นที่มีอุณหภูมิ 73.9 องศาเซลเซียส (165 องศาฟาเรนไฮน์) ต่อเนื่องกันเป็นเวลาอย่างน้อย 9 ชั่วโมง (ADA, 1976-1978)

การบ่มพอลิเมทิลเมทาคริเลตในอุณหภูมิต่ำๆ จะได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่าการบ่มในอุณหภูมิสูงๆ เพราะปริมาณของมอนอเมอร์มีมากกว่าในอุณหภูมิสูง

ข้อระวัง ไม่ควรบ่มพอลิเมทิลเมทาคริเลตในระยะเริ่มแรกสูงกว่าอุณหภูมิ 82 องศาเซลเซียส (180 องศาฟาเรนไฮน์) ถ้าเกินระดับอุณหภูมินี้ ความร้อนทั้งหมดที่เกิดจากความร้อนของน้ำในระดับอุณหภูมินี้รวมกับอุณหภูมิที่มีความร้อนคายออกมาระหว่างปฏิกิริยา สูงเกินกว่าจุดเดือดของมอนอเมอร์ซึ่งมีค่า 100.3 องศาเซลเซียส (213.4 องศาฟาเรนไฮน์) ทำให้มอนอเมอร์นั้นเดือดและระเหยเร็วเกินไป อาจเป็นเหตุให้เกิดรูพูนได้

อุณหภูมิของน้ำที่ใช้บ่มรวมกับอุณหภูมิที่ความร้อนคายออกมาระหว่างปฏิกิริยา ทำให้ อุณหภูมิพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นนี้เรียกว่า อุณหภูมิสีขร (peak temperature) (เจน รัตนไพศาล, 2533; Anusavice, 2003; Power และ Sakaguchi, 2006)

## รูปร่างรอยต่อของการซ่อมแซมฟันปลอมฐานอะคริลิก

หนึ่งในปัจจัยหลักในความแข็งแรงของการซ่อมแซมฟันปลอมฐานอะคริลิก คือ ชนิดของ รอยเชื่อมต่อในการซ่อมแซม ซึ่งมีการแนะนำต่างกันไปได้แก่ แบบขั้น (rabbeted joint) , แบบหน้า ตัดตรง 90 องศา (butt joint), แบบหน้าตัดเฉียง 45 องศา (45 degree beveled joint) และ แบบ มน (rounded joint) โดยจากการรายงานถึงผลของความแข็งแรงของฟันปลอมฐานอะคริลิกที่ ซ่อมแซมแนะนำว่า ควรออกแบบพื้นผิวรอยต่อที่ซ่อมแซมเป็นแบบหน้าตัดเฉียง 45 องศา และ แบบมน (Ward และคณะ, 1992; Harrison และ stansbury, 1970) แต่ในทางคลินิกแล้วการ เตรียมแบบหน้าตัดเฉียงจะง่ายกว่าแบบมน (Ward และคณะ, 1992)

## สารเคมีที่ใช้ช่วยในการซ่อมแซมฟันปลอมฐานอะคริลิก

ความล้มเหลวของบริเวณที่ทำการซ่อมแซมนั้นสามารถเกิดได้ในส่วนของ “การยึดติด” (adhesive) หรือ “การเชื่อมแน่น” (cohesive) ซึ่งถ้าความล้มเหลวนั้นเป็นที่ “การยึดติด” แสดงว่า ผิวรอยต่อ (interface) ระหว่างอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน และ อะคริลิกชนิดบ่มได้เอง ขาด ความแข็งแรง ถ้าความล้มเหลวเป็นที่ “การเชื่อมแน่น” จะบ่งชี้ว่าการเชื่อมต่อ (bonding) ต่อพื้นผิว ซ่อมแซม (repair surface) นั้นเพียงพอ (Ward และคณะ, 1992) เพื่อที่จะให้มีความแข็งแรงที่ มากสำหรับการซ่อมแซมจึงจำเป็นที่จะต้องมีการเชื่อมต่อที่ดี ซึ่งสามารถทำได้โดยการทาสารเคมี (chemical agent) ที่บริเวณพื้นผิวอะคริลิกเรซิน ซึ่งสารเคมีที่ใช้กัดผิวหน้า (etch surface) จะทำ ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ (morphology) และ คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุ (Rached และ Del Bel Cury, 2001)โดยมีการแนะนำถึงการปรับพื้นผิวที่จะซ่อมแซมโดยการทำให้พื้นผิวนั้นขึ้น ด้วย ส่วนเหลวมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลต เป็นการละลายโครงสร้างพื้นผิวอะคริลิกชนิดบ่มด้วย ความร้อน ซึ่งทำให้มีการเชื่อมต่อที่แข็งแรงขึ้นในการซ่อมแซมอะคริลิกเรซิน (Vattittu ,Lassila และ Lappalainen , 1994; Anusavice, 2003) และการปรับพื้นผิวโดยใช้ส่วนเหลวมอนอเมอร์ เมทิลเมทาคริเลต นั้นควรทำให้พื้นผิวที่จะปรับนั้นขึ้นเป็นระยะเวลา 180 วินาที จะให้ความแข็งแรง การเชื่อมต่อที่ดีในการซ่อมแซมเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่สั้นกว่านี้ (Vattittu ,Lassila และ

Lappalainen, 1994) รวมทั้งยังมีการแนะนำการปรับพื้นผิวที่จะเชื่อมแซมโดยอะซิโตน (acetone) (Sarac และคณะ, 2005) ซึ่งให้ความแข็งแรงการเชื่อมต่อในการเชื่อมแซมได้เพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่ยังไม่มีการบ่งชี้ถึงช่วงเวลาในการใช้ที่ให้ประสิทธิภาพมากที่สุด โดยทั่วไปใช้เวลา 30 วินาที (Rached และ Del Bel Cury, 2001; Rached, Powers และ Del Bel Cury, 2004)

## ความล้า (fatigue)

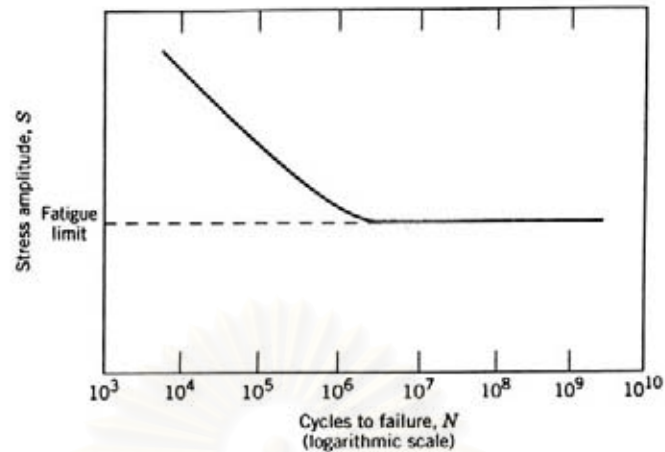
วัสดุที่ได้รับแรงกระทำซ้ำๆ (cyclic loads) จะนำไปสู่การเกิดความเสียหายทางกายภาพ ขนาดเล็กระดับจุลภาคต่อวัสดุ แม้ว่าความเค้นที่ให้แก่วัสดุนั้นจะต่ำกว่าความแข็งแรงประลัยก็สามารถสะสมอย่างต่อเนื่อง ในความเสียหายขนาดเล็กระดับจุลภาคทำให้นำไปสู่การเกิดรอยร้าว หรือ ความเสียหายขนาดมหภาค (macroscopic) ซึ่งนำไปสู่การเกิดความล้มเหลว หรือ การแตกหัก, กระบวนการของการทำลายและเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากแรงกระทำซ้ำๆ นี้ เรียกว่า ความล้า (Dowling, 1999)

การทดสอบความล้า เป็นการทำให้ชิ้นทดสอบ (specimen) ได้รับความเค้น หรือแรงเค้นที่ต่ำกว่าความแข็งแรงคลาด (yield strength) จนกระทั่งเกิดการแตกหัก ซึ่งการทดสอบสามารถใช้เป็นแรงดึง, แรงอัด, แรงเฉือน, แรงดัด และ แรงบิดก็ได้ (Power และ Sakaguchi, 2006)

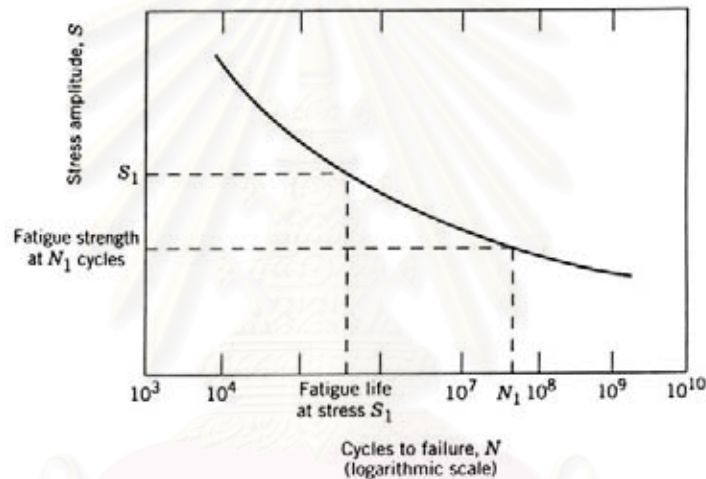
ความแข็งแรงล้าจึงเป็นแรงเค้นที่ทำให้วัสดุเกิดความล้มเหลวภายใต้แรงกระทำซ้ำๆ (Power และ Sakaguchi, 2006)

ความล้าที่เกิดขึ้น ขึ้นกับปริมาณของความเค้นที่กระทำและจำนวนรอบของความเค้นที่กระทำ ข้อมูลความล้าจะแสดงในรูปของกราฟ เรียก เส้นโค้งเอส-เอ็น (ภาพที่3(ก)) เป็นกราฟแสดงค่าความเค้น (S) กับลอการิทึมของจำนวนรอบที่ทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการแตกหัก ( $\log N, N$ ) จากกราฟใน ภาพที่3(ข) จะเห็นว่าถ้าให้ความเค้นกระทำมาก หรือถ้าทำให้วัสดุเกิดความเค้นสูงวัสดุจะแตกหักเมื่อให้ความเค้นเพียงไม่นาน (low number of cycle) แต่ถ้าลดระดับความเค้นที่ให้ลง จะต้องให้ความเค้นในจำนวนรอบที่เพิ่มมากขึ้นวัสดุจึงจะเกิดการแตกหัก ดังนั้นในการหาค่าความแข็งแรงล้าจะต้องมีการกำหนดจำนวนรอบของความเค้นที่ให้ ในทางกลับกันถ้าต้องการหาอายุของวัสดุภายใต้ความล้า (fatigue life) ของวัสดุนั้นจะต้องมีการกำหนดระดับความเค้นที่จะให้แก่วัสดุ สำหรับวัสดุบางชนิด พบว่าที่ความเค้นระดับหนึ่งแม้ว่าจะเพิ่มจำนวนรอบของความเค้นที่ให้มากขึ้นเท่าไรแต่วัสดุก็จะไม่เกิดการแตกหัก ที่ความเค้นระดับนี้จะเรียกว่าขีดจำกัดความล้า (fatigue limit หรือ endurance limit) (William, 2003; Anusavice, 2003; Power และ Sakaguchi, 2006)





(ก)



(ข)

ภาพที่ 3(ก) แสดงเส้นโค้งเอส-เอ็น ของวัสดุซึ่งแสดงขีดจำกัดความล้า

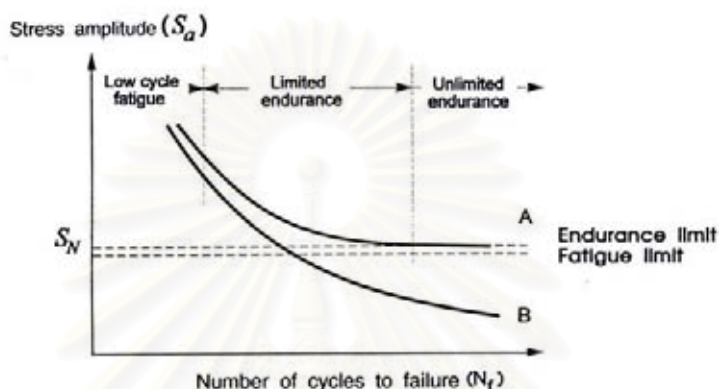
ภาพที่ 3(ข) แสดงเส้นโค้งเอส-เอ็น ของวัสดุซึ่งไม่แสดงขีดจำกัดความล้า

(ที่มา: William. 2003. *Material science & engineering: An introduction*. 5<sup>th</sup> ed.)

สำหรับวัสดุประสงค์ทั่วไป เส้นโค้งเอส-เอ็นจะแบ่งเป็น 3 ช่วง (Wiskott, Nicholls และ Belser, 1995) (ภาพที่ 4)

1. ช่วงความล้าที่จำนวนรอบต่ำในช่วง  $1-10^4$  รอบ ที่ขอบล่างของช่วงนี้มักจะอยู่เหนือขีดจำกัดอีลาสติก (elastic limit) ของวัสดุ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (plastic deformation) ของชิ้นงาน การที่มีจำนวนรอบที่ต่ำนี้ ทำให้การทดสอบที่จำกัดในช่วงนี้จะมีการใช้ที่จำกัดเพียงวัสดุบูรณะทางทันตกรรม

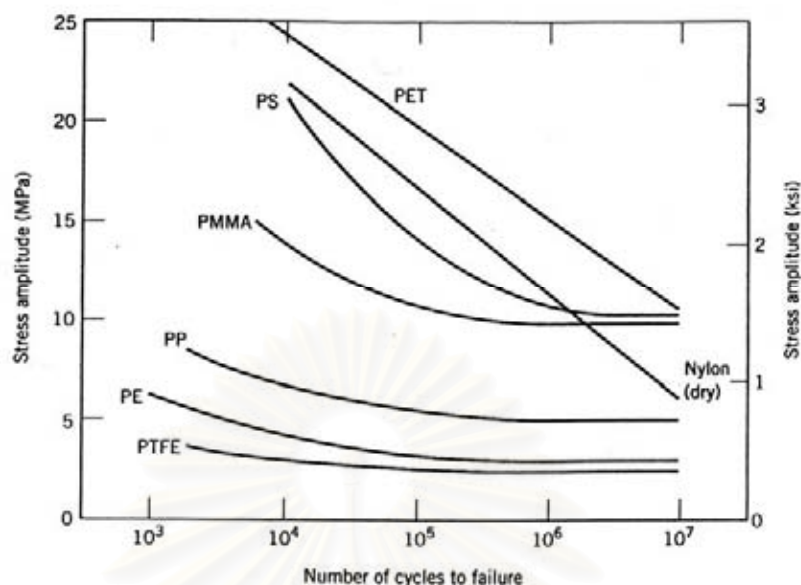
2. ที่ขีดจำกัดความล้า ซึ่งให้ความเค้นที่ต่ำกว่าขีดจำกัดอีลาสติก (elastic limit) ของวัสดุ และเป็นช่วงความล้าระหว่าง  $10^4$  และ  $10^7$  การทดสอบจะนำไปสู่ ช่วงประมาณอายุการใช้งานของวัสดุบูรณะในทางคลินิก และสามารถสรุปผลได้
3. ช่วงความทนทานที่ไม่มีขีดจำกัดที่เหนือ  $10^7$  รอบ จะใช้กับโครงสร้างทางอุตสาหกรรม



ภาพที่ 4 แสดงการแบ่งเส้นโค้งเอส-เอ็น เป็น 3 ช่วง

( ที่มา: Wiskott, Nicholls และ Belser. 1995. *Int J Prosthodont.* 8(2): 105-116)

พอลิเมอร์จะเกิดความล้มเหลวจากความล้าภายใต้สภาวะที่ได้รับแรงกระทำซ้ำๆ จากกราฟ (ภาพที่ 5) แสดงความล้าของพอลิเมอร์จำนวนหนึ่ง เป็นกราฟระหว่างความเค้น กับ จำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหัก (เป็นลอการิทึม) โดยพอลิเมอร์ส่วนหนึ่งจะมีขีดจำกัดความล้า (ระดับความเค้นที่ทำให้เกิดการแตกหักนั้นไม่ขึ้นกับจำนวนรอบ) ส่วนพอลิเมอร์อีกส่วนหนึ่งจะไม่มีขีดจำกัด พอลิเมอร์จะมีพฤติกรรมของความล้าที่ไวต่อความถี่ของแรงที่ให้มากกว่าพวกโลหะ พอลิเมอร์ที่ได้รับความถี่ของรอบสูง และ/หรือ ความเค้นจำนวนมาก สามารถเกิดความร้อนเฉพาะ แล้ววัสดุจะเกิดความนิ่มเป็นผลให้เกิดกระบวนการล้า และแตกหักได้ตามลำดับ (William, 2003)



ภาพที่ 5 แสดงความล้าของพอลิเมอร์จำนวนหนึ่ง ได้แก่ PET (polyethylene terephthalate), PS (polystyrene), PMMA (polymethylmethacrylate), PP (polypropylene), PE (polyethylene), PTFE (polytetrafluoroethylene)  
(ที่มา: William. 2003. *Material science & engineering: An introduction*. 5<sup>th</sup> ed.)

### วิธีการทดสอบความล้า (fatigue test)

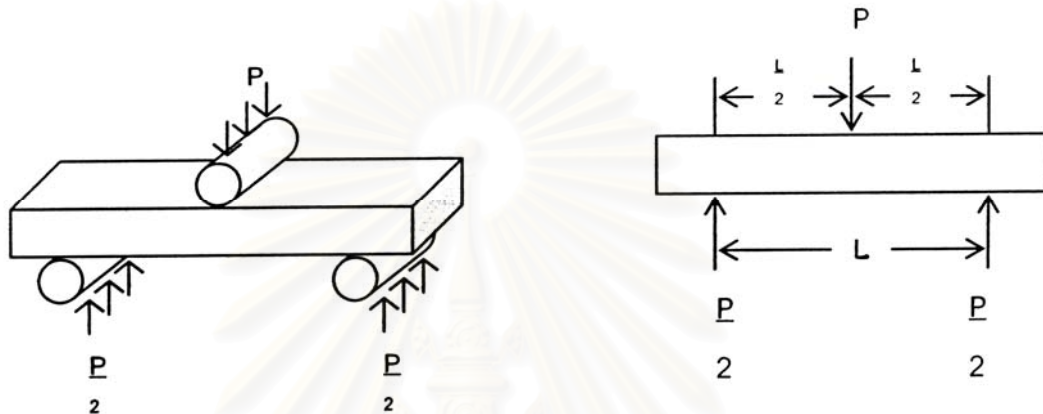
การทดสอบความต้านทานต่อความล้าของวัสดุฐานพอลิเมอร์ที่ใช้นิวเคลียสที่ใช้นิวเคลียสหนึ่งคือ ทำแบบการทดสอบโดยวางชิ้นงานแบบการทดสอบของความแข็งแรงดัดขวางภายใต้แรงกระทำซ้ำ อย่างเช่น การทดสอบของ Kelly ปี ค.ศ. 1967 และ ปี ค.ศ. 1969

#### การทดสอบความแข็งแรงดัดขวาง (Flexure test)

ความแข็งแรงดัดขวาง คือ ค่าความเค้นที่ได้จากการทดสอบกดขึ้นทดสอบ ที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ให้เกิดการงอตัวโดยใช้หัวกด (indenter) ซึ่งกดลงตั้งฉากกับชิ้นทดสอบที่อยู่ในลักษณะแนวนอนโดยมีตัวรองรับ (supporting jig) สองจุดที่ผิวล่างของชิ้นทดสอบ เป็นตัวกำหนดระยะห่าง (span) การทดสอบแบบนี้คล้ายกับว่าเป็นการรวมเอาการทดสอบการดึงและการอัดเอาไว้ด้วยกัน ซึ่งแรงอัดจะเกิดขึ้นบนชิ้นตัวอย่าง ส่วนแรงดึงจะเกิดขึ้นที่ใต้ชิ้นตัวอย่าง การทดสอบนี้สามารถทดสอบได้เป็น 2 ลักษณะ คือการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางแบบ 3 จุด (three point

bending test) และการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางแบบ 4 จุด (four point bending test)(วีรศักดิ์, 2543; Ban และ Anusavice, 1990)

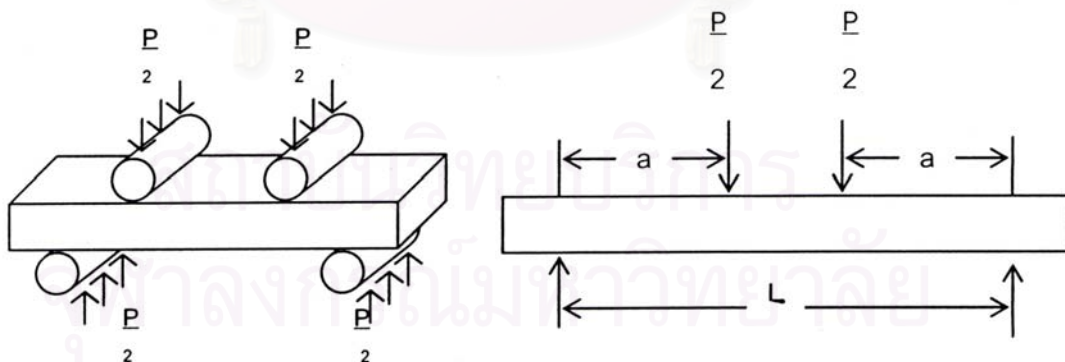
การทดสอบความแข็งแรงดัดขวางแบบ 3 จุด เป็นการทดสอบความเค้นโดยจะมีตัวกดสำหรับให้แรงกด 1 จุด ซึ่งจะอยู่ด้านบนของชิ้นตัวอย่าง และจะมีตัวรองรับที่กำหนดระยะห่างอยู่ด้านล่างชิ้นตัวอย่าง 2 จุด (วีรศักดิ์, 2543) ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางแบบ 3 จุด

(ที่มา: รศ.ดร.วีรศักดิ์ อุดมกิจเดชา และคณะ.2543. เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์:ทฤษฎีและหลักการทำงานเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่1.)

การทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 4 จุด ทำได้โดยการให้แรงกดบนชิ้นตัวอย่าง 2 จุด โดยมีช่วงระยะห่าง และจะมีตัวรองรับ 2 จุด ที่ด้านล่างชิ้นตัวอย่างเช่นกัน (วีรศักดิ์, 2543) ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางแบบ 4 จุด

(ที่มา: รศ.ดร.วีรศักดิ์ อุดมกิจเดชา และคณะ.2543. เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์:ทฤษฎีและหลักการทำงานเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่1.)

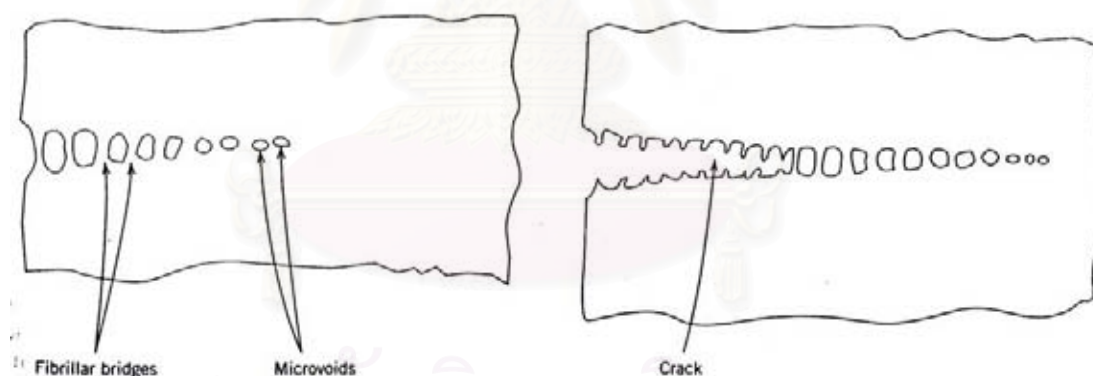
ในการวิจัยนี้เลือกใช้การทดสอบโดยวางชิ้นงานแบบความแข็งแรงดัดขวางแบบ 3 จุด เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก และสามารถเปรียบเทียบกับผลของการศึกษาอื่นๆ

## การแตกหักของพอลิเมอร์

การแตกหักของพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซตจะมีความเปราะ ในกระบวนการแตกหักจะเกิดรอยร้าวที่บริเวณที่มีการสะสมความเครียด ทำให้พันธะโควาเลนต์ในโครงข่าย หรือโครงสร้างเชื่อมไขว้เกิดการแยกออกระหว่างการแตกหัก

สำหรับพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติกจะมีทั้งความเหนียว และความเปราะ ปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกหักจากความเปราะ คือ การลดอุณหภูมิ, การเพิ่มอัตราความเค้น, การมีร่องที่คม (sharp notch), ความหนาชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพอลิเมอร์, กลาสซีเทอร์โมพลาสติก (glassy thermoplastic) จะเปราะที่อุณหภูมิต่ำ

ปรากฏการณ์หนึ่งซึ่งเกิดการแตกหักในกลาสซีเทอร์โมพลาสติก คือ การเกิดราน โดยรอยตำหนิที่บริเวณเฉพาะที่แห่งหนึ่งหลายๆ จะนำไปสู่การเกิดช่องว่างขนาดเล็ก (microvoid) ต่อๆกัน แล้วเกิดเส้นเชื่อมระหว่างช่องว่างขนาดเล็กในสายโซ่โมเลกุลต่อกันไป ถ้าให้แรงดึงเพียงพอจะเกิดเส้นเชื่อมยาวต่อไป และแตกจากการที่ทำให้ช่องว่างขนาดใหญ่ขึ้นและเชื่อมกัน แล้วเริ่มเกิดรอยร้าวต่อไป (William, 2003)



ภาพที่ 8 แสดงการเกิดช่องว่างขนาดเล็กใหญ่ขึ้นและเชื่อมกัน แล้วเริ่มเกิดรอยร้าว

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

- อะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน
- อะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง
- สารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II

ตารางที่ 2 แสดงผลิตภัณฑ์ และชื่อผู้ผลิตของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

Product name	Material	Manufacturer
Meliodent	Heat-activated acrylic resin	Tokuyama Dental Corp.
Unifast	Auto-polymerizing acrylic resin	GC Dental Products Corp.
Rebase II	Acetone 47%, Ethyl acetate 47%	Tokuyama Dental Corp.

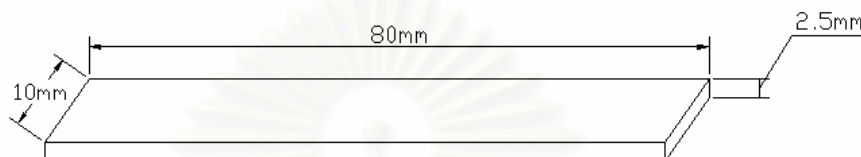
- พลาสติกอะคริลิก (stone plaster)
- พลาสติกอะคริลิกพารีส์ (plaster of paris)
- หัวกรอคาร์ไบด์ทรงกระบอก
- กระดาษทรายเบอร์ 600 และ 1000
- ภาชนะหล่อแบบฟันปลอมทองเหลือง (Hanau flask)

##### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องบ่มอะคริลิกด้วยความร้อน (curing unit EWL 5518, Kavo, Germany)
- ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Contherm 160 M, Contherm Scientific Ltd., New Zealand)
- เครื่องอัดพลาสติกไฮดรอลิก (Kavo type 5414 EWG, Kavo, Germany)
- เครื่องวัดดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (Mitutoyo Corporation Japan)
- เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัดระบบไฮดรอลิก (Universal Testing Machine, 8872, INSTRON UK)
- กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (Stereo Microscop ML9300, MEIJI, Japan)
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JEOL, JSM 5410LV, Tokyo, Japan)
- เครื่องแกะแทกปูน (compressed air-riven deflasking unit, Renfert, Germany)

## การเตรียมชิ้นงาน และการทดลอง

1. การเตรียมแม่แบบเป็นแผ่นพลาสติกใส (Acron, Plango, Thailand) รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดความยาว 80 มิลลิเมตร ความกว้าง 10 มิลลิเมตร ความหนา 2.5 มิลลิเมตร (ภาพที่ 9) (Kelly, 1969)



ภาพที่ 9 แสดงขนาดและรูปร่างชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ



ภาพที่ 10 แสดงแผ่นพลาสติกใสที่มีขนาดดังกล่าว

2. นำแม่แบบแผ่นพลาสติกจากข้อ 1 มาลงในภาชนะหล่อแบบพื้นปดอมทองเหลือง (Hanau flask) โดยผสมพลาสติกเรซิน ในอัตราส่วน 100 กรัม ต่อน้ำ 23 มิลลิลิตร เทลงในภาชนะหล่อแบบส่วนครึ่งล่าง ให้ระดับของพลาสติกเรซินสูงกว่าขอบบนของภาชนะหล่อแบบส่วนครึ่งล่างเล็กน้อย และตักพลาสติกเรซินที่เหลือเล็กน้อยมาป้ายบนแม่แบบแผ่นพลาสติก เพื่อให้ได้รายละเอียดของชิ้นงาน และป้องกันการเกิดฟองอากาศบนพื้นผิวของแม่แบบแผ่นพลาสติก แล้วนำแม่แบบแผ่นพลาสติกด้านที่ป้ายพลาสติกเรซินวางลงบนพลาสติกเรซินในภาชนะหล่อแบบส่วนครึ่งล่าง โดยขณะวางค่อยๆวางเอียงจากด้านหนึ่งของแม่แบบมาอีกด้านหนึ่งเพื่อไล่ฟองอากาศ ค่อยๆกดแม่แบบให้จมลงในพลาสติกเรซินประมาณ

ครึ่งหนึ่งของความหนาของแม่แบบโดยรอบ รอจนกระทั่งพลาสติกหีนเย็น และแข็งตัวเต็มที่ ทำการตัดแต่งพลาสติกหีนแล้วรอจนพลาสติกหีนแห้ง และขัดให้เรียบ



ภาพที่ 11 แสดงการนำแม่แบบแผ่นพลาสติกใสมาลงในภาชนะหล่อแบบพื้นปดล้อมทองเหลือง

ใช้ฟู่กันเบอร์ 8 ทาสารคั่นกลางบางๆไปในทิศทางเดียวกันบนผิวของพลาสติกหีนในภาชนะหล่อแบบส่วนครึ่งล่างให้ทั่วแล้วทิ้งไว้ให้แห้ง นำภาชนะหล่อแบบส่วนครึ่งบนมาประกบให้สนิท ผสมพลาสติกหีนตามอัตราส่วนข้างต้น ค่อยๆเทลงในภาชนะหล่อแบบส่วนครึ่งบนที่ประกบอยู่กับส่วนครึ่งล่างจนเต็มภาชนะหล่อแบบส่วนครึ่งบนปิดฝาภาชนะหล่อแบบ รอจนพลาสติกหีนเย็นลงและแข็งตัวเต็มที่

3. นำภาชนะแบบหล่อพื้นปดล้อมที่ลงพลาสติกหีนในข้อ 2 มาแกะแยกส่วนครึ่งบนและครึ่งล่างออกจากกัน แกะแม่แบบแผ่นพลาสติกออกจากภาชนะหล่อแบบอย่างระมัดระวัง ไม่ให้เกิดการบิ่นแตกเสียหายของพลาสติกหีน ทำความสะอาดภาชนะหล่อแบบทั้งสองส่วนแล้วทิ้งไว้ให้แห้งใช้ฟู่กันเบอร์ 8 ทาสารคั่นกลางบางๆไปในทิศทางเดียวกันบนผิวของพลาสติกหีนในภาชนะหล่อแบบทั้งสองส่วนให้ทั่วแล้วทิ้งไว้ให้แห้ง
4. นำส่วนผง กับส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน มาผสมในอัตราส่วน 35 กรัมต่อ 14 มิลลิลิตร(ตามคำแนะนำของผู้ผลิต) ผสมให้เข้ากัน ปิดฝาภาชนะที่ใช้ผสม รอจนส่วนผสมอยู่ในระยะอ่อนนุ่มขึ้นเป็นก้อนได้ ตักส่วนผสมออกจากภาชนะที่ใช้ผสม แล้วอัดเข้าไปในภาชนะหล่อแบบส่วนครึ่งล่าง กดส่วนผสมให้กระจายจนทั่วแล้วและมีปริมาณเกินเล็กน้อย ปิดด้วยแผ่นคั่นกลาง แล้วปิดด้วยภาชนะหล่อแบบส่วนครึ่งบน นำไปเข้าเครื่องอัดพลาสติกไฮดรอลิก ด้วยความดัน 3 บาร์ จนพบว่ามีอะคริลิกเรซินเกินออกมาทำการตัดแต่ง และอัดซ้ำจนไม่มีส่วนเกินออกมา และตรวจสอบว่ามีวัสดุอยู่เต็มแม่แบบ นำแผ่นคั่นกลางออกจากภาชนะหล่อแบบ นำภาชนะหล่อแบบมาอัดใหม่จนภาชนะหล่อ



แบบส่วนครึ่งบนและครึ่งล่างประกบกันสนิท ทิ้งภาชนะหล่อแบบไว้ก่อนนำไปป้อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพที่ 12 แสดงการส่วนผสมที่อัดเข้าไปในภาชนะหล่อแบบส่วนครึ่งล่าง และตัดส่วนเกินออกแล้ว

- นำภาชนะหล่อแบบไปป้อนในน้ำที่อุณหภูมิ 73.9 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ทิ้งภาชนะหล่อแบบให้เย็นลงอย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิห้อง แล้วแยกภาชนะหล่อแบบ ทำการแยกชิ้นงานอะคริลิกเรซินออกจากภาชนะหล่อแบบและพลาสติกเทอร์นิน โดยใช้เครื่องกระแทกป้อน ให้กระแทกพลาสติกเทอร์นินให้หลุดออกจากชิ้นงานอะคริลิกเรซินโดยไม่เกิดแรงเค้นในชิ้นงาน, นำชิ้นงานอะคริลิกเรซินที่ได้ไปตัดครีบออกด้วยเครื่องจักรรอบคาร์ไบด์ โดยใช้แรงกระทำน้อยที่สุด แล้วทำการขัดพื้นผิวให้เรียบและได้ระนาบบนกระดาดทรายเบอร์ 600 และ 1000 วางบนแผ่นกระจกขณะขัด



ภาพที่ 13 แสดงชิ้นงานอะคริลิกเรซินตามขนาดที่ต้องการก่อนทดสอบ

- นำมาวัดขนาดด้วยดิจิตอลเวอเนียร์คาลิเปอร์ ให้ได้ขนาดตามที่ระบุไว้ในข้อ 1 ทั้งหมด 150 ชิ้น นำไปส่องกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ เพื่อตรวจสอบไม่ให้มีฟองอากาศ

โดยกลุ่มควบคุมจำนวน 30 ชิ้น จะนำไปเก็บในน้ำกลั่น  $50 \pm 2$  ชั่วโมงที่อุณหภูมิ  $37 \pm 1$  องศาเซลเซียส ก่อนนำไปทดสอบความต้านทานต่อความล้าต่อไป

7. อีก 120 ชิ้นที่เหลือ จะเป็นตัวแทนชิ้นงานที่นำมาทำการซ่อมแซม
  - โดย 70 ชิ้น จะทำการซ่อมแซมชิ้นงานอะคริลิกนั้นให้เชื่อมติดกันด้วยอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน โดยจะนำไปทำการลงในภาชนะหล่อแบบพันปลอมทองเหลืองดังในข้อ 2 และ ข้อ 3 เพื่อให้เป็นแม่แบบไว้ก่อน แล้วจึงนำชิ้นงานมาทำการซ่อมแซมดังในข้อ 8 ต่อไป



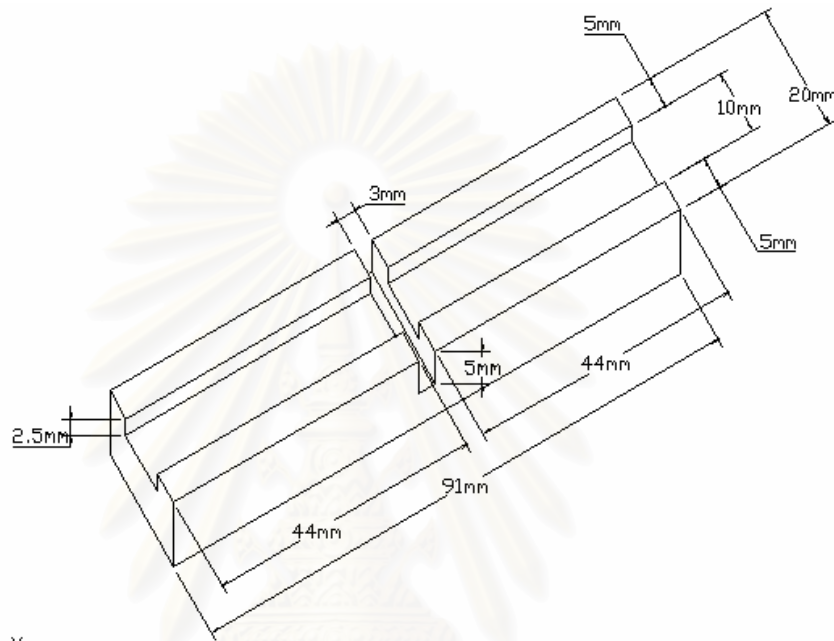
ภาพที่ 14 แสดงชิ้นงานอะคริลิกเรซินตามขนาดที่ต้องการมาทำการลงในภาชนะหล่อแบบพันปลอมทองเหลืองเพื่อทำการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

- อีก 50 ชิ้น ที่เหลือ จะทำการซ่อมแซมชิ้นงานอะคริลิกนั้นให้เชื่อมติดกันด้วยอะคริลิกชนิดบ่มได้เอง โดยจะนำชิ้นงานไปทำการลงในพลาสติกออร์โอฟปารีส เพื่อให้เป็นแม่แบบไว้ก่อน แล้วจึงนำชิ้นงานมาทำการซ่อมแซมดังในข้อ 8 ต่อไป

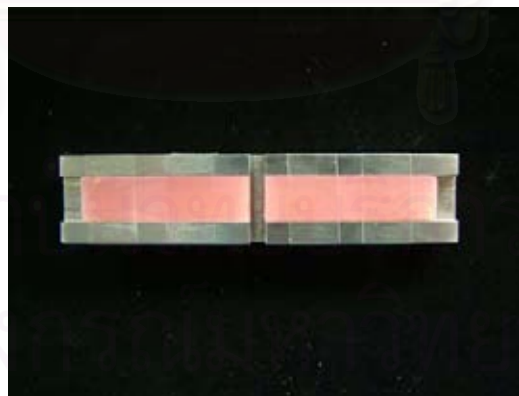


ภาพที่ 15 แสดงชิ้นงานอะคริลิกเรซินตามขนาดที่ต้องการมาทำการลงในพลาสติกออร์โอฟปารีสเพื่อทำการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกชนิดบ่มได้เอง

8. นำชิ้นงานที่ทำแม่แบบไว้แล้วจากข้อ 7 มาใส่ในแบบหล่อเหล็กกล้าไร้สนิม ที่ทำขึ้นให้สามารถใส่ชิ้นงานอะคริลิกเรซินลงไปได้ตามแนวนอน โดยมีร่องตามแนวขวางขนาด 3 มิลลิเมตร (ภาพที่ 16, 17) วางให้กึ่งกลางชิ้นงานอยู่กึ่งกลางของร่องดังกล่าว ใช้หัวรอกคาร์ไบด์ทรงกระบอกวางแนวตั้งให้ตั้งฉากกับร่องดังกล่าวแล้วทำการตัดชิ้นงานขนาดตามแนวของร่อง 3 มิลลิเมตรนั้นให้ชิ้นงานแบ่งออกจากกันเป็น 2 ส่วน



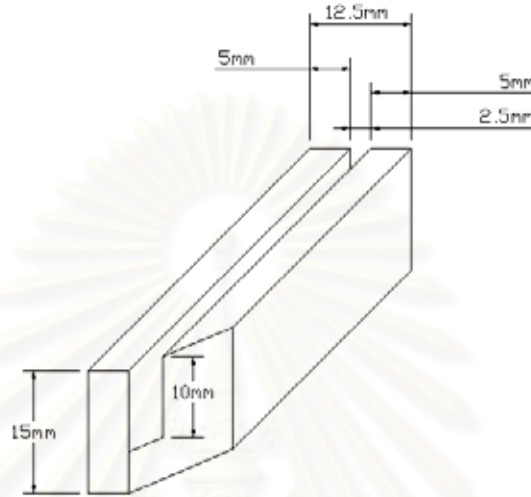
ภาพที่ 16 แสดงรูปร่างแบบหล่อเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อใส่ชิ้นงานอะคริลิกเรซินลงไปได้ตามแนวนอน โดยมีร่องตามแนวขวางขนาด 3 มิลลิเมตร



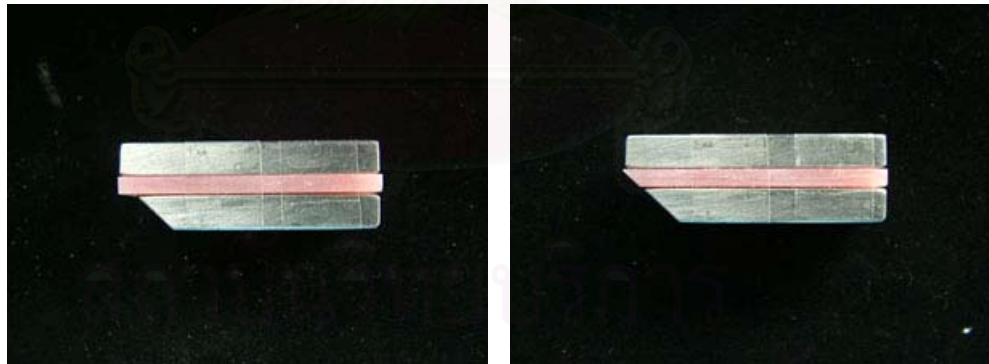
ภาพที่ 17 แสดงแบบหล่อเหล็กกล้าไร้สนิม ที่ใส่ชิ้นงานอะคริลิกเรซินเพื่อทำการตัดชิ้นงานขนาดตามแนวของร่อง 3 มิลลิเมตรนั้นให้ชิ้นงานแบ่งออกจากกันเป็น 2 ส่วน

นำชิ้นงานอะคริลิกที่ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนนั้น มาใส่ในแบบหล่อเหล็กกล้าไร้สนิมอีกแบบ (ภาพที่ 18,19) ตามแนวขวางโดยวางแนวด้านข้างใส่ลงไปให้หันชิ้นงานด้านที่ทำการตัดด้วยหัวรอกคาร์ไบด์ทรงกระบอกไปด้านที่หน้าตัดของแบบหล่อมีหน้าตัดเฉียง ให้

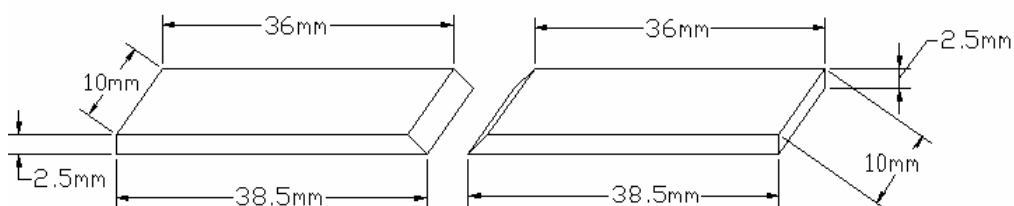
ขอบชิ้นงานด้านหลังเสมอกับขอบของแบบหล่อ จะมีส่วนของชิ้นงานด้านหน้ายื่นออกมา จากแบบหล่อที่มีหน้าตัดเฉียง ทำการกรัดตัดชิ้นงานส่วนที่ยื่นมาตามแนวเฉียงของแบบ หล่อด้วยหัวกรอคาร์ไบด์ทรงกระบอก จะได้ชิ้นงานแต่ละส่วนมีลักษณะหน้าตัดเฉียง 45 องศา (ภาพที่ 20)



ภาพที่ 18 แสดงรูปร่างแบบหล่อเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อใส่ชิ้นงานอะคริลิกเรซินลงไปได้ตามแนวขวาง



ภาพที่ 19 แสดงแบบหล่อเหล็กกล้าไร้สนิม ที่ใส่ชิ้นงานอะคริลิกเรซินลงไปได้ตามแนวขวาง



ภาพที่ 20 แสดงขนาด และรูปร่างชิ้นงานอะคริลิกเรซินที่นำมากรอดัดเพื่อนำไปทำการซ่อมแซม

9. นำชิ้นงานกลับไปใส่ในแม่แบบที่ทำไว้ในข้อ 7 เพื่อนำไปทำการซ่อมแซมโดยแบ่งเป็นกลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 2 จำนวน 35 ชิ้น จะนำมาทำการทาพื้นผิวหน้าตัดของชิ้นงาน (ด้านที่ทำการตัดด้วยหัวกรอคาร์ไบด์) ด้วยส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน ที่ทิ้งไว้ 180 วินาที แล้วทำการซ่อมแซมชิ้นงานอะคริลิกเรซินนั้นให้เชื่อมติดกันด้วย อะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน

กลุ่มที่ 3 จำนวน 35 ชิ้น จะนำมาทำการทาพื้นผิวหน้าตัดของชิ้นงาน (ด้านที่ทำการตัดด้วยหัวกรอคาร์ไบด์) ด้วยสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II ที่ทิ้งไว้ 20 วินาทีตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต แล้วทำการซ่อมแซมชิ้นงานอะคริลิกเรซินนั้นให้เชื่อมติดกันด้วย อะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน



ภาพที่ 21 แสดงชิ้นงานอะคริลิกเรซินที่นำมากรอดัดก่อนนำไปทำการซ่อมแซม ใส่กลับลงไป ในภาชนะหล่อแบบฟันปลอมทองเหลืองที่เทเป็นแบบไว้แล้วในข้อ 7

กลุ่มที่ 4 จำนวน 25 ชิ้น จะนำมาทำการทาพื้นผิวหน้าตัดของชิ้นงาน (ด้านที่ทำการตัดด้วยหัวกรอคาร์ไบด์) ด้วยส่วนผสมของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง ที่งัว 180 วินาที แล้วทำการซ่อมแซมชิ้นงานอะคริลิกเรซินนั้นให้เชื่อมติดกันด้วย อะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง

กลุ่มที่ 5 จำนวน 25 ชิ้น จะนำมาทำการทาพื้นผิวหน้าตัดของชิ้นงาน (ด้านที่ทำการตัดด้วยหัวกรอคาร์ไบด์) ด้วยสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานพื้นปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II ที่งัว 20 วินาทีตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต แล้วทำการซ่อมแซมชิ้นงานอะคริลิกเรซินนั้นให้เชื่อมติดกันด้วย อะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง



ภาพที่ 22 แสดงชิ้นงานอะคริลิกเรซินที่นำมากรอตัดก่อนนำไปทำการซ่อมแซม ใส่กลับลงไปในพลาสติกออปทราวีส์ที่เทเป็นแบบไว้แล้วในข้อ 7

ในแต่ละกลุ่มจะทำการซ่อมแซมโดยใส่วัสดุที่ทำการซ่อมแซมให้มีปริมาณมากกว่าช่องว่างที่ใส่เล็กน้อยเนื่องจากการหดตัวหลังการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุ



ภาพที่ 23 แสดงการใส่วัสดุที่ทำการซ่อมแซม

10. นำชิ้นงานที่ซ่อมแซมแล้วไปตัดครีบอกด้วยเครื่องหัวกรอคาร์ไบด์ โดยใช้แรงกระทำน้อยที่สุด แล้วทำการขัดพื้นผิวให้เรียบและได้ระนาบบนกระดาษทรายเบอร์ 600 และ 1000 และนำไปเก็บในน้ำกลั่น  $50 \pm 2$  ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ  $37 \pm 1$  องศาเซลเซียส ก่อนนำไปทดสอบหาอายุความล้าต่อไป



(ก)

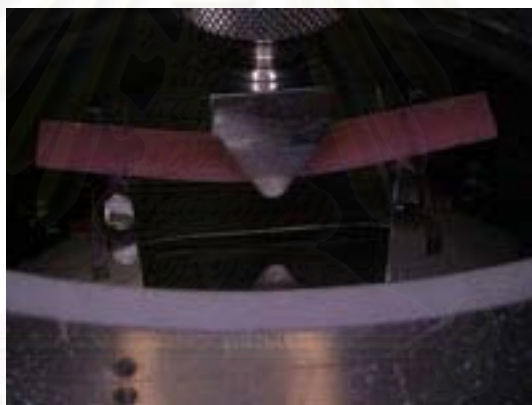


(ข)

ภาพที่ 24 แสดงชิ้นงานอะคริลิกเรซินที่ซ่อมแซมและขัดแต่งแล้ว, (ก) ทำการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน, (ข) ทำการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง

11. ทำการทดสอบชิ้นงานโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัดระบบไฮดรอลิก โดยทดสอบวางชิ้นงานแบบการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางแบบ 3 จุด (three point bending test) มีระยะห่างของช่วงทดสอบ (span length) 50 มิลลิเมตร ใช้หัวทดสอบ (Load cell) ขนาด 250 นิวตัน ทดสอบในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ  $37 \pm 1$  องศาเซลเซียส เพื่อจำลองให้เหมือนสภาวะในช่องปาก จัดให้หัวทดสอบตั้งฉากกับพื้นผิวตัวอย่าง ณ จุดกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่าง ทุกกลุ่มตัวอย่างจะทำการให้แรงดังนี้

1. กลุ่มที่ไม่มีการซ่อมแซมวัสดุฐานพื้นปลอมอะคริลิกเรซิน จะให้แรงที่ระดับ 51.46 นิวตัน (เริ่มลดลงจาก 54.17 (65MPa, ISO)), 48.75, 46.04 และ 43.34, 40.63, 37.92 นิวตัน จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการแตกหัก หรือครบจำนวนรอบที่  $10^6$  รอบ
  2. กลุ่มที่มีการซ่อมแซมวัสดุฐานพื้นปลอมอะคริลิกเรซินด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน จะให้แรงคงที่ที่ระดับ 43.34, 40.63, 37.92, 35.21, 32.50, 29.79 และ 27.09 นิวตัน จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการแตกหัก หรือครบจำนวนรอบที่  $10^6$  รอบ
  3. กลุ่มที่มีการซ่อมแซมวัสดุฐานพื้นปลอมอะคริลิกเรซินด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง จะให้แรงที่ระดับ 37.92, 32.50, 27.09, 21.67 และ 16.25 นิวตัน จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการแตกหัก หรือครบจำนวนรอบที่  $10^6$  รอบ
- ในแรงแต่ละระดับจะใช้ทดสอบชิ้นงาน 5 ชิ้น ความถี่ 2 รอบต่อวินาที (Hz) (Hargreaves, 1983) แล้วทำการบันทึกจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกหัก



ภาพที่ 25 แสดงลักษณะการทดสอบความต้านทานต่อความล้าที่ใช้ในการวิจัย

12. นำชิ้นงานทั้งหมดที่แตกหักมาทำการวิเคราะห์ตำแหน่งที่เกิดการแตกหัก
13. สุ่มเลือกชิ้นงานที่แตกหักของแต่ละกลุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์พื้นผิวที่แตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ
14. นำชิ้นงานอะคริลิกเรซินด้านที่ทำกรรกดัดเฉียง 45 องศาทั้งก่อน และหลังการเตรียมพื้นผิวด้วยสารเคมีทั้ง 2 ชนิด มาวิเคราะห์พื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



## การวิเคราะห์ข้อมูล

- นำระดับแรงที่ทำให้วัสดุฐานพื้นปลอมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ไม่มีการซ่อมแซม และที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินกับการเตรียมผิวหน้าด้วยสารเคมีที่แตกต่างกันนั้น ไม่เกิดการแตกหักที่จำนวนรอบ  $10^6$  รอบ มาทำการวิเคราะห์สถิติโดยใช้โปรแกรม เอสพีเอสเอส วินโดว์ (SPSS Window) ในการวิเคราะห์สถิติเชิงอนุมานโดยการทดสอบไคสแควร์เปรียบเทียบ ความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดสอบที่ความเชื่อมั่น 95%
- นำค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบซึ่งทดสอบที่ระดับแรง 37.92 นิวตัน แล้วทำให้เกิดการแตกหักในการทดสอบหาอายุความล้าของแต่ละกลุ่มทดสอบ มาทำการวิเคราะห์สถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มทดสอบด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูคี ที่ความเชื่อมั่น 95%
- นำค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบด้วยแรงที่กำหนดให้ค่าหนึ่งของแรงแต่ละระดับ ที่ทำให้เกิดการแตกหักในการทดสอบหาอายุความล้าภายในกลุ่มเดียวกันของวัสดุฐานพื้นปลอมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดเดียวกัน และเตรียมผิวหน้าด้วยสารเคมีชนิดเดียวกัน มาทำการวิเคราะห์สถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ครุ คัล-วัลลิส ที่ความเชื่อมั่น 95% แล้วจึงนำค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบของกลุ่มที่มีการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างการเตรียมผิวหน้าที่ต่างกันที่ระดับแรงต่างๆ ด้วยการวิเคราะห์การทดสอบของแมน-วิทนีย์ ที่ความเชื่อมั่น 95%
- นำจำนวนรอบของแต่ละชิ้นงานของแรงแต่ละระดับที่ทำให้เกิดการแตกหักที่บันทึกได้ของแต่ละกลุ่มทดลองมาสร้างเส้นโค้งเอส-เอ็น
- นำจำนวนรอบของแต่ละชิ้นงานของแรงแต่ละระดับที่ทำให้เกิดการแตกหักที่บันทึกได้ของแต่ละกลุ่มทดลองมาวิเคราะห์ไวบูล (Weibull)

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 การวิเคราะห์อายุความล้า

ในการวิจัยครั้งนี้จะเป็นการนำเสนอข้อมูลที่ได้จากการทดสอบหาอายุความล้าของแต่ละระดับแรงของกลุ่มทดสอบแต่ละกลุ่ม โดยนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยสถิติเชิงพรรณนาของกลุ่มทดสอบแต่ละกลุ่มในรูปของตาราง (ตารางที่ 3, 4, 5) ซึ่งจากข้อมูลจะเห็นได้ว่า กลุ่มที่ไม่มี การซ่อมแซมขึ้นทดสอบจะต้องใช้ระดับแรงที่สูงกว่ากลุ่มที่มีการซ่อมแซมในการหาอายุความล้า โดยภายในกลุ่มที่มีการซ่อมแซมนั้น ก็พบว่ากลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนก็จะต้องใช้ระดับแรงที่สูงกว่ากลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เองในการหาอายุความล้า

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอายุความล้าของอะคริลิกเรซินกลุ่มที่ไม่มี การซ่อมแซม

Force (N)	Mean (cycle)	SD(cycle)	Max (cycle)	Min(cycle)
51.46	2,324.4	1,090.8	4,200	1,405
48.75	5,324.8	756.8	6,134	4,336
46.04	16,747.8	10,053.5	34,439	10,041
43.34	48,999.6	22,372.6	80,219	17,078
40.63	249,077.6	91,079.9	380,522	160,971

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอายุความล้าของอะคริลิกเรซินกลุ่มที่ซ่อมแซม ด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน

Force (N)	เตรียมผิวหน้าด้วย Liquid of Meliodent				เตรียมผิวหน้าด้วย Rebase II			
	Mean (cycle)	SD (cycle)	Max (cycle)	Min (cycle)	Mean (cycle)	SD (cycle)	Max (cycle)	Min (cycle)
43.34	286.6	332.1	845	45	55.8	38.6	115	21
40.63	1,039.8	440.1	1,575	505	106.4	82.7	235	38
37.92	2,102.4	1,072.5	3,827	1,299	234.4	178.7	428	34
35.21	17,784.4	5,024.4	23,755	10,544	13,066.0	4,558.5	17,714	7,025
32.50	71,780.6	40,336.2	123,686	32,100	70,219.8	58,613.4	150,455	21,210
29.79	281,343.0	161,071.2	557,135	139,272	253,421.8	152,976.6	511,095	149,268

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอายุความล้ำของอะคริลิกเรซินกลุ่มที่มีการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง

Force (N)	เตรียมผิวหน้าด้วย Liquid of Unifast				เตรียมผิวหน้าด้วย Rebase II			
	Mean (cycle)	SD (cycle)	Max (cycle)	Min (cycle)	Mean (cycle)	SD (cycle)	Max (cycle)	Min (cycle)
37.92	21.6	28.3	71	3	11.4	10.7	27	2
32.50	323.8	120.0	426	147	137.0	132.1	293	15
27.09	32,268.8	22,813.6	60,233	11,418	21,967.2	11,763.3	34,842	10,202
21.67	301,706.4	132,890.1	473,915	114,439	210,532.2	127,600.3	355,490	104,031

ผลการวิเคราะห์สถิติเชิงอนุมานโดยการทดสอบไคสแควร์สำหรับระดับแรงที่ทำให้อายุความล้ำของกลุ่มทดสอบมีค่า 1 ล้านรอบ พบว่าระดับแรงที่ทำให้อายุความล้ำของกลุ่มทดสอบมีค่า 1 ล้านรอบของกลุ่มที่ไม่มีการซ่อมแซมขึ้นทดสอบ สูงกว่ากลุ่มที่มีการซ่อมแซมขึ้นทดสอบทั้ง 2 ชนิด อย่างมีนัยสำคัญ และกลุ่มที่มีการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนจะสูงกว่ากลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง อย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มที่มีการซ่อมแซมด้วยวัสดุชนิดเดียวกันแต่เตรียมผิวหน้าของขึ้นทดสอบที่ซ่อมแซมต่างกัน (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 แสดงระดับแรงที่ทำให้อายุความล้ำของกลุ่มทดสอบมีค่าตั้งแต่ 1 ล้านรอบขึ้นไป

กลุ่ม	ระดับแรงที่ทำให้อายุความล้ำของกลุ่มทดสอบมีค่า 1 ล้านรอบ (นิวตัน)
กลุ่มที่ไม่มีการซ่อมแซมขึ้นทดสอบ	37.92 <sup>a</sup>
กลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน (เตรียมผิวหน้าด้วย Liquid of Meliodent)	27.09 <sup>b</sup>
กลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน (เตรียมผิวหน้าด้วย Rebase II)	27.09 <sup>b</sup>
กลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง (เตรียมผิวหน้าด้วย Liquid of Unifast)	16.25 <sup>c</sup>
กลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง (เตรียมผิวหน้าด้วย Rebase II)	16.25 <sup>c</sup>

- อักษรตัวยกที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 7 แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอายุความล้มในการทดสอบที่ระดับแรง 37.92 นิวตันของกลุ่มทดสอบ (จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มทดสอบด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูคี )

กลุ่ม	อายุความล้มเฉลี่ย ที่ระดับแรง 37.92 นิวตัน (รอบ)
กลุ่มที่ไม่มีการซ่อมแซมขึ้นทดสอบ	1,000,000.0 <sup>a</sup>
กลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน (เตรียมผิวหน้าด้วย Liquid of Meliodent)	2,102.4 <sup>b</sup>
กลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน (เตรียมผิวหน้าด้วย Rebase II)	234.4 <sup>c</sup>
กลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง (เตรียมผิวหน้าด้วย Liquid of Unifast)	21.6 <sup>c</sup>
กลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง (เตรียมผิวหน้าด้วย Rebase II)	11.4 <sup>c</sup>

- อักษรตัวยกที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 7 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มทดสอบด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูคี ที่ความเชื่อมั่น 95% สำหรับอายุความล้มของกลุ่มทดสอบที่ระดับแรง 37.92 นิวตัน พบว่าที่ระดับแรง 37.92 นิวตันนี้มีอายุความล้มเฉลี่ยของกลุ่มที่ไม่มีการซ่อมแซมขึ้นทดสอบจะสูงกว่ากลุ่มที่มีการซ่อมแซมขึ้นทดสอบทั้ง 4 กลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ และกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนซึ่งมีการเตรียมผิวหน้าด้วยส่วนเหลือของอะคริลิกเรซินจะมีอายุความล้มเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่มีการซ่อมแซมด้วยวัสดุอื่น ๆ ดังกล่าว แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนซึ่งเตรียมผิวหน้าด้วยสารช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II และกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง (ที่เตรียมผิวหน้าด้วยสารทั้ง 2 แบบ)

ตารางที่ 8 แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอายุความล้มของอะคริลิกเรซินกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน (จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ครุ คัล-วัลลิส และการทดสอบของแมน-วิทนีย์)

ระดับแรง	เตรียมผิวหน้าด้วย Liquid of Meliodent (MMA) Mean(cycle)	เตรียมผิวหน้าด้วย Rebase II Mean(cycle)
43.34	286.6 <sup>a</sup>	55.8 <sup>A</sup>
40.63**	1,039.8 <sup>a,b</sup>	106.4 <sup>A,B</sup>
37.92**	2,102.4 <sup>a,b,c</sup>	234.4 <sup>A, B, C</sup>
35.21	17,784.4 <sup>a,b,c</sup>	13,066.0 <sup>A, B, C, D</sup>
32.50	71,780.6 <sup>b,c</sup>	70,219.8 <sup>B,C, D</sup>
29.79	281,343 <sup>c</sup>	253,421.8 <sup>D</sup>

- อักษรพิมพ์เล็กด้วยที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันระหว่างระดับแรงของกลุ่มที่ใช้MMAอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ครุ คัล-วัลลิส)
- อักษรพิมพ์ใหญ่ด้วยที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันระหว่างระดับแรงของกลุ่มที่ใช้Rebase II อย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ครุ คัล-วัลลิส)
- \*\* สัญลักษณ์แสดงระดับแรงที่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มที่เตรียมผิวหน้าในการซ่อมแซมอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (การวิเคราะห์การทดสอบของแมน-วิทนีย์)

จากตารางที่ 8 เมื่อพิจารณาระหว่างที่มีการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดเดียวกันของกลุ่มที่มีการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน ซึ่งแบ่งตามการเตรียมผิวหน้าก่อนการซ่อมแซมด้วยสารเคมีออกเป็น 2 แบบ คือ ส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน และสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ครุ คัล-วัลลิส สำหรับอายุความล้ม ที่ความเชื่อถือ 95% ตามชนิดของสารเคมีที่ใช้เตรียมผิวหน้า พบว่า อายุความล้มเฉลี่ยที่ระดับแรงต่างๆภายในกลุ่มที่มีการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน ซึ่งเตรียมผิวหน้าด้วยส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และอายุความล้มเฉลี่ยที่ระดับต่างๆภายในกลุ่มที่มีการเตรียมผิวหน้าด้วยสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II ก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน จึงนำมาทดสอบต่อโดยการเปรียบเทียบพหุคูณระหว่างกลุ่มโดยในกลุ่มที่มีการเตรียมผิวหน้าด้วยส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วย

ความร้อนนั้นมีอายุความล้มเหลวของระดับแรงที่ 43.34 นิวตัน ต่ำกว่าอายุความล้มเหลวของระดับแรงที่ 32.50 และ 29.79 นิวตัน อย่างมีนัยสำคัญ และอายุความล้มเหลวของระดับแรงที่ 40.63 นิวตัน ต่ำกว่าอายุความล้มเหลวของระดับแรงที่ 29.79 นิวตัน อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนในกลุ่มที่มีการเตรียมผิวหน้าด้วยสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณท์ Rebase II จะมีอายุความล้มเหลวของระดับแรงที่ 43.34 นิวตัน ต่ำกว่าของระดับแรงที่ 32.50 และ 29.79 นิวตัน อย่างมีนัยสำคัญ, อายุความล้มเหลวของระดับแรงที่ 40.63 นิวตัน ต่ำกว่าของระดับแรงที่ 29.79 นิวตัน อย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งอายุความล้มเหลวของระดับแรงที่ 37.92 นิวตัน ต่ำกว่าของระดับแรงที่ 29.79 นิวตัน อย่างมีนัยสำคัญ

จากการวิเคราะห์การทดสอบของแมน-วิทนีย์ ของกลุ่มที่มีการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนเพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างการเตรียมผิวหน้าที่ต่างกันระหว่างคือ ส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน กับสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณท์ Rebase II ที่ระดับแรงต่างๆ พบว่าอายุความล้มเหลวที่ระดับแรง 40.63 และ 37.92 นิวตัน ของกลุ่มที่เตรียมผิวหน้าด้วย ส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน สูงกว่า กลุ่มที่เตรียมผิวหน้าด้วยสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณท์ Rebase II อย่างมีนัยสำคัญ แต่อายุความล้มเหลวของระดับแรงอื่นๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการเตรียมผิวหน้าทั้ง 2 แบบ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอายุความล้มของอะคริลิกเรซินกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง (จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ครุ คัล-วัลลิส และการทดสอบของแมน-วิทนีย์)

ระดับแรง	เตรียมผิวหน้าด้วย Liquid of Unifast (MMA) Mean(cycle)	เตรียมผิวหน้าด้วย Rebase II Mean(cycle)
37.92	21.6 <sup>a</sup>	11.40 <sup>A</sup>
32.50	323.8 <sup>a,b</sup>	137 <sup>A</sup>
27.09	32268.8 <sup>b</sup>	21967.2 <sup>A,B</sup>
21.67	301706.4 <sup>c</sup>	210532.2 <sup>B</sup>

- อักษรพิมพ์เล็กด้วยที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันระหว่างระดับแรงของกลุ่มที่ใช้MMAอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ครุ คัล-วัลลิส)
- อักษรพิมพ์ใหญ่ด้วยที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันระหว่างระดับแรงของกลุ่มที่ใช้Rebase II อย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ครุ คัล-วัลลิส)

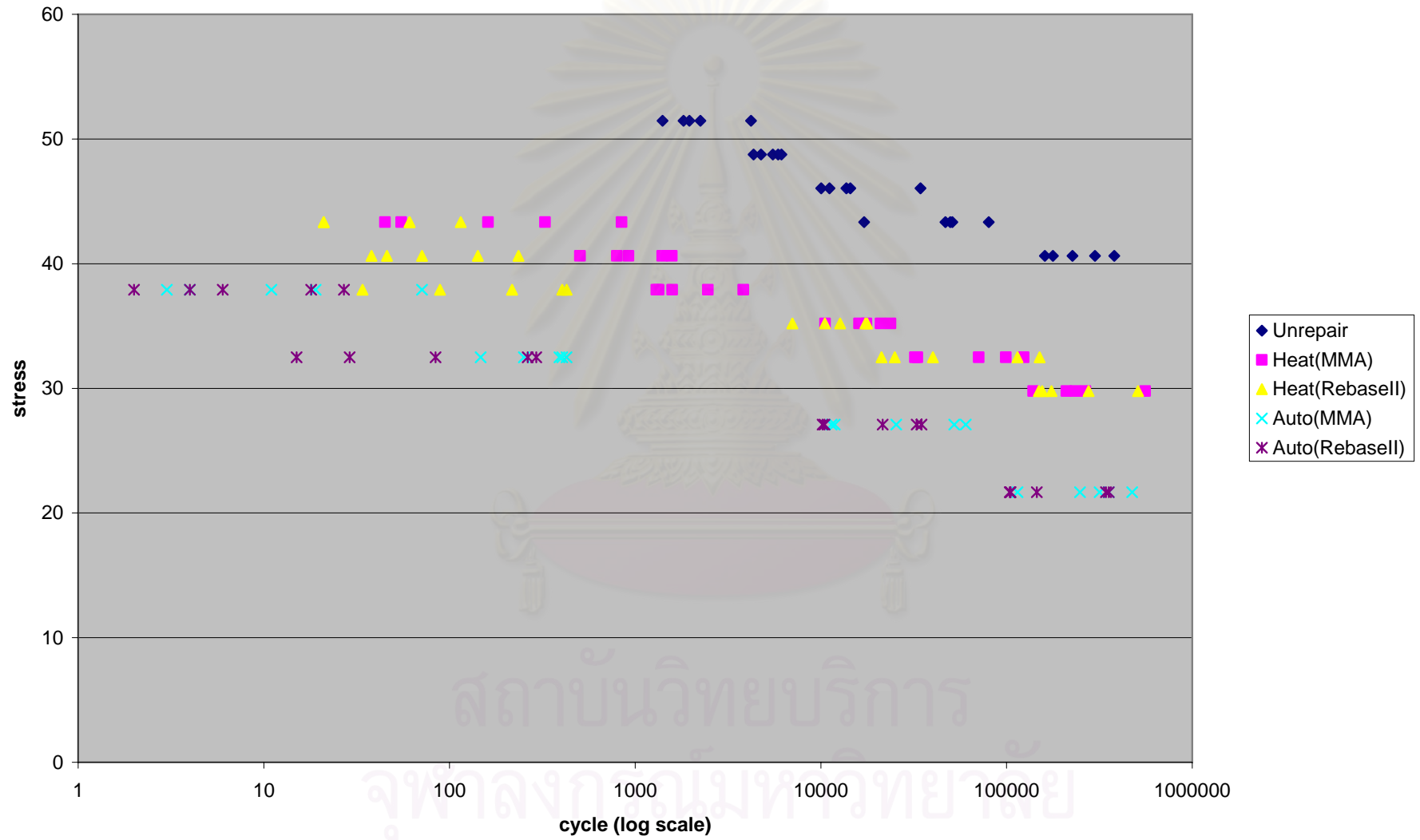
จากตารางที่ 9 เมื่อพิจารณากลุ่มที่มีการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เองซึ่งมีการเตรียมผิวหน้าก่อนซ่อมแซมด้วยสารเคมีแบ่งเป็น 2 แบบ คือ ส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง และสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ครุ คัล-วัลลิส ที่ความเชื่อถือ 95% ตามชนิดของสารเคมีที่ใช้เตรียมผิวหน้า พบว่าอายุความล้มเฉลี่ยที่ระดับแรงต่างๆภายในกลุ่มที่มีการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เองซึ่งมีการเตรียมผิวหน้าด้วยส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และอายุความล้มเฉลี่ยที่ระดับแรงต่างๆภายในกลุ่มที่มีการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง ซึ่งเตรียมผิวหน้าด้วยสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II ก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงนำมาทดสอบต่อโดยการเปรียบเทียบพหุคูณระหว่างกลุ่ม โดยกลุ่มที่มีการเตรียมผิวหน้าด้วยส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เองนั้น มีอายุความล้มเฉลี่ยของระดับแรงที่ 37.92 นิวตัน ต่ำกว่าของระดับแรงที่ 27.09 และ 21.67 นิวตัน อย่างมีนัยสำคัญ และอายุความล้มเฉลี่ยของระดับแรงที่ 32.50 นิวตัน ต่ำกว่าของระดับแรงที่ 21.67 นิวตัน อย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของกลุ่มที่มีการเตรียมผิวหน้าด้วยสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II จะมีอายุความล้มเฉลี่ยของระดับแรงที่ 37.92 นิวตัน ต่ำกว่าของระดับแรงที่ 21.67 นิวตัน อย่างมีนัยสำคัญ และ อายุความล้มเฉลี่ยของระดับแรงที่ 32.50 นิวตัน ต่ำกว่าของระดับแรงที่ 21.67 นิวตัน อย่างมีนัยสำคัญ

จากการวิเคราะห์การทดสอบของแมน-วิทนีย ของกลุ่มที่มีการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซิน ชนิดบ่มได้เอง เพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างการเตรียมผิวหน้าที่ต่างกันระหว่างส่วนเหลวของ อะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง กับสารที่ใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II ที่ระดับแรงต่างๆ พบว่าอายุความล้าเฉลี่ยที่ระดับแรงทั้ง 4 ระดับ (37.92, 32.50, 27.09 และ 21.67 นิวตัน) ของการเตรียมผิวหน้าที่ 2 แบบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

#### 4.2 เส้นโค้งเอส-เอ็น

ค่าอายุความล้าของแรงแต่ละระดับของแต่ละกลุ่มทดสอบจะถูกนำมาแสดงในรูปของ ภาพที่ 26 เรียก เส้นโค้งเอส-เอ็น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เส้นโค้งเอส-เอ็นของอะคริลิกเรซินกลุ่มที่ไม่มีการซ่อมแซมจะมีระดับสูงกว่าของกลุ่มที่มีการซ่อมแซม และเส้นโค้งเอส-เอ็นของกลุ่มที่ซ่อมแซม ด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนจะมีระดับสูงกว่าของกลุ่มที่มีการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง ทำให้บอกได้ว่าอะคริลิกเรซินกลุ่มที่ไม่มีการซ่อมแซมจะมีความทนต่อการรับแรง ที่ระดับต่างๆ ได้มากกว่าอะคริลิกเรซินกลุ่มที่มีการซ่อมแซม และกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซิน ชนิดบ่มด้วยความร้อนจะมีความทนต่อการรับแรงที่ระดับต่างๆ ได้มากกว่ากลุ่มที่มีการซ่อมแซม ด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง ส่วนกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดเดียวแต่เตรียมผิวหน้า ต่างกันจะมีระดับของเส้นโค้งเอส-เอ็น อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน





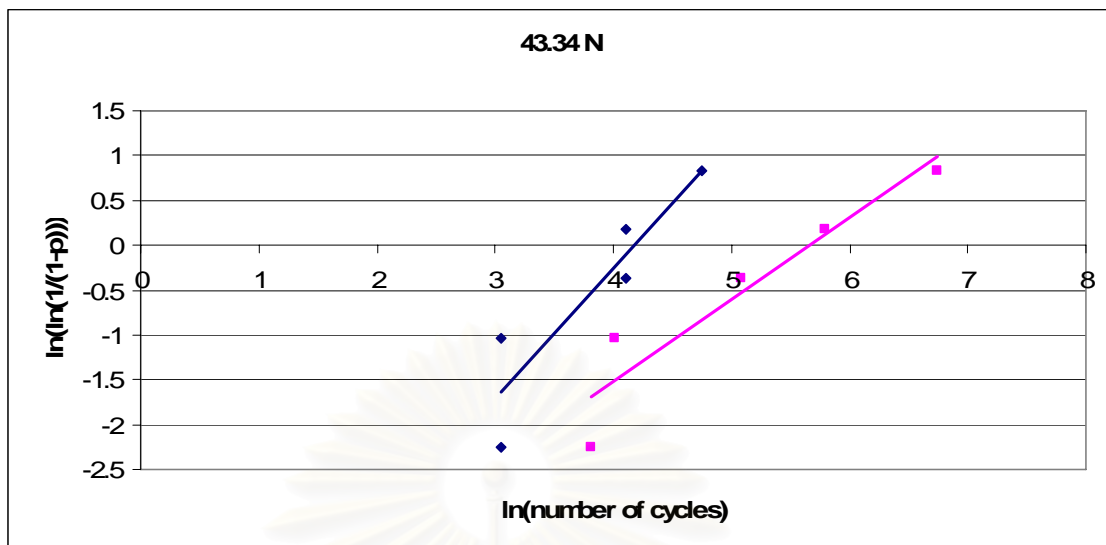
ภาพที่ 26 แสดงเส้นโค้งเอส-เอ็น ของกลุ่มทดสอบทั้ง 5 กลุ่ม

#### 4.3 การวิเคราะห์ไวบูล (Weibull)

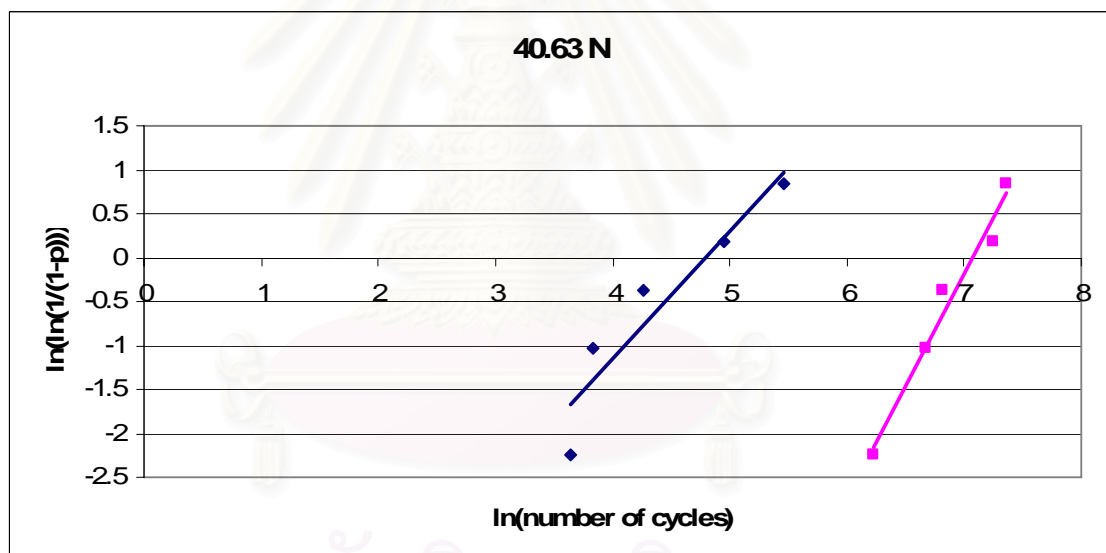
จากข้อมูลซึ่งมีค่าความแปรปรวนสูงมาก จึงมาพิจารณาและอธิบายต่อการวิเคราะห์ไวบูล ซึ่งเป็นกราฟแสดงถึงความน่าจะเป็นในการแตกหักของวัสดุ โดยค่าความชันของกราฟที่มากกว่าจะแสดงว่ามีการกระจายตัวของข้อมูลที่ต่ำ ทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากกว่า พบว่าอะคริลิกเรซินกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ระดับแรงต่างๆ (ภาพที่ 27, ตารางที่ 10) ในกลุ่มที่เตรียมผิวหน้าด้วยส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนเกือบทุกระดับแรงจะมีความชันของกราฟสูงกว่า กลุ่มที่เตรียมผิวหน้าด้วยสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II สำหรับอะคริลิกเรซิน กลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง (ภาพที่ 28, ตารางที่ 11) ในกลุ่มที่เตรียมผิวหน้าด้วยส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เองที่ระดับแรง 32.50 และ 21.67 นิวตัน จะมีความชันของกราฟสูงกว่า กลุ่มที่เตรียมผิวหน้าด้วยสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II ส่วนที่ระดับแรง 37.92 และ 27.09 นิวตัน กลุ่มที่เตรียมผิวหน้าด้วยส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เองจะมีความชันของกราฟต่ำกว่า กลุ่มที่เตรียมผิวหน้าด้วยสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II

ตารางที่ 10 แสดงความชันของกราฟ Weibull ของอายุความล้าของอะคริลิกเรซินกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ระดับแรงต่างๆ

ระดับแรง (N)	ความชันของกราฟ ของ	
	กลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน	
	Liquid of Meliodent	Rebase II
43.34	0.9121	1.4490
40.63	2.5571	1.4519
37.92	2.2630	1.0756
35.21	3.7696	3.0319
32.50	1.7822	1.2287
29.79	2.1714	1.9500



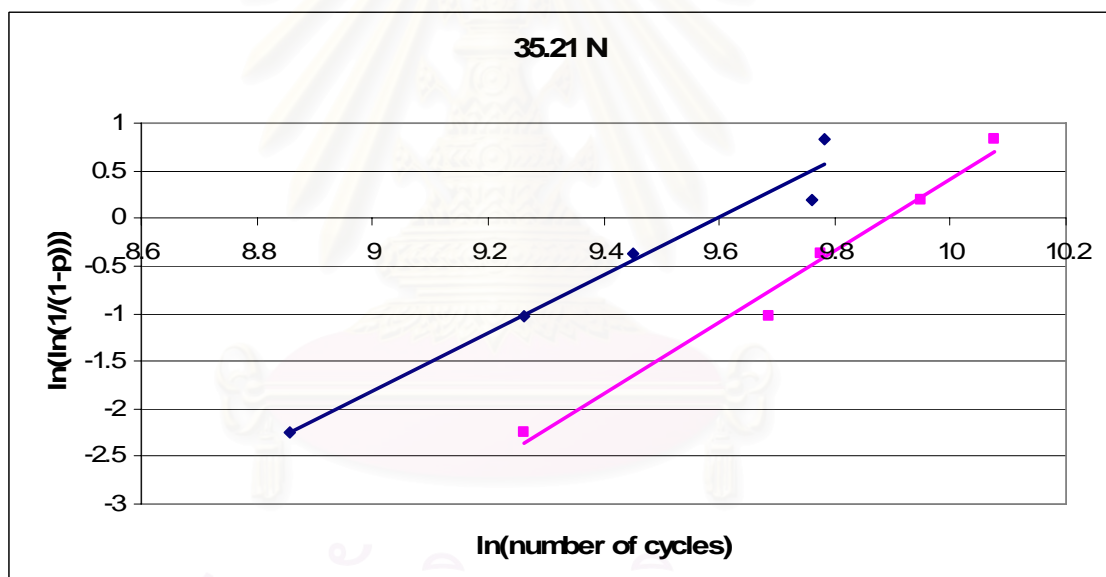
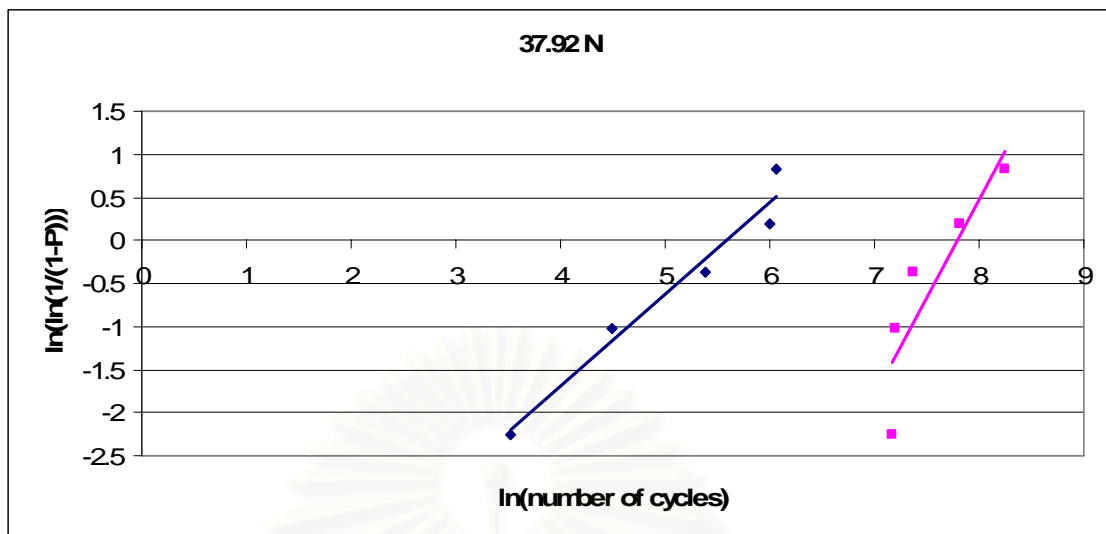
(ก)



(ข)

ภาพที่ 27 ก-ข แสดงกราฟ Weibull ของอายุความล้มของอะคริลิกเรซินกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วย อะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ระดับแรงต่างๆ

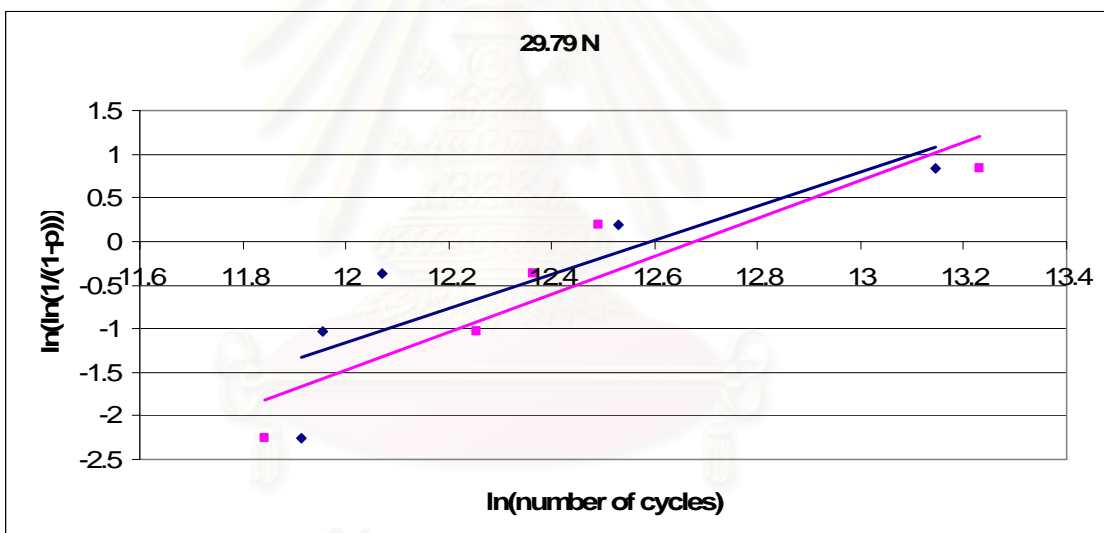
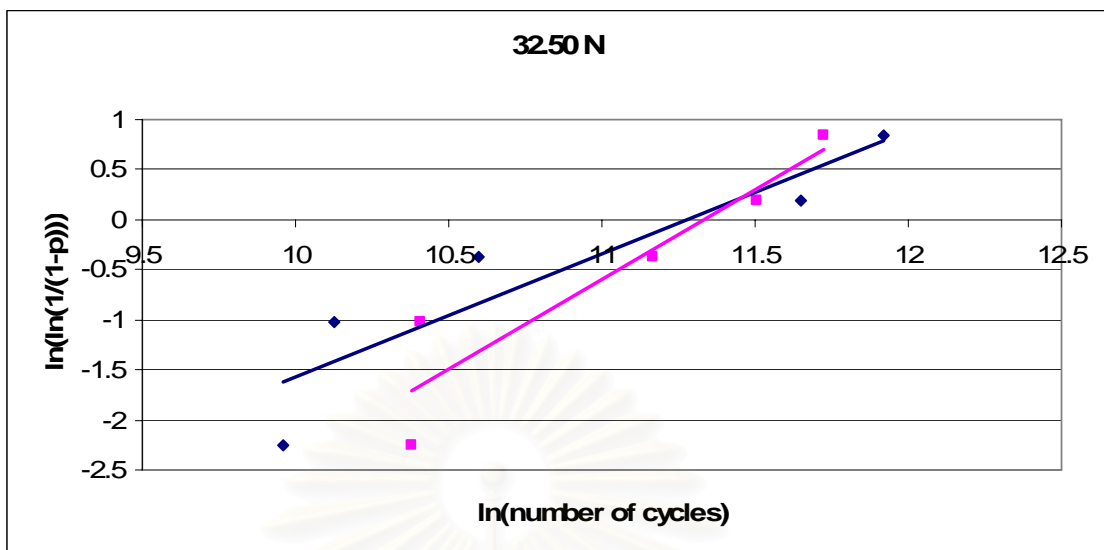
(สีน้ำเงิน - แสดงกลุ่มที่เตรียมผิวหน้าด้วยสารให้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอม Rebase II สีชมพู - แสดงกลุ่มที่เตรียมผิวหน้าด้วยส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน)



ภาพที่ 27 ก-จ แสดงกราฟ Weibull ของอายุความล้าของอะคริลิกเรซินกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วย อะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ระดับแรงต่างๆ

(สีน้ำเงิน - แสดงกลุ่มที่เตรียมผิวหน้าด้วยสารช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอม Rebase II

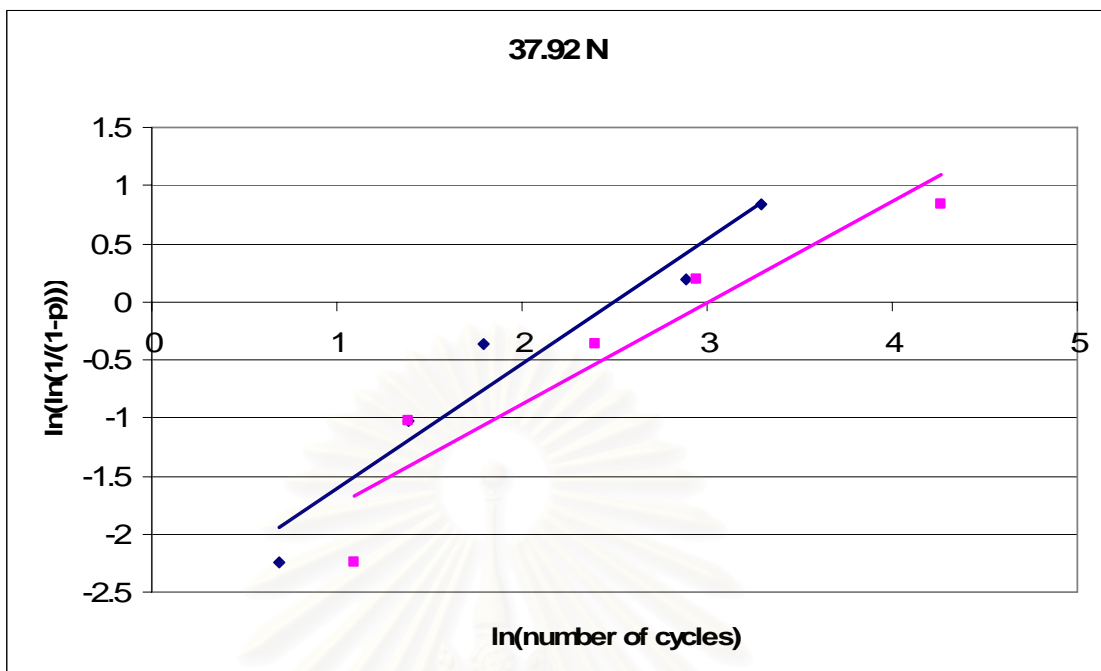
สีชมพู - แสดงกลุ่มที่เตรียมผิวหน้าด้วยส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน)



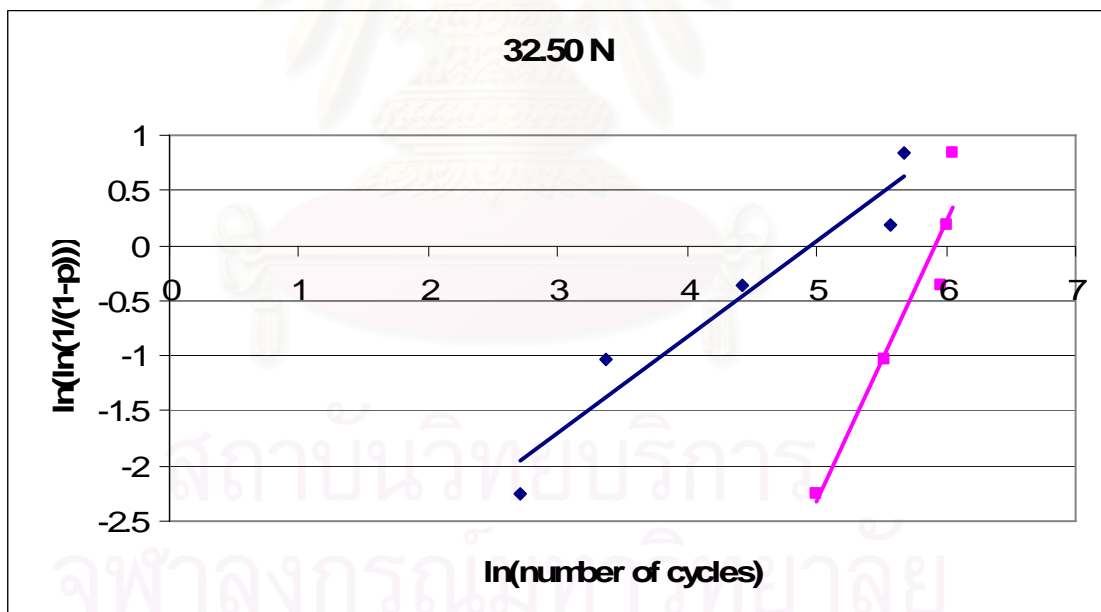
ภาพที่ 27 ก-ข แสดงกราฟ Weibull ของอายุความล้าของอะคริลิกเรซินกลุ่มที่ซอมแซมด้วย อะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ระดับแรงต่างๆ

(สีน้ำเงิน - แสดงกลุ่มที่เตรียมผิวหน้าด้วยสารช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอม Rebase II

สีชมพู - แสดงกลุ่มที่เตรียมผิวหน้าด้วยส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน)



(ก)

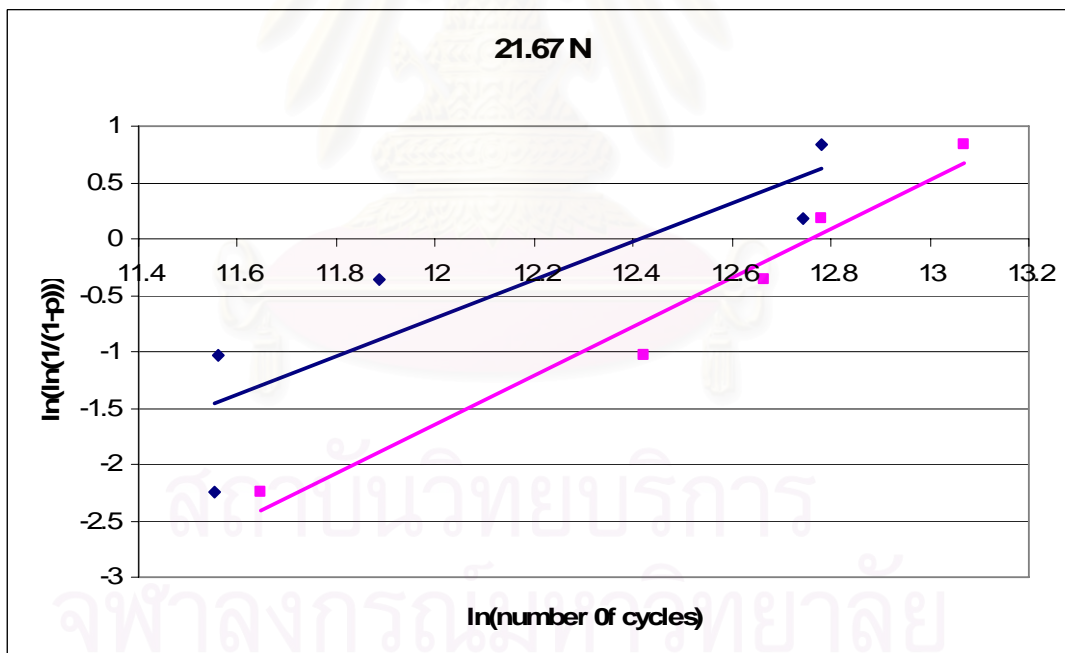
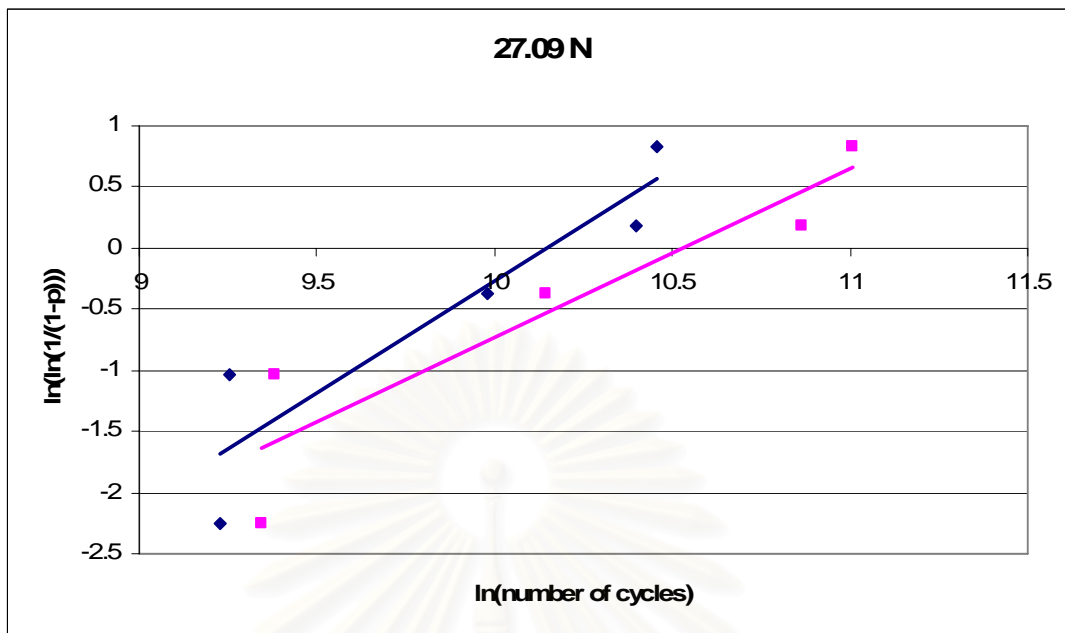


(ข)

ภาพที่ 28 ก-ง แสดงกราฟ Weibull ของอายุความล้าของอะคริลิกเรซินกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วย อะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เองที่ระดับแรงต่างๆ

(สีน้ำเงิน - แสดงกลุ่มที่เตรียมผิวหน้าด้วยสารให้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอม Rebase II

สีชมพู - แสดงกลุ่มที่เตรียมผิวหน้าด้วยส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง)



ภาพที่ 28 ก-ง แสดงกราฟ Weibull ของอายุความล้าของอะคริลิกเรซินกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วย อะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เองที่ระดับแรงต่างๆ

(สีน้ำเงิน - แสดงกลุ่มที่เตรียมผิวหน้าด้วยสารให้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอม Rebase II

สีชมพู - แสดงกลุ่มที่เตรียมผิวหน้าด้วยส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง)

ตารางที่ 11 แสดงความชันของกราฟ Weibull ของอายุความล้มของอะคริลิกเรซินกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เองที่ระดับแรงต่างๆ

ระดับแรง (N)	ความชันของกราฟ ของ กลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง	
	Liquid of Unifast	Rebase II
37.92	0.8752	1.0711
32.50	2.4998	0.8676
27.09	1.3886	1.8323
21.67	2.1617	1.6969

#### 4.4 การวิเคราะห์การแตกหัก

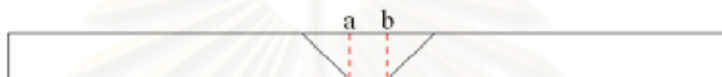
ชนิดและจำนวนของการแตกหักของชิ้นงานดังตาราง โดยจะแบ่งเป็น 3 ชนิดของการแตกหัก คือ “การยึดติด” (แตกหักในส่วนของรอยต่อ), “การเชื่อมแน่น” (แตกหักในส่วนของวัสดุ) และ “แบบผสม” (มีทั้งในส่วนของรอยต่อและวัสดุ) ซึ่งถ้ามีพื้นผิวของวัสดุนั้นๆ มากกว่า 50% ในส่วนที่แตกหักจะกำหนดว่าเป็นการแตกหักแบบการเชื่อมแน่น (Sarac และคณะ, 2005) จากการทดลองพบการแตกหักแบบ “การเชื่อมแน่น” ในส่วนของวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมเป็นส่วนใหญ่ พบการแตกหักแบบผสมบ้างในชิ้นงานที่เตรียมผิวหน้าด้วยสารช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II ของกลุ่มที่ทำการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เองร้อยละ 10 และชนิดบ่มด้วยความร้อนร้อยละ 5 (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 12 แสดงจำนวนและชนิดการแตกหักของแต่ละกลุ่มทดสอบ

ชนิดของการแตกหัก	กลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน (Liquid of Meliodent)	กลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน (Rebase II)	กลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง (Liquid of Unifast)	กลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง (Rebase II)
การยึดติด	-	-	-	-
การเชื่อมแน่น	20(100%)	18(90%)	20(100%)	19(95%)
แบบผสม	-	2(10%)	-	1(5%)



หลังจากทดสอบหาอายุความล้าของชิ้นทดสอบแล้ว นำชิ้นทดสอบที่แตกหักทุกชิ้นมาพิจารณาจะพบว่าอย่างน้อยร้อยละ 90 ของทุกกลุ่มทดสอบที่ทดสอบจนกระทั่งชิ้นงานเกิดการแตกหัก จะเกิดการแตกหักตำแหน่งของ “การเชื่อมแน่น” ในส่วนของอะคริลิกเรซินที่ใช้เป็นวัสดุในการซ่อมแซม โดยรอยหักจะมีลักษณะเริ่มจากจุดเชื่อมต่อระหว่างอะคริลิกเรซินเดิมกับอะคริลิกเรซินที่เป็นวัสดุซ่อมแซมทางขอบล่างของหน้าตัดเฉียงที่เป็นรอยต่อ เป็นแนวโค้งขึ้นไปในเนื้ออะคริลิกเรซินที่เป็นวัสดุซ่อมแซมทางด้านบน (ภาพที่ 29, 30) โดยเป็นดังในตำแหน่ง a หรือ b ด้านใดด้านหนึ่งของแต่ละชิ้นงาน



ภาพที่ 29 แสดงรูปแบบการแตกหักของชิ้นทดสอบ

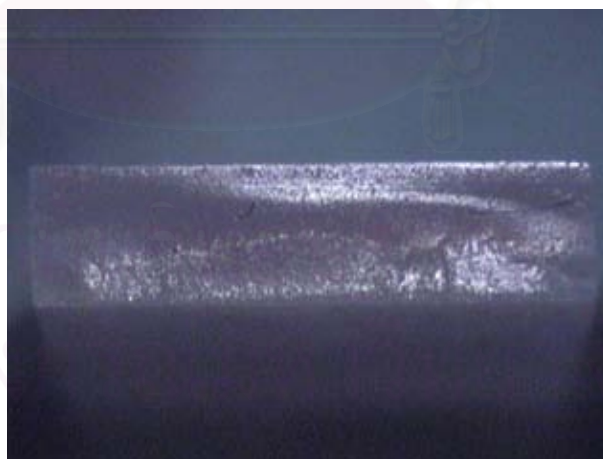


ภาพที่ 30 แสดงตัวอย่างการแตกหักของชิ้นทดสอบ

จากการนำพื้นผิวของรอยหักมาส่องดูด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคป กำลังขยาย 7 เท่า ในกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดป่นได้เอง จะพบ concentric lines รูปครึ่งวงกลม บริเวณขอบล่างของชิ้นทดสอบ เป็นรัศมีออกไปจากแหล่งกำเนิดของการแตกหักภายใน component body บริเวณหนึ่งของพื้นผิวรอยหักนั้นและบริเวณโดยรอบของ concentric lines จะมีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบกว่า (ภาพที่ 31) ส่วนกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดป่นด้วยความร้อน จะมีลักษณะพื้นผิวที่เนียนเรียบกว่าตั้งแต่จุดที่เป็น concentric lines ไปจนถึงบริเวณรอบๆ (ภาพที่ 32)



ภาพที่ 31 แสดงตัวอย่างพื้นผิวของรอยหักของอะคริลิกเรซินชนิดป่นได้เอง

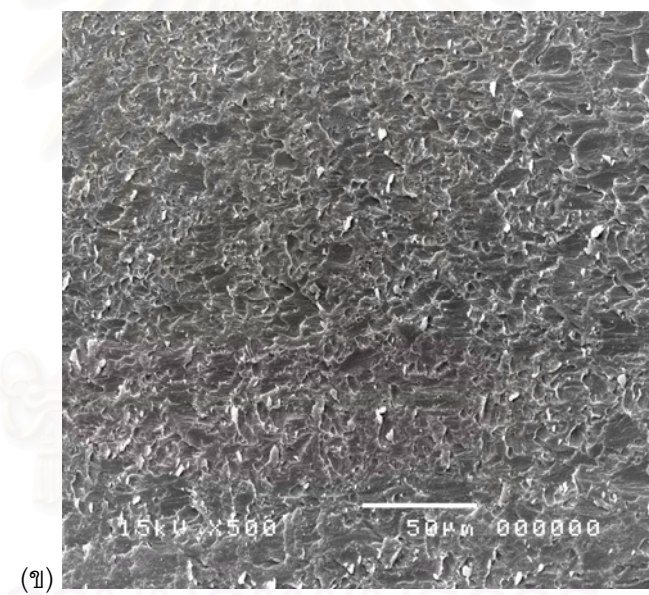
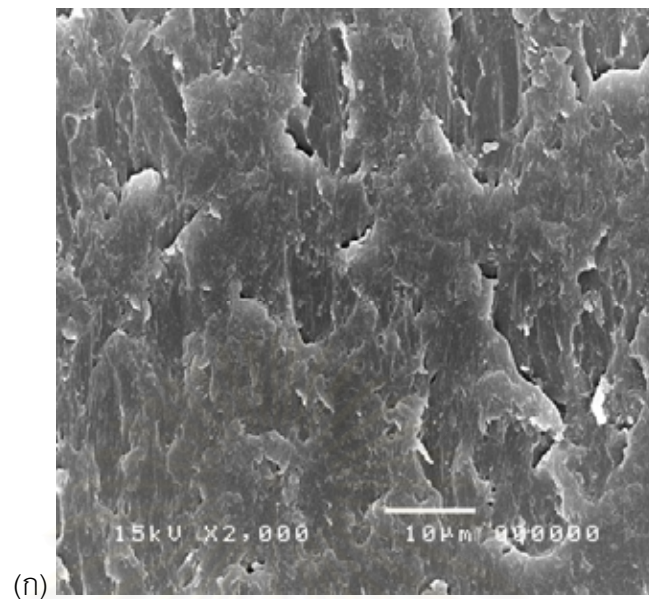


ภาพที่ 32 แสดงตัวอย่างพื้นผิวของรอยหักของอะคริลิกเรซินชนิดป่นด้วยความร้อน

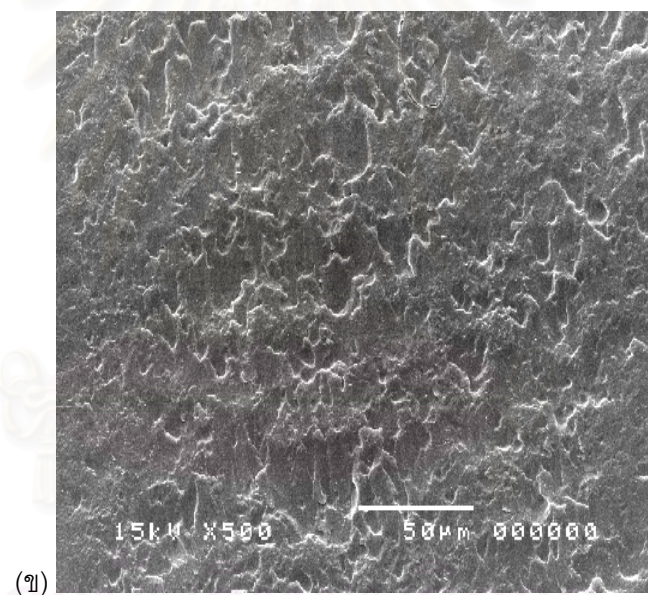
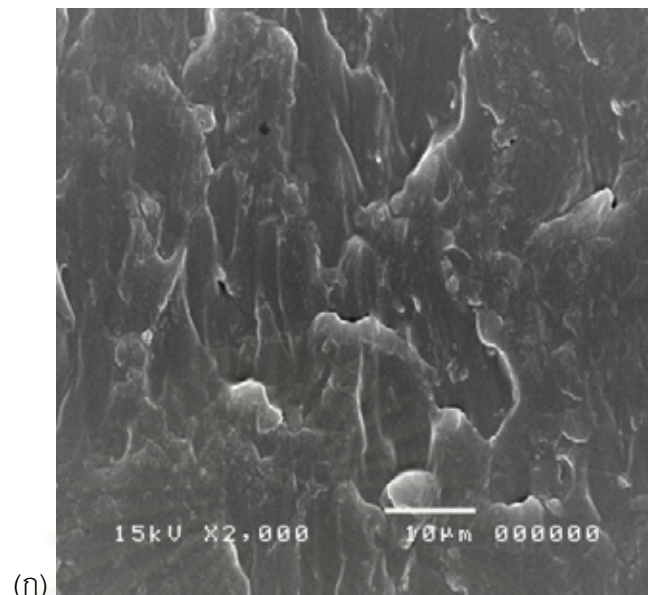
ผลของการเปรียบเทียบพื้นผิวของอะคริลิกเรซินบริเวณที่ทำเป็นหน้าตัดเฉียง 45 องศา โดยมีการเตรียมพื้นผิวด้วยสารเคมีที่แตกต่างกันก่อนใส่วัสดุเพื่อทำการซ่อมแซมด้วยกัล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะพบว่า การเตรียมพื้นผิวด้วยสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานพื้นปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II 20 วินาที จะทำให้พื้นผิวเรียบขึ้นกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเตรียมพื้นผิวแต่มีความลึกมากขึ้นของร่องลึกเดิมที่พบก่อนการเตรียมพื้นผิวและพบมีรูพรุนในพื้นที่บาง บริเวณส่วนการเตรียมพื้นผิวด้วยส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินที่ใช้ในการซ่อมแซม 180 วินาที จะปรากฏลักษณะของเม็ดพอลิเมอร์(จากกำลังขยาย 500 เท่า) โดยมีพื้นผิวทั่วไปที่เรียบมากกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเตรียมพื้นผิวและกลุ่มเตรียมพื้นผิวด้วยสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานพื้นปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II แต่ยังคงมีความขรุขระบนพื้นผิวโดยทั่วไป



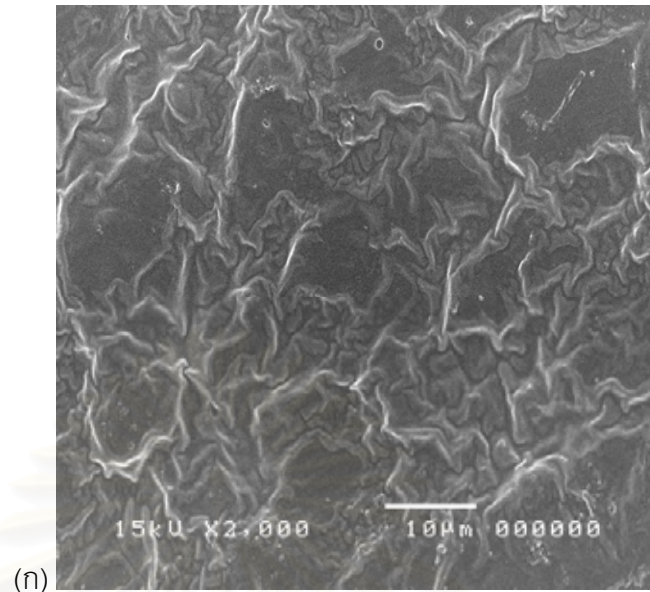
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



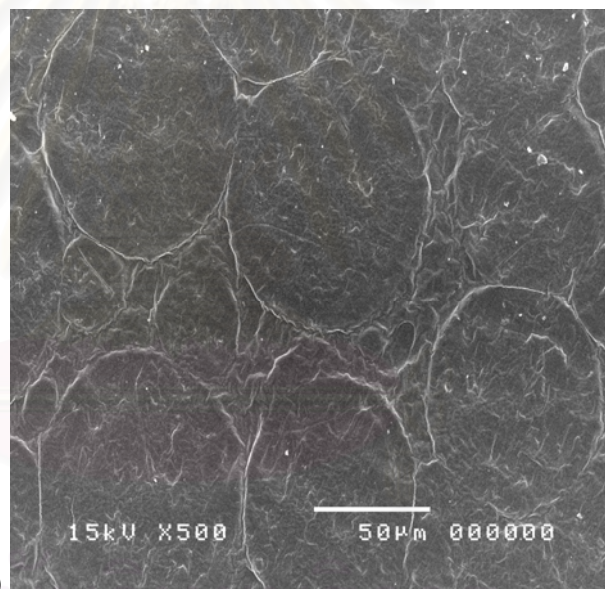
ภาพที่ 33 แสดงพื้นผิวของอะคริลิกเรซินบริเวณที่ทำเป็นหน้าตัดเฉียง 45 องศา โดยยังไม่มี การเตรียมพื้นผิวด้วยสารเคมี ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ก) กำลังขยาย 2000 เท่า, (ข) กำลังขยาย 500 เท่า



ภาพที่ 34 แสดงพื้นผิวของอะคริลิกเรซินบริเวณที่ทำเป็นหน้าตัดเฉียง 45 องศา ที่มีการเตรียมพื้นผิวด้วยสารให้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II เป็นเวลา 20 วินาที ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ก) กำลังขยาย 2000 เท่า, (ข) กำลังขยาย 500 เท่า



(ก)



(ข)

ภาพที่ 35 แสดงพื้นผิวของอะคริลิกเรซินบริเวณที่ทำเป็นหน้าตัดเฉียง 45 องศา ที่มีการเตรียมพื้นผิวด้วยส่วนเหลือของอะคริลิกเรซิน เป็นเวลา 180 วินาที ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ก) กำลังขยาย 2000 เท่า, (ข) กำลังขยาย 500 เท่า

## บทที่ 5

### การอภิปรายผลการวิจัย

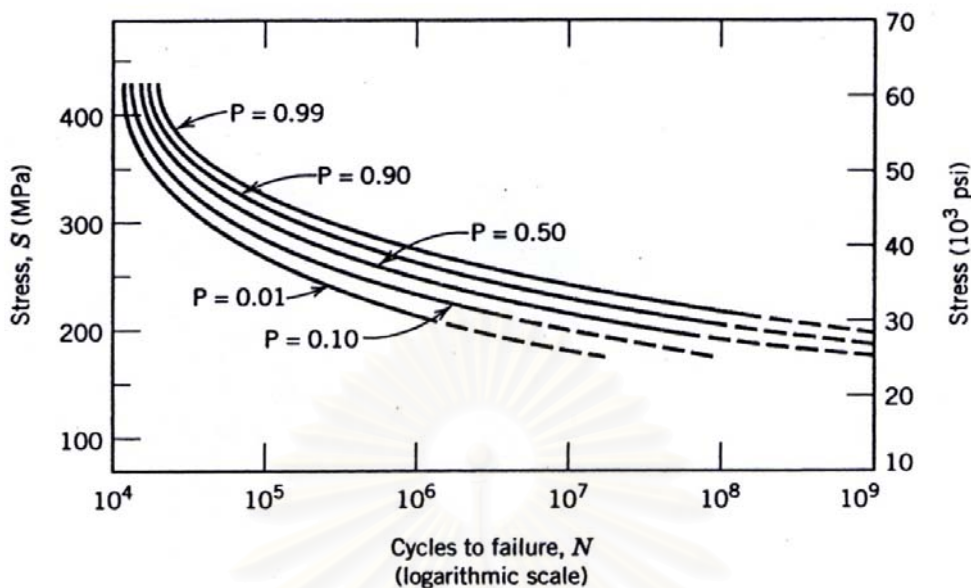
ในการศึกษาภาวะความล้าในทางห้องปฏิบัติการจะทำให้เราเข้าใจการเกิดความล้าในทางคลินิกได้ดีขึ้น (*Bream และ คณะ, 1994*) การหาอายุความล้าจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับชนิดของวัสดุทางทันตกรรมซึ่งจะถูกรับแรงในระหว่างการบดเคี้ยว และเป็นการประเมินถึงการได้รับแรงเค้นระหว่างการบดเคี้ยวที่จะเกิดประมาณ 300,000 ครั้งต่อปี รวมทั้งยังมีแรงเค้นที่มากกว่าในการถอดหรือใส่ชิ้นงานในช่องปากน้อยกว่า 1,500 ครั้งต่อปี เนื่องจากขึ้นทดสอบทางทันตกรรมจะได้รับแรงระดับปานกลางซ้ำๆ เป็นจำนวนมากของเวลาต่างๆ จึงเป็นเรื่องสำคัญในการออกแบบวัสดุที่จะต้องเข้าใจระดับแรงเค้นที่วัสดุสามารถทนได้เพื่อคาดการณ์จำนวนรอบที่จะเกิดขึ้น (*Powers และ Sakaguchi, 2006*) เช่นเดียวกันกับการศึกษาที่สนับสนุนว่าความต้านทานความล้าของฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซินจะขึ้นกับความเค้นในวัสดุอะคริลิกเรซินระหว่างได้รับแรง (*Vallittu, Lassila และ Lappalainen, 1996*)

โดยการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการซ่อมแซมอะคริลิกเรซินด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เองจะมีความแข็งแรงดัดขวางประมาณร้อยละ 60 (*Berge, 1983*) ถึงร้อยละ 65 (*Leong, 1971*) ของฐานฟันปลอมเดิมและ การซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนจะมีความแข็งแรงดัดขวาง ร้อยละ 75 (*Leong, 1971*) ถึง ร้อยละ 80 (*Stanford, Burns และ Paffenbarger, 1995*) ของฐานฟันปลอมเดิม ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่าระดับแรงที่ทำให้อายุความล้าของทุกกลุ่มทดลองมีค่าตั้งแต่  $10^6$  รอบ (ขีดจำกัดความล้า) ของอะคริลิกเรซินที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง เป็นร้อยละ 42.85 ของอะคริลิกเรซินที่ไม่มีการซ่อมแซม และการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อนเป็นร้อยละ 71.44 ของอะคริลิกเรซินที่ไม่มีการซ่อมแซม แสดงให้เห็นว่าอายุความล้าของอะคริลิกเรซินที่มีการซ่อมแซมแล้วยังลดลงมากกว่า เมื่อเปรียบกับการดูเพียงค่าความแข็งแรงดัดขวาง รวมทั้งอะคริลิกเรซินที่ไม่มีการซ่อมแซมจะมีอายุความล้าที่ทนต่อระดับแรงที่สูงกว่าได้มากกว่าอะคริลิกเรซินที่มีการซ่อมแซม ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าอาจจะจำเป็นที่ควรจะมีการเปลี่ยนฐานฟันปลอม (rebase) มากกว่าที่จะทำการซ่อมแซมเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการแตกหักซ้ำขึ้นอีก (*Vallittu, Lassila และ Lappalainen, 1996*) โดยทันตแพทย์ควรเรียกผู้ป่วยกลับมาตรวจซ้ำแล้วทำการเปลี่ยนฐานฟันปลอมให้ ซึ่งการศึกษาปัจจุบันพบว่าหลังจากเปลี่ยนฐานฟันปลอมแล้วจะสามารถใช้ได้อีกอย่างน้อย 2 ปี (*Vallittu, 1994*)

จากผลการศึกษาที่ผ่านมาดังกล่าวข้างต้นจะเห็นว่าการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนนั้นมีความแข็งแรงดัดขวางมีค่าสูงกว่าอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวเอง และจากผลการทดลองในครั้งนี้ อายุความล้าจะแสดงผลความแตกต่างที่สูงกว่าของการซ่อมแซมอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนได้ชัดเจนกว่าความแข็งแรงดัดขวาง ดังนั้นจึงยังคงสนับสนุนให้มีการซ่อมแซมฐานฟันปลอมที่แตกหักด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนมากกว่าชนิดบ่มตัวเอง ในกรณีที่จำเป็นต้องทำการซ่อมแซม

ข้อมูลความล้าจะแสดงด้วยเส้นโค้ง เอส-เอ็น ใช้อธิบายแรงเค้นที่ทำให้วัสดุนั้นล้มเหลวขณะทำหน้าที่ด้วยจำนวนรอบที่รับแรง (*Powers และ Sakaguchi, 2006*) ซึ่งจะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของกลไกของความล้า และใช้คาดการณ์อายุการใช้งาน (*Baran, Beberick และ McCool, 2001*) จากการทดลองจะได้เส้นโค้ง เอส-เอ็น ของทุกกลุ่มทดลองดังภาพที่ 26 โดยอะคริลิกเรซินที่ไม่มีการซ่อมแซมจะอยู่เหนือเส้นโค้งของกลุ่มอื่นมากที่สุด แสดงถึงการมีอายุความล้าที่สูงกว่าในทุกระดับแรง รองลงมาเป็นอะคริลิกเรซินที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน และอะคริลิกเรซินที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวเองจะอยู่ต่ำที่สุด และยังสามารถคาดการณ์ได้ว่าที่จำนวนรอบที่  $10^7$  ของทุกกลุ่มทดสอบ เส้นโค้งจะมีลักษณะที่แสดงถึงการมีขีดจำกัดความล้าของวัสดุชัดเจนขึ้น แม้ว่าจะมีการแนะนำให้กำหนดขีดจำกัดความล้าไว้ที่  $10^6$  รอบ (*Wiskott, Nicholls และ Belser, 1995*) กราฟที่ได้จากการทดลองยังสนับสนุนรายงานที่มีมาว่าพอลิเมอร์จะมีความไวต่อการได้รับแรงสูง เนื่องจากที่ระดับแรงเค้นที่มากจะทำให้เกิดความร้อนเฉพาะที่ ทำให้วัสดุเกิดความนิ่มแล้วเกิดการแตกหักมากกว่าจะเป็นผลของกระบวนการจากความล้า นอกจากนี้ยังมีหลายเทคนิคทางสถิติที่พัฒนาเพื่อหาอายุความล้า และขีดจำกัดความล้าในรูปแบบของความน่าจะเป็นจากเส้นโค้ง เอส-เอ็น เช่น แสดงเป็นกราฟของความน่าจะเป็นเป็นเอส-เอ็น ในการแตกหักดังตัวอย่างในภาพที่ 37 เนื่องจากเส้นโค้ง เอส-เอ็น นั้นโดยทั่วไปแล้วเป็นกราฟแสดงลักษณะค่าเฉลี่ย (*William, 2003*)





ภาพที่ 36 แสดงเส้นโค้งความน่าจะเป็นของอายุความล้า เอส-เอ็น ในการแตกหัก  
(ที่มา: William. 2003. *Material science & engineering: An introduction. 5<sup>th</sup> ed.* )

เมื่อมีการซ่อมแซมฐานฟันปลอม ความแข็งแรงยึด (bond strength) ระหว่างฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซินและวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมควรจะมากเท่ากับฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซินเดิม เพราะการซ่อมแซมฟันปลอมให้ประสบผลสำเร็จนั้นขึ้นกับการยึดติดระหว่างวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมและฐานฟันปลอม (Seo, Neppelenbrock และ Filho, 2007) ซึ่งการยึดติดระหว่างฐานฟันปลอมและวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมสามารถปรับปรุงได้โดยใช้สารเคมีที่เหมาะสมทาเพื่อปรับปรุงผิวหน้าของอะคริลิกเรซิน (Vallittu, Lassila และ Lappalainen, 1994) จากการทดลองครั้งนี้เป็นการเปรียบเทียบสารเคมีที่ใช้เตรียมผิวหน้าระหว่างส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินที่ใช้เป็นวัสดุซ่อมแซมและสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II (เป็นส่วนผสมของ อะซีโตน ร้อยละ 47 และ เอทิลอะซีเตท ร้อยละ 47) แสดงให้เห็นว่าอายุความล้าของอะคริลิกเรซินที่ซ่อมแซมด้วยการเตรียมผิวหน้าระหว่างสารเคมีทั้ง 2 ชนิดนี้ ไม่มีความแตกต่างกันทั้งภายในกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน และภายในกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง แต่สำหรับสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II ในการทดลองจะใช้เวลาในการเตรียมผิวหน้าตามคำแนะนำของผู้ผลิตซึ่งน้อยกว่าเวลาของการใช้ส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินที่ใช้เป็นวัสดุซ่อมแซม จึงอาจทำให้ประหยัด เวลาได้มากขึ้นในการทำงาน

มีรายงานการศึกษาถึงแรงเคี้ยวในผู้ชายที่ใส่ฟันปลอมทั้งปากบนสบกับ ฟันปลอมทับราก (overdenture) ล่าง จะมีแรงเคี้ยวเฉลี่ยสำหรับ เนื้อวัว 47.04 นิวตัน, แครอทดิบ 48.90 นิวตัน, ถั่ว 47.43 นิวตัน และขนมปังกรอบ 45.96 นิวตัน รวมทั้งแรงเคี้ยวในผู้หญิงที่ใส่ฟันปลอมทั้งปากบน และล่าง จะมีแรงเคี้ยวเฉลี่ยสำหรับ เนื้อวัว 34.59 นิวตัน, แครอทดิบ 33.42 นิวตัน และขนมปังกรอบ 34.99 นิวตัน (Neill และคณะ, 1989) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับแรงที่ทำให้อายุความล้าของ ทุกกลุ่มทดลองมีค่าตั้งแต่  $10^6$  รอบแล้วไม่เกิดการแตกหักของชิ้นทดสอบอะคริลิกเรซินในการ ทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่า แรงเคี้ยวเฉลี่ยของผู้ที่ใส่ฟันปลอมสำหรับอาหารแต่ละชนิดจะมีที่สูงกว่า ระดับแรงของอะคริลิกเรซินที่มีการซ่อมแซม แต่จะใกล้เคียงกับอะคริลิกเรซินที่ไม่มีการซ่อมแซม มากกว่า ดังนั้นฟันปลอมที่มีการซ่อมแซมแล้วควรจะต้องมีการแนะนำแก่ผู้ป่วยถึงลักษณะอาหาร ที่มีผลต่ออายุการใช้งานของฟันปลอมซึ่งต่างจากฟันปลอมที่ยังไม่มีการซ่อมแซมเพื่อป้องกันการ เกิดการแตกหักซ้ำ

และจากผลของการตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดลักษณะพื้นผิว ของอะคริลิกเรซินหลังจากเตรียมด้วยส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินที่ใช้ซ่อมแซม ที่พบว่าพื้นผิวเรียบ ขึ้นกว่าพื้นผิวที่ไม่มีการเตรียมด้วยสารเคมีและมีผลให้เกิดการยึดติดที่ดี อันเนื่องมาจากพบการ แตกหักส่วนใหญ่เป็นแบบการเชื่อมแน่นนั้น Vallitu และคณะในปี 1994 ได้สรุปไว้ว่า พื้นผิว อะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนจะถูกละลาย และเกิดการสร้างสายโซ่พอลิเมอร์ใหม่ระหว่าง ชิ้นงานอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนซึ่งเป็นการยึดติดทางเคมี ส่วนลักษณะพื้นผิวของ อะคริลิกเรซินหลังจากเตรียมด้วยสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II นั้นพบลักษณะพื้นผิวที่เรียบขึ้นกว่าพื้นผิวที่ไม่มีการเตรียมด้วยสารเคมี แต่มีร่องลึกขึ้นและรูพรุน ซึ่งก็ มีผลให้เกิดการยึดติดที่ดีกับวัสดุซ่อมแซมอันเนื่องจากการแตกหักส่วนใหญ่ที่พบเป็นแบบการเชื่อม แน่น เชื่อว่าเกิดคล้ายกับที่มีรายงาน (Rached และ Del-Bel Cury, 2001) การใช้อะซีโตนจะช่วย ละลายพอลิเมอร์ซึ่งช่วยให้เกิดการยึดติดเชิงกลโดยการแทรกซึมของมอนอเมอร์ และเกิดปฏิกิริยา การเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุซ่อมแซม ถึงแม้ว่าส่วนของอะคริลิกเรซินที่ใช้ซ่อมแซม และ สารใช้ช่วย ยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II จะทำให้อะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วย ความร้อนมีลักษณะพื้นผิวแตกต่างกัน แต่อายุความล้าของอะคริลิกเรซินที่ซ่อมแซมโดยใช้สารเคมี ทั้งสองในการเตรียมผิวหน้าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญดังกล่าวข้างต้น

จากการพิจารณาชนิดของการแตกหัก เมื่อทดสอบโดยการหาอายุความล้าจะพบการ แตกหักส่วนใหญ่จะเป็นแบบการเชื่อมแน่น เป็นการบ่งชี้ว่ามีการยึดติดของพื้นผิวซ่อมแซมที่เพียงพอ (Ward และคณะ, 1992) ซึ่งจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการทดสอบหาความแข็งแรงดัด ขวาง (Vallittu, Lassila และ Lappalainen, 1994) และความแข็งแรงเฉือน (Sarac และคณะ,

2005) ของอะคริลิกเรซินที่มีการเตรียมพื้นผิวด้วยสารเคมีก่อนการซ่อมแซมแสดงว่า จากการศึกษาข้อมูลอายุความล้าในครั้งนี้จะช่วยสนับสนุนให้มีการใช้สารเคมีเพื่อเตรียมพื้นผิวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนก่อนการซ่อมแซมเช่นกัน นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าควรจะมีการพัฒนาวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมต่อไป เนื่องจากมีพัฒนาให้เกิดการยึดติดได้ดีเพียงพอแล้ว

สำหรับการแตกหักซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดที่ตำแหน่งของการเชื่อมแน่นดังกล่าวมาแล้วนั้น จะพบอีกว่าในตำแหน่งของการเชื่อมแน่นนั้น รอยหักจะอยู่ในแนวตั้งฉากขอบล่างของหน้าตัดเฉียงขึ้นมาถึงขอบบนในด้านใดด้านหนึ่งของชิ้นงาน น่าจะอธิบายได้จากหลักการที่ว่า พื้นผิวมุมคม (sharp angled surface) จะเป็นจุดที่มีความเค้นมาก ซึ่งปริมาณความเค้นที่มากจะส่งผลโดยตรงต่อระดับของการเปลี่ยนแปลงพื้นผิว (Smith, 1961) และเมื่อพิจารณาพื้นผิวของรอยหักที่พบเป็น concentric lines ที่จุดเริ่มแตกหักและแผ่เป็นรัศมีออกไปนั้นจะเป็นลักษณะของการแตกหักจากความล้าซึ่งสนับสนุนตรงกับรายงานที่ผ่านมา (Smith, 1961; Vallittu, 1996) ซึ่งการพิจารณากระบวนการแตกหักก็มีความสำคัญในการหาวิธีป้องกันการแตกหักของฟันปลอมฐานอะคริลิกเรซินโดยเป็นความรู้ที่จำเป็นสำหรับการใส่วัสดุเสริมแรงลงในฐานฟันปลอม (Vallittu, 1996) จึงน่าจะมีการศึกษาต่อไป

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลอายุความล้าจะมีค่าความแปรปรวนมาก เช่นเดียวกับการศึกษาที่ผ่านมาของ Kelly ปี 1967 และ 1969, ของ Johnston และคณะ ปี 1981 รวมทั้งของ Vallittu และคณะในปี 1994 ซึ่งในแต่ละการศึกษาจะใช้เครื่องมือที่ผลิตขึ้นเฉพาะของแต่ละการทดสอบ รวมทั้งการวิเคราะห์ไวบูล (Weibull) ของอายุความล้ายังมีผลของความชันของกราฟที่แสดงถึงความน่าเชื่อถือนั้นยังไม่แน่นอนในการสรุปผล จึงน่าสนใจที่จะหาวิธีและเครื่องมือมาตรฐานในการทดสอบหาอายุความล้าต่อไป เพื่อให้ผลของอายุความล้ามีความแปรปรวนน้อยลง มีการกระจายตัวของข้อมูลที่ต่ำลง และสามารถนำข้อมูลของแต่ละการศึกษามาเปรียบเทียบกันได้

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการวิจัย

ภายใต้สภาวะของการทดสอบในครั้งนี้พบว่า

1. ระดับแรงที่ทำให้อายุความล้าของทุกกลุ่มทดลองมีค่าตั้งแต่  $10^6$  รอบของอะคริลิกเรซินที่ไม่มีการซ่อมแซมจะสูงที่สุด รองลงมาเป็นอะคริลิกเรซินที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน และอะคริลิกเรซินที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เองมีค่าต่ำที่สุด
2. เส้นโค้งเอส-เอ็นของอะคริลิกเรซินที่ไม่มีการซ่อมแซมจะอยู่เหนือเส้นโค้งของกลุ่มอื่นมาก แสดงถึงการมีอายุความล้าที่สูงกว่าในทุกระดับแรง รองลงมาเป็นอะคริลิกเรซินที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน และอะคริลิกเรซินที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เองจะอยู่ต่ำที่สุด
3. อายุความล้าของอะคริลิกเรซินที่ซ่อมแซมด้วยการเตรียมผิวหน้าระหว่างสารเคมีทั้ง 2 ชนิดคือ ส่วนเหลวของอะคริลิกเรซิน เป็นเวลา 180 วินาที และสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอมผลิตภัณฑ์ Rebase II (เป็นส่วนผสมของอะซีโตน ร้อยละ 47 และเอทิลอะซีเตท ร้อยละ 47) เป็นเวลา 20 วินาที ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้งภายในกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน และภายในกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง
4. ในการหาอายุความล้าจะพบการแตกหักส่วนใหญ่จะเป็นแบบการเชื่อมแน่น เป็นการบ่งชี้ว่ามีการยึดติดของพื้นผิวซ่อมแซมที่เพียงพอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ข้อเสนอแนะ

สำหรับผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลอายุความลำจะมีค่าความแปรปรวนมาก เช่นเดียวกับการศึกษาที่ผ่านมาดังกล่าวมาแล้ว ซึ่งแต่ละการศึกษาจะใช้เครื่องมือที่ผลิตขึ้นเฉพาะของแต่ละที่ทดสอบ จึงน่าสนใจที่จะหาวิธีและเครื่องมือที่มาตรฐานในการทดสอบหาอายุความลำต่อไป เพื่อให้ผลของอายุความลำมีความแปรปรวนน้อยลง และสามารถนำข้อมูลของแต่ละการศึกษามาเปรียบเทียบกันได้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

เจน รัตนไพศาล. ทันตวัสดุศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพมหานคร:โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, 2533.

รศ.ดร.วีรศักดิ์ อุดมกิจเดชา และคณะ. เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์:ทฤษฎีและหลักการทำงานเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543

### ภาษาอังกฤษ

Anusavice, K. J. (2003). Phillip's Science of dental materials. 11<sup>th</sup> ed. St Louis, Missouri: Elsevier Science(USA)

Asmussen, E., and Jorgensen.K.D. (1982). Fatigue strength of some resinous materials. Scand J Dent Rest 90: 76-79.

Ban, S., and Anusavice, K. J. (1990). Influence of test method on failure stress of brittle dental materials. J Dent Res 69: 1791-9.

Baran, G., Beberick, K., McCool, J. (2001). Fatigue of restorative materials. Crit Rev Oral Biol Med 12(4): 350-60

Berge, M. (1983). Bending strength of intact and repaired denture base resins. Acta Odontol Scand 41: 187-191.

Beyli, M. S., and von Fraunhofer, J. A. (1980). Repair of fractured acrylic resin. J Prosthet Dent 44(5): 497-503.

Beyli, M. S., and von Fraunhofer, J. A. (1981). An analysis of causes of fracture of acrylic resin dentures. J Prosthet Dent 46(3): 238-241.

Braem, M., Lambrechts, P., and Vanherle, G. (1994). Clinical relevance of laboratory fatigue study. J Dent 22: 97-102.

Dowling, N. E. (1999). Mechanical behavior of materials:Engineering Methods for Deformation,Fracture, and Fatigue. 2<sup>nd</sup> ed. New Jersey: Prentice-hall, International,Inc.

- Gregory, L. P., Andreas, G. A., and Panagiotis. (1996). Acrylic resin denture repair with adhesive resin and metal wire: Effects on strength parameters. J Prosthet Dent 75: 381-7.
- Hargreaves, A. S. (1961). The prevalence of fracture in denture. Br Dent J 126: 451-5.
- Hargreaves, A. S. (1983). The effects of cyclic stress on dental polymethylmethacrylate II. Flexural fatigue. J Oral Rehab 10: 137-51.
- Harrison, W. M., and Stansbury, B. E. (1970). The effect of joint surface contours on the transverse strength of repaired acrylic resin. J Prosthet Dent 23: 464-74.
- Johnston, E.P., Nichools, I. I., and Smith, D. E. (1981). Flexural fatigue of 10 commonly used denture base resins. J Prosthet Dent 46: 238-41.
- Kelly, E. (1967). Flexure fatigue resistance of heat-curing and cold-curing polymethyl methacrylate. JADA 74: 1273-6.
- Kelly, E. (1969). Fatigue failure in denture base polymers. J Prosthet Dent 21: 257-66.
- Leong, A., and Grant, A.A. (1971). The transverse strength of repair in polymethylmethacrylate. Aust Dent J 16: 232-4.
- Neill, D.J., Kydd, W.L., Nairn, R.I., and Wilson, J. (1989) Functional loading of the dentition during mastication. J Prosthet Dent 62: 218-28.
- Ng, E. T., Tan, L. H., Chew, B.S., and Thean, H. P. (2004) Shear bond strength of microwave-able acrylic resin for denture repair. J Oral Rehabil 31: 798-802.
- O' Brien, W. J. (1997). Dental Materials and their selection. Chicago. Quintessence Publishing.
- O' Brien, W. J. (2002). Dental Materials and their selection. 2<sup>nd</sup> ed. Quintessence Publishing.
- Peyton, F.A., Shiere, H.B., and Delgado, V.P. (1953). Some comparisons of self-curing and heat –curing denture resins. J Prosthet Dent 3(3): 332-38.
- Phoenix, R. D., Mansueto, M. A., Ackerman, N. A., and Jones, R. E. (2004). Evaluation of mechanical and thermal properties of commonly used denture base resin. J Prosthodont 13: 17-27.
- Powers, J. M., and Sakaguchi, R. L. (2006). Craig's restorative dental materials. 12<sup>th</sup> ed. St. Louis, Missouri: Mosby.

- Rached, R. N., and Del Bel Cury, A. A. (2001). Heat-cured acrylic resin repaired with microwave-cured one bond strength and surface texture. J Oral Rehabil 28: 370-75.
- Rached, R. N., Powers, J. M., and Del Bel Cury, A. A. (2004). Efficacy of conventional and experimental techniques for denture repair. J Oral Rehabil 31: 1130-138.
- Sarac, Y. S., Sarac, D., Kulunk, T., and Kulunk, S. (2005). The effect of chemical surface treatments of different denture base resins on the shear bond strength of denture repair. J Prosthet Dent 94: 259-66.
- Seo, R. S., Neppelenbroek, K. H., and Filho, J. N. (2007). Factors affecting the strength of denture repairs. J Prosthodont 16: 302-10.
- Shen, C., Colaizzi, F. A., and Birns, B. (1984). Strength of denture repairs as influenced by surface treatment. J Prosthet Dent 52: 844-48.
- Smith, D. C. (1961). Acrylic denture : mechanical evaluation ; midline fracture. Br Dent J 110: 257-67.
- Stanford, J.W., Burns, C.L., Paffenbarger, G.C. (1955). Self-curing resins for repairing dentures: Some physical properties. J Am Dent Assoc 51: 307-15.
- Tallgren, A. (1972). The continuing reduction of the residual alveolar ridges in complete denture wearers: A mixed longitudinal study covering 25 years. J Prosthet Dent 27: 120.
- The Glossary of Prosthodontic Terms (2005), 8<sup>th</sup> .
- Vallittu, P. K. (1996). Fracture surface characteristics of damaged acrylic-resin-based dentures as analysed by SEM – replica technique. J Oral Rehabil 23:524-29.
- Vallittu, P. K. (1997). Glass fiber reinforcement in repaired acrylic removable denture : Preliminary result of a clinic study. Quintessence Int 28: 39-44.
- Vallittu, P. K., Lassila, V.P., and Lappalainen, R. (1993). Evaluation of damage to removable denture in two cities of Finland. Acta Odontol Scand 51: 363-9.
- Vallitu, P. K., Lassila, V. P., and Lappalainen, R. (1994). Wetting the repair surface with methyl methacrylate affects the transverse strength of repaired heat-polymerized resin. J Prosthet Dent 72: 639-43.



- Vallitu, P. K., Lassila, V. P., and Lappalainen, R. (1996). The effect of notch shape and self-cured acrylic resin repair on the fatigue resistance of an acrylic resin denture base. J Oral Rehabil 23:108-113.
- Ward, I. E., Moon, P. C., Levine, R. A., and Behrendt, C. L. (1992). Effect of repair surface design , repair material , and processing method on the transverse strength of repaired acrylic resin. J Prosthet Dent 67: 815-20.
- William, D.Callister, Jr. (2003). Material science & engineering:An introduction. 5<sup>th</sup> ed. NewYork: John Wiley & Sons,Inc.
- Winkler, S. (1994). Essentials of complete denture prosthodontics. 2<sup>nd</sup> ed. St Louis: Ishiyaku EuroAmerica.
- Wiskott,H.W.A., Nicholls,J.I., and Belser, U.S. (1995). Stress Fatigue: Basic principles and Prosthodontic Implications. Int J Prosthodont. 8(2): 105-16.
- Zarb, G.A., Bolender C.L., Hickey I.C., and Carlsson G.E. (1990). Boucher's prosthodontic treatment for edentulous patient. 10<sup>th</sup> ed. St Louis: Mosby.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แสดงข้อมูลดิบค่าอายุความล้มของกลุ่มที่ไม่มีการซ่อมแซมขึ้นทดสอบ

ชั้นที่	ระดับแรงที่ 51.46 N (รอบ)	ระดับแรงที่ 48.75 N (รอบ)	ระดับแรงที่ 46.04 N (รอบ)	ระดับแรงที่ 43.34 N (รอบ)	ระดับแรงที่ 40.63 N (รอบ)	ระดับแรงที่ 37.92 N (รอบ)
1	1,958	4,763	10,041	80,219	177,848	1 ล้าน
2	1,819	4,336	11,108	46,923	160,971	1 ล้าน
3	4,200	5,880	13,726	17,087	226,423	1 ล้าน
4	2,240	6,134	34,439	49,702	299,624	1 ล้าน
5	1,405	5,511	14,425	51,067	380,522	1 ล้าน

แสดงข้อมูลดิบค่าอายุความล้มของกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน

สารเคมีที่ใช้ เตรียมพื้นผิว	ชั้นที่	ระดับแรง ที่ 43.34 N (รอบ)	ระดับแรง ที่ 40.63 N (รอบ)	ระดับแรง ที่ 37.92 N (รอบ)	ระดับแรง ที่ 35.21 N (รอบ)	ระดับแรง ที่ 32.50 N (รอบ)	ระดับแรง ที่ 29.79 N (รอบ)	ระดับแรง ที่ 27.09 N (รอบ)
Liquid of Meliodent	1	161	1,573	1,338	23,755	32,100	265,982	1 ล้าน
	2	845	921	1,299	17,601	70,910	234,202	1 ล้าน
	3	327	1,400	3,827	10,544	99,074	139,272	1 ล้าน
	4	45	798	2,463	16,080	123,686	557,135	1 ล้าน
	5	55	505	1,585	20,942	33,133	210,124	1 ล้าน
Rebase II	1	21	46	89	10,523	40,080	174,510	1 ล้าน
	2	61	38	217	17,359	24,992	511,095	1 ล้าน
	3	21	71	34	17,714	150,455	276,755	1 ล้าน
	4	61	142	428	7,025	114,362	155,481	1 ล้าน
	5	115	235	404	12,709	21,210	149,268	1 ล้าน

แสดงข้อมูลดิบค่าอายุความล่าช้าของกลุ่มที่ซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง

สารเคมีที่ใช้เตรียมพื้นผิว	ชั้นที่	ระดับแรงที่ 37.92 N (รอบ)	ระดับแรงที่ 32.50 N (รอบ)	ระดับแรงที่ 27.09 N (รอบ)	ระดับแรงที่ 21.67 N (รอบ)	ระดับแรงที่ 16.25 N (รอบ)
Liquid of Unifast	1	71	426	52,342	355,309	1 ล้าน
	2	3	147	11,418	248,536	1 ล้าน
	3	11	252	11,871	114,439	1 ล้าน
	4	4	404	60,233	316,333	1 ล้าน
	5	19	390	25,480	473,915	1 ล้าน
Rebase II	1	27	29	21,546	145,540	1 ล้าน
	2	18	264	10,467	355,490	1 ล้าน
	3	2	293	32,779	105,065	1 ล้าน
	4	6	15	34,842	342,535	1 ล้าน
	5	4	84	10,202	104,031	1 ล้าน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์สถิติเชิงอนุมานโดยการทดสอบไคสแควร์สำหรับระดับแรงที่ทำให้อายุความล้าของ  
กลุ่มทดสอบมีค่า 1 ล้านรอบ

### Chi-Square Tests

Count

		stress			Total
		37.92	27.09	16.25	
repair	No repair	5	0	0	5
	Auto (MMA)	0	0	5	5
	Auto (Rebase II)	0	0	5	5
	Heat (MMA)	0	5	0	5
	Heat (Rebase II)	0	5	0	5
Total		5	10	10	25

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)	Point Probability
Pearson Chi-Square	50.000 <sup>a</sup>	8	.000	.000		
Likelihood Ratio	52.746	8	.000	.000		
Fisher's Exact Test	35.423			.000		
Linear-by-Linear Association	.857 <sup>b</sup>	1	.355	.413	.206	.049
N of Valid Cases	25					

a 15 cells (100.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 1.00.

b The standardized statistic is .926.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์สถิติเชิงอนุมานโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มทดสอบด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูคี สำหรับอายุความล้มในการทดสอบที่ระดับแรง 37.92 นิวตัน ของกลุ่มทดสอบ ที่ความเชื่อถือ 95%

### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

Stress37.92N		cycle	
Unrepair	N	5	
	Normal Parameters(a,b)	Mean	1000000.00
		Std. Deviation	.000(c)
Heat(MMA)	N	5	
	Normal Parameters(a,b)	Mean	2102.40
		Std. Deviation	1072.583
	Most Extreme Differences	Absolute	.285
		Positive	.285
		Negative	-.227
	Kolmogorov-Smirnov Z	.638	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.811		
Heat(Rebasell)	N	5	
	Normal Parameters(a,b)	Mean	234.40
		Std. Deviation	178.780
	Most Extreme Differences	Absolute	.229
		Positive	.192
		Negative	-.229
	Kolmogorov-Smirnov Z	.511	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.956		
Auto(MMA)	N	5	
	Normal Parameters(a,b)	Mean	21.60
		Std. Deviation	28.351
	Most Extreme Differences	Absolute	.337
		Positive	.337
		Negative	-.256
	Kolmogorov-Smirnov Z	.753	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.623		
Auto(Rebasell)	N	5	
	Normal Parameters(a,b)	Mean	11.40
		Std. Deviation	10.714
	Most Extreme Differences	Absolute	.293
		Positive	.293
		Negative	-.190
	Kolmogorov-Smirnov Z	.655	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.784		

a Test distribution is Normal.

b Calculated from data.

c The distribution has no variance for this variable. One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test cannot be performed.

### Test of Homogeneity of Variances

cycle

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
11.205	4	20	.000

### ANOVA

cycle

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	399527716 2176.160	4	99881929054 4.040	4220426.0 90	.000
Within Groups	4733262.8 00	20	236663.140		
Total	399528189 5438.960	24			

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: cycle

Tukey HSD

(I) Stress 37.92N	(J) Stress37.92N	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Unrepair	Heat(MMA)	997897.600*	307.677	.000	996976.91	998818.29
	Heat(Rebasell)	999765.600*	307.677	.000	998844.91	1000686.29
	Auto(MMA)	999978.400*	307.677	.000	999057.71	1000899.09
	Auto(Rebasell)	999988.600*	307.677	.000	999067.91	1000909.29
Heat(MMA)	Unrepair	-997897.600*	307.677	.000	-998818.29	-996976.91
	Heat(Rebasell)	1868.000*	307.677	.000	947.31	2788.69
	Auto(MMA)	2080.800*	307.677	.000	1160.11	3001.49
	Auto(Rebasell)	2091.000*	307.677	.000	1170.31	3011.69
Heat (Rebasell)	Unrepair	-999765.600*	307.677	.000	-1000686.29	-998844.91
	Heat(MMA)	-1868.000*	307.677	.000	-2788.69	-947.31
	Auto(MMA)	212.800	307.677	.956	-707.89	1133.49
	Auto(Rebasell)	223.000	307.677	.948	-697.69	1143.69
Auto(MMA)	Unrepair	-999978.400*	307.677	.000	-1000899.09	-999057.71
	Heat(MMA)	-2080.800*	307.677	.000	-3001.49	-1160.11
	Heat(Rebasell)	-212.800	307.677	.956	-1133.49	707.89
	Auto(Rebasell)	10.200	307.677	1.000	-910.49	930.89
Auto (Rebasell)	Unrepair	-999988.600*	307.677	.000	-1000909.29	-999067.91
	Heat(MMA)	-2091.000*	307.677	.000	-3011.69	-1170.31
	Heat(Rebasell)	-223.000	307.677	.948	-1143.69	697.69
	Auto(MMA)	-10.200	307.677	1.000	-930.89	910.49

\* The mean difference is significant at the .05 level.

## กลุ่มที่มีการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน

โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ครู คัล-วัลลิส สำหรับอายุความล้ม ที่ความเชื่อถือ 95% ตามชนิดของสารเคมีที่ใช้เตรียมผิวหน้า

**Test Statistics<sup>a,b</sup>**

Heat		cycle
MMA	Chi-Square	27.514
	df	5
	Asymp. Sig.	.000
Rebase II	Chi-Square	25.832
	df	5
	Asymp. Sig.	.000

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Stress

MMA หมายถึง กลุ่มที่มีการเตรียมผิวหน้าด้วยส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน

Rebase II หมายถึง กลุ่มที่มีการเตรียมผิวหน้าด้วยสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอม

ผลิตภัณฑ์ Rebase II

### การเปรียบเทียบพหุคูณระหว่างกลุ่ม

$$\text{ค่าวิกฤติหาได้จากสูตร } Z_{\alpha, k(k-1)} \sqrt{\frac{N(N+1)}{12} \left[ \frac{1}{n_u} + \frac{1}{n_v} \right]}$$

$$Z_{\alpha, k(k-1)} = 2.935 \quad N = 30 \quad n_u = 5 \quad n_v = 5$$

### เปรียบเทียบภายในกลุ่ม MMA

เปรียบเทียบระดับแรง 43.34 N และ 40.63 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_1 - R_2| = |3.4 - 8.4| = 5 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 43.34 N และ 37.92 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_1 - R_3| = |3.4 - 12.2| = 8.8 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 43.34 N และ 35.21 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_1 - R_4| = |3.4 - 18| = 14.6 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 43.34 N และ 32.50 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34



$$|R_1 - R_5| = |3.4 - 23| = 19.6 > 16.34 \text{ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 43.34 N และ 29.79 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_1 - R_6| = |3.4 - 28| = 24.6 > 16.34 \text{ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 40.63 N และ 37.92 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_2 - R_3| = |8.4 - 12.2| = 3.8 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 40.63 N และ 35.21 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_2 - R_4| = |8.4 - 18| = 9.6 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 40.63 N และ 32.50 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_2 - R_5| = |8.4 - 23| = 14.6 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 40.63 N และ 29.79 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_2 - R_6| = |8.4 - 28| = 19.6 > 16.34 \text{ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 37.92 N และ 35.21 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_3 - R_4| = |12.2 - 18| = 5.8 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 37.92 N และ 32.50 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_3 - R_5| = |12.2 - 23| = 10.8 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 37.92 N และ 29.79 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_3 - R_6| = |12.2 - 28| = 15.8 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 35.21 N และ 32.50 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_4 - R_5| = |18 - 23| = 5 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 35.21 N และ 29.79 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_4 - R_6| = |18 - 28| = 10 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 32.50 N และ 29.79 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_5 - R_6| = |23 - 28| = 5 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

### เปรียบเทียบภายในกลุ่ม Rebase II

เปรียบเทียบระดับแรง 43.34 N และ 40.63 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_1 - R_2| = |5.2 - 8.2| = 3 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 43.34 N และ 37.92 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_1 - R_3| = |5.2 - 10.6| = 5.4 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 43.34 N และ 35.21 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_1 - R_4| = |5.2 - 18| = 12.8 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 43.34 N และ 32.50 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_1 - R_5| = |5.2 - 23.2| = 18 > 16.34 \text{ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 43.34 N และ 29.79 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_1 - R_6| = |5.2 - 27.8| = 24.6 > 22.6 \text{ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 40.63 N และ 37.92 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_2 - R_3| = |8.2 - 10.6| = 2.4 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 40.63 N และ 35.21 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_2 - R_4| = |8.2 - 18| = 9.8 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 40.63 N และ 32.50 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_2 - R_5| = |8.2 - 23.2| = 15 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 40.63 N และ 29.79 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_2 - R_6| = |8.2 - 27.8| = 19.6 > 16.34 \text{ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 37.92 N และ 35.21 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_3 - R_4| = |10.6 - 18| = 7.4 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 37.92 N และ 32.50 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_3 - R_5| = |10.6 - 23.2| = 12.6 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 37.92 N และ 29.79 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_3 - R_6| = |10.6 - 27.8| = 17.2 > 16.34 \text{ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 35.21 N และ 32.50 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_4 - R_5| = |18 - 23.2| = 5.2 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 35.21 N และ 29.79 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_4 - R_6| = |18 - 27.8| = 9.8 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 32.50 N และ 29.79 N : ค่าวิกฤติคือ 16.34

$$|R_5 - R_6| = |23.2 - 27.8| = 4.6 < 16.34 \text{ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

คู่ที่ขีดเส้นใต้หมายถึงคู่ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

## กลุ่มที่มีการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มด้วยความร้อน

จากการวิเคราะห์การทดสอบของแมน-วิทนี

### Test Statistics(b)

Stress		cycle
43.34	Mann-Whitney U	6.000
	Wilcoxon W	21.000
	Z	-1.366
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.172
	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.222 <sup>a</sup>
40.63	Mann-Whitney U	.000
	Wilcoxon W	15.000
	Z	-2.611
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.009
	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.008 <sup>a</sup>
37.92	Mann-Whitney U	.000
	Wilcoxon W	15.000
	Z	-2.611
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.009
	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.008 <sup>a</sup>
35.21	Mann-Whitney U	6.000
	Wilcoxon W	21.000
	Z	-1.358
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.175
	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.222 <sup>a</sup>
32.50	Mann-Whitney U	11.000
	Wilcoxon W	26.000
	Z	-.313
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.754
	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.841 <sup>a</sup>
29.79	Mann-Whitney U	11.000
	Wilcoxon W	26.000
	Z	-.313
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.754
	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.841 <sup>a</sup>

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: Heat

## กลุ่มที่มีการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง

โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ครู คัล-วัลลิส สำหรับอายุความล้ม ที่ความเชื่อถือ 95% ตามชนิดของสารเคมีที่ใช้เตรียมผิวหน้า

**Test Statistics<sup>a,b</sup>**

Auto		cycle
MMA	Chi-Square	17.857
	df	3
	Asymp. Sig.	.000
Rebase II	Chi-Square	17.331
	df	3
	Asymp. Sig.	.001

a Kruskal Wallis Test

b Grouping Variable: Stress

MMA หมายถึงกลุ่มที่มีการเตรียมผิวหน้าด้วยส่วนเหลวของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง

Rebase II หมายถึงกลุ่มที่มีการเตรียมผิวหน้าด้วยสารใช้ช่วยยึดติดของวัสดุเสริมฐานฟันปลอม

ผลิตภัณฑ์ Rebase II

### การเปรียบเทียบพหุคูณระหว่างกลุ่ม

$$\text{ค่าวิกฤติหาได้จากสูตร } Z_{\alpha,k(k-1)} \sqrt{\frac{N(N+1)}{12} \left[ \frac{1}{n_u} + \frac{1}{n_v} \right]}$$

$$Z_{\alpha,k(k-1)} = 2.638 \quad N = 30 \quad n_u = 5 \quad n_v = 5$$

### เปรียบเทียบภายในกลุ่ม MMA

เปรียบเทียบระดับแรง 37.92 N และ 32.50 N : ค่าวิกฤติคือ 9.87

$$|R_1 - R_2| = |3 - 8| = 5 < 9.87 \quad \text{ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 37.92 N และ 27.09 N : ค่าวิกฤติคือ 9.87

$$|R_1 - R_3| = |3 - 13| = 10 > 9.87 \quad \text{แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 37.92 N และ 21.67 N : ค่าวิกฤติคือ 9.87

$$|R_1 - R_4| = |3 - 18| = 15 > 9.87 \quad \text{แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 32.50 N และ 27.09 N : ค่าวิกฤติคือ 9.87

$$|R_2 - R_3| = |8 - 13| = 5 < 9.87 \quad \text{ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 32.50 N และ 21.67 N : ค่าวิกฤติคือ 9.87

$$|R_2 - R_4| = |8 - 18| = 10 > 9.87 \quad \text{แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 27.09 N และ 21.67 N : ค่าวิกฤติคือ 9.87

$$|R_3 - R_4| = |13 - 18| = 5 < 9.87 \quad \text{ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

### เปรียบเทียบภายในกลุ่ม Rebase II

เปรียบเทียบระดับแรง 37.92 N และ 32.50 N : ค่าวิกฤติคือ 9.87

$$|R_1 - R_2| = |3.4 - 7.6| = 4.2 < 9.87 \quad \text{ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 37.92 N และ 27.09 N : ค่าวิกฤติคือ 9.87

$$|R_1 - R_3| = |3.4 - 13| = 9.6 < 9.87 \quad \text{ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 37.92 N และ 21.67 N : ค่าวิกฤติคือ 9.87

$$|R_1 - R_4| = |3.4 - 18| = 14.6 > 9.87 \quad \text{แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 32.50 N และ 27.09 N : ค่าวิกฤติคือ 9.87

$$|R_2 - R_3| = |7.6 - 13| = 5.4 < 9.87 \quad \text{ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 32.50 N และ 21.67 N : ค่าวิกฤติคือ 9.87

$$|R_2 - R_4| = |7.6 - 18| = 10.4 > 9.87 \quad \text{แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

เปรียบเทียบระดับแรง 27.09 N และ 21.67 N : ค่าวิกฤติคือ 9.87

$$|R_3 - R_4| = |13 - 18| = 5 < 9.87 \quad \text{ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ}$$

คู่ที่ขีดเส้นใต้หมายถึงคู่ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สุราษฎร์ธานี  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## กลุ่มที่มีการซ่อมแซมด้วยอะคริลิกเรซินชนิดบ่มได้เอง

จากการวิเคราะห์การทดสอบของแมน-วิทนี

**Test Statistics(b)**

Stress		cycle
37.92	Mann-Whitney U	10.500
	Wilcoxon W	25.500
	Z	-.419
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.675
	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.690 <sup>a</sup>
32.50	Mann-Whitney U	4.000
	Wilcoxon W	19.000
	Z	-1.776
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.076
	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.095 <sup>a</sup>
27.09	Mann-Whitney U	8.000
	Wilcoxon W	23.000
	Z	-.940
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.347
	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.421 <sup>a</sup>
21.67	Mann-Whitney U	8.000
	Wilcoxon W	23.000
	Z	-.940
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.347
	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.421 <sup>a</sup>

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: Auto

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว วิภาภรณ์ ไชคชัยวรกุล เกิดวันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ศึกษาระดับอุดมศึกษาที่คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2539 และจบการศึกษาทันตแพทยศาสตรบัณฑิต ในปี พ.ศ. 2545

หลังจากจบการศึกษา ได้เข้ารับราชการในตำแหน่งทันตแพทย์ ที่โรงพยาบาลอรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว ในปี พ.ศ. 2545-2547 ต่อมาในปี พ.ศ. 2547 ได้ย้ายมารับราชการที่โรงพยาบาลบางเลน จังหวัดนครปฐม เป็นระยะเวลา 1 ปี ปัจจุบันได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญา สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ที่คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย