

ผลของลักษณะและความแข็งของยางวงแหวนที่มีต่อแรงในการยึดอยู่



นางสาว ปริยา คิตดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF DIFFERENT TYPES AND HARDNESS OF O-RING ATTACHMENT ON  
RETENTIVE FORCE

Miss Pariya Kiddee



ศูนย์วิทยุทันตวิทยา  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Prosthodontics

Faculty of Dentistry

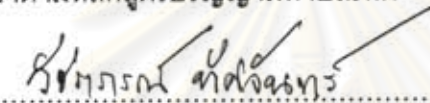
Chulalongkorn University

Academic Year 2010


Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของลักษณะและความแข็งของยางวงแหวนที่มีต่อแรงในการยึดอยู่  
โดย นางสาว ปรียา คิตติ  
สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

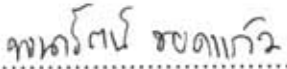
  
..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง วัชรภรณ์ ทศจันทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. อรพันธ์ แก้วปลั่ง)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. นิยม ธำรงค์อนันต์สกุล)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. พนารัตน์ ชอดแก้ว)

ปริยา คิตติ : ผลของลักษณะและความแข็งของยางวงแหวนที่มีต่อแรงในการยึดอยู่ (EFFECT OF DIFFERENT TYPES AND HARDNESS OF O-RING ATTACHMENT ON RETENTIVE FORCE.) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ทพ. ดร. ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล, 67 หน้า.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปทรงที่เหมาะสมของยางวงแหวน โดยทดสอบหาแรงในการยึดอยู่และแรงดึงของยางวงแหวน เตรียมรากเทียมลงในบล็อกเพื่อทดสอบ โดยใช้ระบบรากฟันเทียมของระบบฟันยิ้ม รูปทรงต่างๆ(รูปทรงกลมด้านในกลม รูปกระบอกด้านในหกเหลี่ยม รูปทรงกลมด้านในหกเหลี่ยม รูปทรงกระบอกด้านในกลม) และยางวงแหวนความแข็งผิว 50 60 และ 70 ชอร์เอ โดยมีระบบรากฟันเทียมออสเทม เป็นกลุ่มสำหรับการเปรียบเทียบ (กลุ่มละ 10 ชิ้นงาน) นำยางวงแหวนมาเร่งอายุการใช้งานโดยใส่เข้าและถอดออก จำนวน 1,440 2,880 และ 4,320 รอบ ด้วยความเร็ว 120 มิลลิเมตรต่อนาที ใช้เครื่องดึงอเนกประสงค์วัดแรงในการยึดอยู่และแรงดึง ใช้สถิติแบบพาราเมตริกซ์ชนิดวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยเทอกีและอินดิเพนเดนท์ ที่ทดสอบวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ผลการศึกษาพบว่าแรงยึดอยู่ของยางวงแหวนมีค่าลดลงเมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุการใช้งาน ยกเว้นยางวงแหวนความแข็งผิว 70 ชอร์เอรูปทรงกลมด้านในหกเหลี่ยม และรูปทรงกระบอกด้านในหกเหลี่ยม ที่มีค่าแรงในการยึดอยู่เพิ่มขึ้นและมีค่าสูงกว่ากลุ่มของระบบออสเทม ผลแรงดึงของยางวงแหวนทุกกลุ่มมีค่าลดลง สรุปได้ว่าทั้งรูปทรงและความแข็งผิวต่างก็มีผลต่อแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวน

## ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ทันตกรรมประดิษฐ์  
สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์  
ปีการศึกษา 2553

ลายมือชื่อนิสิต..... น.ส. ปริยา คิตติ  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

## 5176118532: MAJOR PROSTHODONTICS

KEYWORDS : RETENTIVE FORCE/O-RING ATTACHMENT/ACCELERATE AGING.

PARIYA KIDDEE : EFFECT OF DIFFERENT TYPES AND HARDNESS OF  
O- RING ATTACHMENT ON RETENTIVE FORCE. THESIS ADVISOR :  
ASSOCPROF.PIYAWAT PANKOSOL, 67 pp.

This in vitro study was to determine suitable designs of O-ring for a ball attachment by using retentive and tensile forces and to consider correlation of these forces. The implant and O-ring block was prepared for retention testing. Osstem ball/O-ring system was used for comparison as a control and Fun Yim ball/ O-ring system was used as an experiment by varying O-ring designs (TR-Torus with inner round shape, CH-Cylindrical column with inner hexagonal shape, TH- Torus with Inner hexagonal shape, and CR-Cylindrical column with inner round shape) and materials (50, 60 and 70 shore A silicone). O-ring was aged by repeating up and down motion on the ball head for 1,440, 2,880 and 4,320 cycles. The retentive force of O-ring and tensile force was measured using Universal Testing Machine with cross head speed at 120 mm/min (n=10). The data was analyzed statistically using Two-way ANOVA, Turkey ( $\alpha=0.05$ ) and Independent T-test. Result: The retentive forces decreased after accelerated aging except Fun Yim 70 CH and TH. The retentive forces of Fun Yim 70 CH and TH was higher than Osstem significantly. The tensile force of all group decreased after accelerated aging Conclusion: proper shape and hardness of silicone affect the retentive force.

Department : Prosthodontics  
Field of Study : Prosthodontics  
Academic Year : 2010

Student's Signature Pariya Kiddee  
Advisor's Signature [Signature]

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย และทำให้ขั้นตอนในการดำเนินงานต่างๆ มีความราบรื่นและมีประสิทธิภาพ และขอขอบพระคุณอาจารย์ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่ได้ให้ความรู้และคำปรึกษาทางด้านสถิติในการวิจัย

ขอขอบพระคุณมูลนิธิทันตนวัตกรรมในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือทดสอบของงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์และบัณฑิตวิทยาลัย คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำ ในการแก้ไขให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา พี่น้อง และเพื่อนทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน และเป็นกำลังใจสำคัญตลอดเวลา ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาการจนสามารถสร้างสรรควิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้ผู้เขียนสามารถทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี นอกจากนี้ยังมีบุคคลอีกมากมายซึ่งมิได้กล่าวถึง ข้าพเจ้าจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
คำถามการวิจัย.....	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
สมมติฐานการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
กรอบแนวคิดของการวิจัย.....	3
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	3
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	4
คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
ข้อดีโดยรวมของการรักษาผู้ป่วยด้วยฟันเทียมคร่อมรากฟันเทียม.....	6
ตำแหน่งและจำนวนรากเทียม.....	7
การจำแนกชนิดของฟันเทียมทับรากเทียม.....	7
ชนิดของตัวยึดของฟันเทียมถอดได้.....	8

ระบบยางวงแหวน (O-ring attachment).....	12
ความล้มเหลวของยางวงแหวนรูปตัวโอ (Failure of O-rings).....	12
ลักษณะของยางวงแหวนที่เกิดความเสียหาย.....	13
รูปทรงของยางวงแหวน.....	14
วัสดุที่ผลิตยางวงแหวน (O-ring material).....	14
สมบัติโดยทั่วไปของยางซิลิโคน.....	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	18
ประชากร.....	18
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	19
วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	20
การทดสอบหาค่าแรงในการยึดของยางวงแหวน.....	24
การทดสอบหาค่าแรงดึงของยางวงแหวน.....	27
การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล.....	28
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	29
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	33
อภิปรายวัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	33
อภิปรายผลการทดลอง.....	35
สรุปผลการวิจัย.....	42
ข้อเสนอแนะ.....	42
รายการอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก.....	48
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	67



## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่	1 แสดงผลการศึกษเปรียบเทียบระหว่างการใช้ฟันเทียมที่บรากเทียมกับการใช้ฟันเทียมแบบธรรมดา.....	6
ตารางที่	2 แสดงยางวงแหวนที่ผลิตจากยางซิลิโคนที่มีรูปทรง 4 แบบมีความแข็งผิว 3 ค่า	18
ตารางที่	3 แสดงผลค่าแรงในการยึดอยู่เริ่มต้นและหลังผ่านการดัดยางขึ้นและลงของยางวงแหวนที่ความแข็งผิวและรูปทรงต่างๆ.....	28
ตารางที่	4 แสดงผลการค่าแรงดัดยางวงแหวนก่อนและหลังจากดัดยางขึ้นและลง.....	32
ตารางที่	5 แสดงการสึกของยางวงแหวนที่พบตามระยะเวลาการเร่งอายุยางวงแหวน....	36

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของรากเทียมแบบห้วกลมและระบบยางวงแหวนที่ใช้ในฟัน เทียม.....	8
ภาพที่ 2 แสดงลักษณะรูปร่างของบาร์และแม่เหล็ก.....	10
ภาพที่ 3 แสดงลักษณะห้วกลม.....	10
ภาพที่ 4 แสดงลักษณะรากเทียมระบบฟันยิ้ม.....	11
ภาพที่ 5 แสดงลักษณะยางวงแหวนระบบฟันยิ้ม.....	11
ภาพที่ 6 แสดงภาพลักษณะยางวงแหวนที่ถูกเบียด.....	13
ภาพที่ 7 แสดงลักษณะยางวงแหวนมันตัว.....	13
ภาพที่ 8 แสดงลักษณะยางวงแหวนรูปตัวโอ.....	14
ภาพที่ 9 แสดงลักษณะยางวงแหวนรูปทรงสี่เหลี่ยม.....	14
ภาพที่ 10 รากเทียมและยางวงแหวนระบบออสเทม.....	19
ภาพที่ 11 เครื่องเร่งอายุยางวงแหวน.....	20
ภาพที่ 12 แม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปยางวงแหวน.....	21
ภาพที่ 13 บล็อกพีวีซีที่ใส่อะคริลิก.....	22
ภาพที่ 14 บล็อกพีวีซีที่ฝังรากเทียมระบบฟันยิ้ม.....	22
ภาพที่ 15 ชิ้นงานยางวงแหวนและชิ้นงานรากเทียม.....	23
ภาพที่ 16 แสดงภาพวาดของชิ้นงาน.....	23
ภาพที่ 17 แสดงลักษณะหัวจับเฉพาะชิ้นงานขณะใส่ในเครื่องวัดลloyd.....	25
ภาพที่ 18 แสดงลักษณะการดึงชิ้นงานขึ้นเพื่อวัดค่าแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวน.....	25
ภาพที่ 19 แสดงลักษณะหัวจับเฉพาะชิ้นงานขณะใส่ในเครื่องเร่งอายุการใช้งาน.....	26
ภาพที่ 20 แสดงหัวจับเฉพาะชิ้นงานในเครื่องเร่งอายุยางวงแหวนในน้ำลายเทียม.....	26
ภาพที่ 21 แสดงหัวจับเฉพาะชิ้นงานที่เครื่องวัดลloyd เพื่อวัดแรงดึงของยางวงแหวน.....	27
ภาพที่ 22 แผนภูมิแสดงผลการทดสอบยางวงแหวนระบบฟันยิ้มความแข็งแรง 50 ซอร์รูปทรงต่างๆที่ผ่านกระบวนการดึงยางขึ้นและลงในแต่ละรอบ.....	30
ภาพที่ 23 แผนภูมิแสดงผลการทดสอบยางวงแหวนระบบฟันยิ้มความแข็งแรง 60 ซอร์รูปทรงต่างๆที่ผ่านกระบวนการดึงยางขึ้นและลงในแต่ละรอบ.....	30

ภาพที่	24	แผนภูมิแสดงผลการทดสอบยางวงแหวนระบบพีนี่ยมความแข็งผิว 70 ซอร์เอรูปทรงต่างๆที่ผ่านกระบวนการดิงยางขึ้นและลงในแต่ละรอบ.....	31
ภาพที่	25	แผนภูมิแสดงผลการทดสอบยางวงแหวนระบบออสเทมที่ผ่านกระบวนการดิงยางขึ้นและลงในแต่ละรอบ.....	31
ภาพที่	26	แผนภูมิแสดงผลแรงดิงยางวงแหวน 50 60 และ 70 ซอร์เอ ระบบพีนี่ยม และระบบออสเทมในรูปทรงต่างกันทั้งก่อนและหลังดิงยางขึ้นลง	32
ภาพที่	27	รากเทียมระบบพีนี่ยม และรากเทียมระบบออสเทม.....	33
ภาพที่	28	แสดงระยะที่สามารถกำหนดได้ของเครื่องเร่งอายุยางวงแหวน.....	34
ภาพที่	29	การลึกลงของยางวงแหวนรูปทรงกลมด้านในกลมความแข็งผิว 50 ซอร์เอ.....	37
ภาพที่	30	การลึกลงของยางวงแหวนรูปทรงกลมด้านในกลมความแข็งผิว 60 ซอร์เอ.....	37
ภาพที่	31	การลึกลงของยางวงแหวนรูปทรงกลมด้านในกลมความแข็งผิว 70 ซอร์เอ.....	37
ภาพที่	32	รูปทรงกลมด้านในกลม และรูปทรงกระบอกด้านในกลม.....	38
ภาพที่	33	รูปทรงกลมด้านในหกเหลี่ยม และรูปทรงกระบอกด้านในหกเหลี่ยม.....	38
ภาพที่	34	แสดงลักษณะการขาดของยางวงแหวนเส้นผ่าศูนย์กลางวงในหกเหลี่ยม....	42

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการใช้รากฟันเทียมเป็นการรักษาที่มีความนิยมมาก จึงมีการนำรากฟันเทียมมาใช้ร่วมกับการทำฟันเทียม ทั้งในผู้ป่วยไร้ฟันบางส่วน ไร้ฟันทั้งปาก หรือไร้ฟันในขากรรไกรใดขากรรไกรหนึ่ง แต่รากเทียมยังมีราคาแพงจึงไม่สามารถนำไปใช้กับประชากรโดยทั่วไปได้

กระทรวงสาธารณสุขได้เห็นความสำคัญของการใช้รากฟันเทียม จึงได้จัดทำโครงการรณรงค์เพื่อส่งเสริมและฟื้นฟูสภาพช่องปากผู้สูงอายุโดยได้เริ่มต้นโครงการตั้งแต่ปีพ.ศ. 2548 ภายใต้โครงการ “รากฟันเทียมเฉลิมพระเกียรติ” โดยใช้รากฟันเทียมที่ผลิตในประเทศไทยและมีชื่อพระราชทานว่า “ฟันยิ้ม” รากเทียมฟันยิ้มใช้ตัวยึดชนิดยางวงแหวน ซึ่งจากการทดลองใช้พบว่ามีปัญหาการฉีกขาดง่ายของยางวงแหวน สวมใส่ไม่พอดี การยึดติดไม่สม่ำเสมอและอาจหลวมจนต้องเปลี่ยนยางวงแหวนทุก 6-8 เดือน

การใช้รากฟันเทียมเป็นการเสริมทั้งการรองรับและการยึดติดของฟันเทียม อย่างไรก็ตามด้วยข้อจำกัดหลายๆ ประการทำให้ไม่สามารถทดแทนจำนวนรากฟันให้เท่ากับจำนวนรากที่สูญเสียไปทั้งหมดได้ โดยจำนวนรากเทียมที่น้อยที่สุด สำหรับการบูรณะอย่างมีประสิทธิภาพคือ การใช้รากเทียมจำนวน 2 ราก ผังในบริเวณฟันเขี้ยวของขากรรไกรล่าง

โดยรากเทียมจะมีส่วนหัวที่ยื่นขึ้นมาเหนือเหงือกซึ่งจะมีระบบที่ใช้ยึดระหว่างส่วนหัวของรากเทียมกับฟันเทียมได้หลายระบบ การใช้ตัวยึดชนิดยางวงแหวน (O-ring attachment) นั้นเป็นตัวยึดที่ใช้งานง่าย ราคาถูก และให้การยึดอยู่กับฟันเทียมได้เป็นอย่างดี แต่มีข้อด้อยคือการสึกของยางวงแหวน ทำให้สูญเสียประสิทธิภาพการยึดอยู่ลดลงตามเวลา โดยส่วนใหญ่ยางวงแหวนมักทำมาจากยางซิลิโคน (silicone rubber) ซึ่งยางซิลิโคนที่ผลิตในปัจจุบันมีหลายชนิด หลายความแข็งแรง

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งที่ต้องการทราบแนวทางพัฒนาคุณสมบัติของยางวงระบบฟันยิ้ม โดยต้องการออกแบบให้มีรูปทรงและเลือกใช้ยางซิลิโคนที่มีความแข็งแรงที่เหมาะสม ที่จะทำให้ง่ายวงแหวนใช้งานได้นานขึ้นโดยที่สามารถให้แรงในการยึดอยู่ที่เพียงพอ โดยเทียบเคียงกับระบบรากฟันเทียมที่นิยมใช้ในท้องตลาดคือ ระบบออสเทม

### คำถามของการวิจัย

1. รูปทรงยางวงแหวนสำหรับฟันยิ้มรูปทรงใดที่ให้แรงในการยึดอยู่เทียบเคียงได้กับออสเทม
2. ความแข็งแรงของยางวงแหวนสำหรับฟันยิ้มควรเป็นเท่าไรจึงให้แรงในการยึดอยู่เทียบเคียงได้กับระบบออสเทม

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการยึดอยู่ของยางวงแหวนรูปทรงต่างๆที่ผลิตขึ้นสำหรับฟันยิ้มเมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุ
2. เพื่อศึกษาการยึดอยู่ของยางวงแหวนเมื่อผลิตจากซิลิโคนที่มีความแข็งแรงต่างๆเมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุ
3. เพื่อศึกษารูปทรงและความแข็งแรงที่เหมาะสมสำหรับยางวงแหวนระบบฟันยิ้ม

### สมมติฐานการวิจัย

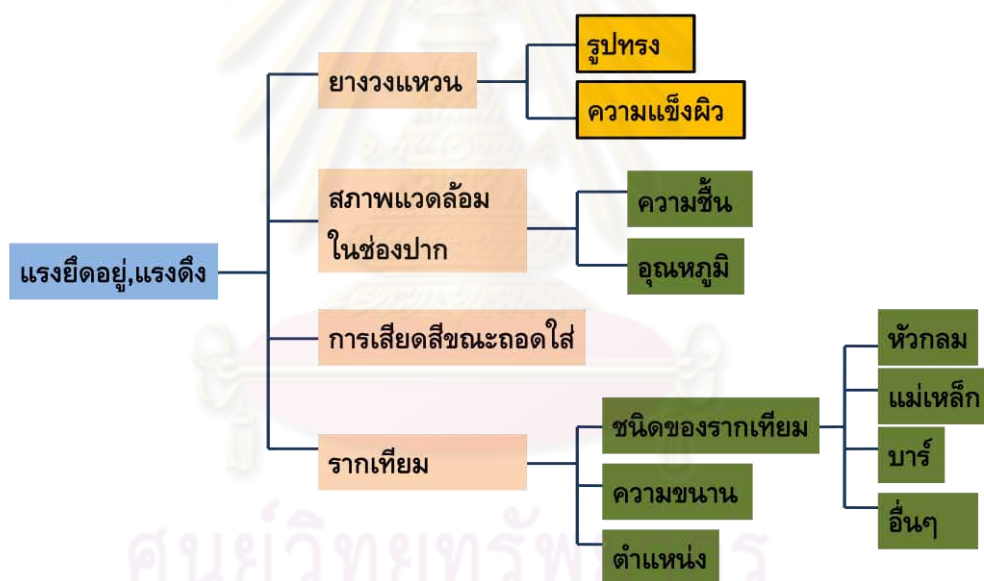
1. สมมติฐานว่าง : แรงในการยึดอยู่ที่เกิดจากยางวงแหวนที่ผลิตเพื่อการทดลองและ ยางวงแหวนระบบผู้ผลิตไม่แตกต่างกัน  
สมมติฐานแย้ง : แรงในการยึดอยู่ที่เกิดจากยางวงแหวนที่ผลิตเพื่อการทดลองและ ยางวงแหวนระบบผู้ผลิตแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่
2. สมมติฐานว่าง : แรงในการยึดอยู่จากยางวงแหวนรูปทรงต่างๆไม่แตกต่างกัน  
สมมติฐานแย้ง: แรงในการยึดอยู่จากยางวงแหวนรูปทรงต่างๆแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่
3. สมมติฐานว่าง : แรงในการยึดอยู่ที่เกิดจากความแข็งแรงของยางขนาดต่างๆไม่แตกต่างกัน  
สมมติฐานแย้ง:แรงในการยึดอยู่ที่เกิดจากความแข็งแรงของยางขนาดต่างๆแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่
4. สมมติฐานว่าง:แรงในการยึดอยู่ที่เกิดจากยางวงแหวนรูปทรงต่างๆและความแข็งแรงของยางขนาดต่างๆไม่แตกต่างกัน  
สมมติฐานแย้ง:แรงในการยึดอยู่ที่เกิดจากยางวงแหวนรูปทรงต่างๆและความแข็งแรงของยางขนาดต่างๆแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

5. สมมติฐานว่าง : แรงดึงก่อนและหลังการทดลองของยางวงแหวนไม่แตกต่างกัน  
สมมติฐานแย้ง : แรงดึงก่อนและหลังการทดลองของยางวงแหวนแตกต่างกัน  
อย่างน้อย 1 คู่

### ขอบเขตของการวิจัย

รูปแบบการวิจัยเป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) เพื่อหารูปทรงและความแข็งแรงที่เหมาะสมสำหรับผลิตยางวงแหวน เพื่อใช้ยึดระหว่างฟันเทียมถอดได้กับส่วนหัวกลมของรากเทียมระบบฟันยืม

### กรอบแนวคิดการวิจัย



### ข้อตกลงเบื้องต้น

1. การออกแบบรูปทรงของยางวงแหวนกำหนดให้พอดีกับส่วนหัวกลมของรากเทียมระบบฟันยืม
2. ยางวงแหวนมีแรงในการยึดอยู่อย่างน้อย 5 นิวตัน
3. ยางที่นำมาใช้ผลิตเป็นยางซิลิโคน
4. ดำเนินการวิจัยโดยผู้ทำการวิจัย 1 คน ทั้งการดำเนินงาน การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล

### ข้อจำกัดของการวิจัย

1. การวิจัยนี้เป็นการทดลองแบบนอกร่างกายซึ่งได้พยายามจำลองสภาพในช่องปาก แต่ยังคงมีความแตกต่างอยู่บ้างเช่น ลักษณะการบดเคี้ยวในช่องปาก ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเป็นผลที่ได้จากการกำหนดสภาพแวดล้อมบางประการเท่านั้น จึงไม่สามารถนำมาอ้างอิงกับสภาพการใช้งานจริงได้อย่างสมบูรณ์ทุกกรณีไป
2. หัวกลมของระบบออสเทมกับระบบฟันยี่มีลักษณะที่แตกต่างกัน ผลที่ได้จึงเป็นไปตามความแตกต่างที่เนื่องมาจากลักษณะหัวกลมด้วย ไม่ใช่เพียงอย่างเดียว

### คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1. Implant retained overdenture - ฟันเทียมรองรับรากเทียม
2. Retentive force - แรงในการยึดอยู่
3. Tensile force - แรงดึง
4. Attachment - ตัวยึด
5. O-ring - ยางวงแหวน

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบว่าสำหรับฟันยี่สมควรใช้ยางวงแหวนที่มีรูปทรงอย่างไรและความแข็งผิวเท่าไรจึงจะมีประสิทธิภาพการยึดอยู่เทียบเคียงหรือยาวนานกว่าระบบอื่น
2. เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาองค์ความรู้ในด้านต่าง ๆ เช่นการศึกษาในผู้ป่วยจริง และการประเมินคุณภาพของยางวงแหวนในขณะใช้งานโดย ทันตแพทย์ผู้ใช้งานและผู้ป่วยในอนาคต

### วิธีดำเนินการวิจัย

วิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (Experimental research)

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันประเทศไทยมีแนวโน้มประชากรผู้สูงอายุเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปัญหาสุขภาพที่สำคัญประการหนึ่งในผู้สูงอายุ คือปัญหาฟันผุและฟันหลุดร่วงจากพยาธิสภาพต่างๆ ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยการใส่ฟันเทียม ทั้งนี้จากผลสำรวจสุขภาพะทันตสุขภาพคนไทยในปีพ.ศ.2543-2544 พบว่าผู้สูงอายุที่มีความจำเป็นต้องใส่ฟันเทียมร้อยละ 71 ของผู้สูงอายุทั่วประเทศ แต่มีผู้สูงอายุที่ได้รับการใส่ฟันเทียมแล้วเพียงร้อยละ 18 เท่านั้น [1] การใส่ฟันเทียมที่มีประสิทธิภาพช่วยในเรื่องระบบย่อยอาหารและป้องกันปัญหาสุขภาพอื่นๆที่จะตามมา ทำให้ผู้ป่วยมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น [2]

ฟันเทียมทั้งปากจะวางอยู่บนเนื้อเยื่อรองรับซึ่งจะมีลักษณะและคุณภาพในการรองรับฟันเทียมที่แตกต่างกัน โดยเนื้อเยื่อที่รองรับได้ฐานฟันเทียมนั้นมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาเนื่องจากการละลายตัวของสันกระดูกขากรรไกรไปจนตลอดชีวิตผู้ป่วย โดยปกติพบว่าหลังจากการถอนฟันแล้วจะมีการละลายตัวของกระดูกอย่างรวดเร็วในระยะเวลา 6 เดือนแรก และหลังจาก 3 ปี พบว่าไม่ค่อยพบการเปลี่ยนแปลงของกระดูกในขากรรไกรบน แต่สำหรับขากรรไกรล่างยังคงมีการละลายตัวของกระดูกอย่างต่อเนื่องโดยเฉลี่ย 0.4 มิลลิเมตรต่อปี [3] เมื่อมีการติดตามผลในระยะยาวคือในระยะเวลา 25 ปี หลังถอนฟันพบว่าค่าเฉลี่ยของการละลายตัวของสันกระดูกในขากรรไกรบนมีค่าเฉลี่ย 2.5 ถึง 3 มิลลิเมตร เมื่อเทียบกับขากรรไกรล่างซึ่งพบมีการละลายตัวของสันกระดูกเฉลี่ย 9 ถึง 10 มิลลิเมตร [4] ดังจะเห็นได้ว่าสันกระดูกในขากรรไกรล่างมีการละลายตัวมากกว่าขากรรไกรบน เป็นผลทำให้การใส่ฟันเทียมทั้งปากล่างมักพบปัญหาได้มากกว่า เนื่องจากเมื่อมีการละลายตัวของสันกระดูก จะส่งผลให้มีการยุบตัวของเนื้อเยื่อ ทำให้ฟันเทียมไม่แนบกับสันเหงือก เกิดการยับยั้งใช้งาน ทำให้ฟันเทียมมีเสถียรภาพ (stability) ลดลง มีการยึดอยู่ (retention) และการรองรับที่ไม่เพียงพอ (support) [5]

ต่อมาได้มีการนำแนวคิดฟันเทียมทับรากมาใช้ โดยการที่เหลือฟันหรือรากฟันไว้ช่วยรองรับฟันเทียมซึ่งช่วยลดการละลายตัวของกระดูกบริเวณรอบรากฟันนั้น [6,7] อีกทั้งยังช่วยให้การยึดอยู่และการรองรับแก่ฟันเทียมอีกด้วย [8] แต่ฟันหรือรากฟันที่เก็บมักต้องรักษารากฟันก่อนซึ่งจะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายให้แก่ผู้ป่วย จากการศึกษาในระยะยาวพบว่าฟันหรือรากฟันที่เก็บไว้หาก



ไม่ได้รับการดูแลรักษาอย่างดีมักเกิดฟันผุและเกิดโรคเหงือกขึ้นได้ จนทำให้ต้องสูญเสียฟันหรือรากฟันไปในที่สุด [9]

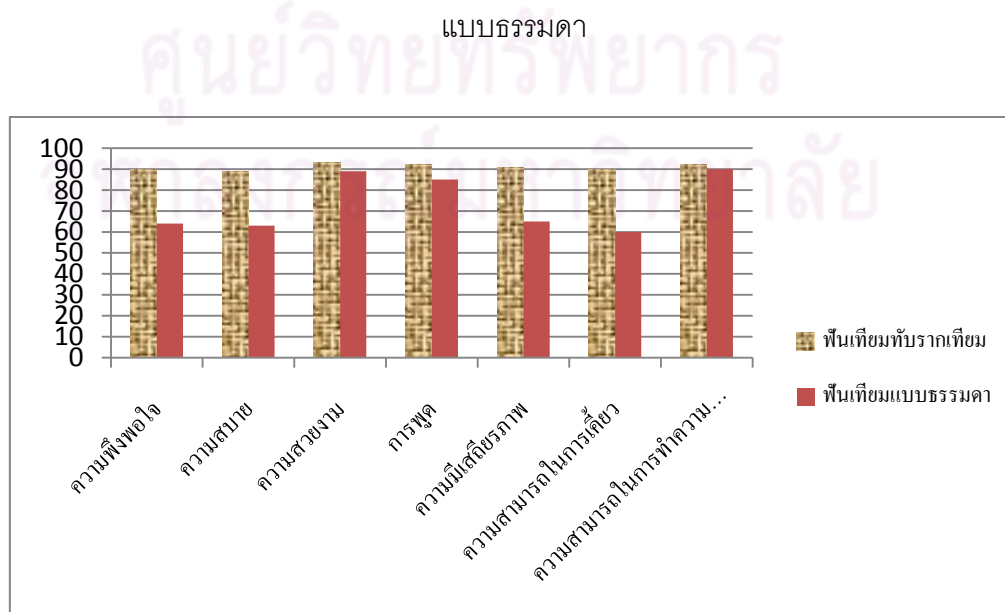
เมื่อมีการพัฒนารากเทียมขึ้นและพบว่าสามารถยึดติดกับกระดูกได้ดี จึงนำมาใช้เป็นตัวยึดฟันเทียมเพื่อเพิ่มการยึดอยู่ [10,11] จากการติดตามผลทางคลินิกเป็นระยะเวลา 15 ปี พบว่า รากเทียมที่รองรับฟันเทียมสามารถใช้งานได้ไม่หลุด ได้ถึงร้อยละ 96.14 [12]

ข้อดีโดยรวมของการรักษาผู้ป่วยด้วยฟันเทียมคร่อมรากฟันเทียมคือ [13]

1. ลดการละลายตัวของกระดูกขากรรไกรในบริเวณที่ฝังรากเทียม เนื่องจากมีการกระจายแรงบดเคี้ยวลงสู่กระดูกขากรรไกรโดยตรง
2. เพิ่มการยึดอยู่และเสถียรภาพของฟันเทียม
3. เพิ่มประสิทธิภาพในการบดเคี้ยวได้สูง
4. ผู้ป่วยสามารถทำความสะอาดได้ง่ายไม่ยุ่งยาก

มีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการใส่ฟันเทียมแบบธรรมดากับการใส่ฟันเทียมทับรากเทียม ซึ่งผู้ป่วยที่ใส่ฟันเทียมทับรากเทียมจะได้รับความพึงพอใจจากผู้ป่วยมากกว่า ทั้งในแง่ความสบายขณะใส่ฟันเทียม ความมีเสถียรภาพ ความสามารถในการเคี้ยวอาหาร การพูด การทำความสะอาด และความสวยงาม ดังแสดงในตารางที่ 1 [14]

ตารางที่ 1 แสดงผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการใส่ฟันเทียมทับรากเทียมกับการใส่ฟันเทียม



## ตำแหน่งและจำนวนรากเทียม

การฝังรากเทียมเพื่อรองรับฟันเทียมถอดได้ทั้งปากประสบความสำเร็จถึงร้อยละ 97 โดยมี ปัญหาแทรกซ้อนจากเทคนิคและขั้นตอนที่ซับซ้อนในการทำฟันเทียม โดยสิ่งที่สำคัญคือตำแหน่งที่ ฝังรากเทียมที่สัมพันธ์กับการเรียงฟัน การฝังรากเทียมในบริเวณสันเหงือกหน้าล่าง ควรเลือก ตำแหน่งที่มีสันเหงือกกว้าง เป็นเส้นตรงเพื่อจะได้ฝังรากเทียมให้ขนานกันได้ โดยตำแหน่งที่นิยมฝัง รากเทียมคือบริเวณฟันเขี้ยว ซึ่งเป็นผลมาจากประสบการณ์ทางคลินิกเพราะฟันเขี้ยวส่วนมากเป็น ฟันที่สุดท้ายที่คงเหลืออยู่ในปาก [15] จึงเป็นฟันธรรมชาติที่ใช้เป็นฟันหลักสำหรับยึดฟันเทียม ถอดได้ อย่างไรก็ตามเราควรพิจารณาอย่างอื่นประกอบด้วยเช่นรูปร่างของสันเหงือก ปริมาณ กระดูกที่เหลือ ว่าเหมาะสมในการฝังรากเทียมหรือไม่

สำหรับจำนวนการฝังรากเทียมเพื่อรองรับฟันเทียมนั้นฝังได้ตั้งแต่ 2-4 ตัว ระยะห่าง ระหว่างรากเทียม 2 ตัว คือระยะเฉลี่ยระหว่างฟันเขี้ยวคือ 22 มิลลิเมตร ซึ่งมีการศึกษาเกี่ยวกับ อิทธิพลของระยะระหว่างรากเทียม หลังจากผ่านการตั้งหลายครั้งว่าจะมีผลต่อการยึดอยู่หรือไม่ โดยระยะระหว่างรากเทียมที่นำมาเปรียบเทียบคือ 19 23 29 มิลลิเมตร พบว่ามีความแตกต่าง อย่างไม่มีนัยสำคัญ [16]

การจำแนกชนิดของฟันเทียมทับรากเทียม (overdenture classification) มี 3 ชนิด

**ชนิดที่ 1** ฟันเทียมทับรากเทียม 2 ตัว ฝังรากเทียม 2 ตัวในตำแหน่งฟันเขี้ยวซ้ายและ ขวา ลักษณะของการรองรับฟันเทียมทับรากเทียมชนิดนี้เป็นการรองรับด้วยเยื่อเมือก

**ชนิดที่ 2** ฟันเทียมทับรากเทียม 2 ถึง 4 ตัว รากเทียม 2 ถึง 4 ตัวเชื่อมติดกันด้วยบาร์ (bar) ลักษณะการรองรับที่ได้จะมาจาก การรองรับด้วยเนื้อเยื่ออ่อนร่วมกับรากเทียม โดยส่วนบาร์ มีหน้าที่ให้ทั้งการรองรับและสร้างเสถียรภาพช่วยถ่ายทอด และเฉลี่ยแรงที่เกิดขึ้นได้ดีกว่าราก เทียมที่ไม่ได้เชื่อมติดกัน

**ชนิดที่ 3** ฟันเทียมทับรากเทียม 4-6 ตัว ลักษณะการ ทำงานเหมือนฟันเทียมติดแน่นบน รากเทียม รากเทียม เชื่อมติดกันด้วยบาร์หรือโครงโลหะ ฟันเทียมชนิดนี้มักใช้กับผู้ป่วยมีสันเหงือก แผลมบาง ฟันคู่สบเป็นฟันธรรมชาติ ชนิดที่ 2 และชนิดที่ 3 มีขั้นตอนการทำคล้ายกรรมยุ่งยาก ค่าใช้จ่ายสูง

ดังนั้นจากการประชุมร่วมกันของแมกกีว (McGill) จึงมีการสรุปว่าแผนการรักษาสำหรับผู้ป่วยที่มีปัญหาในการใส่ฟันเทียมล่างคือการฝังรากเทียมจำนวน 2 ตัว ในตำแหน่งฟันเขี้ยว [10,12,17] เป็นจำนวนน้อยสุดที่เพียงพอในการรองรับฟันเทียมในขากรรไกรล่าง [17]

### ส่วนประกอบของรากเทียมที่รองรับฟันเทียมดังภาพที่ 1

1. ตัวรากเทียม
2. ส่วนที่เป็นแกนหลักซึ่งจะมีรูปร่างอย่างไรขึ้นอยู่กับระบบที่เลือกใช้
3. ส่วนที่อยู่ในฟันเทียมซึ่งขึ้นกับแต่ละระบบ



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของรากเทียมแบบหัวกลมและระบบยางวงแหวนที่ใช้ในฟันเทียม

### ชนิดของตัวยึดของฟันเทียมถอดได้

ตัวยึดทุกรูปแบบสามารถให้การยึดอยู่ได้ดี อีกทั้งการใช้จำพวกตัวยึดติดช่วยเพิ่มการยึดอยู่ การมีเสถียรภาพของฟันเทียมในช่องปากได้ โดยพบว่าในขณะที่เคี้ยวอาหารเหนียว ฟันเทียมที่เป็นอะคริลิกเรซิน ควรทนแรงดึงที่เกิดขึ้นประมาณ 15-20 นิวตันให้ได้ และสำหรับอาหารธรรมดาที่ใช้แรงประมาณ 10 นิวตัน ดังนั้นตัวยึดติดควรทนแรงดึงได้ประมาณ 10-20 นิวตันต่อตัว จึงเพียงพอที่จะยึดฟันเทียมให้อยู่กับที่ได้ และพบว่าแรงที่ใช้ในการถอนฟันออกจากเบ้าฟันใน ฟันเขี้ยวและฟันกรามน้อยล่างได้นั้นโดยเฉลี่ยประมาณ 340-240 นิวตัน ดังนั้นมีแรงที่ใช้ประมาณ 10-20 นิวตัน จึงไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อปริทันต์โดยรอบ [18] ในขณะที่ถอดเข้าออกของฟันเทียมได้ สำหรับการใส่ตัวยึดนั้นเราควรพิจารณาถึงทิศทางการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นได้ด้วย ลักษณะการเคลื่อนที่นั้นเกิดขึ้นได้ใน 6 ทิศทางดังนี้ เคลื่อนที่ไปทางด้านบนเคี้ยว ลงไปด้านหลังออก ด้านใกล้ริมฝีปาก ด้านใกล้ลิ้น ด้านใกล้กลางและด้านไกลกลาง ซึ่งฟันเทียมจะเคลื่อนไปในทิศทางใดนั้นขึ้นกับที่เราเลือกใช้ตัวยึดในแบบไหน และเลือกที่จะฝังรากเทียมกี่ตัว [19]

ตัวยึดระหว่างรากเทียมกับฟันเทียมมีได้หลายแบบสามารถแบ่งออกเป็นระบบใหญ่ๆได้ ดังนี้ [20] ระบบที่ตัวยึดเชื่อมกัน (basic splint) เช่นบาร์ และระบบตัวยึดไม่เชื่อมกัน (not splint) เช่นแม่เหล็ก (Magnet) และหัวกลม (ball)

### บาร์ (Bar attachment)

บาร์มีรูปร่างได้หลายแบบ เป็นแบบกลม รูปไข่ หรือหลายเหลี่ยมก็ได้ นิยมใช้ตัวยึดเป็นแบบคลิป โดยสามารถเป็นตัวยึดแบบแข็ง ติดแน่น และนึ้มได้ สำหรับบาร์ควรมีระยะห่างในแนวตั้งประมาณ 12 – 16 มิลลิเมตร เพราะหากความสูงไม่เพียงพออาจส่งผลกระทบต่อความสวยงาม หรือทำให้อะคริลิกแตกหักได้ นอกจากนี้ผู้ป่วยที่ใช้บาร์มักพบปัญหาหลักเกี่ยวกับการทำความสะอาด เนื่องจากช่องว่างระหว่างบาร์และเนื้อเยื่อเหงือกแคบจึงยากในการทำความสะอาดบริเวณรอบฟันหลัก ดังนั้นควรมีการฝึกฝนทักษะในการทำความสะอาดร่วมด้วย

พบว่าระบบโนเบลไบโอแคร์ (Nobel Biocare) ที่ใช้บาร์รุ่นคลิปไทเทเนียมนั้นสามารถใช้งานได้ยาวนาน มีการซ่อมฟันเทียมหรือเสริมฐาน ต่ำกว่าแบบหัวกลม [22] ซึ่งแตกต่างจากระบบของแอสตราเทค (Astra Tech) พบว่าต้องมีการซ่อมหรือเสริมฐานใต้ฟันเทียมของกลุ่มที่ใช้บาร์มากกว่ากลุ่มของหัวกลม [23]

### แม่เหล็ก (Magnet attachment)

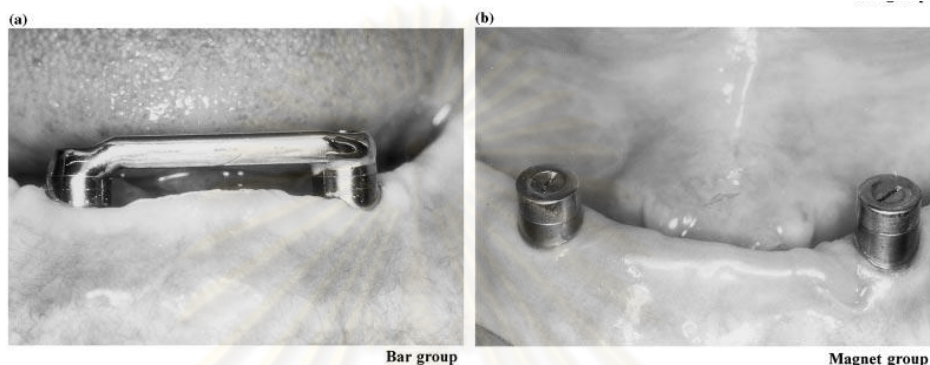
การใช้แม่เหล็กร่วมกับการใช้รากเทียมเริ่มตั้งแต่ในปี 1977 ซึ่งพบว่ามีข้อดีโดยช่วยให้ส่งผ่านแรงได้อย่างคงที่ ช่วยเพิ่มการยึดอยู่ของฟันเทียม ช่วยจำกัดการเคลื่อนที่ของฟันเทียมจากแรงทางด้านข้างได้ โดยการที่จะทำให้ฟันเทียมเคลื่อนที่ได้ต้องมีแรงทางด้านข้างมากกว่าแรงยึดประมาณ 10 เท่า ข้อเสียคือ มีการสึกกร่อน (corrosion) ซึ่งจะทำให้การยึดอยู่ลดลง [21]

### หัวกลม (Ball attachment)

พบว่าหัวกลมเป็นที่นิยมนำมาใช้ยึดกับรากเทียมที่รองรับฟันเทียม มีส่วนประกอบเป็นสองส่วนใหญ่ๆคือ ส่วนที่อยู่ในฟันเทียมและส่วนที่อยู่ภายในปาก สำหรับการทำให้ฟันเทียมแบบที่มีตัวยึดนั้น ส่วนตัวผู้ (Male part) จะยึดติดอยู่กับตัวรากเทียม สำหรับตัวเมีย (female part) นั้นจะยึดอยู่กับที่ฟันเทียม ซึ่งควรออกแบบให้ป้องกันการสึกและสามารถเปลี่ยนตัวเมียใหม่ได้อย่างสะดวก ส่งผล

ทำให้สามารถนั่งทำข้างเก้าอี้ได้ โดยสามารถยึดได้กับอะคลิลิกเรซินแบบแข็งตัวได้เองและไม่ใช้เวลานานจนเกินไป

จากการศึกษาเปรียบเทียบการใช้ตัวยึดที่แตกต่างกันดังนี้คือ บารด์ังภาพที่ 2 ซ้าย แม่เหล็กดังภาพที่ 2 ขวา และหัวกลมดังภาพที่ 3 [24]



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะของบาร์ (ซ้าย) แสดงลักษณะของแม่เหล็ก (ขวา)



ภาพที่ 3 แสดงลักษณะหัวกลม

กลุ่มที่ใช้บาร์ให้แรงในการยึดอยู่สูงสุด และแม่เหล็กให้แรงในการยึดอยู่ต่ำสุด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบ ภายหลังจาก 5 ปี ทุกกลุ่มแรงในการยึดอยู่ลดต่ำลง แต่กลุ่มที่แรงลดลงน้อยที่สุดคือ หัวกลม พบว่ากลุ่มแม่เหล็กมีคราบเศษอาหารเกาะมากกว่ากลุ่มหัวกลม อีกทั้งพบว่าการยึดระหว่างส่วนหัวรากเทียมไม่มีอิทธิพลที่ทำให้เกิดการอักเสบของเนื้อเยื่อโดยรอบรากเทียม [24]

นอกจากนี้มีการประเมินในเรื่องการทำให้กระดูกรอบรากเทียมละลาย หรือทำลายเนื้อเยื่อรอบรากเทียมไม่มีความแตกต่างทั้งในกลุ่มบาร์และหัวกลม แต่สำหรับกลุ่มที่ใช้บาร์ต้องใช้เทคนิคการทำงานที่ซับซ้อนกว่าและต้องซ่อมแซมฟันเทียมที่รองรับรากเทียมมากกว่ากลุ่มที่ใช้หัวกลม

อีกทั้งยังพบว่าการดูแลรักษามีผลต่อกลุ่มที่ใช้แม่เหล็กและหัวกลม สำหรับกลุ่มที่ใช้หัวกลมสาเหตุใหญ่เกี่ยวกับรูปร่างของหัวกลมและวัสดุที่ใช้ [20]

ในการเลือกใช้ตัวยึดติดกับรากเทียมในแต่ละชนิดนั้นมีปัจจัยให้เลือกได้แตกต่างกัน ใน การที่เราจะเลือกชนิดไหนนั้นขึ้นกับหลายปัจจัย อย่างแรกคือตัวของผู้ป่วยเช่น ความต้องการ ข้อจำกัดทางโครงสร้างต่างๆ นอกจากนี้เราต้องดูความสามารถในการทำงานและไม่ทำลาย เนื้อเยื่อโดยรอบอีกด้วย

ปัจจุบันกระทรวงสาธารณสุขมีโครงการรณรงค์เพื่อส่งเสริมและฟื้นฟูสุขภาพช่องปาก ผู้สูงอายุ จึงได้มีโครงการฟันเทียมพระราชทาน ดำเนินการตั้งแต่ปีพ.ศ. 2548 โดยมีเป้าหมาย ทำฟันเทียมให้ผู้สูงอายุจำนวน 80,000 ราย จากผู้สูงอายุจำนวน 300,000 ราย ต่อมาเป็นโครงการ รากฟันเทียมเฉลิมพระเกียรติ ภายใต้โครงการ “รากฟันเทียมพระราชทาน” โดยมีเป้าหมาย ให้ ระยะเวลา 3 ปี เริ่มตั้งแต่ปีพ.ศ. 2550 – 2552 ผู้สูงอายุและผู้ด้อยโอกาส จำนวน 10,000 ราย ราย ละ 2 ราก จะได้รับบริการฝังรากเทียมที่มีคุณภาพเพื่อส่งผลต่อมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นของผู้สูงอายุ รากฟันเทียมที่ใช้ในโครงการรากฟันเทียมเฉลิมพระเกียรติเป็นรากฟันเทียมที่ออกแบบและผลิตเอง ภายในประเทศ โดยรากเทียมฟันยึดแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ 1. ส่วนตัวรากเทียมฝังอยู่ในกระดูก และเหงือก 2. ส่วนหัวกลมมีลักษณะพิเศษ คือเป็นรูปโดมดั่งภาพที่ 4 และคอคอเป็นทกเหลี่ยมเป็นส่วนบนที่อยู่เหนือเหงือก 3. ส่วนยางวงแหวนมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมเส้นรอบวงในกลมอยู่ในอะคริลิกของฟันเทียมซึ่งยึดกับรากเทียมในส่วนคอดังภาพที่ 5



ภาพที่ 4 แสดงลักษณะรากเทียมระบบฟันยึด



ภาพที่ 5 แสดงลักษณะยางวงแหวนระบบฟันยึด

จากการทดลองใช้มาประมาณ 2 ปี พบว่ายางวงมีปัญหาการฉีกขาดง่าย สวมใส่ไม่พอดี การยึดติดไม่สม่ำเสมอและอาจหลวมจนต้องเปลี่ยนยางทุก 6-8 เดือน [25]

### ระบบยางวงแหวน (O-ring attachment)

ยางวงแหวน (O-ring) เป็นตัวยึดติดกับหัวกลมสำหรับรากเทียมชนิดหนึ่ง มีหน้าที่ช่วยให้ฟันเทียมถอดได้บางส่วนและฟันเทียมถอดได้ทั้งปากยึดติดกับรากเทียมได้ดียิ่งขึ้น โดยทั่วไปมักเกิดแรงกดที่ตัวรากเทียม โดยเฉพาะในกลุ่มที่มีเหงือกเป็นตัวรองรับแรงร่วมด้วย และอาจมีการถ่ายทอดแรงลงมาถึงตัวรากเทียมและตัวชิ้นงานฟันเทียมได้ สำหรับแบบหัวกลมนิยมใช้ยางวงแหวนรูปตัวโอเป็นตัวยางยึดกับส่วนของรากเทียมบริเวณส่วนคอดของส่วนหัวหรือส่วนคอดของรากเทียม ซึ่งส่วนหัวและส่วนคอดของรากเทียมมีหลายแบบและหลายขนาด การใช้ยางวงแหวนมีข้อดีดังนี้คือ มีรูปร่างที่เรียบง่าย ให้การยึดอยู่ที่ดี ใช้งานและดูแลรักษาได้ง่าย ราคาถูก และมีแรงในการยึดอยู่ให้เลือกหลายขนาด [26]

### ความล้มเหลวของยางวงแหวน (Failure of O-rings) [26,27]

ความล้มเหลวที่เกิดกับยางวงแหวนเกิดได้จากหลายปัจจัย ทั้งจากแรงความเค้นที่สะสมที่ตัวยาง และจากสภาพแวดล้อมโดยรอบเช่น การเสียดสีของยาง ความร้อน และการบวม ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจทำให้ยางวงแหวนมีการเปลี่ยนแปลงขนาดได้

การฝังรากเทียมก็มีผลต่อความล้มเหลวกับยางวงแหวนได้เช่นเดียวกัน การฝังรากเทียมควรมีความขนานกันเพราะหากไม่ขนานจะมีผลขัดขวางต่อการถอดใส่ของยางวงแหวนที่อยู่ในฟันเทียมได้ เป็นผลทำให้ไม่สามารถใส่ยางลงไปให้ถูกตำแหน่ง ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวและเสียหายกับยางวงแหวนได้

นอกจากนี้การถอดใส่ยางวงแหวนบ่อย ๆ ทำให้การยึดอยู่ลดลงได้เช่นเดียวกัน ยางวงแหวนส่วนใหญ่มีอายุการใช้งานได้ประมาณ 6-9 เดือน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของฟันเทียมอีกด้วย

## ลักษณะของยางวงแหวนที่เกิดความเสียหาย [28]

### 1.ยางวงแหวนถูกเบียด (extrusion) ดังภาพที่ 6

1.1 **ลักษณะความเสียหาย** ยางวงแหวนมีรอยขาดฉีกตรงขอบและมุม โดยทั่วไปจะพบรอยในด้านที่มีแรงดันต่ำกว่า

1.2 **สาเหตุ** ความแข็งของวัสดุยางวงแหวนไม่เพียงพอเนื่องจากแรงดันที่สูง ช่องว่างระหว่างชิ้นงานมากเกินไปหรือไม่สม่ำเสมอ ช่องว่างร่องของชิ้นงานใหญ่เกินไป มุมของร่องมีความคมหรือขนาดของยางวงแหวนไม่เหมาะสมกับชิ้นงาน

1.3 **ข้อแนะนำ** ออกแบบช่องว่างระหว่างชิ้นงาน และร่องของชิ้นงาน ให้ถูกต้อง ลดช่องว่างให้น้อยลง เลือกใช้ความแข็งของวัสดุให้ถูกต้อง



ภาพที่ 6 แสดงลักษณะยางวงแหวนที่ถูกเบียด

### 2.ยางวงแหวนเกิดการม้วนตัว (spiral failure) ดังภาพที่ 7

1.1 **ลักษณะความเสียหาย** ยางวงแหวนจะมีการม้วนตัวและทำให้เกิดรอยเสียหายขึ้น

1.2 **สาเหตุ** การหล่อลื่นเพื่อประกอบเข้าชิ้นงานไม่เพียงพอ การประกอบเข้าชิ้นงานแน่นเกินไป วัสดุความแข็งของยางวงแหวนไม่เพียงพอ ความเรียบของผิวยางวงแหวนไม่ดีพอ ร่องของชิ้นงานกว้างเกินไป ร่องของชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ หรือมีผิวหยาบเกินควร

1.3 **ข้อแนะนำ** ระมัดระวังการออกแบบร่องของชิ้นงานนั้นให้ถูกต้อง หล่อลื่นให้เพียงพอระหว่างการประกอบ เลือกยางวงแหวนที่มีความแข็งมากขึ้น



ภาพที่ 7 แสดงลักษณะยางวงแหวนม้วนตัว



จากความล้มเหลวที่เกิดขึ้นจึงได้นำไปสู่การพัฒนารูปทรงและคุณสมบัติในการใช้ผลิตยางวงแหวน ให้ดียิ่งขึ้นสามารถใช้งานได้ยาวนานยิ่งขึ้น ยางวงแหวนนิยมทำมาจากยางสังเคราะห์สามารถต้านทานแรงโดยการยืดและสามารถหดกลับเข้าสู่รูปร่างเดิมได้เพื่อให้ยางวงแหวนสามารถผ่านเข้าไปยึดกับรอยคอดของส่วนหัวบริเวณคอดของรากเทียมได้โดยส่วนใหญ่รูปร่างของยางวงแหวนจะมีลักษณะเป็นรูปตัวโอ

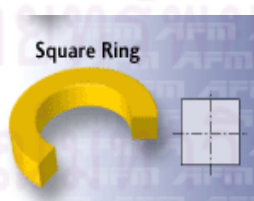
### รูปทรงของยางวงแหวน [29]

1.ยางวงแหวนรูปตัวโอ (O-ring) ดังภาพที่ 8 เป็นลักษณะของวงแหวนที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ออกแบบให้เข้ากับชิ้นงานได้ง่าย ทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปได้ง่ายและราคาถูก



ภาพที่ 8 แสดงลักษณะยางวงแหวนรูปตัวโอ

2.ยางวงแหวนรูปสี่เหลี่ยม (Square ring) ดังภาพที่ 9 สามารถขึ้นรูปได้ง่ายกว่ายางวงแหวนรูปตัวโอ การหดตัวจากเบ้าต่ำ ทนสภาวะที่ต้องรับแรงดันสูง ๆ ได้ดีกว่ายางวงแหวนรูปตัวโอ สามารถควบคุมรูปร่าง พื้นผิวให้เรียบกลื่นได้ดี ไหลออกจากร่องยากกว่ายางวงแหวนรูปตัวโอแต่มีพื้นที่สัมผัสเกิดการเสียดสีมากกว่า



ภาพที่ 9 แสดงลักษณะยางวงแหวนรูปทรงสี่เหลี่ยม

### วัสดุที่ผลิตยางวงแหวน (O-ring material)

องค์กรอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาได้จัดยางวงแหวนเป็นผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ วัสดุยืดหยุ่นที่สามารถนำมาผลิตยางวงแหวนได้มีดังนี้ 1. ยางธรรมชาติ 2. ฟลูออโรคาร์บอน 3. เอทิลีนโพรพิลีนไดอีน 4. ยางซิลิโคน

**1.ยางธรรมชาติ** ในอดีตนำมาใช้ผลิตยางวงแหวนได้เนื่องจากยางธรรมชาติมีความทนต่อแรงดึงสูงมาก แต่ก็มีข้อด้อยคือไม่ทนความร้อน ไม่ทนต่อสภาพอากาศ และทำให้เกิดการแพ้โปรตีนของยางได้

**2.ยางฟลูออโรคาร์บอน (Fluorocarbon Rubber, FPM)** เป็นยางโคโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณสูง เป็นยางที่ทนต่อความร้อน โอโซน สารเคมีและเปลวไฟสูงเป็นพิเศษ แต่การใช้งานของยางค่อนข้างจำกัดเนื่องจากยางชนิดนี้มีราคาสูงมาก

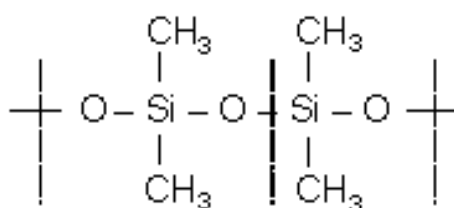
**3.เอทิลีนโพรพิลีนไดอีน (Ethylene Propylene Diene)** เป็นยางที่ทนทานต่อความร้อน แสงแดด ออกซิเจน และโอโซนได้เป็นอย่างดี มักนิยมใช้ผสมกับพลาสติกเพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการของพลาสติก เช่นเพิ่มความเหนียวและความต้านทานต่อแรงกระแทก

**4.ยางซิลิโคน** นิยมนำมาใช้ผลิตยางวงแหวนในทางทันตกรรม มีคุณสมบัติที่ดีเช่นมีความแข็งแรง (strength) คงทน และวิธีการขึ้นรูปไม่ซับซ้อน นอกจากนี้สมบัติต่างๆที่กล่าวมาแล้ว ยางซิลิโคนยังไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ และมีความเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยา ฉะนั้นจึงสามารถนำไปใช้กับงานที่สัมผัสกับอาหารได้ตามข้อกำหนดขององค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA) หรือทำเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์เพื่อฝังเข้าไปในร่างกายมนุษย์ได้ และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

**สมบัติโดยทั่วไปของยางซิลิโคน [30-33]**

### 1.โครงสร้าง การแบ่งเกรด

ยางซิลิโคนเป็นอิลาสโตเมอร์อินทรีย์สังเคราะห์ แกนสายโซ่หลักของซิลิโคนจะประกอบไปด้วยอะตอมของซิลิกอน(Si) และ ออกซิเจน(o) โดยมีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นโพลีไซลอกเซน (Polysiloxane) มีมุมพันธะ ความยาวพันธะ และพลังงานพันธะสูงกว่าโพลิเมอร์ชนิดอื่นๆ ปัจจัยเหล่านี้ทำให้โมเลกุลของโพลีไซลอกเซนอยู่ห่างกันและสามารถเคลื่อนไหวได้ง่าย อีกทั้งการเปลี่ยนรูปร่างของโมเลกุลที่เกิดจากการหมุนรอบพันธะเดี่ยวก็ทำได้ง่ายกว่า จึงส่งผลให้ยางซิลิโคนมีความยืดหยุ่นสูง ยางซิลิโคนมีหลายชนิดแตกต่างกันที่หมู่ R ที่เกาะอยู่บนสายโซ่หลัก



โดยตัวพื้นฐานจะเป็นพอลิเมอร์ของไดเมทิลไซลอกเซน แต่ถ้าแทนหมู่ R บางส่วนด้วยหมู่อื่นๆ ยางจะมีสมบัติเปลี่ยนไป

- VMQ ถ้าหมู่ R เป็นหมู่ไวนิล ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ )  
ช่วยทำให้ยางมีอัตราเร็วในการคงรูปสูงขึ้น และทำให้ยางมีคุณสมบัติความยืดหยุ่นสูงขึ้น
- PMQ ถ้าหมู่ R เป็นหมู่ฟีนิล ( $\text{C}_6\text{H}_5$ )
- PVMQ ถ้าหมู่ R เป็นหมู่ฟีนิล หมู่ไวนิล และหมู่เมทิล  
ทำให้โมเลกุลยางเคลื่อนไหวได้ง่ายขึ้น คุณสมบัติของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วต่ำลง  
ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการหักงอที่อุณหภูมิต่ำของยาง ทำให้ยางทนทานต่อรังสีที่มีพลังงานสูงได้ดียิ่งขึ้น
- FMQ ถ้าหมู่ R เป็นหมู่ไตรฟลูออโรโพรพิล ( $\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CF}_3$ )
- FVMQ ถ้าหมู่ R เป็นหมู่ไตรฟลูออโรโพรพิล หมู่ไวนิล และหมู่เมทิล  
ยางเกรดนี้จะทนต่อน้ำมัน น้ำมันเชื้อเพลิง และตัวทำละลายอื่นๆ ได้ดีเยี่ยมทนต่อความร้อนต่ำกว่ายางซิลิโคนธรรมดาเล็กน้อย

## 2. สมบัติเชิงกล

มีความทนต่อแรงดึงต่ำ ต้านทานต่อแรงขีดถู ต้านทานต่อแรงกระแทกต่ำมาก ส่วนใหญ่จะมีความแข็งผิวอยู่ในช่วง 30-80 ชอร์เอ

## 3. ความทนต่อการเสื่อมสภาพ

เนื่องจากพันธะ Si-O มีพลังงานพันธะ 373 กิโลจูลต่อโมล ซึ่งมากกว่าพลังงานพันธะของ C-C 343 กิโลจูลต่อโมล และยางซิลิโคนก็ไม่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล ดังนั้นจึงทนต่อสภาพอากาศ ออกซิเจน โอโซน แสงแดด ความร้อน ได้ดีกว่ายางที่เป็นพวกไฮโดรคาร์บอน อย่างไรก็ตามหากยางได้รับอนุมูลอิสระภายใต้สภาวะที่ไร้ออกซิเจนปฏิกิริยาที่เสื่อมสลายอันเนื่องมาจากความชื้นก็จะเกิดขึ้นได้มากกว่าทำให้ยางเสื่อมสภาพได้เร็วกว่าภายใต้สภาวะดังกล่าว

#### 4. ความทนทานต่อการเสื่อมสภาพของรังสี

ยางทนต่อความเสื่อมรังสีค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับยางชนิดอื่น กล่าวคือเมื่อสัมผัสกับรังสีที่มีพลังงานสูง 10 Mrad จะมีการสูญเสียการยืดตัว ณ จุดขาดเพียงร้อยละ 25 ยาง PVMQ มีความทนต่อการเสื่อมรังสีมากกว่ายางซิลิโคนชนิดอื่น

#### 5. ความเป็นฉนวน

มีค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องต่ำมาก รักษาสมบัติดังกล่าวได้สูงถึง 180 องศาเซลเซียส

#### 6. ความทนทานต่อแบคทีเรีย เชื้อรา มีความทนทานได้ดี

#### 7. สมบัติทางพื้นผิว

มีพื้นผิวที่ลื่น ไม่ชอบน้ำ ยางชนิดนี้จึงไม่เกาะติดกับพื้นผิวที่เหนียวรวมถึงน้ำแข็งด้วย อย่างไรก็ตามยางซิลิโคนเกาะติดกับแก้วถ้าเวลาที่สัมผัสนานพอ เนื่องจากยางซิลิโคนมีโครงสร้างทางเคมีคล้ายแก้ว

#### 8. อุณหภูมิของการใช้งาน

โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง -100 – 205 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของยาง

#### 9. สรุปการเลือกใช้ยางซิลิโคนที่หมู่เติมเป็นไวนิล

1. สามารถทนต่อต่อไอโซน และทนต่อน้ำมันได้สูง จัดอยู่ในกลุ่มที่ทนได้ดีเยี่ยม
2. ค่าความแข็ง ณ อุณหภูมิห้อง 30-80
3. ค่าความทนต่อแรงดึง ณ อุณหภูมิห้อง 4-9 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร
4. ค่าความยืดตัว ณ จุดขาดของยางร้อยละ 100-400

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวนสำหรับระบบฟันยืมและระบบออสเทม โดยได้ออกแบบรูปทรงของยางวงแหวนในรูปร่างต่างๆ และใช้วัสดุ 3 ค่าความแข็งผิว เพื่อให้ได้ยางวงแหวนที่เหมาะสมสำหรับยางวงแหวนระบบฟันยืม ซึ่งการศึกษานี้ประกอบด้วย 2 ตอน โดยตอนที่ 1 เป็นการทดสอบแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวนขณะเริ่มต้นและเมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุการใช้งานที่เทียบเคียงได้กับ 1 2 และ 3 ปี ตามลำดับ ส่วนการศึกษาในตอนที่ 2 เป็นการทดสอบแรงดึงของยางวงแหวนจนยางขาดเปรียบเทียบกันระหว่างแรงดึงของยางวงแหวนเริ่มต้นกับแรงดึงของยางวงแหวนเมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุครบ 3 ปี




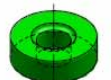
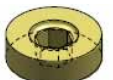
#### ประชากร

ยางวงแหวนของระบบฟันยืม แบ่งเป็น 12 กลุ่ม และยางวงแหวนระบบออสเทม แบ่งเป็น 1 กลุ่ม

**กลุ่มตัวอย่าง**

1. ยางวงแหวนที่ผลิตจากยางซิลิโคนที่มีรูปทรง 4 แบบ มีความแข็งผิว 3 ค่า

**ตารางที่ 2** แสดงยางวงแหวนที่ผลิตจากยางซิลิโคนที่มีรูปทรง 4 แบบ มีความแข็งผิว 3 ค่า

รูปทรงยางวงแหวน	ความแข็งผิวยางซิลิโคน	รูปทรงยางวงแหวน	ความแข็งผิวยางซิลิโคน	รากเทียมระบบฟันยืม
รูปทรงกลมด้านในกลม (TR-Torus with inner round shape) 	50	รูปทรงกลมด้านในหกเหลี่ยม (TH-Torus with Inner hexagonal shape) 	50	
	60		60	
	70		70	
รูปทรงกระบอกด้านในกลม (CR-Cylindrical column with inner round shape) 	50	รูปทรงกระบอกด้านในหกเหลี่ยม (CH-Cylindrical column with inner hexagonal shape) 	50	
	60		60	
	70		70	

## 2. ยางวงแหวนซิลิโคนระบบออสเทมรูปทรงกลมด้านในกลมดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 รากเทียมระบบออสเทม (ซ้าย) ยางวงแหวนระบบออสเทม (ขวา)

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

#### 1. อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องกรอความเร็วต่ำ (micro-motor รุ่น Marathon-3, Marathon, Korea)
2. เครื่องสำรวจความขนาน (surveyor Ney, USA)
3. เครื่องควบคุมอุณหภูมิน้ำ (water bath, Memmert, Germany)
4. วงเวียน
5. เครื่องเร่งอายุการใช้งาน (Nextech Co., Ltd; กรุงเทพฯ; ประเทศไทย)
6. เครื่องดึง (LR 500 N, Lloyd Instruments, West Sussex, UK)
7. หัวจับชิ้นงานเฉพาะ (Nextech Co., Ltd; กรุงเทพฯ; ประเทศไทย)

#### 2. วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. หัวกรอคาร์ไบด์แบบหัวตรงปลายมน
2. กระดาษทรายน้ำเบอร์ 280 400 และ 1,000
3. อะคริลิกชนิดบ่มเอง (Formatry; Kerr Manufacturing; Romulus, USA)
4. อะคริลิกชนิดบ่มเองสีชมพู (GC Co., Ltd; Tokyo; Japan)
5. บล็อกพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 37.50 มิลลิเมตร สูง 20 มิลลิเมตร
6. รากฟันเทียมระบบฟันยิ้ม (Pattanawit Co., Ltd.; Cha Cheong Sao; Thailand)

7. รากฟันเทียมระบบออสเทม (Osstem; Osstem implant Co., Ltd; Korea)
8. น้ำลายเทียม (ภาควิชาเภสัช คณะทันตแพทยศาสตร์จุฬา)
9. ขี้ผึ้งเหนียว (sticky wax)
10. วาสลิน

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 1. การเตรียมเครื่องเร่งอายุยางวงแหวน

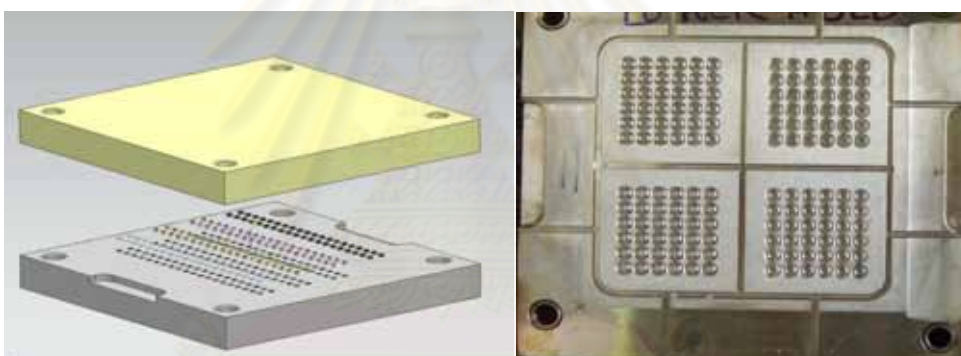
การศึกษานี้จะหาค่าแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวนเมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุที่เทียบได้กับการใช้งานทางคลินิกนาน 1 2 และ 3 ปี จึงจำเป็นต้องจำลองการใช้ฟันเทียมในสภาวะจริง และจำลองสภาวะดังกล่าวในห้องปฏิบัติการ โดยจำลองการถอดใส่ฟันเทียมของผู้ป่วยในแต่ละวัน ดังนั้นเครื่องเร่งอายุการใช้งานจึงต้องสามารถดึงขึ้นงานขึ้นและลงอย่างต่อเนื่องกันได้ ด้วยความเร็วเท่ากับค่าเฉลี่ยของการถอดใส่ ฟันเทียมของผู้ป่วย อีกทั้งเครื่องควรสามารถปรับระยะความสูงต่ำในการดึงขึ้นและลงเพื่อให้ฟันระยะความสูงของหัวกลมของรากเทียมทั้งสองระบบ นอกจากนี้เครื่องเร่งอายุควรมีอ่างใส่น้ำลายเทียมเพื่อให้ชิ้นงานแช่อยู่ในน้ำลายเทียม ดังนั้นจึงได้ออกแบบและผลิตเครื่องเร่งอายุการใช้งานขึ้นดังภาพที่ 11 (Nextech Co., Ltd; กรุงเทพฯ; ประเทศไทย)



ภาพที่ 11 เครื่องเร่งอายุยางวงแหวน

## 2. การเตรียมยางวงแหวนระบบฟันยืม

ยางวงแหวนระบบฟันยืมผลิตจากยางซิลิโคน (Shaiangey Co., Ltd; Chonburi; Thailand) ทำการขึ้นรูปยางวงแหวนด้วยวิธีการอัดลงในแม่พิมพ์ (compression mould) ซึ่งแม่พิมพ์ 1 อัน ขนาด 250 x 250 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 12 มีทั้ง 4 รูปทรง และสามารถผลิตยางวงแหวนได้ 36 ชิ้นต่อรูปทรง (บริษัทโกลบอลพริซัน, ชลบุรี, ประเทศไทย) การใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูปยางวงแหวน เป็นการขึ้นรูปยางพร้อมๆ กับการเกิดปฏิกิริยาควบรูป (vulcanization) โดยอาศัยความร้อนและแรงอัด แม่พิมพ์แบบอัดเป็นแม่พิมพ์แบบง่าย ราคาไม่สูง ใช้กันอย่างกว้างขวางในการทำผลิตภัณฑ์ทั่วไป ลักษณะของแม่พิมพ์แบบอัดประกอบด้วยฝา 2 ฝา ซึ่งขึ้นที่ยึดกันด้วยสลักฝาด้านหนึ่งจะเป็นช่องรูปร่างของผลิตภัณฑ์ซึ่งเวลาอัดยางจะใส่ยางลงในฝา เมื่อนำอีกฝาด้านหนึ่งปิดลงและวางพิมพ์ในเครื่องอัดพร้อมทั้งให้ความร้อน ยางจะไหลเต็มช่องของแม่พิมพ์



ภาพที่ 12 แม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปยางวงแหวน

## 3. เตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบ

### 3.1 การเตรียมชิ้นงานรากเทียม

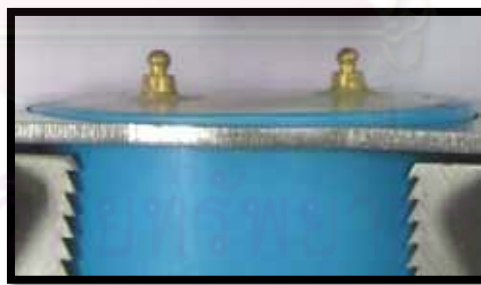
เตรียมรากเทียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.75 มิลลิเมตร ยาว 19 มิลลิเมตร ที่ยังไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ จำนวน 2 ตัว หลังจากนั้นเตรียมบล็อกพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 37.50 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร จำนวน 1 บล็อก ทำการผสมอะคริลิกในถ้วยยางตามอัตราส่วนของบริษัทผู้ผลิตผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเทลงบล็อกพีวีซีที่รองฐานด้วยกระบี่แข็งจนเต็ม รอจนแข็งตัวประมาณ 1 ชั่วโมงดังภาพที่ 13 ซ้าย จากนั้นนำบล็อกพีวีซีที่มีอะคริลิกมาวางกลมด้วยวงเวียนเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร จำนวน 2 วง ห่างกัน 22 มิลลิเมตรดังภาพที่ 13 ขวา โดยให้วงกลมทั้ง 2 อยู่ตรงกลางบล็อกแล้วใช้หัวกรอคาร์ไบด์กรอตรงวงกลมที่วาดไว้โดยกรอให้ลึก 14 มิลลิเมตร



นำรากเทียมตัวที่ 1 มายึดส่วนหัวเข้ากับเหล็กปะกับของเครื่องสำรวจความขนาน แล้วใช้ซี่ฝั้ง เหนียวเป็นตัวยึด จากนั้นนำไปใส่ในรูที่เจาะไว้แล้ว จึงผสมอะคริลิกเทลงไปในช่องว่างที่เหลือใน ช่องที่กรอเตรียมไว้เพื่อยึดรากเทียมเข้ากับบล็อก รอจนอะคริลิกแข็งตัว จากนั้นนำรากเทียมตัวที่ 2 ยึดส่วนหัวเข้ากับเหล็กปะกับของเครื่องสำรวจความขนาน ใส่ลงในช่องว่างอีกช่องโดยวัดระยะให้ ตรงกลางของรากเทียมทั้ง 2 ตัวห่างกัน 22 มิลลิเมตร ใส่รากเทียมลงไปลึก 14 มิลลิเมตร เหลือ ส่วนหัวขึ้นมา 5 มิลลิเมตร นำรากเทียมที่ฝังในบล็อกมาวัดกับเครื่องสำรวจความขนานอีกครั้ง ให้ ทั้ง 2 ตัวฝังอย่างขนานกัน แล้วนำมาขัดให้เรียบด้วยกระดาษทรายตามลำดับดังภาพที่ 14



ภาพที่ 13 บล็อกพีวีซีที่ใส่อะคริลิก (ซ้าย) บล็อกพีวีซีที่วาดวงกลม 2 วง (ขวา)

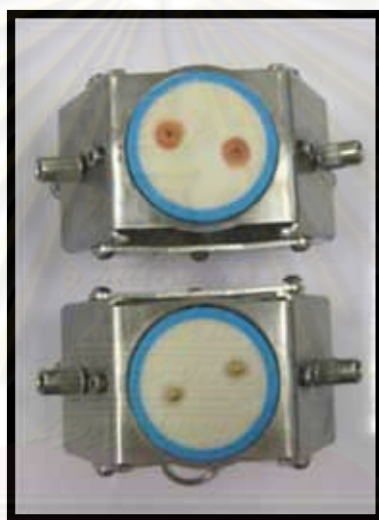


ภาพที่ 14 บล็อกพีวีซีที่ฝังรากเทียมระบบฟันยิ้ม

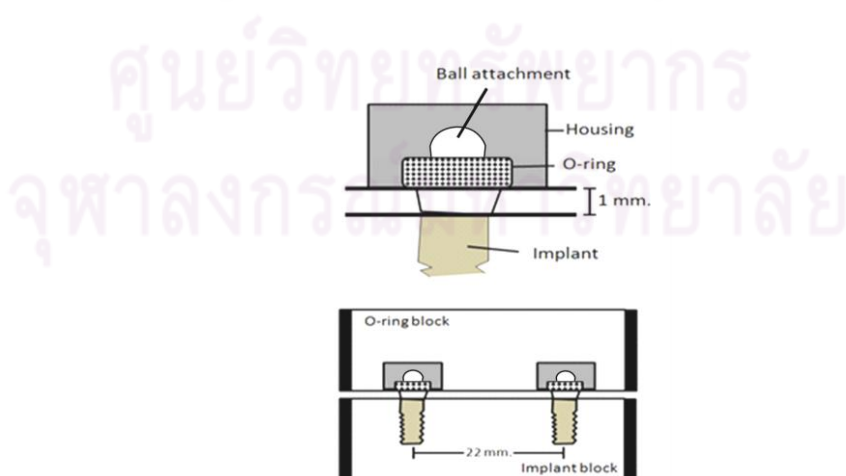
### 3.2 การเตรียมชิ้นงานยางวงแหวน

นำบล็อกพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 37.50 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตรที่มีอะคริลิกมา วาดวงกลมด้วยวงเวียนเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร จำนวน 2 วง ห่างกัน 22 มิลลิเมตร โดยให้ วงกลมทั้ง 2 อยู่ตรงกลางพอดี แล้วใช้หัวกรอคาร์ไบด์กรอตรงวงกลมที่วาดไว้โดยกรอให้ลึก 10 มิลลิเมตร จากนั้นลองนำไปประกบลงบนบล็อกที่เตรียมรากเทียมไว้แล้ว เพื่อดูว่าช่องว่างที่เตรียม ไว้ นั้นพอดีกับตำแหน่งของรากเทียม จากนั้นทาวาสลินให้ทั่วพื้นผิวบนอะคริลิกของบล็อกรากเทียม

จากนั้นนำยางวงแหวนมาสวมเข้ากับส่วนหัวกลมของรากเทียม นำบล็อก 2 ที่เตรียมเจาะรูไว้แล้ว มาลองสวมบนบล็อกรากเทียมอีกครั้งเพื่อดูว่ามีเนื้อที่เหลือพอสำหรับอะคริลิกสีชมพูโดยรอบ จากนั้นผสมอะคริลิกสีชมพูแบบบ่มเองตามอัตราส่วนบริษัทผู้ผลิตในถ้วยยาง จนได้ระยะก่อนโดว์ จึงเทลงในรูที่เจาะไว้ทั้ง 2 รู และใช้ฟู่กันจุ่มอะคริลิกป้ายตรงส่วนด้านใต้ของยางวงแหวนร่วมด้วย จากนั้นนำมาสวมทับบริเวณส่วนหัวของรากเทียม โดยให้ท่อทั้งสองมีความขนานกันและห่างจากกัน 1 มิลลิเมตร รอจนอะคริลิกแข็งตัวแล้วดึงออกจากกัน ชัดแต่งด้วยกระดาษทรายตามลำดับดังภาพที่ 15 ลองนำบล็อกพีวีซีทั้ง 2 บล็อกมาประกบกันอีกครั้งให้ยางวงแหวนสวมกลับลงไปในตัวรากเทียมให้พอดี โดยบล็อกพีวีซีทั้ง 2 ลอยห่างกัน 1 มิลลิเมตรโดยรอบ



ภาพที่ 15 ชิ้นงานยางวงแหวน (บน) และชิ้นงานรากเทียม (ล่าง)



ภาพที่ 16 แสดงภาพวาดของชิ้นงาน

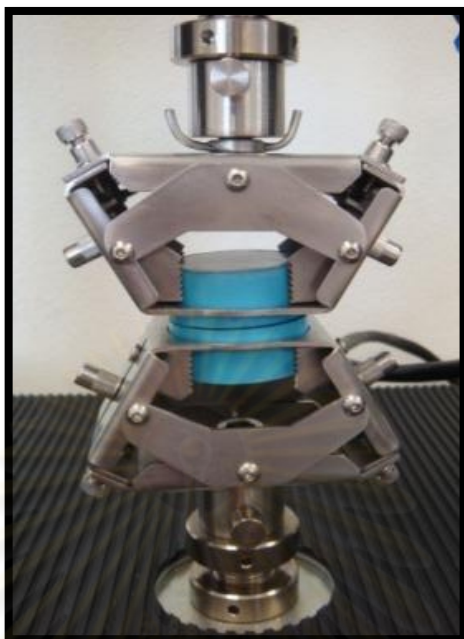
## การทดสอบแบ่งเป็น 2 ตอน

### ตอนที่ 1 การทดสอบหาค่าแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวน

#### 1. ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงาน [34-36]

นำน้ำลายเทียมใส่ลงในเครื่องควบคุมอุณหภูมิ น้ำ ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นนำชิ้นงานแช่ลงในน้ำลายเทียมประมาณ 15 นาที แล้วจึงนำชิ้นงานไปเข้าหัวจับเฉพาะ ดังภาพที่ 17 โดยให้ขอบของบล็อกชิ้นงานพอดีกับขอบวงของหัวจับเฉพาะ จากนั้นนำไปวัดแรงยึดอยู่เริ่มต้นของยางวงแหวนด้วยเครื่องวัดลloyd (LR 500 N, Lloyd Instruments, West Sussex, UK) ใช้โหลดเซลล์ 500 นิวตัน ดึงขึ้นด้วยความเร็ว 120 มิลลิเมตรต่อนาที แล้วจดบันทึกค่าแรงที่ได้ โดยจะแสดงผลแรงในการยึดอยู่ของชิ้นงานที่คอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมเน็กซ์เจเนอพลัส (Nexygen plus) จากนั้นนำชิ้นงานที่วัดค่าแรงในการยึดอยู่เริ่มต้นแล้วมาใส่หัวจับเฉพาะที่เครื่องแรงอายุยาง วงแหวน ใส่ให้บล็อกชิ้นงานอยู่ในน้ำลายเทียมทั้งบนและล่าง จากนั้นตั้งค่าที่เครื่องแรงอายุการใช้งานให้ดึงยางวงแหวนขึ้นและลงเป็นจำนวน 1,440 รอบ ซึ่งเทียบเท่ากับการใช้งานจริง 1 ปี ด้วยความเร็ว 120 มิลลิเมตรต่อนาที ปรับระยะขึ้นและลงให้พันหัวกลมพอดี จากนั้นจึงทำการเริ่มต้นใช้งานให้เครื่องดึงชิ้นงานขึ้นและลงไปเรื่อยๆจนครบรอบโดยใช้เวลาประมาณ 3.30 ชั่วโมง หลังจากนั้นเครื่องแรงอายุการใช้งานจะหยุด แล้วจึงนำชิ้นงานไปวัดค่าแรงในการยึดอยู่ที่เครื่องวัดลloydอีกครั้ง จดบันทึกค่าแรงที่ได้ จากนั้นนำชิ้นงานเดิมกลับมาเข้าเครื่องแรงอายุการใช้งานเพื่อดึงชิ้นงานจนครบ 2,880 รอบ แล้วจึงวัดค่าแรงในการยึดอยู่ และนำกลับมาแรงอายุการใช้งานจนครบ 4,320 รอบแล้วนำไปวัดค่าแรงในการยึดอยู่จึงเสร็จสิ้นการทดสอบชิ้นงาน 1 กลุ่ม ชิ้นงานมีทั้งสิ้น 13 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มใช้เป็นตัวแทนการทดลอง 10 ชิ้น ดังนั้นทำการทดสอบชิ้นงานทั้งสิ้น 130 ชิ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 17 แสดงลักษณะหัวจับเฉพาะชิ้นงานขณะใส่ในเครื่องวัดลดยด์



ภาพที่ 18 แสดงลักษณะการดึงชิ้นงานขึ้นเพื่อวัดค่าแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวน



ภาพที่ 19 แสดงลักษณะหัวจับเฉพาะชิ้นงานขณะใส่ในเครื่องแรงอายุการใช้งาน



ภาพที่ 20 แสดงหัวจับเฉพาะชิ้นงานในเครื่องแรงอายุอย่างวงแหวนในน้ำลายเทียม

## ตอนที่ 2 การทดสอบหาค่าแรงดึงของยางวงแหวน

### 2. ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงาน

นำหัวจับเฉพาะมาใส่เข้ากับเครื่องวัดล้อยด์ (LR 500 N, Lloyd Instruments, West Sussex, UK) ใช้โหลดเซลล์ 500 นิวตัน ตั้งความเร็วให้ดึงขึ้นด้วยความเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อนาที [37] โดยให้ก้านเหล็กบริเวณปลายของหัวจับเฉพาะอยู่ชิดกันมากที่สุด จากนั้นนำยางวงแหวนที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเร่งอายุมาทำการวัดค่าของแรงดึง โดยนำยางวงแหวนมาใส่เข้ากับก้านเหล็กของหัวจับเฉพาะทั้งบนและล่าง ขณะสวมยางวงแหวนลงไปต้องระวังไม่ให้เกิดการยืดของยางวงแหวนก่อนทำการวัด เมื่อใส่ยางวงแหวนเรียบร้อยแล้วจึงเริ่มทำการดึงยางวงแหวนขึ้นจนกว่ายางจะขาดดังภาพที่ 21 ซึ่งจะแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมเน็กซ์ซิเจนพลัส (Nexygen plus) ทำการบันทึกค่าแรงทันทีที่กราฟแสดงผลของค่าแรงสูงที่สุด จากนั้นนำยางวงแหวนที่ผ่านกระบวนการเร่งอายุการใช้งานจนครบ 4,320 รอบแล้วออกมาจากเบ้าอะคริลิก นำมาวัดค่าแรงดึง โดยนำยางวงแหวนมาใส่เข้ากับหัวจับเฉพาะทั้งบนและล่าง และทำการวัดค่าแรงดึงทำการบันทึกผลจึงเสร็จการทดลอง 1 กลุ่ม จากนั้นทำซ้ำเช่นเดิมจนครบ 13 กลุ่ม



ภาพที่ 21 แสดงหัวจับเฉพาะชิ้นในเครื่องวัดล้อยด์เพื่อวัดแรงดึงของยางวงแหวน

## ตัวแปรในการวิจัย

### 1. ตัวแปรอิสระ (Independent factor) ได้แก่

- 1.1 รูปทรงต่างๆของยางวงแหวน
- 1.2 ความแข็งผิวของยางซิลิโคน

### 2. ตัวแปรตาม (Dependent factor)

ผลแรงในการยึดอยู่และแรงดึงของยางวงแหวนกับส่วนหัวกลมของรากเทียม

## การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลเป็นค่าแสดงจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยบันทึกค่าแรงดึงของกลุ่มทดลองทั้ง 13 กลุ่มโดยแต่ละกลุ่มมี 10 ชิ้น การวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical package for the social sciences plus, version 16) ในการประมวลผลข้อมูลที่ใช้สถิติวิเคราะห์ โดยทดสอบแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวนในรูปทรงและความแข็งผิวที่แตกต่างกันหลังจากผ่านการดึงยางขึ้นและลงตามจำนวนรอบที่กำหนด ข้อมูลที่ได้จึงเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ

1. สถิติเชิงพรรณนาแสดงข้อมูลเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แรงในการยึดอยู่และแรงดึงของยางวงแหวนทั้งในทุกกลุ่มการทดลอง

2. การวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงในการยึดอยู่และแรงดึงของยางวงทั้งในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองทุกกลุ่ม โดยการตรวจสอบการกระจายของข้อมูลก่อนว่ามีการกระจายปกติหรือไม่ โดยทดสอบโคลโมโกรอฟสเมโนฟ (Kolmogorov-Smirnov test) และตรวจสอบความแปรปรวนของประชากรแต่ละกลุ่มว่าเท่ากันหรือไม่โดยทดสอบความเหมือนของค่าความแปรปรวน (Test of homogeneity of variance) ด้วยวิธีของ Levene

- สำหรับแรงในการยึดอยู่ถ้าประชากรมีการแจกแจงปกติและประชากรทุกกลุ่มมีความแปรปรวนเท่ากันจึงใช้สถิติแบบพาราเมตริกซึ่งชนิดวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two way ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อน (Tukey) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แล้ววิเคราะห์ข้อมูลที่สัมพันธ์กับเวลาด้วย Sigma Stat
- สำหรับแรงดึงถ้าประชากรมีการแจกแจงปกติและประชากรทุกกลุ่มมีความแปรปรวนเท่ากันจึงใช้สถิติแบบอินดิเพนเดนททีเทส (Independent t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การทดสอบซึ่งแบ่งเป็น 2 ตอน คือตอนที่ 1 ทดสอบหาค่าแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวน ตอนที่ 2 ทดสอบหาค่าแรงดึงของยางวงแหวน ดังนั้นผลการศึกษาก็แบ่งได้เป็น 2 ตอน ดังนี้

### ตอนที่ 1 ผลการทดสอบหาค่าแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวน

การทดสอบแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวนระบบรากเทียมฟันยิ้มและระบบรากเทียมออสเทม แบ่งเป็น 13 กลุ่มกลุ่มละ 10 ชิ้นงาน รวมทั้งสิ้นทำการทดสอบ 130 ชิ้น ได้ทำการบันทึกผลค่าแรงในการยึดอยู่ที่ได้ตั้งแต่เริ่มต้น และหลังจากผ่านการเร่งอายุการใช้งานไปทุกๆ 1,440 รอบ จนครบ 4,320 รอบ ได้ผลการทดลองสรุปเป็นดังตารางที่ 3 ดังนี้

**ตารางที่ 3** แสดงผลค่าแรงในการยึดอยู่เริ่มต้นและหลังผ่านการดึงยางขึ้นและลงของยางวงแหวนที่ความแข็งผิวและรูปทรงต่างๆ

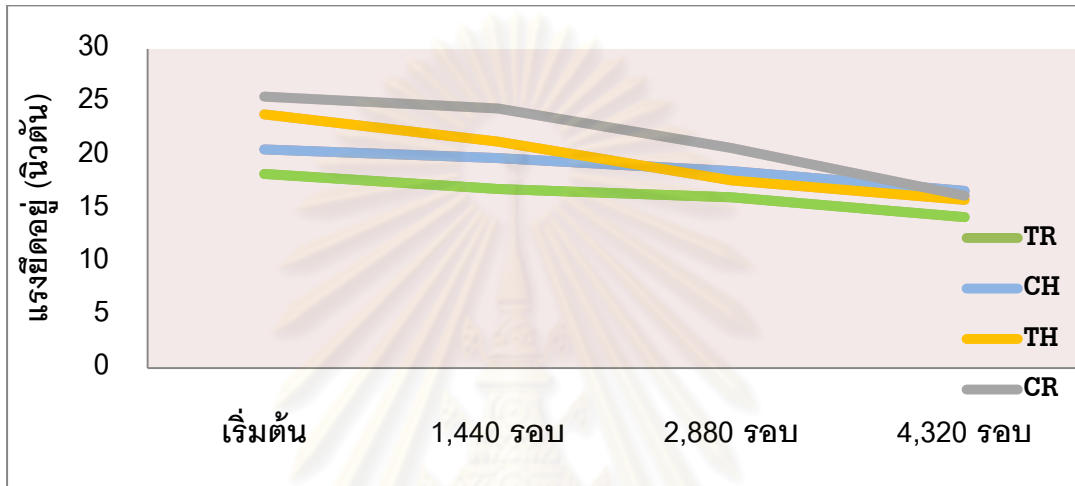
ระบบ	ความแข็ง ชอร์เอ	ยางวงแหวน	แรงในการยึดอยู่ (นิวตัน)			
			เริ่มต้น	1,440 รอบ	2,880 รอบ	4,320 รอบ
ฟันยิ้ม	50	TR	18.24 ±0.79	16.82 ±0.93 <sup>a</sup>	16.02 ±1.33 <sup>a</sup>	14.18 ±1.38
		CH	20.54 ±0.89 <sup>a</sup>	19.74 ±0.77 <sup>a</sup>	18.52 ±0.93	16.65 ±1.25
		TH	23.86 ±0.72	21.28 ±1.25	17.64 ±0.61	15.81 ±1.20
		CR	25.51 ±0.67 <sup>a</sup>	24.40 ±0.67 <sup>a</sup>	20.67 ±0.79	16.20 ±1.48*
	60	TR	23.69 ±0.90	21.93 ±0.66	19.43 ±1.46	17.59 ±1.20
		CH	27.74 ±0.69 <sup>a</sup>	27.12 ±1.02 <sup>a</sup>	21.77 ±0.67	20.21 ±1.15
		TH	29.60 ±0.86	24.38 ±1.46	18.44 ±1.24 <sup>a</sup>	17.24 ±0.94 <sup>a</sup>
		CR	30.10 ±0.67	24.69 ±0.90	20.76 ±0.96 <sup>a</sup>	21.64 ±0.75 <sup>a</sup>
	70	TR	29.18 ±0.95	30.56 ±0.80*	25.41 ±0.93*	17.32 ±1.58
		CH	32.31 ±0.81*	36.13 ±1.21	33.97 ±0.99	18.09 ±1.75
		TH	32.91 ±0.84*	36.54 ±0.77	27.66 ±1.25	18.75 ±1.14
		CR	36.42 ±0.93	33.37 ±1.01	26.83 ±0.82	20.76 ±0.99
ออสเทม	60	TR	32.04 ±0.75*	30.14 ±1.05*	25.89 ±0.98*	16.14 ±0.53*

ค่าที่ \* แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญในกลุ่มที่มีความแข็งผิวและรูปทรงต่างกันเมื่อเทียบกับระบบออสเทม (คอลัมน์)

ค่าที่ได้ตัวอักษร<sup>a</sup> แสดงถึงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญในกลุ่มที่รอบในการดึงต่างกันแต่มีความแข็งผิวและรูปทรงเดียวกัน (แถว)

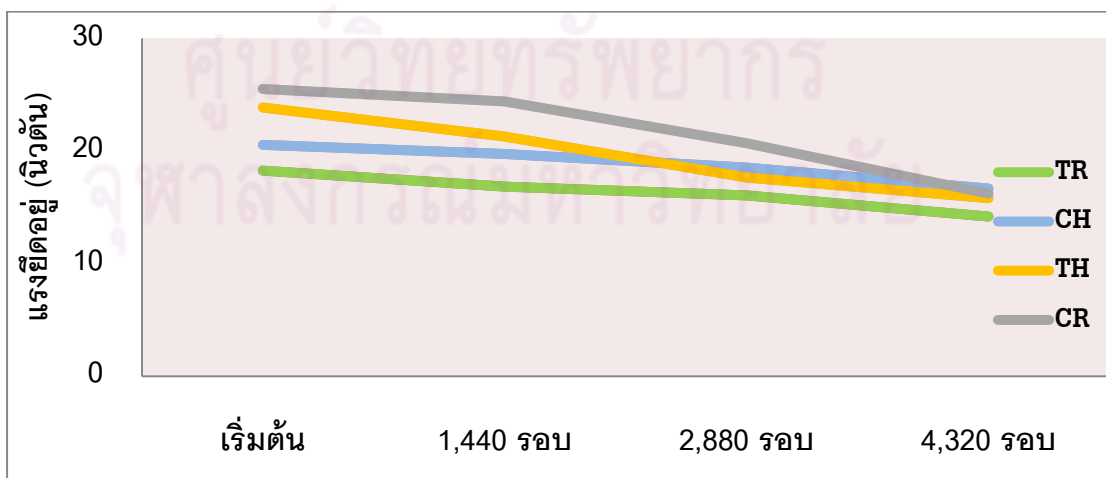


จากตารางที่ 3 พบว่าอย่างวงแหวนระบบฟันยึดมีความแข็งแรง 50 ซอร์เอ ทุกรูปทรงเมื่อผ่านกระบวนการดัดยางขึ้นและลงมีค่าแรงในการยึดอยู่ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเริ่มต้นอย่างวงแหวนรูปทรงกระบอกด้านในกลมมีค่าแรงในการยึดอยู่สูงสุด และเมื่อผ่านกระบวนการดัดยางขึ้นและลงครบ 4,320 รอบ อย่างวงแหวนรูปทรงกระบอกด้านในเหลี่ยมมีค่าแรงในการยึดอยู่สูงสุดดังภาพที่ 22



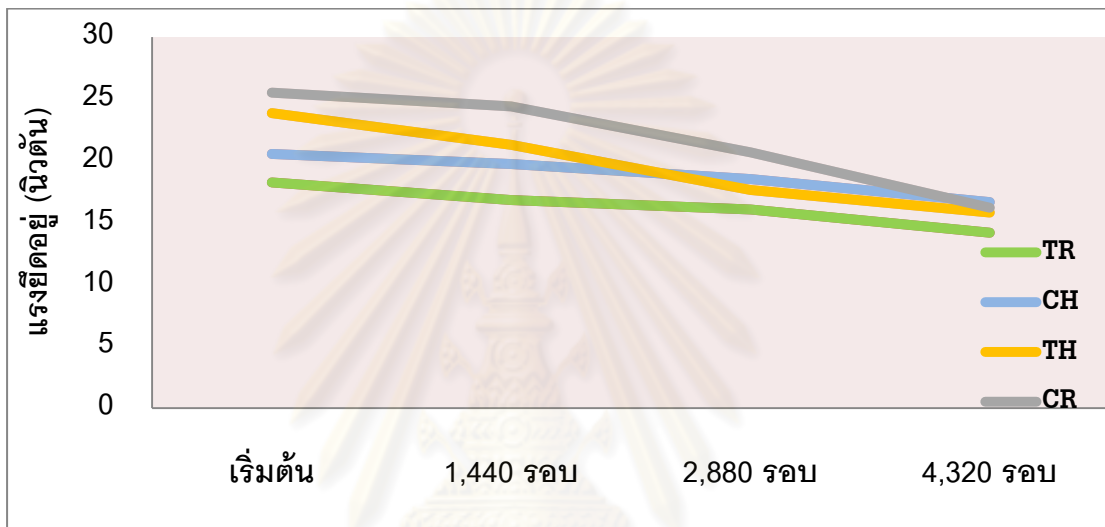
ภาพที่ 22 แผนภูมิแสดงผลการทดสอบอย่างวงแหวนระบบฟันยึดมีความแข็งแรง 50 ซอร์เอรูปทรงต่างๆที่ผ่านกระบวนการดัดยางขึ้นและลงในแต่ละรอบ

อย่างวงแหวนระบบฟันยึดมีความแข็งแรง 60 ซอร์เอ ทุกรูปทรงเมื่อผ่านกระบวนการดัดยางขึ้นและลงมีค่าแรงในการยึดอยู่ลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกัน โดยเริ่มต้นและเมื่อผ่านกระบวนการดัดยางขึ้นและลงจนครบ 4,320 รอบอย่างวงแหวนรูปทรงกระบอกด้านในกลมมีค่าแรงในการยึดอยู่สูงสุดดังภาพที่ 23



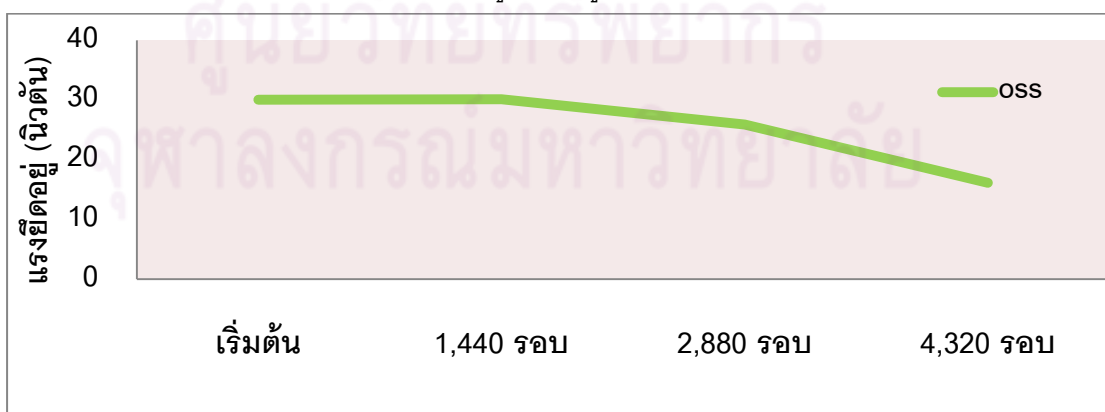
ภาพที่ 23 แผนภูมิแสดงผลการทดสอบอย่างวงแหวนระบบฟันยึดมีความแข็งแรง 60 ซอร์เอรูปทรงต่างๆที่ผ่านกระบวนการดัดยางขึ้นและลงในแต่ละรอบ

ยางวงแหวนระบบฟันยี่มความแข็งผิว 70 ซอร์เอ เกือบทุกรูปทรงเมื่อผ่านกระบวนการดัด ยางขึ้นและลง มีค่าแรงในการยึดอยู่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ยกเว้นรูปทรงกระบอกด้านในหกเหลี่ยมมีค่าแรงในการยึดอยู่เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการดัดยางขึ้นและลงจนครบ 2,880 รอบ และรูปทรงกลมด้านในหกเหลี่ยมมีค่าแรงในการยึดอยู่เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการดัดยางขึ้นและลงจนครบ 1,440 รอบ อีกทั้งเริ่มต้นและเมื่อผ่านกระบวนการดัดยางขึ้นและลงจนครบ 4,320 รอบยางวงแหวนรูปทรงกระบอกด้านในกลมมีค่าแรงในการยึดอยู่สูงสุดดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 แผนภูมิแสดงผลการทดสอบยางวงแหวนระบบฟันยี่มความแข็งผิว 70 ซอร์เอรูปทรงต่างๆที่ผ่านกระบวนการดัดยางขึ้นและลงในแต่ละรอบ

ยางวงแหวนระบบออสเทมเมื่อผ่านกระบวนการดัดยางขึ้นและลงมีค่าแรงในการยึดอยู่ลดลงอย่างต่อเนื่องโดยมีค่าแรงในการยึดอยู่เฉลี่ยอยู่ในช่วง 32.04 – 16.14 นิวตันดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 แผนภูมิแสดงผลการทดสอบยางวงแหวนระบบออสเทมที่ผ่านกระบวนการดัดยางขึ้นและลงในแต่ละรอบ

เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาทดสอบไปทดสอบการกระจายตัวพบว่า ข้อมูลมีการกระจายเป็นปกติและเมื่อทดสอบความแปรปรวนด้วยการทดสอบแบบลีวิน (Levene Test) พบว่าข้อมูลมีความแปรปรวนเท่ากันและเมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้และซิกม่า พบว่าข้อมูลที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## ตอนที่ 2 ผลการทดสอบหาค่าแรงดึงของยางวงแหวน

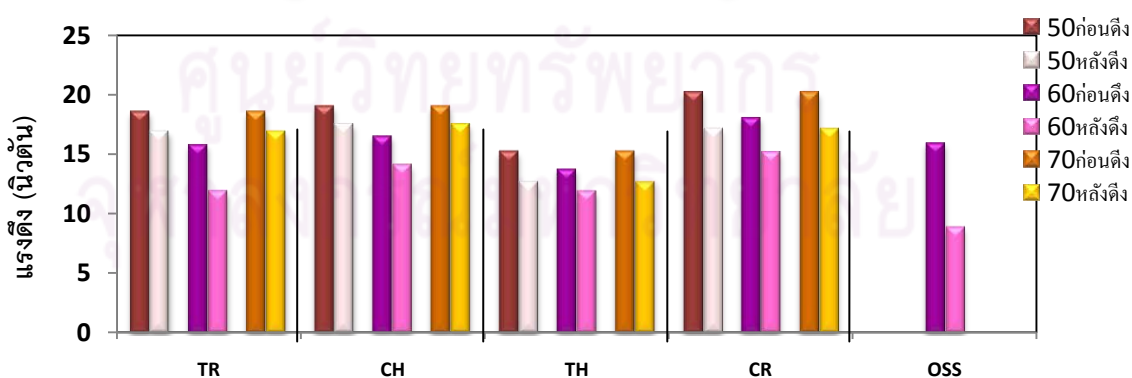
ผลการทดสอบหาค่าแรงดึงของยางวงแหวนขนาดที่เริ่มต้น และที่ 4,320 รอบทดสอบยางวงแหวน 13 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น ได้ผลการทดสอบทดลองดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงผลการค่าแรงดึงยางวงแหวนก่อนและหลังจากดึงยางขึ้นและลง

รูปทรง	ค่าแรงดึง (นิวตัน)							
	50 Mean (SD)ก่อนดึง	50 Mean (SD)หลังดึง	60 Mean (SD) ก่อนดึง	60 Mean (SD)หลังดึง	70 Mean (SD) ก่อนดึง	70 Mean (SD)หลังดึง	Oss,mean (SD) ก่อนดึง	Oss Mean (SD)หลังดึง
TR	13.80±0.60	11.92±0.67	15.79±0.61	11.91±0.51	18.59±0.89	16.91±0.66	15.95±0.63	8.89±0.73
CH	13.26±0.50	10.92±0.55	16.52±0.83	14.11±0.84	19.05±0.56	17.53±0.75	-	-
TH	10.44±0.55	8.32±0.85	13.75±0.60	11.90±0.91	15.26±0.78	12.68±0.70	-	-
CR	15.20±0.92	11.46±0.60	18.06±0.90	15.16±0.78	20.25±0.65	17.14±0.69	-	-

ค่าที่ไม่ใส่ตัวอักษรแสดงผลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มที่มีความแข็งผิวและรูปทรงเดียวกัน

ผลการทดสอบการดึงยางวงแหวนขนาดพบว่ายางวงแหวนระบบออสเทมและยางวงแหวนที่นำมาทดสอบ เมื่อผ่านการดึงยางขึ้นและลงจนครบ 4,320 รอบ มีค่าแรงดึงลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงดึงยางเริ่มต้น ในทุกกลุ่มการทดลองดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 แผนภูมิแสดงผลแรงดึงยางวงแหวน 50 60 และ 70 ซอร์เอ ระบบฟันยืม และระบบออสเทมในรูปทรงต่างกันทั้งก่อนและหลังดึงยางขึ้นลง

## บทที่ 5

### อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### อภิปรายเครื่องมือ วัสดุ และวิธีการทดลอง

การทดลองในครั้งนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ ทดสอบหาค่าแรงในการยึดอยู่และแรงดึงของยางวงระบบฟันยิ้ม ทดสอบเปรียบเทียบกับยางวงแหวนระบบออสเทมเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยสาเหตุที่เลือกระบบออสเทมเนื่องจากเป็นระบบที่มีความนิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย มีขนาดของหัวกลมรากเทียมใกล้เคียงฟันยิ้ม แต่ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ในทุกแง่มุมเนื่องจากทั้งสองระบบยังมีความแตกต่างกัน เช่นระบบฟันยิ้มยางวงแหวนจะอยู่ในอะคริลิกแต่ระบบออสเทมยางวงแหวนอยู่ในโลหะและโลหะจึงยึดอยู่ในอะคริลิก เส้นผ่าศูนย์กลางของหัวกลมและบริเวณคอของรากเทียมก็แตกต่างกันดังภาพที่ 27 จึงเปรียบเทียบเฉพาะแรงในการยึดอยู่เท่านั้น

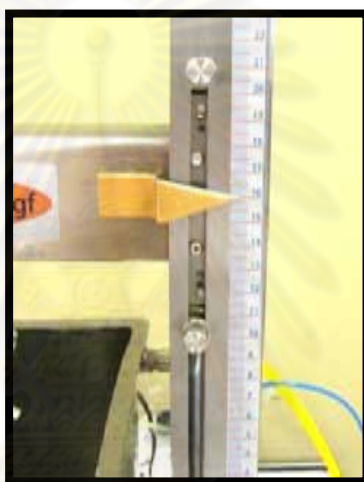


ภาพที่ 27 รากเทียมระบบฟันยิ้ม (ซ้าย) รากเทียมระบบออสเทม (ขวา)

นอกจากนี้การเลือกใช้อะคริลิกชนิดปมตัวเองสีชมพูเพื่อใช้ยึดยางวงแหวนระบบฟันยิ้ม มีผลต่อการทดลองเช่นกัน เนื่องจากอะคริลิกที่เลือกใช้เป็นชนิดที่สามารถใช้งานในการเสริมฐานฟันเทียมข้างแก้อีและใช้ยึดยางวงได้เหมือนการใช้งานจริง ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าอะคริลิกสีชมพูอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวนเช่นกัน ดังนั้นหากเปลี่ยนอะคริลิกสีชมพูเป็นชนิดหรือระบบอื่นอาจส่งผลต่อแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวน

สำหรับการเร่งอายุการใช้งานได้สร้างเครื่องเร่งเฉพาะขึ้นมาเนื่องจากการเร่งอายุเป็นกระบวนการฟาทีค หากใช้เครื่องตั้งอเนกประสงค์ อาจส่งผลให้โหลดเซลล์ของเครื่องเสียได้ง่าย

เพราะชิ้นงานที่ทำการทดสอบมีขนาดเล็ก ต้องการความเที่ยงตรงในการดึงขึ้นและลง อีกทั้งยังใช้เวลานาน ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบและสร้างเครื่องเร่งอายุการใช้งานขึ้นเพื่อให้สามารถดึงยางวงแหวนขึ้นและลงได้อย่างเที่ยงตรง โดยที่ตัวเครื่องสามารถกำหนดระยะความสูงในการดึงชิ้นงานขึ้นและลงได้ระยะรอบอย่างเที่ยงตรง เป็นการแสดงให้เห็นว่าสามารถดึงยางวงแหวนขึ้นและลงได้ในระยะที่เท่าเดิมตลอด นอกจากนี้ยังควบคุมความเร็วและทิศทางการดึงให้เหมือนกันในทุกชิ้นงานดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 แสดงระยะที่สามารถกำหนดได้ของเครื่องเร่งอายุยางวงแหวน

หัวจับเฉพาะสำหรับใช้จับชิ้นงานหาค่าแรงในการยึดอยู่นั้น ทำเป็นวงแหวนล้อมรอบบล็อกชิ้นงานและทำเป็นพื้นเฟืองจับชิ้นงานทั้งซ้ายและขวา พบว่าสามารถยึดชิ้นงานได้ดี ไม่ขยับหลุดระหว่างการเร่งอายุยางวงแหวน สำหรับวงแหวนนั้นช่วยทำให้สังเกตชิ้นงานได้ง่ายขึ้นว่าชิ้นงานสามารถใส่ลงที่เดิมได้หรือไม่ แต่สำหรับหัวจับชิ้นงานหาค่าแรงดึงนั้น ควรปรับแกนเหล็กให้ชิดกันมากที่สุดเพื่อที่จะได้ใส่ยางวงแหวนได้พอดี ไม่มีการยืดของยางวงแหวนก่อนการทดสอบ

การทดลองจะดึงชิ้นงานด้วยความเร็ว 120 มิลลิเมตรต่อวินาที [35] เป็นความเร็วเฉลี่ยในการถอดฟันเทียมของผู้ป่วย ทดสอบในน้ำลายเทียมที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เพื่อจำลองสภาวะให้ใกล้เคียงกับในช่องปากแต่การจำลองการใช้งานของฟันเทียมสำหรับการทดลองนี้จะจำลองเพียงการถอดใส่ฟันเทียมเท่านั้น โดยจำลองการถอดใส่ 4 ครั้งต่อวัน (ตอนเช้า ก่อนและหลังรับประทานอาหารเช้า กลางวัน เย็น และ ก่อนนอน) [34] ยังไม่ได้จำลองการบดเคี้ยวในช่องปาก ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเป็นงานวิจัยนำร่องเพื่อพัฒนาายางวงแหวนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

สำหรับการดัดยงตามข้อกำหนดไอเอสโอ 21606 ปี ค.ศ. 2007 จะกำหนดการดัดยงที่ระยะยืดต่างๆ แต่สำหรับการศึกษานี้ต้องการทราบผลของรูปทรงของยางวงแหวนที่มีต่อแรงดึงด้วย จึงได้ทำการประยุกต์วิธีการทดสอบของไอเอสโอโดยทำการดัดยงวงแหวนให้ยืดออกจนยางขาดเพื่อจะได้ทราบตำแหน่งการขาดของยางวงแหวนในแต่ละรูปทรง

### อภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าค่าแรงในการยืดอยู่และแรงดึงของยางวงแหวนที่ความแข็งผิวและรูปทรงต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงปฏิเสธสมมติฐานการทดลองงานวิจัยในครั้งนี้ดังนี้

**ส่วนที่ 1** แรงในการยืดอยู่ที่เกิดจากยางวงแหวนระบบฟันยี่มและยางวงแหวนระบบออสเทมแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

**ส่วนที่ 2** แรงในการยืดอยู่ที่เกิดจากยางวงแหวนรูปทรงต่าง ๆ แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

**ส่วนที่ 3** แรงในการยืดอยู่ที่เกิดจากยางวงแหวนที่มีความแข็งผิวของยาง คือ 50 60 และ 70 แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

**ส่วนที่ 4** แรงในการยืดอยู่ที่เกิดจากยางวงแหวนรูปทรงต่างๆและความแข็งผิวของยางขนาดต่าง ๆ แตกต่างกัน อย่างน้อย 1 คู่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

**ส่วนที่ 5** แรงดึงของยางวงแหวนก่อนและหลังดัดยงวงแหวนขึ้นและลงแตกต่างกัน อย่างน้อย 1 คู่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

### อภิปรายผลการทดลองหาค่าแรงในการยืดอยู่ของยางวงแหวน

เมื่อพิจารณายางวงแหวนที่ผ่านกระบวนการเร่งอายุการใช้งานเพื่อหาค่าแรงในการยืดอยู่พบว่ามีการสึกของยางวงแหวนเกิดขึ้น โดยยางวงแหวนระบบออสเทมเริ่มพบการสึกของยางวงแหวนเมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุไป 1 ปี และสึกจนเห็นชัดเมื่อผ่านการเร่งอายุไป 3 ปี สำหรับยางวงระบบฟันยี่มจะพบลักษณะการสึกแตกต่างกันไปตามความแข็งผิวและรูปทรงต่างๆดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงการสึกของยางวงแหวนที่พบตามระยะเวลาการเร่งอายุยางวงแหวน

รูปทรง	ความแข็งผิว	เริ่มเห็นการสึกของยางวงแหวน
TR	50	3 ปี และขยับได้ในบ้ำอะคริลิก
	60	2 ปี และขยับได้ในบ้ำอะคริลิก
	70	1 ปี และขยับได้ในบ้ำอะคริลิก
CH	50	3 ปี
	60	2 ปี
	70	1 ปี
TH	50	3 ปี และขยับได้ในบ้ำอะคริลิก
	60	2 ปี และขยับได้ในบ้ำอะคริลิก
	70	1 ปี และขยับได้ในบ้ำอะคริลิก
CR	50	3 ปี
	60	2 ปี
	70	1 ปี

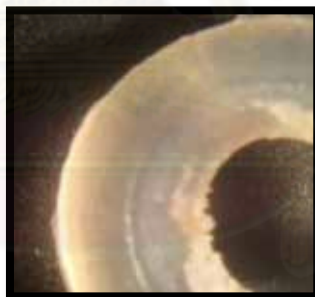
### ลักษณะการสีของยางวงแหวนตามค่าความแข็งผิวของยางวงแหวน

พบว่ายางวงแหวนความแข็งผิว 50 ชอร์เอ จะพบการสีลักษณะเป็นขุยเล็กๆดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 การสีของยางวงแหวนรูปทรงกลมด้านในกลมความแข็งผิว 50 ชอร์เอ

พบว่ายางวงแหวนความแข็งผิว 60 ชอร์เอ จะพบการสีลักษณะเป็นขุยเล็กๆร่วมกับมีการสีเป็นร่องเข้าไปในพื้นผิวดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 การสีของยางวงแหวนรูปทรงกลมด้านในกลมความแข็งผิว 60 ชอร์เอ

พบว่ายางวงแหวนความแข็งผิว 70 ชอร์เอ จะพบการสีลักษณะเป็นร่องลึกเข้าไปในพื้นผิวดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 การสีของยางวงแหวนรูปทรงกลมด้านในกลมความแข็งผิว 70 ชอร์เอ



จากผลการทดลองพบว่ายางวงแหวนความแข็งผิว 50 ซอร์เอ มีรอยสึกของเส้นผ่าศูนย์กลางวงในเป็นขุยเล็กๆ ยางวงแหวนความแข็งผิว 60 ซอร์เอ มีรอยสึกขนาดกลางระหว่าง 50 และ 70 ยางวงแหวนความแข็งผิว 60 ซอร์เอ มีรอยสึกเป็นร่องลึกขนาดใหญ่ อาจเป็นผลเนื่องมาจากการหลุดของสารตัวเติมของแต่ละความแข็งผิวที่แตกต่างกัน โดยเมื่อมีการดึงยางขึ้นลงทำให้เกิดแรงเค้นซ้ำๆ ด้วยกระบวนการฟาติก (Fatigue cycle) มีผลทำให้ยางเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน ซึ่งอาจทำให้สารตัวเติมหลุดออกมาจากเนื้อยาง โดยยางซิลิโคนความแข็งผิว 70 ซอร์เอ มีรอยสึกเป็นร่องอาจเนื่องจากสารตัวเติมหลุดออกมาทั้งอนุภาค

นอกจากนี้พบว่า การเปลี่ยนแปลงแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวนความแข็งผิว 50 ซอร์เอ นั้นน้อยกว่าร้อยละ 50 แต่สำหรับยางวงแหวนความแข็งผิว 70 ซอร์เอ มีแรงในการยึดอยู่เปลี่ยนแปลงมากกว่าร้อยละ 50 ดังจะเห็นได้ว่าความแข็งผิว 50 ซอร์เอ มีการเปลี่ยนแปลงแรงในการยึดอยู่น้อยกว่า 70 ซอร์เอ ดังนั้นหากต้องการใช้ยางวงแหวนให้ได้เป็นเวลานานๆ ความแข็งผิว 50 ซอร์เอ มีแนวโน้มที่จะใช้ได้ในระยะเวลายาวนานที่สุด

### ลักษณะการสึกของยางวงแหวนตามรูปทรงของยางวงแหวน

จากผลการทดลองแสดงลักษณะการสึกของยางวงแหวนตามรูปทรงพบว่ารูปทรงที่มีด้านในเป็นวงกลมมีการสึกทั่วทุกพื้นผิวดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 รูปทรงกลมด้านในกลม (ซ้าย) รูปทรงกระบอกด้านในกลม (ขวา)

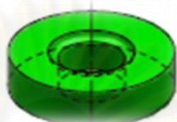
จากผลการทดลองแสดงลักษณะการสึกของยางวงแหวนพบว่ารูปทรงที่มีด้านในเป็นหกเหลี่ยมมีการสึกชัดเจนในส่วนที่เป็นด้านของหกเหลี่ยมดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 รูปทรงกลมด้านในหกเหลี่ยม (ซ้าย) รูปทรงกระบอกด้านในหกเหลี่ยม (ขวา)

รูปทรงของยางวงแหวนมีผลต่อแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวนอาจเนื่องมาจากพื้นที่ผิวด้านในของยางวงแหวน จากรูปทรงของยางวงแหวนมีพื้นที่ผิวสัมผัสด้านในระหว่างยางวงแหวน และหัวกลมแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

1. พื้นที่ผิวสัมผัสเป็นสี่เหลี่ยมคือรูปทรงกระบอกด้านในกลม



จากรูปสามารถคำนวณพื้นที่ผิวสัมผัสด้านในได้ดังนี้

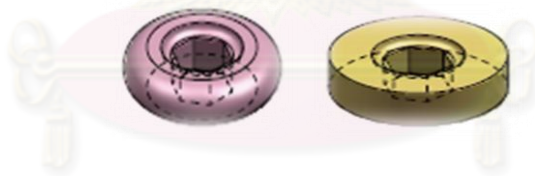
พื้นที่ผิวสัมผัส = เส้นรอบวงใน x ความสูง

$$= 2\pi R \times h$$

$$= 2 \times 3.14 \times 1 \times 1.2$$

$$= 7.53 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

2. พื้นที่ผิวสัมผัสเป็นหกเหลี่ยมคือ รูปทรงกลมและรูปทรงกระบอกด้านในหกเหลี่ยม



จากรูปสามารถคำนวณพื้นที่ผิวสัมผัสด้านในได้ดังนี้

พื้นที่ผิวสัมผัส = กว้าง x ยาว x 6 ด้าน

$$= 0.98 \times 1.2 \times 6$$

$$= 7.06 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

3. ส่วนสัมผัสเป็นเส้นคือรูปทรงกลม



จากรูปพบว่ารูปทรงกลมจะมีส่วนสัมผัสเป็นเส้นไม่เป็นพื้นที่

จากการคำนวณพบว่าพื้นที่สี่เหลี่ยมมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากที่สุด ตามด้วยหกเหลี่ยม และรูปทรงกลมที่สัมผัสเป็นเส้นตามลำดับ และเมื่อนำยาววงแหวนเหล่านี้ตั้งขึ้นและลงผ่านส่วนหัวกลมของรากเทียมพบว่ารูปทรงที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสเป็นสี่เหลี่ยม ให้แรงในการยึดอยู่มากที่สุดและเมื่อผ่านการเร่งอายุการใช้งานแรงในการยึดอยู่ลดลงมากที่สุดเช่นกัน เนื่องจากพื้นที่สี่เหลี่ยมสามารถสัมผัสกับส่วนหัวกลมของรากเทียมด้วยพื้นที่ผิวทั้งหมด แต่สำหรับพื้นที่หกเหลี่ยมจะมีส่วนเว้าของมุมหกเหลี่ยมทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสลดลง พื้นที่ผิวสัมผัสกับส่วนหัวของรากเทียมเพียงบางส่วนเท่านั้นไม่ใช่ทั้งหมดจึงทำให้แรงในการยึดอยู่เริ่มต้นและเปลี่ยนแปลงไม่มากเท่ากลุ่มพื้นที่ผิวสัมผัสสี่เหลี่ยม สำหรับรูปทรงกลมสัมผัสเป็นเส้นทำให้แรงในการยึดอยู่น้อยที่สุดและเมื่อผ่านการเร่งอายุมีแรงในการยึดอยู่เปลี่ยนแปลงน้อยกว่ากลุ่มที่เป็นพื้นที่ผิวสัมผัส

ดังนั้นรูปทรงของยาววงแหวนจึงมีผลต่อแรงในการยึดอยู่ของยาววงแหวนเช่นกัน เนื่องจากยาววงแหวนพินยึดอยู่ในอะคริลิกจะไม่เที่ยงตรงเหมือนอยู่ในโครงโลหะ ดังนั้นจึงควรทำรูปทรงของยาววงแหวนให้อยู่ในอะคริลิกแล้วมีความเที่ยงตรงเกิดขึ้นให้ได้มากที่สุดซึ่งพบว่า ยาววงแหวนรูปทรงกระบอกทั้งด้านในกลมและด้านนอกเหลี่ยมมีส่วนขอบหนากว่ารูปทรงกลม ทำให้ยาววงแหวนมีการคงรูปได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังพบว่ายาววงแหวนรูปทรงกลมด้านในกลมเมื่อผ่านการเร่งอายุการใช้งานจนครบ 3 ปี ยาววงแหวนจะสามารถขยับอยู่ในบล็อคออะคริลิกได้มากที่สุดในทุกความแข็งแรง

ในทางคลินิกโดยทั่วไปจะต้องเปลี่ยนยาววงแหวนทุก 5-6 เดือน หรือ 1 ปี [38,39] เนื่องด้วยปัญหาการสึกหรอของยาววงแหวนจากการถอดใส่ฟันเทียม และการได้รับแรงบิดเคี้ยวซึ่งมีผลต่อการยึดอยู่ของฟันเทียม ปัญหานี้พบเช่นเดียวกันกับยาววงแหวนระบบพินยึด ซึ่งต้องเปลี่ยนทุกปี เมื่อพิจารณายาววงแหวนระบบออสเทมเป็นตัวเปรียบเทียบ พบว่าที่เวลาเร่งอายุยาววงแหวน 1 ปี ซึ่งเป็นเวลาที่ต้องเปลี่ยนยาววงแหวน พบว่ายาววงแหวนระบบออสเทมมีค่าแรงในการยึดอยู่  $30.14 \pm 1.05$  นิวตัน ดังนั้นเพื่อให้ประสิทธิภาพการใช้เทียบเคียงได้กับระบบออสเทม ดังนั้นยาววงแหวนพินยึดที่มีค่าแรงในการยึดอยู่ต่ำกว่า  $30.14 \pm 1.05$  นิวตัน จะไม่นำมาพิจารณา ยาววงแหวนระบบพินยึดความแข็งแรง 50 และ 60 ซอร์เอ ให้ค่าความแข็งแรงต่ำกว่าในทุกกลุ่ม การทดลอง จากผลการทดลองพบว่าเมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุไป 1 ปี พบว่าทุกรูปร่างของ ยาววงแหวนความแข็งแรง 70 ซอร์เอ มีค่าแรงมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อผ่านไป 2 ปี พบว่ามีรูปทรงกระบอกด้านนอกเหลี่ยมความแข็งแรง 70 ซอร์เอมีค่าแรงในการยึดอยู่  $33.97 \pm 0.99$  นิวตัน เท่านั้นที่มีค่าแรงมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อผ่านไป 3 ปี

พบว่าทุกกลุ่มการทดลองมีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการที่ยางวงแหวนระบบออสเทมให้แรงในการยึดอยู่เทียบเท่ากับยางวงระบบพินยัมที่ความแข็งผิว 70 ชอร์เอ ซึ่งเป็นความแข็งผิวที่สูงที่สุดอาจเนื่องมาจากยางวงแหวนระบบออสเทมมีเส้นผ่าศูนย์กลางวงในประมาณ 1.5 มิลลิเมตร เล็กกว่าส่วนคอของรากเทียมที่มีขนาดประมาณ 2 มิลลิเมตร ยางวงแหวนระบบออสเทมจึงให้ความรัดตรึงมากกว่าระบบพินยัมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงในพอดีกับส่วนคอของรากเทียม

นอกจากนี้ในการใช้งานจริงเราไม่ควรคำนึงถึงเฉพาะแรงในการยึดอยู่เท่านั้น แต่ควรคำนึงถึงความยากง่ายในการถอดใส่ฟันเทียมของผู้ป่วยด้วย ซึ่งความพอใจในการถอดใส่ฟันเทียมของผู้ป่วยแต่ละคนย่อมมีความแตกต่างกัน พบว่าแรงในการยึดอยู่เฉลี่ยที่ผู้ป่วยสามารถถอดใส่ฟันเทียมได้ไม่ควรเกิน  $31.00 \pm 8.41$  นิวตัน [40] ดังจะเห็นได้ว่าความแข็งผิว 70 ชอร์เอ มีค่าแรงในการยึดอยู่  $33.97 \pm 0.99$  นิวตัน นั้นยังไม่เกินค่าแรงเฉลี่ยที่ผู้ป่วยจะถอดใส่ฟันเทียมได้

การสึกหรอของยางวงแหวนเกิดบริเวณฐานและพื้นผิวของยางวงแหวน มีผลทำให้แรงในการยึดอยู่เปลี่ยนแปลง [41] ซึ่งผลที่ได้มีรายงานทั้งค่าที่ลดลงและค่าที่เพิ่มขึ้น ผลการทดลองส่วนมากพบว่าแรงในการยึดอยู่ลดลงเมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุสาเหตุอาจเกิดจากการเสียดสีทำให้มีการสึกของยางวงแหวน แต่สำหรับยางวงแหวนความแข็งผิว 70 ชอร์เอ รูปทรงกระบอกด้านใน หกเหลี่ยมและรูปทรงกลมด้านในหกเหลี่ยมจากเริ่มต้น จนเร่งอายุไปจนถึง 2 ปี ยางวงแหวนให้ค่าแรงในการยึดอยู่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการศึกษาก็จะสอดคล้องกับการศึกษาของ Gambolina จำนวนรอบที่ 3,000 ถึง 3,500 รอบ ให้ค่าแรงในการยึดอยู่เพิ่มขึ้น สาเหตุมาจากยางมีความแข็งเพิ่มขึ้นเนื่องจากอาจมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของยางวงแหวน [42-45]

### อภิปรายผลการทดลองหาค่าแรงดึงของยางวงแหวน

จากการทดลองกระบวนการเร่งอายุการใช้งานนั้นทำให้เกิดแรงเค้นซ้ำๆ โดยกระบวนการฟาคิด (Fatigue cycle) มีผลทำให้ยางเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของยางได้ [46] ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้นำยางวงแหวนที่ผ่านการดึงขึ้นและลงซ้ำหลายรอบมาวัดค่าแรงดึงพบว่าค่าแรงดึงลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงดึงของยางเริ่มต้น ในทุกกลุ่มการทดลองแสดงให้เห็นว่าการดึงยางขึ้นและลงซ้ำๆอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของยางวงแหวนโดยมีการหลุดของสารตัวเติม หรือมีการสลายพันธะของสายโพลีไซลอกเซนของยางได้ [43,47]

นอกจากนี้พบว่ายางวงแหวนเส้นผ่าศูนย์กลางวงในหกลีเยมมีการสึกของยางวงแหวนบริเวณด้านของหกลีเยมมากกว่าบริเวณมุมของหกลีเยมนั้น อาจส่งผลต่อการดึงยางวงแหวนจนขาด ส่งผลให้ให้ชิ้นงานมีการสึกขาดบริเวณพื้นผิวที่ด้านของหกลีเยมมากกว่าบริเวณมุมของหกลีเยมดังภาพที่ 34



**ภาพที่ 34** แสดงลักษณะการขาดของยางวงแหวนเส้นผ่าศูนย์กลางวงในหกลีเยม

จากการทดลองหาค่าแรงในการยึดอยู่และค่าแรงดึงของยางวงแหวน เมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุยางวงแหวนจนครบ 3 ปี พบว่าอาจมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน สาเหตุอาจมาจากกระบวนการพาคีตที่ทำให้โครงสร้างของยางเปลี่ยนแปลง จึงส่งผลให้ค่าแรงในการยึดอยู่และ แรงดึงลดลง

### สรุปผลการวิจัย

ยางวงแหวนที่เป็นตัวยึดของหัวกลมของรากเทียมที่ผ่านการศึกษาพบว่าทั้งวัสดุและรูปทรงต่างมีผลต่อแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวน สำหรับระบบรากเทียมฟันยิ้ม ยางวงแหวนความแข็งผิว 70 ชอร์เอ รูปทรงกระบอกด้านในหกลีเยม เป็นยางวงแหวนที่ให้แรงในการยึดอยู่มากกว่ายางวงแหวนระบบออสเทมเมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุการใช้งานเป็นระยะเวลาถึง 2 ปี

### ข้อเสนอแนะ

แม้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองจะแสดงว่ายางวงแหวนสามารถมีอายุการใช้ได้ถึง 2 ปี แต่สำหรับการใช้งานจริงแล้วมักจะมีอายุการใช้ไม่เกิน 1 ปี เนื่องจากได้สภาวะการใช้งานจริงภายในช่องปากมีอีกหลายปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานของยางวงแหวน เพื่อให้การประมาณการใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด อาจต้องมีการออกแบบกระบวนการเร่งอายุที่เหมาะสมต่อไป นอกจากนี้เมื่อการศึกษาวิจัยมีผลของแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวนที่เหมาะสม ควรทำการศึกษาความต้องการของทันตแพทย์ต่อยางวงแหวนที่พัฒนาขึ้น เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ได้ตรงกับความต้องการทั้งของทันตแพทย์และของผู้ป่วยจริงในอนาคตต่อไป

## รายการอ้างอิง

- [1] โครงการ 30 บาทผู้สูงอายุใส่ฟันปลอม-ผ่าตัดต่อกระดูกฟรี. ผู้จัดการ. (10 เมษายน 2547): 10.
- [2] Awad, M. A., et al. Measuring the effect of intra-oral implant rehabilitation on health-related quality of life in a randomized controlled clinical trial. J Dent Res. 79 (September 2000): 1659-63.
- [3] Atwood, D. A. Reduction of residual ridges: a major oral disease entity. J Prosthet Dent. 26 (March 1971): 266-79.
- [4] Tallgren, A. The continuing reduction of the residual alveolar ridges in complete denture wearers: a mixed-longitudinal study covering 25 years. J Prosthet Dent. 27 (February 1972): 120-32.
- [5] Doundoulakis, J. H., Lindquist E. S., C. C, Jeffcoat, M. K. The implant-supported overdenture as an alternative to the complete mandibular denture. J Am Dent Assoc. 134 (November 2003): 1455-8.
- [6] Walters, R. A. Vertical alveolar bone changes related to overdenture abutment teeth. J Prosthet Dent. 57 (March 1987): 309-14.
- [7] Crum, R. J., and Rooney, G. E., J. r. Alveolar bone loss in overdentures: a 5-year study. J Prosthet Dent. 40 (June 1978): 610-3.
- [8] Rissin, L., et al. Clinical comparison of masticatory performance and electromyographic activity of patients with complete dentures, overdentures, and natural teeth. J Prosthet Dent. 39 (May 1978): 508-11.
- [9] Mericske-Stern, R. Overdentures with roots or implants for elderly patients: a comparison. J Prosthet Dent. 72 (May 1994): 543-50.

- [10] Zarb, G. A., and Schmitt, A. The edentulous predicament. II: The longitudinal effectiveness of implant-supported overdentures. J Am Dent Assoc. 127 (January 1996): 66-72.
- [11] Naert, I., et al. A comparative prospective study of splinted and unsplinted Branemark implants in mandibular overdenture therapy: a preliminary report. J Prosthet Dent. 71 (May 1994): 486-92.
- [12] Attard, N. J., and Zarb, G. A. Long-term treatment outcomes in edentulous patients with implant-fixed prostheses: the Toronto study. Int J Prosthodont. 17 (April 2004): 417-24.
- [13] วารุณี ฉัตรไพฑูริย์. การฟื้นฟูสภาพช่องปากผู้ป่วยไร้ฟันด้วยฟันเทียมทับรากเทียมในขากรรไกรล่าง: รายงานผู้ป่วย 1 ราย. Khon Kaen Dental Journal. 11 (มกราคม 2008): 13-21.
- [14] Awad, M. A., et al. Comparing the efficacy of mandibular implant-retained overdentures and conventional dentures among middle-aged edentulous patients: satisfaction and functional assessment. Int J Prosthodont. 16 (February 2003): 117-22.
- [15] Trakas, T., et al. Attachment systems for implant retained overdentures: a literature review. Implant Dent. 15 (January 2006): 24-34.
- [16] Doukas, D., et al. The influence of interimplant distance and attachment type on the retention characteristics of mandibular overdentures on 2 implants: 6-month fatigue retention values. Int J Prosthodont. 21 (February 2008): 152-4.
- [17] Feine, J. S., et al. The McGill Consensus Statement on Overdentures. Montreal, Quebec, Canada. May 24-25, 2002. Int J Prosthodont. 15 (April 2002): 413-4.
- [18] Stewart, B. L., and Edwards, R. O. Retention and wear of precision-type attachments. J Prosthet Dent. 49 (January 1983): 28-34.

- [19] Botega, D. M., et al. Retention force and fatigue strength of overdenture attachment systems. J Oral Rehabil. 31 (September 2004): 884-9.
- [20] van Kampen F, C. M., van der Bilt A., Bosman, F. Retention and postinsertion maintenance of bar-clip, ball and magnet attachments in mandibular implant overdenture treatment: an in vivo comparison after 3 months of function. Clin Oral Implants Res. 14 (June 2003): 720-6.
- [21] Gillings, B. R., and Samant, A. Overdentures with magnetic attachments. Dent Clin North Am. 34 (April 1990): 683-709.
- [22] Walton, J. N. A randomized clinical trial comparing two mandibular implant overdenture designs: 3-year prosthetic outcomes using a six-field protocol. Int J Prosthodont. 16 (March 2003): 255-60.
- [23] Gotfredsen, K., and Holm, B. Implant-supported mandibular overdentures retained with ball or bar attachments: a randomized prospective 5-year study. Int J Prosthodont. 13 (February 2000): 125-30.
- [24] Naert, I., et al. A 5-year randomized clinical trial on the influence of splinted and unsplinted oral implants in the mandibular overdenture therapy. Part I: Peri-implant outcome. Clin Oral Implants Res. 9 (March 1998): 170-7.
- [25] โครงการต่างๆพื้นเทียมพระราชทาน.(ออนไลน์).2009.แหล่งที่มา:  
[http://dental.anamai.moph.go.th/oralhealth/elderly/k\\_dent/p\\_dent.html](http://dental.anamai.moph.go.th/oralhealth/elderly/k_dent/p_dent.html). (2553.  
ตุลาคม 3)
- [26] Winkler, S., et al. An overview of the O-ring implant overdenture attachment: clinical reports. J Oral Implantol. 28 (February 2002): 82-6.
- [27] Rodney, P., W. V., Robert, N . The use of ball clip attachments with an Implant supported primary secondary bar overdenture. . Int J Oral Implants 30 (May 2004): 234-39



- [28] Industrial distributor of O-ring, seals and plastic:Problem Solving Products.  
Inc.O-ring seal failure Colorado (USA).(Online).2009. Available from:  
[http://miningandhydraulics.com.au/c/mah/pub/stories/pdf/seals/oring\\_poster.pdf](http://miningandhydraulics.com.au/c/mah/pub/stories/pdf/seals/oring_poster.pdf)  
 (2009,June 3)
- [29] บุญธรรม นิธิอุทัย. เอกสารประกอบการสอนยางวงแหวนรูปตัวโอ. ปัตตานี: คณะ  
 วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี, 2530.
- [30] พงษ์ธร แซ่อูย. ยาง:ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. พิมพ์ครั้งที่2 กรุงเทพมหานคร: ศูนย์  
 เทคโนโลยีวัสดุและโลหะแห่งชาติ,2548.
- [31] ชญาภา นิ่มสุวรรณ. ยางซิลิโคน: วัสดุทางเลือกสำหรับงานที่ต้องการความท้าทาย.  
เทคโนโลยียาง. 4 (ตุลาคม 2551):3-12.
- [32] Morton, M. Rubber Technology. 1 (Month New York: Reinhold Publishing  
 Corporation, 1959): 383-389.
- [33] Winspear, G. Rubber Handbook. 1 (Month New York: Vanderbilt Company, 1958):  
 1-4.
- [34] Al-Ghafli, S. A., et al. The in vitro effect of different implant angulations and cyclic  
 dislodgement on the retentive properties of an overdenture attachment system.  
J Prosthet Dent. 102 (March 2009): 140-7.
- [35] Gulizio, M. P., et al. Effect of implant angulation upon retention of overdenture  
 attachments. J Prosthodont. 14 (January 2005): 3-11.
- [36] Steffen, R. P., W. V., Markowitz, N. R. The use of ballclip attachments with an  
 implant-supported primary-secondary bar overdenture. J Oral Implantol. 30  
 (April 2004): 234-9.

- [37] ตูลย์ ศรีอัมพร., นุชนาฏ ณ ระนอง., สมพร สวัสดิ์สรวิฬ. สมบัติทางกายภาพและทางกลของ อีลาสโตเมอร์ลิกเกเจอร์จัดฟันที่เป็นผลติภัณฑ์ทางการค้า. CU Dent J. 32 ( 2009): 11-22.
- [38] Walton, J. N., and MacEntee, M. I. A prospective study on the maintenance of implant prostheses in private practice. Int J Prosthodont. 10 (May 1997): 453-8.
- [39] MacEntee, M .I., Walton, J. N., and Glick, N. A clinical trial of patient satisfaction and prosthodontic needs with ball and bar attachments for implant-retained complete overdentures: three-year results. J Prosthet Dent. 93 (January 2005): 28-37.
- [40] Chun, H. J., et al. Stress distributions in maxillary bone surrounding overdenture implants with different overdenture attachments. J Oral Rehabil. 32 (March 2005): 193-205.
- [41] Wichmann, M. G., and Kuntze, W. Wear behavior of precision attachments. Int J Prosthodont. 12 (May 1999): 409-14.
- [42] Gamborena, J. I., et al. Retention of ERA direct overdenture attachments before and after fatigue loading. Int J Prosthodont. 10 (February 1997): 123-30.
- [43] Pigozzo, M. N., et al. The service life of implant-retained overdenture attachment systems. J Prosthet Dent. 102 (February 2009): 74-80.
- [44] Botega, D. M., Henriques, M. M., G. E., Vaz, L. G. Retention force and fatigue strength of overdenture attachment systems. J Oral Rehabil. 31 (September 2004 ): 884-9.
- [45] Cordioli, G., Majzoub, Z., and Castagna, S. Mandibular overdentures anchored to single implants: a five-year prospective study. J Prosthet Dent. 78 (February 1997): 159-65.

- [46] Rutkunas, V., Mizutani, H., and Takahashi, H. Evaluation of stable retentive properties of overdenture attachments. Stomatologija. 7 (April 2005): 115-20.
- [47] Rodrigues, R. C., et al. An in vitro study of non-axial forces upon the retention of an O-ring attachment. Clin Oral Implants Res. 20 (December 2009): 1314-9.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก แสดงผลค่าแรงในการยัดอยู่เริ่มต้นและหลังผ่านการดึงยางขึ้นลงของยางวงแหวน

ระบบ	ความ แข็ง ชอร์เอ	ยางวง แหวน	แรงในการยัดอยู่ (นิวตัน)			
			เริ่มต้น	1,440 รอบ	2,880 รอบ	4,320 รอบ
พินยิม	50	TR	18.24 ±0.79	16.82 ±0.93 <sup>a</sup>	16.02 ±1.33 <sup>a</sup>	14.18 ±1.38
		CH	20.54 ±0.89 <sup>a</sup>	19.74 ±0.77 <sup>a</sup>	18.52 ±0.93	16.65 ±1.25
		TH	23.86 ±0.72	21.28 ±1.25	17.64 ±0.61	15.81 ±1.20
		CR	25.51 ±0.67 <sup>a</sup>	24.40 ±0.67 <sup>a</sup>	20.67 ±0.79	16.20 ±1.48*
			TR	23.69 ±0.90	21.93 ±0.66	19.43 ±1.46
CH			27.74 ±0.69 <sup>a</sup>	27.12 ±1.02 <sup>a</sup>	21.77 ±0.67	20.21 ±1.15
TH			29.60 ±0.86	24.38 ±1.46	18.44 ±1.24 <sup>a</sup>	17.24 ±0.94 <sup>a</sup>
CR			30.10 ±0.67	24.69 ±0.90	20.76 ±0.96 <sup>a</sup>	21.64 ±0.75 <sup>a</sup>
		TR	29.18 ±0.95	30.56 ±0.80*	25.41 ±0.93*	17.32 ±1.58
		CH	32.31 ±0.81*	36.13 ±1.21	33.97 ±0.99	18.09 ±1.75
		TH	32.91 ±0.84*	36.54 ±0.77	27.66 ±1.25	18.75 ±1.14
		CR	36.42 ±0.93	33.37 ±1.01	26.83 ±0.82	20.76 ±0.99
ออสเทม	60	TR	32.04 ±0.75*	30.14 ±1.05*	25.89 ±0.98*	16.14 ±0.53*

ตาราง ข แสดงผลการค่าแรงดึงยางวงแหวนก่อนและหลังจากดึงยางวงแหวนขึ้นและลง

รูปท รง	ค่าแรงดึง (นิวตัน)							
	50 Mean (SD)ก่อนดึง	50 Mean (SD)หลังดึง	60 Mean(SD) ก่อนดึง	60 Mean (SD)หลังดึง	70 Mean(SD) ก่อนดึง	70 Mean (SD)หลังดึง	Oss,mean (SD) ก่อนดึง	Oss Mean (SD)หลังดึง
TR	13.80±0.60	11.92±0.67	15.79±0.61	11.91±0.51	18.59±0.89	16.91±0.66	15.95±0.63	8.89±0.73
CH	13.26±0.50	10.92±0.55	16.52±0.83	14.11±0.84	19.05±0.56	17.53±0.75	-	-
TH	10.44±0.55	8.32±0.85	13.75±0.60	11.90±0.91	15.26±0.78	12.68±0.70	-	-
CR	15.20±0.92	11.46±0.60	18.06±0.90	15.16±0.78	20.25±0.65	17.14±0.69	-	-

ค่าที่ไม่ใส่ตัวอักษรแสดงผลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มที่มีความแข็งผิวและรูปทรงเดียวกัน

ตารางที่ ค แสดงค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวน เมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุการใช้งานตั้งแต่เริ่มต้น ปีที่ 1 ปีที่ 2 และ ปีที่ 3 จำแนกตามระบบพันธึ้มความแข็งแรงของยางวงแหวน 50 ซอร์เอ

ระบบ	รูปทรงยางวงแหวน	กระบวนการเร่งอายุการใช้งาน	ค่าแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวนเมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุการใช้งาน(นิวตัน)			
			ค่าต่ำสุด (Min)	ค่าสูงสุด (Max)	ค่าเฉลี่ย $\bar{X}$	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
พันธึ้ม	ความแข็งแรงของยางวง 50 ซอร์เอ					
	TR	เริ่มต้น	17.11	19.69	18.24	0.788
		ปีที่ 1 (1,440 รอบ)	15.51	17.87	16.82	0.929
		ปีที่ 2 (2,880 รอบ)	14.06	17.51	16.02	1.326
		ปีที่ 3 (4,320 รอบ)	12.02	15.89	14.18	1.382
	CH	เริ่มต้น	19.55	21.74	20.54	0.893
		ปีที่ 1 (1,440 รอบ)	18.37	20.71	19.74	0.767
		ปีที่ 2 (2,880 รอบ)	17.38	19.82	18.52	0.930
		ปีที่ 3 (4,320 รอบ)	15.00	18.65	16.65	1.245
	TH	เริ่มต้น	22.77	24.99	23.86	0.724
		ปีที่ 1 (1,440 รอบ)	19.00	22.93	21.28	1.248
		ปีที่ 2 (2,880 รอบ)	16.47	18.65	17.64	0.612
		ปีที่ 3 (4,320 รอบ)	14.45	17.87	15.81	1.197
	CR	เริ่มต้น	24.18	26.53	25.51	0.671
		ปีที่ 1 (1,440 รอบ)	23.26	25.17	24.40	0.669
		ปีที่ 2 (2,880 รอบ)	19.46	21.72	20.67	0.791
		ปีที่ 3 (4,320 รอบ)	14.16	17.87	16.20	1.476

**ตารางที่ ง** แสดงค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแรงในการยึดอยู่ของเมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุการใช้งานตั้งแต่เริ่มต้น ปีที่ 1 ปีที่ 2 และ ปีที่ 3 จำแนกตามระบบ พันยึดความแข็งแรงของยางวงแหวน 60 ซอร์เอ

ระบบ	รูปทรงยางวงแหวน	กระบวนการเร่งอายุการใช้งาน	ค่าแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวนเมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุการใช้งาน(นิวตัน)			
			ค่าต่ำสุด (Min)	ค่าสูงสุด (Max)	ค่าเฉลี่ย $\bar{X}$	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
พันยึด	ความแข็งแรงของยางวง 60 ซอร์เอ					
	TR	เริ่มต้น	22.09	24.91	23.69	0.897
		ปีที่ 1 (1,440 รอบ)	21.15	22.91	21.93	0.655
		ปีที่ 2 (2,880 รอบ)	17.20	20.77	19.43	1.459
		ปีที่ 3 (4,320 รอบ)	15.24	18.98	17.59	1.204
	CH	เริ่มต้น	26.30	28.45	27.74	0.693
		ปีที่ 1 (1,440 รอบ)	25.04	28.46	27.12	1.015
		ปีที่ 2 (2,880 รอบ)	20.71	22.71	21.77	0.669
		ปีที่ 3 (4,320 รอบ)	18.15	21.98	20.21	1.151
	TH	เริ่มต้น	28.17	30.73	29.60	0.858
		ปีที่ 1 (1,440 รอบ)	22.22	25.92	24.38	1.475
		ปีที่ 2 (2,880 รอบ)	16.04	19.87	18.44	1.235
		ปีที่ 3 (4,320 รอบ)	16.07	18.59	17.24	0.938
	CR	เริ่มต้น	29.38	31.65	30.10	0.669
		ปีที่ 1 (1,440 รอบ)	23.06	25.76	24.69	0.897
		ปีที่ 2 (2,880 รอบ)	19.55	22.47	20.76	0.955
ปีที่ 3 (4,320 รอบ)		20.15	22.75	21.64	0.751	

**ตารางที่ ๑** แสดงค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแรงในการยึดอยู่ของเมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุการใช้งานตั้งแต่เริ่มต้น ปีที่ 1 ปีที่ 2 และ ปีที่ 3 จำแนกตามระบบ พันยึดความแข็งแรงของยางวงแหวน 0 ซอร์เอ

ระบบ	รูปทรงยางวงแหวน	กระบวนการเร่งอายุการใช้งาน	ค่าแรงในการยึดอยู่ของยางวงแหวนเมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุการใช้งาน(นิวตัน)			
			ค่าต่ำสุด (Min)	ค่าสูงสุด (Max)	ค่าเฉลี่ย $\bar{X}$	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
พันยึด	ความแข็งแรงของยางวง 70 ซอร์เอ					
	TR	เริ่มต้น	28.16	30.76	29.18	0.947
		ปีที่ 1 (1,440 รอบ)	29.45	31.71	30.56	0.806
		ปีที่ 2 (2,880 รอบ)	23.29	26.63	25.41	0.933
		ปีที่ 3 (4,320 รอบ)	15.02	18.74	17.32	1.576
		รวม	24.59	26.37	25.62	0.626
	CH	เริ่มต้น	31.03	33.44	32.31	0.811
		ปีที่ 1 (1,440 รอบ)	34.11	37.42	36.13	1.213
		ปีที่ 2 (2,880 รอบ)	32.62	35.93	33.97	0.991
		ปีที่ 3 (4,320 รอบ)	15.24	20.71	18.09	1.749
		รวม	29.12	30.59	30.12	0.419
	TH	เริ่มต้น	31.65	33.97	32.91	0.841
		ปีที่ 1 (1,440 รอบ)	35.46	37.76	36.54	0.773
		ปีที่ 2 (2,880 รอบ)	26.33	29.91	27.66	1.250
		ปีที่ 3 (4,320 รอบ)	17.58	20.92	18.75	1.137
		รวม	28.36	29.59	28.97	0.417
	CR	เริ่มต้น	35.59	38.25	36.42	0.928
		ปีที่ 1 (1,440 รอบ)	31.31	34.82	33.37	1.007
		ปีที่ 2 (2,880 รอบ)	25.57	28.06	26.83	0.824
		ปีที่ 3 (4,320 รอบ)	19.02	21.76	20.76	0.986
รวม		28.35	30.37	29.34	0.614	



**ตาราง จ** การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) ด้วยการใช้การทดสอบแบบลีวิน (Levene's Test) ของข้อมูลค่าแรงในการยึดอยู่เริ่มต้นและหลังผ่านการดึงยาง ขึ้นลงของยางวงแหวน

Test of Homogeneity of Variances			
tensile			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.795	12	117	.655

**ตาราง ช** การทดสอบข้อมูลค่าแรงในการยึดอยู่เริ่มต้นและหลังผ่านการดึงยางขึ้นลงของยางวงแหวน

ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two way ANOVA)

ANOVA					
tensile	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3309.132	12	275.761	412.758	.000
Within Groups	78.167	117	.668		
Total	3387.299	129			

ตาราง ข การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) และ อินดิเพนเดนท์ ที่ทดสอบของข้อมูลค่าแรงดึงเริ่มต้นและหลังผ่านการดึงยางขึ้นลงของยางวงTR

Group Statistics

tensile	Levene's Test			
	Sig	Sig 2 tail	Mean difference	SD
	0.983	0.000	13.80 11.19	0.608 0.670

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.000	.983	6.599	18	.000	18.89300	.286314	1.287777	2.490823
Equal variances not assumed			6.599	17.833	.000	18.89300	.286314	1.287373	2.491227

ตาราง ๓ การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) และ อินดิเพนเดนท์ ทีเทสของข้อมูลค่าแรงดึงเริ่มต้นและหลังผ่านการดึงอย่างขึ้นลงของยางวง50CH

Group Statistics					
tensile	time	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
	before	10	13.26201	.507269	.160413
	1440 cycle	10	10.92301	.551979	.174551

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	1.119	.304	9.866	18	.000	2.339000	.237066	1.840943	2.837057
Equal variances not assumed			9.866	17.873	.000	2.339000	.237066	1.840689	2.837311

ตาราง ญ การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) และ  
อินดิเพนเดนท์ ทีเทสของข้อมูลค่าแรงดึงเริ่มต้นและหลังผ่านการดึงอย่างขึ้นลงของยางวง 50 TH

Group Statistics					
tensile	time	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
	before	10	10.44341	.552944	.174856
	1440 cycle	10	83.3670	.848169	.268215

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	3.360	.083	6.580	18	.000	2.106700	.320178	1.434031	2.779369
Equal variances not assumed			6.580	15.480	.000	2.106700	.320178	1.426094	2.787306

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ๗ การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) และ อินดิเพนเดนท์ ที่ทดสอบของข้อมูลค่าแรงดึงเริ่มต้นและหลังผ่านการดึงยั้งขึ้นลงของยางวง50CR

Group Statistics					
tensile	time	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
	before	10	15.20161	.921713	.291471
	1440 cycle	10	11.46071	.604642	.191204

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	3.269	.087	10.732	18	.000	3.740900	.348590	3.008541	4.473259
Equal variances not assumed			10.732	15.536	.000	3.740900	.348590	3.000124	4.481676

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ๗ การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) และ อินดิเพนเดนท์ ทีเทสของข้อมูลค่าแรงดึงเริ่มต้นและหลังผ่านการดึงยางขึ้นลงของยางวง 60 TR

Group Statistics					
tensile	time	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
	before	10	15.79031	.610029	.192908
	1440 cycle	10	11.90901	.517321	.163591

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.537	.473	15.345	18	.000	3.881300	.252934	3.349905	4.412695
Equal variances not assumed			15.345	17.532	.000	3.881300	.252934	3.348887	4.413713

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ฐ การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) และ อินดิเพนเดนท์ ที่ทดสอบของข้อมูลค่าแรงดึงเริ่มต้นและหลังผ่านการดึงยางขึ้นลงของยางวง 60 CH

Group Statistics					
tensile	time	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
	before	10	16.51631	.835674	.264263
	1440 cycle	10	14.10561	.844083	.266922

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.002	.969	6.418	18	.000	2.410700	.375610	1.621573	3.199827
Equal variances not assumed			6.418	17.998	.000	2.410700	.375610	1.621567	3.199833

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ๗ การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) และ อินดิเพนเดนซ์ ที่ทดสอบของข้อมูลค่าแรงดึงเริ่มต้นและหลังผ่านการดึงยางขึ้นลงของยางวง 60 TH

Group Statistics					
tensile	time	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
	before	10	1.37485E1	.595858	.188427
	1440 cycle	10	1.18957E1	.910951	.288068

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.497	.490	5.383	18	.000	1.852800	.344221	1.129619	2.575981
Equal variances not assumed			5.383	15.510	.000	1.852800	.344221	1.121205	2.584395

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตาราง ๓ การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) และ อินดิเพนเดนท์ ทีเทสของข้อมูลค่าแรงดึงเริ่มต้นและหลังผ่านการดึงยางขึ้นลงของยางวง 60 CR

Group Statistics					
tensile	time	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
	before	10	18.06021	.900025	.284613
	1440 cycle	10	15.16251	.779905	.246628

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.104	.751	7.694	18	.000	2.897700	.376603	2.106487	3.688913
Equal variances not assumed			7.694	17.643	.000	2.897700	.376603	2.105337	3.690063

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ๓ การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) และ อินดิเพนเดนซ์ ที่ทดสอบของข้อมูลค่าแรงดึงเริ่มต้นและหลังผ่านการดึงยางขึ้นลงของยางวง 70TR

Group Statistics					
tensile	time	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
	before	10	18.59391	.886498	.280335
	1440 cycle	10	16.91161	.655309	.207227

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.749	.398	4.826	18	.000	1.682300	.348613	.949892	2.414708
Equal variances not assumed			4.826	16.574	.000	1.682300	.348613	.945350	2.419250

ตาราง ด การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) และ อินดิเพนเดนท์ ทีเทสของข้อมูลค่าแรงดึงเริ่มต้นและหลังผ่านการดึงยางขึ้นลงของยางวง70CH

Group Statistics					
	time	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
tensile	before	10	19.05121	.557352	.176250
	1440 cycle	10	17.52721	.748743	.236773

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	2.140	.161	5.163	18	.000	1.524000	.295171	.903870	2.144130
Equal variances not assumed			5.163	16.631	.000	1.524000	.295171	.900190	2.147810

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ต การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) และ อินดิเพนเดนท์ ทีเทสของข้อมูลค่าแรงดึงเริ่มต้นและหลังผ่านการดึงยางขึ้นลงของยางวง70TH

Group Statistics					
	time	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
tensile	before	10	15.26201	.784534	.248091
	1440 cycle	10	12.62851	.702963	.222297

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.445	.513	7.906	18	.000	2.633500	.333114	1.933653	3.333347
Equal variances not assumed			7.906	17.787	.000	2.633500	.333114	1.933053	3.333947

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ๓ การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) และ อินดิเพนเดนท์ ทีเทสของข้อมูลค่าแรงดึงเริ่มต้นและหลังผ่านการดึงยางขึ้นลงของยางวง 70CR

Group Statistics					
	time	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
tensile	before	10	20.24511	.653266	.206581
	1440 cycle	10	17.13891	.690662	.218406

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.002	.962	10.332	18	.000	3.106200	.300628	2.474605	3.737795
Equal variances not assumed			10.332	17.945	.000	3.106200	.300628	2.474465	3.737935

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ๓ การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) และ อินดิเพนเดนท์ ทีเทสของข้อมูลค่าแรงดึงเริ่มต้นและหลังผ่านการดึงยางขึ้นลงของยางวงระบบ ออกสเทม

Group Statistics					
	time	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
tensile	before	10	15.94691	.617286	.195203
	1440 cycle	10	8.89050	.727306	.229994

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.039	.845	23.392	18	.000	7.056400	.301665	6.422626	7.690174
Equal variances not assumed			23.392	17.537	.000	7.056400	.301665	6.421423	7.691377

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปริยา คิตติ เกิดที่กรุงเทพมหานคร เมื่อวันที่ 24 มิถุนายน พ.ศ. 2525 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ทันตแพทยศาสตร์บัณฑิต จากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เมื่อปีพ.ศ. 2549 และเข้าทำงานในตำแหน่งอาจารย์ ประจำ วิทยาลัยสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดขอนแก่น ระหว่าง พ.ศ. 2549 – 2551 ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อ ในหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยพัชกร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย