



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ต้นแบบการทำผลิตภัณฑ์จากยางพาราที่ใช้ทางทันตกรรมจัดฟัน

Preliminary Orthodontic Products from Latex

โดย

ผศ.ดร. ไชยรัตน์ เฉลิมรัตนโรจน์

พฤษภาคม 2551

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ต้นแบบการทำผลิตภัณฑ์จากยางพาราที่ใช้ทางทันตกรรมจัดฟัน

Preliminary Orthodontic Products from Latex

โดย

ผศ.ดร. ไชยรัตน์ เถลิมนรัตนโรจน์

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปของผู้บริหาร (Executive Summary)

ปัจจุบันการใช้งานแถบยางดิ่งฟัน และ โซ่ยางดิ่งฟันในการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันในประเทศไทย มีการนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด และมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงสูงเมื่อนำมาใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการเริ่มต้น ต้นแบบผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติที่ใช้ทางด้านทันตกรรมจัดฟัน ให้มีขนาดและคุณภาพเทียบเท่ากับผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ ในเบื้องต้นผู้วิจัยได้นำตัวอย่างยางทางทันตกรรมจัดฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศ 3 บริษัท ที่มีจำหน่ายในประเทศไทย และรับรองมาตรฐานโดยประเทศผู้ผลิต คือ สหรัฐอเมริกา นำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐาน และทดสอบการสูญเสียแรง การทดสอบการสูญเสียแรงมีความสำคัญในแง่การใช้งานโดยทันตแพทย์จัดฟัน เนื่องจากการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันต้องการแรงที่คงที่เป็นเวลาอย่างต่อเนื่องอย่างน้อย 1 เดือน จากการทดสอบพบว่า แถบยางดิ่งฟันของ บริษัท American Orthodontics และ โซ่ยางดิ่งฟันของ บริษัทOrmco® power chain II มีคุณสมบัติทางกายภาพดีที่สุดและการสูญเสียแรงน้อย จึงนำมาเป็นต้นแบบในการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ ในส่วนของแถบยางดิ่งฟัน ได้ผลิตให้มีขนาดเท่ากับยางต้นแบบแต่โซ่ยางดิ่งฟันยังไม่สามารถผลิตให้มีรูปร่างเหมือนกับต้นแบบได้ แต่ได้ผลิตให้มีความยาวและความห่างของโซ่แต่ละช่วงเท่ากับต้นแบบ

ในการนี้นักวิจัยและทีมวิจัยได้เลือกใช้วิธีการผลิต โดยการจุ่มแบบสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อน ที่ใช้ PVME เป็นสารไวความร้อน โดยทำการเปรียบเทียบสมบัติทางด้านเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อหาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ แล้วจึงเตรียมน้ำยางคอมพอนด์โดยแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์ แล้วทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ เพื่อได้สูตรน้ำยางคอมพอนด์ที่มีสมบัติทางกายภาพดีที่สุด แล้วจึงนำสูตรยางที่ได้ ไปเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ทั้ง แถบยางดิ่งฟันและโซ่ยางดิ่งฟัน ในส่วนของแถบยางดิ่งฟันใช้แท่งแก้วในการผลิตตัวอย่าง การทดลองได้ปรับสูตรน้ำยางและวิธีการจุ่มเพื่อให้ได้ความหนาเท่ากับยางต้นแบบก่อนนำมาตัดเป็นแถบยางดิ่งฟัน ส่วนโซ่ยางดิ่งฟัน ได้ดัดแปลงแบบชุบลวด 14 เส้นที่สร้างขึ้นเองจากลวดเหล็กไร้สนิม ได้ทดลองจนได้ความหนาเท่ากับยางต้นแบบก่อนนำมาตัดให้ได้โซ่ยางดิ่งฟัน แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีสมบัติทางกายภาพและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

ในการทดสอบค่าความเป็นพิษของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ พบว่าผลิตภัณฑ์ยางที่ผลิตได้ไม่เป็นพิษต่อเซลล์ไฟโบรบลาสต์เมื่อทดสอบความเป็นพิษด้วยวิธี MTT assay และเมื่อทำการเลี้ยงเซลล์ไฟโบรบลาสต์ในอาหารเลี้ยงเซลล์ที่แช่ยางดิ่งฟันที่ผลิตได้ เซลล์ไฟโบรบลาสต์ที่ได้ยังสามารถเจริญเติบโตได้

จากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากโครงการนี้ ในส่วนของแถบยางดิ่งพื้นมีคุณสมบัติทางกายภาพตามต้องการ แต่ต้องทดสอบสมบัติด้านการแพ้ง่อนจึงนำไปทดสอบประสิทธิภาพการเคลื่อนพื้นในส่วนของโซ่ยางดิ่งพื้นแม้คุณสมบัติทางกายภาพจะดีกว่าต้นแบบ แต่ยังมีความจำเป็นต้องพัฒนารูปร่างและขนาดใกล้เคียงกับต้นแบบ ซึ่งหากสามารถสร้างตัวทดลองที่สามารถให้ได้รูปร่างเป็นโซ่หรือใช้วิธีการเตรียมแบบอื่นได้ เช่น การฉีดยางเข้าเบ้าพิมพ์ (Injection Processing) โดยใช้ยางแห้งเป็นต้น

บทคัดย่อ

จากการศึกษาด้านแบบการทำผลิตภัณฑ์จากยางพาราที่ใช้ทางทันตกรรมจัดฟัน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตคือ แถบยางดิ่งฟันและโซ่ยางดิ่งฟัน โดยใช้วิธีการจุ่มน้ำยางในระบบ สูญเสียความเสถียรด้วยความร้อน โดยเตรียมน้ำยางคอมเปานด์ซึ่งแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์ แล้วทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ เพื่อได้สูตรน้ำยางคอมเปานด์ที่มีสมบัติทางกายภาพดีที่สุด แล้วจึงนำสูตรยางที่ได้ไปเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและการสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศ 3 บริษัท (G&H, Ormco และ American Orthodontics) และโซ่ยางดิ่งฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศ 3 บริษัท (Unitek ® C module spool chains, Ormco ® power chain II และ Masel ® plastic chains) เพื่อหาด้านแบบที่มีคุณสมบัติดีที่สุด ซึ่งพบว่า แถบยางดิ่งฟันของบริษัท American Orthodontics และ โซ่ยางดิ่งฟันของบริษัท Ormco ® power chain II เหมาะสมที่จะใช้เป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำยางคอมเปานด์ที่มีสมบัติทางกายภาพดีที่สุด

ขั้นตอนการผลิตในส่วนของแถบยางดิ่งฟันใช้แท่งแก้วในการผลิตท่อยาง การทดลองได้ปรับสูตรน้ำยางและวิธีการจุ่มเพื่อให้ได้ความหนาเท่ากับยางต้นแบบก่อนนำมาตัดเป็นแถบยางดิ่งฟัน ส่วนโซ่ยางดิ่งฟันได้ดัดแปลงแบบชุบลด 14 เส้นที่สร้างขึ้นเองจากลวดเหล็กไร้สนิม ได้ทดลองจนได้ความหนาเท่ากับยางต้นแบบก่อนนำมาตัดให้ได้โซ่ยางดิ่งฟัน นำแถบยางดิ่งฟันและโซ่ยางดิ่งฟันไปเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ พบว่า แถบยางดิ่งฟันและโซ่ยางดิ่งฟันที่ผลิตได้มีสมบัติทางกายภาพและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

ในการทดสอบค่าความเป็นพิษของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ พบว่าผลิตภัณฑ์ยางที่ผลิตได้ไม่เป็นพิษต่อเซลล์ไฟโบรบลาสต์เมื่อทดสอบความเป็นพิษด้วยวิธี MTT assay และเมื่อทำการเลี้ยงเซลล์ไฟโบรบลาสต์ในอาหารเลี้ยงเซลล์ที่แช่ยางดิ่งฟันที่ผลิตได้ เซลล์ไฟโบรบลาสต์สามารถเจริญเติบโตได้

Abstract

The study aimed to produce natural rubber products for orthodontic treatment which are elastic bands and elastic chains using natural rubber. The products were prepared using heat sensitive dipping system. The natural rubber latex compound was prepared by adjusting the vulcanizing agents to achieve a formula with best physical properties. 3 imported elastic bands (G&H,Ormco and American Orthodontics) and 3 imported elastic chains (Unitek ® C module spool chains,Ormco ® power chain II and Maseil ® plastic chains) were compared in term of both physical properties and percentages of force degradation to find the one with best properties of each group. American Orthodontics elastic band and Ormco power chain II were selected as the prototype for producing elastic bands and chains from our natural rubber formula. The natural rubber bands were prepared using glass rod for dipping to form a tube. The elastic chains were prepared using series of 14 stainless steel wires soldered to the hanging wire during dipping process. Both products have the same thickness as the prototype before cutting into elastic bands and chains. The natural rubber products were compared to the prototype imported products by physical properties and force degradation tests. The results showed that the natural rubber products have better physical properties and less percentages of force degradation than those of prototype imported products. For allergic test, the natural rubber product showed no allergy to the fibroblast cells when the MTT assay were used. The fibroblast cells can grow normally in the culture medium.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนทุนในการวิจัย และแนวทางในการวิจัย ขอขอบคุณศูนย์วิจัยกลาง คณะทันตแพทยศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย ขอขอบคุณ ผศ. ดร. อรสา ภัทรไพบุญชัย ผู้อำนวยการศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ยางพารา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การช่วยเหลือและให้คำปรึกษา ตลอดจนชี้แนะเทคนิคต่าง ๆ ในการจุ่มยางแบบสูญญากาศด้วยความเสถียรด้วยความร้อน ตลอดระยะเวลาการวิจัย

ผู้วิจัย

ผศ.ดร. ไชยรัตน์ เกลิมรัตนโรจน์

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

หาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

19 พฤศจิกายน 2551

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปของผู้บริหาร.....	I
บทคัดย่อ.....	III
Abstract.....	IV
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 น้ำยาง.....	4
2.2 กระบวนการจุ่มน้ำยาง.....	5
2.3 การจุ่มแบบสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อน.....	6
2.3.1 ระบบน้ำยางที่ใช้สารไวความร้อน PVME.....	6
2.3.2 กลไกของการไวต่อความร้อนของน้ำยาง.....	7
2.4 ผลึกภัณฑ์จากยางพาราที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน.....	8
2.4.1 แถบยางดัดฟัน.....	8
2.4.2 โซ่ยางดัดฟัน.....	8
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
3. สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมี.....	10
3.2 อุปกรณ์.....	11
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	12
3.3.1 เปรียบเทียบขนาดของผลึกภัณฑ์, ค่าโมดูลัสและสมบัติการสูญเสียแรงของ แถบยางดัดฟันและโซ่ยางดัดฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศเพื่อใช้เป็นผลึกภัณฑ์	

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ต้นแบบแถบยางในการผลิต.....	13
3.3.1.1 การทดสอบหาค่าโมดูลัสและสมบัติการสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งพิน....	13
3.3.1.2 การทดสอบหาค่าโมดูลัสและสมบัติการสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพิน.....	14
3.3.2 ศึกษาผลของปริมาณสารเคมีที่ใช้ต่อสมบัติทางกายภาพทางยางตามที่ต้องการ	15
3.3.3 การเตรียมน้ำยางผสมสารเคมีแบบใช้สารไวความร้อน.....	16
3.3.4 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มยางที่เตรียมได้.....	17
3.3.4.1 300 เปอร์เซนต์โมดูลัส.....	18
3.3.4.2 สมบัติความต้านทานแรงดึงของแผ่นยาง.....	18
3.3.4.3 ความสามารถในการยืดเมื่อขาด.....	18
3.3.5 ศึกษาวิธีการผลิตแถบยางดิ่งพินจากน้ำยางสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อน.	19
3.3.6 ศึกษาวิธีการผลิตโซ่ยางดิ่งพินจากน้ำยางสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อน....	19
3.3.7 เปรียบเทียบค่าโมดูลัสและสมบัติการสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งพินและ โซ่ยางดิ่งพินที่ผลิตได้กับผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่นำเข้าจากต่างประเทศ.....	20
3.3.8 ศึกษาวิธีการและทดสอบความเป็นพิษของแถบยางดิ่งพินในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เซลล์ไฟโบรบลาส	
3.3.8.1 การทดสอบความเป็นพิษของแถบยางดิ่งพินในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี MTT assay โดยใช้เซลล์ไฟโบรบลาส.....	21
3.3.8.2 การเลี้ยงเซลล์ไฟโบรบลาสโดยใช้อาหารเลี้ยงเซลล์ที่แช่แถบยางดิ่งพิน...	21
4. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	
4.1 ค่าโมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางและ โซ่ยางดิ่งพินที่นำเข้าจาก ต่างประเทศเพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ.....	22
4.1.1 โมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งพิน.....	22
4.1.2 โมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพิน.....	28
4.2 สมบัติทางกายภาพของสูตรน้ำยางคอมเพานด์เมื่อแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์.....	33
4.3 เปรียบเทียบค่าโมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งพินและ โซ่ยางดิ่งพินที่ผลิตได้กับผลิตภัณฑ์ต้นแบบ.....	36
4.3.1 โมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งพินที่ผลิตได้เทียบกับ แถบยางดิ่งพินต้นแบบ.....	36

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.3.2 โมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตได้เทียบกับ แถบยางคิงฟันต้นแบบ.....	42
4.4 การทดสอบความเป็นพิษของแถบยางคิงฟันในห้องปฏิบัติการโดยใช้เซลล์ ไฟโบรบลาสต์.....	47
4.4.1 การทดสอบความเป็นพิษของแถบยางคิงฟันในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี MTT assay โดยใช้เซลล์ไฟโบรบลาสต์.....	47
4.4.2 ผลของการเลี้ยงเซลล์ไฟโบรบลาสต์โดยใช้อาหารเลี้ยงเซลล์ที่แช่แถบยางคิงฟัน	47
5 สรุปผลการทดลอง	
5.1 สรุป.....	49
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	50
บรรณานุกรม.....	51
ภาคผนวก.....	53
1. บทความสำหรับการเผยแพร่.....	53
บทความที่ 1 แถบยางคิงฟันที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ.....	53
บทความที่ 2 โซ่ยางคิงฟันที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ.....	69
2. กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำผลจากโครงการไปใช้ประโยชน์.....	88
3. ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ.....	89

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สูตรนำยางคอมเพานด์ที่ใช้ในการศึกษาผลของปริมาณสารวัลคาไนซ์ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มยาง.....	16
4.1 ค่าโมดูลัสของแฉะยางคิงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 230, 400 และ 567 เปอร์เซนต์ของระยะยัด.....	22
4.2 เปอร์เซนต์การสูญเสียแรงของแฉะยางคิงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 230, 400 และ 567 เปอร์เซนต์ของระยะยัด.....	25
4.3 ค่าโมดูลัสของโซ่ยางคิงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 29.00, 61.00 และ 93.50 เปอร์เซนต์ของระยะยัด.....	28
4.4 เปอร์เซนต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางคิงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 29.00, 61.00 และ 93.50 เปอร์เซนต์ของระยะยัด	31
4.5 สมบัติทางกายภาพของฟิล์มยางเมื่อแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์.....	33
4.6 ค่าโมดูลัสของแฉะยางคิงฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแฉะยางคิงฟันต้นแบบที่ 230, 400 และ 567 เปอร์เซนต์ของระยะยัด.....	36
4.7 เปอร์เซนต์การสูญเสียแรงของแฉะยางคิงฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแฉะยางคิงฟันต้นแบบที่ 230, 400 และ 567 เปอร์เซนต์ของระยะยัด.....	39
4.8 ค่าโมดูลัสของโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโซ่ยางคิงฟันต้นแบบที่ 29.00, 61.00 และ 93.50 เปอร์เซนต์ของระยะยัด.....	42
4.9 เปอร์เซนต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโซ่ยางคิงฟันต้นแบบที่ 29.00, 61.00 และ 93.50 เปอร์เซนต์ของระยะยัด.....	45
4.10 ร้อยละของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ที่มีชีวิต (% cell viability) เมื่อวัดด้วยวิธี MTT assay	47

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะพิกวนภาคน้ำยาง.....	4
2.2 สูตรโครงสร้างของเลซิทิน.....	5
3.1 แบบหุบขวด 14 เส้น เพื่อผลิตโซ่ยางคิงฟัน.....	11
3.2 รูปร่างและขนาดของแถบยางคิงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศ.....	13
3.3 (ก) ลักษณะของตะขอที่คิงขึ้นทดสอบในการวัดแรง.....	13
3.3 (ข) การคิงขึ้นทดสอบออกทดสอบออกที่ 230, 400 และ 567 เปอร์เซนต์ของระยะยืดแล้วค้างไว้.....	13
3.4 รูปร่างและขนาดขึ้นตัวอย่างโซ่ยางคิงฟันจำนวน 6 ยูนิต ของบริษัทที่นำเข้าจากต่างประเทศ.....	14
3.5 (ก) โครงลวดสแตนเลสโดยมีระยะ โดยมีระยะที่ 29.00, 61.00 และ 93.50 เปอร์เซนต์ของระยะยืด.....	15
3.5 (ข) การคิงขึ้นทดสอบโซ่ยางคิงฟันด้วยเครื่องคิงยาง LLOYD II.....	15
3.6 (ก) แบบหุบชนิดสแตนเลส จุ่มลงในน้ำยางผสมสารเคมีสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อน.....	17
(ข) การล้าง แบบ wet leaching ด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง.....	17
3.7 (ก) แท่งแก้วที่ใช้จุ่มลงไปใต้น้ำยางผสมสารเคมีแบบสูญเสียสภาพด้วยความร้อน	
(ข) หลังจากการวัดคาบไชน์แล้ว, แถบยางคิงฟันที่ตัดจากฟิล์มจากที่เตรียมได้.....	19
3.8 รูปร่างและลักษณะของโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตได้.....	20
4.1 ค่าโมดูลัสของแถบยางคิงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 230 เปอร์เซนต์ของระยะยืด	23
4.2 ค่าโมดูลัสของแถบยางคิงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 400 เปอร์เซนต์ของระยะยืด	23
4.3 ค่าโมดูลัสของแถบยางคิงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 567 เปอร์เซนต์ของระยะยืด	24
4.4 เปอร์เซนต์การสูญเสียแรงของแถบยางคิงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 230 เปอร์เซนต์ของระยะยืด.....	26
4.5 เปอร์เซนต์การสูญเสียแรงของแถบยางคิงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 400 เปอร์เซนต์ของระยะยืด.....	26
4.6 เปอร์เซนต์การสูญเสียแรงของแถบยางคิงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 567 เปอร์เซนต์ของระยะยืด.....	27
4.7 ค่าโมดูลัสของโซ่ยางคิงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 29.00 เปอร์เซนต์ของระยะยืด	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 ค่าโมดูลัสของโซ่ยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 61.00 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด	29
4.9 ค่าโมดูลัสของโซ่ยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด	30
4.10 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 29.00 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด.....	31
4.11 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 61.00 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด.....	32
4.12 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด.....	32
4.13 300 เปอร์เซ็นต์โมดูลัสของฟิล์มยางเมื่อแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์.....	34
4.14 ความต้านทานต่อแรงดึงของฟิล์มยางเมื่อแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์.....	34
4.15 ความสามารถในการยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางเมื่อแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์.....	35
4.16 ค่าโมดูลัสของแถบยางดิ่งพืนที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแถบยางดิ่งพืนต้นแบบที่ 230 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด.....	37
4.17 ค่าโมดูลัสของแถบยางดิ่งพืนที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแถบยางดิ่งพืนต้นแบบที่ 400 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด.....	37
4.18 ค่าโมดูลัสของแถบยางดิ่งพืนที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแถบยางดิ่งพืนต้นแบบที่ 567 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด.....	38
4.19 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งพืนที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแถบยางดิ่งพืน ต้นแบบที่ 230 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด.....	40
4.20 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งพืนที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแถบยางดิ่งพืน ต้นแบบที่ 400 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด.....	40
4.21 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งพืนที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแถบยางดิ่งพืน ต้นแบบที่ 567 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด.....	41
4.22 ค่าโมดูลัสของโซ่ยางดิ่งพืนที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโซ่ยางดิ่งพืนต้นแบบที่ 29.00 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด.....	43
4.23 ค่าโมดูลัสของโซ่ยางดิ่งพืนที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโซ่ยางดิ่งพืนต้นแบบที่ 61.00 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด.....	43
4.24 ค่าโมดูลัสของโซ่ยางดิ่งพืนที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโซ่ยางดิ่งพืนต้นแบบที่ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด.....	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.25 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางคังฟั่นที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโซ่ยางคังฟั่น ต้นแบบที่ 29.00 เปอร์เซ็นต์ของระยะยึด.....	45
4.26 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางคังฟั่นที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโซ่ยางคังฟั่น ต้นแบบที่ 61.00 เปอร์เซ็นต์ของระยะยึด.....	46
4.27 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางคังฟั่นที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโซ่ยางคังฟั่น ต้นแบบที่ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยึด.....	46
4.28 (ก) รูปร่างเซลล์โบริบลาสกลุ่มควบคุม (ใช้อาหารเลี้ยงเซลล์).....	48
(ข) รูปร่างเซลล์โบริบลาสเมื่อใช้อาหารเลี้ยงเซลล์ที่แช่แถบยางคังฟั่น.....	48

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ประเทศไทยสามารถผลิตยางธรรมชาติได้จำนวนมากเป็นอันดับ 1 ของโลกในปี พ.ศ.2545 สามารถพัฒนาศักยภาพในการผลิตได้ประมาณสองล้านตันเศษหรือกว่าหนึ่งในสามของผลผลิตของโลก โดยปริมาณการผลิตประมาณ 90% เป็นการผลิตเพื่อการส่งออกคิดเป็นมูลค่าการส่งออกกว่าปีละ 50,000 ล้านบาท ซึ่งพบว่าการส่งออกส่วนใหญ่เป็นผลผลิตที่ยังไม่แปรรูปจึงทำให้มีมูลค่าต่ำ โดยสามารถนำยางพาราเพียงประมาณ 10% ของผลผลิตทั้งหมดมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยาง ซึ่งได้แก่ ถุงมือยาง, ถุงยางอนามัย และยางรัดของ เป็นต้น¹

สำหรับในทางทันตกรรมจัดฟันมีการนำยางมาใช้งานในหลายรูปแบบ ได้แก่ ยางรัดฟัน (Elastic ligatures), โซ่ยางดึงฟัน (Elastic chains), แถบยางดึงฟัน (Elastic bands), ยางแยกฟัน (Elastic separators) เป็นต้น ผู้ป่วยที่รักษาทางทันตกรรมจัดฟันส่วนใหญ่จำเป็นต้องเคลื่อนฟันมาปิดช่องว่างจากการถอนฟัน, ปิดช่องว่างบริเวณฟันหน้า และการแก้ไขการบิดหมุนของฟัน ซึ่งการใช้แถบยางดึงฟัน และ โซ่ยางดึงฟันเป็นวิธีที่นิยม² เนื่องจากโซ่ยางดึงฟันใช้งานง่าย, ไม่ต้องอาศัยความร่วมมือของผู้ป่วยมาก ส่วนการใช้แถบยางดึงฟันในการเคลื่อนฟันมีประสิทธิภาพดี แต่การใช้แถบยางดึงฟัน และ โซ่ยางดึงฟันในการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันในประเทศไทยเป็นการนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด และมีราคาแพงโดยแถบยางดึงฟันจำนวนบรรจุ 100 วง / ซองในราคา 30 บาท ซึ่งผู้ป่วยต้องเปลี่ยนแถบยางดึงฟันทุกวันเป็นเวลาประมาณ 6-8 เดือน ทำให้ต้นทุนในการรักษาผู้ป่วยสูง ในปัจจุบันโซ่ยางดึงฟันมีการผลิตจากยางสังเคราะห์เพียงอย่างเดียวเนื่องจากกังวลเกี่ยวกับการแพ้ยางธรรมชาติ ซึ่งโซ่ยางดึงฟันที่ผลิตจากยางสังเคราะห์มีข้อด้อยคือ แรงที่ได้จากโซ่ยางดึงฟันซึ่งผลิตจากยางสังเคราะห์ (Alastik chains) จะลดลงประมาณ 75% ของแรงเริ่มต้นใน 24 ชั่วโมงแรกของการให้แรง³ ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติการสูญเสียแรงของแถบยางดึงฟันชนิดยางสังเคราะห์ (Nonlatex elastic) กับยางธรรมชาติ (Latex elastic) พบว่าแถบยางดึงฟันซึ่งผลิตจากยางสังเคราะห์มีเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของแรงที่เหลืออยู่น้อยกว่าแถบยางดึงฟันซึ่งผลิตจากยางธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ⁴ แต่อย่างไรก็ตามแถบยางดึงฟันจากยางธรรมชาติก็ยังคงมีการสูญเสียแรงอยู่ ดังนั้นการใช้โซ่ยางดึงฟันซึ่งผลิตจากยางสังเคราะห์ และ แถบยางดึงฟันซึ่งผลิตจากยางธรรมชาติในการให้แรงในการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันจึงต้องให้แรงกระทำเบื้องต้นจะสูงมากเพื่อชดเชยแรงที่สูญเสียไปมากในช่วงแรก ซึ่งอาจทำให้ผู้ป่วยมีอาการปวด, เสี่ยงต่อการ

เกิดการละลายของรากฟันได้ และมีโอกาสสูญเสียหลักยึดทางทันตกรรมจัดฟัน (Anchorage) นอกจากนี้การสูญเสียแรงของโซ่ยางดึงฟันทำให้การกำหนดขนาดแรงที่กระทำต่อฟันทำได้ยาก^{3, 5, 6}

ยางธรรมชาติยังมีข้อด้อยในเรื่องการแพ้ ซึ่งการแพ้ผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาตินั้น เกิดจากโปรตีนที่หลงเหลืออยู่ สารเคมีที่ตกค้างเช่น ซิงค์ออกไซด์ หรือซัลเฟอร์⁷ จึงได้มีความพยายามที่จะปรับปรุงผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ โดยการเตรียมน้ำยางโปรตีนต่ำโดยใช้เอ็นไซม์ย่อยสลายเพื่อขจัดโปรตีนที่ตกค้างในน้ำยาง หรือวิธีการล้างสารเคมีที่ตกค้างจากแผ่นฟิล์มยาง (leaching) เป็นการกำจัดสารที่ละลายน้ำ, สารเคมีที่ตกค้าง และโปรตีนในน้ำยาง เพื่อลดการแพ้และการระคายเคืองต่อผิวหนัง¹²⁻¹⁵ และอรสา ภัทรไพบูลย์ชัย⁸ ได้ปรับปรุงคุณสมบัติของยางพาราให้มีความสามารถในการเพิ่มความต้านทานต่อการดึง (tensile strength) ให้มากขึ้น

ประเภทและปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการผลิตแถบยางดึงฟันจากยางพาราในการศึกษานี้ อยู่ในระดับควบคุมที่ European Economic Community (EEC) และ Food and Drugs Administration (FDA)¹² กำหนด จึงมีความเป็นไปได้ที่จะผลิตแถบยางดึงฟันที่มีการปรับปรุงคุณสมบัติที่ดีขึ้น อีกทั้งการผลิตขึ้นใช้ในประเทศเอง จะได้แถบยางดึงฟันที่มีราคาลดลง และเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบในประเทศ สามารถพัฒนาคุณสมบัติของแถบยางดึงฟันให้ดีขึ้นเพื่อแข่งขันกับแถบยางดึงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศ รวมถึงการพัฒนาเพื่อส่งออก เนื่องจากประเทศไทยส่งออกน้ำยางดิบจากยางพาราได้เป็นอันดับ 1 ของโลก¹²

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อผลิตโซ่ยางดึงฟัน และแถบยางดึงฟันที่ผลิตจากยางพาราในประเทศไทย

1.2.2 ศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียแรง แถบยางดึงฟันที่ผลิตจากยางพาราในประเทศไทยกับแถบยางดึงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศซึ่งผลิตจากยางพารา และ ศึกษาเปรียบเทียบโซ่ยางดึงฟันที่ผลิตจากยางพาราในประเทศไทยกับนำเข้าจากต่างประเทศที่ผลิตจากยางสังเคราะห์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาขนาดและสมบัติการสูญเสียแรงของแถบยางดึงฟันและโซ่ยางดึงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศเพื่อหาแถบยางดึงฟันและโซ่ยางดึงฟันที่มีคุณสมบัติดีที่สุดเพื่อใช้เป็นต้นแบบของการผลิตโดยให้มีขนาดใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

1.3.2 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการผลิตผลิตภัณฑ์จากการจุ่มในระบบสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อนการเตรียมน้ำยางคอมพอนด์โดยแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์ แล้วทดสอบสมบัติทางกายภาพจนได้สูตรน้ำยางคอมพอนด์ที่มีสมบัติตามที่ต้องการ

- 1.3.3 ทดลองผลิตแถบยางดิ่งฟันและโซ่ยางดิ่งฟันที่มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกับยางดันแบบ เมื่อได้สูตรน้ำยางคอมเพานด์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการแล้ว
- 1.3.4 ทดสอบค่าโมดูลัสและสมบัติการสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งฟันที่ผลิตจากยางพาราในประเทศไทยเปรียบเทียบกับแถบยางดิ่งฟันดันแบบที่นำเข้าจากต่างประเทศซึ่งผลิตจากยางธรรมชาติ และ ทดสอบค่าโมดูลัสและสมบัติการสูญเสียแรงโซ่ยางดิ่งฟันที่ผลิตจากยางพาราในประเทศไทยเปรียบเทียบกับโซ่ยางดิ่งฟันดันแบบที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ผลิตจากยางสังเคราะห์ โดยทดลองทั้งสถานะแห้ง และสถานะเปียก ในน้ำลายเทียมสังเคราะห์ โดยทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ
- 1.3.5 เก็บรวบรวมข้อมูล
- 1.3.6 วิเคราะห์ทางสถิติ วัดแรงได้ ในระยะยืดและระยะเวลาต่างๆ โดยใช้สถิติ repeated measure analysis of variance (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
- 1.3.7 เขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ต้นแบบของผลิตภัณฑ์จากยางพาราในประเทศไทยที่ใช้สำหรับงานทางทันตกรรมจัดฟันได้แก่ โซ่ยางดิ่งฟัน และแถบยางดิ่งฟัน
- 1.4.2 เพื่อเป็นแนวทางพัฒนาคุณสมบัติและคุณภาพของโซ่ยางดิ่งฟันและแถบยางดิ่งฟันที่ผลิตจากยางพาราในประเทศไทยให้ดีกว่าที่นำเข้าจากต่างประเทศ
- 1.4.3 เพื่อเป็นแนวทางนำทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถผลิตได้ในประเทศมาใช้ประโยชน์ทดแทน

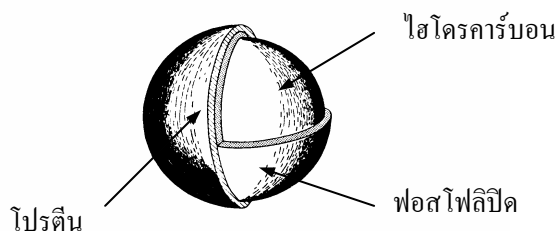
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นํ้ายาง

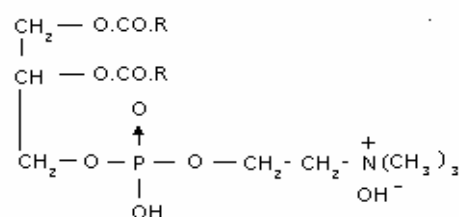
นํ้ายางสดจัดเป็นสารแขวนลอยที่มีส่วนของอนุภาคนํ้ายาง (Rubber Particle) แขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่า ซีรัม (Serum)

Blackley ได้อธิบายว่าลักษณะผิวอนุภาคนํ้ายาง จะมีชั้นไฮโดรคาร์บอน ห่อหุ้มด้วยชั้นของฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) และถัดมาเป็นชั้นของโปรตีน มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ Blackley ได้อธิบายเพิ่มเติมว่าโดยชั้นฟอสโฟลิปิด เป็นตัวกลางยึดระหว่างไฮโดรคาร์บอนกับโปรตีน แต่อาจเป็นไปได้ว่าสารโปรตีนและฟอสโฟลิปิดผสมปนเปกันอยู่โดยมิได้แยกชั้นชัดเจนตามภาพประกอบที่แสดงก็ได้¹³



รูปที่ 2.1 ลักษณะผิวอนุภาคนํ้ายาง

ในนํ้ายางมีส่วนประกอบของโปรตีนโดยส่วนหนึ่งของโปรตีนนี้จะดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคนํ้ายางไว้ ชั้นห่อหุ้มนี้มีความสำคัญต่อสถานะความคงตัวเป็นของเหลวของนํ้ายาง เพราะชั้นโปรตีนนี้จะป้องกันมิให้แต่ละอนุภาคนํ้ายางรวมตัวกัน ฟอสโฟลิปิดในอนุภาคนํ้ายางส่วนใหญ่เป็นเลซิทีน (Lecithin) ซึ่งมีประมาณ 2% มีสูตรโครงสร้างแสดงในรูปที่ 2.2 การที่เลซิทีนและโปรตีนรอบอนุภาคนํ้ายางยึดเหนี่ยวอยู่กันได้อาจเนื่องจาก pH ของนํ้ายางสดประมาณ 6.5 ชั้นของไขมันมีประจุบวกมากกว่าประจุลบ ส่วนชั้นของโปรตีนมีประจุลบมากกว่าประจุบวก ประจุที่แตกต่างกันของสารทั้งสองจึงดึงดูดซึ่งกันและกันโดยที่หมู่ R คือ อนุมูลไฮโดรคาร์บอนของ Heptadecyl ($C_{17}H_{35}$) หรือของ Heptadecenyl ($C_{17}H_{33}$) ไฮโดรคาร์บอนส่วนนี้จะเป็นตัวยึดอยู่ที่ผิวอนุภาคนํ้ายาง ถ้าหากมีปัจจัยที่ทำให้ประจุไฟฟ้าลบลดลง แรงผลักระหว่างอนุภาคก็จะลดลง ทำให้อนุภาคนํ้ายางรวมตัวขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น การเคลื่อนไหวของอนุภาคก็ค่อยๆลดลง จนในที่สุดเกิดเป็นก้อน ในทางตรงข้ามถ้าหากประจุไฟฟ้าลบที่อยู่รอบอนุภาคนํ้ายางเพิ่มขึ้นความคงสถานะของนํ้ายางก็จะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของเลซิทีน

น้ำยางสดจากต้นยางโดยปกติมีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 24-45% หรือเฉลี่ยเพียง 35% มีส่วนที่ไม่ใช่ยางประมาณ 5% นอกจากนั้นเป็นน้ำเสียส่วนใหญ่ซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายมากในการขนส่ง เพื่อความสะดวกในการขนย้ายจึงมีกรรมวิธีทำให้น้ำยางข้นมากขึ้น วิธีสำคัญสำหรับการผลิตน้ำยางข้นคือ วิธีการระเหยน้ำ (Evaporation) วิธีทำให้เป็นครีม (Creaming) วิธีการปั่น (Centrifuging) และวิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (Electrodecatation) วิธีการแรกเป็นการระเหยหรือแยกเอาแต่ส่วนของน้ำเพียงอย่างเดียวออกจากน้ำยาง ดังนั้นปริมาณของสารที่ไม่ใช่ยางยังคงอยู่ในน้ำยางข้นและอนุภาคนาขนาดต่างๆ ของยางที่กระจายอยู่ในน้ำยางยังคงเหมือนเดิม ส่วนวิธีการ 3 วิธีหลังนั้นเป็นวิธีการที่มีการแยกเอาบางส่วนของสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยางออกด้วย วิธีการผลิตน้ำยางข้นทั้ง 4 วิธีดังกล่าว วิธีการปั่นเป็นวิธีที่นิยมและทำกันเป็นการค้ามากที่สุด¹⁴

น้ำยางธรรมชาติที่ทำให้เข้มข้นด้วยการเซนตริฟิวจ์มีการรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียประมาณ 0.7% คือน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (HA) ส่วนในการรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียประมาณ 0.2% จะต้องมีการเติมสารรักษาสภาพตัวที่สองร่วมด้วย คือน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (LA-TZ) รักษาสภาพน้ำยางโดยเติม 0.2% ammonia + 0.013% TMTD + 0.013% ZnO + 0.05% Lauric acid

2.2 กระบวนการจุ่มน้ำยาง

วิธีการจุ่มเป็นวิธีที่มีการใช้งานกันมากที่สุดเพื่อทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ เนื่องจากให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติด้านความยืดหยุ่นดีที่สุด และมีความแข็งแรงต่อการดึง ซึ่งการแปรรูปน้ำยางธรรมชาติเพื่อทำผลิตภัณฑ์มีหลายประเภท เช่น ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากการจุ่ม ยางท่อ ผลิตภัณฑ์จากการหล่อ โฟมยาง และกาวน้ำยาง¹⁵ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการจุ่มน้ำยาง เช่น ถุงมือทางการแพทย์ ลูกโป่ง สายสวนปัสสาวะ และถุงยางอนามัย เป็นต้น

ผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง¹⁶ โดยวิธีการการจุ่ม มีกระบวนการผลิต 3 วิธี คือ วิธีที่ 1. การจุ่มแบบพิมพ์ลงในน้ำยางโดยตรง (Straight Dipping) เป็นวิธีที่ใช้สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะผิวบาง เช่น ถุงยางอนามัย วิธีที่ 2. การจุ่มแบบพิมพ์แบบใช้สารช่วยจับตัว (Coagulant Dipping) เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการผลิตถุงมือประเภทต่างๆ และสายสวนปัสสาวะ และแบบที่ 3. การจุ่มแบบพิมพ์แบบสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อน (Heat Sensitive Dipping) เป็นวิธีที่ใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นมากกว่า เช่น ถุงมือป้องกันไฟฟ้า (electrician glove) และรองเท้า เป็นต้น

การจุ่มแบบสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อน (Heat Sensitive Dipping) ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความหนาแน่นมาก เช่น ใช้เพื่อผลิตหัวนมยาง ขางในลูกฟุตบอล และพวกถุงมือในอุตสาหกรรม ในกระบวนการผลิตจะไม่มีการใช้สารจับตัวแต่ใช้สารไวความร้อนใส่ลงในน้ำยาง และจะเกิดการจับตัวอย่างรวดเร็ว เมื่อได้รับความร้อน

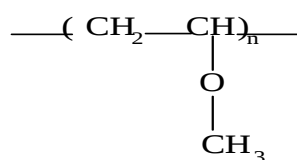
2.3 การจุ่มแบบสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อน (Heat Sensitive Dipping)¹⁷

น้ำยาง “Heat sensitive” หมายถึง น้ำยางคอมพอนด์ที่มีสารเคมีที่ทำให้น้ำยางนั้นสูญเสียความเสถียรอย่างรวดเร็วและเกิดการจับตัวเมื่อได้รับความร้อน น้ำยางคอมพอนด์ปกติจะมีความไวต่อความร้อนเล็กน้อย แต่จะค่อยๆสูญเสียความเสถียรเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น สารที่ทำให้น้ำยางเป็น “Heat sensitive” มีอยู่หลายอย่าง เช่น

1. Zinc oxide + ammonium salt + ammonia
2. enzyme treatment + zinc oxide
3. polyvinyl methyl ether (PVME)
4. polypropylene glycol (PPG)

2.3.1 ระบบน้ำยางที่ใช้สารไวความร้อน PVME¹³

PVME เป็นสารประเภท non-ionogenic มีสูตรโครงสร้างคือ



สาร PVME สามารถละลายได้ดีในน้ำเย็นแต่ไม่ละลายในน้ำร้อน ดังนั้นเมื่อนำไปอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 34-35 °C จะเกิดการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ ซึ่งเหตุผลที่ PVME ตกตะกอนเมื่อ

ได้รับความร้อน คาดว่าเป็นเพราะโมเลกุลของ PVME เกิดการกำจัดออกจากโมเลกุล (Progressive Dehydration) เมื่อได้รับความร้อน

สารเคมีตัวอื่นที่ใช้ในระบบสารไวความร้อน ตัวอย่างเช่น Polypopylene glycol (PPG) ซึ่งเกิดการตกตะกอนเมื่อได้รับความร้อนเช่นเดียวกับ PVME แต่กลไกของการเกิดเป็นน้ำยางไวความร้อนอาจแตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุลและหน่วยซ้ำของพอลิเมอร์ ส่วนสารเคมีตัวอื่นที่สามารถทำให้น้ำยางเกิดเป็นระบบสารไวความร้อน เช่น Polyalkoxy acetals, Polyacetal และสารในกลุ่ม Surface active ethoxylate

2.3.2 กลไกของการไวต่อความร้อนของน้ำยาง

ในส่วนผสมของน้ำยางที่ประกอบด้วย แอมโมเนีย เกลือแอมโมเนียม และซิงค์ออกไซด์¹⁷ การสูญเสียสภาพของน้ำยางเนื่องจากความร้อนเชื่อว่าเกิดจากการละลายของซิงค์ที่อยู่ในรูปของไอออนเชิงซ้อนของแอมมีน (Ammine-complex ion) และปฏิกิริยาที่เกิดตามมาของไอออนเหล่านี้จะเกิดกับ electrical double layer ที่อยู่รอบๆของอนุภาคน้ำยาง และอาจรวมไปถึงการเกิดเกลือของซิงค์ที่ไม่ละลาย ซึ่งเกิดจากการดูดซับสารลดแรงตึงผิว ถึงแม้ว่าในปัจจุบันได้มีการแสดงให้เห็นว่าการเกิดเกลือของซิงค์ที่ไม่ละลายนั้น อาจไม่จำเป็นสำหรับการทำให้น้ำยางหมดความเสถียรก็ตาม¹³ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าระบบนี้จะมีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจแต่ก็มีปัญหาด้านความเสถียรของน้ำยางคอมเพานด์¹⁷

กลไกของความว่องไวต่อความร้อนโดยใช้ PVME และ PPG เชื่อว่ามันจะดูดซับระหว่างผิวของอนุภาคน้ำยางที่อุณหภูมิห้องและจะเกิดการสูญเสียสภาพเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้อนุภาคน้ำยางเกิดการยึดเกาะกันเป็นเจล และพอลิเมอร์ที่ตกตะกอนมีการดูดซับเอาสารที่รักษาความเสถียรของน้ำยางจากอนุภาคน้ำยางทำให้ความเสถียรของการเป็นคอลลอยด์ลดลง อีกประการหนึ่งตามที่¹³ ได้กล่าวคือ เกิดการดูดซับของพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายที่ผิวของอนุภาคน้ำยางเมื่ออุณหภูมิของน้ำยางเพิ่มขึ้นและเกิดการเจลของอนุภาคน้ำยาง โดยมีกลไกของการดูดซับของพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายดังนี้คือ

1. พอลิเมอร์ไม่มีความยาวพอที่ทำให้เกิดการเกาะระหว่างโมเลกุล
2. พอลิเมอร์มีการเชื่อมโยงกันทำให้ความเสถียรลดลง
3. เกิดการเชื่อมโยงกันของโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ดูดซับอยู่กับสารรักษาความเสถียรตัวอื่นในน้ำยาง
4. อย่างไรก็ตามทั้งซิงค์ออกไซด์และค่า pH ยังเป็นสิ่งสำคัญในการวัดประสิทธิภาพของสูตรที่ใช้ PVME และ PPG ผสมลงไป

2.4 ผลิตภัณฑ์จากยางพาราที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน

2.4.1 แอบบางดิ่งฟัน

แอบบางดิ่งฟัน ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน เพื่อลดระยะห่างระหว่างขากรรไกรบนล่าง และสำหรับฟันที่ต้องการเพิ่มแรงดิ่งเป็นพิเศษ โดยทั่วไปแอบบางดิ่งฟันจะผลิตจากน้ำยาง¹⁸ ซึ่งการยืดหยุ่นของยางที่สามารถยืดได้มากโดยไม่ขาดหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงที่ใช้ แต่เพราะยางธรรมชาติสามารถเกิดอาการแพ้กับผู้ใช้ได้ ทำให้ยางสังเคราะห์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่เข้ามาแทนที่ยางธรรมชาติ¹⁸⁻²¹ อย่างไรก็ตาม พอลิเมอร์สังเคราะห์ก็ยังมีปัญหา เมื่อดึงโดยใช้แรงให้ยางยืดในช่วงระยะยืดที่แน่นอน ยางที่ได้จะเกิดการคลายแรงในช่วงเวลาหนึ่ง

2.4.2 โซ่ยางดิ่งฟัน

โซ่ยางดิ่งฟันได้มีการผลิตในปี ค. ศ. 1960 เริ่มเป็นส่วนประกอบสำคัญในด้านทันตกรรมจัดฟัน^{22,23} โดยใช้เป็นตัวที่ให้แรงดิ่งอย่างต่อเนื่องในการเคลื่อนฟัน เช่น Canine retraction, diastema closure, rotational correction และ arch constriction²³ โซ่ยางดิ่งฟันได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับสปริงนิเกิลไททาเนียม, ใช้งานง่ายกว่า, ถูกสุขลักษณะ และ คนไข้ยอมรับได้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค. ศ. 1970 Andreasen และ Bishara²⁴ ได้พิสูจน์ว่า โซ่ยางดิ่งฟันสามารถลดช่องว่างระหว่างฟัน พบว่า หลังจากทำการดิ่งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โซ่ยางสูญเสียความสามารถในการส่งแรงไป 74 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม หลังจากวันแรก, การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งฟันเริ่มลดลงในลักษณะที่คงที่. และพวกเขาได้ศึกษากับโซ่ยางดิ่งฟันที่ผลิตจากยางธรรมชาติ และพบว่าโซ่ยางดิ่งฟันที่ผลิตจากยางธรรมชาติจะสูญเสียแรงเพียง 42 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 24 ชั่วโมง²⁵

ในปี ค. ศ. 2003 Kersey²⁶ และคณะ ได้ทำการเปรียบเทียบแรงที่ได้จากโซ่ยางดิ่งฟันที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติกับโซ่ยางดิ่งฟันที่ไม่ได้ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ ทั้งการทดสอบแบบสถิตย์และพลวัต พบว่า จากการทดสอบทั้ง 2 แบบ โซ่ยางดิ่งฟันที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ มีเปอร์เซ็นต์ของแรงที่เหลืออยู่หลังจากทดสอบมากกว่าค่าที่ได้จากโซ่ยางดิ่งฟันที่ไม่ได้ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ

ในปี ค. ศ. 1978 Ash และ Nikolai²⁷ เปรียบเทียบแรงที่สูญเสียไปจากการดิ่งโซ่ยางดิ่งฟันและค้ำไว้ใ้ในอากาศ, น้ำ, และในแล็บ พบว่า โซ่ยางดิ่งฟันที่ทดสอบในแล็บ มีการสูญเสียแรงมากกว่าโซ่ยางที่ดิ่งค้ำไว้ในอากาศหลังจากทิ้งไว้ 30 นาที โดยไม่มีความแตกต่างระหว่างโซ่ยางที่ค้ำไว้ในน้ำและในแล็บ^{22,24,25,27}

และในปี ค. ศ. 1993 Lu และ Wang¹¹ เปรียบเทียบสมบัติการสูญเสียแรงของเส้นใยขนาดสั้นและ clear chains โดยพบว่า clear chains มีแรงดึงเริ่มต้นมีค่าสูงกว่า และมีเปอร์เซ็นต์ของแรงที่เหลืออยู่มากกว่า เมื่อดึงค้างไว้เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ในสภาพแวดล้อมที่เป็นของเหลว

บทที่ 3

สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี

3.1.1 น้ำยางข้น 60 % ชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia Concentrated Latex) ผลิตโดยโรงงานกลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้น อ.จะนะ จ.สงขลา

3.1.2 สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde solution) เข้มข้น 35-40 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในการปรับความเป็นกรด-เบสของน้ำยางคอมพอนด์ ผลิตโดย Lab Scan Analytical Science Co. th

3.1.3 เทอร์ริก (Terric 16A16) มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว ใช้เป็นสารสเตบิไลเซอร์เตรียมอยู่ในรูปของสารละลายความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ จำหน่ายโดย บริษัทพอลิเมอร์อินโนเวชั่น จำกัด

3.1.4 กำมะถัน (Sulphur) เตรียมอยู่ในรูปดิสเพอร์ชัน ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ใช้เป็นสารวัลคาไนซ์ จำหน่ายโดย บริษัท ลักกี้ไฟร์ จำกัด

3.1.5 ซิงค์ไดเอทิล ไดไฮโอคาร์บาเมต (Zinc-N-diethyldithiocarbamate, ZDC) เตรียมอยู่ในรูปดิสเพอร์ชัน ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ใช้เป็นสารตัวเร่ง จำหน่ายโดย บริษัท ลักกี้ไฟร์ จำกัด

3.1.6 โลวิน็อก ซีพีแอล (Lovinox CPL) ใช้แทน วิงสเตย์ แอล เตรียมอยู่ในรูปดิสเพอร์ชัน ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นสารป้องกันการเสื่อมของยาง จำหน่ายโดย บริษัท ลักกี้ไฟร์ จำกัด

3.1.7 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) เตรียมอยู่ในรูปดิสเพอร์ชัน ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ใช้เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activator) ในปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ จำหน่ายโดย บริษัท ลักกี้ไฟร์ จำกัด

3.1.8 พอลิไวนิล เมทิล อีเทอร์ (Polyvinyl Methyl Ether, PVME) ชื่อทางการค้า LUTANAL M40 ความเข้มข้น 50.5 เปอร์เซ็นต์ ใช้เป็นสารไวความร้อน มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด สีเหลือง เวลาใช้งานจะเตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลายความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ โดยชั่งพีวีเอ็มอี 20 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรรวม 100 มิลลิลิตรจัดจำหน่ายโดย บริษัท วี.ไอ.พี อินเตอร์เนชัน จำกัด

3.1.9 คลอโรฟอร์ม (Chloroform) สูตรทางเคมี CHCl_3 มีน้ำหนักโมเลกุล 119.39 ใช้ทดสอบระดับการวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมพอนด์ ผลิตโดย J. T. Baker Inc. Co., Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 แบบขุบ (Former) แบบขุบชนิดสแตนเลส (ขนาด $12 \times 13 \times 0.25$ เซนติเมตร) ใช้ในการจุ่มน้ำยางคอมพอนด์เพื่อเตรียมฟิล์มยาง

3.2.2 แบบขุบแท่งแก้ว (glass rod former) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{4}$ นิ้ว (เท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในของแถบยางดิ่งฟัน

3.2.3 แบบขุบลวด (wire stainless rod group) ประกอบด้วยเส้นลวด 14 เส้น เพื่อใช้ในการผลิตโซ่ยางดิ่งฟัน ดังรูป



รูปที่ 3.1 แบบขุบลวด 14 เส้น เพื่อนผลิตโซ่ยางดิ่งฟัน

3.2.4 เครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer Model RVDV II + ซึ่งประกอบด้วยแกนหมุน (spindle) 7 ขนาด คือ RV 1- RV 7 ความเร็วแกนหมุน 4 ระดับ คือ 10, 20, 50 และ 100 รอบต่อนาที ผลิตโดยบริษัท Viscometer Brookfield Engineering Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา จัดจำหน่ายโดยบริษัทไซแอนติฟิคโปรโมชัน จำกัด

3.2.5 ชุดกวนผสมสารเคมีกับน้ำยาง ใช้ในการกวนผสมน้ำยางกับสารเคมี เพื่อเตรียมน้ำยางคอมพอนด์ ประกอบด้วยมอเตอร์ ที่มีแกนหมุนติดล้อยางกลมหมุนบนจานที่ต่อกับแกนของใบพัดกวนผสม ความเร็วในการกวนผสม 75 รอบต่อนาที

3.2.6 ตู้อบอากาศร้อน (Hot Air Oven) รุ่น ULE600 ขนาดภายนอก $120 \times 64 \times 76$ เซนติเมตร ขนาดภายใน $80 \times 50 \times 64$ เซนติเมตร ปรับอุณหภูมิได้ในช่วง $25 - 250^{\circ}\text{C}$ มีพัดลมเป่าภายในเพื่อรักษาอุณหภูมิให้คงที่ และตั้งเวลาในการปิดได้นาน 24 ชั่วโมง ผลิตโดยบริษัท memmert ประเทศอังกฤษ

3.2.7 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ผลิตโดย Lloyds instruments Ltd. รุ่น 10LRX plus จัดจำหน่ายโดยบริษัทอินโทรเอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด มีโหลดเป็นตัวแปลงสัญญาณจากค่าแรงที่วัด สามารถดึงหรือกดได้ด้วยแรงตั้งแต่ 0.04 ถึง 50,000 นิวตัน ระยะเคลื่อนที่วัดได้สูงสุด 1,000 มิลลิเมตร

3.2.8 เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น Data 320 ผลิตโดย Mettler -Toledo Ltd. ประเทศอังกฤษ ใช้วัดความเป็นกรด-ด่าง

3.2.9 เครื่องชั่ง AND FG-3000 มีความละเอียด ± 0.01 กรัม มีความสามารถชั่งได้สูงสุด 3000 กรัม ผลิตโดย A&D Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น จัดจำหน่ายโดย MERIT Tech Co. LTD

3.2.10 ไมโครมิเตอร์ มีความละเอียด 0.01 มม. Code No. 200959 ผลิตโดย Teclock Corporation ประเทศญี่ปุ่น

3.2.11 ตะแกรงกรองน้ำยาง ใช้กรองน้ำยางที่บ่มแล้วก่อนนำมาทดลอง

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาข้อมูลของการผลิตยางที่ใช้ในทางทันตกรรม ทั้งแถบยางดิ่งฟัน และโซ่ยางดิ่งฟันที่ผลิตจากยางธรรมชาติ ซึ่งพบว่าวิธีการจุ่มในระบบสูญเสียน้ำด้วยความร้อนสามารถให้ฟิล์มยางที่มีความหนามากโดยใช้เวลาน้อยในการจุ่มแบบพิมพ์ ดังนั้นในการผลิตยางที่ใช้ในทางทันตกรรมจึงได้ทำการศึกษาระบบการทำงานของน้ำยางคอมปอนด์ในระบบสูญเสียน้ำด้วยความร้อน โดยมีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้คือ

- (1). ศึกษาขนาดของผลิตภัณฑ์, ค่าโมดูลัสและสมบัติการสูญเสียน้ำของแถบยางดิ่งฟัน และโซ่ยางดิ่งฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศเพื่อหาแถบยางดิ่งฟันและโซ่ยางดิ่งฟันที่มีคุณสมบัติดีที่สุดเพื่อใช้เป็นต้นแบบของการผลิตโดยให้มีขนาดใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบ
- (2). ศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการผลิตผลิตภัณฑ์จากการจุ่มในระบบสูญเสียน้ำด้วยความร้อนและเตรียมน้ำยางคอมปอนด์โดยแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์ แล้วทดสอบสมบัติทางกายภาพจนได้สูตรน้ำยางคอมปอนด์ที่มีสมบัติตามที่ต้องการ
- (3). ทดลองผลิตแถบยางดิ่งฟันและโซ่ยางดิ่งฟันที่มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกับยางต้นแบบ เมื่อได้สูตรน้ำยางคอมปอนด์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการแล้ว
- (4). ทดสอบค่าโมดูลัสและสมบัติการสูญเสียน้ำของแถบยางดิ่งฟันที่ผลิตจากยางพาราในประเทศไทยเปรียบเทียบกับแถบยางดิ่งฟันต้นแบบที่นำเข้าจากต่างประเทศซึ่งผลิตจากยางธรรมชาติ และ ทดสอบค่าโมดูลัสและสมบัติการสูญเสียน้ำของโซ่ยางดิ่งฟันที่ผลิตจากยางพาราในประเทศไทยเปรียบเทียบกับโซ่ยางดิ่งฟันต้นแบบที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ผลิตจากยางสังเคราะห์ โดยทดลองทั้งสถานะแห้ง และสถานะเปียก ในน้ำลายเทียมสังเคราะห์ โดยทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ
- (5). ศึกษาวิธีการและทดสอบความเป็นพิษของยางในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เซลล์ไฟโบรบลาส

3.3.1 เปรียบเทียบขนาดของผลิตภัณฑ์, ค่าโมดูลัสและสมบัติการสูญเสียแรงของแถบยางดึงฟันและโซ่ยางดึงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศเพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบในการผลิต

ก. แถบยางดึงฟัน

เปรียบเทียบขนาดของแถบยางดึงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศ 3 บริษัท คือ G&H (GH), Ormco (OC) และ American Orthodontics (AO) มีลักษณะดังรูปที่ 3.2 โดยนำแถบยางดึงฟันทั้ง 3 บริษัทมาทำการทดสอบหาค่าโมดูลัสและสมบัติการสูญเสียแรงดังหัวข้อ 3.3.1.1



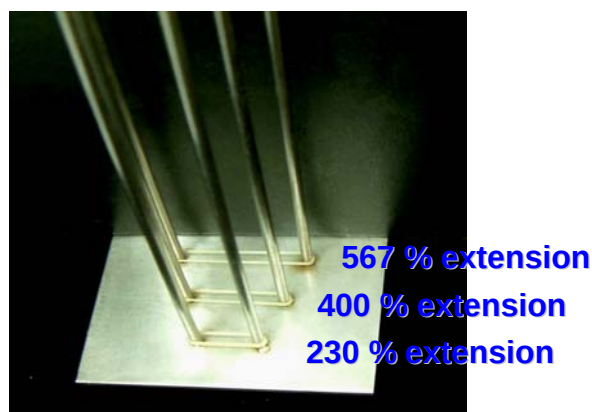
รูปที่ 3.2 รูปร่างและขนาดของแถบยางดึงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศ (มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6.0 มิลลิเมตร)

3.3.1.1 การทดสอบหาค่าโมดูลัสและสมบัติการสูญเสียแรงของแถบยางดึงฟัน

1. นำชิ้นตัวอย่างจำนวน 30 ชิ้น ในแต่ละกลุ่ม มาดึงให้ยืดออกที่ 230, 400 และ 567 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด ซึ่งเท่ากับการยืดออกเป็นระยะ 20 มิลลิเมตร, 30 มิลลิเมตร และ 40 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.3 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.3 (ก) ลักษณะของตะขอที่ดึงขึ้นทดสอบในการวัดแรง

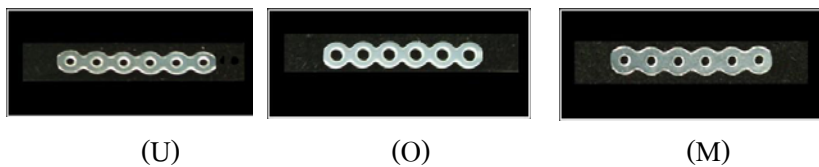
(ข) การดึงขึ้นทดสอบออกที่ 230, 400 และ 567 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืดแล้วค้างไว้

2. ทำการวัดแรงของแถบยางดิ่งพินทั้งหมด โดยใช้ เครื่องดึงยาง LLOYD II ด้วย โหลดเซลล์ขนาด 10 นิวตัน (Model XLC 0010-A1) โดยใช้ตะขอที่มี เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร ใช้จับขึ้นทดสอบดังรูปที่ 3.3 (ก)
3. บันทึกค่าที่เปลี่ยนไป ที่ 1, 4, 8 และ 24 ชั่วโมง และทุก ๆ สัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์
4. ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ (ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ เปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียแรง) ทำการวัดความแปรปรวนแบบ ANOVA ในการหาความแตกต่างระหว่างเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียแรงไประหว่างการ ทดลองแต่ละครั้ง

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรง} = \frac{(\text{แรงเริ่มต้น} - \text{แรงเมื่อเวลาผ่านไป})}{\text{แรงเริ่มต้น}} \times 100$$

ข. โซ่ยางดิ่งพิน

เปรียบเทียบขนาดของโซ่ยางดิ่งพินที่นำเข้าจากต่างประเทศ 3 บริษัท คือ Unitek ® C module spool chains (U), Ormco ® power chain II (O) และ Masel ® plastic chains (M) มีลักษณะ ดังรูปที่ 3.4 โดยนำโซ่ยางดิ่งพินทั้ง 3 บริษัทมาทำการทดสอบหาค่าโมดูลัสและสมบัติการสูญเสีย แรงดังหัวข้อ 3.3.1.2

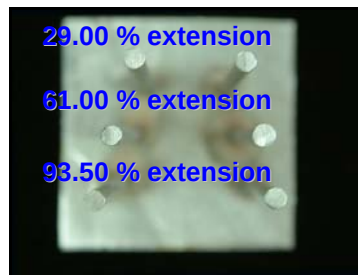


รูปที่ 3.4 รูปร่างและขนาดชิ้นตัวอย่างโซ่ยางดิ่งพินจำนวน 6 ยูนิต ของบริษัทที่นำ เข้าจากต่างประเทศ (มีความยาวเฉลี่ย 15.5 มิลลิเมตร)

3.3.1.2 การทดสอบหาค่าโมดูลัสและสมบัติการสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพิน

1. นำโซ่ยางดิ่งพินไปยึดออกบนโครงทดลองแสดงตนเลข ดังรูปที่ 3.5 (ก) แล้วจุ่มลงในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส โดยทำการยึดออกที่ 29.00, 61.00 และ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยึด ซึ่งเท่ากับการยึดออกเป็นระยะ 20 มิลลิเมตร, 25 มิลลิเมตร และ 30 มิลลิเมตร ตามลำดับ (10 ตัวอย่าง/กลุ่ม/ระยะยึด)

2. วัดแรงที่อ่านได้จากเครื่องดึงยาง LLOYD II โดยใช้โหลดเซลล์ขนาด 10 นิวตัน ขนาด 10 นิวตัน โดยจับขึ้นทดสอบดังรูปที่ 3.5 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.5 (ก) โครงลวดสแตนเลสโดยมีระยะที่ 29.00, 61.00 และ 93.50

เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด

(ข) การดึงขึ้นทดสอบโซ่ยางดึงพันด้วยเครื่องดึงยาง LLOYD II

3. บันทึกแรงเริ่มต้นที่อ่านได้ และที่เวลา 1 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง, 3 วัน และ ทุก ๆ สัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์
4. ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ ค่าโมดูลัสและค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแต่ละกลุ่มโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของการสูญเสียแรงในแต่ละกลุ่มด้วย least significance difference (LSD) โดย

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรง} = \frac{(\text{แรงเริ่มต้น} - \text{แรงเมื่อเวลาผ่านไป})}{\text{แรงเริ่มต้น}} \times 100$$

3.3.2 ศึกษาผลของปริมาณสารเคมีที่ใช้ต่อสมบัติทางกายภาพของยางตามที่ต้องการ

โดยเตรียมน้ำยางคอมเพานด์ตามสูตรในตารางที่ 3.1 ทำตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.3.3 แล้วนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ แล้วเลือกสูตรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางพาราที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน

ตารางที่ 3.1 สูตรน้ำยางคอมเพนด์ที่ใช้ในการศึกษาผลของปริมาณสารวัลคาไนซ์ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มยาง

สารเคมีที่ใช้	สูตรที่ (น้ำหนักยางแห้ง)		
	1	2	3
60% HA concentrate	100	100	100
15 % Terric 16A16 solution	0.5	0.5	0.5
50% Sulphur dispersion	1.75	1.75	2.0
50% ZDC dispersion	0.8	1.0	1.0
50% Lovinox CPL dispersion	1.0	1.0	1.0
50% ZnO dispersion	0.5	0.5	0.5
10% Polyvinyl methyl ether	0.8	0.8	0.8
pH	8.70	8.75	8.85
Viscosity (cps)	202	237	252

3.3.3 การเตรียมน้ำยางผสมสารเคมีแบบใช้สารไวความร้อน (Heat sensitive compound)

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาระบบการทำงานของกรรุ่มแบบใช้สารไวความร้อน โดยนำน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง มาทำการผสมสารเคมี ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดหาน้ำหนักน้ำยางและสารเคมีที่ต้องการใช้ในสูตร
2. นำน้ำยางที่ผ่านการกรองมากรวนเป็นเวลา 5 นาที
3. ใส่สารเพิ่มความเสถียรลงในน้ำยาง โดยค่อยๆเติมสเทบิไลเซอร์ (terric) เพื่อรักษาความเสถียรของน้ำยาง กรวนให้เข้ากันเป็นเวลา 20 นาที ทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้สเทบิไลเซอร์กระจายตัวในน้ำยาง
4. ใส่สารป้องกันการเสื่อม กรวนให้เข้ากันประมาณ 5 นาที
5. ใส่สารตัววัลคาไนซ์ (ZDC, Sulphur) กรวนให้เข้ากันประมาณ 10 นาที
6. ใส่ ZnO กรวนให้เข้ากัน แล้วกรวนต่ออีก 24 ชั่วโมง
7. นำไปทดสอบระดับการวัลคาไนซ์ ด้วยคลอโรฟอร์ม (ได้ผลการทดสอบระดับการวัลคาไนซ์ด้วยคลอโรฟอร์มที่ระดับ 2)
8. ปรับลดอุณหภูมิของน้ำยางคอมเพนด์ โดยเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วเติมสารไวความร้อน (PVME) โดยค่อยๆเติมและควบคุมอุณหภูมิของน้ำยางคอมเพนด์ที่ 20 องศาเซลเซียส กรวนเป็นเวลา 20 นาที แล้วทิ้งไว้ 10 ชั่วโมง

10. ก่อนนำน้ำยางคอมเพานด์ไปใช้งานต้องทำการหาค่าความหนืด และระดับค่า pH
11. นำแบบชุบชนิดสแตนเลส (ขนาด $12 \times 13 \times 0.25$ ซม.) ออบในตู้อบอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วนำมาจุ่มในน้ำยางผสมสารเคมีแบบใช้สารไวความร้อนเป็นเวลาประมาณ 3 วินาที เพื่อจะได้ฟิล์มยางที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร ดังรูป 3.6 (ก)



(ဂ)



(v)

รูปที่ 3.6 (ก) แบบชุบชนิดสแตนเลส จุ่มลงในน้ำอย่างผสมสารเคมีสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อน
(ข) การล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง (wet gel leaching)

12. นำฟิล์มยางที่ได้ล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง (wet gel leaching) เพื่อขจัดสารเคมีที่ตกค้างและโปรตีนที่ละลายน้ำได้ ดังรูป 3.6 (ข) นำแผ่นฟิล์มยางไปวัดคาบในซัทที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

3.3.4 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มยางที่เตรียมได้

นำขั้นตอนที่เตรียมได้จากแผ่นฟิล์มภายในหัวข้อ 3.3.3 มาทดสอบสมบัติทางกายภาพดังต่อไปนี้

สมบัติที่ทดสอบ

1. 300 เปอร์เซ็นต์โมดูลัส (300%modulus)
2. ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)
3. ความสามารถในการยืดตัวของยาง (Elongation at break)

3.3.4.1 300 เปอร์เซนต์โมดูลัส

ตัดตัวอย่างแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมได้เป็นรูปดัมเบล โดยใช้ die C นำไปดึงให้ยืดด้วยเครื่อง Tensile Testing machine โดยใช้ความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตร/นาที อ่านแรงยางให้ยืดออกเป็นระยะ 300% จากระยะเดิม นำมาคำนวณค่า 300 เปอร์เซนต์โมดูลัส

การคำนวณ

$$300 \% \text{ Modulus} = F/A$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงยางให้ยืดออกเป็นระยะ 300% จากระยะเดิม (นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (มม.²)

3.3.4.2 สมบัติความต้านทานแรงดึงของแผ่นยาง

ตัดตัวอย่างแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมได้เป็นรูปดัมเบล โดยใช้ die C นำไปดึงให้ยืดด้วยเครื่อง Tensile Testing machine โดยใช้ความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตร/นาที อ่านแรงที่ใช้ดึงยางจนขาด นำมาคำนวณสมบัติความต้านทานแรงดึง

การคำนวณ

$$\text{Tensile strength} = F/A$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงจนขาด (นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (มม.²)

3.3.4.3 ความสามารถในการยืดเมื่อขาด

ตัดตัวอย่างแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมได้เป็นรูปดัมเบล โดยใช้ die C นำไปดึงให้ยืดด้วยเครื่อง Tensile Testing machine โดยใช้ความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตร/นาที อ่านระยะยืดที่ขาด นำมาคำนวณสมบัติความสามารถในการยืดเมื่อขาด

การคำนวณ

$$\% \text{ Elongation} = 100 * (L - L_0) / L_0$$

เมื่อ L คือ ระยะระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเมื่อยืด

L₀ คือ ระยะระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเดิม

3.3.5 ศึกษาวิธีการผลิตแถบยางดิ่งพินจากน้ำยางสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อน

1. อบแบบชุบที่ทำจากแท่งแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{4}$ นิ้ว ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส
2. จุ่มแบบชุบลงในน้ำยางคอมเพานด์ที่ควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 16-18 องศาเซลเซียส โดยให้ความลึกของการจุ่มประมาณ 10 เซนติเมตรเป็นเวลา 3 วินาทีให้ได้ความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.7 (ก) แท่งแก้วที่ใช้จุ่มลงไปใต้น้ำยางผสมสารเคมีแบบสูญเสียสภาพด้วยความร้อน

(ข) หลังจากการวัลคาไนซ์แล้ว, แถบยางดิ่งพินที่ตัดจากฟิล์มจากที่เตรียมได้

3. ทำการล้าง ด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง (wet gel leaching)
4. แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. นำแบบชุบที่มีฟิล์มยางมาล้างน้ำอุ่นอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดสารเคมีตกค้างในฟิล์มยาง (dry gel leaching) แล้วดึงยางออกจากแบบชุบ
6. ทำการวัดระยะเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อจำนวน 3 ครั้งแล้วหาระยะห่างมาตรฐาน ซึ่งประมาณ 20 มิลลิเมตร

3.3.6 ศึกษาวิธีการผลิตโซ่ยางดิ่งพินจากน้ำยางสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อน

1. อบแบบชุบลวดให้ร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ด้วยตู้อบอากาศร้อน
2. จุ่มแบบชุบลวดลงในน้ำยางคอมเพานด์ที่ควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 16-18 องศาเซลเซียส โดยให้ความลึกของการจุ่มประมาณ 10 เซนติเมตรเป็นเวลา 3 วินาทีให้ได้ความหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร
3. ทำการล้าง ด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง (wet gel leaching)

4. นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชม. นำแบบชุบที่มีฟิล์มยางมาล้างน้ำอุ่นอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดสารเคมีตกค้างในฟิล์มยาง (dry gel leaching) แล้วล้างยางออกจากแบบชุบ

5. แล้วทำการเตรียมโซ่ยางดิ่งฟันโดยการตัดด้วยใบมีด จะได้โซ่ยางที่มีลักษณะดังรูปที่ 3.8 ซึ่งมีรูปร่างใกล้เคียงกับโซ่ยางต้นแบบ



รูปที่ 3.8 รูปร่างและลักษณะของโซ่ยางดิ่งฟันที่ผลิตได้

3.3.7 เปรียบเทียบค่าโมดูลัสและสมบัติการสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งฟันและโซ่ยางดิ่งฟันที่ผลิตได้กับผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่นำเข้าจากต่างประเทศ

นำแถบยางดิ่งฟันที่ผลิตได้ทำการทดสอบตามหัวข้อ 3.3.1.1 และนำโซ่ยางดิ่งฟันที่ผลิตได้ทำการทดสอบตามหัวข้อ 3.3.1.2

3.3.8 ศึกษาวิธีการและทดสอบความเป็นพิษของแถบยางดิ่งฟันในห้องปฏิบัติการโดยใช้เซลล์ไฟโบรเบลสต์

การเตรียมชิ้นเนื้อเยื่อ

ชิ้นเนื้อเยื่อได้จากผู้ป่วยที่มีรอยโรคปริทันต์สุขภาพดีมี probing depth น้อยกว่า 4 มิลลิเมตร ซึ่งมารับการผ่าตัดเหงือกเพื่อเพิ่มความยาวของฟันที่คลินิกเฉพาะทางปริทันตวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หลังจากได้ชิ้นเนื้อนำมาแช่ในอาหารเลี้ยงเซลล์ทันทีและนำไปเลี้ยงต่อในห้องปฏิบัติการต่อไป

วิธีการเพาะเลี้ยงเซลล์ไฟโบรเบลสต์

วิธีการเลี้ยงเซลล์ไฟโบรเบลสต์ สรุปโดยย่อดังนี้ ล้างชิ้นเนื้อเยื่อด้วยอาหารเลี้ยงเซลล์ 2 ครั้ง อาหารเลี้ยงเซลล์ที่ใช้คือ Dulbecco's modified Eagle's medium (DMEM) ที่ประกอบด้วย ซีรัม (fetal bovine serum) ร้อยละ 10 รวมทั้งเติมกลูตามีน 2 มิลลิโมลาร์ เพนนิซิลิน 100 ยูนิต/มิลลิลิตร และสเตรปโตมัยซิน 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จากนั้นตัดชิ้นเนื้อเยื่อเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 1-3 ตารางมิลลิเมตร และนำชิ้นเนื้อเยื่อมาเลี้ยงต่อในภาชนะเลี้ยงเซลล์ด้วยอาหารเลี้ยงเซลล์ดังกล่าวข้างต้น เนื้อเยื่อจะถูกเลี้ยงภายในตู้อบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศร้อยละ 5 ทำการเปลี่ยนอาหารเลี้ยงเซลล์ 2 ครั้ง/

ลัปดาห์ เมื่อเซลล์ไฟโบรบลาสต์เจริญเติบโตใกล้จะเต็มภาชนะ ทำการย้ายเซลล์ใส่ภาชนะเลี้ยงเซลล์ใหม่ เซลล์ไฟโบรบลาสต์ที่ใช้ในการศึกษานี้จะใช้เมื่อทำการย้ายเซลล์อยู่ในช่วง 4-8 ครั้ง

3.3.8.1 การทดสอบความเป็นพิษของแถบยางดิงฟันในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี MTT assay โดยใช้เซลล์ไฟโบรบลาสต์

การทดลองโดยวิธี MTT Assay สรุปโดยย่อดังนี้ นำเซลล์ไฟโบรบลาสต์หึ่งอกใส่ในงานเลี้ยงเซลล์ชนิด 96 หลุม (96-well plate) ความหนาแน่น 100,000 เซลล์/หลุม โดยอาหารเลี้ยงเซลล์ที่ใช้ คือ Dulbecco's Modified Eagle's Medium (DMEM) ที่ประกอบด้วย ซีรัม (fetal bovine serum) ร้อยละ 10 รวมทั้งเติมกลูตามีน 2 มิลลิโมลาร์ เพนนิซิลิน 100 ยูนิต/มิลลิลิตร และสเตรปโตมัยซิน 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จากนั้นเปลี่ยนอาหารเลี้ยงเซลล์เป็น DMEM ชนิดไม่มีซีรัม แล้วเพาะเลี้ยงเซลล์ต่อไปอีกเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จึงทำการเปลี่ยนอาหารเลี้ยงเซลล์เป็น DMEM ชนิดไม่มีซีรัม จากนั้นใส่แถบยางดิงฟันที่ผลิตขึ้นเองจากยางธรรมชาติ ลงในหลุมของงานเลี้ยงเซลล์

เมื่อใส่แถบยางดิงฟันแล้วบ่มเลี้ยงเซลล์ต่อไป นำแถบยางดิงฟันออกที่เวลาต่างกัน คือ 1, 3 และ 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมสารละลาย MTT (1 mg/ml solution of MTT) ลงไปในแต่ละหลุม เขย่าเบาๆ และนำเซลล์ไปเลี้ยงภายในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศร้อยละ 5 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเอาสารละลาย MTT ออกเติมสารละลาย dimethyl sulfoxide ลงไปในแต่ละหลุม นำงานเลี้ยงเซลล์ไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ค่าความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร นำค่าที่อ่านได้มาคำนวณร้อยละของเซลล์ที่มีชีวิต (% cell viability)

3.3.8.2 การเลี้ยงเซลล์ไฟโบรบลาสต์โดยใช้อาหารเลี้ยงเซลล์ที่แช่แถบยางดิงฟัน

นำแถบยางดิงฟันที่ผลิตขึ้นเองจากยางธรรมชาติ มาเชื้อโดยการใส่ autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที จากนั้นนำแถบยางดิงฟันแต่ละชนิดจำนวน 20 ชิ้น แช่ลงในภาชนะที่ใส่อาหารเลี้ยงเซลล์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ระยะเวลา 30 วัน จากนั้นนำอาหารเลี้ยงเซลล์ที่แช่แถบยางดิงฟันมาใช้แทนอาหารเลี้ยงเซลล์ปกติวิธีการเลี้ยงใช้วิธีเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น โดยเซลล์ไฟโบรบลาสต์ที่ใช้จะเป็นเซลล์ ที่ทำการย้ายเซลล์ครั้งที่ 3 จากนั้นเปลี่ยนจากอาหารเลี้ยงเซลล์ปกติมาเป็นอาหารเลี้ยงเซลล์ที่แช่ยาง เลี้ยงเซลล์ไฟโบรบลาสต์ต่อไปจนทำการย้ายเซลล์อีก 2 ครั้ง จึงทำการเปรียบเทียบรูปร่างของเซลล์ไฟโบรบลาสต์

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

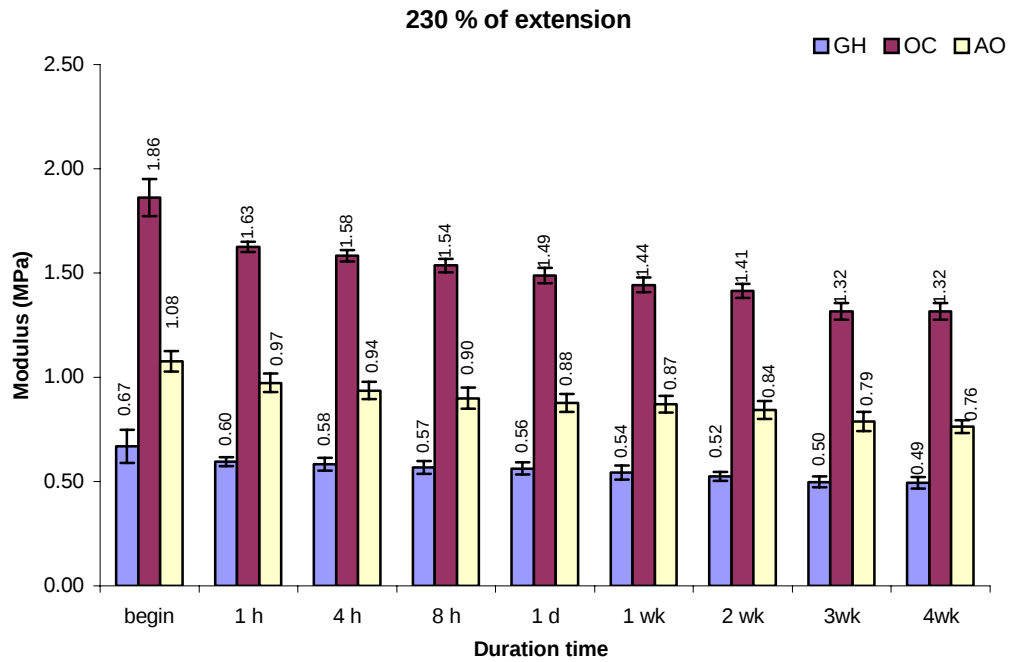
4.1 ค่าโมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางและโซ่ยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

4.1.1 โมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งพืน

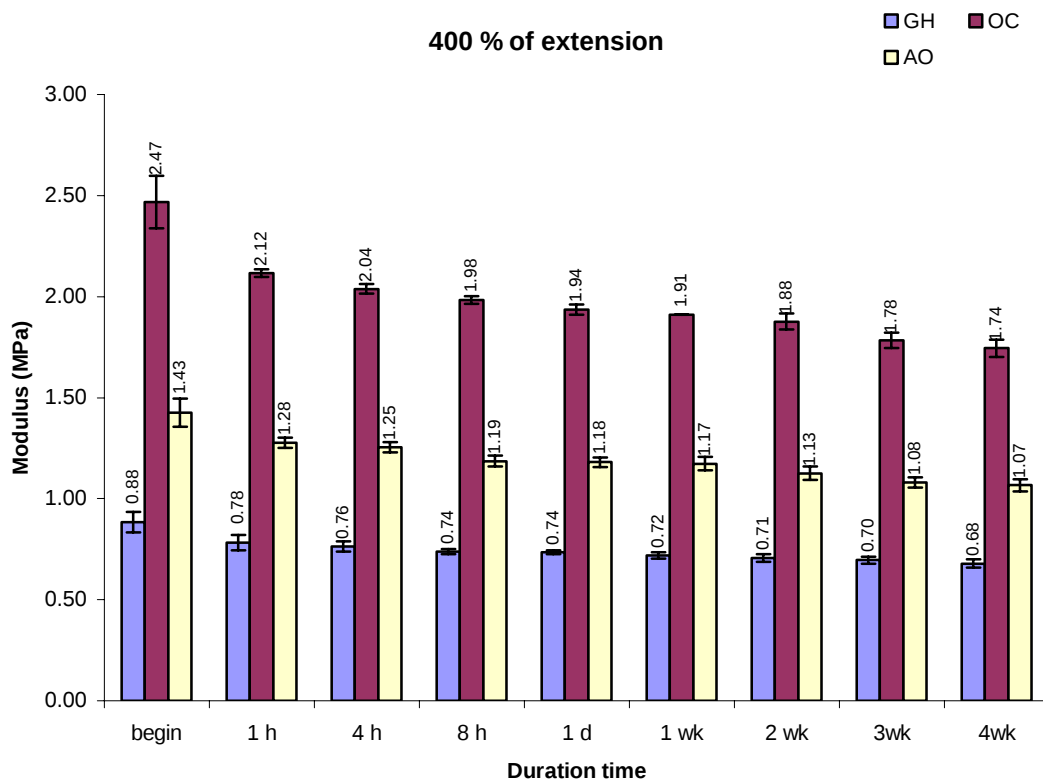
เปรียบเทียบค่าโมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางที่นำเข้าจากต่างประเทศ 3 บริษัท คือ G&H (GH), Ormco (OC) และ American Orthodontics (AO) ที่ 230, 400 และ 567 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 และรูปที่ 4.1 - รูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.1 ค่าโมดูลัสของแถบยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 230, 400 และ 567 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด

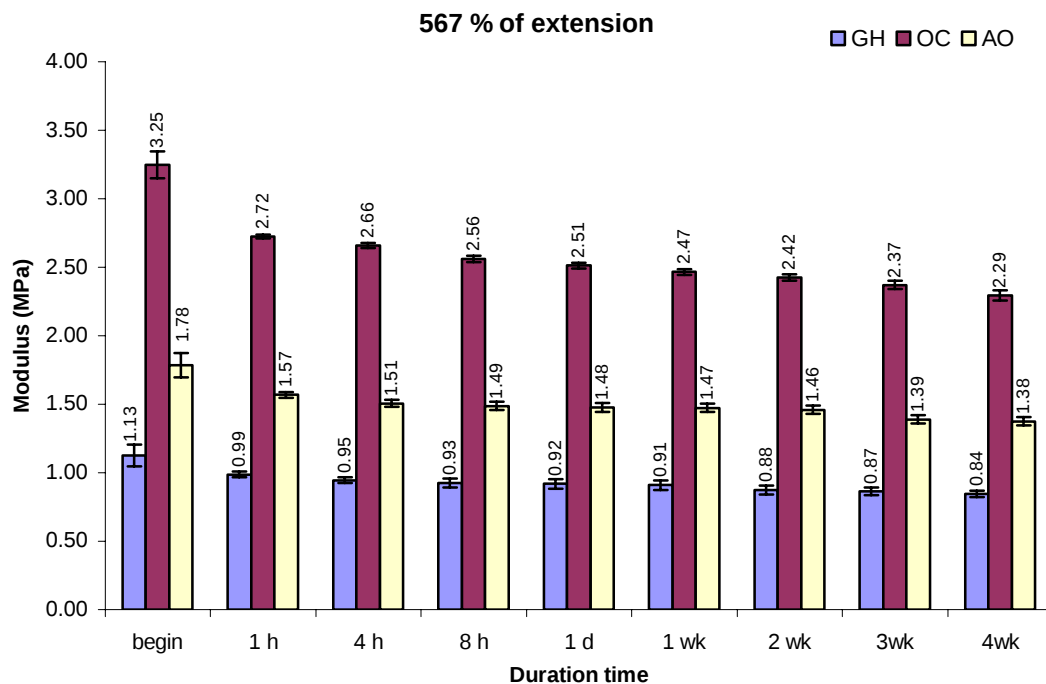
Duration time	Modulus (MPa) ; (SD)								
	230 % of extension			400 % of extension			567 % of extension		
	GH	OC	AO	GH	OC	AO	GH	OC	AO
begin	0.67	1.86	1.08	0.88	2.47	1.43	1.13	3.25	1.78
	(0.08)	(0.09)	(0.05)	(0.05)	(0.13)	(0.07)	(0.08)	(0.10)	(0.09)
1 h	0.60	1.63	0.97	0.78	2.12	1.28	0.99	2.72	1.57
	(0.02)	(0.02)	(0.05)	(0.04)	(0.02)	(0.03)	(0.02)	(0.01)	(0.02)
4 h	0.58	1.58	0.94	0.76	2.04	1.25	0.95	2.66	1.51
	(0.03)	(0.03)	(0.04)	(0.03)	(0.02)	(0.03)	(0.02)	(0.02)	(0.02)
8 h	0.57	1.54	0.90	0.74	1.98	1.19	0.93	2.56	1.49
	(0.03)	(0.03)	(0.05)	(0.01)	(0.02)	(0.03)	(0.03)	(0.02)	(0.03)
1 d	0.56	1.49	0.88	0.74	1.94	1.18	0.92	2.51	1.48
	(0.03)	(0.04)	(0.04)	(0.01)	(0.03)	(0.02)	(0.04)	(0.02)	(0.03)
1 wk	0.54	1.44	0.87	0.72	1.91	1.17	0.91	2.47	1.47
	(0.03)	(0.04)	(0.04)	(0.02)	(0.00)	(0.03)	(0.03)	(0.02)	(0.03)
2 wk	0.52	1.41	0.84	0.71	1.88	1.13	0.88	2.42	1.46
	(0.02)	(0.03)	(0.04)	(0.02)	(0.04)	(0.03)	(0.03)	(0.02)	(0.03)
3wk	0.50	1.32	0.79	0.70	1.78	1.08	0.87	2.37	1.39
	(0.03)	(0.04)	(0.05)	(0.02)	(0.04)	(0.03)	(0.03)	(0.03)	(0.03)
4wk	0.49	1.32	0.76	0.68	1.74	1.07	0.84	2.29	1.38
	(0.03)	(0.04)	(0.03)	(0.02)	(0.04)	(0.03)	(0.02)	(0.04)	(0.03)



รูปที่ 4.1 ค่าโมดูลัสของแถบยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 230 เปอร์เซนต์ของระยะยืด



รูปที่ 4.2 ค่าโมดูลัสของแถบยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 400 เปอร์เซนต์ของระยะยืด

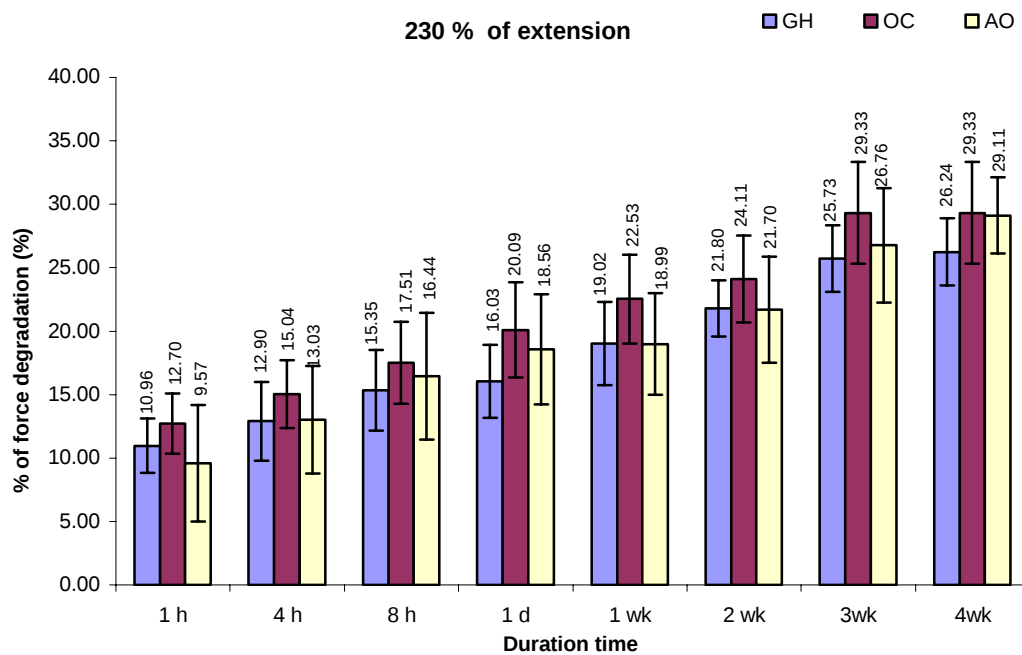


รูปที่ 4.3 ค่าโมดูลัสของแถบยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 567 เปอร์เซนต์ของระยะยืด

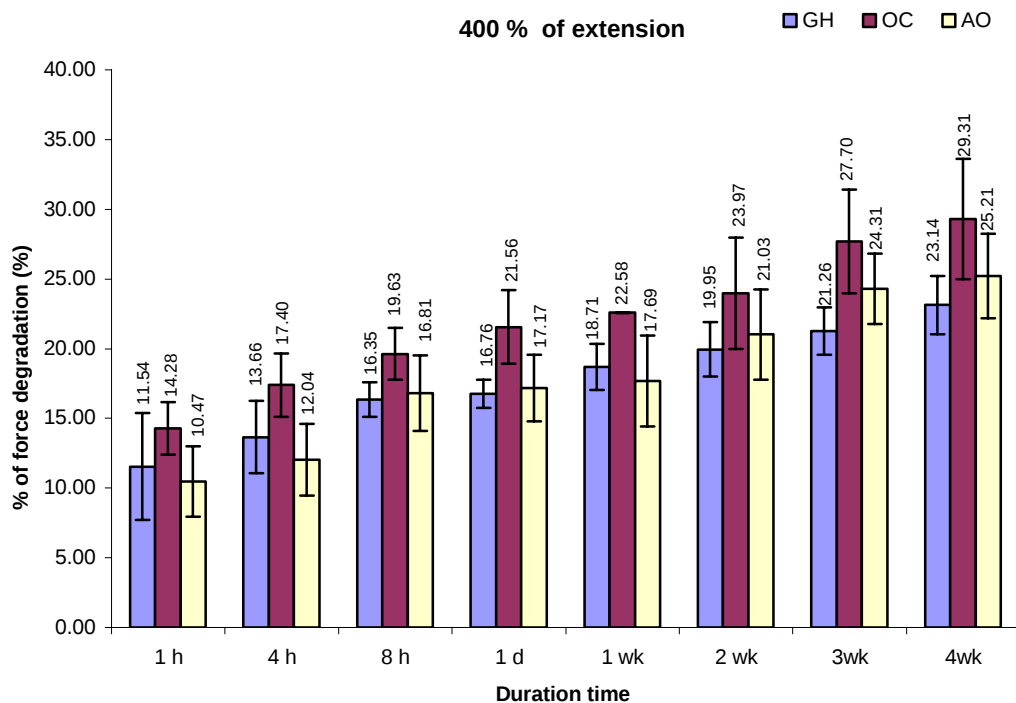
จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 แสดงค่าโมดูลัสของแถบยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 230, 400 และ 567 เปอร์เซนต์ของระยะยืด พบว่า ค่าโมดูลัสของแถบยางดิ่งพืน OC มีค่ามากกว่าแถบยางดิ่งพืน AO และ GH ตามลำดับ และเมื่อเวลาที่ใช้ในการยืดเพิ่มขึ้นค่าโมดูลัสที่ได้มีค่าลดลง โดยที่ในช่วงเวลาชั่วโมงแรกของการทดลองมีค่าลดลงมากที่สุด และมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จนถึงสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง เนื่องจากสมบัติการคลายความเค้นของยาง (Stress relaxation) ทำให้เกิดการไหลของโมเลกุลยาง เกิดการปรับตัวหรือจัดตัวของโครงข่ายโมเลกุลยางให้เข้าสู่ภาวะสมดุลภายใน เมื่อเวลาผ่านไปค่าโมดูลัสของยางที่วัดได้จึงมีค่าลดลง โดยที่ 567 เปอร์เซนต์ของระยะยืด มีค่าโมดูลัสมากกว่าที่ 400 และ 230 เปอร์เซนต์ของระยะยืด ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 230, 400 และ 567 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด

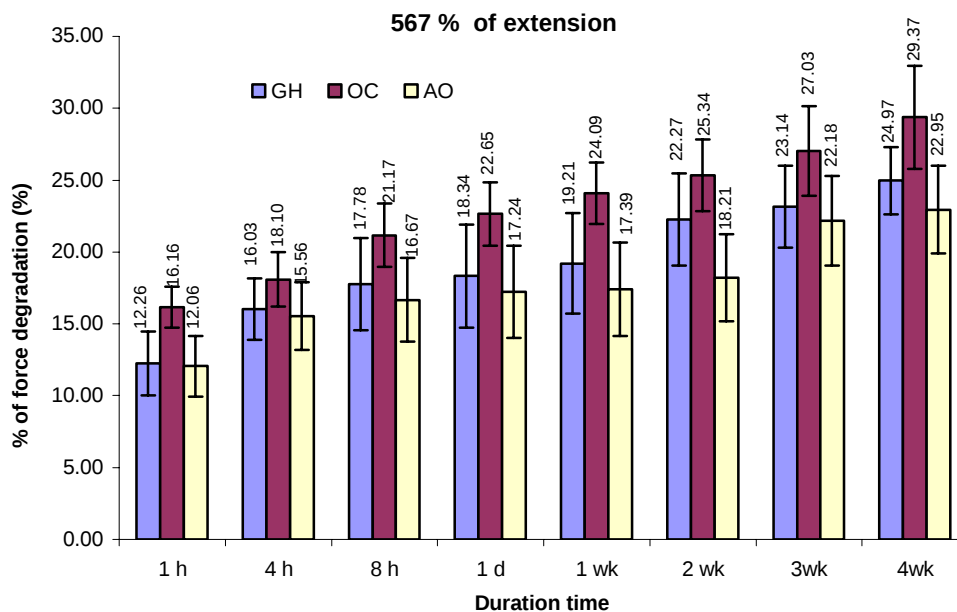
Duration time	Percentages of force degradation (%) ; (SD)								
	230 % of extension			400 % of extension			567 % of extension		
	GH	OC	AO	GH	OC	AO	GH	OC	AO
1 h	10.96	12.70	9.57	11.54	14.28	10.47	12.26	16.16	12.06
	(2.14)	(2.36)	(4.58)	(3.83)	(1.90)	(2.53)	(2.23)	(1.44)	(2.11)
4 h	12.90	15.04	13.03	13.66	17.40	12.04	16.03	18.10	15.56
	(3.09)	(2.68)	(4.23)	(2.58)	(2.27)	(2.56)	(2.13)	(1.90)	(2.36)
8 h	15.35	17.51	16.44	16.35	19.63	16.81	17.78	21.17	16.67
	(3.17)	(3.21)	(5.01)	(1.25)	(1.87)	(2.72)	(3.20)	(2.22)	(2.93)
1 d	16.03	20.09	18.56	16.76	21.56	17.17	18.34	22.65	17.24
	(2.89)	(3.76)	(4.33)	(0.99)	(2.66)	(2.40)	(3.58)	(2.20)	(3.21)
1 wk	19.02	22.53	18.99	18.71	22.58	17.69	19.21	24.09	17.39
	(3.30)	(3.51)	(4.00)	(1.65)	(0.03)	(3.25)	(3.49)	(2.13)	(3.25)
2 wk	21.80	24.11	21.70	19.95	23.97	21.03	22.27	25.34	18.21
	(2.23)	(3.41)	(4.20)	(1.95)	(3.98)	(3.24)	(3.20)	(2.48)	(3.03)
3wk	25.73	29.33	26.76	21.26	27.70	24.31	23.14	27.03	22.18
	(2.64)	(4.02)	(4.51)	(1.70)	(3.73)	(2.53)	(2.85)	(3.10)	(3.10)
4wk	26.24	29.33	29.11	23.14	29.31	25.21	24.97	29.37	22.95
	(2.64)	(4.02)	(3.00)	(2.09)	(4.31)	(3.02)	(2.33)	(3.59)	(3.06)



รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 230 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด



รูปที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 400 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด



รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางคิงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 567 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางคิงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 230, 400 และ 567 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด พบว่า เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางคิงฟัน OC มีค่ามากกว่าแถบยางคิงฟัน AO และ GH ตามลำดับ และเมื่อเวลาที่ใช้ในการยืดเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางคิงฟันที่ 230 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด จะเห็นว่า แถบยางคิงฟัน OC มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงมากกว่าแถบยางคิงฟัน AO และ GH ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเพิ่มระยะยืดที่ 567 เปอร์เซ็นต์ ในรูปที่ 4.6 แถบยางคิงฟัน AO มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงน้อยกว่าแถบยางคิงฟัน GH และ OC ตามลำดับ โดยที่ 567 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงมากกว่าที่ 400 และ 230 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด ตามลำดับ

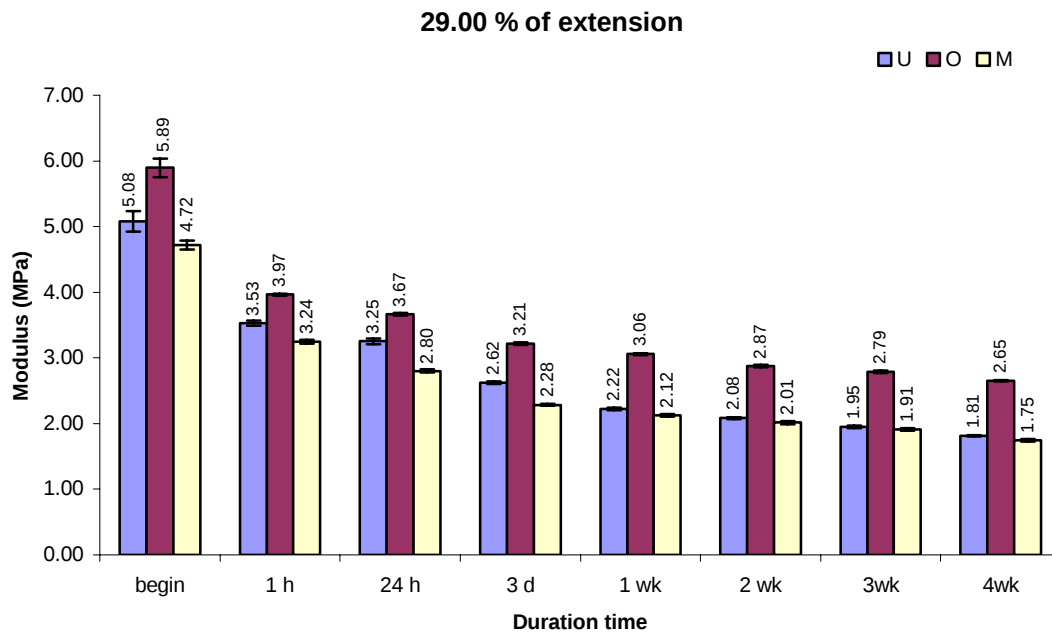
ดังนั้นจากการทดลองหาค่าโมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางคิงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศเพื่อหาแถบยางคิงฟันต้นแบบ สรุปได้ว่า แถบยางคิงฟันของบริษัท American Orthodontics (AO) มีสมบัติข้างต้นดีกว่าแถบยางคิงฟันของบริษัท G&H (GH) และของบริษัท Ormco (OC)

4.1.2 โมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพื้น

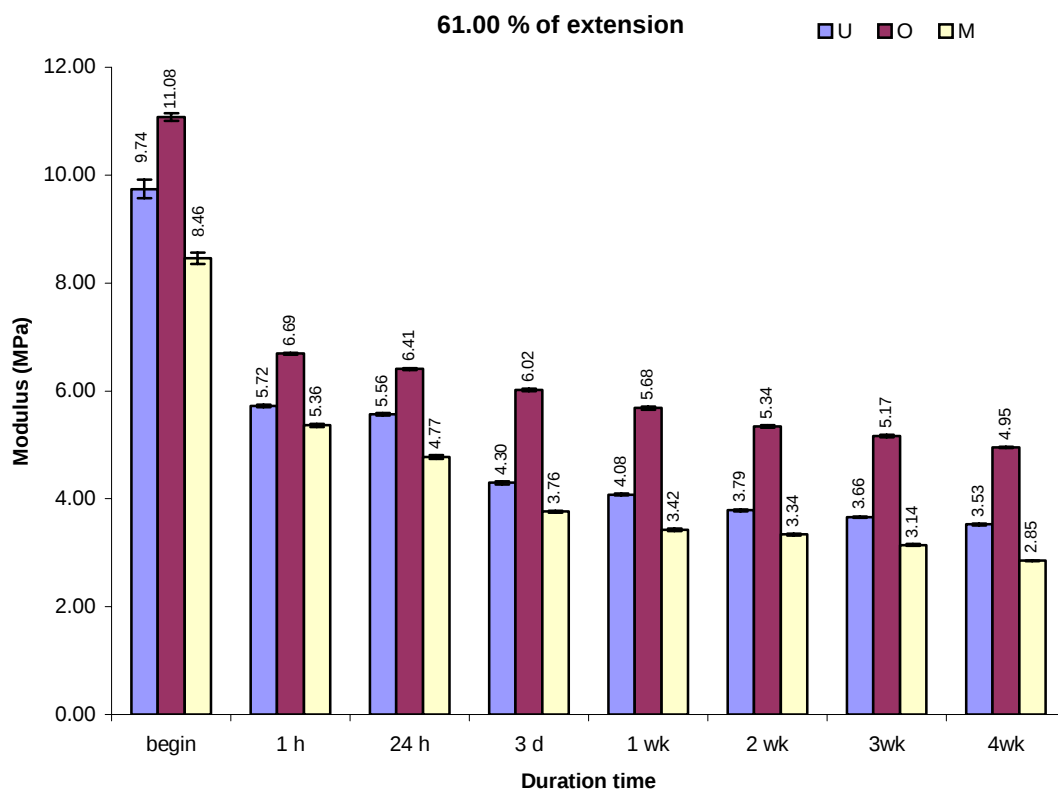
เปรียบเทียบค่าโมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางที่นำเข้าจากต่างประเทศ 3 บริษัท คือ Unitek ® C module spool chains (U), Ormco ® power chain II (O) และ Masel ® plastic chains (M) ที่ 29.00, 61.00 และ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 และรูปที่ 4.7 - รูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.3 ค่าโมดูลัสของโซ่ยางดิ่งพื้นที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 29.00, 61.00 และ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด

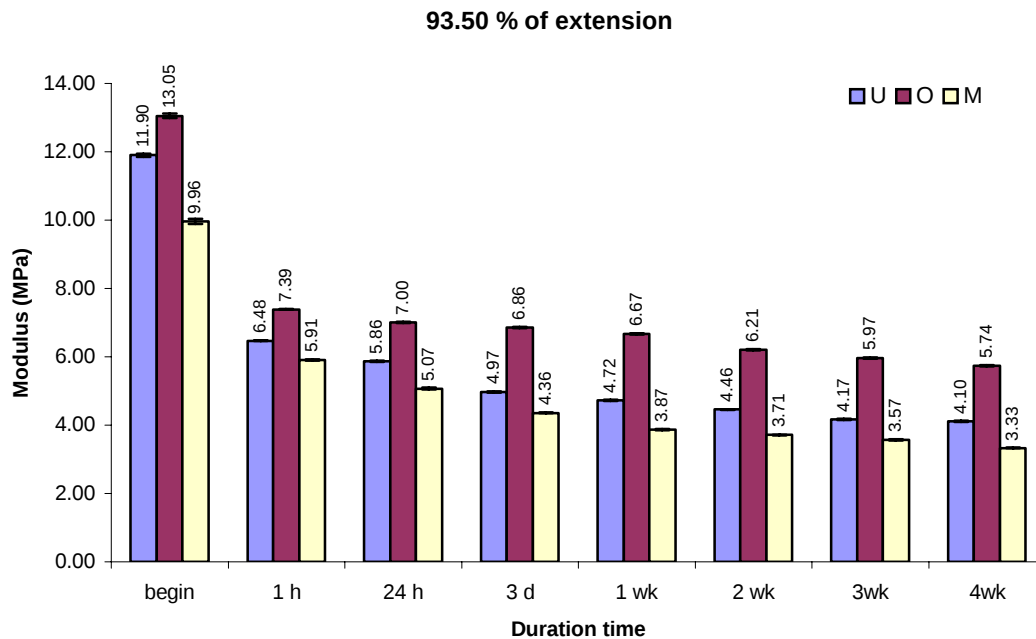
Duration time	Modulus (MPa) ; (SD)								
	29.00 % of extension			61.00 % of extension			93.50 % of extension		
	U	O	M	U	O	M	U	O	M
begin	5.08	5.89	4.72	9.74	11.08	8.46	11.90	13.05	9.96
	(0.16)	(0.14)	(0.07)	(0.17)	(0.07)	(0.11)	(0.05)	(0.06)	(0.07)
1 h	3.53	3.97	3.24	5.72	6.69	5.36	6.48	7.39	5.91
	(0.04)	(0.02)	(0.03)	(0.02)	(0.02)	(0.03)	(0.02)	(0.01)	(0.02)
24 h	3.25	3.67	2.80	5.56	6.41	4.77	5.86	7.00	5.07
	(0.04)	(0.02)	(0.02)	(0.02)	(0.02)	(0.03)	(0.02)	(0.02)	(0.03)
3 d	2.62	3.21	2.28	4.30	6.02	3.76	4.97	6.86	4.36
	(0.02)	(0.02)	(0.02)	(0.03)	(0.03)	(0.02)	(0.02)	(0.02)	(0.01)
1 wk	2.22	3.06	2.12	4.08	5.68	3.42	4.72	6.67	3.87
	(0.02)	(0.02)	(0.02)	(0.02)	(0.03)	(0.03)	(0.02)	(0.02)	(0.02)
2 wk	2.08	2.87	2.01	3.79	5.34	3.34	4.46	6.21	3.71
	(0.01)	(0.02)	(0.02)	(0.02)	(0.02)	(0.02)	(0.01)	(0.02)	(0.01)
3wk	1.95	2.79	1.91	3.66	5.17	3.14	4.17	5.97	3.57
	(0.02)	(0.02)	(0.02)	(0.01)	(0.03)	(0.02)	(0.02)	(0.02)	(0.02)
4wk	1.81	2.65	1.75	3.53	4.95	2.85	4.10	5.74	3.33
	(0.01)	(0.01)	(0.02)	(0.02)	(0.01)	(0.01)	(0.02)	(0.02)	(0.01)



รูปที่ 4.7 ค่าโมดูลัสของโซ่ยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 29.00 เปอร์เซนต์ของระยะยืด



รูปที่ 4.8 ค่าโมดูลัสของโซ่ยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 61.00 เปอร์เซนต์ของระยะยืด

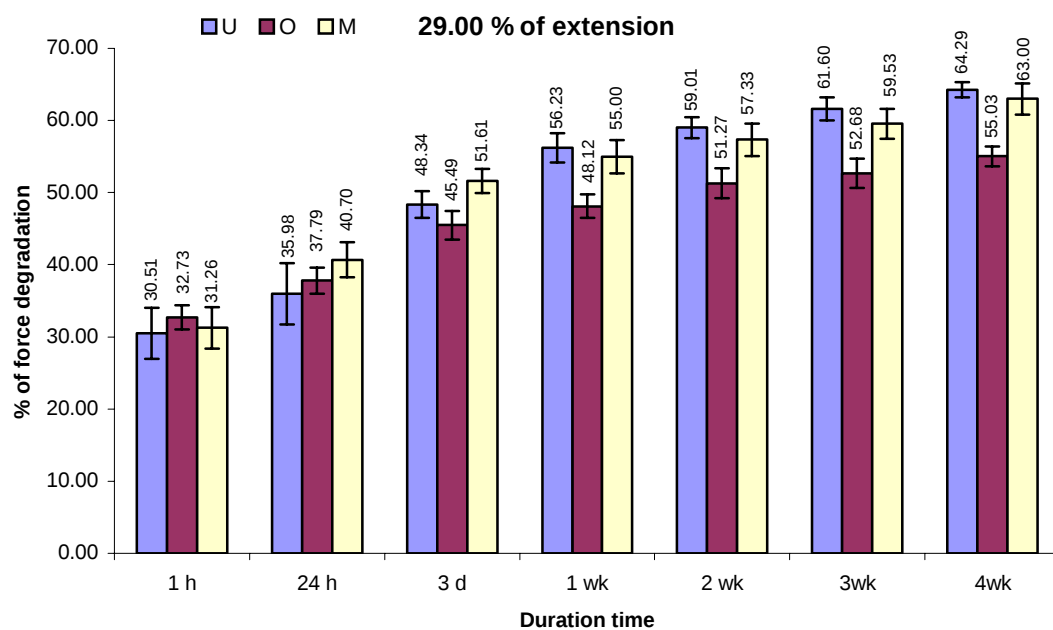


รูปที่ 4.9 ค่าโมดูลัสของโซ่ยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 93.50 เปอร์เซนต์ของระยะยืด

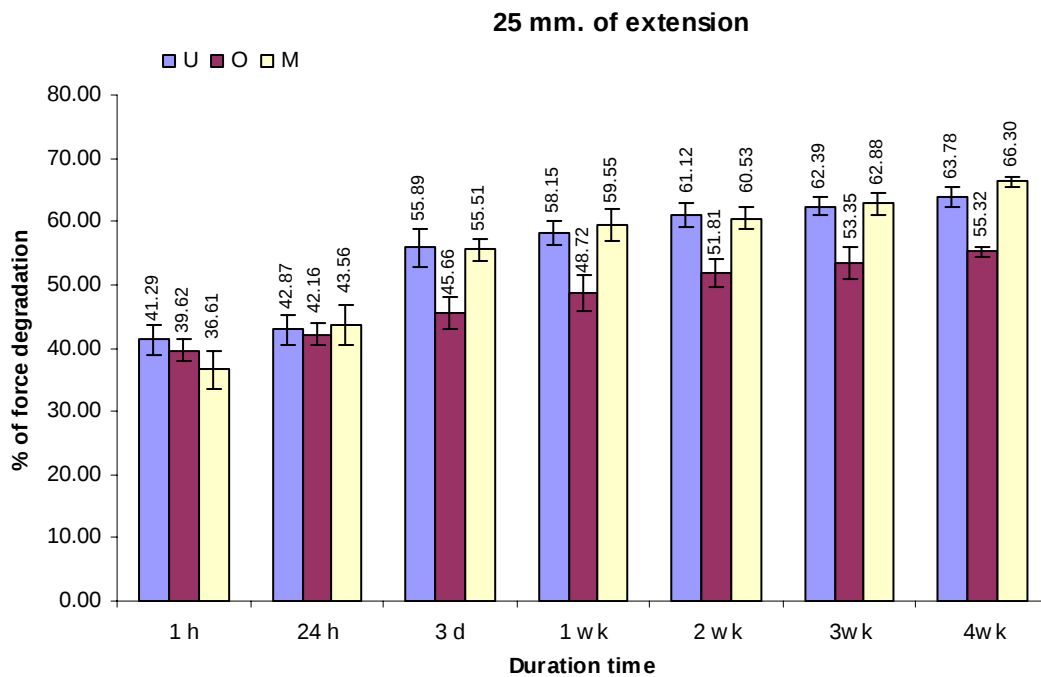
จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 แสดงค่าโมดูลัสของโซ่ยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 29.00, 61.00 และ 93.50 เปอร์เซนต์ของระยะยืด พบว่า ค่าโมดูลัสของโซ่ยางดิ่งพืน O มีค่ามากกว่าโซ่ยางดิ่งพืน U และ M ตามลำดับ และเมื่อเวลาที่ใช้ในการยืดเพิ่มขึ้น ค่าโมดูลัสที่ได้มีค่าลดลง โดยที่ในช่วงเวลาชั่วโมงแรกของการทดลองค่าโมดูลัสลดลงมากที่สุด และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ อย่างช้าๆ ในช่วงเวลา 3 วันจนถึงสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง เนื่องจากสมบัติการคลายความเค้นของยาง (Stress relaxation) ทำให้เกิดการไหลของโมเลกุลยาง แล้วเกิดการปรับตัวหรือจัดตัวของโครงข่ายโมเลกุลยาง ให้เข้าสู่ภาวะสมดุลภายใน เมื่อเวลาผ่านไปค่าโมดูลัสของยางที่วัดได้จึงมีค่าลดลง โดยที่ 93.50 เปอร์เซนต์ของระยะยืด มีค่าโมดูลัสมากกว่าที่ 61.00 และ 29.00 เปอร์เซนต์ของระยะยืด ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 29.00, 61.00 และ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด

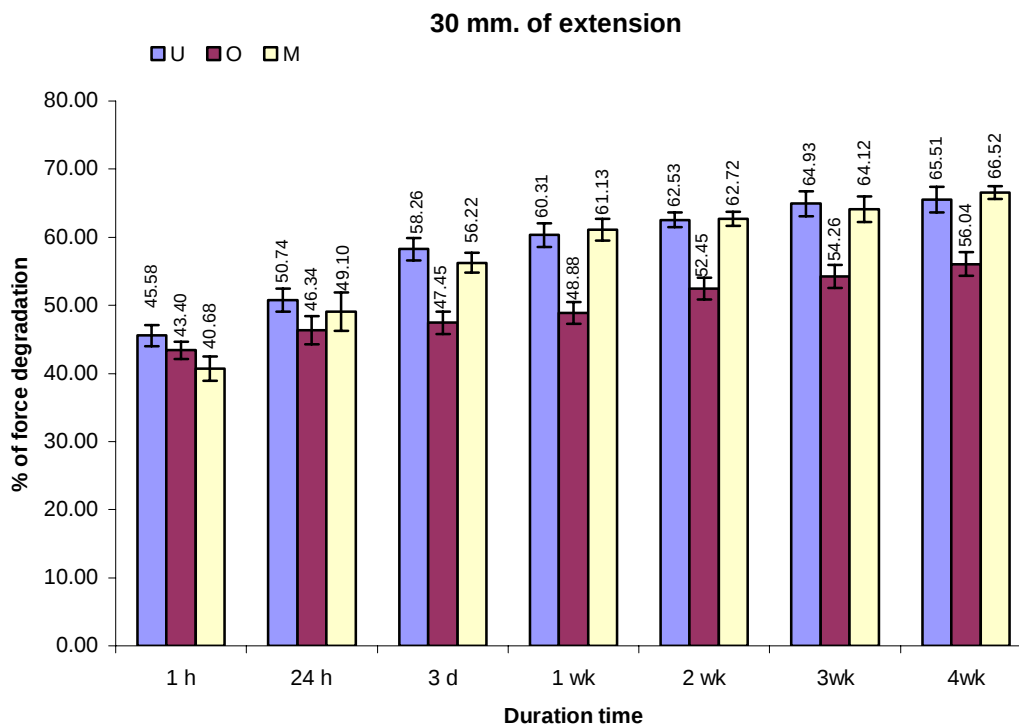
Duration time	Percentages of force degradation (%) ; (SD)								
	29.00 % of extension			61.00 % of extension			93.50 % of extension		
	U	O	M	U	O	M	U	O	M
1 h	30.51	32.73	31.26	41.29	39.62	36.61	45.58	43.40	40.68
	(3.54)	(1.67)	(2.90)	(2.27)	(1.77)	(2.96)	(1.55)	(1.29)	(1.79)
24 h	35.98	37.79	40.70	42.87	42.16	43.56	50.74	46.34	49.10
	(4.26)	(1.84)	(2.42)	(2.28)	(1.78)	(3.22)	(1.71)	(2.04)	(2.82)
3 d	48.34	45.49	51.61	55.89	45.66	55.51	58.26	47.45	56.22
	(1.84)	(1.99)	(1.66)	(3.01)	(2.50)	(1.63)	(1.63)	(1.66)	(1.46)
1 wk	56.23	48.12	55.00	58.15	48.72	59.55	60.31	48.88	61.13
	(2.03)	(1.63)	(2.30)	(1.79)	(2.80)	(2.54)	(1.70)	(1.61)	(1.58)
2 wk	59.01	51.27	57.33	61.12	51.81	60.53	62.53	52.45	62.72
	(1.44)	(2.08)	(2.23)	(1.88)	(2.30)	(1.65)	(1.07)	(1.56)	(1.04)
3wk	61.60	52.68	59.53	62.39	53.35	62.88	64.93	54.26	64.12
	(1.58)	(2.02)	(2.04)	(1.48)	(2.54)	(1.75)	(1.85)	(1.71)	(1.87)
4wk	64.29	55.03	63.00	63.78	55.32	66.30	65.51	56.04	66.52
	(1.06)	(1.36)	(2.16)	(1.59)	(0.80)	(0.87)	(1.86)	(1.74)	(0.95)



รูปที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 29.00 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด



รูปที่ 4.11 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางคิงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 61.00 เปอร์เซ็นต์
ของระยะยืด



รูปที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางคิงฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 93.50 เปอร์เซ็นต์
ของระยะยืด

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ 29.00, 61.00 และ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด พบว่า เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพืนในช่วงแรกของทดลองมีค่าใกล้เคียงกันแต่เมื่อเวลาในการทดลองผ่านไป 3 วัน โซ่ยางดิ่งพืนของ O จะมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงน้อยกว่าโซ่ยางดิ่งพืนของ U และ M ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงที่ใกล้เคียงกัน เมื่อเวลาที่ใช้ในการยืดเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง โดยที่ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงมากกว่าที่ 61.00 และ 29.00 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด ตามลำดับ

ดังนั้นจากการทดลองหาค่าโมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศเพื่อหาโซ่ยางดิ่งพืนต้นแบบ สรุปได้ว่า โซ่ยางดิ่งพืนของบริษัท Ormco ® power chain II (O) มีสมบัติข้างต้นดีกว่าโซ่ยางดิ่งพืนของบริษัท Unitek ® C module spool chains (U) และของบริษัท plastic chains (M) Masel ®

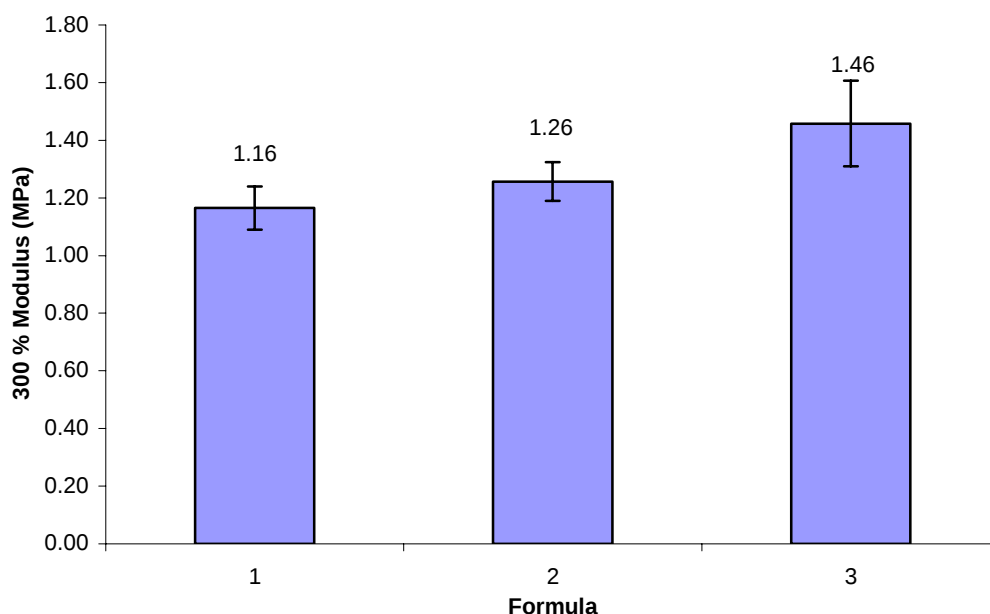
4.2 สมบัติทางกายภาพของสูตรน้ำยางคอมเพาเนตเมื่อแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์

จากการทดลองแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์ในสูตรน้ำยางคอมเพาเนตในตารางที่ 3.1 แล้วทดสอบสมบัติทางกายภาพตามหัวข้อ 3.3.4 ให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.13, 4.14 และ 4.15

ตารางที่ 4.5 สมบัติทางกายภาพของฟิล์มยางเมื่อแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์

formula	Physical Properties ; (SD)		
	300% Modulus (MPa)	Tensile strength (MPa)	% Elongation at break
1	1.16	27.37	1020
	(0.07)	(1.05)	(27.39)
2	1.26	28.01	990
	(0.07)	(1.59)	(22.36)
3	1.46	29.40	920
	(0.15)	(0.85)	(11.18)

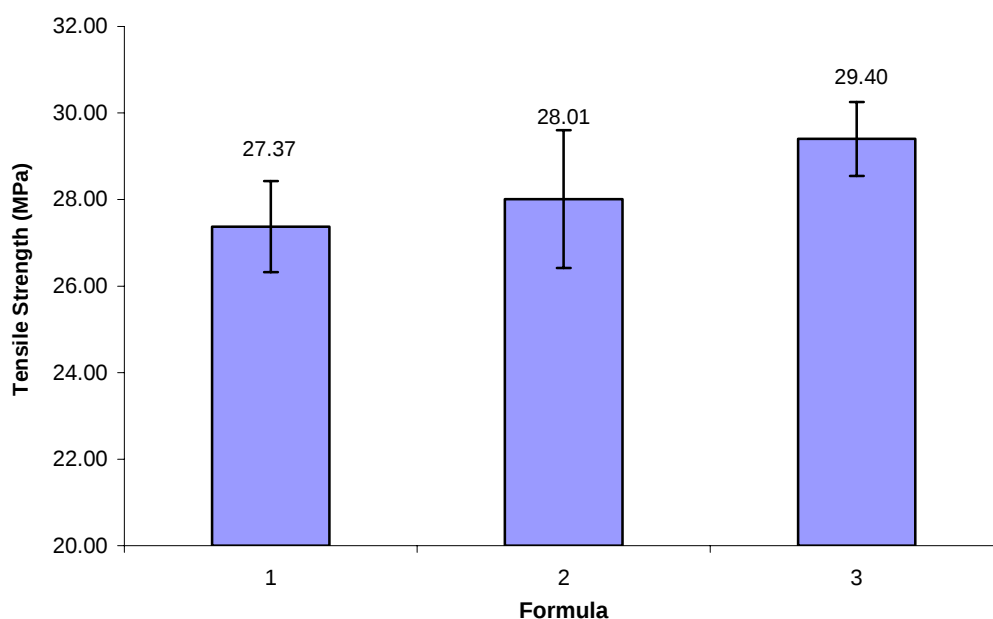
ผลการทดสอบสมบัติ 300 เปอร์เซ็นต์โมดูลัส ของฟิล์มยางเมื่อแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 300 เปอร์เซนต์โมดูลัส ของฟิล์มยางเมื่อแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.13 แสดง 300 เปอร์เซนต์โมดูลัส ของฟิล์มยางโดยแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์ พบว่า ค่า 300 เปอร์เซนต์โมดูลัส มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารวัลคาไนซ์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากยางเกิดการวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น มีการเชื่อมต่อระหว่างสายโซ่โมเลกุลยางกับกำมะถันโมเลกุลเดี่ยว ทำให้ฟิล์มยางที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

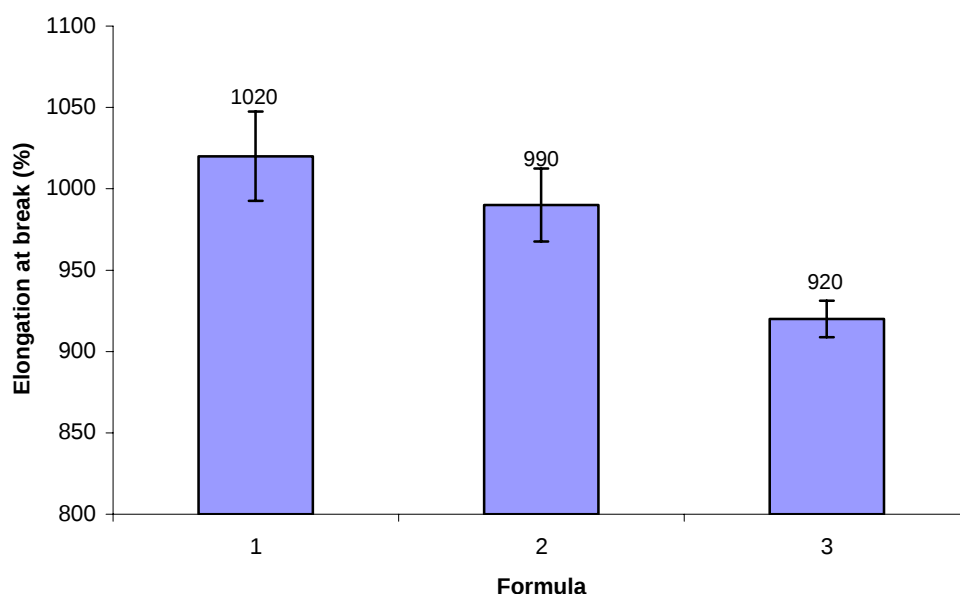
ผลการทดสอบสมบัติ ความต้านทานต่อแรงดึงของฟิล์มยางเมื่อแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ความต้านทานต่อแรงดึงของฟิล์มยางเมื่อแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.14 แสดงค่าความต้านทานต่อแรงดึงของฟิล์มยางโดยแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์ พบว่า ค่าความต้านทานต่อแรงดึง มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารวัลคาไนซ์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากยางเกิดการวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น มีการเชื่อมต่อระหว่างสายโซ่โมเลกุลยางกับกำมะถันโมเลกุลเดียว เมื่อปริมาณกำมะถันเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณพันธะการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ฟิล์มยางที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

ผลการทดสอบสมบัติความสามารถในการยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางเมื่อแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ความสามารถในการยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางเมื่อแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.15 แสดงความสามารถในการยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางโดยแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์ พบว่า เมื่อปริมาณสารวัลคาไนซ์ในสูตรยางเพิ่มขึ้น ความสามารถในการยืดเมื่อขาดของยางลดลง เนื่องจากยางที่มีปริมาณสารวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น ทำให้มีปริมาณพันธะเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น ทำให้ฟิล์มยางมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และสายโซ่โมเลกุลยางอิสระที่เหลืออยู่น้อยลงส่งผลให้ความสามารถในการยืดของยางลดลง

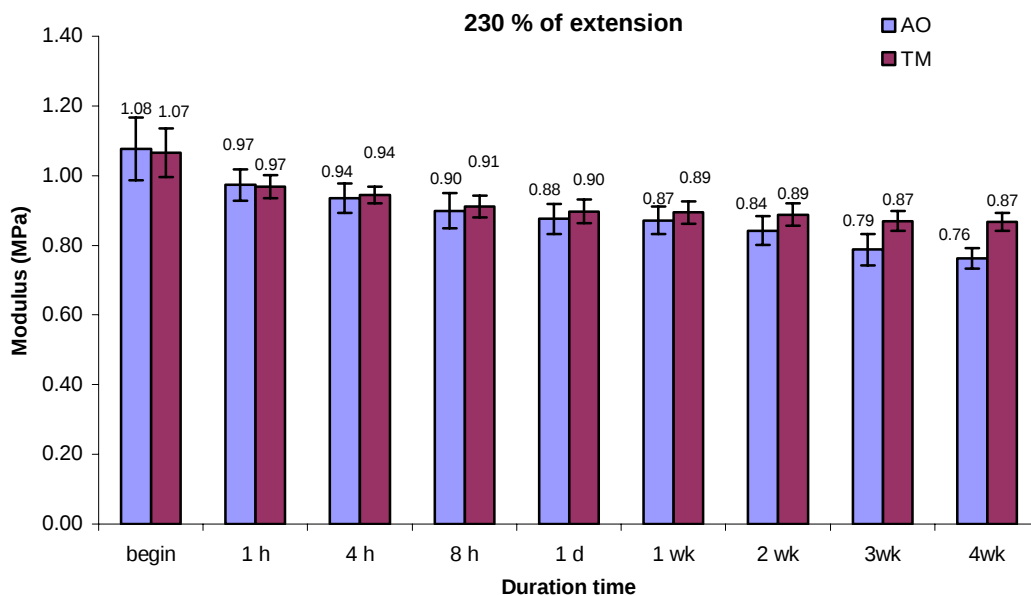
4.3 เปรียบเทียบค่าโมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งฟันและโซ่ยางดิ่งฟันที่ผลิตได้กับผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

4.3.1 โมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งฟันที่ผลิตได้เทียบกับแถบยางดิ่งฟันต้นแบบ

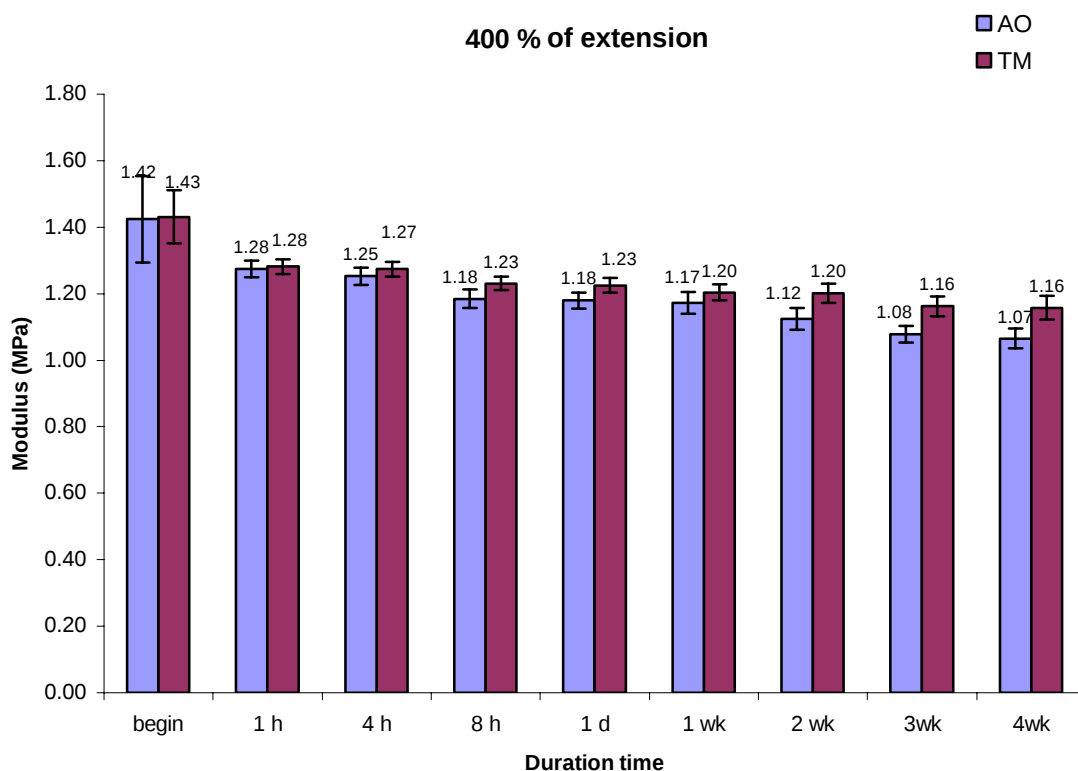
จากการทดลองผลิตแถบยางดิ่งฟันโดยใช้น้ำยางคอมเพานด์สูตร 3 (TM) แล้วทำการทดสอบหาค่าโมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงโดยเปรียบเทียบกับแถบยางดิ่งฟันต้นแบบ คือ แถบยางดิ่งฟันของบริษัท American Orthodontics (AO) ให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.6 และ 4.7 และรูปที่ 4.16 - 4.21

ตารางที่ 4.6 ค่าโมดูลัสของแถบยางดิ่งฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแถบยางดิ่งฟันต้นแบบที่ 230, 400 และ 567 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด

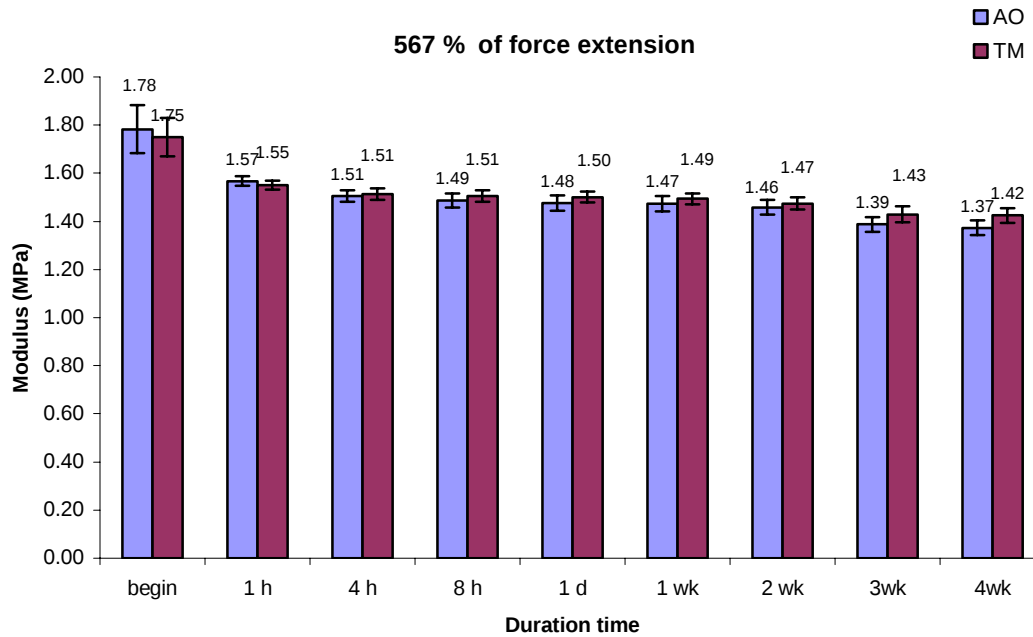
Duration time	Modulus (MPa) ; (SD)					
	230 % of extension		400 % of extension		567 % of extension	
	AO	TM	AO	TM	AO	TM
begin	1.08	1.07	1.42	1.43	1.78	1.75
	(0.09)	(0.07)	(0.13)	(0.08)	(0.1)	(0.08)
1 h	0.97	0.97	1.28	1.28	1.57	1.55
	(0.05)	(0.03)	(0.03)	(0.02)	(0.02)	(0.02)
4 h	0.94	0.94	1.25	1.27	1.51	1.51
	(0.04)	(0.02)	(0.03)	(0.02)	(0.02)	(0.02)
8 h	0.90	0.91	1.18	1.23	1.49	1.51
	(0.05)	(0.03)	(0.03)	(0.02)	(0.03)	(0.02)
1 d	0.88	0.90	1.18	1.23	1.48	1.50
	(0.04)	(0.03)	(0.02)	(0.02)	(0.03)	(0.02)
1 wk	0.87	0.89	1.17	1.20	1.47	1.49
	(0.04)	(0.03)	(0.03)	(0.02)	(0.03)	(0.02)
2 wk	0.84	0.89	1.12	1.20	1.46	1.47
	(0.04)	(0.03)	(0.03)	(0.03)	(0.03)	(0.03)
3wk	0.79	0.87	1.08	1.16	1.39	1.43
	(0.05)	(0.03)	(0.03)	(0.03)	(0.03)	(0.03)
4wk	0.76	0.87	1.07	1.16	1.37	1.42
	(0.03)	(0.03)	(0.03)	(0.04)	(0.03)	(0.03)



รูปที่ 4.16 ค่าโมดูลัสของแถบยางดึงฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแถบยางดึงฟันต้นแบบที่ 230 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด



รูปที่ 4.17 ค่าโมดูลัสของแถบยางดึงฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแถบยางดึงฟันต้นแบบที่ 400 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด

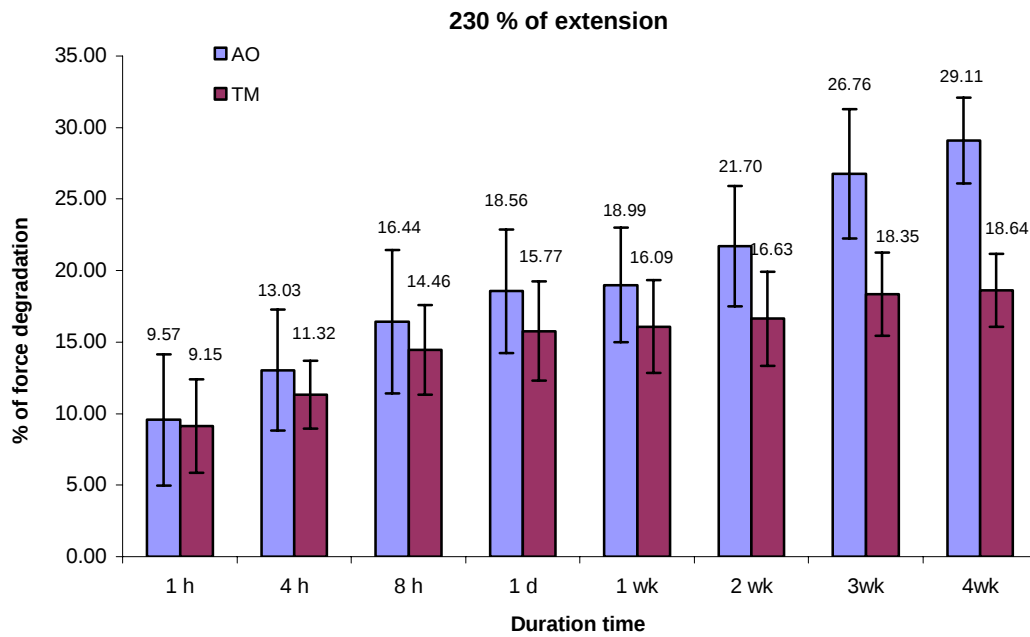


รูปที่ 4.18 ค่าโมดูลัสของแถบยางดิ่งฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแถบยางดิ่งฟันต้นแบบที่ 567 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด

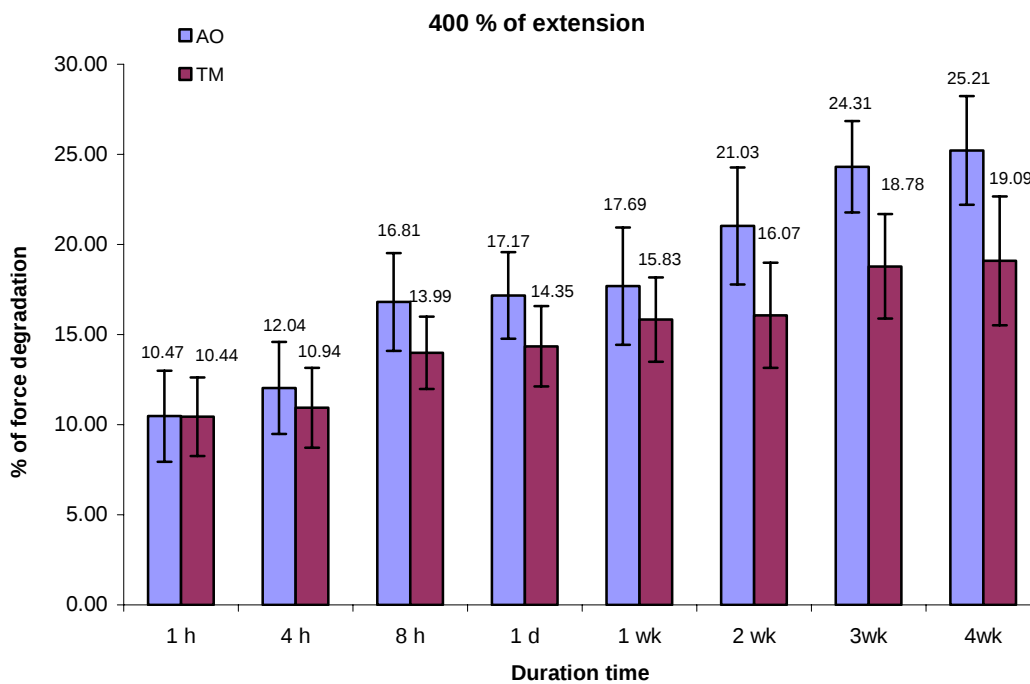
จากผลการทดลองในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.16, 4.17 และ 4.18 แสดงค่าโมดูลัสของแถบยางดิ่งฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแถบยางดิ่งฟันต้นแบบที่ 230, 400 และ 567 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด พบว่าค่าโมดูลัสของแถบยางดิ่งฟันที่ผลิตได้มีค่าใกล้เคียงกันกับค่าโมดูลัสที่ได้จากแถบยางดิ่งฟันต้นแบบ จากรูปจะเห็นว่าเมื่อผ่านไป 8 ชั่วโมงของการทดลองค่าโมดูลัสที่ได้จากแถบยางดิ่งฟันที่ผลิตได้มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากแถบยางดิ่งฟันต้นแบบเล็กน้อย โดยในชั่วโมงแรกของการทดลองค่าโมดูลัสที่ได้มีค่าลดลงอย่างมากและจะลดลงอย่างช้าๆ จนถึงสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง โดยที่ 567 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด มีค่าโมดูลัสมากกว่าที่ 400 และ 230 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแถบยางดิ่งฟัน
ต้นแบบที่ 230, 400 และ 567 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด

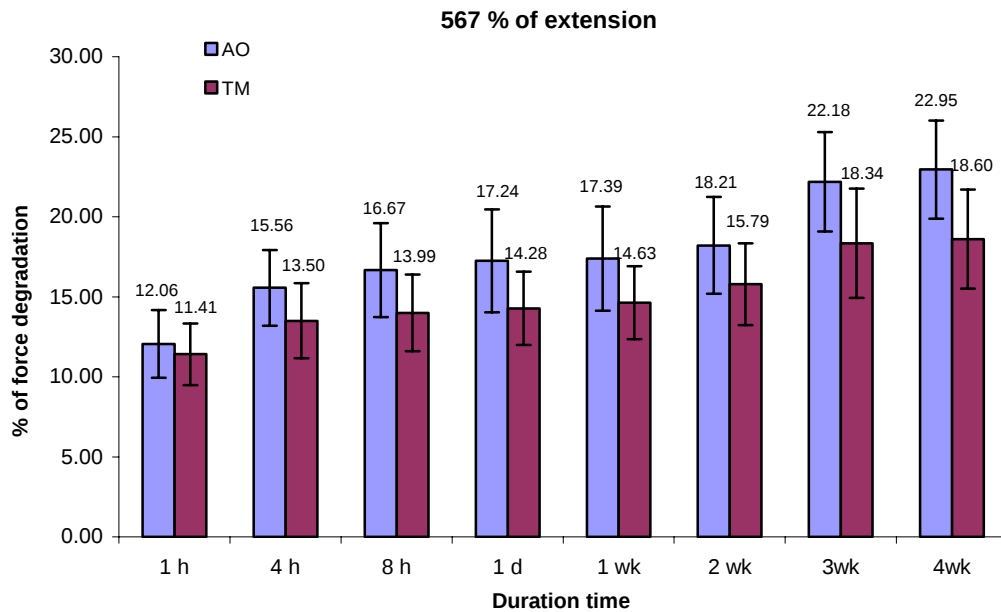
Duration time	Percentages of force degradation (%); (SD)					
	230 % of extension		400 % of extension		567 % of extension	
	AO	TM	AO	TM	AO	TM
1 h	9.57	9.15	10.47	10.44	12.06	11.41
	(4.58)	(3.27)	(2.53)	(2.18)	(2.11)	(1.93)
4 h	13.03	11.32	12.04	10.94	15.56	13.50
	(4.23)	(2.39)	(2.56)	(2.22)	(2.36)	(2.35)
8 h	16.44	14.46	16.81	13.99	16.67	13.99
	(5.01)	(3.13)	(2.72)	(2.00)	(2.93)	(2.39)
1 d	18.56	15.77	17.17	14.35	17.24	14.28
	(4.33)	(3.47)	(2.40)	(2.22)	(3.21)	(2.28)
1 wk	18.99	16.09	17.69	15.83	17.39	14.63
	(4.00)	(3.26)	(3.25)	(2.34)	(3.25)	(2.28)
2 wk	21.70	16.63	21.03	16.07	18.21	15.79
	(4.20)	(3.28)	(3.24)	(2.92)	(3.03)	(2.55)
3wk	26.76	18.35	24.31	18.78	22.18	18.34
	(4.51)	(2.92)	(2.53)	(2.90)	(3.10)	(3.41)
4wk	29.11	18.64	25.21	19.09	22.95	18.60
	(3.00)	(2.55)	(3.02)	(3.57)	(3.06)	(3.10)



รูปที่ 4.19 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดึงฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแถบยางดึงฟัน
ต้นแบบที่ 230 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด



รูปที่ 4.20 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดึงฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแถบยางดึงฟัน
ต้นแบบที่ 400 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด



รูปที่ 4.21 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดึงฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแถบยางดึงฟัน
ต้นแบบที่ 567 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด

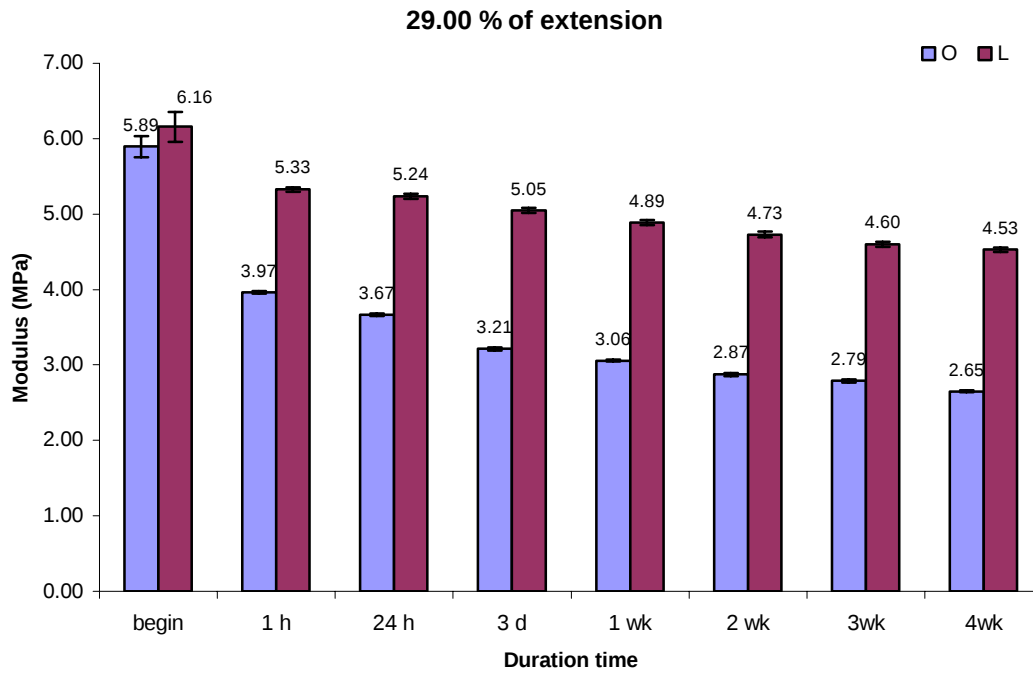
จากผลการทดลองในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.19, 4.20 และ 4.21 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดึงฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแถบยางดึงฟันต้นแบบที่ 230, 400 และ 567 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดึงฟันที่ผลิตได้มีค่าน้อยกว่าค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดึงฟันต้นแบบ และเมื่อเพิ่มเวลาในการทดลอง เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดึงฟันมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งแถบยางดึงฟันต้นแบบและที่ผลิตได้ โดยที่ 567 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงมากกว่าที่ 400 และ 230 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด ตามลำดับ

4.3.2 โมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพืนที่ผลิตได้เทียบกับโซ่ยางดิ่งพืน ต้นแบบ

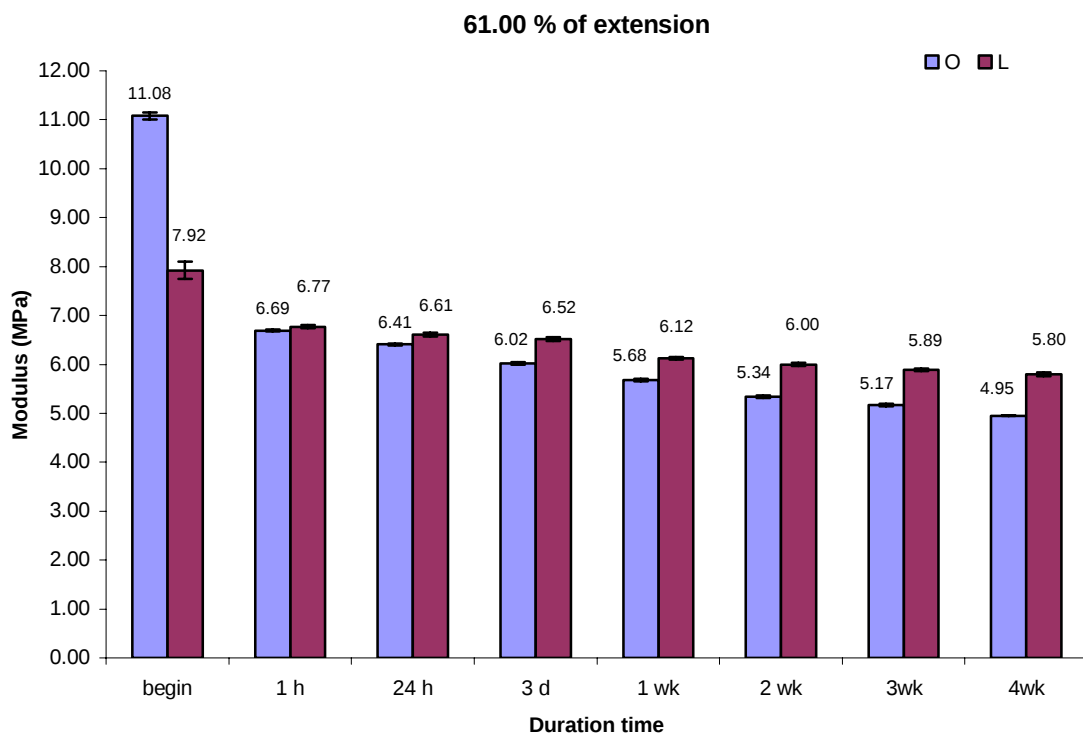
จากการทดลองผลิตโซ่ยางดิ่งพืนโดยใช้น้ำยางคอมเพาเนตสูตร 3 (L) แล้วทำการทดสอบหาค่าโมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงโดยเปรียบเทียบกับโซ่ยางดิ่งพืนต้นแบบ คือ โซ่ยางดิ่งพืนของบริษัท Ormco ® power chain II (O) ให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9 และรูปที่ 4.22 -4.27

ตารางที่ 4.8 ค่าโมดูลัสของโซ่ยางดิ่งพืนที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโซ่ยางดิ่งพืนต้นแบบที่ 29.00, 61.00 และ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด

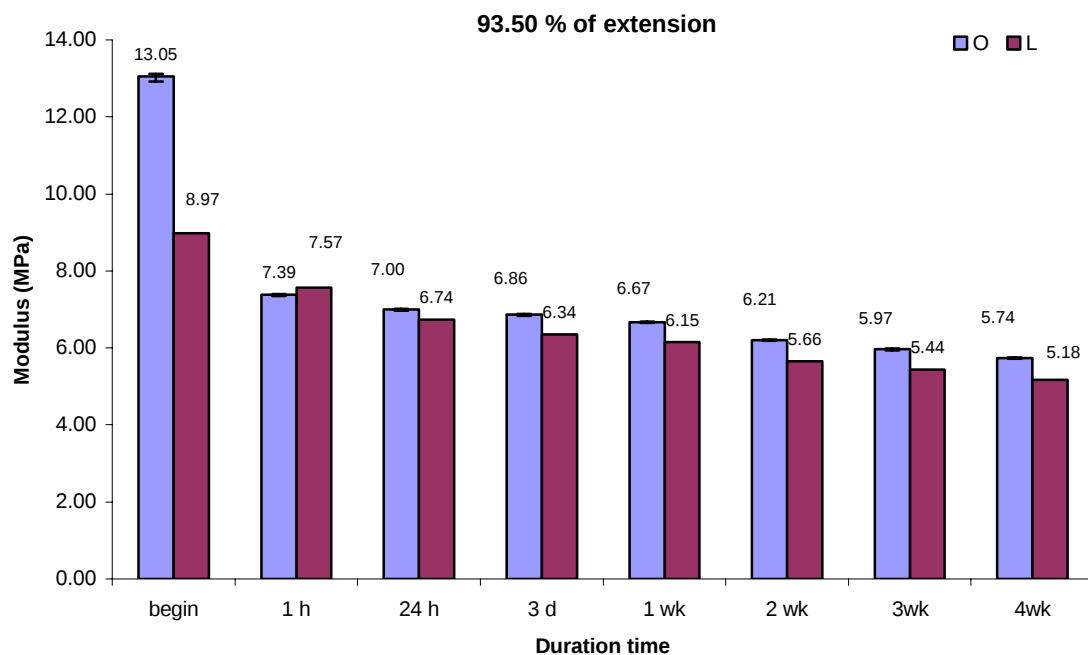
Duration time	Modulus (MPa) ; (SD)					
	29.00 % of extension		61.00 % of extension		93.50 % of extension	
	O	L	O	L	O	L
begin	5.89	6.16	11.08	7.92	13.05	8.97
	(0.14)	(0.20)	(0.07)	(0.18)	(0.06)	(0.14)
1 h	3.97	5.33	6.69	6.77	7.39	7.57
	(0.02)	(0.03)	(0.02)	(0.03)	(0.01)	(0.04)
24 h	3.67	5.24	6.41	6.61	7.00	6.74
	(0.02)	(0.04)	(0.02)	(0.04)	(0.02)	(0.04)
3 d	3.21	5.05	6.02	6.52	6.86	6.34
	(0.02)	(0.03)	(0.03)	(0.04)	(0.02)	(0.03)
1 wk	3.06	4.89	5.68	6.12	6.67	6.15
	(0.02)	(0.04)	(0.03)	(0.02)	(0.02)	(0.02)
2 wk	2.87	4.73	5.34	6.00	6.21	5.66
	(0.02)	(0.04)	(0.02)	(0.03)	(0.02)	(0.02)
3wk	2.79	4.60	5.17	5.89	5.97	5.44
	(0.02)	(0.03)	(0.03)	(0.03)	(0.02)	(0.03)
4wk	2.65	4.53	4.95	5.80	5.74	5.18
	(0.01)	(0.03)	(0.01)	(0.04)	(0.02)	(0.01)



รูปที่ 4.22 ค่าโมดูลัสของโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโซ่ยางคิงฟันต้นแบบที่ 29.00 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด



รูปที่ 4.23 ค่าโมดูลัสของโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโซ่ยางคิงฟันต้นแบบที่ 61.00 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด

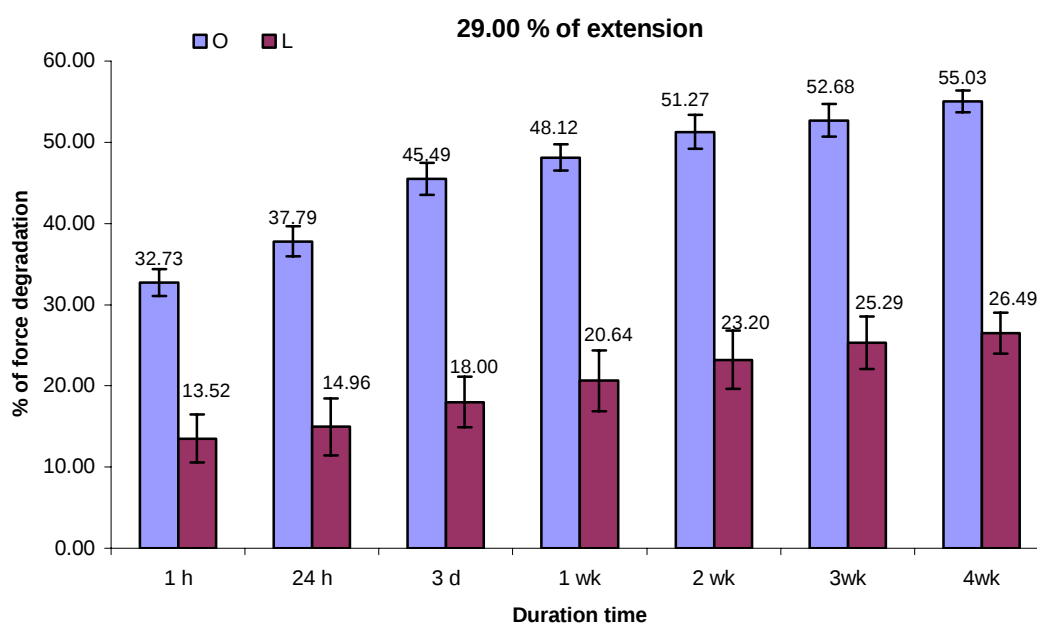


รูปที่ 4.24 ค่าโมดูลัสของโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโซ่ยางคิงฟันต้นแบบที่ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด

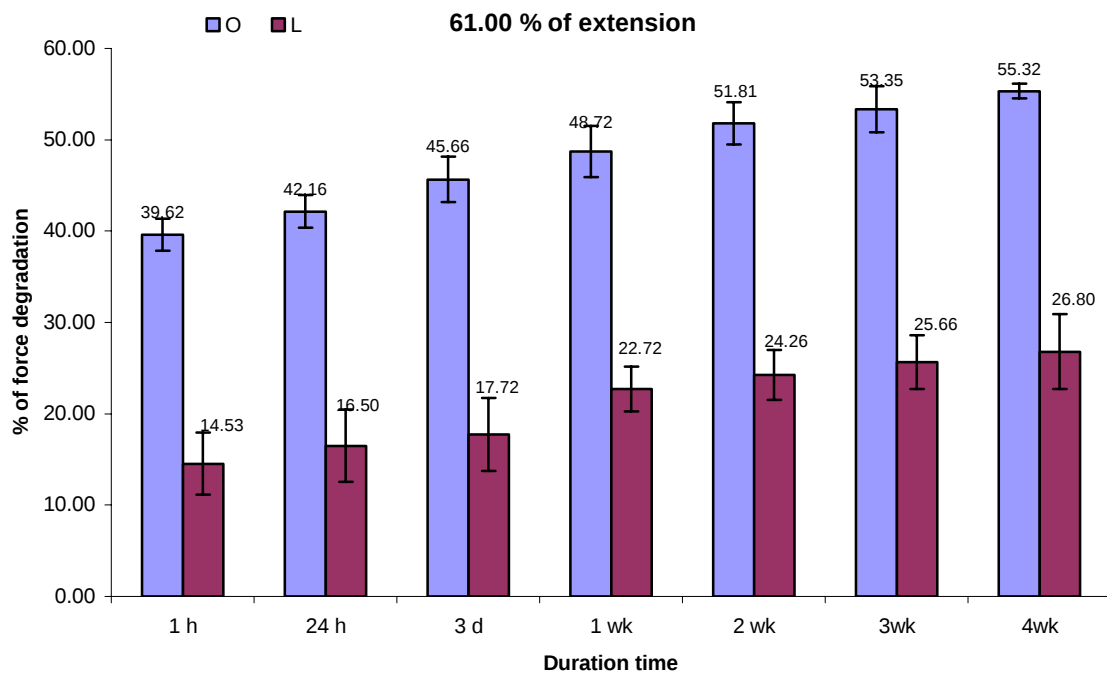
จากผลการทดลองในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.22, 4.23 และ 4.24 แสดงค่าโมดูลัสของโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโซ่ยางคิงฟันต้นแบบที่ 29.00, 61.00 และ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด พบว่าค่าโมดูลัสของโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตได้มีค่าน้อยกว่าค่าโมดูลัสที่ได้จากโซ่ยางคิงฟันต้นแบบในเวลาเริ่มต้นของการทดลอง แต่เมื่อผ่านไป 1 ชั่วโมงจนถึงสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลองค่าโมดูลัสที่ได้จากโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตได้มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากโซ่ยางคิงฟันต้นแบบที่ 29.00 เปอร์เซ็นต์และ 61.00 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด ส่วนที่ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด ค่าโมดูลัสของโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตได้มีค่าน้อยกว่าค่าโมดูลัสของโซ่ยางคิงฟันต้นแบบ ซึ่งจะเห็นว่าในชั่วโมงแรกของการทดลองค่าโมดูลัสที่ได้มีค่าลดลงอย่างมากและจะลดลงอย่างช้าๆจนถึงสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง โดยที่ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด มีค่าโมดูลัสมากกว่าที่ 61.00 และ 29.00 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด ตามลำดับ ยกเว้นค่าโมดูลัสของโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตได้ที่ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด มีค่าน้อยกว่าค่าโมดูลัสของโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตได้ที่ 61.00 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด เมื่อระยะเวลา 3 วันจนถึง 4 สัปดาห์ของการทดลอง

ตารางที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโซ่ยางคิงฟัน
ต้นแบบที่ 29.00, 61.00 และ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด

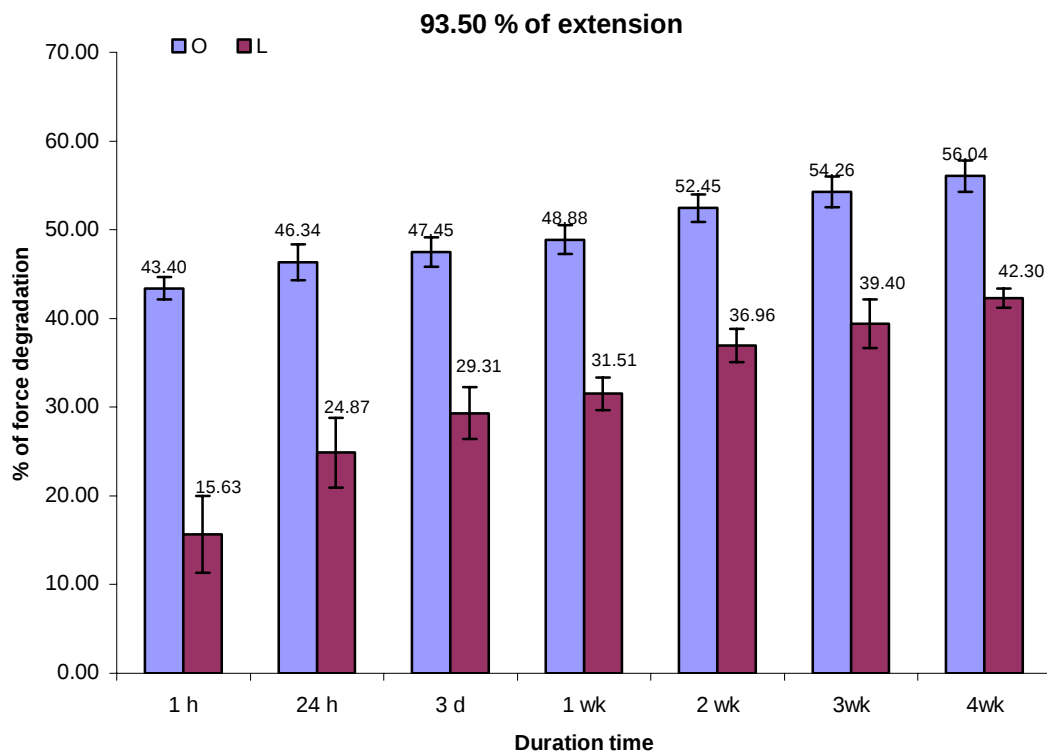
Duration time	Percentages of force degradation (%) ; (SD)					
	29.00 % of extension		61.00 % of extension		93.50 % of extension	
	O	L	O	L	O	L
1 h	32.73	13.52	39.62	14.53	43.40	15.63
	(1.67)	(2.92)	(1.77)	(3.42)	(1.29)	(4.33)
24 h	37.79	14.96	42.16	16.50	46.34	24.87
	(1.84)	(3.52)	(1.78)	(3.98)	(2.04)	(3.95)
3 d	45.49	18.00	45.66	17.72	47.45	29.31
	(1.99)	(3.13)	(2.50)	(4.00)	(1.66)	(2.93)
1 wk	48.12	20.64	48.72	22.72	48.88	31.51
	(1.63)	(3.75)	(2.80)	(2.47)	(1.61)	(1.82)
2 wk	51.27	23.20	51.81	24.26	52.45	36.96
	(2.08)	(3.60)	(2.30)	(2.72)	(1.56)	(1.88)
3wk	52.68	25.29	53.35	25.66	54.26	39.40
	(2.02)	(3.22)	(2.54)	(2.95)	(1.71)	(2.71)
4wk	55.03	26.49	55.32	26.80	56.04	42.30
	(1.36)	(2.56)	(0.80)	(4.10)	(1.74)	(1.06)



รูปที่ 4.25 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโซ่ยางคิงฟัน
ต้นแบบที่ 29.00 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด



รูปที่ 4.26 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโซ่ยางดิ่งพัน
ต้นแบบที่ 61.00 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด



รูปที่ 4.27 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพันที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโซ่ยางดิ่งพัน
ต้นแบบที่ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.25, 4.26 และ 4.27 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพินที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับโซ่ยางดิ่งพินต้นแบบที่ 29.00, 61.00 และ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพินที่ผลิตได้มีค่าน้อยกว่าค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพินต้นแบบ และเมื่อเพิ่มเวลาในการทดลอง เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพินมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งโซ่ยางดิ่งพินต้นแบบและที่ผลิตได้ โดยที่ 93.50 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด มีค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงมากกว่าที่ 61.00 และ 29.00 เปอร์เซ็นต์ของระยะยืด ตามลำดับ

4.4 การทดสอบความเป็นพิษของแถบยางดิ่งพินในห้องปฏิบัติการโดยใช้เซลล์ไฟโบรblast

4.4.1 การทดสอบความเป็นพิษของแถบยางดิ่งพินในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี MTT assay โดยใช้เซลล์ไฟโบรblast

จากการทดสอบความเป็นพิษของแถบยางดิ่งพินตามหัวข้อที่ 3.3.8.1 ให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.10

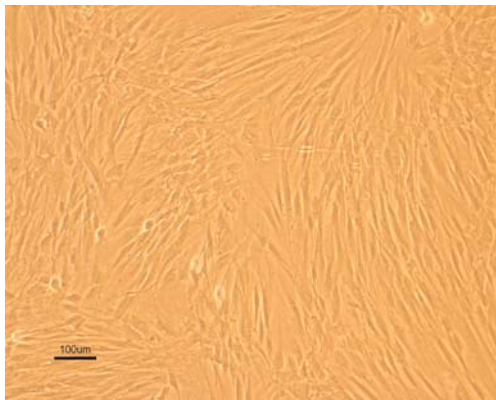
ตารางที่ 4.10 ร้อยละของเซลล์ไฟโบรblastที่มีชีวิต (% cell viability) เมื่อวัดด้วยวิธี MTT assay

ชนิดของยางดิ่งพิน	% cell viability		
	1 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง
แถบยางดิ่งพินที่ผลิตได้	105.90	144.50	111.48

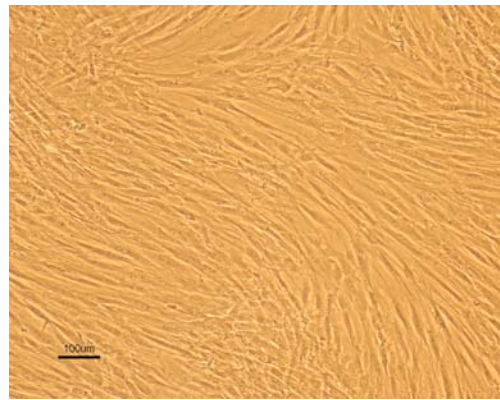
จากผลการทดสอบความเป็นพิษของแถบยางดิ่งพินเมื่อวัดด้วยวิธี MTT assay ดังแสดงในตารางที่ 4.10 พบว่า หลังจากที่ได้ใส่ยางดิ่งพินที่ผลิตขึ้นเองจากยางธรรมชาติลงในอาหารเลี้ยงเซลล์แล้ว เซลล์ไฟโบรblastไม่ตายและสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ กล่าวคือ ยางดิ่งพินที่ผลิตขึ้นเองจากยางธรรมชาติไม่เป็นพิษต่อเซลล์ไฟโบรblast

4.4.2 ผลของการเลี้ยงเซลล์ไฟโบรblastโดยใช้อาหารเลี้ยงเซลล์ที่แช่แถบยางดิ่งพิน

เมื่อเลี้ยงเซลล์ไฟโบรblastในอาหารเลี้ยงเซลล์ที่แช่ยางดิ่งพินที่ผลิตขึ้นเองจากยางธรรมชาติ เป็นระยะเวลา 30 วัน ให้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.28



(ก) กลุ่มควบคุม (ใช้อาหารเลี้ยงเซลล์)



(ข) แถบยางคิงพันที่ผลิตได้

รูปที่ 4.28 (ก) รูปร่างเซลล์ไฟโบรบลาสต์กลุ่มควบคุม (ใช้อาหารเลี้ยงเซลล์)

(ข) รูปร่างเซลล์ไฟโบรบลาสต์เมื่อใช้อาหารเลี้ยงเซลล์ที่แช่แถบยางคิงพัน

จากรูปที่ 4.28 (ก) และ (ข) จะเห็นได้ว่า อาหารเลี้ยงเซลล์ที่แช่ยางคิงพันที่ผลิตได้สามารถใช้เลี้ยงเซลล์ไฟโบรบลาสต์ให้เจริญเติบโตต่อไปได้ และเมื่อทำการย้ายเซลล์ พบว่าเซลล์ไฟโบรบลาสต์ก็สามารถเจริญเติบโตได้ เมื่อเปรียบเทียบรูปร่างของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ที่เลี้ยงด้วยอาหารเลี้ยงเซลล์ที่แช่แถบยางคิงพันที่ผลิตได้กับกลุ่มควบคุมซึ่งเลี้ยงเซลล์ไฟโบรบลาสต์ด้วยอาหารเลี้ยงเซลล์ปกติ พบว่าทั้งสองกลุ่ม รูปร่างของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ไม่มีความแตกต่างกัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ค่าโมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางและโซ่ยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศเพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

- ค่าโมดูลัสและของแถบยางดิ่งพืนและโซ่ยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศมีค่าลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นของเวลาการทดลอง และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะยืดในการทดลองเพิ่มขึ้น
- เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งพืนและโซ่ยางดิ่งพืนที่นำเข้าจากต่างประเทศมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นของเวลาการทดลอง และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะยืดในการทดลองเพิ่มขึ้น
- แถบยางดิ่งพืนที่ได้จากต่างประเทศของบริษัท American Orthodontics (AO) มีสมบัติในการสูญเสียแรงน้อยกว่า แถบยางดิ่งพืนของบริษัท G&H (GH) และของบริษัท Ormco (OC) จึงเลือกแถบยางดิ่งพืนของบริษัท American Orthodontics (AO) เป็นแถบยางดิ่งพืนต้นแบบ
- โซ่ยางดิ่งพืนที่ได้จากต่างประเทศของบริษัท Ormco ® power chain II (O) มีสมบัติในการสูญเสียแรงน้อยกว่า โซ่ยางดิ่งพืนของบริษัท Unitek ® C module spool chains (U) และของบริษัท plastic chains (M) Masel ® จึงเลือกโซ่ยางดิ่งพืนของบริษัท Ormco ® power chain II (O) เป็นโซ่ยางดิ่งพืนต้นแบบ

5.1.2 สมบัติทางกายภาพของสูตรน้ำยางคอมเพานด์เมื่อแปรปริมาณสารวัลคาไนซ์

- ค่า 300 เปอร์เซ็นต์โมดูลัสของฟิล์มยางเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น
- ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของฟิล์มยางเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น
- ค่าความสามารถในการยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางลดลง เมื่อปริมาณสารวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น
- สูตรน้ำยางคอมเพานด์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ สูตรน้ำยางคอมเพานด์สูตรที่ 3 มีกำมะถัน 2.0 phr และ สารตัวเร่ง 1.0 phr มีสมบัติทางกายภาพดีที่สุด เลือกเป็นสูตรที่นำไปผลิตแถบยางดิ่งพืนและโซ่ยางดิ่งพืน

5.1.3 เปรียบเทียบค่าโมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งพืนและโซ่ยางดิ่งพืนที่ผลิตได้กับผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

- ค่าโมดูลัสและของแถบยางดิ่งพืนและโซ่ยางดิ่งพืนที่ผลิตได้มีค่าลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นของเวลาการทดลอง และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะยืดในการทดลองเพิ่มขึ้น

- เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางคิงฟันและโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นของเวลาการทดลอง และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะยึดในการทดลองเพิ่มขึ้น

- ค่าโมดูลัสของแถบยางคิงฟันที่ผลิตได้มีค่าใกล้เคียงกันกับแถบยางคิงฟันต้นแบบ และค่าโมดูลัสของโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตได้มีค่ามากกว่าโซ่ยางคิงฟันต้นแบบเมื่อยึดที่ 29.00 และ 61.00 เปอร์เซ็นต์ของระยะยึด

- เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางคิงฟันและโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตได้มีค่าน้อยกว่าแถบยางคิงฟันและโซ่ยางคิงฟันต้นแบบ

5.1.4 การทดสอบความเป็นพิษของแถบยางคิงฟันในห้องปฏิบัติการโดยใช้เซลล์ไฟโบรบลาส

- แถบยางคิงฟันที่ผลิตขึ้นเองจากยางธรรมชาติไม่เป็นพิษต่อเซลล์ไฟโบรบลาสเมื่อทดสอบความเป็นพิษด้วยวิธี MTT assay

- เมื่อเลี้ยงเซลล์ไฟโบรบลาสในอาหารเลี้ยงเซลล์ที่แช่ยางคิงฟันที่ผลิตได้ เซลล์ไฟโบรบลาสที่ได้ยังสามารถเจริญเติบโตได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การผลิตโซ่ยางคิงฟัน ยังไม่ได้รูปร่างที่เหมือนกับต้นแบบ ซึ่งแต่เดิมได้วางแผนให้ใช้ตัวกดแบบ แต่ไม่สามารถหาผู้ผลิตตัวกดแบบได้ เนื่องจากต้นแบบมีขนาดเล็กกว่าที่ผู้ผลิตเคยผลิตให้ งานวิจัย อื่น ๆ การผลิตโซ่ยางคิงฟันจึงอาจต้องใช้วิธีผลิตแบบอื่นนอกจากวิธีการจุ่มในระบบสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อน เช่น การฉีดยางเข้าเบ้าพิมพ์ (Injection Processing) โดยใช้ยางแห้ง

5.2.2 ศึกษาการแพ้ของยางที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน โดยใช้เซลล์ไฟโบรบลาสเหงือก ด้วยวิธี MTT assay

5.2.3 เมื่อผ่านการทดสอบการแพ้แล้ว ควรมีการทดลองประสิทธิภาพของยางคิงฟันในผู้ป่วยจริง เปรียบเทียบกับต้นแบบว่า คุณสมบัติทางกายภาพดีกว่าแถบยางคิงฟันที่เราผลิต มีผลต่อประสิทธิภาพการเคลื่อนฟันในผู้ป่วยจริงหรือไม่

บรรณานุกรม

1. พักตร์ประไพ ต้นธีรวงศ์. เมษายน 2547. วารสารเศรษฐกิจการเกษตร ฉบับที่ 565.
2. De Genova DC, Mc Innes-Ledoux P, Weinberg R, Shaye R. Force degradation of orthodontic elastic chains – a product comparison study. *Am J Orthod* 1985;87:377-84.
3. Bishara SE, Andreasen GF. Comparison of time relate forces between plastic elastiks and latex elastics. *Angle Orthod* 1970;40:319-28.
4. Kersey ML, Glover KE, Raboud D. A comparison of dynamic and static testing of latex and nonlatex orthodontic elastics. *Angle Orthod* 2003;73(2):181-6.
5. Baty DL, Storie DL, von Fraunhofer JA. Synthetic elastomeric chains: A literature review. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1994;105(6):536-42.
6. Bales TR, Chaconas SJ, Caputo AA. Force extension characteristics of orthodontics of orthodontic elastics. *Am J Orthod* 1977;72:296-302
7. Nattrass C, Ireland AJ, Lovell CR. Latex allergy in an orthognathic patient and implications for clinical management. *Br J Oral and Maxillofac* 1999;37:11-3.
8. อรสา ภัทรไพบุญชัย. การผสมสารเคมีลงในน้ำยางเพื่อให้ได้ความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุด. รายงานการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์;2535.
9. Holmes J, Barker MK, Walley EK, Tuncay OC. Cytotoxicity of orthodontic elastics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;104:188-91
10. ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์ และพรสิทธิ์ วงศ์บุญทร. การเตรียมและสมบัติบางประการของยางโปรตีนต่ำ. ว.สงขลานครินทร์ วทท. 2540 19(2) :223-9
11. วราภรณ์ ขจรไชยกูล, พลจิต บัวแก้ว และภัทรา กานตศิลป์. น้ำยางข้นและการผลิตถุงมือยาง. กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง ศูนย์วิจัยยางสงขลา. 2531:3-25
12. Metherell C. Compounding natural rubber for food contact applications. *INR Technology* 1982; 13(2):21-30
13. Blackley, D. C. 1997. *Polymer Latice Science and Technology Vol.2 Types of Lactices*, 2nd ed., Chapman & Hall, London, p.78 – 95, 331-336 Cockbain, E. G., 1956, “Heat sensitization of Natural Latex Heat Development”, *Tras Inst Rubb Ind.* p.32, 97, 101.
14. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2528. “น้ำยาง”, เอกสารฉบับที่ 109 ตุลาคม ห้องสมุดกลาง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, วิทยาเขตหาดใหญ่
15. Resing W., 2000. “Production, Processing and Property”, *Natuurrubber* 17, 1 st quarter.

- (www.rubber-stichting.ind.tno.nl/art7-5nr17.html), Feb. 10, 2003.
16. Hannam P.H. 1973. "An introduction to latex dipping". NR Technology 4 (PT.2) p.33-35
<http://www.lgm.gov.my/services/rptu/higloves.html> 20 October 2548
 17. Gorton, A.D.T. 1976. "Latex dipping by heat sensitization", Plastic and Rubber: Processing. Part 3, p.13.
 18. Bishara SE. Textbook of orthodontics. W.B. Saunders Company. 2001; 352-3
 19. Brantley WA, Eliades T. Orthodontic Materials: scientific and clinical aspects. Printed in Germany 2001; 174-9
 20. Wong AK. Orthodontic elastic materials. Angle Orthod 1976; 6:196-205
 21. Hanson m, Lobner D. In vitro neuronal cytotoxicity of latex and nonlatex orthodontic elastics. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2004; 126:65-70
 22. Baty DL, Volz JE, von Fraunhofer JA. Force delivery properties of colored elastomeric modules. Am J Dentofac Orthop 1994;106:40-6
 23. Nattrass C, Ireland AJ, Lovell CR. Latex allergy in an orthognathic patient and implications for clinical management. Br J Oral Maxillofac Surg 1999;37:11-3
 24. Andreasen GF, Bishara SE. Comparison of alastik chains with elastics involve with intra-arch molar to molar forces. Angle Orthod 1970;40:151-8
 25. Bishara SE, Andreasen GF. Comparison of time related forces between plastic alastiks and latex elastics. Angle Orthod 1970;40:319-28
 26. Kersey ML, Glover KE, Heo G, Raboud D, Major PW. A comparison of dynamic and static testing of latex and non-latex orthodontic elastics. Angle Orthod 2003;73:181-6
 27. Ash JL, Nikolai J. Relaxation of orthodontic elastomeric chains and modules in vitro and in vivo. J Dent Res 1978;57:685-90
 28. Chau Lu Tz, Wang WN, Tarng TH, Chen JW. Force decay of elastomeric chain-a serial study part II. Am J Orthod Dentofac Orthop 1993;104:373-7

1. บทความสำหรับการเผยแพร่

บทความ 1 : แอบบางคิงฟันที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ

บทนำ

แอบบางคิงฟัน ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน เพื่อลดระยะห่างระหว่างขากรรไกรบนล่าง และสำหรับฟันที่ต้องการเพิ่มแรงค้ำเป็นพิเศษ โดยทั่วไปแอบบางคิงฟันจะผลิตจากน้ำยาง¹ ซึ่งการยืดหยุ่นของยางที่สามารถยืดได้มากโดยไม่ขาดหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงที่ใช้ แต่เพราะยางธรรมชาติสามารถเกิดการแพ้กับผู้ใช้ได้ ทำให้ยางสังเคราะห์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่เข้ามาแทนที่ยางธรรมชาติ¹⁻⁴ อย่างไรก็ตาม พอลิเมอร์สังเคราะห์ก็ยังมีปัญหา เมื่อค้ำโดยใช้แรงให้ยางยืดในช่วงระยะยืดที่แน่นอน ยางที่ได้จะเกิดการคลายแรงในช่วงเวลาหนึ่ง มีรายงานว่าเมื่อนำยางจุ่มในน้ำตะกั่ว จะเกิดการอ่อนแอของแรงที่ไม่ใช่แรงพันธะโควาเลนต์ และจะเกิดการเสื่อมสภาพลงเรื่อย ๆ^{3,5-6} ในการศึกษาสมบัติของแอบบางคิงฟันจากน้ำยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ พบว่าการสูญเสียแรงที่ได้จากแอบบางคิงฟันจากน้ำยางธรรมชาติลดลงน้อยกว่าแอบบางคิงฟันยางสังเคราะห์⁶⁻⁹ แอบบางคิงฟันที่ได้จากน้ำยางธรรมชาติสูญเสียแรงประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ ของแรงเริ่มต้นในเวลา 24 ชั่วโมงและจะลดลงไปเรื่อย ๆ⁶⁻¹¹ ส่วนแอบบางคิงฟันยางสังเคราะห์สูญเสียแรงประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ ของแรงเริ่มต้นภายใน 1 ชั่วโมงและลดลงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 24 ชั่วโมง¹² เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางค้ำฟันจากน้ำยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ พบว่ามีความแตกต่างเป็นนัยสำคัญทั้งประเภทและตราสินค้าของแอบบางคิงฟัน⁶ จากการศึกษาที่ผ่าน การสูญเสียแรงของยางจะขึ้นอยู่กับประเภทของแอบบางคิงฟัน, กระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน, สภาพะของการทดสอบ เช่น สภาพะเปียกและสภาพะแห้ง, การทดสอบแบบสถิตย์หรือแบบพลวัต, ระยะที่ใช้ยืดของยางและเวลาทดลอง⁶⁻¹³

กระบวนการผลิตน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ที่ได้จากการผสมน้ำยางธรรมชาติกับสารช่วยรักษาความเสถียรและสารวัลคาไนซ์ สารช่วยรักษาความเสถียรและสารช่วยในการเกิดพันธะเชื่อมโยง ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์, สารตัวเร่งไดอัลคิลไดไทโอคาร์บาเมต และกำมะถัน ถูกเติมลงไปในน้ำยางธรรมชาติระหว่าง การให้ความร้อน ข้อดีของกระบวนการนี้คือ จะได้น้ำยางที่ให้สมบัติทางเชิงกลที่ดี ได้แก่ แรงและการคืนรูปที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการผลิตสารบางชนิดมีส่วนประกอบของสารพิษ⁴ และการเกิดอาการแพ้โปรตีนอันเนื่องมาจากน้ำยางธรรมชาติประกอบด้วยโปรตีนหลายชนิด¹⁴ มีบางรายงานได้กล่าวว่าปฏิกิริยา ที่เกิดขึ้นในยางอาจเป็นอันตรายกับผู้ป่วยได้ แต่ก็ยังขึ้นอยู่กับเวลาในการจัดฟันที่มีจำกัด^{14,15}

การใช้สารเคมีในการผลิตแอบบางคิงฟันควรอยู่กลุ่มของสารเคมีที่ใช้ในยางธรรมชาติที่สามารถสัมผัสกับอาหารได้ โดยผ่านกฎข้อตกลงของสหพันธ์การค้ายุโรป (EEC) หรือข้อตกลงของประเทศเยอรมันและสหรัฐอเมริกา เพื่อเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลาย¹⁶ สำหรับการวิจัยเกี่ยวกับน้ำยางธรรมชาติใน

ประเทศไทยมีความพยายามที่จะเพิ่มสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ อย่างเช่น การใช้น้ำยางโปรตีนต่ำ หรือ การล้างเพื่อขจัดสารเคมีและโปรตีนที่ละลายน้ำได้ช่วยลดอาการแพ้ที่เกิดจากยางธรรมชาติได้¹⁷⁻¹⁸ การปรับสัดส่วนของปริมาณสารวัลคาไนซ์และสารตัวเร่งในสูตรยางเพื่อต้องการให้สมบัติทางด้านความทนทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น

ตัวกลางในการทดสอบแถบยางคิงฟันมีการทดสอบหลายสภาวะ เช่น การทดสอบแบบแห้ง , การทดสอบใน 0.9 เปอร์เซ็นต์สารละลาย saline, น้ำ , น้ำลายเทียม และ น้ำลายเทียมกับอาหาร ซึ่งผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างแรงที่สูญเสียไป ภายใต้สภาวะ เปียกและแห้ง ซึ่ง Wong ได้แสดงให้เห็นว่า ในสภาวะเปียกการสูญเสียแรงเกิดขึ้นได้มากกว่าในสภาวะแห้งที่อุณหภูมิเดียวกัน มีงานวิจัยหลายชิ้นที่ไม่ได้เปรียบเทียบระหว่างสภาวะที่ใช้ทดสอบ สำหรับการทดลองนี้ศึกษาในสภาวะน้ำลายเทียมจำลองสภาวะภายในช่องปาก

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อผลิตแถบยางคิงฟันที่มีการสูญเสียแรงต่ำและเปรียบเทียบระหว่างแถบยางคิงฟันที่ผลิตได้กับแถบยางคิงฟันของผู้ผลิตรายอื่นที่นำเข้าจากต่างประเทศโดยทดสอบแบบสถิตย์ในสภาวะน้ำลายเทียม

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

ในการศึกษานี้ ได้เปรียบเทียบการสูญเสียแรงระหว่างแถบยางคิงฟันที่ผลิตได้ กับ แถบยางคิงฟันที่นำเข้าจากผู้ผลิต 3 ราย โดยเตรียมตัวอย่าง ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{4}$ นิ้ว, โดยที่แรงมาตรฐานที่วัดได้จาก แถบยางคิงฟัน เท่ากับ 6.5 ออนซ์ (1.84 นิวตัน) จาก 4 กลุ่มตัวอย่าง คือ G&H[®] (GH),Ormco[®] (OC), American Orthodontics[®] (AO) และ Thai-made(TM) elastic bands

แถบยางคิงฟันชนิด Thai-made(TM) ผลิตจากการผสมน้ำยางชั้น 60 เปอร์เซ็นต์ แอมโมเนียสูง นำมาทอแล้วเติมสารรักษาความเสถียร, สารป้องกันการเสื่อม และสารวัลคาไนซ์ (กำมะถัน) และสารตัวเร่ง แล้วทอทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้น นำน้ำยางไปทดสอบระดับการวัลคาไนซ์ด้วยวิธีการทดสอบด้วยคลอโรฟอร์ม (Chloroform test) หลังจากนั้น เติมน้ำความชื้นแล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 10-14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

ปรับความเป็นกรด - เบส ด้วย 10 เปอร์เซ็นต์ สารละลายฟอสฟอริกให้ค่า pH ใกล้เคียง 8.0 แล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 10-14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง. นำแบบชุบชนิดสแตนเลส (ขนาด $12 \times 13 \times 0.25$ ซม.) อบในตู้อบอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วนำมาจุ่มในน้ำยางผสมสารเคมีแบบใช้สารให้ความร้อนเป็นเวลาประมาณ 3 วินาที เพื่อจะได้ฟิล์มยางที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำยางและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง (phr)

Latex and chemicals	Formula.
Content.	Dry weight (phr)
60% HA Latex	100
15% Terric	0.5
50% Lovinox CPL	1.0
50% Sulphur	2.0
50% ZDC	1.0
50% ZnO	0.5
10% PVME	0.8
pH	8.70
Viscosity (cps)	202

นำฟิล์มยางที่ได้ล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง (Wet gel leaching) เพื่อขจัดสารเคมีที่ตกค้างและโปรตีนที่ละลายน้ำได้ (รูป 1 A) นำแผ่นฟิล์มยางไปวัดคาโนซ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (dry film leaching, รูปที่ 1 B)



A



B

รูปที่ 1. A Wet gel leaching, B: dry gel leaching

นำแผ่นฟิล์มยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์ไปตัดเป็นรูปดัมเบล หนา 0.5 มิลลิเมตร (ใกล้เคียงกับขนาดของแถบยางดึงฟันจากยางสังเคราะห์) เพื่อทดสอบความทนทานต่อแรงดึง ด้วยเครื่อง Universal Testing machine (Tensometric Co., LTD. England) ด้วยโหลดเซลล์ขนาด 50 กิโลนิวตัน และยืดด้วยอัตราเร็ว 500 มิลลิเมตรต่อนาที (รูปที่ 2) ทำการปรับสัดส่วนของปริมาณสารวัลคาไนซ์และสารตัวเร่งในสูตรน้ำยางผสมสารเคมีจนได้ฟิล์มยางที่มีค่าความทนทานต่อแรงดึงอย่างน้อย 22 เมกะปาสกาล. สัดส่วนที่ได้จะนำไปใช้ในการผลิตแถบยางดึงฟันต่อไป



รูปที่ 2. A: ตัวตัดฟิล์มยางรูปดัมเบล B: การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง ด้วยเครื่อง Universal Testing machine (Tensometric Co., LTD. England)

แถบยางยึดฟันที่ผลิตจากการจุ่มน้ำยางผสมสารเคมีแบบสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อน โดยใช้แบบพิมพ์ที่ทำจากแท่งแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{4}$ นิ้ว (เท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในของแถบยางดึงฟันที่ใช้ในการศึกษา) จุ่มลงในน้ำยางผสมสารเคมีให้ได้ความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร (รูปที่ 3) ฟิล์มยางที่ได้ผ่านการล้างทั้งแบบ Wet gel และแบบ dry gel แถบยางดึงฟันที่ทำขึ้นจะทำการวัดระยะเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อจำนวน 3 ครั้งแล้วหาระยะห่างมาตรฐาน ซึ่งประมาณ 20 มิลลิเมตร. โดยที่แรงมาตรฐานที่วัดได้จากแถบยางดึงฟัน เท่ากับ 6.5 ออนซ์ (1.84 นิวตัน)



A



B

รูปที่ 3. A แท่งแก้วที่ใช้จุ่มลงไปใต้น้ำยางผสมสารเคมีแบบสูญเสียสภาพด้วยความร้อน
B หลังจากการวัดคาบแล้ว, แถบยางคิงฟันที่ตัดจากฟิล์มจากที่เตรียมได้

นำชิ้นตัวอย่างจำนวน 30 ชิ้นในแต่ละกลุ่ม ทำการทดสอบแบบสถิติโดยเริ่มตั้งให้ยืดออกที่ความยาว 20 มิลลิเมตร , 30 มิลลิเมตร และ 40 มิลลิเมตร (10 ชิ้นในแต่ละกลุ่ม) ระยะที่ใช้ยืดออกประมาณ 20-50 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะที่ใช้ในการพูดและการเคี้ยว และเป็นระยะที่ Bishara และ Andreasen ใช้ในการทดลอง โดยทำการชิงระหว่างเส้นลวดสแตนเลส โดยกำหนดให้ระยะห่างของลวดเท่ากับ 20, 30 และ 40 มิลลิเมตร ตามลำดับ แล้วทิ้งไว้ในน้ำลายเทียมที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จำลองสภาวะในช่องปาก

ทำการวัดแรงของแถบยางคิงฟันทั้งหมด โดยใช้เครื่องดึงยาง LLOYD II ด้วยโหลดเซลล์ขนาด 10 นิวตัน (Model XLC 0010-A1) และบันทึกค่าที่เปลี่ยนไป ที่ 1, 4, 8 และ 24 ชั่วโมง และทุก ๆ สัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยทุกกลุ่มทำการแปรระยะยืด ตั้งแต่ 20, 30 และ 40 มิลลิเมตร ระหว่างทั้งสองตะขอที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร ใช้จับขึ้นทดสอบ

ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ(ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียแรง) ทำการวัดความแปรปรวนแบบ ANOVA ในการหาความแตกต่างระหว่างเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียแรงไประหว่างการทดลองแต่ละครั้ง

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรง} = \frac{\text{แรงเริ่มต้น} - \text{แรงเมื่อเวลาผ่านไป}}{\text{แรงเริ่มต้น}} \times 100$$

ผลการทดลอง

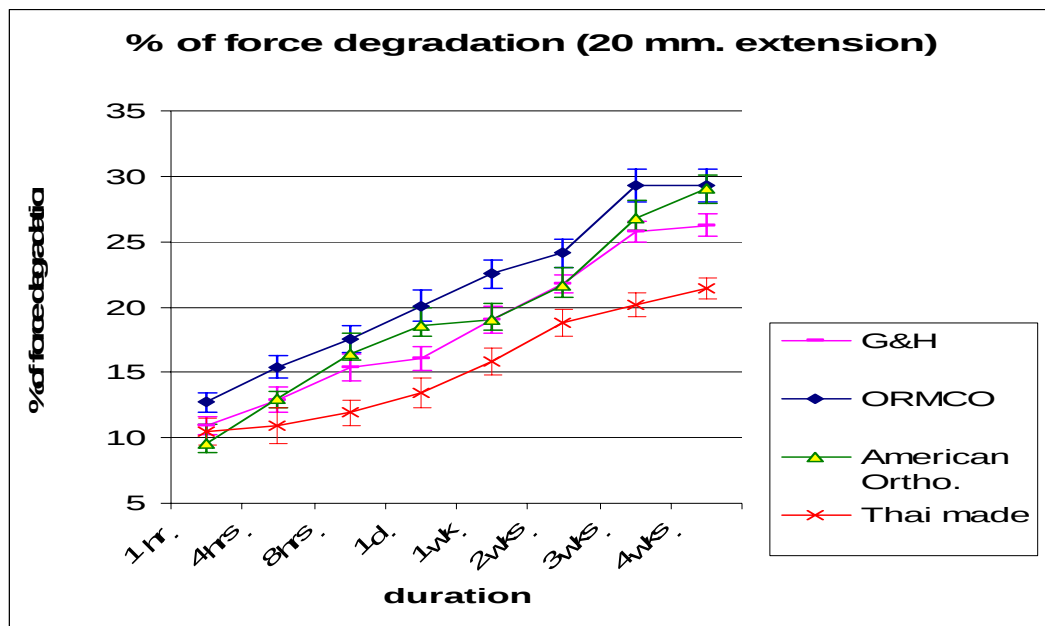
แรงดึงเริ่มต้นที่วัดได้จากการดึงแถบยางคิงฟัน เมื่อตั้งให้ยืดออกเป็นระยะ 20, 30 และ 40 มิลลิเมตร ดังแสดงใน Table I พบว่าที่ระยะยืด 20 มิลลิเมตร, แถบยางคิงฟันของ AO และ TM มีค่าแรงดึง

เริ่มต้นสูงกว่า OC อย่างมีนัยสำคัญ และ GH มีค่าแรงดึงเริ่มต้นสูงกว่า OC แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ. ส่วนที่ระยะยืด 30 มิลลิเมตร แถบยางดิ่งฟันของ AO และ TM ยังมีค่าแรงดึงเริ่มต้นสูงกว่า OC อย่างมีนัยสำคัญ และ GH มีค่าแรงดึงเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้นแต่ต่ำกว่าค่าแรงดึงเริ่มต้นที่ได้จาก TM อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับที่ระยะยืด 40 มิลลิเมตร แรงดึงเริ่มต้นจากแถบยางดิ่งฟันของ AO เท่านั้นที่มีค่าแรงดึงเริ่มต้นสูงสุด โดยที่แถบยางดิ่งฟัน TM มีค่าแรงดึงเริ่มต้นต่ำสุด และต่ำกว่าแถบยางดิ่งฟันของ OC อย่างมีนัยสำคัญ

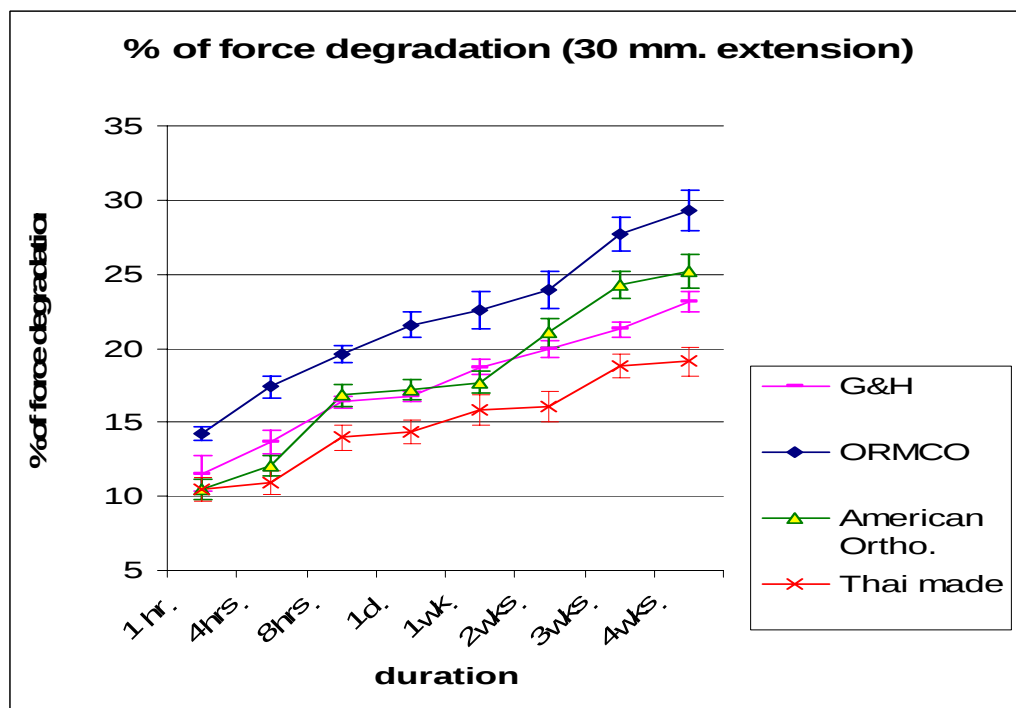
ตารางที่ 2 . Initial force levels at different extensions and brands

<i>Forces (newtons-N) by extensions</i>			
	<i>Mean (SD)</i>		
<i>Brands of elastic</i>	<i>20 mm</i>	<i>30 mm</i>	<i>40 mm</i>
G&H	2.07 (0.08)	2.73 (0.05)	3.48 (0.08)
Ormco	2.03 (0.09)	2.69 (0.13)	3.54 (0.10)
American Orthodontics	2.10 (0.05)	2.78 (0.07)	3.80 (0.09)
Thai-made	2.10 (0.07)	2.82 (0.08)	3.45 (0.07)

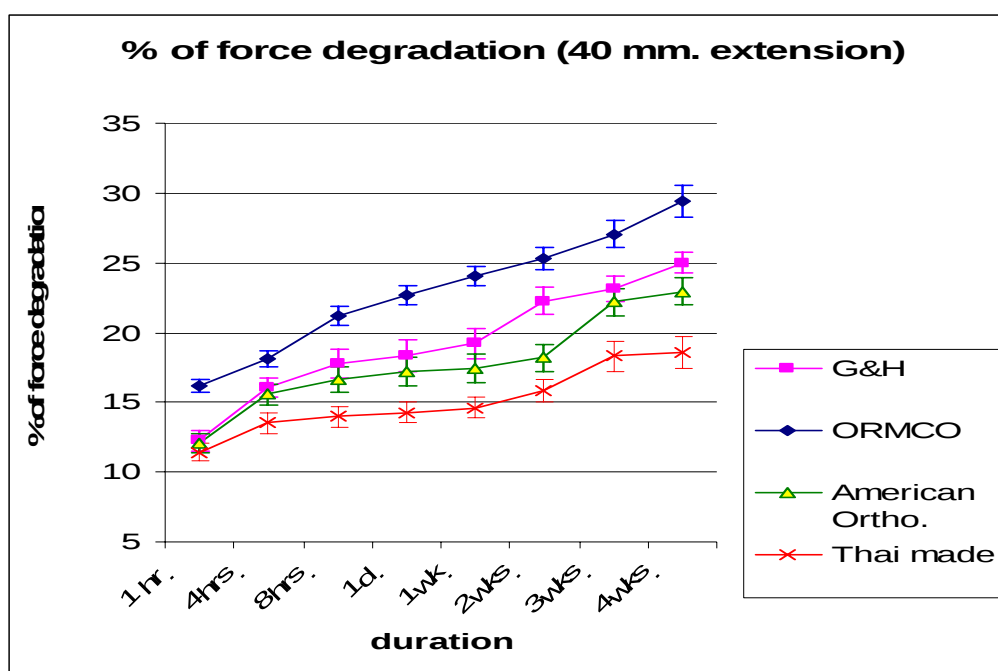
สำหรับ รูปที่ 4-6 แสดงลักษณะของการสูญเสียแรงของแถบยางดิ่งฟันแต่ละผู้ผลิตที่ระยะยืดที่แตกต่างกัน จะเห็นว่าทุก ๆ ระยะยืดลักษณะของแรงดึงที่ได้จากแถบยางดิ่งฟันทั้งหมดมีลักษณะลดลงตลอดเวลา (การสูญเสียแรงเพิ่มขึ้น) โดยแรงจะสูญเสียมากที่สุดในช่วงโมเมนต์แรกที่ทำกรทดลอง แล้วจะลดลงเรื่อยๆ ตลอด 4 สัปดาห์ ทั้งนี้ แถบยางดิ่งฟันของ OC มีการสูญเสียแรงมากที่สุด ส่วนแถบยางดิ่งฟัน TM มีการสูญเสียแรงน้อยที่สุด สำหรับ GH และ AO จะมีค่าการสูญเสียแรงระหว่าง OC และ TM



รูปที่ 4. Graph of mean percentage of force degradation of different manufacturers at 20 mm extension



รูปที่ 5. Graph of mean percentage of force degradation of different manufacturers at 30 mm extension



รูปที่ 6. Graph of mean percentage of force degradation of different manufacturers at 40 mm

Extension

สำหรับตารางที่ 3 - 5 แสดงเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียแรงของแถบยางคิงฟันแต่ละผู้ผลิต ในตารางที่ 3 ที่ระยะยืด 20 มิลลิเมตร เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางคิงฟัน TM เปรียบเทียบกับแถบยางคิงฟันของ GH และ AO จากระยะเวลาทดลอง 1 ชั่วโมง จนถึง 1 สัปดาห์ และจาก 2 สัปดาห์จนถึง 4 สัปดาห์ พบว่า การสูญเสียแรงของแถบยางคิงฟัน TM มีค่าต่ำสุด โดยที่ TM มีการสูญเสียแรงต่ำสุดในทุกๆ ระยะเวลาที่ทดลอง และต่ำกว่าแถบยางคิงฟันของผู้ผลิตรายอื่นอย่างมีนัยสำคัญ จาก 2 สัปดาห์จนถึง 4 สัปดาห์ ระหว่างนั้น แถบยางคิงฟัน OC มีการสูญเสียแรงสูงสุดในทุกๆ ระยะเวลาที่ทดลองโดยบางช่วงจะสูงกว่าแถบยางของผู้ผลิตรายอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ใน ตารางที่ 4 ที่ระยะยืด 30 มิลลิเมตร เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยางคิงฟัน TM ยังคง สูงสุด เปรียบเทียบกับแถบยางคิงฟันของ GH และ AO ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง และจาก 4 ชั่วโมงจนถึง 4 สัปดาห์ พบว่าการสูญเสียแรงของแถบยางคิงฟัน TM มีค่าต่ำสุดโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแถบยางคิงฟัน OC มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วงเวลาที่ทดลอง

ที่ระยะยืด 40 มิลลิเมตร (ตารางที่ 5) แถบยางคิงฟัน TM มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงต่ำที่สุด โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแถบยางของผู้ผลิตรายอื่นจากระยะเวลา 4 ชั่วโมงจนถึง 4 สัปดาห์ และแถบยางคิงฟัน OC มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วงเวลาที่ทดลอง

ตารางที่ 3. Percentages of force degradation and descriptive statistics at 20 mm extension

Time	% force degradation							
	G&H		Ormco		American Ortho		Thai-made	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
-								
1 h	10.96	2.14	12.7 ^{c,d}	2.36	9.57 ^b	4.58	9.15 ^b	3.27
4 h	12.9	3.09	15.04 ^d	2.68	13.03	4.23	11.32 ^b	2.39
8 h	15.35	3.17	17.51	3.21	16.44	5.01	14.46	3.13
1 d	16.03 ^b	2.89	20.09 ^{a,d}	3.76	18.56	4.33	15.77 ^b	3.47
1 wk	19.02 ^b	3.3	22.53 ^{a,c,d}	3.51	18.99 ^b	4	16.09 ^b	3.26
2 wk	21.8 ^d	2.23	24.11 ^d	3.41	21.7 ^d	4.2	16.63 ^{a,b,c}	3.28
3 wk	25.73 ^{b,d}	2.64	29.33 ^{a,d}	4.02	26.76 ^d	4.51	18.35 ^{a,b,c}	2.92
4 wk	26.24 ^{b,c,d}	2.64	29.33 ^{a,d}	4.02	29.11 ^{a,d}	3	18.64 ^{a,b,c}	2.55

^a differs from G&H, P< 0.05

^b differs from Ormco, P<0.05

^c differs from American Ortho, P< 0.05

^d differs from Thai-made, P<0.05

ตารางที่ 4. Percentages of force degradation and descriptive statistics at 30 mm extension

Time	% force degradation							
	G&H		Ormco		American Ortho		Thai-made	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
-								
1 h	11.54 ^b	3.83	14.28 ^{a,c,d}	1.9	10.47 ^b	2.53	10.44 ^b	2.18
4 h	13.66 ^{b,d}	2.58	17.4 ^{a,c,d}	2.27	12.04 ^b	2.56	10.94 ^{a,b}	2.22
8 h	16.35 ^{b,d}	1.25	19.63 ^{a,c,d}	1.87	16.81 ^{b,d}	2.72	13.99 ^{a,b,c}	2
1 d	16.76 ^{b,d}	0.99	21.56 ^{a,c,d}	2.66	17.17 ^{b,d}	2.4	14.35 ^{a,b,c}	2.22
1 wk	18.71 ^{b,d}	1.65	22.58 ^{a,c,d}	0.03	17.69 ^b	3.25	15.83 ^{a,b}	2.34
2 wk	19.95 ^{b,d}	1.95	23.97 ^{a,c,d}	3.98	21.03 ^{b,d}	3.24	16.07 ^{a,b,c}	2.92
3 wk	21.26 ^{b,c}	1.7	27.7 ^{a,c,d}	3.73	24.31 ^{a,b,d}	2.53	18.78 ^{b,c}	2.9
4 wk	23.14 ^{b,d}	2.09	29.31 ^{a,c,d}	4.31	25.21 ^{b,d}	3.02	19.09 ^{a,b,c}	3.57

^a differs from G&H, P< 0.05

^b differs from Ormco, P<0.05

^c differs from American Ortho, P< 0.05

^d differs from Thai-made, P<0.05

ตารางที่ 5 . Percentages of force degradation and descriptive statistics at 40 mm extension

Time	% force degradation							
	G&H		Ormco		American Ortho		Thai-made	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1 h	12.26 ^b	2.23	16.16 ^{a,c,d}	1.44	12.06 ^b	2.11	11.41 ^b	1.93
4 h	16.03 ^{b,d}	2.13	18.1 ^{a,c,d}	1.9	15.56 ^{b,d}	2.36	13.5 ^{a,b,c}	2.35
8 h	17.78 ^{b,d}	3.2	21.17 ^{a,c,d}	2.22	16.67 ^{b,d}	2.93	13.99 ^{a,b,c}	2.39
1 d	18.34 ^{b,d}	3.58	22.65 ^{a,c,d}	2.2	17.24 ^{b,d}	3.21	14.28 ^{a,b,c}	2.28
1 wk	19.21 ^{b,d}	3.49	24.09 ^{a,c,d}	2.13	17.39 ^{b,d}	3.25	14.63 ^{a,b,c}	2.28
2 wk	22.27 ^{b,c,d}	3.2	25.34 ^{a,c,d}	2.48	18.21 ^{a,b}	3.03	15.79 ^{a,b}	2.55
3 wk	23.14 ^{b,d}	2.85	27.03 ^{a,c,d}	3.1	22.18 ^{b,d}	3.1	18.34 ^{a,b,c}	3.41
4 wk	24.97 ^{b,d}	2.33	29.37 ^{a,c,d}	3.59	22.95 ^{b,d}	3.06	18.6 ^{a,b,c}	3.1

^a differs from G&H, P< 0.05

^b differs from Ormco, P<0.05

^c differs from American Ortho, P< 0.05

^d differs from Thai-made, P<0.05

จาก ตารางที่ 6-9 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงโดยเปรียบเทียบกับระยะยืดต่างๆ กัน พบว่า เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยาง GH มีค่าใกล้เคียงกันที่ระยะยืดทั้งหมดในเวลาทดลอง 1 ชั่วโมง หลังจากนั้น 1 สัปดาห์ การสูญเสียแรงที่ระยะยืด 40 มิลลิเมตรมีค่าเพิ่มขึ้น ในระหว่าง 3 ถึง 4 สัปดาห์ แถบยาง GH มีค่าการสูญเสียแรงมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระยะยืด 20 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระยะยืดอื่นๆ โดยในเวลา 2 สัปดาห์ แถบยาง GH มีการสูญเสียแรง อย่างต่อเนื่องที่ระยะยืด 30 มิลลิเมตร

มีการสูญเสียแรงในแถบยาง OC ระหว่างระยะยืดที่แตกต่างกันจากเวลาทดลอง 1 ชั่วโมง จนถึง 8 ชั่วโมง โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมากที่สุด (ตารางที่ 7) หลังจากนั้น เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงจะใกล้เคียงกันในทุกๆ ระยะยืด และมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงสูงที่สุด

ระยะเวลาทดลองระหว่าง 1 ชั่วโมงจนถึง 1 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแถบยาง AO ระหว่างระยะยืดที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 8) และระหว่าง 2-4 สัปดาห์ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงมีค่าสูงสุดเมื่อยืดแถบยางที่ระยะยืด 20 มิลลิเมตร และมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงต่ำสุด เมื่อยืดที่ระยะยืด 40 มิลลิเมตร

จาก ตารางที่ 9 แถบยาง TM มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงที่ใกล้เคียงกันจากทุกๆ ระยะยืดและทุกเวลาที่ทดลอง กล่าวคือ ระยะยืดไม่มีความสัมพันธ์ต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรง โดยพบว่า แถบยาง TM มีการสูญเสียแรงต่ำที่สุด ขณะที่ แถบยาง OC มีการสูญเสียแรงสูงที่สุด และ แถบยาง GH และ AO มีการสูญเสียแรงปานกลาง

ตารางที่ 6. Percentages of force degradation of G&H elastics

<i>Time</i>	% force degradation					
	<i>20 mm</i>		<i>30 mm</i>		<i>40 mm</i>	
	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>
1 h	10.96 ^d	2.14	11.54 ^d	3.83	12.26 ^d	2.23
4 h	12.9 ^{c,d}	3.09	13.66 ^{c,d}	2.58	16.03 ^{a,b}	2.13
8 h	15.35 ^{c,d}	3.17	16.35	1.25	17.78 ^a	3.2
1 d	16.03 ^{c,d}	2.89	16.76	0.99	18.34 ^a	3.58
1 wk	19.02	3.3	18.71 ^d	1.65	19.21	3.49
2 wk	21.8	2.23	19.95 ^{c,d}	1.95	22.27 ^b	3.2
3 wk	25.73 ^{b,c}	2.64	21.26 ^{a,d}	1.7	23.14 ^a	2.85
4 wk	26.24 ^b	2.64	23.14 ^{a,d}	2.09	24.97	2.33

^a differs from 20 mm, P< 0.05

^b differs from 30 mm, P<0.05

^c differs from 40 mm, P< 0.05

ตารางที่ 7. Percentages of force degradation of Ormco elastics

<i>Time</i>	% force degradation					
	<i>20 mm</i>		<i>30 mm</i>		<i>40 mm</i>	
	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>
1 h	12.7 ^c	2.36	14.28 ^c	1.9	16.16 ^{a,b,d}	1.44
4 h	15.04 ^{b,c}	2.68	17.4 ^{a,d}	2.27	18.1 ^{a,d}	1.9
8 h	17.51 ^c	3.21	19.63 ^d	1.87	21.17 ^{a,d}	2.22
1 d	20.09 ^d	3.76	21.56 ^d	2.66	22.65 ^d	2.2
1 wk	22.53 ^d	3.51	22.58 ^d	0.03	24.09 ^d	2.13
2 wk	24.11 ^d	3.41	23.97 ^d	3.98	25.34 ^d	2.48
3 wk	29.33 ^d	4.02	27.7 ^d	3.73	27.03 ^d	3.1
4 wk	29.33 ^d	4.02	29.31 ^d	4.31	29.37 ^d	3.59

^a differs from 20 mm, P< 0.05

^b differs from 30 mm, P<0.05

^c differs from 40 mm, P< 0.05

ตารางที่ 8. Percentages of force degradation of American Orthodontics elastics

Time	% force degradation					
	20 mm		30 mm		40 mm	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1 h	9.57 ^b	4.58	10.47 ^d	2.53	12.06	2.11
4 h	13.03	4.23	12.04 ^c	2.56	15.56 ^b	2.36
8 h	16.44	5.01	16.81	2.72	16.67	2.93
1 d	18.56 ^d	4.33	17.17	2.4	17.24	3.21
1 wk	18.99 ^d	4	17.69	3.25	17.39	3.25
2 wk	21.7 ^{c,d}	4.2	21.03 ^d	3.24	18.21 ^a	3.03
3 wk	26.76 ^{c,d}	4.51	24.31 ^d	2.53	22.18 ^a	3.1
4 wk	29.11 ^{b,c,d}	3	25.21 ^{a,d}	3.02	22.95 ^a	3.06

^a differs from 20 mm, P< 0.05

^b differs from 30 mm, P<0.05

^c differs from 40 mm, P< 0.05

ตารางที่ 9. Percentages of force degradation of Thai-made elastics

Time	% force degradation					
	20 mm		30 mm		40 mm	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1 h	9.15 ^d	3.27	10.44 ^d	2.18	11.41 ^d	1.93
4 h	11.32 ^{c,d}	2.39	10.94 ^{c,d}	2.22	13.5 ^{a,b,d}	2.35
8 h	14.46 ^d	3.13	13.99 ^d	2	13.99 ^d	2.39
1 d	15.77 ^d	3.47	14.35 ^d	2.22	14.28 ^d	2.28
1 wk	16.09 ^d	3.26	15.83 ^d	2.34	14.63 ^d	2.28
2 wk	16.63 ^d	3.28	16.07 ^d	2.92	15.79 ^d	2.55
3 wk	18.35 ^d	2.92	18.78 ^d	2.9	18.34 ^d	3.41
4 wk	18.64 ^d	2.55	19.09 ^d	3.57	18.6 ^d	3.1

^a differs from 20 mm, P< 0.05

^b differs from 30 mm, P<0.05

^c differs from 40 mm, P< 0.05

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองวัดค่าแรงดึงเริ่มต้นจากชิ้นตัวอย่างแถบยางดิงฟันทั้งหมดเมื่อทำการดึงจนถึงระยะยืดมาตรฐาน (19.05 มิลลิเมตร) เป็นจำนวน 3 ครั้ง แรงดึงมาตรฐานที่ได้จากการศึกษานี้ เท่ากับ 6.5 ออนซ์ (1.84 นิวตัน) จาก ตารางที่ 2 แถบยาง TM มีค่าแรงดึงเริ่มต้นเท่ากับ 1.95 นิวตัน ซึ่งสูงกว่าแรงดึงเริ่มต้นที่ได้จากแถบยางของผู้ผลิตรายอื่น จากการศึกษาได้พัฒนา heavy elastic bands เพราะ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรง มีค่าต่ำกว่าแถบยางของผู้ผลิตรายอื่น ให้ผลเช่นเดียวกับการทดลองของ Hixon และคณะ ซึ่งมีการสูญเสียแรงของ heavy elastic bands (6 ออนซ์) ซึ่งน้อยกว่าใน light elastics (2 ออนซ์)²¹ สำหรับ Kanchana and Godfrey ได้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกัน คือมีการสูญเสียแรงระดับปานกลาง (3.5, 4 และ 4.5 ออนซ์) พิสูจน์ให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงมีค่าน้อยกว่าแรงจาก light elastics (2, 2.5 และ 2.7 ออนซ์) และในการศึกษานี้พบว่าแรงดึงเริ่มต้นที่ได้จากแถบยางทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะยืดที่เพิ่มขึ้น โดยที่ แรงดึงเริ่มต้นที่ได้จากแถบยาง TM มีค่าสูงที่สุด เมื่อยืดออกที่ระยะยืด 20 และ 30 มิลลิเมตร ซึ่งแรงดึงเริ่มต้นที่วัดได้จากแถบยางดิงฟันของผู้ผลิตทั้ง 4 ราย พบว่ามีความแตกต่างกันของแรงประมาณ 0.1 นิวตัน (ประมาณ 10 กรัม) โดยที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

รูปแบบของการสูญเสียแรงจากการศึกษานี้ มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันกับการศึกษาที่ผ่านมา โดยที่ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงมีค่ามากที่สุดในช่วงแรกและลดลงเรื่อยๆ เมื่อทำการยืดอย่างต่อเนื่อง³⁻¹¹ การสูญเสียแรงของแถบยาง TM มีค่าต่ำกว่าแถบยางของผู้ผลิตรายอื่นอย่างมีนัยสำคัญ Wong ได้รายงานไว้ว่า แถบยางที่มีค่าแรงดึงเริ่มต้นสูงจะมีการสูญเสียแรงที่สูงขึ้นด้วย³ อย่างไรก็ตาม Hershey และ Reynolds ได้รายงานไว้ว่า แรงดึงเริ่มต้นของแถบยางไม่ได้มีความสัมพันธ์กับการสูญเสียแรง²² สำหรับในการศึกษานี้ ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงเริ่มต้น ที่ได้จากระยะยืด และแรงที่สูญเสียไป

เปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียแรงในการศึกษานี้ มีค่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์, 17 เปอร์เซ็นต์ และ 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อดึงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง และ 4 สัปดาห์ ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาของ Bishara และ Andreasen ซึ่งพบว่า การสูญเสียแรงของแถบยางในน้ำมีค่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์, 17.2 เปอร์เซ็นต์ และ 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อดึงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง และ 3 สัปดาห์ ตามลำดับ⁸ Kersey และ คณะ พบว่าการสูญเสียแรงของแถบยางที่ใช้ในทันตกรรมจัดฟันของอเมริกาขนาด 0.25 นิ้ว 4.5 ออนซ์ มีค่าเฉลี่ยที่ 12 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่าง 1 ชั่วโมงแรก และเพิ่มขึ้นเป็น 18 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 24 ชั่วโมงสำหรับการทดสอบแบบสถิตย์ จากการศึกษาพบว่า การสูญเสียแรงของแถบยาง AO เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 10 เปอร์เซ็นต์ ระหว่าง 1 ชั่วโมงแรก และจะเพิ่มขึ้นเป็น 16 เปอร์เซ็นต์ ที่ 24 ชั่วโมง เมื่อยืดออกที่ระยะ 20 มิลลิเมตร

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงในการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่าการศึกษาของ Kanchana และ Godfrey ซึ่งพบว่า การสูญเสียแรงในน้ำมีค่าประมาณ 29.9 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่าง 1 ชั่วโมงแรก และ เพิ่มขึ้นเป็น 32.6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง และ 36.2 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 3 วัน มีการศึกษาก่อนหน้านี้ที่ให้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกัน ซึ่ง Kanchana และ Godfrey พบว่าการสูญเสียแรงของแถบยางจาก 23

เปอร์เซ็นต์ เป็น 28 เปอร์เซ็นต์ หลังจากทดลองไป 24 ชั่วโมง^{6,23} ในการศึกษาที่มีความแตกต่างกันทั้งสภาวะแวดล้อม ขนาด และแรงเริ่มต้นของแถบยางดิงฟัน^{6-7,10}

จาก ตารางที่ 3 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ การสูญเสียแรงของแถบยางเมื่อยืดออก 20 มิลลิเมตร ทั้งไว้ 1 วัน มีค่าประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์, 20 เปอร์เซ็นต์, 19 เปอร์เซ็นต์ และ 16 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแถบยาง GH, OC, AO และ TM ตามลำดับ หลังจาก 1 วัน การสูญเสียแรงของแถบยางทั้งหมดลดลงเมื่อทำการยืดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ แถบยาง TM มีการสูญเสียแรงใกล้เคียงกับแถบยางของผู้ผลิตรายอื่นในช่วงแรก แต่หลังจากที่ทดลองผ่านไป 1 ชั่วโมงแล้วค่าที่ได้จะลดลงเพียงเล็กน้อยอย่างช้าๆ ซึ่งน้อยกว่าแถบยางของผู้ผลิตรายอื่น แถบยาง TM มีการสูญเสียแรงต่ำกว่าแถบยางของผู้ผลิตรายอื่นจากสัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่แรงที่เหลือเมื่อทดลองผ่านไป 4 สัปดาห์ เท่ากับ 173.98 ± 6.83 กรัม จากแรงดึงเริ่มต้นที่ 231.88 ± 6.97 กรัม ที่ระยะยืด 20 มิลลิเมตร ซึ่งแถบยางยังมีแรงเพียงพอที่ใช้ในการเคลื่อนฟัน

จากผลการทดลองทั้งหมดจะเห็นว่า แถบยาง TM มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงต่ำ โดยที่การปรับปริมาณของสารวัลคาไนซ์และสารตัวเร่งในสูตรยางธรรมชาติ ซึ่งช่วยเพิ่มความแข็งแรงของพันธะเชื่อมโยงแบบโควาเลนต์ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำยางธรรมชาติโดยแถบยาง TM จะรักษารูปทรงความเป็นยางและลดการสูญเสียแรงที่เกิดขึ้นได้

ในการเสื่อมของยางให้ผลที่คล้ายคลึงกันกับการศึกษาที่ผ่านหลายๆ เรื่อง เช่น การเสื่อมทางพลวัตและทางกายภาพของพันธะการเชื่อมโยงในพอลิเมอร์, การซึมผ่านพอลิเมอร์ของตัวทำละลายโดยน้ำและของเหลวอื่นๆ ในอาหาร และการ Plasticizing ด้วยน้ำ หรือการเคลื่อนออกของ plasticizers โดยการสลายของพอลิเมอร์ในสภาพแวดล้อมที่เลียนแบบช่องปาก^{5,10,19,24} ในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำลายจากการศึกษานี้ขึ้นยังมีการเปลี่ยนแปลงที่ปรากฏได้ เช่น การเปลี่ยนสีจากสีเหลือง ไปเป็นสีขาว, มีการบวมพอง และการเสียรูปทรงอย่างถาวรเริ่มเห็นได้ชัด

จากเหตุผลดังกล่าวผู้รักษาจะแนะนำให้ใช้แถบยางโดยเฉพาะ กับผู้ที่ต้องการรักษา จากรายงานพบว่าแรงที่ต้องการในการดิงฟันจะขึ้นอยู่กับระยะทางในการดิง. แต่อย่างไรก็ตาม ผู้รักษาเชื่อว่าแถบยางดิงฟันจะมีลักษณะไม่เปลี่ยนแปลง Kanchana และ Godfrey ได้เสนอแนะว่า แรงที่ได้จาก 1.3 ถึง 1.6 ครั้งจะเพียงพอในการคำนวณถึงแรงที่สูญเสียไปหลังจาก 24 ชั่วโมง¹⁰ จากการศึกษา แถบยาง TM สามารถใช้แรง 1.1 ถึง 1.2 ครั้ง ซึ่งเพียงพอต่อการสูญเสียแรงภายในเวลา 24 ชั่วโมง

ถึงแม้ว่ายางที่ใช้ในทางทันตกรรมไม่สามารถเป็นตัวแพร่กระจายของเชื้อโรค แต่ การทดสอบความเป็นพิษ มีความจำเป็นที่จะยืนยันความเข้ากันได้ทางชีววิทยา เพราะยางที่ใช้ในการจัดฟัน ถูกใส่ไว้ในช่องปากเป็นเวลาหลายวัน มีการศึกษาเพิ่มเติมสำหรับการทดสอบความเข้ากันได้ระหว่าง แถบยางที่ผลิตได้และของผู้ผลิตรายอื่น ซึ่งเป็นประโยชน์ในการศึกษาจำนวนรอบของการดิงฟัน, การเลียนแบบสภาวะในช่องปาก และ การทดลองในคลินิก เพื่อให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น ทั้งสมบัติทางกายภาพของวัสดุกับสภาวะในคลินิก และเพื่อยืนยันการเพิ่มขึ้นของแรงดึงเริ่มต้นสำหรับผู้ที่ใช้แถบยางดิงฟัน

สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการเป็นการศึกษาในห้องแล็บ ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

1. ลักษณะของการสูญเสียแรงลดลงโดยทันทีหลังจากที่ทำการยึดเริ่มต้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และจะลดลงอย่างช้าๆ ในระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยทั่วไป เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงจะอยู่ที่ประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างชั่วโมงแรก และจะเพิ่มขึ้นเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 24 ชั่วโมง และลดลงอย่างช้าๆจนกระทั่ง 4 สัปดาห์
2. ลักษณะของการสูญเสียแรงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระยะยึดที่แตกต่างกัน และกระบวนการผลิตที่ต่างกัน โดยที่ แถบยางที่ทำการผลิตได้มีการสูญเสียแรงที่ต่ำที่สุดในทุกเวลาที่ทดลอง และเป็นแถบบางที่มีค่าที่ต่ำกว่าแถบบางของผู้ผลิตรายอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่แถบบางของ G&H[®] (GH), Ormco[®] มีการสูญเสียแรงบางเวลาสูงที่สุดในทุกๆ ระยะยึด
3. สำหรับแถบบางที่ผลิตได้ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การปรับสูตรยางธรรมชาติ ช่วยลดการสูญเสียแรงของแถบบางที่ผลิตได้ และยังคงเหลือแรงเมื่อผ่านไป 4 สัปดาห์ นอกนี้ เพื่อสุขอนามัยในช่องปาก จึงไม่มีความต้องการที่จะเปลี่ยนแถบบางคั้งฟันในระหว่างวันจนกระทั่งผ่านไป 4 สัปดาห์

เอกสารอ้างอิง

1. Bishara SE. Textbook of orthodontics. W.B. Saunders Company. 2001; 352-3
2. Brantley WA, Eliades T. Orthodontic Materials: scientific and clinical aspects. Printed in Germany 2001; 174-9
3. Wong AK. Orthodontic elastic materials. Angle Orthod 1976; 6:196-205
4. Hanson m, Lobner D. In vitro neuronal cytotoxicity of latex and nonlatex orthodontic elastics. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2004; 126:65-70
5. Huget EF, Patrick KS, Nunez LJ. Observations on the elastic behavior of a synthetic orthodontic elastomer. J Dent Res 1990;69(2):496-501
6. Russell KA, Milne AD, Khanna RA, Lee JM. In vitro assessment of the mechanical properties of latex and non-latex orthodontic elastics. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2001; 120:36-44
7. Kersey ML, Glover K, Heo G, Raboud D, Major PW. A comparison of dynamic and static testing of latex and nonlatex orthodontic elastics. Angle Orthod 2003; 73:181-6
8. Bishara SE, Andreasen GF. A comparison of time related forces between plastic Alastiks and latex elastics. Angle Orthod 1970; 40:319-28
9. Hwang C, Cha J. Mechanical and biological comparison of latex and silicone rubber bands. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2003; 124:379-86

10. Kanchana P, Godfrey K. Calibration of force extension and force degradation characteristics of orthodontic latex elastics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000; 118:280-7
11. Bertl WH, Droschl H. Forces produced by orthodontic elastics as a function of time and distance extended. *Eur J Orthodontics* 1986; 8:198-201
12. Kersey ML, Glover K, Heo G, Raboud D, Major PW. An in vitro comparison of 4 brands of nonlatex orthodontic elastics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 123:401-7
13. Liu CC, Wataha JC, Craig RG. The effect of repeated stretching on the force decay and compliance of vulcanized cis-polyisoprene orthodontic elastics. *Dent Mater* 1993;9:37-40
14. Holmes J, Barker MK, Walley EK, Tuncay OC. Cytotoxicity of orthodontic elastics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;104:188-91
15. Natrass C, Ireland AJ, Lovell CR. Latex allergy in an orthognathic patient and implications for clinical management. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1999; 37:11-3.
16. Metherell C. Compounding natural rubber for food contact applications. *INR Technology* 1982; 13(2):21-30
17. Klinpitak P, Korvutikulrungsri S, Tungkum K. Latex gloves from deproteinizing latex compounds 1998. Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand
18. Pattarapiboolchai A. Compounding of Latex for highest tensile strength 1992. Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand
19. Beattie S, Monaghan P. An in vitro study simulating effects of daily diet and patient elastic band change compliance on orthodontic latex elastics. *Angle Orthod* 2004; 7:234-9.
20. Bales TR, Chaconas SJ, Caputo AA. Force extension characteristics of orthodontics of orthodontic elastics. *Am J Orthod* 1977; 72:296-302
21. Hixon EH, Aasen TO, Arango J, Clark RA, klosterman R, Miller SS, Odom WM. On force and tooth movement. *Am J Orthod* 1970; 57:76-89
22. Hershey GH, Reynolds WG. The plastic module as on orthodontic tooth moving mechanism. *Am J Orthod* 1975; 67:554-5
23. Bell WR. A study of applied force as related to the use of elastics and coil springs. *Angle Orthod* 1951;21:151-4
24. Blackley DC. *Polymer Latices : Science and technology*. T.J. Press International Ltd, UK . Second edition. 1997; 334-43

บทความ 2: โซ่ยางดึงฟันที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ

บทนำ

อีลาสโตเมอร์ เป็นวัสดุที่เมื่อทำให้เกิดการเสียรูปทรงแล้วสามารถกลับคืนรูปอย่างรวดเร็ว โดยที่น้ำยางธรรมชาติใช้กันอย่างแพร่หลายในสมัยโบราณในชนเผ่าอินคา และ มายัน เป็นอีลาสโตเมอร์ชนิดแรกที่รู้จัก แต่ข้อจำกัดในการใช้งานเนื่องจากยางธรรมชาติมีสมบัติไม่คงรูปเมื่อใช้งานในอุณหภูมิสูง และสมบัติการการดูดซับน้ำ จนได้มีการค้นพบกระบวนการวัลคาไนเซชัน โดย ชาร์ล กู๊ดเยียร์ (Charles Goodyear) ในปี ค. ศ. 1839 ทำให้มีปริมาณการใช้ยางเพิ่มขึ้น¹ ซึ่งแต่ก่อนได้มีการสนับสนุนให้ใช้ยางธรรมชาติในด้านทันตกรรมจัดฟัน รวมทั้ง Baker, Case และ Angle¹ จนกระทั่งปี ค. ศ. 1980 ได้มีรายงานถึงการเกิดการแพ้จากโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ สมาคมทันตแพทยศาสตร์ของอเมริกา (American Dental Association, ADA) คาดคะเนการเกิดอาการแพ้เนื่องมาจากโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติอยู่ในช่วง 0.12 - 6.0 เปอร์เซ็นต์ โดยในจำนวนนั้นมีทันตแพทย์ ถึง 6.2 เปอร์เซ็นต์^{2,3} ดังนั้น ผลจากการเกิดการแพ้โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ ทำให้มีการใช้ยางสังเคราะห์พอลิยูรีเทนแทนน้ำยางธรรมชาติในปี ค. ศ. 1920²

โซ่ยางดึงฟันได้มีการผลิตในปี ค. ศ. 1960 และเริ่มเป็นส่วนประกอบสำคัญในด้านทันตกรรมจัดฟัน^{4,5} โดยใช้เป็นตัวที่ให้แรงดึงอย่างต่อเนื่องในการเคลื่อนฟัน เช่น Canine retraction, diastema closure, rotational correction และ arch constriction⁵ โซ่ยางดึงฟันได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับสปริงนิกเกิลไททาเนียม, ใช้งานง่ายกว่า, ถูกสุขลักษณะ และ คนไข้ยอมรับได้

ในปี ค. ศ. 1970 Andreasen และ Bishara⁶ ได้พิสูจน์ว่า โซ่ยางดึงฟันสามารถลดช่องว่างระหว่างฟัน พบว่า หลังจากทำการดึงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โซ่ยางสูญเสียความสามารถในการส่งแรงไป 74 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม หลังจากวันแรก, การสูญเสียแรงของโซ่ยางดึงฟันเริ่มลดลงในลักษณะที่คงที่. และพวกเขาได้ศึกษากับโซ่ยางดึงฟันที่ผลิตจากยางธรรมชาติ และพบว่าโซ่ยางดึงฟันที่ผลิตจากยางธรรมชาติจะสูญเสียแรงเพียง 42 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 24 ชั่วโมง⁷

ในปี ค. ศ. 2003 Kersey⁸ และคณะ ได้ทำการเปรียบเทียบแรงที่ได้จากโซ่ยางดึงฟันที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติกับโซ่ยางดึงฟันที่ไม่ได้ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ ทั้งการทดสอบแบบสถิตย์และพลวัต พบว่าจากการทดสอบทั้ง 2 แบบ โซ่ยางดึงฟันที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ มีเปอร์เซ็นต์ของแรงที่เหลืออยู่หลังจากทดสอบมากกว่าค่าที่ได้จากโซ่ยางดึงฟันที่ไม่ได้ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ

สำหรับโซ่ยางดึงฟันแบบเปิดและปิดที่ไม่ใช่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ จะเกิดการสูญเสียแรงอย่างมากในช่วงแรก และระหว่างวันที่ 2 จนถึงวันที่ 4 แรงจะลดลงอย่างต่อเนื่องอย่างช้าๆ และเมื่อผ่านไป 28 วัน จะสูญเสียแรงประมาณ 22 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ จากแรงดึงเริ่มต้น⁹ ซึ่งแรงที่สูญเสียนี้ทำให้ยากต่อการคำนวณแรงที่ใช้ในการจัดฟัน¹

และในปี ค. ศ. 1978 Ash และ Nikolai¹⁰ เปรียบเทียบแรงที่สูญเสียไปจากการดึงโซ่ยางดึงฟันและค้างไว้ในอากาศ, น้ำ, และในแล็บ พบว่า โซ่ยางดึงฟันที่ทดสอบในแล็บ มีการสูญเสียแรงมากกว่าโซ่ยางที่

ดิ่งค้างไว้ในอากาศหลังจากทิ้งไว้ 30 นาที โดยไม่มีความแตกต่างระหว่างโซ่ยางที่ค้างไว้ในน้ำและในเล็ง^{4, 6, 7, 10} และในปี ค. ศ. 1993 Lu และ Wang¹¹ เปรียบเทียบสมบัติการสูญเสียแรงของเส้นใยขนาดสั้นและ clear chains โดยพบว่า clear chains มีแรงดึงเริ่มต้นมีค่าสูงกว่า และมีเปอร์เซ็นต์ของแรงที่เหลืออยู่มากกว่าเมื่อดิ่งค้างไว้เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ในสภาพแวดล้อมที่เป็นของเหลว

ณ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ดร. อรสา ภัทรไพบุญชัย¹² ได้ศึกษาเกี่ยวกับสารตัวเติมชนิดเสริมแรง (สารวัลคาไนซ์และสารตัวเร่ง) ในน้ำยางผสมสารเคมีเพื่อเพิ่มสมบัติด้านความทนทานต่อแรงดึงและความยืดหยุ่นของยาง โดยเป็นไปตามกฎหมายเกี่ยวกับอาหารของประเทศเยอรมันตะวันตกและองค์การอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา (FDA)¹³ ซึ่งน้ำยางผสมสารเคมีที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำยางใช้กระบวนการผลิตแบบการจุ่มโดยการสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อน กระบวนการนี้สามารถควบคุมความหนาของผลิตภัณฑ์ได้โดยการควบคุมอุณหภูมิและปริมาณสารไวความร้อน

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อเตรียมโซ่ยางดิ่งพัน และเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงที่เกิดขึ้นระหว่างโซ่ยางดิ่งพันที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติและที่ไม่ได้ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติในน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่ระยะยืดต่างๆ กัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

เตรียมน้ำยางและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำยางและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง (phr)

Latex and chemicals	Formula.
Content.	Dry weight (phr)
60% HA Latex	100
15% Terric	0.50
50% Lovinox CPL	1.0
50% Sulphur	2.0
50% ZDC	1.0
50% ZnO	0.5
10% PVME	1.0
pH	8.70
Viscosity (cps)	202

โซ่ยางดิงฟันเตรียมโดยใช้การผสมน้ำยางชั้นกับสารรักษาความเสถียร (Terric), สารป้องกันการเสื่อม (Butylated hydroxytoluene), สารวัลคาไนซ์ (กำมะถัน) และสารตัวเร่ง (Zinc diethyldithiocarbamate และ Zinc Oxide) น้ำยางชั้นที่ผสมสารเคมีแล้วเรียกว่าน้ำยางคอมพอนด์. บ่มน้ำยางคอมพอนด์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้น นำไปทดสอบระดับการวัลคาไนซ์ ด้วยคลอโรฟอร์ม (ได้ผลการทดสอบระดับการวัลคาไนซ์ด้วยคลอโรฟอร์มที่ระดับ 2) หลังจากนั้น เติมสารไวความร้อน (Polyvinyl methyl ether) แล้วเก็บน้ำยางเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 10-14 องศาเซลเซียส

ต่อมา ปรับความเป็นกรด - เบส ด้วย 10 เปอร์เซนต์ สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ ให้มีค่า pH ใกล้เคียง 8.0 แล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 10-14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง. นำแบบหุบชนิดสแตนเลส (ขนาด $12 \times 13 \times 0.25$ ซม.) ออบในตู้อบอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วนำมาจุ่มในน้ำยางผสมสารเคมีแบบใช้สารไวความร้อนเป็นเวลาประมาณ 3 วินาที เพื่อจะได้ฟิล์มยางที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร (รูปที่ 1 A) นำฟิล์มยางที่ได้ล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง (Wet gel leaching) เพื่อขจัดสารเคมีที่ตกค้างและโปรตีนที่ละลายน้ำได้ (รูปที่ 2 B) นำแผ่นฟิล์มยางไปวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



A

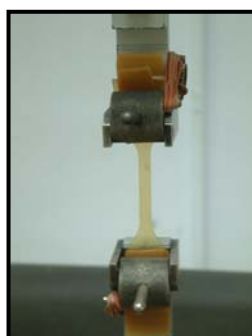


B

รูปที่ 1 A, แบบหุบชนิดสแตนเลส จุ่มลงในน้ำยางผสมสารเคมีสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อนเป็นเวลา 3 วินาที เพื่อให้ได้ความหนา 0.5 มิลลิเมตร; B, การล้าง แบบ wet leaching ด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง



A



B

รูปที่ 2 A, เครื่องดึงยาง Universal Testing machine (Tensometric Co., LTD. England) ; B, ตัวอย่างชิ้นทดสอบรูปดัมเบลทดสอบความทนทานต่อแรงดึง

นำแผ่นฟิล์มยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์ไปตัดเป็นรูปดัมเบล หนา 0.5 มิลลิเมตร (ใกล้เคียงกับขนาดของโซ่ยางดึงฟันที่ไม่ใช่ยาง) เพื่อทดสอบความทนทานต่อแรงดึง ด้วยเครื่อง Universal Testing machine (Tensometric Co., LTD. England) ด้วยโหลดเซลล์ขนาด 50 กิโลนิวตัน และยึดด้วยอัตราเร็ว 500 มิลลิเมตรต่อนาที (รูปที่ 2). ทำการปรับสัดส่วนของปริมาณสารวัลคาไนซ์และสารตัวเร่งในสูตรน้ำยางผสมสารเคมีจนได้ฟิล์มยางที่มีค่าความทนทานต่อแรงดึงอย่างน้อย 22 เมกะปาสคาล. สัดส่วนที่ได้จะนำไปใช้ในการผลิตโซ่ยางดึงฟัน โดยออกแบบลวดชุบ 14 เส้น ทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสด้วยตู้อบอากาศร้อน แล้วจุ่มลงในน้ำยางผสมสารเคมีสูญเสียสภาพด้วยความร้อน (รูปที่ 3)



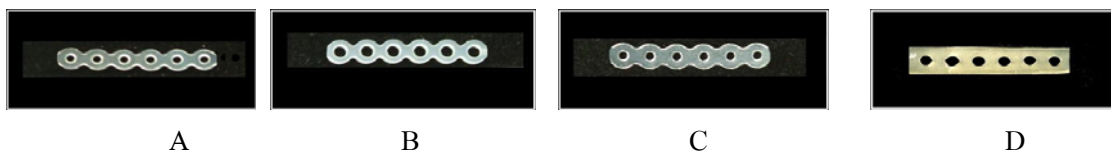
A



B

รูปที่ 3 A, แบบชุบลวด 14 เส้น; B , แบบชุบลวดทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ด้วยตู้อบอากาศร้อน แล้วจุ่มลงในน้ำยางผสมสารเคมีสูญเสียสภาพด้วยความร้อนเพื่อให้ได้ความหนา 0.5 มิลลิเมตร

ทดสอบโซ่ยางดิ่งฟันจำนวน 4 ชนิดประกอบด้วย โซ่ยางดิ่งฟันของ Unitek[®] (U), Ormco[®] (O), Masel[®] (M) และ Thai latex elastic chain (L) เป็นสายโซ่ที่เชื่อมต่อกันจำนวน 6 ยูนิต จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองนี้

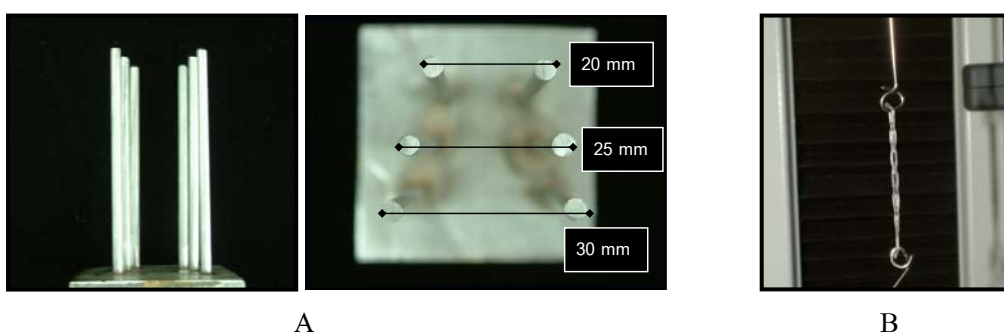


รูปที่ 4. Six unit links of clear chains; A, Unitek[®] elastomeric chain; B, Ormco[®] elastomeric chain; C, Masel[®] elastomeric chain; D, Thai latex elastic chain

นำชิ้นตัวอย่างจำนวน 30 ชิ้นในแต่ละกลุ่ม ไปยึดออกบนโครงลวดสแตนเลส (Figure 5) แล้วจุ่มลงในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส โดยทำการยึดออกเป็นระยะ 20, 25 และ 30 มิลลิเมตร (10 ตัวอย่าง/กลุ่ม/ระยะยึด) วัดแรงที่อ่านได้จากเครื่องดึงยาง Universal Testing machine โดยใช้ Load cell ขนาด 10 นิวตัน บันทึกแรงเริ่มต้นที่อ่านได้ และที่เวลา 1 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง, 3 วัน และ ทุกๆ สัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแต่ละกลุ่มโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของการสูญเสียแรงในแต่ละกลุ่มด้วย least significance difference (LSD)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรง} = \frac{\text{แรงเริ่มต้น} - \text{แรงเมื่อเวลาผ่านไป}}{\text{แรงเริ่มต้น}} \times 100$$



รูปที่ 5. A, distances of stainless steel frame work: 20 mm, 25 mm and 30 mm; B, Force measurements of elastic chains were taken with a Universal testing machine

ผลการทดลอง

การสูญเสียแรงที่วัดได้มีความสำคัญของแรงที่สูญเสียไปสัมพันธ์กับแรงดึงเริ่มต้น โดยมีข้อมูลมาตรฐานเปรียบเทียบกันระหว่างแต่ละผลิตภัณฑ์ แรงที่วัดได้จะคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรง ความยาวเริ่มต้นของโซ่ยางดิ่งพืนในการทดลองนี้แสดงใน ตารางที่ 2 ซึ่งมีความยาวเฉลี่ย 15.44 มิลลิเมตร (ภาคผนวก)

แรงดึงเริ่มต้นของโซ่ยางดิ่งพืน U ทุกกระชียึดมีค่ามากกว่าโซ่ยางดิ่งพืนของผลิตภัณฑ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) โดยที่กระชียึด 20 มิลลิเมตร โซ่ยางดิ่งพืน O มีแรงดึงเริ่มต้นน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ โซ่ยางดิ่งพืน M และ L และที่กระชียึด 25 มิลลิเมตร และ 30 มิลลิเมตร โซ่ยางดิ่งพืน L มีแรงดึงเริ่มต้นน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรง ระหว่าง โซ่ยางดิ่งพืน U, O, M และ L ในแต่ละเวลาในการยึดและแต่ละกระชียึดแสดงใน ตารางที่ 5-7 พบว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพืน L มีค่ามากกว่าโซ่ยางดิ่งพืน U, O และ M อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกๆกระชียึดและทุกๆช่วงเวลาในการทดลอง สำหรับการสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพืนทั้ง 4 กลุ่มในแต่ละกระชียึด ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยที่เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของแต่ละกลุ่มจะมีค่ามากที่สุดในช่วงแรกของทดลองในทุกๆ กระชียึด แต่เมื่อผ่านวันที่ 3 จนถึง 4 สัปดาห์ของการทดลองแรงที่ได้มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องอย่างช้าๆ โดยที่โซ่ยางดิ่งพืน L มีอัตราการสูญเสียแรงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ ในทุกๆ กระชียึด

ที่กระชียึด 20 มิลลิเมตร พบว่า โซ่ยางดิ่งพืน L มีการสูญเสียแรงต่ำที่สุด (13.52 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับโซ่ยางดิ่งพืนกลุ่มอื่น (30.51-32.73 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเวลาทดลอง 1 ชั่วโมง (ตารางที่ 4) และที่ 24 ชั่วโมง โซ่ยางดิ่งพืน L ยังคงมีการสูญเสียแรงต่ำที่สุด (14.96 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับโซ่ยางดิ่งพืนกลุ่มอื่น (35.98-40.70 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญ โดยที่โซ่ยางดิ่งพืน O (37.79 เปอร์เซ็นต์) และ M (40.70 เปอร์เซ็นต์) มีการสูญเสียแรงสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเวลาทดลอง 3 วัน การสูญเสียแรงมีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในโซ่ยางดิ่งพืน M (51.61 เปอร์เซ็นต์) ตามด้วย U (48.34 เปอร์เซ็นต์), O (45.49 เปอร์เซ็นต์) และ L (18 เปอร์เซ็นต์), ตามลำดับ และในช่วงการทดลอง สัปดาห์ที่ 1 จนถึงสัปดาห์ที่ 4 การสูญเสียแรงมีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญในโซ่ยางดิ่งพืน U (56.23-64.29 เปอร์เซ็นต์) และ M (55-63 เปอร์เซ็นต์) และ โซ่ยางดิ่งพืน L (20.64-26.49 เปอร์เซ็นต์) มีการสูญเสียแรงต่ำที่สุด ขณะที่โซ่ยางดิ่งพืน O (48.12-55.03 เปอร์เซ็นต์) จะมีการสูญเสียแรงปานกลาง

ที่กระชียึด 25 มิลลิเมตร พบว่า โซ่ยางดิ่งพืน L มีการสูญเสียแรงต่ำที่สุด (14.53 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับโซ่ยางดิ่งพืนกลุ่มอื่น (36.61-41.29 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเวลาทดลอง 1 ชั่วโมง (ตารางที่ 5) และที่ 24 ชั่วโมง โซ่ยางดิ่งพืน L ยังคงมีการสูญเสียแรงต่ำที่สุด (16.50 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับโซ่ยางดิ่งพืนกลุ่มอื่น (42.16-43.56 เปอร์เซ็นต์) และระหว่างช่วงเวลาวันที่ 3 จนถึงสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง การสูญเสียแรงมีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญในโซ่ยางดิ่งพืน U (55.89-63.78 เปอร์เซ็นต์) และ M (55.51-66.30 เปอร์เซ็นต์) และ โซ่ยางดิ่งพืน L (17.72-26.80 เปอร์เซ็นต์) มีการสูญเสีย

แรงต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่โซ่ยางคิงฟิน O (45.66-55.32 เปอร์เซ็นต์) จะมีค่าการสูญเสียแรงปานกลาง

ที่ระยะยึด 30 มิลลิเมตร พบว่า โซ่ยางคิงฟิน L มีการสูญเสียแรงต่ำที่สุด (15.63 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับโซ่ยางคิงฟินกลุ่มอื่น (40.68-45.58 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเวลาทดลอง 1 ชั่วโมง (ตารางที่ 6) และที่ 24 ชั่วโมง โซ่ยางคิงฟิน L ยังคงมีการสูญเสียแรงต่ำที่สุด (24.87 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับโซ่ยางคิงฟินกลุ่มอื่น (46.34-50.74 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญ และระหว่างช่วงเวลาสัปดาห์ที่ 1 จนถึงสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง การสูญเสียแรงมีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญในโซ่ยางคิงฟิน U (60.31-65.51 เปอร์เซ็นต์) และ M (61.13-66.52 เปอร์เซ็นต์) และ โซ่ยางคิงฟิน L (31.51-42.30 เปอร์เซ็นต์) มีการสูญเสียแรงต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่โซ่ยางคิงฟิน O (48.88-56.04 เปอร์เซ็นต์) จะมีค่าการสูญเสียแรงปานกลาง

หลังจากทำการทดลองผ่านไป 4 สัปดาห์ ที่ทุกๆ ระยะยึดโซ่ยางคิงฟิน L ยังคงมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงต่ำที่สุด (26.49-42.30 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับโซ่ยางคิงฟินกลุ่มอื่น (55.03-66.52 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญ

เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางคิงฟิน U เมื่อทำการยึดออกเป็นระยะ 20 มิลลิเมตร, 25 มิลลิเมตร และ 30 มิลลิเมตรในทุก ๆ เวลาการทดลองดังแสดงในตารางที่ 7 ในระหว่างชั่วโมงแรกจนถึงสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง พบว่า การสูญเสียแรงสูงที่สุดที่ระยะยึด 30 มิลลิเมตร (45.58 เปอร์เซ็นต์- 62.53 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระยะยึดอื่น ๆ (30.51-61.12 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญ และการสูญเสียแรงต่ำที่สุดที่ระยะยึด 20 มิลลิเมตร (30.51-59.01 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ระยะยึด 25 มิลลิเมตร (41.29-61.12 เปอร์เซ็นต์) จะมีค่าการสูญเสียแรงปานกลาง ในช่วงสัปดาห์ที่ 3 ของการทดลอง พบว่า ที่ระยะยึด 30 มิลลิเมตร มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงสูงที่สุด (64.93 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับระยะยึดอื่น ๆ (ที่ระยะยึด 20 มิลลิเมตร และ 25 มิลลิเมตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ) และในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง พบว่า การสูญเสียแรงมีค่าสูงสุดที่ระยะยึด 20 มิลลิเมตร (64.29 เปอร์เซ็นต์) และ 30 มิลลิเมตร (65.51 เปอร์เซ็นต์) อย่างไรก็ตาม มีเพียงระยะยึดที่ 30 มิลลิเมตรเท่านั้นที่มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงมากกว่าที่ระยะยึด 25 มิลลิเมตร (รูปที่ 7B) อย่างมีนัยสำคัญ

เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางคิงฟิน O เมื่อทำการยึดออกเป็นระยะ 20 มิลลิเมตร, 25 มิลลิเมตร และ 30 มิลลิเมตรในทุกๆ เวลาการทดลองดังแสดงในตารางที่ 8 ในระหว่างชั่วโมงแรกจนถึง 24 ชั่วโมงของการทดลอง พบว่า การสูญเสียแรงสูงที่สุดที่ระยะยึด 30 มิลลิเมตร (43.40-46.34 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระยะยึดอื่น ๆ (30.51-61.12 เปอร์เซ็นต์) และการสูญเสียแรงต่ำที่สุดที่ระยะยึด 20 มิลลิเมตร (32.73-37.79 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ระยะยึด 25 มิลลิเมตร (39.62-42.16 เปอร์เซ็นต์) จะมีค่าการสูญเสียแรงปานกลาง ในระหว่างช่วงสัปดาห์ที่ 1 จนถึง สัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง พบว่า ที่ระยะยึด 20, 25 และ 30 มิลลิเมตร ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของการสูญเสียแรงอย่าง

มีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม มีเพียงระยะยี่ดี่ 30 มิลลิเมตรเท่านั้นที่มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงมากกว่าที่ระยะยี่ดี่อื่น ๆ (รูปที่ 7B)

เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพิน M เมื่อทำการยี่ดี่ออกเป็นระยะ 20 มิลลิเมตร, 25 มิลลิเมตร และ 30 มิลลิเมตรในทุก ๆ เวลาการทดลองดังแสดงในตารางที่ 9 ในระหว่างชั่วโมงแรกจนถึง 24 ชั่วโมงของการทดลอง พบว่า การสูญเสียแรงสูงที่สุดที่ระยะยี่ดี่ 30 มิลลิเมตร (40.68-49.10 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระยะยี่ดี่อื่น ๆ (31.26-43.56 เปอร์เซ็นต์) และการสูญเสียแรงต่ำที่สุดที่ระยะยี่ดี่ 20 มิลลิเมตร (31.26-40.70 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ระยะยี่ดี่ 25 มิลลิเมตร (36.61-43.56 เปอร์เซ็นต์) จะมีค่าการสูญเสียแรงปานกลาง ในระหว่างช่วงวันที่ 3 จนถึง สัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง พบว่า การสูญเสียแรงมีค่าสูงสุดที่ระยะยี่ดี่ 25 มิลลิเมตร (55.51-66.30 เปอร์เซ็นต์) และ 30 มิลลิเมตร (56.22-66.52 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 7C)

เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพิน L เมื่อทำการยี่ดี่ออกเป็นระยะ 20 มิลลิเมตร, 25 มิลลิเมตร และ 30 มิลลิเมตรในทุก ๆ เวลาการทดลองดังแสดงในตารางที่ 10 ในระหว่างชั่วโมงแรกเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งพิน L ไม่มีความแตกต่างกันในทุกๆ ระยะยี่ดี่อย่างมีนัยสำคัญ ในระหว่าง 24 ชั่วโมงจนถึงสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง พบว่า การสูญเสียแรงสูงที่สุดที่ระยะยี่ดี่ 30 มิลลิเมตร (24.87-42.30 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระยะยี่ดี่อื่นๆ (13.52-26.80 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการสูญเสียแรงที่ระยะยี่ดี่ 20 มิลลิเมตร และ 25 มิลลิเมตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 7D)

วิจารณ์ผลการทดลอง

เหตุผลที่เลือกระยะยี่ดี่ที่ใช้ในการดิ่งโซ่ยางดิ่งพินในการทดลองนี้ เนื่องจาก สามารถประยุกต์ใช้ในคลินิก และสามารถประมาณระยะห่างเพื่อเคลื่อนพินระหว่างเขี้ยวกับช่องว่างก่อนพินกราม หรือในรายที่มีช่องว่างระหว่างพิน โซ่ยางดิ่งพิน L ผลิตด้วยกระบวนการจุ่มแบบสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อนและปรับปริมาณสารวงศาไนซ์และสารตัวเร่งจนได้ค่าความต้านทานต่อแรงดิ่งที่ดี (ไม่น้อยกว่า 22 เมกะปาสกาล) และแรงที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับแรงที่ได้จากโซ่ยางพินของผู้ผลิตรายอื่นที่ระยะยี่ดี่ 20 มิลลิเมตร ระดับแรงดิ่งเริ่มต้นของโซ่ยางดิ่งพิน U ที่ทุกระยะยี่ดี่ มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากโซ่ยางดิ่งพิน O, M และ L อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) ให้ผลการทดลองคล้ายคลึงกันกับการศึกษาที่ผ่านมา^{5-7, 14-15} ซึ่งได้แสดงระดับความแปรปรวนของแรงที่ได้จากโซ่ยางดิ่งพินที่มีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน ในการทดลองนี้ ที่ระยะยี่ดี่ 20 และ 25 มิลลิเมตร โซ่ยางดิ่งพิน U ได้ยี่ดี่ออก 31.93 เปอร์เซ็นต์ และ 64.91 เปอร์เซ็นต์ จากความยาวเริ่มต้น และมีแรงดิ่งเริ่มต้นประมาณ 254 กรัม และ 487 กรัม ตามลำดับ ส่วนโซ่ยางดิ่งพิน O ได้ยี่ดี่ออก 29.62 เปอร์เซ็นต์ และ 62.02 เปอร์เซ็นต์ ของความยาวเริ่มต้น และมีแรงดิ่งเริ่มต้นประมาณ 224 กรัม และ 421 กรัม ตามลำดับ สำหรับโซ่ยางดิ่งพิน M ได้ยี่ดี่ออก 29.34 เปอร์เซ็นต์ และ 57.93 เปอร์เซ็นต์ ของความยาวเริ่มต้น และมีแรงดิ่งเริ่มต้นประมาณ 236 กรัม และ 423 กรัม ตามลำดับ ซึ่ง

มีความคล้ายคลึงกันกับการทดลองที่ผ่านมา⁴ ซึ่งทำการยืดยางออกหลาย ๆ ระยะยืดแล้ววัดแรงดึงเริ่มต้น โข่ยางดึงพื้นของ Unitek[®] มีระยะยืด 24.90 เปอร์เซ็นต์ และ 56.90 เปอร์เซ็นต์ จากความยาวเริ่มต้น โดยมีแรงดึงเริ่มต้น 150 กรัม และ 300 กรัม ตามลำดับ ส่วนโข่ยางดึงพื้นของ Ormco[®] มีระยะยืด 21.70 เปอร์เซ็นต์ และ 51.90 เปอร์เซ็นต์ จากความยาวเริ่มต้น โดยมีแรงดึงเริ่มต้น 150 กรัม และ 300 กรัม ตามลำดับ สำหรับโข่ยางดึงพื้น Masel[®] มีระยะยืด 23.70 เปอร์เซ็นต์ และ 55.90 เปอร์เซ็นต์ จากความยาวเริ่มต้น โดยมีแรงดึงเริ่มต้น 150 กรัม และ 300 กรัม ตามลำดับ

จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดและจากผู้ผลิตทั้งหมด อัตราการสูญเสียแรงจะเกิดขึ้นเร็วที่สุดในช่วงวันแรกของการทดลอง ซึ่งจะเกิดขึ้นภายในชั่วโมงแรก แล้วอัตราการสูญเสียแรงจะลดลงใน 3 ถึง 7 วัน จนกระทั่งถึงสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง (รูปที่ 6) โดยมีการยืนยันผลการศึกษาก่อนหน้านี้^{6, 10, 14, 16} ที่ว่าหลังจาก 4 สัปดาห์ของช่วงการทดลอง ที่ระยะยืด 20, 25 และ 30 มิลลิเมตร โข่ยางดึงพื้น U และ M จะมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ (63.00-66.52 เปอร์เซ็นต์)

ที่ระยะยืด 20 มิลลิเมตร แรงที่เหลืออยู่จากแรงเริ่มต้นเท่ากับ 90.59 กรัม และ 87.23 กรัม ตามลำดับ จากการศึกษาก่อนหน้านี้¹⁶⁻²⁰ แรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันประมาณ 100-300 กรัม โดยที่โข่ยางดึงพื้น L มีแรงที่เหลือหลังจากสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 4 เท่ากับ 172.09-220.4 กรัม ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสม ซึ่งแรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันยังคงอยู่จนกระทั่ง 4 สัปดาห์ในการทดลอง โดยใช้โข่ยางดึงพื้นที่ไม่ได้ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ ยืดออกเป็นระยะ 25 มิลลิเมตร และ 30 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตาม แรงดึงเริ่มต้นที่ใช้ต้องมากกว่า 400 กรัม ทำให้ผู้ป่วยรู้สึกไม่สบายตัวในระยะเริ่มแรกของการจัดฟัน¹¹

ที่ระยะยืด 20 มิลลิเมตร และ 25 มิลลิเมตร ของโข่ยางดึงพื้น L ถูกยืดออก 29-61 เปอร์เซ็นต์ จากความยาวเริ่มต้น สามารถให้แรงที่เหมาะสมในการจัดฟันและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 10) ส่วนที่ระยะยืด 30 มิลลิเมตร โข่ยางดึงพื้น L ถูกยืดออก 94 เปอร์เซ็นต์ จากความยาวเริ่มต้น ในระหว่างหลังจาก 24 ชั่วโมงจนถึง 4 สัปดาห์ของการทดสอบ การสูญเสียแรงมีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 7D) อย่างไรก็ตาม การสูญเสียแรงยังมีค่าต่ำที่สุด (42.30 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเทียบกับโข่ยางดึงพื้นกลุ่มอื่น (56.04-66.52 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญเมื่อยืดออกที่ระยะ 30 มิลลิเมตร (ตารางที่ 6)

ในปี ค. ศ. 1985 Rock¹⁵ ได้แนะนำว่า การยืดของโข่ยางดึงพื้นระหว่าง 50 เปอร์เซ็นต์ และ 70 เปอร์เซ็นต์ สามารถให้แรงที่เหมาะสมในการจัดฟัน โดยที่ระยะยืด 25 มิลลิเมตร โข่ยางดึงพื้น L ยืดออก 64.69 เปอร์เซ็นต์ ของความยาวเริ่มต้น และมีแรงดึงเริ่มต้นที่ 300 กรัม และเมื่อผ่านสัปดาห์ที่ 4 แรงที่เหลืออยู่ในโข่ยางดึงพื้น เท่ากับ 220 กรัม อย่างไรก็ตาม โข่ยางดึงพื้น U ถูกดึงให้ยืดออก 64.91 เปอร์เซ็นต์ จากความยาวเริ่มต้น (ใกล้เคียงกับระยะยืดของโข่ยางดึงพื้น L) ให้แรงเริ่มต้นมีค่าสูงถึง 487 กรัม (ตารางที่ 3) และเมื่อผ่านสัปดาห์ที่ 4 แรงที่เหลืออยู่ในโข่ยางดึงพื้น เท่ากับ 176 และมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงมากที่สุด (63.78 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเทียบกับโข่ยางดึงพื้น L (26.49 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญ

สรุปผลการทดลอง

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งฟันที่ผลิตได้ มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากโซ่ยางดิ่งฟันของผู้ผลิตรายอื่น ที่ทุก ๆ ช่วงเวลาและทุกระยะยึด โดยที่โซ่ยางดิ่งฟันที่ผลิตได้ ให้ระดับแรงที่ไม่เปลี่ยนแปลงที่ใช้เคลื่อนฟันในขณะที่ทำการจัดฟัน

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งฟันของผู้ผลิตต่างๆ ทำให้สามารถรู้ระดับของแรงที่เหลืออยู่ได้ในระหว่างทำการจัดฟัน โดยที่ทันตแพทย์สามารถเลือกใช้โซ่ยางดิ่งฟันที่มีแรงที่เหมาะสมและมีแรงคงเหลือเพียงพอจนถึงการนัดจัดฟันครั้งต่อไป

ควรมีการตรวจสอบความเป็นพิษและเพิ่มสมบัติทางกายภาพแก่โซ่ยางดิ่งฟันในอนาคตได้

เอกสารอ้างอิง

1. Baty DL, Storie DJ, von Fraunhofer JA. Synthetic elastomeric: A literature review. Am J Orthod Dentofac Orthop 1994;105:536-42
2. ADA Council on Scientific Affairs. The dental team and latex hypersensitivity. J Am Dent Assoc 1999;130:257-64
3. Hamann CP, Turjanmaa K, Rietschel R. Natural rubber latex hypersensitivity: incidence and prevalence of type I allergy in the dental professional. JADA 1998;129:43-53
4. Baty DL, Volz JE, von Fraunhofer JA. Force delivery properties of colored elastomeric modules. Am J Dentofac Orthop 1994;106:40-6
5. Nattrass C, Ireland AJ, Lovell CR. Latex allergy in an orthognathic patient and implications for clinical management. Br J Oral Maxillofac Surg 1999;37:11-3
6. Andreasen GF, Bishara SE. Comparison of alastik chains with elastics involve with intra-arch molar to molar forces. Angle Orthod 1970;40:151-8
7. Bishara SE, Andreasen GF. Comparison of time related forces between plastic alastiks and latex elastics. Angle Orthod 1970;40:319-28
8. Kersey ML, Glover KE, Heo G, Raboud D, Major PW. A comparison of dynamic and static testing of latex and non-latex orthodontic elastics. Angle Orthod 2003;73:181-6
9. Josell SD, Leiss JB, Rekow D. Force degradation in elastomeric chains. Semin Orthod 1997;3:189-97
10. Ash JL, Nikolai J. Relaxation of orthodontic elastomeric chains and modules in vitro and in vivo. J Dent Res 1978;57:685-90
11. Chau Lu Tz, Wang WN, Tarng TH, Chen JW. Force decay of elastomeric chain-a serial study part II. Am J Orthod Dentofac Orthop 1993;104:373-7

12. Patarapaiboolchai O. Compounding of latex for highest tensile strength. Prince of Songkla University, Faculty of Science and Technology, Department of Rubber Technology and Polymer Science 1992.
13. Metherell C. Compounding natural rubber for food contact applications. NR Technology 1982;13:21-32
14. Wong AK. Orthodontic elastic materials. Angle Orthod 1976;46:196-205
15. Rock WP, Wilson HJ, Fisher SE. A laboratory investigation of orthodontic elastomeric chains. Br J Orthod 1985;12:202-7
16. von Fraunhofer JA, Coffelt MP, Orbell GM. The effects of artificial saliva and topical fluoride treatments and degradation of the elastic properties of orthodontic chains. Angle Orthod 1992;62:265-73
17. Boester CH, Johnston LE. A clinical investigation of the concepts of differential and optimal force in canine retraction. Angle Orthod 1974;44:113-9
18. Frank CA, Nikolai RJ. A comparative study of frictional resistance between orthodontic brackets and arch wires. Am J Orthod 1980;78:503-9
19. Pilon JJ, Kuijpers-Jagtman AM, Maltha JC. Magnitude of orthodontic forces and rate of bodily tooth movement. An experimental study. Am J Dentofac Orthop 1996;110:16-23
20. Proffit WR. Contemporary orthodontics third edition. St. Louis, Calif: Mosby Year Book Inc 2000:296-304

ภาคผนวก

ตารางที่ 2 . Length of 6 units elastic chains

Company	Number	Length	
		Mean	SD
Unitek [®]	30	15.16	0.01
Ormco [®]	30	15.43	0.02
Masel [®]	30	15.83	0.02
Thai made	30	15.18	0.02
Total	120	15.44	0.28

ตารางที่ 3. Mean initial force values (Newton) exerted by non-latex elastic chains and Thai latex elastic chain at 3 stretched lengths comparisons

Distance (mm)		20	25	30	Total
Company					
Unitek [®]	Mean	2.54 ^{b, c, d}	4.87 ^{b, c, d}	5.95 ^{b, c, d}	4.45
	SD	0.16	0.17	0.05	1.45
Ormco [®]	Mean	2.24 ^a	4.21 ^{a, d}	4.96 ^{a, d}	3.81
	SD	0.14	0.07	0.06	1.17
Masel [®]	Mean	2.36 ^a	4.23 ^{a, d}	4.98 ^{a, d}	3.86
	SD	0.07	0.11	0.07	1.12
Thai latex	Mean	2.34 ^a	3.01 ^{a, b, c}	3.41 ^{a, b, c}	2.89
	SD	0.20	0.18	0.14	0.48

P<0.05

Non-latex elastic chains: Unitek[®], Ormco[®] and Masel[®]

a: Unitek[®], b: Ormco[®], c: Masel[®] and d: Thai latex

ตารางที่ 4. Mean percentages of force degradation between non-latex elastic chains and Thai latex elastic chain at stretched length 20 mm comparisons

Time		Initial force	1 hour	24 hours	3 days	1 week	2 weeks	3 weeks	4 weeks
Company		(Newton)							
Unitek ®	Mean (%FD)	2.54	30.51 ^d	35.98 ^{c, d}	48.34 ^{b, c, d}	56.23 ^{b, d}	59.01 ^{b, d}	61.60 ^{b, d}	64.29 ^{b, d}
	SD	0.16	3.54	4.26	1.84	2.03	1.44	1.58	1.06
Ormco ®	Mean (%FD)	2.24	32.73 ^d	37.79 ^d	45.49 ^{a, c, d}	48.12 ^{a, c, d}	51.27 ^{a, c, d}	52.68 ^{a, c, d}	55.03 ^{a, c, d}
	SD	0.14	1.67	1.84	1.99	1.63	2.08	2.02	1.36
Masel ®	Mean (%FD)	2.36	31.26 ^d	40.70 ^{a, d}	51.61 ^{a, b, d}	55.00 ^{b, d}	57.33 ^{b, d}	59.53 ^{b, d}	63.00 ^{b, d}
	SD	0.07	2.90	2.42	1.66	2.30	2.23	2.04	2.16
Thai latex	Mean (%FD)	2.34	13.52 ^{a, b, c}	14.96 ^{a, b, c}	18.00 ^{a, b, c}	20.64 ^{a, b, c}	23.20 ^{a, b, c}	25.29 ^{a, b, c}	26.49 ^{a, b, c}
	SD	0.2	2.92	3.52	3.13	3.75	3.60	3.22	2.56

P<0.05, %FD: the percentages of force degradation

Non-latex elastic chains: Unitek ®, Ormco ® and Masel ®

a: Unitek ®, b: Ormco®, c: Masel ® and d: Thai latex

ตารางที่ 5. Mean percentages of force degradation between non-latex elastic chains and Thai latex elastic chain at stretched length 25 mm comparisons

Time		Initial force	1 hour	24 hours	3 days	1 week	2 weeks	3 weeks	4 weeks
Company		(Newton)							
Unitek®	Mean (%FD)	4.87	41.29 ^{c, d}	42.87 ^d	55.89 ^{b, d}	58.15 ^{b, d}	61.12 ^{b, d}	62.39 ^{b, d}	63.78 ^{b, d}
	SD	0.17	2.27	2.28	3.01	1.79	1.88	1.48	1.59
Ormco ®	Mean (%FD)	4.21	39.62 ^d	42.16 ^d	45.66 ^{a, c, d}	48.72 ^{a, c, d}	51.81 ^{a, c, d}	53.35 ^{a, c, d}	55.32 ^{a, c, d}
	SD	0.07	1.77	1.78	2.50	2.80	2.30	2.54	0.80
Masel ®	Mean (%FD)	4.23	36.61 ^{a, d}	43.56 ^d	55.51 ^{b, d}	59.55 ^{b, d}	60.53 ^{b, d}	62.88 ^{b, d}	66.30 ^{b, d}
	SD	0.11	2.96	3.22	1.63	2.54	1.65	1.75	0.87
Thai latex	Mean (%FD)	3.01	14.53 ^{a, b, c}	16.50 ^{a, b, c}	17.72 ^{a, b, c}	22.72 ^{a, b, c}	24.26 ^{a, b, c}	25.66 ^{a, b, c}	26.80 ^{a, b, c}
	SD	0.18	3.42	3.98	4.00	2.47	2.72	2.95	4.10

P<0.05, %FD: the percentages of force degradation

Non-latex elastic chains: Unitek ®, Ormco ® and Masel ®

a: Unitek ®, b: Ormco®, c: Masel ® and d: Thai latex

ตารางที่ 6. Mean percentages of force degradation between non-latex elastic chains and

Thai latex elastic chain at stretched length 30 mm comparisons

Time		Initial force (Newton)	1 hour	24 hours	3 days	1 week	2 weeks	3 weeks	4 weeks
Company									
Unitek®	Mean (%FD)	5.95	45.58 ^{c, d}	50.74 ^{b, d}	58.26 ^{b, c, d}	60.31 ^{b, d}	62.53 ^{b, d}	64.93 ^{b, d}	65.51 ^{b, d}
	SD	0.05	1.55	1.71	1.63	1.7	1.07	1.85	1.86
Ormco®	Mean (%FD)	4.96	43.40 ^{c, d}	46.34 ^{a, c, d}	47.45 ^{a, c, d}	48.88 ^{a, c, d}	52.45 ^{a, c, d}	54.26 ^{a, c, d}	56.04 ^{a, c, d}
	SD	0.06	1.29	2.04	1.66	1.61	1.56	1.71	1.74
Masel®	Mean (%FD)	4.98	40.68 ^{a, b, d}	49.10 ^{b, d}	56.22 ^{a, b, d}	61.13 ^{b, d}	62.72 ^{b, d}	64.12 ^{b, d}	66.52 ^{b, d}
	SD	0.07	1.79	2.82	1.46	1.58	1.04	1.87	0.95
Thai latex	Mean (%FD)	3.41	15.63 ^{a, b, c}	24.87 ^{a, b, c}	29.31 ^{a, b, c}	31.51 ^{a, b, c}	36.96 ^{a, b, c}	39.40 ^{a, b, c}	42.30 ^{a, b, c}
	SD	0.14	4.33	3.95	2.93	1.82	1.88	2.71	1.06

P<0.05, %FD: the percentages of force degradation

Non-latex elastic chains: Unitek®, Ormco® and Masel®

a: Unitek®, b: Ormco®, c: Masel® and d: Thai latex

ตารางที่ 7. Mean percentages of force degradation of Unitek ® elastic chains
at 3 stretched lengths comparisons

Distance (mm)	20		25		30	
Time	% FD	SD	% FD	SD	% FD	SD
1 hour	30.51 ^{b, c}	3.54	41.29 ^{a, c}	2.27	45.58 ^{a, b}	1.55
24 hours	35.98 ^{b, c}	4.26	42.87 ^{a, c}	2.28	50.74 ^{a, b}	1.71
3days	48.34 ^{b, c}	1.84	55.89 ^{a, c}	3.01	58.26 ^{a, b}	1.63
1 week	56.23 ^{b, c}	2.03	58.15 ^{a, c}	1.79	60.31 ^{a, b}	1.70
2 weeks	59.01 ^{b, c}	1.44	61.12 ^{a, c}	1.88	62.53 ^{a, b}	1.07
3 weeks	61.60 ^c	1.58	62.39 ^c	1.48	64.93 ^{a, b}	1.85
4 weeks	64.29	1.06	63.78 ^c	1.59	65.51 ^b	1.86

P<0.05, %FD: the percentages of force degradation

a: at stretched length 20 mm, b: at stretched length 25 mm and c: at stretched length 30 mm

ตารางที่ 8. Mean percentages of force degradation ofOrmco ® elastic chains
at 3 stretched lengths comparisons

Distance (mm)	20		25		30	
Time	% FD	SD	% FD	SD	% FD	SD
1 hour	32.73 ^{b, c}	1.67	39.62 ^{a, c}	1.77	43.40 ^{a, b}	1.29
24 hours	37.79 ^{b, c}	1.84	42.16 ^{a, c}	1.78	46.34 ^{a, b}	2.04
3days	45.49 ^c	1.99	45.66	2.50	47.45 ^a	1.66
1 week	48.12	1.63	48.72	2.80	48.88	1.61
2 weeks	51.27	2.08	51.81	2.30	52.45	1.56
3 weeks	52.68	2.02	53.35	2.54	54.26	1.71
4 weeks	55.03	1.36	55.32	0.80	56.04	1.74

P<0.05, %FD: the percentages of force degradation

a: at stretched length 20 mm, b: at stretched length 25 mm and c: at stretched length 30 mm

ตารางที่ 9. Mean percentages of force degradation of Masel ® elastic chains
at 3 stretched lengths comparisons

Distance (mm)	20		25		30	
Time	% FD	SD	% FD	SD	% FD	SD
1 hour	31.26 ^{b, c}	2.90	36.61 ^{a, c}	2.96	40.68 ^{a, b}	1.79
24 hours	40.70 ^{b, c}	2.42	43.56 ^{a, c}	3.22	49.10 ^{a, b}	2.82
3days	51.61 ^{b, c}	1.66	55.51 ^a	1.63	56.22 ^a	1.46
1 week	55.00 ^{b, c}	2.30	59.55 ^a	2.54	61.13 ^a	1.58
2 weeks	57.33 ^{b, c}	2.23	60.53 ^{a, c}	1.65	62.72 ^{a, b}	1.04
3 weeks	59.53 ^{b, c}	2.04	62.88 ^a	1.75	64.12 ^a	1.87
4 weeks	63.00 ^{b, c}	2.16	66.30 ^a	0.87	66.52 ^a	0.95

P<0.05, %FD: the percentages of force degradation

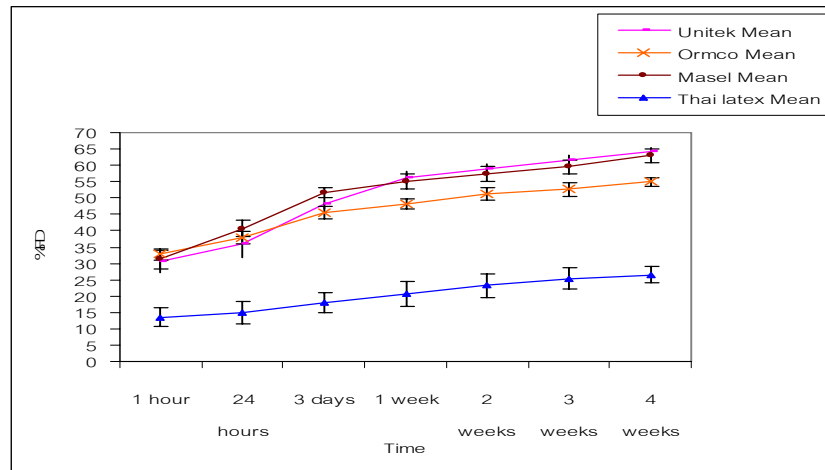
a: at stretched length 20 mm, b: at stretched length 25 mm and c: at stretched length 30 mm

ตารางที่ 10. Mean percentages of force degradation of Thai latex
elastic chains at 3 stretched lengths comparisons

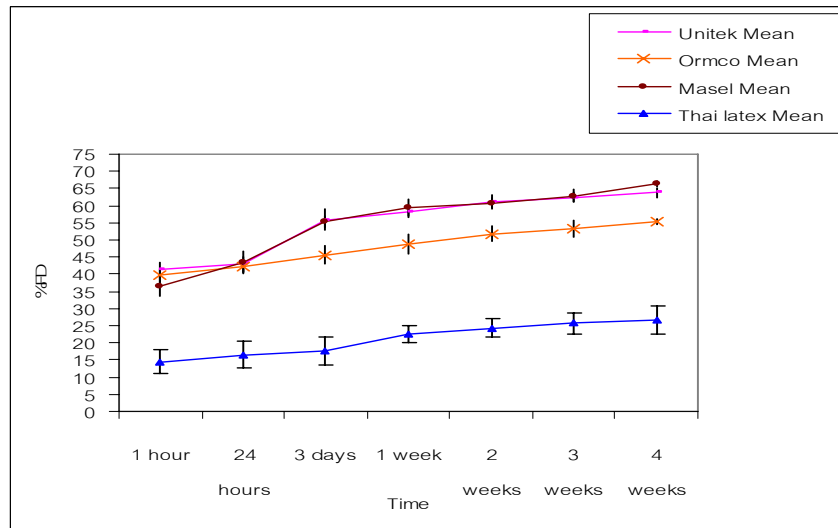
Distance (mm)	20		25		30	
Time	% FD	SD	% FD	SD	% FD	SD
1 hour	13.52	2.92	14.53	3.42	15.63	4.33
24 hours	14.96 ^c	3.52	16.50 ^c	3.98	24.87 ^{a, b}	3.95
3 days	18.0 ^{0c}	3.13	17.72 ^c	4.00	29.31 ^{a, b}	2.93
1 week	20.64 ^c	3.75	22.72 ^c	2.47	31.51 ^{a, b}	1.82
2 weeks	23.20 ^c	3.60	24.26 ^c	2.72	36.96 ^{a, b}	1.88
3 weeks	25.29 ^c	3.23	25.66 ^c	2.95	39.40 ^{a, b}	2.71
4 weeks	26.49 ^c	2.56	26.80 ^c	4.10	42.30 ^{a, b}	1.06

P<0.05, %FD: the percentages of force degradation

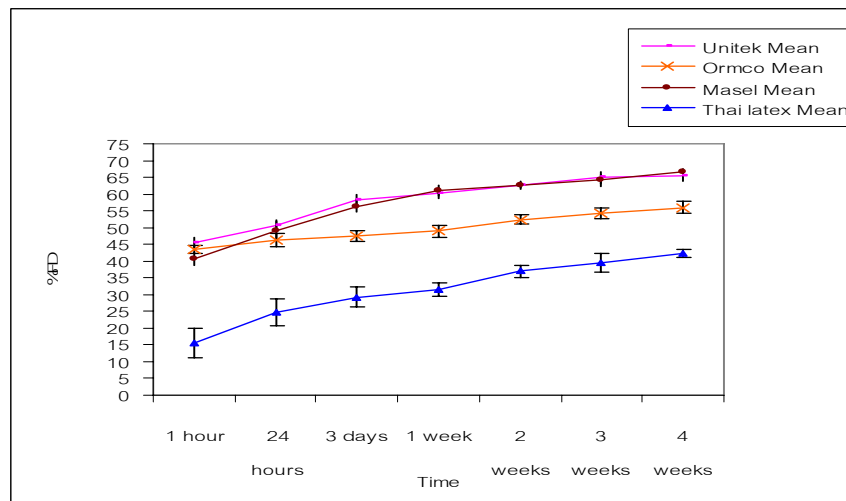
a: at stretched length 20 mm, b: at stretched length 25 mm and c: at stretched length 30 mm



A

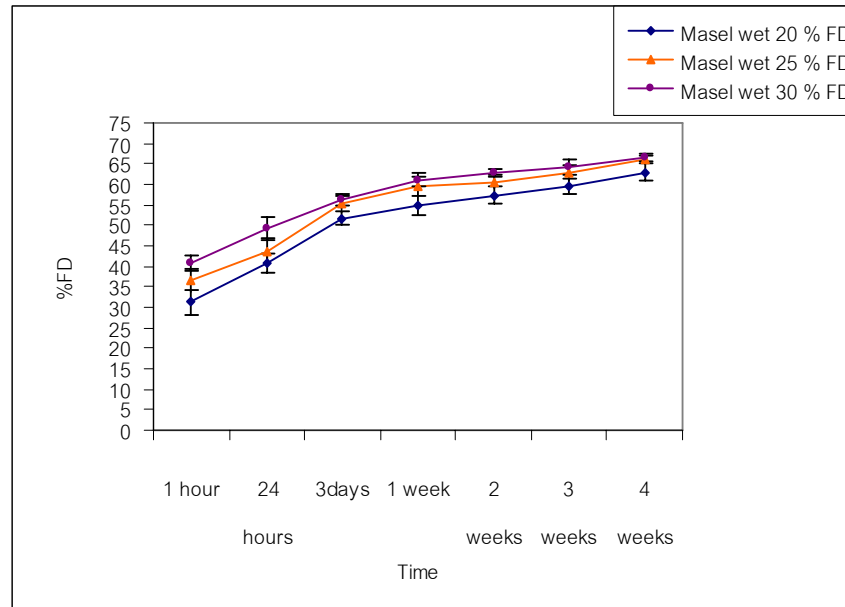


B

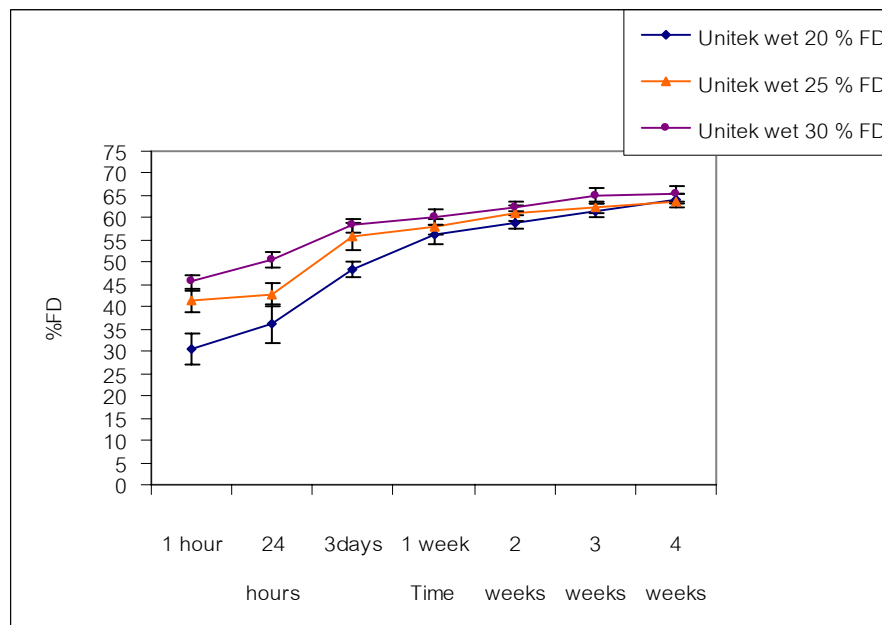


C

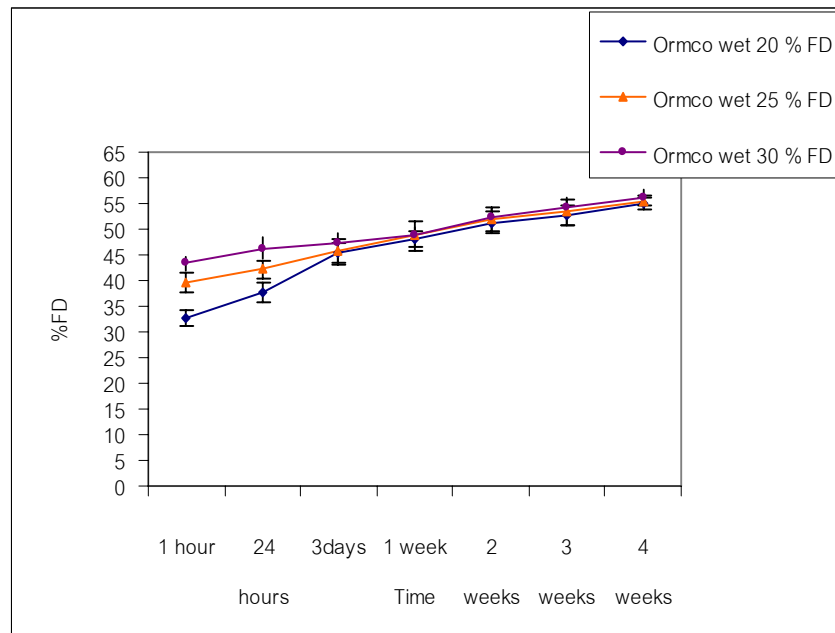
รูปที่ 6. Mean and SD percentages of force degradation of non-latex elastic chains (U, O and M) and Thai latex elastic chain in 37 °c distilled water. A: at stretched length 20 mm, B: at stretched length 25 mm and C: at stretched length 30 mm



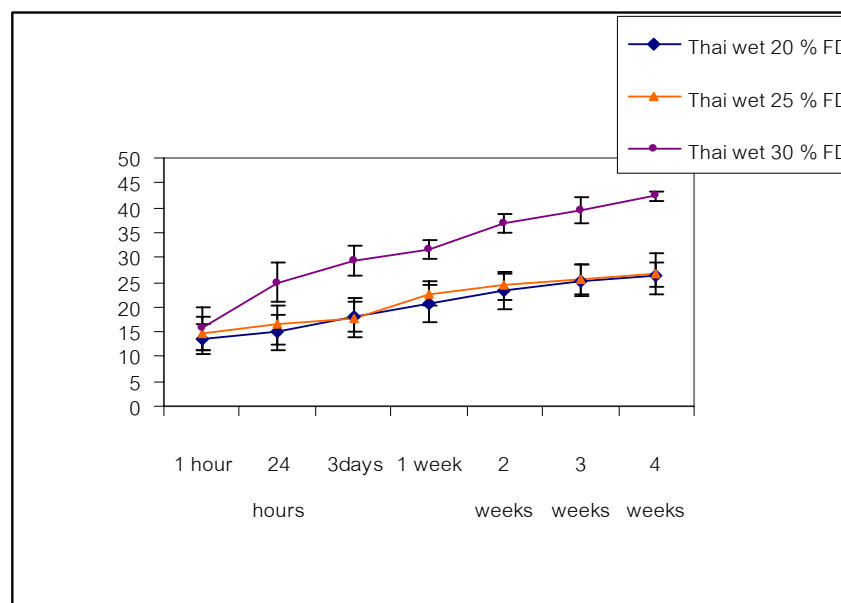
A



B



C



D

รูปที่ 7. Mean and SD the percentages of force degradation of non-latex elastic chains (U, O and M) and Thai latex elastic chain in 37 °c distilled water at every stretched lengths. A: Unitek ® elastomeric chain B: Ormco ® elastomeric chain, C: Masel ® elastomeric chain and D: Thai latex elastic chain

กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำผลจากโครงการไปใช้ประโยชน์

1. นำเสนอผลงานกลุ่มผลิตภัณฑ์ยางในทางตันตกรรม ชื่อโครงการ “ยางคัดฟัน” ในการประชุม การขยายผลวิจัยยางพาราสู่อุตสาหกรรม ระหว่างวันที่ 20-22 เมษายน 2550 ณ สยามพารากอน กรุงเทพฯ
2. เผยแพร่ความรู้ เรื่อง “ยางคัดฟันจากน้ำยางพารา” หนังสือพิมพ์มติชน ฉบับวันที่ 24 เมษายน 2550
3. เผยแพร่ความรู้ เรื่อง “ยางคัดฟันจากยางพารา ” หนังสือพิมพ์ คม ชัด ลึก
www.buddyjob.com/news/technology/show_news-171-8.html

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผนไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการมา	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
1. เพื่อผลิตโซ่ยางดิ่งฟัน และแถบยางดิ่งฟัน ให้มีคุณสมบัติไม่มีความแตกต่างกับที่นำเข้าจากต่างประเทศอย่างมีนัยสำคัญ 2. ศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งฟันที่ผลิตจากยางพาราในประเทศไทยกับโซ่ยางพาราที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ผลิตจากยางสังเคราะห์ และศึกษาเปรียบเทียบแถบยางดิ่งฟันที่ผลิตจากยางพาราในประเทศไทยกับนำเข้าจากต่างประเทศที่ผลิตจากยางธรรมชาติ	1. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของสารเคมีที่ใช้การผลิตน้ำยางคอมปาวด์ และคุณสมบัติการสูญเสียแรงของโซ่ยางดิ่งฟันที่ผลิตจากยางสังเคราะห์และแถบยางดิ่งฟัน	1. ได้ค้นหาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องดังกล่าวย้อนหลัง 10 ปี และได้ทบทวนทั้งหมด และติดตามวรรณกรรมที่ตีพิมพ์ใหม่อย่างต่อเนื่อง	1. ได้เอกสารข้อมูลที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย 2. ได้ชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการผลิตน้ำยางคอมปาวด์ 3. ได้ดัดแปลงอุปกรณ์และเครื่องมือเพื่อเตรียมตัวอย่างขึ้นเอง 4. ได้ปริมาณ และส่วนผสมทั้งหมดของสารเคมีที่มีผลต่อคุณสมบัติ และความหนาของยางที่ผลิตได้ และคุณสมบัติการให้แรง รวมถึงการเข้ากันได้ต่อเนื่องของยางที่ผลิตได้ 5. รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 (รอบ 6 เดือนแรก)
	2. ออกแบบและจ้างทำอุปกรณ์สำหรับการทำวิจัย ได้แก่ เครื่องตัดยางวงขนาดเล็ก เครื่องตัดโซ่ยางดิ่งฟัน แม่แบบในการจุ่มน้ำยางคอมปาวด์	2. ได้ดัดแปลงอุปกรณ์และเครื่องมือเพื่อเตรียมตัวอย่างขึ้นเองเรียบร้อยแล้ว	
	3. เตรียมน้ำยางขึ้น และสารเคมีที่เกี่ยวข้อง	3. เตรียมน้ำยางขึ้นและสารเคมี ได้ตามข้อเสนอ	
	4. ทดสอบคุณสมบัติการให้แรงของยาง	4. ได้ทดสอบคุณสมบัติการให้แรงของยาง และได้ยางที่มีคุณสมบัติตามต้องการ	
	5. ทดสอบความเข้ากันได้ต่อเนื่อง	5. เนื่องจากเป็นยางที่ใช้ในช่องปาก จึงต้องใช้ห้องปฏิบัติการที่ชำนาญทางด้านชีววิทยาช่องปาก ได้ติดต่อนักวิจัย เพื่อทดสอบความเข้ากันได้ต่อเนื่อง ของคณะทันตแพทย ศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และได้ผลปดลอกยต่อเนื่อเอื่อในช่องปาก	
	6. จัดทำรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 (รอบ 6 เดือนแรก)	6. ได้จัดทำรายงาน ครั้งที่ 1 เรียบร้อยแล้ว	
	7. ผลิตตัวอย่างยางจากการจุ่มแบบใช้สารไวความร้อน	7. ผลิตตัวอย่างจากการจุ่มแบบใช้สารไวความร้อน ได้ตามต้องการ	1. ได้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากยางพารา 2. ได้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากยางพาราที่มีความหนาและคุณสมบัติเบื้องต้นตามที่ต้องการ 3. รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 2 (รอบ 12 เดือนแรก)
	8. ปรับส่วนผสมน้ำยางคอมปาวด์ และผลิตตัวอย่างยาง ให้มีความหนาและคุณสมบัติเบื้องต้นตามที่ต้องการ	8. ได้ดำเนินการทดสอบคุณสมบัติ ของ -Elastic band ได้คุณสมบัติใกล้เคียงกับคุณสมบัติที่ต้องการแล้ว -Elastic chain รอไปทดสอบเปรียบเทียบกับ chain จากบริษัทอื่น	
	9. จัดทำรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 2 (รอบ 12 เดือนแรก)	9. ได้จัดทำรายงานครั้งที่ 2 เรียบร้อยแล้ว	

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผนไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการมา	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
	10.ผลิตโซ่ยางคิงฟันและแถบยางคิงฟันจากสูตรยางที่เหมาะสม	10.ได้โซ่ยางคิงฟันและแถบยางคิงฟันจากสูตรยางที่เหมาะสม	1.ได้โซ่ยางคิงฟันและแถบยางคิงฟันที่ผลิตจากยางพารา ที่มีความหนาและคุณสมบัติการให้เหมาะสม 2.ได้โซ่ยางคิงฟันและแถบยางคิงฟันที่ผลิตจากยางพาราที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับตัวอย่างที่นำเข้าจากต่างประเทศ 3.เป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณสมบัติของโซ่ยางคิงฟันและแถบยางคิงฟันที่ผลิตจากยางพารา 4.รายงานฉบับสมบูรณ์
	11.ทดสอบคุณสมบัติการให้แรงของตัวอย่างยางที่ผลิตได้ รวมถึงพิจารณาความหนาของตัวอย่างยางให้ได้ตามที่กำหนด	11.ตัวอย่างมีคุณสมบัติการให้แรงที่เหมาะสม	
	12.เปรียบเทียบการสูญเสียแรงของโซ่ยางคิงฟันที่ผลิตจากยางพารากับที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ผลิตจากยางสังเคราะห์และเปรียบเทียบการสูญเสียแรงของแถบยางคิงฟันที่ผลิตจากยางพารากับที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ผลิตจากยางธรรมชาติ	12.ได้เปรียบเทียบยางที่ผลิตจากยางพารากับยางที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ผลิตจากยางสังเคราะห์ ได้ผลดี ตามรายงาน	
	13.สรุปผลและรายงานผลการวิจัย	13.ได้สรุปผลและรายงานผลการวิจัยเรียบร้อยแล้ว	
	14.จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์	14.ได้จัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว	