บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย เพื่อเปรียบเทียบผลของกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยการอบ การผ่านกระแสไฟฟ้าและการผ่านเปลวไฟในลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันสมบูรณ์แบบ (Ideal Archwire) ซึ่งทำจากลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค เพอร์มาโครม (Permachrome, Unitex Corporation) และนูไบรท์ (Nubryte, G.A.C. International Inc.) ลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียมอัลจิลอยสีฟ้า (Blue Elgiloy, Rocky Mountain/Orthodontics) และเรมอลอยสีฟ้า (Remaloy® blue, Dentaurum) พร้อมทั้งเปรียบเทียบคุณสมบัติของลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค และลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม ภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบเดียวกัน คุณสมบัติของลวดศึกษาจากค่าเฉลี่ยของแรงน้อยที่สุด ซึ่งทำให้ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเปลี่ยนรูปอย่างถาวรในลักษณะการขยายลวด การทดสอบสมมุติฐานความแตกต่างระหว่างกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบต่าง ๆ กระทำโดยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน (One way ANOVA) และ Posthoc Comparison ตามวิธีของ Scheffe ที่ระดับนัยสำคัญ .05 การทดสอบสมมุติฐานความแตกต่างระหว่างคุณสมบัติของลวดโค้งทั้งสองชนิด กระทำโดยสถิติ t-test ที่ระดับนัยสำคัญ .05

<u>ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้คือ</u>

1. กรรมวิธีผ่านความร้อนทั้งสามแบบ ได้แก่ การอบ การผ่านกระแสไฟฟ้า และการผ่านเปลวไฟ ทำให้ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันสามารถทนต่อแรงได้มากกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีผ่านความร้อนด้วยเตาอบ มีค่าเฉลี่ยของแรงสูงสุด ดังตารางที่ 17

2. ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันซึ่งดัดจากลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม ภายหลังทำกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบต่าง ๆ ให้ค่าเฉลี่ยของแรงสูงกว่าลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน ซึ่งดัดจากลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 18

อนึ่ง ผลของกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเตาอบต่อคุณสมบัติเชิงกลของลวดทางทันตกรรมจัดฟัน ซึ่งศึกษาในลวดตรง พบว่าค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น ความเค้นพิสูจน์ที่ออฟเซต 0.1 เปอร์เซ็นต์ และความเค้นแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้นในลวดทั้งสองชนิด

อภิปรายผลการวิจัย

จากสมมุติฐานการวิจัยซึ่งกล่าวว่ามีความแตกต่างระหว่างผลของกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบต่าง ๆ ต่อคุณสมบัติของลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน สามารถแยกพิจารณาได้เป็นสองประการ คือ การเปรียบเทียบผลของกรรมวิธีผ่านความร้อนแต่ละแบบในกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม และการเปรียบเทียบระหว่างผลของกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบต่าง ๆ ได้แก่ การอบ การผ่านกระแสไฟฟ้า และการผ่านเปลวไฟ การศึกษาดังกล่าวกระทำทั้งในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค และลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม เพื่อหาข้อสรุปซึ่งครอบคลุมถึงลวดทั้งสองชนิด

ในการเปรียบเทียบผลของกรรมวิธีผ่านความร้อนแต่ละแบบในกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม พบว่า กรรมวิธีผ่านความร้อนทั้งสามวิธี ได้แก่ การอบ การผ่านกระแสไฟฟ้า และการผ่านเปลวไฟ ทำให้ค่าเฉลี่ยของแรงสูงขึ้น ผลการศึกษาในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค เพอร์มาโครม และนูไบรท์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Howe และคณะ (2), Backofen และ Gales (5) Kemler (6), Mahler และ Goodwin (9), Marcotte (10) Lane และ Nikolai (14), Asgharnia และ Brantley (16) Williams (58), Waters และคณะ (59), Ingram และคณะ (60) และการศึกษาในภาคผนวก ก. ได้ผลตรงกันข้ามกับการศึกษาของ Goldberg และคณะ (53) ความแตกต่างระหว่างผลการศึกษาดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างส่วนประกอบย่อยของลวดที่นำมาศึกษา เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Ingerslev (8) ซึ่งมีวิธีดำเนินการวิจัยคล้ายคลึงกัน การวิจัยนี้ให้ค่าเฉลี่ยของแรงสูงกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องจากสาเหตุหลายประการ ได้แก่ ขนาดและรูปร่างหน้าตัดของลวด ระยะเวลาในการอบ โดย Ingerslev กระทำการทดลองในลวดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.017 นิ้ว อบนาน 7 นาที ในขณะที่การวิจัยนี้กระทำในลวดหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 0.017 x 0.022 นิ้ว อบนาน 1 ชั่วโมง ทำให้ค่าเฉลี่ยของแรงซึ่งทำให้ลวดโค้งเปลี่ยนรูปอย่างถาวรสูงกว่า นอกจากนี้อาจจะเนื่องมาจากสาเหตุอื่น ๆ ได้แก่ ความแตกต่างในส่วนประกอบและกรรมวิธีผลิตของลวด เป็นต้น การศึกษาในลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์และโครเมียม

อัลจิลอยสีฟ้า และเรมอลอยสีฟ้า สอดคล้องกับการศึกษาของ Mahler และ Goodwin (9), Fillmore และ Tomlinson (11), Williams และคณะ (12) Martin และคณะ (15), Asgharnia และ Brantley (16), Ingram และคณะ (60) และการศึกษาในภาคผนวก ก.

กรรมวิธีผ่านความร้อนทุกแบบให้ค่าเฉลี่ยของแรงในกลุ่มทดสอบสูงกว่ากลุ่มควบคุม เนื่องจากสาเหตุสองประการคือ ประการแรก ลวดทางทันตกรรมจัดฟันซึ่งได้รับความแข็งจากการขึ้นรูปเย็นในปริมาณสูง ขณะผ่านกรรมวิธีการผลิต เมื่อนำมาดัดเป็นรูปโค้งตามลักษณะการเรียงตัวของฟันในขากรรไกร จะเกิดความเค้นภายใน โดยมีทิศทางขยายลวด ดังรูปที่ 11 ดังจะสังเกตได้จากลวดโค้งซึ่งไม่ได้ทำกรรมวิธีผ่านความร้อน จะมีการขยายเมื่อเวลาผ่านไป (11, 38) ทำให้รูปร่างของลวดโค้งเปลี่ยนแปลง ส่วนผลต่อการควบคุมลักษณะการเรียงตัวของฟันในขากรรไกร เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันซึ่งมีความเค้นแฝงอยู่ในทิศทางการขยายลวดโค้ง แรงดังกล่าวนี้จะเสริมกับความเค้นภายในที่แฝงอยู่ ทำให้ลวดโค้งเปลี่ยนรูปอย่างถาวรด้วยปริมาณแรงภายนอกที่ต่ำ เมื่อนำลวดโค้งดังกล่าวไปทำกรรมวิธีผ่านความร้อนในระยะฟื้นตัว ความเค้นภายในจะถูกกำจัดออกไปได้บางส่วน (2, 10, 58) ดังนั้นลวดโค้งจึงเปลี่ยนรูปอย่างถาวรด้วยปริมาณแรงจากภายนอกที่สูงขึ้น (5) ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้เกิดขึ้นทั้งในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค และลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม อีกประการหนึ่ง ในลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม เมื่อทำกรรมวิธีผ่านความร้อน ณ อุณหภูมิซึ่งกำหนดโดยบริษัทผู้ผลิต จะเกิดความแข็งโดยการตกผลึก (Precipitation Hardening) (11, 13, 34) ของสารประกอบเชิงโลหะระหว่างธาตุผสม ทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ลวดโค้งสามารถทนต่อแรงจากภายนอกที่มากระทำได้เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงการนำผลการวิจัยนี้ไปเสริมการปฏิบัติงานในคลินิกทันตกรรมจัดฟัน จะเห็นได้ว่าลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันทำหน้าที่ควบคุมตำแหน่งของฟันทุกซี่ในทุกทิศทาง ในระยะหลังของการรักษา เมื่อฟันทุกซี่เรียงตัวถูกต้องแล้ว ลวดโค้งจะทำหน้าที่ควบคุมลักษณะการเรียงตัวนี้ไว้จนเสร็จสิ้นการรักษา ดังนั้นลวดซึ่งนำมาใช้ในระยะนี้จึงควรมีความแข็งแรงสูง สามารถทนทานต่อแรงจากภายนอกที่มากระทำ เช่น แรงจากการบดเคี้ยว แรงจากการใช้ยางระหว่างขากรรไกร (Intermaxillary Elastic Force) แรงจากยางซึ่งใช้ในการปิดช่องว่าง เป็นต้น (3, 4) ลวดซึ่งมักจะใช้ในระยะนี้ได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค หรือ

ลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม ขนาดใหญ่ ใกล้เคียงกับขนาดร่องของแบรกเก็ต การคงรูปของลวดโค้งจึงมีความสำคัญต่อการควบคุมลักษณะการเรียงตัวของฟันในขากรรไกร ถ้าลวดโค้งเปลี่ยนแปลงรูปร่าง จะส่งผลให้การเรียงตัวของฟันเปลี่ยนแปลงไป ทำให้การสบฟันผิดปกติ กรรมวิธีผ่านความร้อนทำให้ลวดโค้งมีการคงรูปดีขึ้น สามารถทนต่อแรงภายนอก ที่มากระทำได้เพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษา นอกจากนี้จากการศึกษาที่ผ่านมา ยังพบว่าในลวดโค้งซึ่งมิได้ทำกรรมวิธีผ่านความร้อน จะขยายอย่างช้า ๆ เนื่องจากความเค้นภายใน กรรมวิธีผ่านความร้อนสามารถลดอัตราการขยายขนาดขณะใช้งานได้ ทำให้ลวดโค้งมีการคงรูปดีขึ้น แต่ควรตรวจสอบขนาดของลวดโค้งภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนอีกครั้งก่อนนำไปใส่ในปาก (14, 38)

กรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเตาอบให้ค่าเฉลี่ยของแรงสูงกว่ากรรมวิธีผ่านความร้อนแบบอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในลวดทั้งสองชนิด การศึกษาในลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม สอดคล้องกับการศึกษาของ Fillmore และ Tomlinson (11) Martin และคณะ (15) การศึกษาในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติคสอดคล้องกับการศึกษาของ Brenner และคณะ (57) และได้ผลตรงกันข้ามกับการศึกษาของ Lane และ Nikolai (14) ซึ่งสรุปได้ว่าผลของกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเตาอบและกระแสไฟฟ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การเปรียบเทียบกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบต่าง ๆ นั้น อาศัยหลักเกณฑ์ 3 ประการ คือ การควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ เวลาในการให้ความร้อนและความสม่ำเสมอตลอดเส้นลวด ในกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเตาอบนั้น ลวดจะได้รับความร้อนคงที่ ณ อุณหภูมิซึ่งกำหนดตลอดเวลาที่ใช้อบ เนื่องจากเตาอบมีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิทำงานร่วมด้วย การที่ลวดจะได้รับความร้อนคงที่หรือไม่ ขึ้นกับขนาดและการนำความร้อนของลวดด้วย (38) ซึ่งในกรณีของการวิจัยนี้ ลวดมีขนาดเล็ก และนำความร้อนได้อย่างรวดเร็ว (9, 21) ลวดจึงมีอุณหภูมิเท่ากับเตาอบตลอดเวลาที่อบ เวลาที่อบลวดนาน 12 นาที ถึง 1 ชั่วโมง ซึ่งมากกว่าการผ่านกระแสไฟฟ้าและเปลวไฟ นอกจากนี้ลวดยังได้รับความร้อนสม่ำเสมอตลอดเส้น เนื่องจากอบอยู่ในเตาซึ่งมีอุณหภูมิสม่ำเสมอ (59)

กรรมวิธีผ่านความร้อนโดยกระแสไฟฟ้าซึ่งกระทำร่วมกับเครื่องเชื่อมด้วยไฟฟ้าและอุปกรณ์ผ่านความร้อน ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ และความร้อนที่ได้รับไม่สม่ำเสมอตลอดเส้นลวด เนื่องจากจะสูญเสียความร้อนตรงขาจับ เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างปลายลวดทั้งสองข้าง จะสูญเสียความร้อนสู่บรรยากาศ และบริเวณที่ลวดหักมุม อาจได้รับความร้อนสูงเกินไป (11, 18, 39, 59) นอกจากนี้เวลาที่ใช้สั้นมาก เป็นวินาที และช่วงเวลาที่ลวดได้รับความร้อนถึงอุณหภูมิที่กำหนดสั้นมาก เนื่องจากจะหยุดให้ความร้อนแก่ลวดทันที เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนด สังเกตโดยเฟลชเพสจะลุกเป็นไฟ

กรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเปลวไฟจากตะเกียงแอลกอฮอล์ซึ่งยังไม่มีผู้ใดทำการวิจัยมาก่อน เป็นวิธีซึ่งไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้เช่นกัน เนื่องจากเปลวไฟมีอุณหภูมิหลายระดับ เขตของเปลวไฟซึ่งให้ความร้อนแก่ลวดโค้ง เป็นเขตที่สองนับจากทางด้านนอกเข้ามา (Interconal Zone) (24, 25) วัดอุณหภูมิได้ 600 องศาเซลเซียส (1100 องศาฟาเรนไฮต์) ซึ่งสูงเกินไปสำหรับกรรมวิธีผ่านความร้อนในระยะฟื้นตัวในลวดทั้งสองชนิด อาจทำให้สูญเสียคุณสมบัติเชิงกล และความต้านทานต่อการสึกกร่อนได้ (47) การลนลวดผ่านเปลวไฟจะต้องกระทำด้วยความชำนาญ เพื่อไม่ให้ลวดได้รับความร้อนสูงจนเกินไป และทำให้ลวดได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอตลอดเส้น เวลาซึ่งใช้สำหรับกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบนี้กระทำร่วมกับการเปลี่ยนสีของลวด เป็นสีหญ้าแห้งเข้ม หรือสีน้ำตาลอ่อน (17, 18) ซึ่งนาน 3-5 นาที ลวดจะได้รับความร้อนเป็นเวลานานกว่าการผ่านกระแสไฟฟ้า

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกรรมวิธีผ่านความร้อนทั้งสามแบบ ตามหลักเกณฑ์ทั้งสามประการที่ได้กำหนดไว้ จะเห็นได้ว่ากรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเตาอบมีประสิทธิภาพสูงกว่าทุกประการ ดังนั้นจึงให้ค่าเฉลี่ยของแรงสูงกว่ากรรมวิธีผ่านความร้อนโดยกระแสไฟฟ้าและเปลวไฟ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยกระแสไฟฟ้าและเปลวไฟ ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค กรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเปลวไฟให้ค่าเฉลี่ยของแรงสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในลวดเพอร์มาโครม และไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในลวดนูไบรท์ ส่วนในลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม กรรมวิธีผ่านความร้อนโดยกระแสไฟฟ้าให้ค่าเฉลี่ยของแรงสูงกว่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในลวดเรมอลอยสีฟ้า และไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในลวดอัลจิลอยสีฟ้า เมื่อเปรียบเทียบธรรมชาติของกรรมวิธีผ่านความร้อนทั้งสองแบบ จะเห็นได้ว่ามีความคงที่ของอุณหภูมิและความสม่ำเสมอน้อย แต่ในกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเปลวไฟ ลวดได้รับ

ความร้อนเป็นเวลานานกว่า จึงมีแนวโน้มที่จะให้ค่าเฉลี่ยของแรงที่สูงกว่า ดังในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค ในลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม มีแนวโน้มที่กรรมวิธีผ่านความร้อนโดยกระแสไฟฟ้าจะให้ค่าเฉลี่ยของแรงสูงกว่า เนื่องจากเฟลชเพสซึ่งใช้กับลวดชนิดนี้ จะลุกเป็นไฟที่อุณหภูมิ 950 องศาฟาเรนไฮต์ (510 องศาเซลเซียส) ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม 50 องศาฟาเรนไฮต์ (30 องศาเซลเซียส) เนื่องจากการศึกษาของ Fillmore และ Tomlinson (11) Brenner และคณะ (57) พบว่า กรรมวิธีผ่านความร้อนโดยกระแสไฟฟ้าจะได้ผลเทียบเท่ากับกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเตาอบที่อุณหภูมิต่ำกว่า ต่างจากในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค ซึ่งเฟลชเพสจะลุกเป็นไฟที่อุณหภูมิ 750 องศาฟาเรนไฮต์ (400 องศาเซลเซียส) ซึ่งเท่ากับอุณหภูมิที่เหมาะสม ดังนั้นค่าเฉลี่ยของแรงในกลุ่มตัวอย่างโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม ซึ่งทำกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยกระแสไฟฟ้าจึงมีค่าค่อนข้างสูง ทำให้มีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยของแรงสูงกว่ากลุ่มตัวอย่าง ซึ่งทำกรรมวิธีผ่านความร้อนด้วยเปลวไฟ

การวิจัยในส่วนนี้กระทำเพื่อหาคำตอบว่า กรรมวิธีผ่านความร้อนโดยวิธีใดมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานในคลินิกทันตกรรมจัดฟัน ถึงแม้ว่ากรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเตาอบจะให้ค่าเฉลี่ยของแรงสูงสุด แต่ก็จำเป็นต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในการปฏิบัติงาน เนื่องจากเตาอบซึ่งใช้ในคลินิกทันตกรรมทั่วไปให้อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 480 องศาฟาเรนไฮต์ (250 องศาเซลเซียส) ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิสำหรับการอบลวด ซึ่งเท่ากับ 750-932 องศาฟาเรนไฮต์ (400-500 องศาเซลเซียส) จะเห็นได้ว่าเตาอบซึ่งมีอุณหภูมิเหมาะสมสำหรับการอบลวดเป็นอุปกรณ์ซึ่งหาได้ยากในคลินิกทันตกรรมจัดฟันทั่วไป นอกจากนี้จะต้องเสียเวลาอุ่นเตาอบจนกระทั่งได้อุณหภูมิที่ต้องการ อีกทั้งเวลาสำหรับการอบลวดนาน 12 นาที ถึง 1 ชั่วโมง ซึ่งนานกว่ากรรมวิธีผ่านความร้อน โดยเปลวไฟและกระแสไฟฟ้า ดังนั้นในการปฏิบัติงานในคลินิกทันตกรรมจัดฟันซึ่งมีอุปกรณ์และเวลาจำกัด จำเป็นต้องพิจารณาถึงกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบอื่น ๆ ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยของแรงรองลงมา แต่สะดวกต่อการปฏิบัติงานมากกว่า จากผลของการวิจัยแสดงให้เห็นว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค เพอร์มาไครม เหมาะสมสำหรับกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเปลวไฟ และลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม เรมอลอยสีฟ้า เหมาะสำหรับกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยกระแสไฟฟ้า เนื่องจากให้ค่าเฉลี่ยของแรงสูงกว่า

ในการเปรียบเทียบความแปรปรวนระหว่างกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งทำกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบต่าง ๆ พบว่า กลุ่มตัวอย่างลวดซึ่งทำกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเตาอบ มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนต่ำที่สุด กลุ่มตัวอย่างลวดซึ่งทำกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยกระแสไฟฟ้ามีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนสูงกว่า และกลุ่มตัวอย่างซึ่งทำกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเปลวไฟมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนสูงสุด สอดคล้องกันในลวดทุกบริษัท ยกเว้นลวดเพอร์มาโครม เนื่องจากในกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเตาอบ ลวดทุกเส้นจะถูกอบพร้อมกัน ได้รับอุณหภูมิ เวลา และความสม่ำเสมอเท่ากัน จึงมีความแปรปรวนต่ำที่สุด ในกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยกระแสไฟฟ้าและเปลวไฟ กระทำในลวดทีละเส้น และกรรมวิธีดังกล่าว ลวดได้รับความร้อนไม่คงที่ และมีความสม่ำเสมอน้อย จึงทำให้เกิดความแปรปรวนได้มากกว่า แต่อย่างไรก็ตามในกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยกระแสไฟฟ้า ใช้เฟลชเพสเป็นตัวบ่งชี้ (Indicator) ซึ่งแม่นยำ (Precision) มากกว่าในกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเปลวไฟ ซึ่งใช้การสังเกตสีของผิวลวดเป็นตัวบ่งชี้ (Indicator) ดังนั้นกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยกระแสไฟฟ้าจึงมีความแปรปรวนต่ำกว่า

ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มในการวิจัยนี้มีค่าสูง เนื่องจากความแปรปรวนดังกล่าวเป็นผลรวมของความแปรปรวนซึ่งเกิดจากหลายสาเหตุร่วมกัน ความแปรปรวนของกลุ่มควบคุมเป็นผลรวมของความแปรปรวน เนื่องจากความแตกต่างของลวดซึ่งผลิตจากโรงงานในคราวเดียวกัน (28) ความแปรปรวนเนื่องจากการดัดลวด และความแปรปรวนเนื่องจากการทดสอบ ความแปรปรวนของกลุ่มทดลอง เป็นผลงานของความแปรปรวนดังกล่าวข้างต้น รวมกับความแปรปรวนเนื่องจากกรรมวิธีผ่านความร้อน โดยไม่สามารถแยกได้ว่าความแปรปรวนเกิดขึ้นในส่วนใดมากหรือน้อยต่างกันเท่าใด

จากสมมุติฐานซึ่งกล่าวว่ามีความแตกต่างระหว่างคุณสมบัติของลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน ซึ่งทำจากลวดต่างชนิดกัน ภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบเดียวกัน พบว่ากลุ่มตัวอย่างลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันซึ่งดัดจากลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม มีค่าเฉลี่ยของแรงสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างลวดโค้ง ซึ่งดัดจากลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค โดยให้ผลสอดคล้องกันในกรรมวิธีผ่านความร้อนทุกวิธี ได้แก่ การอบ การผ่านกระแสไฟฟ้า และการผ่านเปลวไฟ ผลที่ได้นี้ตรงกันข้ามกับการศึกษาของ Mahler และ Goodwin (9), Fillmore และ Tomlinson (13) ซึ่งได้ผลว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมมีคุณสมบัติดีกว่าลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม

สาเหตุที่ลวดโค้งซึ่งดัดจากลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม ให้ค่าเฉลี่ยของแรงสูงกว่า เนื่องจากกรรมวิธีผ่านความร้อนในลวดชนิดนี้ทำให้เกิดการชุบแข็งโดยการตกผลึก นอกเหนือไปจากการลดความเค้นภายใน ซึ่งเกิดขึ้นภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนในลวดโค้งทั้งสองชนิด (5, 11) การชุบแข็งโดยการตกผลึกจะทำให้เกิดผลึกของสารประกอบเชิงโลหะ (Intermetallic Compound) ของนิเกิล โมลิบดินัม (Ni_3 Mo) ในลวดอัลจิลอยสีฟ้า และนิเกิลโมลิบดินัม (Ni_3 Mo) นิเกิลติตาเนียม (Ni_3 Ti) ในลวดเรมอลอยสีฟ้า (61) กระจายอยู่ในโครงสร้างพื้นฐาน (Matrix) ทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ลวดโค้งสามารถทนต่อแรงจากภายนอกได้เพิ่มขึ้น ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติคไม่นิยมเพิ่มความแข็งโดยวิธีนี้ เนื่องจากได้ความเค้นแรงดึงไม่สูงนัก โดยเฉพาะในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งมีปริมาณของคาร์บอนน้อย ถ้าเพิ่มปริมาณของคาร์บอนให้สูงขึ้น เพื่อทำให้เกิดผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ พบว่าที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส (1300 องศาฟาเรนไฮต์) ซึ่งเหมาะสมในการชุบแข็ง โดยกจรตกผลึก สำหรับลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค จะเกิดการตกผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ตามขอบเกรนด้วย ทำให้ความต้านทานต่อการสึกกร่อนลดลง (41)

เมื่อจำแนกค่าแรงตามชนิดของลวดโดยไม่คำนึงถึงบริษัทผู้ผลิต เป็นลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค และลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม จะเห็นได้ว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ของลวดโลหะผสม ระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม สูงกว่าในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค ในกรรมวิธีผ่านความร้อนทุกวิธี กรรมวิธีผ่านความร้อนซึ่งให้ค่าเฉลี่ยของแรงสูง จะมีความแปรปรวนสูงด้วย สาเหตุเกิดเนื่องจากในกลุ่มตัวอย่างลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม ประกอบด้วย กลุ่มตัวอย่างสองกลุ่ม ตามบริษัทผู้ผลิต ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของแรงแตกต่างกันมาก ในลวดเรมอลอยสีฟ้ามีติตาเนียมเป็นองค์ประกอบ 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีในลวดอัลจิลอยสีฟ้า ภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนที่เหมาะสม ติตาเนียมจะรวมตัวกับนิเกิล เป็นสารประกอบระหว่างโลหะ (Intermetallic Compound) ซึ่งมีสูตรเป็น Ni_3 Ti และการตกผลึกของสารประกอบดังกล่าวนี้จะเพิ่มความแข็งแรงให้กับลวด (61) ทำให้ค่าเฉลี่ยของแรงในกลุ่มตัวอย่างลวดเรมอลอยสีฟ้าสูงกว่า อีกประการหนึ่ง ในกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเตาอบซึ่งมีความแปรปรวนของข้อมูลสูงสุด เวลาซึ่งใช้อบลวดทั้งสองบริษัทแตกต่างกันมาก กล่าวคือ ในลวดเรมอลอยสีฟ้าใช้เวลานานถึง 1 ชั่วโมง ในขณะที่ลวดอัลจิลอยสีฟ้าใช้เวลาเพียง 12 นาที ดังนั้นเวลาจึงอาจจะ

เป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งทำให้เกิดความแตกต่างดังกล่าว นอกจากนี้ความแตกต่างดังกล่าวอาจจะเกิดเนื่องจากส่วนประกอบและกรรมวิธีการผลิตของแต่ละบริษัทซึ่งเปิดเผยไม่ได้ เนื่องจากเหตุผลทางการค้า

ผลการวิจัยในส่วนนี้แสดงให้เห็นว่า ภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนที่เหมาะสม ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันซึ่งดัดจากโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม มีการคงรูป (Dimensional Stability) ดีกว่าลวดโค้ง ซึ่งดัดจากลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค จึงเหมาะสมในการนำมาใช้ปฏิบัติงานในคลินิก โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการความแข็งแรงของลวดโค้งมาก ๆ เช่น ในระยะสุดท้ายของการรักษา การใช้ยางคล้องระหว่างขากรรไกรบนและล่าง (Intermaxillary Traction) และการลดความสัมพันธ์ในแนวดิ่งของฟันหน้า (Overbite Reduction) เป็นต้น นอกจากนี้ก่อนทำกรรมวิธีผ่านความร้อน ลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม อัลจิลอยสีฟ้า และเรมอลอยสีฟ้า ดัดง่ายกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค จึงสะดวกในการปฏิบัติงาน

ในลวดตรง ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น ความเค้นพิสูจน์ที่ออฟเซต 0.1 เปอร์เซ็นต์ และความเค้นแรงดึงสูงสุด เพิ่มขึ้นภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม สอดคล้องกับการศึกษาของ Howe และคณะ (2) Backofen และ Gales (5) Asgharnia และ Brantley (16) และตรงกันข้ามกับการศึกษาของ Goldberg และคณะ (53) ในส่วนของค่าความเค้นพิสูจน์และความเค้นแรงดึงสูงสุด โดยอัตราการเพิ่มในลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม จะสูงกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค ค่าคุณสมบัติเชิงกลที่เพิ่มขึ้นในลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม เนื่องจากกรรมวิธีผ่านความร้อนที่อุณหภูมิดังกล่าว ทำให้เกิดการชุบแข็งโดยการตกผลึกของสารประกอบเชิงโลหะระหว่างธาตุผสม เช่นเดียวกับในลวดโค้ง ส่วนในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค ค่าคุณสมบัติเชิงกลที่เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากธาตุบางตัว ซึ่งบริษัทผู้ผลิตมิได้เปิดเผยหรือธาตุซึ่งปะปนอยู่ โดยไม่สามารถกำจัดออกไประหว่างกรรมวิธีการผลิต เช่น โบรอน ติตาเนียม เวเนเดียม เป็นต้น ธาตุดังกล่าวนี้จะรวมตัวกับธาตุอื่น ๆ เกิดการตกผลึกของสารประกอบเชิงโลหะเช่นเดียวกัน ค่าคุณสมบัติเชิงกลที่เพิ่มขึ้นนี้มีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่นั้นไม่สามารถสรุปได้จากการศึกษานี้ เนื่องจากจำนวนตัวอย่างน้อยเกินไป

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่นและความเค้นพิสูจน์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่าโมดูลัสริชิเลียนซ์ ตามสูตร $R = \frac{(PS)^2}{2E}$ (รายละเอียดในภาคผนวก ข.) จะเห็นได้ว่าค่าความเค้นพิสูจน์ที่เพิ่มขึ้นจะมีอิทธิพลต่อค่าโมดูลัสริชิเลียนซ์มากกว่าค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น จึงทำให้ค่าโมดูลัสริชิเลียนซ์เพิ่มขึ้น โดยจะเพิ่มขึ้นสูงกว่าในลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการวิจัยในลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันกับลวดตรง ถึงแม้ว่าดัชนีที่ใช้ในการวิเคราะห์จะแตกต่างกัน ในลวดโค้งค่าเฉลี่ยของแรงเพิ่มขึ้นหลายเท่า ในขณะที่ในลวดตรงคุณสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากในลวดโค้งมีความเค้นภายในที่เกิดขึ้นจากการดัด ซึ่งไม่ปรากฏในลวดตรง การเปรียบเทียบระหว่างลวดทั้งสองลักษณะนี้ แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นของการศึกษากรรมวิธีผ่านความร้อนในลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในด้านการประยุกต์ใช้งานในคลินิกทันตกรรมจัดฟัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าความเค้นพิสูจน์และความเค้นแรงดึงสูงสุด ซึ่งเพิ่มขึ้นภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อน จะเห็นได้ว่าความเค้นพิสูจน์มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าความเค้นแรงดึงสูงสุด ในลวดทุกบริษัท ยกเว้นลวดเพอร์มาโครม ดังนั้นช่วงความแตกต่างระหว่างความเค้นทั้งสองจึงแคบลงภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อน การปรับรูปร่างลวดภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนควรกระทำด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากการดัดลวดจะต้องใช้แรงซึ่งสูงเกินความเค้นพิสูจน์ แต่ต้องต่ำกว่าความเค้นแรงดึงสูงสุด ซึ่งจะทำให้ลวดหักแรงซึ่งมากเกินไปเพียงเล็กน้อย อาจทำให้ลวดหักได้ ในทางคลินิกมักจะเห็นว่าลวดเปราะขึ้นภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อน แม้ว่าค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดจะมีค่าเพิ่มขึ้นก็ตาม เพราะกรรมวิธีผ่านความร้อน ทำให้ช่วงความแตกต่างระหว่างความเค้นทั้งสองแคบลง

ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่นซึ่งคำนวณได้จากการวิจัยนี้ ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค เท่ากับ 8.2634 - 9.8323 x 10^4 MPa และในลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม เท่ากับ 8.3835 - 11.3424 x 10^4 MPa ซึ่งน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากการศึกษาของ Howe และคณะ (2), Asgharnia และ Brantley (16), Drake และคณะ (46) Goldberg และคณะ (53) Yoshikawa และคณะ (62) ซึ่งสรุปค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค เท่ากับ 12.838 - 25.6 x 10^4 MPa

และในลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม เท่ากับ 14.6842 - 20.4062 x 10^4 MPa ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่นของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค ซึ่งเป็นที่ยอมรับในทางวิศวกรรมคือ 20 x 10^4 MPa (62) สาเหตุซึ่งทำให้ค่าที่ได้จากการวิจัยนี้น้อยกว่าค่าที่ได้จากการศึกษาอื่น ๆ เนื่องมาจากสาเหตุสองประการคือ ประการแรก การทดสอบแรงดึงของลวดโดยเครื่อง UNIVERSAL TESTING DSS-10T นั้น มิได้กระทำร่วมกับเอกเทนโซมิเตอร์ (Extensometer) เนื่องจากมีปัญหาเกี่ยวกับขนาดของลวดไม่เหมาะสมกับเอกเทนโซมิเตอร์ที่มีอยู่ ทำให้ลวดลื่นหลุด ดังนั้นค่า ΔL, L ที่วัดได้จึงคลาดเคลื่อน ส่งผลต่อค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น ประการที่สองคือ ลวดทางทันตกรรมจัดฟันซึ่งผ่านการขึ้นรูปเย็นในปริมาณที่สูงขณะผ่านกรรมวิธีการผลิต ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่นจึงลดลง (16, 52, 62, 63)

ค่าความเค้นพิสูจน์ซึ่งคำนวณได้จากการวิจัยนี้ ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค เท่ากับ 1.7367 - 2.0084 x 10^3 MPa และในลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม เท่ากับ 1.3403 - 1.8805 x 10^3 MPa ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Howe และคณะ (2) Asgharnia และ Brantley (16) Drake และคณะ (46) Goldberg และคณะ (53) ซึ่งได้ค่าความเค้นพิสูจน์ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค เท่ากับ 0.9652 - 2.0900 x 10^3 MPa และในลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม เท่ากับ 0.8273 - 1.2409 x 10^3 MPa ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด ซึ่งคำนวณได้จากการวิจัยนี้ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค มีค่าเท่ากับ 2.0872 - 2.3691 x 10^3 MPa และในลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม เท่ากับ 1.6363 - 2.2903 x 10^3 MPa สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา (2, 16, 46, 53) ซึ่งได้ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค เท่ากับ 1.8586 - 2.3509 x 10^3 MPa

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง ส่วนใหญ่มีค่าไม่สูงนัก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าดังกล่าวในกลุ่มตัวอย่างลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน เนื่องจากลวดในกลุ่มตัวอย่างผลิตในคราวเดียวกัน ลวดดังกล่าวไม่ได้ผ่านการดัด ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่ง ซึ่งทำให้ความแปรปรวนของข้อมูลสูงขึ้น นอกจากนี้การทดสอบแรงดึงของลวดโดยเครื่องมือ UNIVERSAL TESTING DSS-10T นั้น เกิดความคลาดเคลื่อนได้น้อยกว่า การวัดค่าแรงน้อยที่สุด ซึ่งทำให้ลวดโค้งเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรโดยใช้เครื่องมือซึ่งประดิษฐ์ขึ้นมา และใช้สายตาเป็นเกณฑ์ตัดสิน ดังนั้นในลวดตรง ความแปรปรวน

ของข้อมูลในกลุ่มควบคุมจะเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของลวดซึ่งผลิตในคราวเดียวกัน และความแปรปรวนซึ่งเกิดขึ้นขณะทดสอบแรงดึง ความแปรปรวนของข้อมูลในกลุ่มทดลองเกิดขึ้นเช่นเดียวกับในกลุ่มควบคุมร่วมกับความแปรปรวนซึ่งเกิดขึ้นระหว่างกรรมวิธีผ่านความร้อน

เมื่อเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ของค่าคุณสมบัติเชิงกล ซึ่งนำมาวิเคราะห์ทั้งสองค่า ได้แก่ โมดูลัสของการยืดหยุ่น ความเค้นพิสูจน์ และความเค้นแรงดึงสูงสุด พบว่า ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่นมีความแปรปรวนมากที่สุด เนื่องจากสาเหตุเดียวกัน ซึ่งทำให้ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่นต่ำกว่าค่าซึ่งคำนวณได้จากการศึกษาอื่น ๆ กล่าวคือ การทดสอบแรงดึงมิได้กระทำร่วมกับเอกเทนโซมิเตอร์ จึงทำให้ค่า ΔL, L คลาดเคลื่อน และมีความแปรปรวนสูง ทำให้ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่นมีความแปรปรวนสูงตามไปด้วย

จากการสังเกตตำแหน่งที่ลวดขาดเนื่องจากแรงดึง พบว่า ขาดตรงขาจับ ในอัตราที่สูง ตรงกับการศึกษาของ Goldberg และคณะ (53, 64) เนื่องจากลวดซึ่งนำมาทดสอบมีขนาดเล็ก ไม่เหมาะสมกับขาจับของเครื่องมือทดสอบ ซึ่งมีแรงกดสูง และผิวสัมผัสหยาบ ผู้วิจัยได้พยายามลดแรงกดที่กระทำต่อลวดตัวอย่างตรงบริเวณขาจับ ดังวิธีการเตรียมตัวอย่างซึ่งกล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งสามารถลดอัตราการขาดที่ขาจับได้ ทำให้ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดซึ่งคำนวณได้มีค่าสูงขึ้น

<u>ข้อเสนอแนะ</u>

1. ผลการวิจัยนี้สรุปได้ว่า กรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเตาอบให้ค่าเฉลี่ยของแรงสูงสุด แต่กรรมวิธีผ่านความร้อนแบบอื่น ๆ ได้แก่ กรรมวิธีผ่านความร้อนโดยกระแสไฟฟ้าและเปลวไฟ ก็ให้ค่าเฉลี่ยของแรงสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน ดังนั้นควรจะพิจารณาค่าเฉลี่ยของแรงที่ได้จากกรรมวิธีผ่านความร้อนทั้งสามวิธี ว่าเพียงพอสำหรับการควบคุมรูปร่างของขากรรไกรหรือไม่ แนวทางการศึกษาดังกล่าวอาจจะกระทำโดยการนำลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน ซึ่งทำกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบต่าง ๆ ไปใช้กับผู้ป่วยที่มาทำการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน และวิเคราะห์การเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ภายหลังการใช้งานระยะหนึ่ง เป็นการศึกษาโดยตรงในคลินิก ในกรณีซึ่งกรรมวิธีผ่านความร้อน ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยของแรงรองลงมาจากกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเตาอบ สามารถควบคุมรูปร่างของขากรรไกร

ได้อย่างเพียงพอแล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องทำกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเตาอบเพียงวิธีเดียว เนื่องจากเป็นกรรมวิธีซึ่งจัดหาอุปกรณ์ให้ความร้อนได้ยากกว่า และใช้เวลานานกว่ากรรมวิธีผ่านความร้อนแบบอื่น ๆ ดังนั้นควรพิจารณาทำกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยกระแสไฟฟ้าและเปลวไฟ ซึ่งสามารถจัดหาอุปกรณ์ให้ความร้อนได้ง่ายกว่า และสะดวกในทางปฏิบัติมากกว่าร่วมด้วย การศึกษาตามแนวทางที่เสนอแนะนี้ จะเป็นประโยชน์ในด้านการนำผลการวิจัยนี้ไปประยุกต์กับงานในคลินิกทันตกรรมจัดฟัน

2. การทดสอบลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน ในการวิจัยนี้กระทำเฉพาะในระนาบของการดัดลวดระดับที่หนึ่ง (First Order Bend) แต่ความเค้นที่เกิดขึ้นในระนาบนี้อาจมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของลวดในระนาบของการดัดลวดระดับที่สองและสาม (Second and Third Order Bend) ได้ การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลในทิศทางดังกล่าวควรกระทำโดยตรงในคลินิก

3. ควรศึกษากรรมวิธีผ่านความร้อนที่เหมาะสมในลวดลักษณะอื่น ๆ Utility Archwire, ลูปปิดและลูปเปิด (Closing loop, Open loop) เป็นต้น ซึ่งอาจจะได้ผลแตกต่างจากการศึกษาในลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน

4. ควรศึกษาผลของกรรมวิธีผ่านความร้อนต่อคุณสมบัติ ความต้านทานต่อการสึกกร่อน การบัดกรี และการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้า เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์เกี่ยวกับผลของกรรมวิธีผ่านความร้อนในแง่มุมต่าง ๆ ทางทันตกรรมจัดฟัน

5. การศึกษาส่วนประกอบและโครงสร้างของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค หมายเลข 304 ซึ่งนำมาทำลวดทางทันตกรรมจัดฟัน พบว่า เหมือนกับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค ในทางอุตสาหกรรมทั่วไป แตกต่างที่ปริมาณการขึ้นรูปเย็น ขณะผ่านกรรมวิธีการผลิต (Wire Drawing) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะผลิตลวดดังกล่าวขึ้นใช้ภายในประเทศต่อไป โดยเฉพาะในลวดหน้าตัดกลม ซึ่งเทคนิคการผลิตยุ่งยากน้อยกว่าลวดหน้าตัดสี่เหลี่ยม ส่วนในลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม ยังมีข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของโลหะผสมชนิดนี้น้อย รวมทั้งยังไม่มีการผลิตเป็นอุตสาหกรรม จึงจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมต่อไป