บทที่ 4

วิจารณ์ผล

วิจารณ์ผลการศึกษาถึงการใส่เส้นใยต่อสมบัติของเรซินอะคริลิกในด้านต่อไปนี้

ตอนที่ 4.1 ผลของปริมาณเส้นใยไหมร้อยละ 1 ถึง 4 โดยน้ำหนัก ที่มีต่อสมบัติของเรซินอะคริลิก

4.1.1 ความแข็งแรงดัดและลักษณะการแตกหัก

4.1.2 ความทนทานต่อการกระแทกและการแตกหัก

ตอนที่ 4.2 ผลของการปรับสภาพเส้นใยไหมด้วยสารไซเลนที่มีต่อสมบัติของเรซินอะคริลิกที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไหมร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

4.2.1 ความแข็งแรงดัดและลักษณะการแตกหัก

4.2.2 ความทนทานต่อการกระแทกและการแตกหัก

ตอนที่ 4.3 ผลของปริมาณเส้นใยไหมร้อยละ 1 ลักษณะที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงมิติของเรซิน อะคริลิก

ตอนที่ 4.1 ผลของปริมาณเส้นใยไหมร้อยละ 1 ถึง 4 โดยน้ำหนัก ที่มีต่อสมบัติของเรซินอะคริลิก

จากผลจากการศึกษาต่างๆที่พบว่าการใช้เส้นใยชนิดอื่นในลักษณะเส้นยาวนี้จะปรับปรุงสมบัติทางกลแก่เรซินอะคริลิกมากกว่าเส้นใยรูปแบบอื่น[27,29,31] เส้นใยไหมที่ใช้ในการศึกษานี้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 มิลลิเมตร และมีความยาวที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงดัดเท่ากับ 65 มิลลิเมตร มีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 433 ความยาวที่ใช้ในการทดสอบความทนทานต่อการกระแทกเท่ากับ 5 นิ้ว มีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 847 ซึ่งอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าสูง จึงมีพื้นที่ในการรับแรงมาก การศึกษานี้จึงใช้เส้นใยไหมรูปแบบเส้นยาวและวางตามยาวของชิ้นทดสอบ โดยมีทิศทางตั้งฉากกับแรงที่มากระทำ และได้กำหนดตำแหน่งของเส้นใยไหมอยู่กึ่งกลางตามแนวยาวของชิ้น เพื่อป้องกันการกระจายตัวออกมานอกเรซินอะคริลิกขณะทำการอัดชิ้นทดสอบ ซึ่งตำแหน่งการวางเส้นใยที่ต่างกันจะให้ผลต่างกัน โดยมีการศึกษาของ Narva และคณะ[54] พบว่า การใช้เส้นใยชนิดต่างๆ ได้แก่ เส้นใย UHMWP รูปแบบสานเป็นแผ่น เส้นใยแก้วชนิด S และ ชนิด E รูปแบบเส้นยาว เสริมแรงเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยตัวเอง โดยวางเส้นใยในด้านที่มีความเค้นดัด (tension side) และด้านที่มีความเค้นอัด (compression side) แล้วเปรียบเทียบความแข็งแรงดัด พบว่าการวางเส้นใยในด้านที่มีความเค้นดัด จะมีค่าความแข็งแรงดัดมากกว่าการวางเส้นใยในด้านที่มีความเค้นอัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใช้เส้นใยไหมเสริมแรงเรซินอะครลิกนี้ยังไม่เคยมีผู้ใดทำการศึกษามาก่อน ดังนั้นการศึกษานี้จึงเลือกวางเส้นใยในตำแหน่งกึ่งกลางเพื่อป้องกันการล้นของเส้นใยออกมาขณะอัด และควรมีการศึกษาการวางเส้นใยในตำแหน่งที่ต่างกันต่อไป และการศึกษานี้มีการขึงเส้นใยให้ตึง เพื่อที่จะแผ่และยืดเส้นใยให้มีลักษณะเป็นเส้นยาวและเรียงตัวขนานกัน และได้มีการคัดชิ้นทดสอบที่มีเส้นใยที่ไม่อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมออก เช่น ไม่เรียงตัวอยู่ตรงกึ่งกลาง มีการกระจายตัวออกด้านข้าง หรือถูกตัดขาดบางส่วนจากการทำรอยบาก เพื่อควบคุมชิ้นทดสอบให้มีทั้งขนาด การเรียงตัวของเส้นใย และปริมาณของเส้นใยให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด

ในการเสริมแรงเรซินอะคริลิกได้มีการควบคุมปริมาณเส้นใยที่เหมาะสม โดยเลือกใช้เส้นใยไหมร้อยละ 1 ถึง 4 โดยน้ำหนัก เนื่องจากผลการศึกษาเบื้องต้น (pilot study) พบว่าปริมาณเส้นใยที่น้อยกว่าร้อยละ 1 ไม่ทำให้ค่าความแข็งแรงดัดและความทนทานต่อการกระแทกเพิ่มขึ้น และการใส่เส้นใยไหมที่มากกว่าร้อยละ 4 มีปริมาณไหมมากเกินไป ทำให้เส้นใยมีโอกาสกระจายตัวออกมาทางด้านข้างและล้นออกมานอกชิ้นทดสอบขณะที่อัดความดัน

4.1.1 ความแข็งแรงดัด

การศึกษานี้ได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกในกลุ่มที่ไม่ใส่เส้นใยไหมเท่า กับ 79.4 เมกกะปาสคัล ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาอื่นที่มีค่าความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิก เท่ากับ 75.9 เมกกะปาสคัล[3] และเมื่อเติมเส้นใยไหมปริมาณร้อยละ 1 ถึง 2 โดยน้ำหนัก พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 90.8 และ 92.37 เมกกะปาสคัล ตาม ลำดับ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ไม่มาก โดยเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 16 เนื่องจากการวางเส้นใยรูปแบบเส้นยาวนั้น ความแข็งแรงของวัสดุผสมจะสูงในทิศทางตามยาวของเส้นใย แต่ความแข็งแรงของวัสดุผสม จะต่ำในแนวที่ตั้งฉากกับแรงที่มากระทำ (anisotropic property) การทดสอบค่าความแข็งแรงดัด จะมีทิศทางของแรงที่ตั้งฉากกับเส้นใย ซึ่งมีลักษณะเดียวกันกับแรงที่เกิดจากการใช้งานฟันปลอม

ในการศึกษานี้พบว่าหากใช้เส้นใยไหมที่มากกว่าร้อยละ 2 ค่าความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกจะลดลงจากเดิมถึงร้อยละ 50 (จาก 79.4 เป็น 35.3 เมกกะปาสคัล) ซึ่งอาจเกิดจากการที่มีปริมาณของเส้นใยมากเกินไป ทำให้ความหนาของเนื้อหลักลดลง และจะมีช่องว่างระหว่างเส้นใยกับเนื้อหลัก ซึ่งการมีช่องว่างระหว่างเส้นใยไหมและเรซินอะคริลิกทำให้ไม่มีการยึดติดระหว่างเส้นใยไหมและเรซินอะคริลิก จึงเกิดความเค้นที่บริเวณนี้มากกลายเป็นจุดเริ่มต้นของรอยร้าว[55] อาจกล่าวได้ว่าปริมาณเส้นใยไหมที่มากกว่าร้อยละ 2 เป็นจุดวิกฤต หรือจุดเปลี่ยนที่ทำ ให้เรซินอะคริลิกมีความแข็งแรงดัดลดลง นอกจากนี้การทดสอบความแข็งแรงดัดมีแรงกระทำที่ตำแหน่งกึ่งกลางชิ้นทดสอบ และแรงที่กระทำนั้นตั้งฉากกันแนวเส้นใย ซึ่งเส้นใยรูปแบบเส้นยาวจะไม่แข็งแรงในแนวที่ตั้งฉากกับเส้นใย เรซินอะคริลิกที่เป็นเนื้อหลักมีค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นน้อยกว่าเส้นใยไหม ดังนั้นเมื่อมีแรงมากระทำ จึงทำให้เรซินอะคริลิกเกิดการเปลี่ยนรูปถาวร (plastic deformation) ประกอบกับการมีช่องว่างระหว่างเส้นใยไหมและเรซินอะคริลิก ทำให้เรซินอะคริลิกไม่สามารถถ่ายทอดแรงไปยังเส้นใยไหมซึ่งมีความแข็งแรงกว่าได้ ดังนั้นเมื่อใช้เส้นใยไหมเสริมแรงที่มีปริมาณมากขึ้นเกินค่าวิกฤตร้อยละ 2 จะทำให้ความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกลดลง โดยเรซินอะคริลิกจะเกิดการแตกหักก่อน โดยที่เส้นใยไหมยังไม่ขาดจากกัน

การศึกษาอื่นรายงานว่าการเสริมแรงเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนด้วยเส้นใย เมื่อทดสอบในลักษณะเดียวกันนี้สามารถเพิ่มความแข็งแรงดัดได้ไม่สูงนักเช่นเดียวกัน โดยการใส่เส้นใยแก้วแบบทอเป็นแผ่นและแบบเส้นยาวสามารถเพิ่มความแข็งแรงดัดได้ร้อยละ 21.2 และร้อยละ 50 ตามลำดับ[29] การใช้เส้นใยคาร์บอนแบบเส้นยาวสามารถ เพิ่มความแข็งแรงดัดได้ร้อยละ 54[37] การใช้เส้นใยพอลีเอทิลลีน (UHMPE) แบบเส้นยาวเพิ่มความแข็งแรงดัดได้ร้อยละ 16[37] ยกเว้นการใช้เส้นใยอะรามิดเพิ่มความ แข็งแรงดัดได้ร้อยละ 142[25] สาเหตุที่การใช้เส้นใยไหมในการศึกษานี้เพิ่มค่าความแข็งแรงดัดได้น้อยกว่าบางการศึกษา[25,37] อาจเกิดจากเส้นใยต่างชนิดกันมีสมบัติ ต่าง

กันจึงให้ผลเสริมแรงที่ต่างกัน และแม้ว่าเส้นใยชนิดต่างๆที่กล่าวมาล้วนเป็นรูปแบบเส้นยาว แต่มีลักษณะการเตรียมต่างกัน โดยเส้นใยแก้วที่ใช้นั้นอยู่ในรูป ‘pre-preg’ สามารถยึดติดกับเนื้อหลักได้ดี สามารถวางในตำแหน่งที่เหมาะสมได้ง่ายและมีการเรียงตัวของเส้นใยที่สม่ำเสมอ[29] ซึ่งต่างจากการใช้เส้นใยไหมในการศึกษานี้ที่ไม่ได้มาในรูป ‘pre-preg’ จึงต้องแช่เส้นใยในมอนอเมอร์ 5 นาที เพื่อให้มีความเปียกผิว ก่อนนำไปวางในตำแหน่งที่เหมาะสม จึงอาจมีมอนอเมอร์ส่วนเกิน ซึ่งจะมีการหดตัวได้เกิดเป็นช่องว่างระหว่างเส้นใยไหมและเนื้อหลัก ส่วนการศึกษาที่ใช้เส้นใยอะรามิดนั้น แม้ว่าเป็นรูปแบบเส้นยาว แต่ประกอบด้วยเส้นใยเล็กๆมากมายและมีความหนา 1 มิลลิเมตร จึงอาจมีการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเนื้อหลักได้ดีกว่า นอกจากนี้เรซินอะคริลิกที่ใช้ในแต่ละการศึกษาไม่ได้เป็นยี่ห้อเดียวกัน จึงไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้โดยตรง

อย่างไรก็ตามมีผู้รายงานว่า การใส่เส้นใยเสริมแรงไม่มีผลช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงดัด โดย Gutteridge[43] รายงานว่าการใช้เส้นใยพอลีเอทิลีนรูปแบบเส้นสั้นยาว 6 มิลลิเมตร ปริมาณร้อยละ 1 มีผลลดความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน และSalem[23] พบว่าหลังจากใส่เส้นใยอะรามิดร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และผงเส้นใยแก้วร้อยละ 10 ไม่เพิ่มความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน เนื่องจากเส้นใยไม่ยึดเกาะกับเนื่อหลัก

นอกจากนี้การใช้ชนิดของเรซินอะคริลิกที่แตกต่างกันก็มีผลต่อสมบัติต่างกัน โดยการศึกษาของ Dixon และคณะ[56] พบว่าการใส่เส้นใยโพลีเอทิลลีนแบบทอเป็นแผ่นยาว 65 มิลลิเมตร ไม่เพิ่มค่าความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกชนิดที่มีความแข็งแรงกระแทกสูง (high impact strength resin) และชนิดที่บ่มด้วยความร้อน แต่สามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกชนิดที่บ่มด้วยแสงได้ร้อยละ 48 ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Williamson และ คณะ[36] พบว่าการใส่เส้นใยพอลีเอทิลีนลดความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกชนิดที่บ่มด้วยคลื่นไมโครเวฟ แต่ สามารถเพิ่มความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกชนิดที่มีความแข็งแรงกระแทกสูง อย่างไรก็ตาม ต่อมา Foo และคณะ[26] พบว่า หลังจากใส่เส้นใยอะรามิดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ไมครอนแบบถักทอ หนา 1 มิลลิเมตรสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกชนิดที่บ่มด้วยความร้อนได้ ร้อยละ 60 ถึง 142 แต่ไม่เพิ่มค่าความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกที่ผ่านการแตกหักมาแล้ว แต่การ ศึกษานี้ใช้เส้นใยไหมเสริมแรงเรซินอะคริลิกชนิดที่บ่มด้วยความร้อนเพียงอย่างเดียว ซึ่งต้องทำการศึกษาต่อไปโดยใช้เรซินอะคริลิกชนิดอื่นเสริมแรงด้วยเส้นใยไหม

ลักษณะการแตกหักของชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบความแข็งแรงดัดเมื่อดูด้วยตาเปล่าด้วยตาเปล่านั้น มีการแตกหักไม่สมบูรณ์ โดยมีการแตกหักผ่านเรซินอะคริลิกซึ่งเป็นเนื้อหลัก และหยุดที่เส้นใย เนื่องจากเรซินอะคริลิกเป็นตัวรับแรงก่อนไม่สามารถถ่ายทอดแรงไปยังเส้นใยไหม จึงมีการแตกหักก่อนเส้นใยไหม ส่วนเส้นใยไหมยังคงอยู่และพยุงส่วนเรซิน อะคริลิกไว้

โดยเส้นใยไหมไม่หลุดออกมาจากเรซินอะคริลิก และเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน แบบส่องกราด เห็นว่าไม่มีเส้นไหมถูกดึงออกมา เมื่อลองเอาชิ้นส่วนสองส่วนประกบกัน พบว่า สามารถต่อกันได้ (greenstick fracture) ซึ่งอาจเป็นข้อดีในการซ่อมฟันปลอมเมื่อแตกหัก

4.1.2 ความทนทานต่อการกระแทก

ความทนทานต่อการกระแทกเป็นการวัดค่าพลังงานที่ทำให้เกิดการแตกหักต่อพื้นที่รอยแตก ผลการศึกษานี้ได้ค่าความความทนทานต่อการกระแทกของเรซินอะคริลิกกลุ่มควบ คุมที่ไม่ใส่เส้นใยไหมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.44 ฟุต-ปอนด์ต่อนิ้ว ซึ่งมีค่าแตกต่างจากการศึกษาอื่น การที่ค่าเฉลี่ยความทนทานต่อการกระแทกจากแต่ละการศึกษามีค่าต่างกัน อาจเกิดจากชนิดของ เรซินอะคริลิก และวิธีการทดสอบแรงกระแทกที่แตกต่างกัน โดยค่าความความทนทานต่อการ กระแทกของเรซินอะคริลิกกลุ่มควบคุม ในการศึกษานี้ต่ำกว่าการศึกษาของ Uzun และ คณะ[57] (0.593 ฟุต-ปอนด์ต่อ นิ้ว) เล็กน้อย โดยการศึกษานี้และการศึกษาของ Uzun และคณะ[57] ใช้วิธีการ ทดสอบแบบชาร์ปี้เช่นเดียวกัน แต่ใช้เรซินอะคริลิกยี่ห้อที่ต่างกัน ค่าความทนทานต่อการกระแทก ของเรซินอะคริลิกกลุ่มควบคุมในการศึกษานี้ต่ำกว่าการศึกษาของ Berrong และ คณะ[24] (1.305 ฟุต-ปอนด์ ต่อ นิ้ว) ถึง 3 เท่า เนื่องจากการ ศึกษาของ Berrong และคณะ[24] ใช้วิธีการทดสอบแบบไอซอด (Izod impact tester) ซึ่งไม่ได้มีการทำรอยบากในชิ้นทดสอบ และลักษณะการวางชิ้นทดสอบเป็น แนวตั้ง โดยมีด้านหนึ่งยึดติดกับแท่น ซึ่งต่างจากวิธีการทดสอบแบบชาร์ปี้ที่วางชิ้นทดสอบโดยที่ปลายทั้งสองด้านวางบนแท่นเฉยๆโดยไม่ได้ยึดแน่น และมีการทำรอยบากที่บริเวณกึ่งกลางของชิ้น ทดสอบ ทำให้เกิดมีความเค้นมากที่บริเวณรอยบาก จึงทำให้ค่าเฉลี่ยความทนทานต่อการกระแทกที่ได้มีค่าที่ต่ำกว่าวิธีการทดสอบแบบไอซอด นอกจากนี้การศึกษาของ Berrong และคณะ[24] ยังใช้ เรซินอะคริลิกชนิดที่มีความทนทานต่อการกระแทกสูง

ค่าความทนทานต่อกระแทกของเรซินอะคริลิกกลุ่มที่มีเส้นใยไหม ร้อยละ 1 ถึง 4 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ย 3.57 ถึง 4.03 ฟุต-ปอนด์ต่อนิ้ว ซึ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 9 เท่า ค่าที่ได้เพิ่มมากกว่าการศึกษาโดยใช้เส้นใยชนิดอื่นโดย Ladizesky[33] ใช้เส้นใย UHMPE รูปแบบเส้นยาวปริมาณร้อยละ 4.5 ถึง 44.7 โดยปริมาตร และมีความหนา 1 ถึง 10 ชั้น เพิ่มความทนทานต่อการกระแทกของเรซินอะคริลิกเพียงแค่ 1.6 ถึง 7.6 เท่า โดยกลุ่มที่มีเส้นใยพอลีเอทิลีนร้อยละ 44.7 จะเพิ่มความทนทานต่อการกระแทกได้สูงสุด ในการศึกษาของ Berrong และ คณะ[24] ใส่เส้นใยอะรามิดร้อยละ 0.5 ร้อยละ 1 และร้อยละ 2 โดยน้ำหนักลงในเรซินอะคริลิก สามารถเพิ่มค่าเฉลี่ยความทนทานต่อกระแทกของเรซินอะคริลิกได้ 1.2 ถึง 2.5 เท่า การที่เส้นใยไหมจะมีค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นต่ำกว่าเส้นใยแก้ว

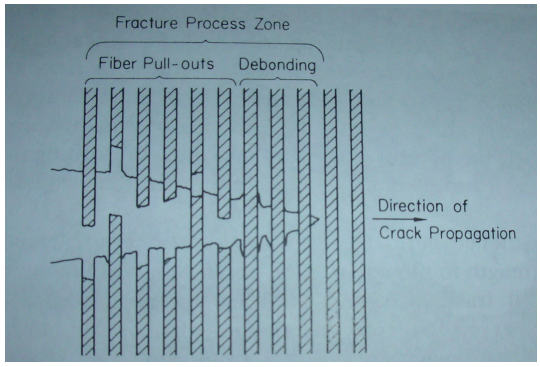
เส้นใยอะรามิด เส้นใยพอลีเอทิลีน และเส้นใยคาร์บอน แต่สามารถเพิ่มความทนทานต่อการกระแทกได้มากกว่าอาจเป็นเพราะเส้นใยไหมมีเปอร์เซนต์การยืดตัวที่มากกว่าเส้นใยชนิดอื่น (ตารางที่ 1) และอาจเกิดจากวิธีทดสอบ ชนิดของเส้นใย ยี่ห้อของเรซินอะคริลิกที่ต่างกัน

การเพิ่มปริมาณเส้นใยไหมจากร้อยละ 1 ถึง 3 โดยน้ำหนัก แต่ค่าความทนทานต่อการกระแทกของเรซินอะคริลิกได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องจากการใส่เส้นใยไหมร้อยละ 1 ถึง 3 เป็นปริมาณที่อยู่ในช่วงที่ค่าความทนทานต่อการกระแทกเริ่มคงที่ เมื่อเพิ่มเส้นใยมากขึ้นเป็นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก สามารถเพิ่มค่าความทนทานต่อการกระแทกได้อีก แต่การศึกษานี้ ไม่ได้ศึกษาการใส่เส้นใยที่มากกว่าร้อยละ 4 ซึ่งอาจมีแนวโน้มทำให้ค่าความทนทานต่อการ กระแทกของเรซินอะคริลิกลดลงก็ได้

การใส่เส้นใยไหมร้อยละ 1 ถึง 4 โดยน้ำหนักสามารถเพิ่มความทนทานต่อการกระแทกได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่มีเพียงกลุ่มที่มีเส้นใยไหมร้อยละ1 และ 2 เท่านั้นที่สามารถเพิ่มความแข็งแรงดัดได้ ดังนั้นปริมาณเส้นใยร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก จึงเป็นปริมาณที่น้อยที่สุดและเหมาะสม นอกจากนี้การใช้เส้นใยไหมเสริมแรงเรซินอะคริลิก พบว่าสามารถเพิ่มความทนทานต่อการกระแทกได้มากกว่าเพิ่มความแข็งแรงดัด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาอื่น[20, 44, 58] ได้แก่ การศึกษาของ Uzun และคณะ[57] รายงานว่าการใส่เส้นใยที่แตกต่างกัน 4 ชนิด คือ เส้นใยอะรามิด เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน และเส้นใยพอลีเอทิลีน เสริมแรงเรซินอะคริลิก พบว่าเส้นใยทั้งหมดไม่ทำให้ความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใส่เส้นใยอะรามิด เส้นใยแก้ว เส้นใยพอลีเอทิลีน และเส้นใยคาร์บอน เพิ่มค่าความทนทานต่อการกระแทกของเรซินอะคริลิก ได้ 2.5 ถึง 5.9 เท่า ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจาก การทดสอบความทนทานต่อการกระแทกจะมีแรงมากระทำด้านข้างของชิ้นทดสอบ ซึ่งทิศทางของแรงที่มากระทำด้านข้างผ่านเนื้อหลักไปยังเส้นใยและสามารถถ่ายทอดแรงไปยังเส้นใยเส้นอื่นได้ ทำให้ความทนทานต่อการกระแทกของวัสดุผสมจึงเพิ่มขึ้น แต่การทดสอบความแข็งแรงดัดมีแรงกระทำตรงกลางด้านบน เส้นใยแต่ละเส้นจึงรับแรงโดยตรง ไม่สามารถถ่ายทอดไปยังเส้นใยเส้นอื่นได้ค่าความแข็งแรงดัดจึงเพิ่มน้อย

เมื่อวิเคราะห์รอยแตกของการทดสอบการกระแทกหักด้วยตาเปล่า พบว่าการแตกหักนั้นผ่านเรซินอะคริลิกเนื้อหลัก มีเส้นใยไหมฉีกขาด บางส่วนหลุดออกมา และมีบางส่วนของเส้นใยบางส่วนยังคงอยู่และพยุงชิ้นส่วนไว้ด้วยกัน[58] (รูปที่ 33) จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดจะเห็นช่องระหว่างเส้นใยและเรซินอะคริลิก และมีช่องว่างในเรซินอะคริลิก เกิดจากเส้นไหมถูกดึงออกมา ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการหดตัวจากปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชั่นโดยมอนอเมอร์ที่เส้นใยดูดซับไว้นั้น จะมีการหดตัวมากกว่าเรซินอะคริลิกที่อยู่รอบๆ หรือเกิดจากการที่เส้นไหมไม่มีการอิ่มตัวด้วยมอนอเมอร์ และมีการเข้ากันได้ต่ำ (poor wetting) กับเรซินอะคริลิก แสดงให้เห็นว่าควร

ปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยและเรซินอะคริลิกเพื่อให้ได้การเสริมแรงที่ดีกว่านี้ นอกจากนี้ช่องว่างที่เห็นอาจเกิดจากการที่มีแรงกระแทกมากระทำ ทำให้เส้นใยมีการเปลี่ยนรูปถาวรในลักษณะของการยืดตัวได้มาก แต่เรซินอะคริลิกมีความเปราะไม่สามารถเกิดลักษณะดังกล่าวได้ จึงเกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยไหมและเรซินอะคริลิก



รูปที่ 34 แสดงแผนภูมิรอยแตกในเนื้อวัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดเส้นยาว[59]

ตอนที่ 4.2 ผลของการปรับสภาพเส้นใยไหมด้วยสารไซเลนที่มีต่อสมบัติของเรซิน อะคริลิกที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไหมร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

เนื่องจากผลการทดลองพบว่าการใช้เส้นใยไหมเพียงร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการเสริมแรง โดยสามารถเพิ่มความแข็งแรงดัดได้ร้อยละ14 และเพิ่มความทนทานต่อการกระแทกของเรซินอะคริลิกได้ 8.5 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับเรซินอะคริลิกที่ไม่ได้เสริมแรง แต่เมื่อใช้เส้นใยไหมร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่มีการปรับสภาพผิวด้วยสารไซเลน พบว่ากลับทำให้ค่าความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกลดลงประมาณ ร้อยละ 30 เมื่อเปรียบเทียบกับ เรซินอะคริลิกที่เสริมด้วยเส้นใยไหมร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่ไม่มีการปรับสภาพผิวด้วยสารไซเลน ซึ่งอาจเกิดจากมีการเปลี่ยนแปลงสภาพผิวของเส้นใยไหม โดยที่สารไซเลนมีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) สามารถละลายในน้ำได้ เมื่อเรซินอะคริลิกมีการดูดซับน้ำทำให้สารไซเลนมีการละลาย จึงอาจเกิดเป็นช่องว่างระหว่างเส้นใยไหมและเนื้อหลัก ทำให้ค่าความแข็งแรงดัดของ เรซินอะคริลิกลดลง นอกจากนี้อาจเนื่องจากเส้นใยไหมมีกาวเซอริซินเคลือบอยู่ โดยกาวเซอริซินเป็นโปรตีนที่สามารถละลายในน้ำได้ด้วย ดังนั้นหากมีการกำจัดกาวเซอริซินออกไปก่อน จึงอาจทำให้

ค่าความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกเพิ่มขึ้นได้เพราะไฟโบรอินเป็นโปรตีนที่ไม่ละลายในน้ำ และมีความทนต่อกรด หรืออาจเกิดจากการปรับสภาพผิวของเส้นใยด้วยสารไซเลนไปทำให้การยึดเกาะของเรซินอะคริลิกกับเส้นไหมดีขึ้น แต่เรซินอะคริลิกมีความแข็งแรงน้อยกว่าจึงเกิดแตกหักก่อน ความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไหม ที่มีการปรับสภาพผิวด้วยสารไซเลนจึงมีค่าต่ำกว่าของเรซินอะคริลิกที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไหมแต่ที่ไม่มีการปรับสภาพผิวด้วยสารไซเลน อย่างไรก็ตามการอภิปรายปรากฏการณ์นี้ต้องการศึกษาวิเคราะห์ลักษณะการยึดเกาะทางเคมีระหว่างไซเลนกับเส้นใยไหมและเรซินอะคริลิก (surface chemistry analysis) โดยละเอียดซึ่งไม่ได้รวมอยู่ในกรอบของการศึกษานี้

มีการศึกษาการปรับสภาพเส้นใยด้วยสารไซเลนก่อนนำไปเสริมแรงเรซิน อะคริลิกให้ผลแตกต่างกันขึ้นกับชนิดและรูปแบบของเส้นใย DeBoer และคณะ[20] ใช้เส้นใย คาร์บอนปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักที่มีการปรับสภาพผิวด้วยสารไซเลน A174 พบว่าเส้นใย คาร์บอนวางตามแนวยาว ทำให้ค่าความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกบ่มด้วยความร้อนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 40 ในขณะที่การใช้คาร์บอนวางตามขวางจะทำให้ค่าความแข็งแรงดัดลดลงร้อยละ 2 Solnit[28] ใช้เรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยตัวเองที่เสริมด้วยเส้นใยแก้วแบบทอเป็นแผ่นสามารถ เพิ่มความแข็งแรงดัดร้อยละ 7 แต่เมื่อแช่ในสารไซเลน 5 นาที ก่อนนำมาเสริมแรงกลับทำให้ ความแข็งแรงดัดลดลงร้อยละ 17 แต่เมื่อใช้เส้นใยแก้วแบบหลวมทำให้ความแข็งแรงดัดลดลง ร้อยละ 11

การศึกษานี้ใช้วิธีการปรับสภาพผิวด้วยการชุบเส้นใยไหมในสารไซเลน metha cryloxypropyltrimethoxy เป็นเวลา 5 นาที ก่อนที่จะนำไปใช้ ซึ่งเป็นวิธีเดียวกันกับการศึกษาของ Solnit[28] แต่แตกต่างจากการศึกษาอื่นจึงไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้โดยตรง โดย Kanie และคณะ[59] ใช้เส้นใยแก้วรูปแบบเส้นยาวที่มีการปรับสภาพผิวด้วยสารไซเลน A174 10 นาที และปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 115 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที การศึกษาของ Vallittu[60] ทำการปรับสภาพผิวของเส้นใยแก้วโดยการชุบด้วยสารไซเลน A174 และปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 40 นาที จากนั้นนำไปชุบในสารละลายPMMA และ MMA การศึกษาของ Ladizesky ทำการปรับสภาพผิวของเส้นใยโพลีเอทิลีนโดยการทำ ‘pre-preg’ ด้วยการชุบเส้นใยโพลีเอทิลีนในสารละลาย PMMA และ MMA แล้วเก็บไว้ในตู้เย็นหนึ่งคืน แล้วนำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนที่นำไปใช้เสริมแรง นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการเสริมแรงเรซินอะคริลิกด้วยเส้นใยแก้วด้วยสารไซเลน โดยใช้เส้นใยแก้วที่ผ่านการปรับสภาพมาแล้วจากบริษัทผู้ผลิต[26] การศึกษาของ Vallittu[60] พบว่าการใช้สารไซเลนที่มีความเข้มข้น ความหนาของชั้นไซเลน และการบ่มสารไซเลนด้วยเวลาที่ต่างกันจะให้ประสิทธิภาพการเสริมแรงแตกต่างกัน

การใช้เส้นใยไหมที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารไซเลน พบว่าทำให้ค่าความทนทานต่อการกระแทกเพิ่มขึ้นร้อยละ 42 แต่ทำให้ค่าความแข็งแรงดัดของเรซินอะคริลิกลดลงประมาณ ร้อยละ 30 เมื่อเปรียบเทียบกับเรซินอะคริลิกที่เสริมด้วยเส้นใยไหมร้อยละ 1 โดยน้ำหนักที่ไม่มีการปรับสภาพผิวด้วยสารไซเลน อาจเกิดจากแรงที่ทดสอบความแข็งแรงดัดมีทิศทางตั้งฉากกับเส้นใย ซึ่งเส้นใยไม่แข็งแรงในแนวนี้อยู่แล้ว แต่ทิศทางของการทดสอบความทนทานต่อการกระแทกเป็นแรงกระทำด้านข้างซึ่งเส้นใยไหมสามารถถ่ายทอดแรงไปยังเส้นใยเส้นอื่นได้ จึงดูดซับพลังงานได้มาก นอกจากนี้สารไซเลนอาจไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นของเส้นใยไหม หรืออาจไปทำให้เส้นใยไหมมีการเกาะกันมากขึ้น สามารถถ่ายทอดพลังงานจากการกระแทกได้มากขึ้น ดังนั้นอิทธิพลของสารไซเลนจึงสามารถเพิ่มค่าความทนทานต่อการกระแทกของเรซิน อะคริลิกได้

ดังนั้นในการศึกษาอิทธิพลของสารไซเลนต่อวัสดุผสมไม่สามารถเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่นได้โดยตรง เนื่องจากมีความแตกต่างกันของชนิดและรูปแบบของเส้นใยที่ใช้เสริมแรง วิธีการปรับสภาพ ชนิดของสารไซเลน ความเข้มข้น ชนิดของเรซินอะคริลิก ความหนาของไซเลน การบ่มสารไซเลนด้วยเวลาที่ต่างกัน และรูปแบบการศึกษา

ตอนที่ 4.3. ผลของปริมาณเส้นใยไหมร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงมิติของเรซิน อะคริลิก

สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงมิติเสถียรภาพของเรซินอะคริลิก ในการศึกษา นี้ใช้ชิ้น ทดสอบที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเนื่องจากต้องการควบคุมรูปทรงของชิ้นทดสอบที่อาจ มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงมิติเสถียรภาพ[38, 44] และยังสามารถควบคุม การใส่เส้นใยได้ง่ายกว่าการทำชิ้นทดสอบรูปร่างอื่นๆ และการวัดระยะชิ้นทดสอบรูปทรง สี่เหลี่ยมผืนผ้ายังสามารถทำได้ง่าย ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้วิธีคำนวณระยะต่างๆที่วัดออกมาเป็นเวคเตอร์ลัพธ์เพียง 1 ค่า ซึ่งค่า ที่ได้จะแสดงถึงค่ามิติโดยรวมของชิ้นทดสอบ และคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงมิติเสถียรภาพเป็นเปอร์เซ็นต์เพื่อจะได้สามารถเปรียบเทียบกันระหว่างชิ้นทดสอบได้โดยตรง โดยการนำค่าเวคเตอร์ของแต่ละชิ้นทดสอบหลังการแช่น้ำไปทำการเปรียบเทียบกับค่าเวคเตอร์เริ่มต้นของแต่ละชิ้นทดสอบที่วัดไว้ก่อนนำไปแช่น้ำ เพื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงมิติเสถียรภาพก่อนนำมาเปรียบเทียบระหว่าง 2 กลุ่ม คือกลุ่มชิ้นทดสอบที่มีเส้นใยไหมร้อยละ 1 กับกลุ่มชิ้นทดสอบที่ ไม่มีเส้นใยไหม ซึ่งวิธีนี้มีผู้ใช้ในหลายการศึกษา[51-53] อย่างไรก็ตามการใช้เวคเตอร์วัดค่าการ เปลี่ยนแปลงมิติเสถียรภาพมีข้อจำกัด คือเป็นการวัดและวิเคราะห์เพียง 2 มิติเท่านั้น โดยดูผลของ การ

เปลี่ยนแปลงมิติเสถียรภาพในแนวเส้นของชิ้นทดสอบเรซินอะคริลิก แต่ในทางคลินิกจะมี ปัจจัยอื่นๆ ที่มีอิทธิพลต่อมิติเสถียรภาพของฟันเทียมด้วย เช่น ขนาดและรูปร่าง[47] ความหนาของ ฟันเทียม [46] บริเวณช่องว่างที่จะต้อง ใส่ฟัน[46] การศึกษานี้แช่เส้นใยในน้ำเป็นเวลา 14 วัน เพื่อให้สอดคล้องกับการทดสอบสมบัติทางกลที่กำหนดระยะเวลาการแช่น้ำ 14 วัน

ในการวิจัยการเปลี่ยนแปลงมิติเสถียรภาพของฐานฟันเทียมที่มีการเสริมแรงฐานฟัน ปลอมด้วยเส้นใยไหมร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก พบว่า ไม่มีความแตกต่างจากฐานฟันปลอมที่ไม่ใส่เส้นใยไหม อย่างมีนัยสำคัญ จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงมิติ พบว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงมิติของเรซินอะคริลิกในกลุ่มที่ไม่ได้ใส่เส้นใยหลังแช่น้ำ 1 วัน มีค่าเท่ากับ 0.009$\pm$0.007 ขณะที่การศึกษาของ O'Toole และคณะ[51] รายงานว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงมิติของเรซินอะคริลิกที่ไม่ได้ใส่เส้นใย หลังแช่น้ำ 1 วัน มีค่าเท่ากับ 0.472 ซึ่งการที่ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงมิติจากแต่ละการศึกษามีค่าต่างกัน อาจเกิดจากวิธีการผลิตชิ้นทดสอบเรซินอะคริลิก อุปกรณ์ และวิธีการวัดชิ้นทดสอบที่ ต่างกัน โดยการศึกษานี้ใช้ดิจิตอลคาลิเปอร์ที่มีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร ในการวัด ขณะที่การศึกษาของ O' Toole และคณะ[51] ใช้กล้องจุลทรรศน์ (measuring microscope) ในการวัด และพบว่าเรซินอะคริลิก ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไหมร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และกลุ่มควบคุม มีการเปลี่ยนแปลงมิติเพิ่มขึ้น เมื่อแช่น้ำเป็นระยะเวลา 14 วัน แต่ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม แสดงว่าการใช้เส้นใยไหมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมิติ แต่การใช้เส้นใยแก้วมีผลทำให้การดูดซับน้ำ และการเปลี่ยนแปลงมิติเสถียรภาพของฐานฟันเทียมลดลง และการเสริมความแข็งแรงฐานฟัน เทียมด้วยเส้นใยพอลีเอททิลีน[38] เส้นใยแก้ว[44] มีผลทำให้การดูดซับน้ำและการเปลี่ยนแปลงมิติเสถียรภาพของฐานฟันเทียมลดลงเช่นกัน อย่างไรก็ตามในทางคลินิกควรมีการศึกษาถึงอิทธิพล ของรูปร่างและขนาดฐานฟันเทียมด้วย

กลุ่มที่มีเส้นใยไหมร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก มีการเปลี่ยนแปลงมิติเสถียรภาพของเรซินอะคริลิกหลังแช่น้ำ 1 วัน มากกว่าเรซินอะคริลิกกลุ่มที่ไม่ได้ใส่เส้นใยแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่อง จากเส้นใยไหมมีการดูดซับน้ำมาก ทำให้ช่วงแรกมีการเปลี่ยนแปลงมิติเสถียรภาพเกิดขึ้นมากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าเรซินอะคริลิกทั้งสองกลุ่มมีการเปลี่ยนแปลงมิติเกิดขึ้นทันทีหลังแช่น้ำ โดยเกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้น และหลังจากแช่น้ำ 14 วันมีการเปลี่ยนแปลงมิติเสถียรภาพน้อยลง ซึ่งปัจจัยที่ ทำให้การเปลี่ยนแปลงมิติมีค่าลดลง อาจเกิดจากการที่เส้นใยไหมที่ใส่ลงไป ชดเชยการหดตัวของเรซินอะคริลิก ส่งผลให้ชิ้นทดสอบที่ทำจากเรซินอะคริลิกมีการขยายตัว ที่น้อยลง

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าการใส่เส้นใยไหมปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เสริมแรงเรซินอะคริลิก มีผลทำให้เรซินอะคริลิกมีค่าความแข็งแรงดัดและค่าความทนทานต่อการ

กระแทกเพิ่มขึ้น และไม่เกิดการการเปลี่ยนแปลงมิติเสถียรภาพของเรซินอะครลิกหลังจากแช่ในน้ำ 14 วัน ซึ่งในทางคลินิกอาจนำไปใช้ปรับปรุงฐานฟันเทียมเรซินอะคริลิกให้สมบัติดีขึ้น นอกจากนี้เส้นใยไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่หาได้ง่ายในประเทศไทย และมีราคาถูกกว่าเส้นใยชนิดอื่นอีกด้วย แต่การศึกษานี้เป็นการศึกษาขั้นต้นซึ่งไม่เคยมีมาก่อน จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมก่อนที่จะนำไป ใช้จริง โดยการใช้เส้นใยไหมรูปแบบอื่น เช่น รูปแบบเส้นสั้น ศึกษาการปรับสภาพผิวเส้นใยไหมด้วยสารไซเลนชนิดอื่น หรืออาจใช้การปรับสภาพโดยกรดกัด เป็นต้น นอกจากนี้ควรศึกษาเพิ่มเติมเรื่องการดูดซึมน้ำ การเปลี่ยนแปลงมิติโดยแช่น้ำให้มากกว่า 14 วัน