



ผลของการเสริมความแข็งแรงเรซินอะคริลิกด้วยนาโนซิลิกาจากแกลบข้าวที่ผ่านการปรับแต่งด้วย
ไซเลน

EFFECT OF FILLED RESIN ACRYLIC DENTURE BASE WITH SILANE MODIFIED
NANOSILICA FROM RICE HUSK ASH

ปริญญ์ เชาวน์นันท

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2565

ผลของการเสริมความแข็งแรงเรซินอะคริลิกด้วยนาโนซิลิกาจากเกลบข้าวที่ผ่านการปรับแต่งด้วย
ไซเลน



ปริอุฒานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมทั่วไปชั้นสูง
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

EFFECT OF FILLED RESIN ACRYLIC DENTURE BASE WITH SILANE MODIFIED
NANOSILICA FROM RICE HUSK ASH



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF SCIENCE
(Master of Science (Advanced General Dentistry))
Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University

2022

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญาานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการเสริมความแข็งแรงเรซินอะคริลิกด้วยนาโนซิลิกาจากแคลบข้าวที่ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเลน

ของ

ปริวุฒิ เชาวน์นันท

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมทั่วไปชั้นสูง

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์

ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.พรสวรรค์ ธนธรวงศ์)

ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์สุรจุมณ์ พงษ์ศิริเวทย์)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ภาวิณีย์ปฏิพัทธ์วุฒิมิกุล ติตรอน)

ชื่อเรื่อง	ผลของการเสริมความแข็งแรงเรซินอะคริลิกด้วยนาโนซิลิกาจากแกลบ ข้าวที่ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเลน
ผู้วิจัย	ปริญญ์ เชาวน์นาท
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. พรสวรรค์ ธนธรวงศ์

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาผลของการเติมนาโนซิลิกาจาก
แกลบข้าวเป็นวัสดุอุดแทรกในเรซินอะคริลิกที่ใช้ทำฟันเทียม ซึ่งเตรียมอนุภาคก่อนโดยการ
ปรับแต่งด้วยแกมมาเมทาโคลอกซีโพรพิวไตรเมทอกซีไซเลน ศึกษาต่อคุณสมบัติเชิงกลคือค่า
ความแข็งแรงต่อการโค้งงอโดยใช้การทดสอบการดัดงอแบบ 3 จุด การทดลองใช้ตัวอย่างกลุ่มละ
8 ชิ้น จำนวน 4 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เติมวัสดุอุดแทรกร้อยละ 0.25, 0.5 และ 1 โดย
น้ำหนัก ผลการทดลองเมื่อวิเคราะห์ด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและ
เปรียบเทียบค่าที่แตกต่าง พบว่ากลุ่มที่เติมวัสดุอุดแทรกร้อยละ 0.25 ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อ
การโค้งงอมากที่สุดและแตกต่างจากกลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกลุ่มอื่นๆ ไม่มีความ
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถึงแม้ว่าแนวโน้มค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอจะ
ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุอุดแทรก งานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่า การเติมนาโนซิลิกาจากแกลบข้าวที่
ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเลนสามารถเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลของเรซินอะคริลิกได้เมื่อเติมปริมาณร้อย
ละ 0.25 โดยน้ำหนัก

คำสำคัญ : นาโนซิลิกา, ไซเลน, เรซินอะคริลิก

Title	EFFECT OF FILLED RESIN ACRYLIC DENTURE BASE WITH SILANE MODIFIED NANOSILICA FROM RICE HUSK ASH
Author	PARIWUT CHAOWANEENART
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2022
Thesis Advisor	Associate Professor Dr. Bhornsawan Thanathornwong

This experimental laboratory research aimed to study the results of adding the rice husk ash nanosilica as the filler in resin acrylic used as the denture, the nanosilica was modified by the γ -methacryloxypropyltrimethoxysilane before using for filler. The mechanical property was flexural strength by using a three-point bending test. The experimental samples were eight pieces, in four groups, including the control group and the groups added the filler of 0.25%, 0.5% and 1% by weight. The experimental result analyzed by One-Way ANOVA and the Tukey's Multiple Comparison Test revealed that 0.25% of the group with the filler contained the strength of bending the most and differed from the other groups with a statistically significant difference, but the other groups were not different in statistical significance, even though the trend of the strength mean of bending decreased when increasing the filter quantity. Finally, this research inferred that adding the rice husk ash nano silica modified by the silane could add the mechanical property of the resin acrylic when filling in the amount of 0.25% by weight.

Keyword : Nanosilica, Silane, Resin acrylic

กิตติกรรมประกาศ

ปฏิญานีพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความมานะ พยายามของผู้วิจัย รวมถึงการได้รับความเมตตา การดูแลเอาใจใส่และช่วยเหลือจากอาจารย์และคณะกรรมการผู้ควบคุมปฏิญานีพนธ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

รองศาสตราจารย์ ดร.ทันตแพทย์หญิง พรสวรรค์ ธนธรวงศ์

คณาจารย์และกรรมการบริหารหลักสูตรสาขาทันตกรรมทั่วไปชั้นสูง

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่าน เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ รวมถึงขอบคุณครอบครัว เพื่อนฝูงของผู้วิจัยที่ได้ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ขอบคุณมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่มอบสารนาโนซิลิกาจากโครงการโรงงานต้นแบบผลิตวัสดุสำหรับทำขั้วไฟฟ้าในแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนระดับเซลล์

และสุดท้ายขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2563 ในครั้งนี้

ปริญญ์ เชาว์นีนาท

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
คำถามการวิจัย.....	2
ความสำคัญของการวิจัย	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
จุดมุ่งหมายของการวิจัย	3
ขอบเขตการวิจัย	3
ตัวแปรที่ศึกษา.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
ฐานพินเฑียมและคุณสมบัติในอุดมคติ	5
ความชุกการแตกหักของพินเฑียมฐานเรซินอะคริลิก	5
สาเหตุและกลไกการแตกหักของพินเฑียมฐานเรซินอะคริลิก	6
การปรับปรุงคุณสมบัติพอลิเมทิลเมทาคริเลต	7
ซีลิกา	13
การเตรียมนาโนซีลิกา.....	14

ไฮเลนและกลไกการปรับแต่งซิลิกาด้วยไฮเลน.....	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	21
วัตถุประสงค์.....	21
การดำเนินงานวิจัย	22
1) การเตรียมนาโนซิลิกาโดยการปรับแต่งด้วยไฮเลน	22
2) การเตรียมชิ้นงาน.....	24
3) การทดสอบชิ้นงาน.....	25
การรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล	26
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	27
การยืนยันผลการเตรียมนาโนซิลิกาที่ผ่านการปรับแต่งด้วยไฮเลน.....	27
ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ.....	28
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย.....	31
อภิปรายผลการวิจัย	31
สรุปผลการวิจัย.....	34
บรรณานุกรม.....	35
ประวัติผู้เขียน.....	39

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงการวิเคราะห์ชนิดของธาตุและปริมาณธาตุในสารตัวอย่างของผงแก้วเคลือบซึ่งพบว่า มีซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 93.8 ยืนยันว่าเป็นอนุภาคซิลิกา.....	18
ตาราง 2 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ.....	29



สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 แสดงภาพประกอบการแตกหักที่กึ่งกลางของพื้นเทียมบน	6
ภาพประกอบ 2 แสดงแผนภูมิแท่งค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอในแต่ละกลุ่ม ซึ่งกลุ่มรูปแบบผลึก ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (5%NSS) มีค่ามากที่สุด	10
ภาพประกอบ 3 แสดงกราฟแผนภูมิเส้นค่าความต้านทานการแตกหักพบว่าเกือบทุกเครื่องหมาย การทำให้ค่าสูงสุดในกลุ่มที่เติมร้อยละ 0.023 โดยน้ำหนัก.....	11
ภาพประกอบ 4 แสดงกราฟแผนภูมิเส้นค่าความแข็งแรงระดับไมโครพบว่าทุกเครื่องหมายการทำให้ ค่าสูงสุดในกลุ่มที่เติมร้อยละ 0.023 โดยน้ำหนักและค่อยๆเพิ่มในกลุ่มที่เติมร้อยละ 0.92 โดย น้ำหนัก.....	11
ภาพประกอบ 5 แสดงแผนภูมิแท่งของค่าความแข็งแรงระดับไมโครและค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ ในแต่ละกลุ่ม.....	12
ภาพประกอบ 6 แสดงกราฟแผนภูมิเส้นวิเคราะห์โครงสร้างของซิลิกาที่สกัดจากแกลบข้าว โดยใช้ เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ซึ่งพบว่ากราฟมียอดโด่งบริเวณเดียวที่ $2\theta = 21.7^\circ$ บ่ง บอกว่าส่วนใหญ่เป็นซิลิกาในรูปแบบอสัณฐาน	14
ภาพประกอบ 7 แสดงการเตรียมนาโนซิลิกาจากสารเคมี.....	15
ภาพประกอบ 8 แสดงการเตรียมนาโนซิลิกาจากแกลบข้าวด้วยวิธีต่างๆ.....	16
ภาพประกอบ 9 แสดงการเตรียมซิลิกาด้วยวิธีตกตะกอน	17
ภาพประกอบ 10 แสดงสูตรเคมีของแกมมาเมทาโคลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน.....	19
ภาพประกอบ 11 แสดงปฏิกิริยาของไซเลนกับอนุภาคออกไซด์	20
ภาพประกอบ 12 แสดงผังการเตรียมนาโนซิลิกาโดยการปรับแต่งด้วยไซเลน	23
ภาพประกอบ 13 แสดงแม่พิมพ์ชิ้นงานก่อนได้ชิ้นสี่เหลี่ยมพุกอกและแม่พิมพ์ที่พร้อมใช้งานแล้ว	24
ภาพประกอบ 14 แสดงแบบจำลองขนาดและรูปร่างของชิ้นงานที่ได้ $3.3 \times 10 \times 64$ ลูกบาศก์ มิลลิเมตร.....	25

ภาพประกอบ 15 แสดงการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอของชิ้นงาน.....	26
ภาพประกอบ 16 แสดงการตรวจเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีของนาโนซิลิกาที่ไม่ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเรน	27
ภาพประกอบ 17 แสดงการตรวจเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีของนาโนซิลิกาที่ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเรน	28
ภาพประกอบ 18 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอของชิ้นงานในแต่ละกลุ่ม	30
ภาพประกอบ 19 แสดงสถิติหาคู่ที่แตกต่างกัน.....	30
ภาพประกอบ 20 แสดงความสัมพันธ์ค่าความถี่ดูดกลืนรังสีอินฟราเรดต่อหมู่ฟังก์ชันต่างๆ	31
ภาพประกอบ 21 รอยแตกหักขนาดกำลังขยาย 5000 เท่า จากตัวอย่างที่ไม่ได้เติมวัสดุอัดแทรกพบเป็นลักษณะผิวเรียบมีรอยแยก และภาพที่ 22 รอยแตกหักขนาดกำลังขยาย 5000 เท่าจากตัวอย่างที่เติมนาโนซิลิกาผ่านการปรับแต่งด้วยไซเรนพบเป็นลักษณะผิวขรุขระและเห็นอนุภาคนาโนซิลิกากระจายเป็นกลุ่มๆ.....	34

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

เรซินอะคริลิกหรือพลาสติกพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethy methacrylate) เริ่มถูกใช้เป็นวัสดุทางทันตกรรมทำฐานฟันเทียมตั้งแต่ปีคริสต์ศักราช 1937 ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นผงและของเหลว ส่วนผงนั้นเป็นพอลิเมทิลเมทาคริเลต และส่วนของเหลวเป็นเมทิลเมทาคริเลต โดยวัสดุนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาเป็นพอลิเมอร์ได้จากทั้งเคมีและความร้อน ซึ่งมักนิยมนำชนิดบ่มด้วยความร้อนมาทำฐานฟันเทียมเพราะมีความแข็งแรงกว่าและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) อย่างสมบูรณ์ที่มากกว่า(1) วัสดุชนิดนี้นิยมนำมาทำฟันเทียมเนื่องด้วยประโยชน์หลายอย่างเช่น มีความสวยงาม การดูดซับน้ำและการละลายในน้ำน้อย มีความแข็งแรงเพียงพอ ความเป็นพิษต่ำและสามารถซ่อมแซมได้อย่างง่ายดาย รวมถึงเทคนิคการขึ้นรูปไม่ซับซ้อน แต่อย่างไรก็ตามยังมีปัญหาบางอย่างสำหรับวัสดุชนิดนี้ คือ การหดตัวของวัสดุขณะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (flexural strength) ความแข็งแรงต่อการกระแทก (impact strength) และการต้านการล้า (fatigue resistance) ของวัสดุต่ำ นี่จึงเป็นเหตุผลที่มักทำให้ฟันเทียมล้าเหลวแตกหักได้ในขณะเคี้ยวหรือขณะหล่นจากมือผู้ป่วย (2)

ฐานฟันเทียมที่ทำจากเรซินอะคริลิกได้รับความเครียดจากหลายปัจจัยทั้งในช่องปากซึ่งสัมพันธ์กับแรงเคี้ยวชักนำให้เกิดความล้าในวัสดุและปัจจัยนอกช่องปากที่เกิดขึ้นได้จากการหล่นของฟันเทียมส่งผลให้เกิดการแตกหัก ซึ่งการศึกษาทางคลินิกมักพบว่าการแตกที่กลางเพดานของฟันเทียมบนเป็นเรื่องปกติ (3) โดยในปี คริสต์ศักราช 1960 มีการระบุไว้ว่าการแตกหักมีสาเหตุมาจากปรากฏการณ์ความเมื่อยล้าต่อการโค้งงอ (4) ถึงแม้วัสดุนี้จะมีจุดด้อยเรื่องความแข็งแรง อย่างไรก็ตามยังนิยมใช้เป็นฐานฟันเทียมอยู่ ด้วยเหตุผลข้างต้นรวมถึงราคาถูกกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ จึงทำให้มีการศึกษาวิจัยเพื่อแก้ปัญหาคความแข็งแรงของวัสดุนี้โดยการ 1) เพิ่มสารเชื่อมโยง (Cross-linking agent) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ (5) 2) ใส่สารเติมชนิดต่างๆ เข้าไปเป็นวัสดุอัดแทรกเพื่อเสริมความแข็งแรงเพิ่มประสิทธิภาพของพลาสติกพอลิเมทิลเมทาคริเลต เช่น เส้นใยไฟเบอร์ เส้นนาโนคาร์บอน รวมถึงอนุภาคทั้งขนาดไมโครและขนาดนาโนจำพวก เซอร์โคเนีย (ZrO_3) อะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) และซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) หรือรู้จักว่าซิลิกา ปัจจุบันวิธีการเติมอนุภาคเป็นวัสดุอัดแทรกเป็นที่นิยมเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุ โดยมักนิยมใช้ขนาดระดับนาโนเพราะมีคุณสมบัติเฉพาะคือขนาดเล็กมีพื้นที่พื้นผิวที่มากทำให้อัตราส่วนพื้นผิวต่อปริมาตรที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้พันธะการยึดระหว่างพื้นผิว

ส่วนเรซินและอนุภาคที่เติมขนาดนาโนแข็งแรง รวมถึงทำให้พอลิเมอร์หนาแน่นขึ้นและเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของวัสดุ (6) แต่อย่างไรก็ตาม อนุภาคเหล่านี้ที่เป็นอินทรีย์ไม่สามารถกระจายได้ในสารอินทรีย์ที่ไม่มีขั้วดังเช่นโพลีเมอร์ต่างๆ ถ้าหากไม่ใช้สารที่ช่วยให้กระจาย คือ สารเชื่อมต่อไฮโดรเจน (silane coupling agents) และไฮโดรเจนที่นิยมใช้ปรับแต่งผิวซิลิกาเพื่อนำมาเติมวัสดุทางทันตกรรม คือ แกมมาเมทาไคริลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไฮโดรเจน (γ -methacryloxypropyl trimethoxysilane (MPS)) ดังนั้นหากจะนำอนุภาคต่างๆ มาเป็นวัสดุอุดแทรกควรมีการปรับแต่งด้วยไฮโดรเจนก่อน (7)

อนุภาคนาโนซิลิกามักถูกนำมาเป็นวัสดุอุดแทรกเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของวัสดุ เช่น ด้านการขีดข่วน เพิ่มคุณสมบัติเชิงกลและดัชนีหักเห รวมถึงนำไปใช้เป็นวัสดุนาโนคอมโพสิตสำหรับแบตเตอรี่ยุคใหม่ ซึ่งในปัจจุบันมนุษย์ให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น พยายามใช้ทรัพยากรทดแทนในด้านต่างๆ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการดูแลธรรมชาติ จึงมีการศึกษาสังเคราะห์นาโนซิลิกาจากแกลบข้าวมาสู่การส่งผลให้เพิ่มมูลค่าแก่นาโนซิลิกาที่เตรียมได้จากของเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งจัดว่าเป็นของเหลือทิ้งที่ไม่มีมูลค่า เพิ่มช่องทางการแข่งขันทางด้านเศรษฐศาสตร์ประหยัดต้นทุน (8) ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยที่ศึกษาผลของการเสริมความแข็งแรงเรซินอะคริลิกด้วยนาโนซิลิกาจากแกลบข้าวที่ผ่านการปรับแต่งด้วยไฮโดรเจนต่อคุณสมบัติความแข็งแรงต่อการโค้งงอของเรซินอะคริลิก

คำถามการวิจัย

นาโนซิลิกาจากแกลบข้าวที่ผ่านการปรับแต่งด้วยไฮโดรเจนสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอของเรซินอะคริลิกหรือไม่พร้อมทั้งมีความแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร

ความสำคัญของการวิจัย

เนื่องจากคุณสมบัติต่างๆ ที่โดดเด่นของนาโนซิลิกานั้นสามารถที่จะปรับปรุงคุณสมบัติบางอย่างของวัสดุโพลีเมอร์ได้ ซึ่งทางผู้วิจัยสนใจในการนำซิลิกาที่สังเคราะห์จากแกลบข้าวมาศึกษาเนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตที่ถูกกว่าการสังเคราะห์จากสารเคมี

อีกทั้งยังนำส่วนของเสียอินทรีย์สารที่เหลือจากการนำไปใช้มาต่อยอดเพิ่มมูลค่าได้ โดยในการวิจัยจะศึกษาผลของการเติมนาโนซิลิกาจากแกลบข้าวที่ปรับแต่งด้วยไฮโดรเจนต่อคุณสมบัติความแข็งแรงต่อการโค้งงอ โดยทดลองในหลายๆ อัตราส่วน เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเติมเป็นวัสดุอุดแทรก ซึ่งในปัจจุบันมีการศึกษาที่นำซิลิกาจากแกลบข้าวมาทดลองใส่ในเรซินอะคริลิกบ้างแต่พบว่าไม่ได้ผ่านการปรับแต่งด้วยไฮโดรเจน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาความแตกต่างของค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอของเรซินอะคริลิก เมื่อทำการเติมนาโนซิลิกาจากแคลบข้าวที่ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเลนตามร้อยละน้ำหนักต่างกัน

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอของเรซินอะคริลิกเมื่อทำการเติมนาโนซิลิกาจากแคลบข้าวที่ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเลนตามร้อยละน้ำหนักต่างกัน

ขอบเขตการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการโดยการนำนาโนซิลิกาจากแคลบข้าวมาปรับแต่งด้วยไซเลนก่อนนำมาเติมเป็นวัสดุอัดแทรกเสริมแรงให้กับเรซินอะคริลิก จากนั้นนำมาทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอว่าส่งผลอย่างไร สามารถปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้นได้หรือไม่

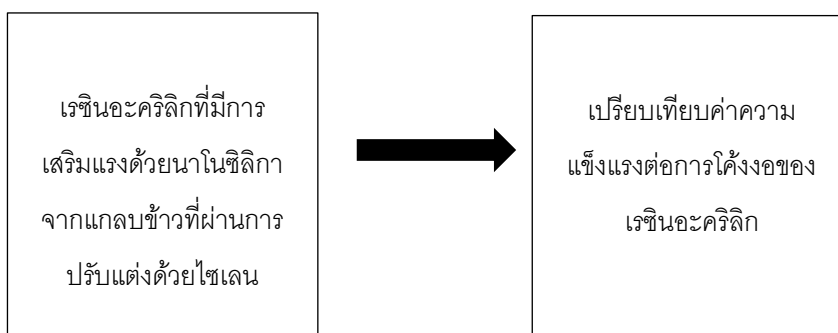
ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรต้น ได้แก่ ปริมาณนาโนซิลิกา (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ที่นำมาเสริมแรงเรซินอะคริลิก
2. ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอของเรซินอะคริลิก

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. เรซินอะคริลิก (Resin acrylic) หมายถึง พลาสติกชนิดเปลี่ยนรูปหรือเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) มีสมบัติเฉพาะ คือ มีความใสมาก ทำขึ้นรูปร่าง ทนต่อความชื้น
2. สารเชื่อมต่อไซเลน (Silane coupling agent) หมายถึง สารที่ทำหน้าที่เชื่อม ยึดระหว่างสารตั้งต้นอินทรีย์กับสารตั้งต้นอินทรีย์ หรือปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างวัสดุสองชนิดที่ไม่เหมือนกัน
3. ความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (Flexural strength)

กรอบแนวคิดวิจัย



สมมติฐานงานวิจัย

H_0 : ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอของเรซินอะคริลิกเมื่อทำการเติมนาโนซิลิกาจากเกลบข้าวที่ปรับแต่งด้วยไซเลนในความเข้มข้นร้อยละต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันกับกลุ่มเรซินอะคริลิกที่ไม่ได้เติม

H_1 : ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอของเรซินอะคริลิกเมื่อทำการเติมนาโนซิลิกาจากเกลบข้าวที่ปรับแต่งด้วยไซเลนในความเข้มข้นร้อยละต่าง ๆ มีความแตกต่างกันกับกลุ่มเรซินอะคริลิกที่ไม่ได้เติม

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฐานฟันเทียมและคุณสมบัติในอุดมคติ

ฐานฟันเทียมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของฟันเทียมที่วางพักอยู่บนเนื้อเยื่อในช่องปาก เป็นตัวเชื่อมที่ฟันเทียมรวมถึงตะขอส่วนยึดกับฟันเข้าไว้ด้วยกันเป็นฟันเทียม ซึ่งวัสดุเรซินอะคริลิกใช้ทำฐานฟันเทียมนั้นควรมีคุณสมบัติในอุดมคติ คือ 1) ต้องมีความเข้ากันได้ทางชีววิทยา กล่าวคือ ไม่มีความเป็นพิษ ไม่ก่อให้เกิดการแพ้หรือมีสารก่อมะเร็ง 2) สามารถเป็นที่ยอมรับต่อประสาทสัมผัสของผู้ป่วย เช่น สีคงที่ ไม่มีกลิ่น รสจืด และน้ำหนักเบา 3) ฐานฟันเทียมเรซินควรต้องมีราคาคุ้มค่า ซึ่งรวมถึงวัตถุดิบอุปกรณ์ในการผลิตและอายุการเก็บรักษาที่ดี 4) ต้องมีคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ดี เช่น คุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติทางความร้อนที่ดี เพื่อให้ทนต่อการใช้งานในช่องปาก 5) ปัจจัยด้านสุขอนามัยที่สำคัญเช่นเดียวกัน วัสดุไม่ควรมีรูพรุนเพราะจะเป็นที่อยู่ของเชื้อจุลินทรีย์ มีการดูดซึมน้ำที่น้อยและสามารถทำความสะอาดได้ง่าย 6) ความทนทานของฐานฟันเทียมเรซินอะคริลิกต้องสูงพอในสภาพแวดล้อมในช่องปาก สามารถทนต่อการกัดและต่างอ่อน ๆ ทนต่อการขัดถูและการสี ซึ่งรวมถึงความมั่นคงในการยึดเกาะที่ติระหว่างฐานและซี่ฟันเทียม (9)

ตั้งแต่ปีคริสต์ศักราช 1936 ที่วัสดุนี้ถูกคิดค้นขึ้น ฐานฟันเทียมเรซินอะคริลิกค่อยๆ เข้ามาแทนที่ฐานโลหะแบบดั้งเดิมและกลายเป็นฐานฟันเทียมที่ใช้กันมากที่สุดในทางคลินิก ซึ่งเรซินอะคริลิกนั้นคือพอลิเมทิลเมทาคริเลต (polymethylmethacrylate) กระทั่งในปัจจุบันยังนิยมใช้กันอยู่เป็นส่วนใหญ่เพราะมีราคาไม่แพง น้ำหนักเบา ไม่ละลายในช่องเหลว มีความสวยงาม และสามารถซ่อมแซมได้อย่างง่ายดาย แต่ถึงอย่างไรมีปัญหาบางอย่างที่ยังต้องได้รับการปรับปรุง เช่น มีการหดตัวขณะเกิดพอลิเมอไรเซชัน ความทนทานต่อการโค้งงอและความทนทานเมื่อยัดอาหารของวัสดุรวมถึงความแข็งแรงต่ำ

ความชุกการแตกหักของฟันเทียมฐานเรซินอะคริลิก

มีการศึกษาพบว่าการแตกหักของฟันเทียมบนและล่างนั้นมีอัตราส่วนสองต่อหนึ่ง ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากการใช้งาน คือ ฟันเทียมขาดความแนบกับสันเหงือกและไม่มีคุณสมบัติการสบฟันที่ดี (3) มีการสำรวจจากห้องปฏิบัติการทำฟันเทียม พบว่า จำนวนฟันเทียมที่ได้รับการส่งมาซ่อมแซม ร้อยละ 33 เกิดจากซี่ฟันเทียมหักหรือหลุดจากฐาน ร้อยละ 29 ฟันเทียมแตกหักที่กึ่งกลางฐานซึ่งพบได้ทั่วไปในฟันเทียมทั้งปากขากรรไกรบน และที่เหลือร้อยละ 38 คือ การแตกหักแบบอื่นๆ โดยการแตกหักพบได้ภายใน 1-3 ปีที่ร้อยละ 63 ซึ่งสัดส่วนการแตกหัก พบว่าเป็นฟัน

เทียมบางส่วนมากกว่าฟันเทียมทั้งปากโดยเฉพาะฟันเทียมบางส่วนขากรรไกรล่าง เนื่องจากฟันเทียมบางส่วนมีความหนาและความซับซ้อนของฐานฟันเทียมน้อยกว่า (10)

สาเหตุและกลไกการแตกหักของฟันเทียมฐานเรซินอะคริลิก

การแตกหักของฟันเทียมที่กึ่งกลางฐานพบได้บ่อยโดยเฉพาะฟันเทียมบนซึ่งมักเกิดจากการบดเคี้ยวของฐานฟันเทียมเมื่อได้รับแรงกระทำ เช่น แรงเคี้ยวอาหาร โดยการบดเคี้ยวในฐานฟันเทียมสามารถถูกกระตุ้นได้จากปัจจัยอื่นๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงในตัวฐานฟันเทียมเอง การดูดซึมน้ำของเรซินอะคริลิก ซึ่งฟันเทียมสึก และการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อรองรับฟันเทียมส่งผลให้ฐานฟันเทียมไม่แนบกับสันเหงือก รวมถึงการเปลี่ยนแปลงการสบฟันก็สามารถส่งผลต่อการบดเคี้ยวฐานฟันเทียมได้พร้อมทั้งส่งผลให้ฟันเทียมสึกด้วย ถ้าหากปัจจัยเหล่านี้ไม่ถูกกำจัดและถูกปล่อยไปเป็นเวลานาน ฐานฟันเทียมเกิดการบดเคี้ยวตามแรงเคี้ยวจนเลยระยะที่ด้านความโค้งของวัสดุ จะส่งผลทำให้ฟันเทียมแตกหักได้ (11) โดยการแตกหักที่กึ่งกลางฐานฟันเทียมเป็นการล้าของวัสดุในด้านการต้านโค้งงอ (ภาพที่ 1) ซึ่งเป็นผลจากการบดเคี้ยวเป็นวงจรรซ้ำ ๆ ระหว่างการเคี้ยวจุดแรกเริ่มก่อนแตกหักจะมีรอยแยกในฐานฟันเทียมก่อน ซึ่งรอยแยกมักจะปรากฏในร่องบากลึก โดยเฉพาะบริเวณเนื้อเยื่อยึดริมฝีปากที่บริเวณกึ่งกลางฐานฟันเทียมและจุดนี้เองจะเป็นบริเวณที่มีความเครียดสะสมสูงสุดส่งผลให้การแตกหักเริ่มที่บริเวณจุดนี้ได้ (12)



ภาพประกอบ 1 แสดงภาพประกอบการแตกหักที่กึ่งกลางของฟันเทียมบน

ที่มา: dentulous32wmt. (2018). Complete Denture – Repair, Reline & Rebase

การปรับปรุงคุณสมบัติพอลิเมทิลเมทาคริเลต

มีวิธีการบางอย่างเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมทิลเมทาคริเลต เช่น การใช้พอลีคาร์บอนเนตและโพลีเอไมด์เป็นสารทดแทนพอลิเมทิลเมทาคริเลต การดัดแปลงทางเคมีโดยการเติมโคพอลิเมอร์เป็นสารเชื่อมขวางและสารยางในรูปของบิวทาไดอีนส์ไดรีน และการใส่วัสดุอัดแทรกจำพวกไฟเบอร์ โลหะหรือเซรามิกในฐานพินเทียม ซึ่งการเติมวัสดุอัดแทรกนั้นถูกพิจารณาว่าเป็นวิธีที่คุ้มค่าและมีประสิทธิภาพที่สุด สามารถเพิ่มคุณสมบัติเชิงกล ปรับปรุงคุณสมบัติอุณหภูมิและเคมีของพอลิเมทิลเมทาคริเลตได้ อย่างไรก็ตามการปรับปรุงคุณสมบัติของคอมโพสิตโพลีเมอร์นั้นจะขึ้นกับความเข้มข้นและรูปร่างของวัสดุอัดแทรก การกระจายตัวของวัสดุอัดแทรก รวมถึงระดับการยึดกับโพลีเมอร์เมทริกซ์ด้วย (13)

ชนิดของวัสดุอัดแทรกแตกต่างกันนั้นจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติพอลิเมทิลเมทาคริเลตต่างกัน โดยจำแนกเป็น 1) สารเติมแทรกชนิดโพลีเมอร์ เช่น เส้นใยโพลีเอทิลีน 2) วัสดุอัดแทรกชนิดโลหะ เช่น ซิลเวอร์ สแตนเลสสตีล อะลูมิเนียมและคอปเปอร์ 3) วัสดุอัดแทรกชนิดเซรามิก เช่น เส้นใยแก้ว ซิลิกา เซอร์โคเนีย อะลูมินา เป็นต้น

1) วัสดุอัดแทรกชนิดโพลีเมอร์

1.1) โพลีเอทิลีน (Polyethylene) เป็นสารที่เป็นส่วนผสมของการขึ้นรูปพลาสติกซึ่งเกิดจากพอลิเมอร์โซ่ของเอทิลีน ตามสูตรเคมีคือ $n \text{ CH}_2=\text{CH}_2$ (แก๊ส) \rightarrow $[-\text{CH}_2-\text{CH}_2-]_n$ (ของแข็ง) โดยโพลีเอทิลีนที่นำมาเป็นวัสดุอัดแทรกจะอยู่ในรูปเส้นใยเดี่ยวหรือเส้นใยถักทอ เพื่อเพิ่มการยึดเกาะกันที่ระหว่างพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับเส้นใยนั้นๆ ได้มีการปรับพื้นผิวของเส้นใยให้ผ่านพลาสมาแก๊ส ซึ่งใช้แก๊สที่แตกตัวเป็นไอออนได้ เช่น อาร์กอน ไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นการปรับผิวเพื่อให้เรซินเข้ามาเกาะ ให้เกิดแรงยึดที่พื้นผิวได้ดีขึ้น โดยจากการศึกษา Hild และ Schwartz (14) ได้ใส่เส้นใยโพลีเอทิลีนซึ่งทำการปรับพื้นผิวด้วยพลาสมาแก๊สก่อนเป็นวัสดุอัดแทรกเข้าไปในพอลิเมทิลเมทาคริเลตแล้วทดสอบคุณสมบัติเชิงกลพบว่า ความแข็งแรงต่อการโค้งงอไม่แตกต่างจากกลุ่มทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ค่าความเหนียว (toughness) มีค่ามากกว่ากลุ่มทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอันเป็นผลจากการเชื่อมของเส้นใยโพลีเอทิลีนบริเวณรอยแยกในชิ้นงาน

2) วัสดุอัดแทรกจำพวกโลหะ เช่น ซิลเวอร์ สแตนเลสสตีล อลูมิเนียม และคอปเปอร์ โดยจุดประสงค์ในการใส่เพื่อปรับคุณสมบัติเชิงกลให้มีความแข็งแรง ปรับการนำความร้อน ลดการหดตัวระหว่างการบ่มและลดการดูดซึมน้ำ อย่างไรก็ตาม พบว่า มีข้อดีจากการยึดเชื่อมต่อกันระหว่างพื้นผิววัสดุอัดแทรกโลหะกับเรซินอะคริลิก เช่น ค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลง หรือค่า

ความแข็งแรงต่อการกระแทกลดลง วิธีนี้จึงไม่เป็นที่ยอมรับ ซึ่งมีการศึกษาแรกเริ่มของ Sehajpal และ Sood (15) ได้เติมวัสดุอัดแทรกซิลเวอร์ อลูมิเนียมและคอปเปอร์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 25 พบว่าสามารถเพิ่มการนำความร้อนของพอลิเมทิลเมทาคริเลตได้ถึง 4 เท่าและค่าความแข็งแรงต่อการกด (compressive strength) มากกว่ากลุ่มที่ไม่เติม แต่ค่าความแข็งแรงต่อการดึง (tensile strength) นั้นมีค่าลดลง อีกการศึกษาของ Murthy และคณะ (16) ใช้เสตนเลสสตีลเป็นวัสดุอัดแทรกพบว่าค่าความแข็งแรงต่อการกระแทกน้อยกว่าการใช้เส้นใยแก้วและเส้นใยโพลีเอทิลีนเป็นวัสดุอัดแทรก เนื่องด้วยเพราะขาดการยึดเชื่อมที่พื้นผิวกับพอลิเมทิลเมทาคริเลต

3) วัสดุอัดแทรกชนิดเซรามิก

3.1) เซอร์โคเนีย เนื่องด้วยคุณสมบัติของมันที่มีประโยชน์หลายอย่าง เช่น มีความแข็งแรง คุณสมบัติเชิงกลที่ดี ทนต่อการสึกและรอยขีดข่วน รวมถึงมีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ จึงมีการนำมาศึกษาเป็นวัสดุอัดแทรก โดยมีการศึกษาพบว่า ใส่เซอร์โคเนียเป็นวัสดุอัดแทรกปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก สามารถเพิ่มความต้านทานแรงกระแทกของพอลิเมทิลเมทาคริเลต ในขณะที่เติมปริมาณมากกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนักขึ้นไป จะลดค่าความต้านทานแรงกระแทกและความแข็งแรงลงเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ใส่วัสดุอัดแทรก (17)

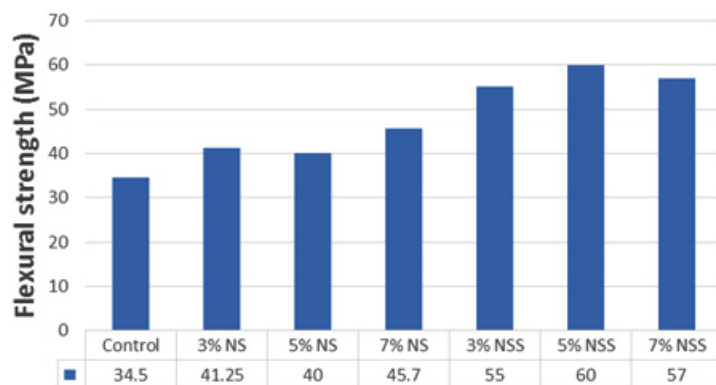
3.2) เส้นใยแก้ว ถูกนำมาทดสอบเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของพอลิเมทิลเมทาคริเลต ตั้งแต่คริสต์ศักราช 1960 โดยเหตุผลที่ถูกนำมาทดสอบเพราะมีความสวยงาม มีคุณสมบัติเชิงกลและความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อที่ดี โดยมีหลายรูปร่าง เช่น รูปร่างถักทอ เส้นใยทิศทางเดียว เป็นต้น ซึ่งมีการศึกษา พบว่าสามารถเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมทิลเมทาคริเลตได้แต่ไม่เกินที่ปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามการยึดกันในเรซินแมทริกซ์นั้นไม่ค่อยดี ดังนั้นการเติมเส้นใยแก้วจึงควรต้องปรับผิวด้วยสารไฮเลนเชื่อมยึดติดก่อน (18)

3.3) อะลูมินา (Al_2O_3) เป็นหนึ่งในวัสดุอัดแทรกที่คุ้มค่าและมีประสิทธิภาพที่สุด ถูกใช้อย่างกว้างขวางในทางวิศวกรรมเซรามิก เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ยอดเยี่ยม ได้แก่ มีความสามารถในการขึ้นรูป ความแข็งแรงสูง และมีความพร้อมในการใช้งาน ดังนั้น จึงช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตทางทันตกรรม ซึ่งมีการศึกษานำอนุภาคอะลูมินาระดับนาโนมาศึกษาทดลองเป็นวัสดุอัดแทรกในพอลิเมทิลเมทาคริเลต โดยการศึกษาของ Hasan และคณะ (19) เปรียบเทียบอนุภาคสองรูปร่างของอะลูมินาคือ รูปร่างทรงกลมที่มีขนาดเล็กกว่า 50 นาโนเมตรและทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-4 นาโนเมตร ความยาวที่ 200-400 นาโนเมตร ซึ่งผลการทดลองทั้งสองรูปร่างพบว่าเมื่อมีแนวโน้มสามารถปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมทิลเมทาคริ

เลต แต่อะลูมินารูปร่างทรงกระบอกสามารถเพิ่มความแข็งแรงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสัดส่วนที่ดีที่สุดคือใส่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

3.4) ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) หรือรู้จักกันในชื่อซิลิกา ซึ่งมีการศึกษามากมายที่นำมาทดลองเป็นวัสดุอัดแทรกในพอลิเมทิลเมทาคริเลตในรูปแบบต่างๆ เช่น การศึกษาเปรียบเทียบรูปร่างอนุภาคแบบอสัณฐาน (amorphous) และแบบผลึก (crystalline) ของนาโนซิลิกาเป็นวัสดุอัดแทรกต่อคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมทิลเมทาคริเลต (20) การศึกษาทดลองใส่นาโนซิลิกาปริมาณเล็กน้อยต่อการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล (21) การศึกษาการใช้ซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จากแกลบข้าวแล้วนำมาเป็นวัสดุอัดแทรก (22) เป็นต้น โดยผลของการศึกษาค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งจะขึ้นกับความสามารถกระจายของอนุภาคในวัสดุ ขนาดรูปร่างของอนุภาค และการปรับแต่งอนุภาคด้วยไซเรนก่อนนำมาใส่เป็นวัสดุอัดแทรก ซึ่งจากหลายๆ งานวิจัยค่อนข้างพบว่าการใส่จำนวนร้อยละ 0.25 และร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ก็สามารถปรับปรุงค่าความแข็งแรงต่อการโค้งได้แล้ว (23)

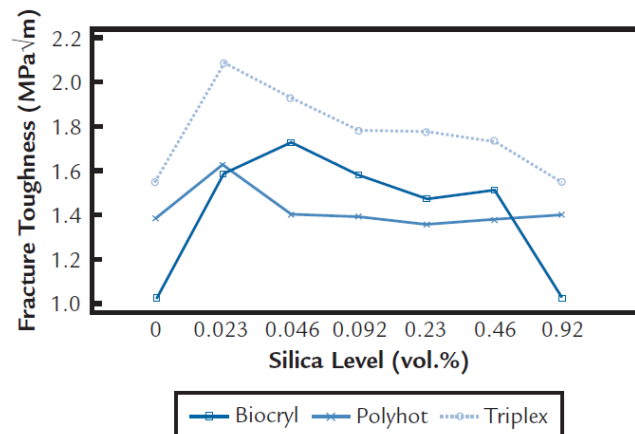
SALMAN และคณะ (20) ศึกษาเปรียบเทียบผลของการใส่นาโนซิลิกาเป็นวัสดุอัดแทรกที่มีแบบอสัณฐานและรูปแบบผลึก ต่อคุณสมบัติด้านทานแรงกระแทกและคุณสมบัติความแข็งแรงต่อการโค้งของ พอลิเมทิลเมทาคริเลต โดยแบ่งกลุ่มออกเป็นตามปริมาณที่เติมวัสดุอัดแทรกคือ ร้อยละ 3, 5, และ 7 โดยน้ำหนัก ซึ่งผลการทดลองพบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกมีค่ามากที่สุดในกลุ่มทดลองที่ใส่นาโนซิลิการูปแบบอสัณฐานปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก โดยอธิบายไว้ว่ายิ่งเติมวัสดุอัดแทรกปริมาณมากค่าทดสอบจะน้อยลงตาม เนื่องด้วยนาโนซิลิกาจะเกาะกลุ่มและละลายยากในเรซินของโพลีเมอร์ ส่วนค่าความแข็งแรงต่อการโค้งมีค่ามากที่สุดในกลุ่มที่ใส่นาโนซิลิการูปแบบผลึกปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ภาพที่ 2) โดยให้เหตุผลที่มีค่ามากกว่า เนื่องจากผลของความแข็งแรงที่พื้นผิวระหว่างนาโนซิลิกากับเรซินเมทริกซ์ จากพันธะเชื่อมขวาง (cross-link bonding) ที่ปกคลุมนาโนซิลิกา ทำให้สามารถป้องกันการแพร่กระจายของรอยแตกในชิ้นงานได้



ภาพประกอบ 2 แสดงแผนภูมิแท่งค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอในแต่ละกลุ่ม ซึ่งกลุ่มรูปแบบผลึก ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (5%NSS) มีค่ามากที่สุด

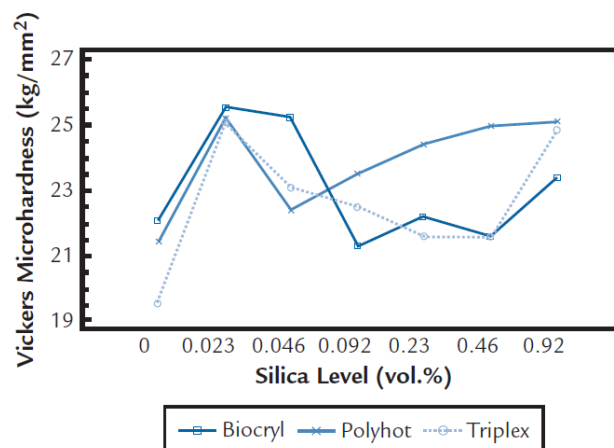
ที่มา : Salman AD et al. (2017).Comparative Study of the Effect of Incorporating SiO₂ Nano-Particles on Properties of Poly methyl Methacrylate Denture Bases

Balos และคณะ (21) ศึกษาทดลองใส่นาโนซิลิกาเป็นวัสดุอัดแทรกในพอลิเมทิลเมทาคริลเลทหลากหลายเครื่องหมายการค้าโดยใช้ปริมาณเล็กน้อย คือ ร้อยละ 0.023, 0.046, 0.091, 0.23, 0.46 และ 0.91 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบต่อคุณสมบัติเชิงกล คือ ค่าความแข็งระดับไมโคร (microhardness) และค่าความต้านทานการแตกหัก (fracture toughness) ซึ่งผลการทดลองพบว่าเกือบทุกเครื่องหมายการค้า ทั้งสองค่านี้นั้นสูงสุดในกลุ่มที่ใส่ปริมาณน้อย ๆ คือ ร้อยละ 0.023 โดยน้ำหนัก ซึ่งการใส่ไปปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ จะส่งผลให้อนุภาคนาโนซิลิกามีการเกาะจับกลุ่มกันเป็นก้อนเกิดการกระจายตัวน้อยลงในเรซินเมทริกซ์ ทำให้ค่าการทดสอบที่ได้น้อยลง ส่วนค่าความแข็งระดับไมโคร พบว่า ค่าสูงสุดในกลุ่มที่ใส่ปริมาณน้อยๆ และค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนมาสูงอีกครั้งในกลุ่มที่ใส่ปริมาณมากคือ ร้อยละ 0.91 โดยน้ำหนัก ซึ่งได้เหตุผลไว้ว่าอาจเพราะบริเวณรอยแตกในชิ้นงานจากการทดสอบมีการขยายเทียบเท่าพอๆ กับการเกาะกลุ่มของอนุภาคนาโนซิลิกาที่ใส่ในปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ



ภาพประกอบ 3 แสดงกราฟแผนภูมิเส้นค่าความต้านทานการแตกหักพบว่าเกือบทุกเครื่องหมายการทำให้ค่าสูงสุดในกลุ่มที่เติมร้อยละ 0.023 โดยน้ำหนัก

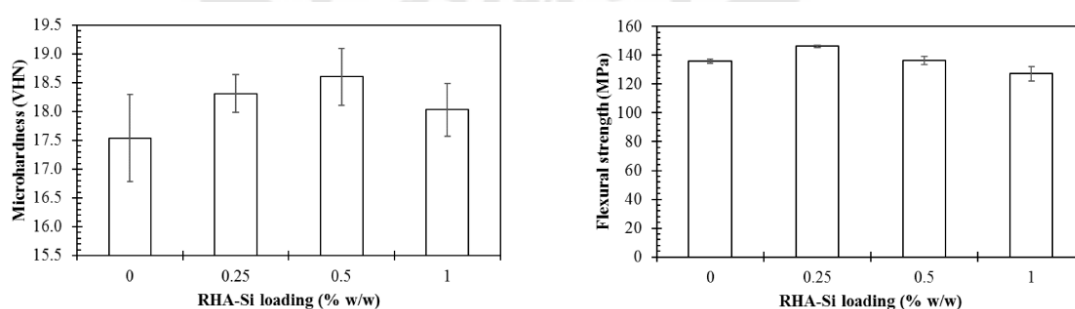
ที่มา : Balos S et al. (2014). Poly (methyl-methacrylate) nanocomposites with low silica addition



ภาพประกอบ 4 แสดงกราฟแผนภูมิเส้นค่าความแข็งระดับไมโครพบว่าทุกเครื่องหมายการทำให้ค่าสูงสุดในกลุ่มที่เติมร้อยละ 0.023 โดยน้ำหนักและค่อยๆเพิ่มในกลุ่มที่เติมร้อยละ 0.92 โดยน้ำหนัก

ที่มา : Balos S et al. (2014). Poly (methyl-methacrylate) nanocomposites with low silica addition

Wongwitthayakool และคณะ (22) ศึกษาการสกัดซิลิกาจากแกลบข้าวโดยไม่ได้ระบุขนาดอนุภาคที่ได้ โดยนำแกลบข้าวทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก แล้วนำมาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ซิลิกาออกมาในรูปแบบเถ้าสีขาวหรือแบบผง ตรวจสอบยืนยันผงที่ได้ว่าเป็นซิลิกาหรือไม่ โดยดูส่วนประกอบทางเคมีด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence spectrometer) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ชนิดของธาตุและปริมาณธาตุในสารตัวอย่างของผงเถ้าแกลบ วิเคราะห์โครงสร้างของสารที่ได้โดยใช้เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer) พบว่าในผงเถ้าแกลบนั้นซิลิกาส่วนใหญ่มีรูปแบบอสัณฐานนำมาทดสอบเป็นวัสดุอัดแทรกในพอลิเมทิลเมทาคริเลตเปรียบเทียบกับคุณสมบัติเชิงกล คือ ค่าความแข็งระดับไมโครและค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ โดยกลุ่มทดลองใส่ปริมาณร้อยละ 0.25, 0.5 และ 1 โดยน้ำหนัก ผลการทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอในกลุ่มร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก เพิ่มขึ้นและสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและเมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกา พบว่า ค่าที่ได้มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าความแข็งระดับไมโคร พบว่ามีค่าสูงขึ้นในกลุ่มร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักและมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมเพิ่มในกลุ่มร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก อันเนื่องเหตุผลมาจากยิ่งใส่ซิลิกาในปริมาณที่มากขึ้นทำให้อนุภาคเกิดการรวมตัวกันทำให้ลดค่าความแข็งแรง (ภาพที่ 5) โดยสรุปได้ว่าความเข้มข้นของซิลิกาจากแกลบข้าวปริมาณน้อยๆ สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมทิลเมทาคริเลตได้ ทั้งนี้การศึกษานี้ไม่ได้ปรับแต่งอนุภาคนาโนซิลิกาด้วยไซเลนก่อนนำมาทดสอบ



ภาพประกอบ 5 แสดงแผนภูมิแท่งของค่าความแข็งระดับไมโครและค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอในแต่ละกลุ่ม

ที่ ม ๑ : Wongwitthayakool P et al. (2019). Flexural Strength and Dynamic Mechanical Behavior of Rice Husk Ash Silica Filled Acrylic Resin Denture Base Material

ซิลิกา

ซิลิกา หรือ ซิลิกอนไดออกไซด์ เป็นสารประกอบระหว่างออกไซด์และซิลิกอนรวมตัวกันเป็นสูตรเคมี คือ SiO_2 ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีจำนวนมากพบได้ทั่วไปในธรรมชาติบนเปลือกโลก ในรูปของทรายหรือควอตซ์ มีประโยชน์หลายอย่างในแต่ละอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการผลิต โพลีเมอร์ ยาง พลาสติก สามารถนำมาเพิ่มความหนาแน่นและเสริมความแข็งแรงได้ อุตสาหกรรมหมึกพิมพ์ จารบี สี นำมาใช้ช่วยเพิ่มความหนืดได้ อุตสาหกรรมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมที่ต้องผ่านความร้อนสูงเนื่องด้วยคุณสมบัติมันทนความร้อนสูง ไม่ติดไฟง่าย เช่น การทำวัสดุทนไฟ สีทนความร้อน การทำเซรามิค เป็นต้น

ซิลิกามีคุณสมบัติเป็นของแข็ง ไม่ละลายน้ำ มีจุดหลอมเหลวสูงถึง $1713\text{ }^{\circ}\text{C}$ และจุดเดือดอยู่ที่มากกว่า $2200\text{ }^{\circ}\text{C}$ จึงไม่ลุกติดไฟง่าย จึงมักใช้นำมาทำอุตสาหกรรมที่ต้องผ่านความร้อนสูง อีกทั้งมีคุณสมบัติทนต่อสารเคมี ไม่ละลายในกรดทุกชนิด ยกเว้นกรดไฮโดรฟลูออริก ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับซิลิกาจนได้ H_2SiF_6

โครงสร้างซิลิกานั้นจะมีการจัดเรียงแบบเตตระฮีดรอล (tetrahedral) ชนิดตาข่าย 3 มิติแบบไม่รู้จัก ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 แบบ 1) รูปร่างแบบผลึก (crystalline silica) มีการจัดเรียงตัวของอะตอมในโครงสร้างที่เป็นระเบียบ มีรูปแบบผลึก 2) รูปร่างแบบอสัณฐาน (amorphous silica) มีการจัดเรียงตัวของอะตอมในโครงสร้างแบบไม่เป็นระเบียบ มีรูปแบบของแข็ง ไม่เป็นผลึก มีรูปไม่แน่นอน โดยสามารถสังเคราะห์ได้จากสิ่งมีชีวิต เช่น จากแก้วกลมขาว โดยซิลิกาแบบอสัณฐานจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าซึ่งอาจทำให้ไวต่อการเกิดปฏิกิริยามากกว่า (24) โดยการวิเคราะห์รูปร่างของสารนั้น จะใช้เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ถ้าหากกราฟกราฟมียอดโด่งบริเวณเดี่ยวที่ $2\theta = 21.7^{\circ}$ บ่งบอกว่าซิลิกาเป็นรูปแบบอสัณฐาน (22)

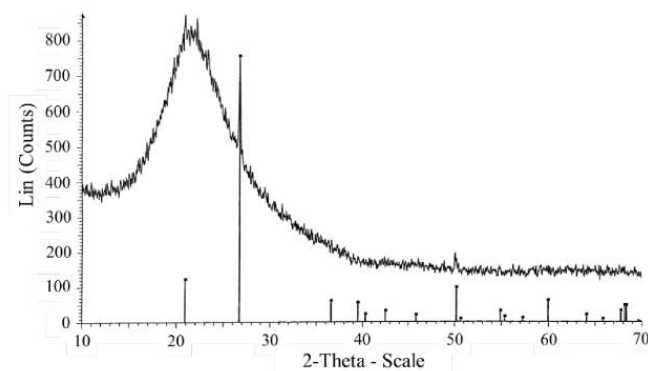


Fig. 1. XRD pattern of RHA-Si

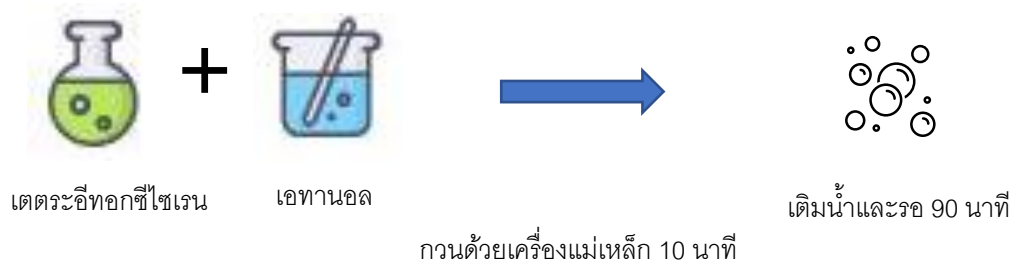
ภาพประกอบ 6 แสดงกราฟแผนภูมิเส้นวิเคราะห์โครงสร้างของซิลิกาที่สกัดจากแกลบข้าว โดยใช้เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ซึ่งพบว่ากราฟมียอดโด่งบริเวณเดียวที่ $2\theta = 21.7^\circ$ บ่งบอกว่าส่วนใหญ่เป็นซิลิกาแบบอสัณฐาน

ที่ ม า : Wongwitthayakool P et al. (2019). Flexural Strength and Dynamic Mechanical Behavior of Rice Husk Ash Silica Filled Acrylic Resin Denture Base Material

การเตรียมนาโนซิลิกา

1. การเตรียมนาโนซิลิกาจากสารเคมี

มีการศึกษาของ Bogush และคณะ (25) ศึกษาการเตรียมนาโนซิลิกาแบบรูปร่างทรงกลมกระจายเดี่ยว (monodisperse) โดยการเกิดปฏิกิริยาละลายพันธะด้วยน้ำ (hydrolysis) ของสารเตตระเอทอกซีไฮดรอกซีซิลาน (tetraethoxysilane) ในเอทานอล น้ำกลั่นและแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ซึ่งรูปร่างและขนาดของอนุภาคนาโนซิลิกาจะขึ้นกับความเข้มข้นของสาร โดยจากการศึกษา พบว่า ขนาดนาโนซิลิกา 36 นาโนเมตรนั้น เตรียมได้จากเติมสารเตตระเอทอกซีไฮดรอกซีซิลานจำนวน 8 มิลลิลิตรในเอทานอล 100 มิลลิลิตรและกวนด้วยเครื่องแม่เหล็กที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมน้ำโดยการหยดจำนวน 2 มิลลิลิตร เพื่ออำนวยความสะดวกให้เกิดปฏิกิริยาละลายพันธะด้วยน้ำของเตตระเอทอกซีไฮดรอกซีซิลาน หลังจากนั้น 90 นาที เติมแอมโมเนียไฮดรอกไซด์จำนวน 1 มิลลิลิตรซึ่งจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยรอการให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นเป็นเวลา 7 วัน จะได้อนุภาคนาโนซิลิกาออกมา



อนุภาคนาโนซิลิกา

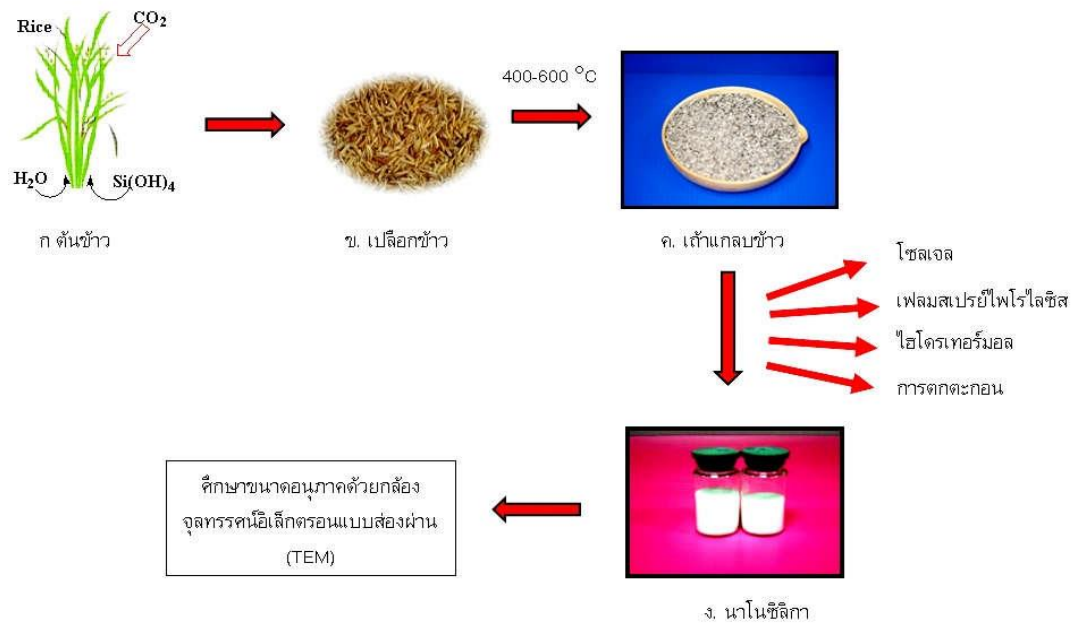
ภาพประกอบ 7 แสดงการเตรียมนาโนซิลิกาจากสารเคมี

2. การเตรียมนาโนซิลิกาจากแกลบข้าว (8)

โดยนำเปลือกข้าวมาเผาให้ได้เถ้าแกลบข้าวออกมา ซึ่งในแกลบข้าวนี้ก็มีซิลิกาอยู่แต่ยังมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ การเตรียมนาโนนั้นจะเป็นการเตรียมให้ได้ขนาดไม่เกิน 100 นาโนเมตร ใช้เทคนิคกระบวนการทางเคมี 4 วิธี คือ วิธีการตกตะกอน วิธีโซลเจล วิธีเฟลมสเปรย์ไพโรลิซิส และวิธีไฮโดรเทอร์มอล (ภาพที่ 8) โดยขนาดของอนุภาคก็จะขึ้นอยู่กับปัจจัยของแต่ละวิธี ซึ่งจะกล่าวถึงวิธีการตกตะกอนเพราะเป็นวิธีที่ง่ายและค่าใช้จ่ายถูก แต่ว่ามีข้อด้อยคือ จะเกาะกลุ่มง่ายและมีขนาดอนุภาคไม่ค่อยสม่ำเสมอ (8)

รอปฏิกิริยา 7 วัน

เติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์



ภาพประกอบ 8 แสดงการเตรียมนาซิลิกาจากแกลบข้าวด้วยวิธีต่างๆ

ที่มา : ทวดอาจ ภ. (2018). การศึกษานาซิลิกาจากของเหลือทิ้งทางการเกษตรสู่วัสดุเชิงพาณิชย์

วิธีการตกตะกอน (Precipitation) เป็นการเติมสารละลายให้เกิดปฏิกิริยาอย่างช้าๆ และคนสารละลายอย่างให้สม่ำเสมอทั่วถึง แล้วตกตะกอนออกมาเป็นอนุภาคนาซิลิกา (ภาพที่ 9) ซึ่งอาศัยความดันและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งกระบวนการหลักจะประกอบด้วย การเกิดนิวเคลียสและการเติบโตขึ้นจากการเกิดสารละลายอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturated solution) โดยถ้าอัตราการเกิดนิวเคลียสที่สูงขึ้นนั้น จะทำให้ได้ตะกอนที่มีขนาดอนุภาคเล็กลงได้ (8)

ชนิดของธาตุและปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง โดยจะพบว่ามีซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO₂) ในปริมาณที่สูงมากกว่า 90 %

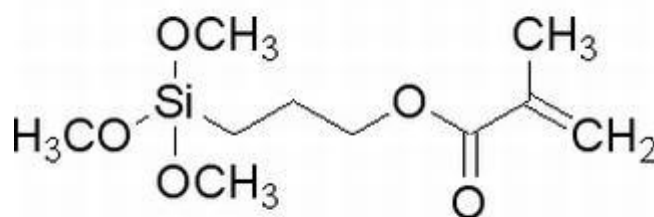
ตาราง 1 แสดงการวิเคราะห์ชนิดของธาตุและปริมาณธาตุในสารตัวอย่างของผงเถ้าแกลบซึ่งพบว่ามีซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO₂) ร้อยละ 93.8 ยืนยันว่าเป็นอนุภาคซิลิกา

Components expressed as oxides	Amount (% w/w)
SiO ₂	93.8
P ₂ O ₅	0.542
CaO	0.458
MgO	0.221
Al ₂ O ₃	0.217
K ₂ O	0.203
SO ₃	0.148
Fe ₂ O ₃	0.123
Na ₂ O	0.111
Others	4.177

ที่ ม ๑ : Wongwitthayakool P. et al. (2019). Flexural Strength and Dynamic Mechanical Behavior of Rice Husk Ash Silica Filled Acrylic Resin Denture Base Material

ไซเลนและกลไกการปรับแต่งซิลิกาด้วยไซเลน

ไซเลนที่นิยมใช้ปรับแต่งผิวซิลิกาก่อนนำมาเติมวัสดุทางทันตกรรม คือ แกมมาเมทาไคลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน (γ -methacryloxypropyl trimethoxysilane) หรืออีกชื่อตามสูตรเคมี (2-Propenoic acid, 2-methyl-, 3-(trimethoxysilyl)propyl ester) (ภาพที่ 10)



ภาพประกอบ 10 แสดงสูตรเคมีของแกมมาเมทาโคลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน

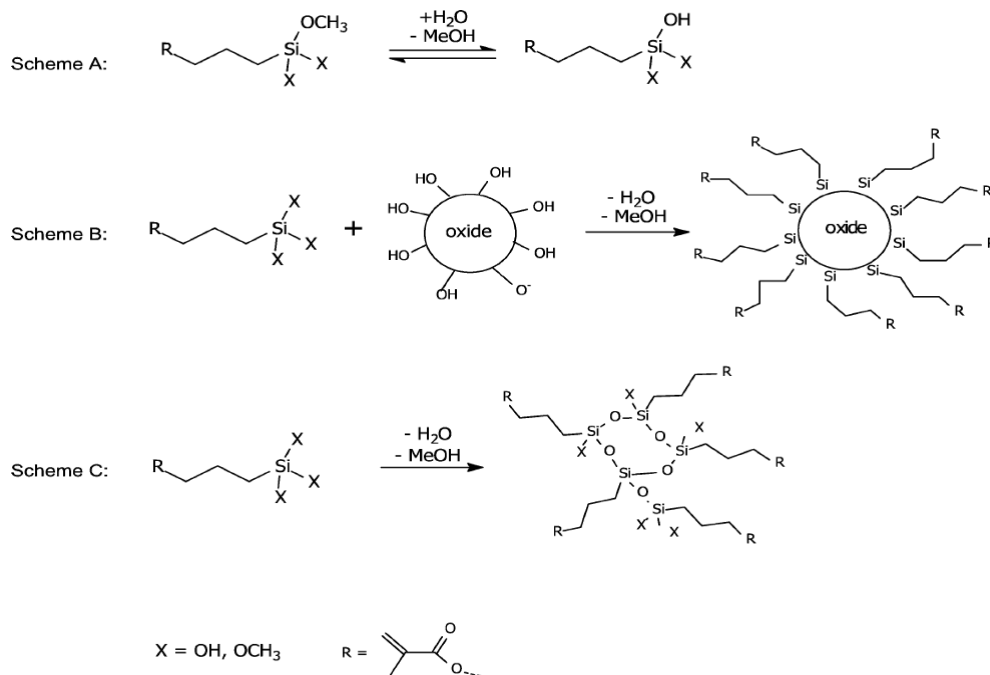
ที่มา : ChemBK.(2022). γ -methacryloxypropyltrimethoxysilane structural formula

โดยซิลิกาเป็นอนุภาคอินทรีย์ไม่สามารถกระจายได้ในสารอินทรีย์ที่ไม่มีขั้วดังเช่น โพลีเมอร์ต่างๆ จึงต้องใช้ไซเลนช่วยให้เกิดการกระจาย ซึ่งในขั้นตอนปรับแตงนาโนซิลิกาด้วยไซเลนจะมีปฏิกิริยา 2 แบบ ที่เกิดไปพร้อมๆ กันดังแผนผังจำลอง (ภาพที่ 11) แสดงการเกิดปฏิกิริยาของไซเลนกับผิวอนุภาคออกไซด์ และเกิดปฏิกิริยาจับตัวกันเองของไซเลนไปพร้อมๆ กัน

แผนผัง A (Scheme A) แสดงสารตั้งต้นเป็นมอนอเมอร์แกมมาเมทาโคลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ด้วยสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์เปลี่ยนไซเลนจากพันธะที่มี Si-OCH₃ เป็น Si-OH ทำให้่วงไวต่อการเกิดปฏิกิริยาขึ้น

แผนผัง B (Scheme B) แสดงไซเลนเข้าไปยึดติดกับอนุภาคออกไซด์ ซึ่งไม่ได้มีเพียงแต่ไซเลนที่เป็นมอนอเมอร์เท่านั้น แต่ยังมีไซเลนขนาดไดเมอร์และโอลิโกเมอร์ที่ทำปฏิกิริยากับผิวอนุภาคออกไซด์ด้วย

แผนผัง C (Scheme C) แสดงไซเลนขนาดมอนอเมอร์ทำปฏิกิริยาจับกันเป็นขนาดใหญ่ขึ้นเรียกว่า ไซเลนความเข้มข้นเดี่ยว (homocondensation) ซึ่งถ้าหากมันเกิดปฏิกิริยากันเร็วกว่าการที่เกิดพันธะกับอนุภาคออกไซด์ บางทีอาจทำให้ไซเลนเกิดพันธะกับผิวของอนุภาคออกไซด์ได้น้อยลง



ภาพประกอบ 11 แสดงปฏิกิริยาของไซเลนกับอนุภาคออกไซด์

ที่มา : Posthumus W et al. (2004). Surface modification of oxidic nanoparticles using 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane

มีการศึกษาของ Jiangkongkho และคณะ (27) นำนาโนซิลิกาที่ได้จากการสกัดทางเคมี รูปร่างทรงกลมขนาด 36 นาโนเมตร มาปรับแต่งด้วยแกมมาเมทาโคลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลนก่อนนำไปเป็นวัสดุอุดแทรกในพอลิเมทิลเมทาคริเลต โดยจากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างไซเลนและนาโนซิลิกาคือ 0.246 กรัม (ไซเลน) ต่อ 1 กรัม (นาโนซิลิกา) และเมื่อนำไปเป็นวัสดุอุดแทรก พบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอมากขึ้น และมากสุดในกลุ่มที่เติมร้อยละ 1% โดยน้ำหนัก ที่ 105.8 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เมื่อเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ได้เติมวัสดุอุดแทรกที่ 85.2 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเติมนาโนซิลิกาที่ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเลนสามารถปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล คือค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอได้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุ

1. วัสดุฐานพื้นเทียมเรซินอะคริลิก ชนิดบ่มด้วยความร้อน (เครื่องหมายการค้า Acry Pol-R ผลิตโดยบริษัท Ruthinium ประเทศอิตาลี)
2. นาโนซิลิกาจากเถ้าแกลบข้าว (คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
3. กระดาษทราย No.500, 1000, 1200
4. แท่งเหล็กไร้สนิมที่มีช่องขนาด $3.3 \times 10 \times 64$ ลูกบาศก์มิลลิเมตร
5. ปูนพลาสติกสำหรับงานทันตกรรม Type II (บริษัทเชียงใหม่)
6. สารคั่นกลาง (Separating media)
7. ขี้ผึ้งสีชมพู (pink wax)
8. พลาสติกใสบาง

สารเคมี

9. แกมมาเมทาไคลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน (γ -methacryloxypropyl trimethoxysilane) (ผลิตโดยบริษัท Alfa Aesar ประเทศอังกฤษ)
10. เอทานอล
11. ไอโซโพรพานอล

เครื่องมือ

12. ภาชนะแบบหล่อทองเหลือง (Hanau flask)
13. เครื่องตັม
14. เครื่องวัดระยะแบบดิจิตอล (Digital Vernier caliper) (ผลิตโดยบริษัท Mitutoyo ประเทศญี่ปุ่น)
15. เครื่องปั้นเหนียงแม่เหล็ก
16. เตาอบ
17. เครื่องสั่นอัลตราโซนิค
18. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine) (ผลิตโดยบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น)
19. เครื่องอบแห้งโดยใช้ลมร้อน

20. เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

การดำเนินงานวิจัย

1) การเตรียมนาโนซิลิกาโดยการปรับแต่งด้วยไซเลน

ปริมาณของแกมมาเมทาโคลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลนที่ใช้สำหรับปรับแต่งนาโนซิลิกานั้นจะคำนวณโดยใช้สมการของ Posthumus ดังนี้

$$X = m_{\text{silica}} \times MW_{\text{MPS}} \times M_{\text{MPS}} \times \text{BET}_{\text{silica}} \times 10^{-6} \quad \text{สมการที่ 3}$$

โดย x คือ ปริมาณของไซเลน (กรัม)

m_{silica} คือ ปริมาณของนาโนซิลิกา (กรัม)

MW_{MPS} คือ น้ำหนักโมเลกุลของแกมมาเมทาโคลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน (248.35 กรัม/โมล)

M_{MPS} คือ ปริมาณของแกมมาเมทาโคลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลนที่จะปกคลุมพื้นผิวอนุภาคให้ทั่วแบบโมโนเลเยอร์ในพื้นที่ผิว 1 ตารางเมตร (6.9 ไมโครโมล/ตารางเมตร)

$\text{BET}_{\text{silica}}$ คือ ขนาดพื้นที่ผิวของอนุภาคนาโนซิลิกาที่นำมาศึกษา (ตารางเมตร/กรัม)

เริ่มแรกส่งตัวอย่างนาโนซิลิกาไปวิเคราะห์พื้นที่ผิว (Surface area) ทำให้ได้ค่าตัวแปร $\text{BET}_{\text{silica}}$ แล้วนำมาคำนวณในสมการ เมื่อคำนวณปริมาณของไซเลนที่จะเติมใส่นาโนซิลิกาได้แล้ว นำไซเลนมาละลายก่อนในเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำนาโนซิลิกามาเติมใส่และกวนให้เข้ากันโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็กที่ความเร็ว 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดแล้วสารผสมจะถูกปล่อยให้เย็น จากนั้นนำมาเจือจางกับไอโซโพรพานอลที่อัตราส่วน 3 ต่อ 1 เพื่อปรับปรุงความสามารถในการละลายได้ของไซเลนที่มีความเข้มข้นเดี่ยว (homocondensation) นำตัวอย่างนี้มาหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 20000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จะได้สารแขวนลอยแยกชั้นซึ่งส่วนของเหลวใสข้างบนที่มีส่วนประกอบของไซเลนที่มีความเข้มข้นเดี่ยวและไซเลนที่ไม่เกิดปฏิกิริยา โดยให้แยกตะกอนออกมาเพราะมีส่วนประกอบของนาโนซิลิกาที่ปรับแต่งด้วยไซเลน จากนั้นนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50±5 องศาเซลเซียส ในเตาอบเป็นเวลา 16 ชั่วโมง (ภาพที่ 12)

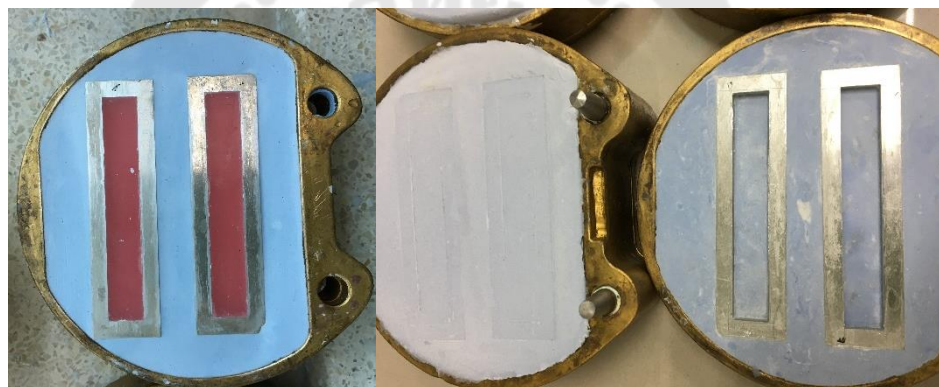


ภาพประกอบ 12 แสดงผังการเตรียมนาโนซิลิกาโดยการปรับแต่งด้วยซิลเลน

เมื่อได้นาโนซิลิกาที่ผ่านการปรับแต่งด้วยซิลเลนแล้ว เพื่อยืนยันผลการเตรียมนาโนซิลิกาว่าอนุภาคที่ได้มีซิลเลนมาทำปฏิกิริยาจริง ต้องส่งตรวจเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier transform Infrared (FTIR) Spectroscopy) เป็นวิธีการที่ใช้วิเคราะห์จำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ รวมถึงพันธะเคมีหรือหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลได้ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง ช่วงความยาวคลื่น (l) 2.5 - 50 mm และช่วงเลขคลื่น $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งส่งอนุภาคนาโนซิลิกาทั้งที่ผ่านการปรับแต่งด้วยซิลเลนและไม่ผ่านการปรับแต่งด้วยซิลเลนไปตรวจสอบ เพื่อเปรียบเทียบยืนยันผลการเตรียมสาร โดยจุดที่จะเกิดความแตกต่างกันคือ นาโนซิลิกาที่ผ่านการปรับแต่งด้วยซิลเลนจะมีแถบของสารอินทรีย์ด้วย เช่น C=O

2) การเตรียมชิ้นงาน

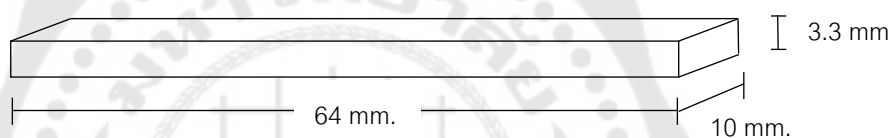
การเตรียมแม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานอะคริลิก จำเป็นต้องขึ้นแม่พิมพ์โดยใช้แท่งเหล็กไร้สนิมที่มีช่องตรงกลางขนาด $3.3 \times 10 \times 64$ ลูกบาศก์มิลลิเมตร ตามไอเอสไอ 20795-1 (ISO 20795-1) โดยเริ่มแรกนำซีฟี่งสีชมพูมาปิดช่องในแท่งเหล็กไร้สนิมจนเต็มก่อนแล้วทาสารคั่นกลาง (Separating media) จากนั้นใช้ปูนปลาสเตอร์สำหรับงานทันตกรรม type II เทลงในภาชนะแบบหล่อทองเหลืองทั้งสองฝา นำแท่งเหล็กไร้สนิมที่เตรียมไว้ก่อนหน้าแล้วมากดลงในปูนปลาสเตอร์ของแบบหล่อทองเหลืองฝาล่างเต็มส่วน จากนั้นใช้พลาสติกใสบางคลุมและนำส่วนบนของภาชนะแบบหล่อทองเหลืองมาประกบเข้า รอจนกว่าปูนปลาสเตอร์แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ และภาชนะแบบหล่อทองเหลืองออกจากกัน นำภาชนะแบบหล่อทองเหลืองส่วนล่างไปใส่ซีฟี่งสีชมพูออกจากแม่พิมพ์ด้วยน้ำร้อน ก็จะได้แม่พิมพ์สำหรับการเตรียมชิ้นงานอะคริลิก (ภาพที่ 14)



ภาพประกอบ 13 แสดงแม่พิมพ์ขึ้นงานก่อนใส่ซีฟี่งสีชมพูออกและแม่พิมพ์ที่พร้อมใช้งานแล้ว

โดยกลุ่มควบคุมเตรียมชิ้นงานฐานฟันเทียมอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ผสมจนถึงระยะที่ปั้นได้ (Dough stage) จากนั้นนำเข้าแม่พิมพ์ทำการปิดภาชนะแบบหล่อทองเหลือง และกดอัดเป็นระยะเวลา 30 นาที เพื่อให้มอโนเมอร์แทรกซึมเข้าไปในพอลิเมอร์อย่างสมบูรณ์ จากนั้นนำภาชนะแบบหล่อทองเหลืองไปบ่มในเครื่องต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 90 นาที แล้วก็นำภาชนะแบบหล่อทองเหลืองมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เย็นลง และภาชนะแบบหล่อทองเหลืองออก จากนั้นนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ชัดด้วยกระดาษทรายความละเอียด 500, 1000, 1200 ตามลำดับเพื่อกำจัดครีบและส่วนเกิน วัดชิ้นงานด้วยเครื่องวัดระยะแบบดิจิตอลเพื่อคัดแยกชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐานออก (ภาพที่ 15)

กลุ่มทดลองอื่นอีก 3 กลุ่มการทดลองใช้อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนเตรียมชิ้นงานในรูปร่างลักษณะเดียวกัน โดยนำนาโนซิลิกาที่ปรับแต่งด้วยไฮโดรเจนออกไซด์เป็นร้อยละ 0.25, 0.5, และ 1 โดยน้ำหนักต่อส่วนเหลวมอนอเมอร์ นำมาผสมกับส่วนเหลวมอนอเมอร์ จากนั้นทำการผสมมอนอเมอร์ที่มีซิลิกาเข้ากับพอลิเมอร์จนถึงระยะที่ปั่นได้นำเข้าแม่พิมพ์ในภาชนะแบบหล่อทองเหลือง ทำลักษณะเดียวกันกับกลุ่มควบคุม เมื่อได้ชิ้นงานนำมาขัดด้วยกระดาษทรายเพื่อกำจัดครีบและส่วนเกิน โดยในแต่ละกลุ่มการทดลองทั้งหมด 4 กลุ่ม เตรียมจำนวน ชิ้นงานสำหรับการทดลองจากการคำนวณกลุ่มตัวอย่างโดยโปรแกรม G*Power (<http://www.psych.uni-duesseldorf.de/abteilungen/aap/gpower3/>) ซึ่งได้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 32 ชิ้น แบ่งเป็นกลุ่มละ 4 ชิ้น



ภาพประกอบ 14 แสดงแบบจำลองขนาดและรูปร่างของชิ้นงานที่ได้ 3.3x10x64 ลูกบาศก์ มิลลิเมตร

3) การทดสอบชิ้นงาน

การทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ

ทุกชิ้นงาน จะถูกนำมาทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ ใช้การทดสอบการดัดงอแบบ 3 จุด (3-point bending test) โดยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ใช้อัตราการกดที่ 5 มิลลิเมตรต่อนาทีและแรงขนาด 50 นิวตัน กดลงบริเวณกึ่งกลางของชิ้นงาน จนกว่าชิ้นงานจะแตกหัก แล้วทำการบันทึกข้อมูลค่าแรง สุดท้ายก่อนที่จะเกิดการแตกหักของชิ้นงาน (ภาพที่ 16) จากนั้นนำชิ้นงานมาศึกษาบริเวณที่แตกหักโดยใช้เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยสูตรคำนวณหาค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (สมการที่ 4) ดังนี้

$$FS = 3PL/2bd^2$$

สมการที่ 4

โดย FS คือ ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร)

P คือ ค่าแรงสุดท้ายก่อนการแตกหัก (นิวตัน)

L คือ ระยะระหว่างฐานจุดค้ำชิ้นงาน (มิลลิเมตร)

- b คือ ความกว้างของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
- d คือ ความหนาของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)



ภาพประกอบ 15 แสดงการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอของชิ้นงาน

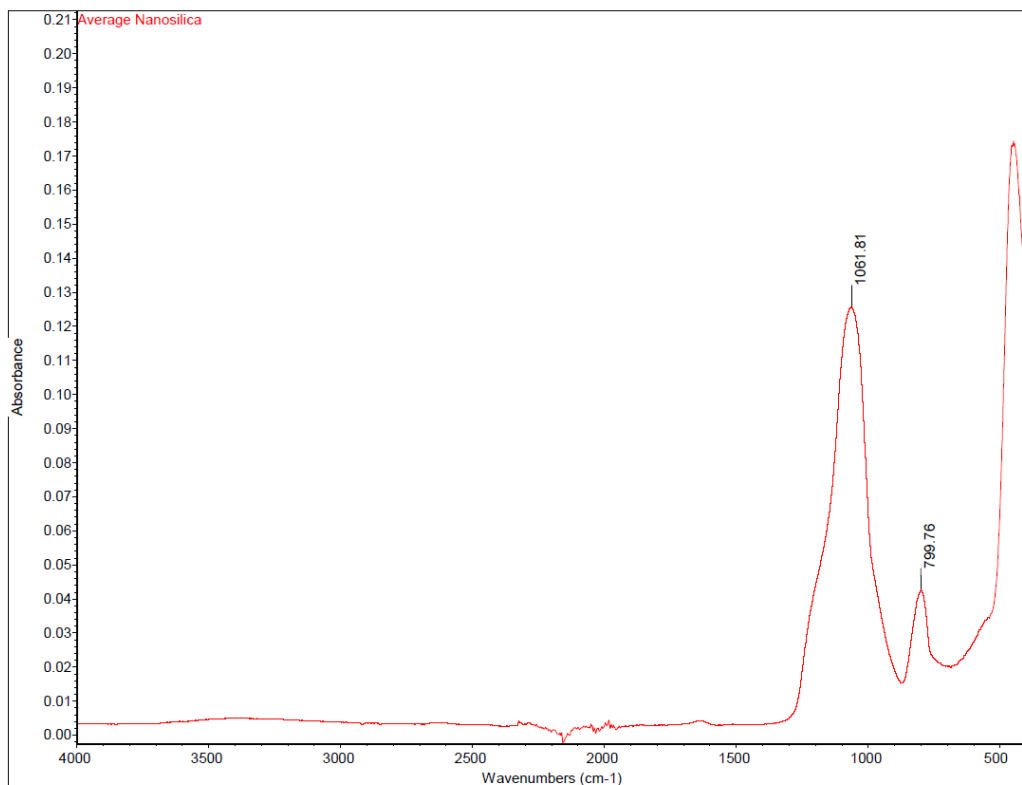
การรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ทางสถิติในงานวิจัยนี้ทำโดยใช้โปรแกรม IBM SPSS statistics version 24 ทำการทดสอบการกระจายของข้อมูลด้วยการทดสอบชาapiro-วิลค์ (Shapiro-Wilk) และวิเคราะห์ข้อมูล ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอของชิ้นงานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบหาคู่ที่แตกต่างด้วยทิวคีย์เทสต์ (Tukey's Multiple Comparison test)

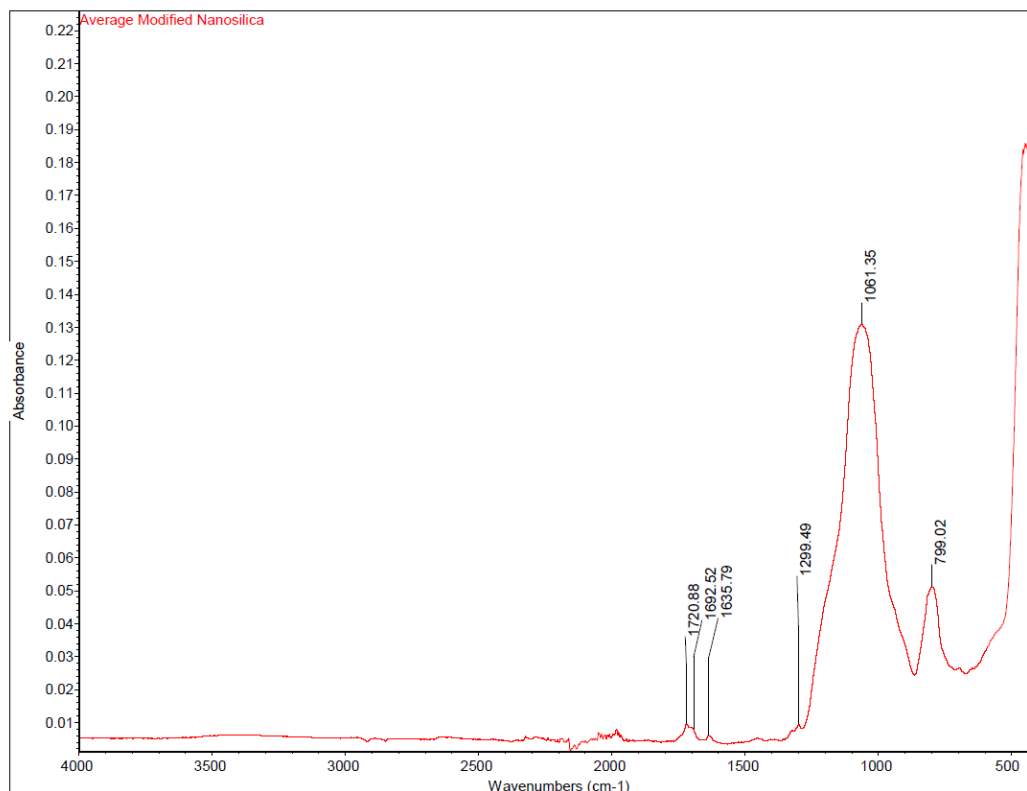
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย

การยืนยันผลการเตรียมนาโนซิลิกาที่ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเลน

โดยการส่งตรวจเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์จำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์และพันธะเคมีหรือหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุล ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ทำให้เกิดช่วงกลาง ช่วงความยาวคลื่น (l) 2.5 - 50 mm ช่วงเลขคลื่น 4000 - 400 cm^{-1} โดยผลการตรวจของทั้งนาโนซิลิกาที่ไม่ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเลน (ภาพที่ 16) และนาโนซิลิกาที่ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเลน (ภาพที่ 17) จะมีความคล้ายคลึงกันของกราฟ แต่มีช่วงระยะ 1600 – 1800 cm^{-1} และช่วงระยะ 1300 cm^{-1} ที่แตกต่างกันซึ่งพบเฉพาะในกราฟของนาโนซิลิกาที่ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเลน



ภาพประกอบ 16 แสดงการตรวจเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีของนาโนซิลิกาที่ไม่ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเลน



ภาพประกอบ 17 แสดงการตรวจเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีของนาโนซิลิกาที่ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเรน

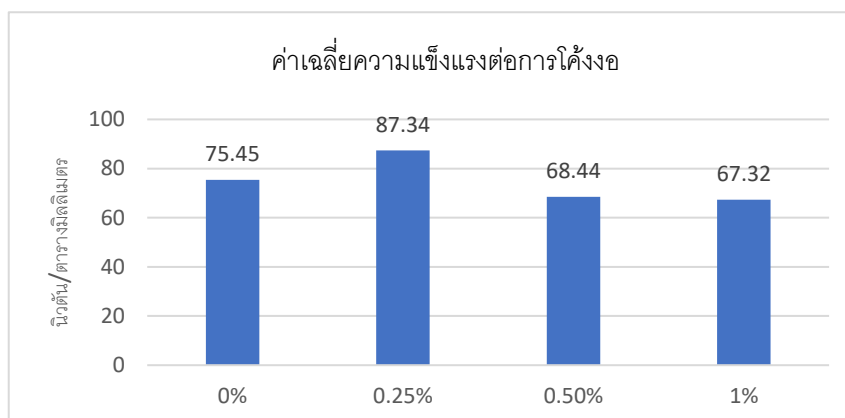
ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ

ผลการทดสอบชิ้นงานทั้ง 4 กลุ่ม ทั้งหมด 32 ชิ้นงาน ดังนี้ (ตารางที่ 2) กลุ่มที่เติมร้อยละ 0 ค่าเฉลี่ย 75.45 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 7.53 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร กลุ่มที่เติมร้อยละ 0.25 ค่าเฉลี่ย 87.34 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.62 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร กลุ่มที่เติมร้อยละ 0.5 ค่าเฉลี่ย 68.44 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 8.48 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร กลุ่มที่เติมร้อยละ 1 ค่าเฉลี่ย 67.32 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.75 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร นำข้อมูลมาทดสอบการกระจายของข้อมูลด้วยการทดสอบชาปิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk) พบว่า p value > 0.05 (0.063) ซึ่งยอมรับสมมติฐาน (H_0) เป็นการแจกแจงข้อมูลปกติ

ตาราง 2 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ

ชั้นงาน	กลุ่ม			
	0%	0.25 %	0.5 %	1 %
1	62.84	91.65	65.32	69.83
2	76.68	75.52	73.01	64.37
3	87.42	86.66	65.69	63.89
4	69.5	91.23	62.81	67.44
5	80.87	82.84	55.31	67.87
6	79.6	89.41	82.81	68.14
7	74.39	91.14	75.66	71.87
8	72.26	90.27	66.91	65.18
ค่าเฉลี่ย	75.45	87.34	68.44	67.32
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	7.53	5.62	8.48	2.75

ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอเมื่อเติมนานโนซิลิกาที่ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเรนใน
กลุ่มต่างๆ แสดงดังแผนภูมิในภาพที่ 18 กลุ่มที่เติมร้อยละ 0.25 ให้ค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ส่วนกลุ่มที่ให้
ค่าน้อยที่สุดคือกลุ่มที่เติมร้อยละ 1 ซึ่งเมื่อนำมาทดสอบสถิติพบว่า ข้อมูลมีความแปรปรวนเท่ากันที่
 $p \text{ value} > 0.05$ โดยมีอย่างน้อยหนึ่งกลุ่มที่แตกต่าง $p \text{ value} < 0.05$ โดยกลุ่มที่เติมร้อยละ 0.25
แตกต่างจากกลุ่มอื่นๆ ทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p \text{ value} < 0.05$ ส่วนกลุ่มอื่น ๆ พบว่า
ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p \text{ value} > 0.05$ (ภาพที่ 19)



ภาพประกอบ 18 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอของชิ้นงานในแต่ละกลุ่ม

Multiple Comparisons

Dependent Variable: ค่าแรง

Tukey HSD

(I) กลุ่ม	(J) กลุ่ม	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1.00	2.00	-11.89500*	3.23876	.005	-20.7378	-3.0522
	3.00	7.00500	3.23876	.159	-1.8378	15.8478
	4.00	8.12125	3.23876	.081	-.7216	16.9641
2.00	1.00	11.89500*	3.23876	.005	3.0522	20.7378
	3.00	18.90000*	3.23876	.000	10.0572	27.7428
	4.00	20.01625*	3.23876	.000	11.1734	28.8591
3.00	1.00	-7.00500	3.23876	.159	-15.8478	1.8378
	2.00	-18.90000*	3.23876	.000	-27.7428	-10.0572
	4.00	1.11625	3.23876	.986	-7.7266	9.9591
4.00	1.00	-8.12125	3.23876	.081	-16.9641	.7216
	2.00	-20.01625*	3.23876	.000	-28.8591	-11.1734
	3.00	-1.11625	3.23876	.986	-9.9591	7.7266

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ภาพประกอบ 19 แสดงสถิติหาคู่ที่แตกต่างกัน

บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย

อภิปรายผลการวิจัย

การยืนยันผลการเตรียมนาโนซิลิกาโดยการสังเคราะห์เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีนั้น เป็นเทคนิคที่ใช้ในการจำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุล รวมถึงสามารถบอกถึงปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารผสมตัวอย่างที่มีทราบชนิดโดยทำการตรวจวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของตัวอย่างที่ความถี่ต่างๆ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละพันธะ(28) จากภาพที่ 20 ค่าความถี่ดูดกลืนรังสีอินฟราเรดในนาโนซิลิกาที่ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเรนในกราฟ ซึ่งแตกต่างจากนาโนซิลิกาที่ไม่ผ่านการปรับแต่งไซเรน คือ 1720.88 cm^{-1} อนุมานได้ว่าเป็นพันธะของ C=O ที่มีในไซเรน ส่วนอีกสองค่าคือ 1692.52 cm^{-1} และ 1635.79 cm^{-1} อนุมานได้ว่าเป็นพันธะของ C=C ที่มีในไซเรน เช่นเดียวกัน

3633 cm^{-1}	secondary oxidized products
3473 cm^{-1}	O-H stretching vibration of hydro peroxide
$3006\text{-}3009\text{ cm}^{-1}$	C-H stretching vibration of the cis double bond
2854 cm^{-1}	C-H asymmetric stretching vibration aliphatic CH_2
2825 cm^{-1}	C-H symmetric stretching vibration aliphatic CH_2
$1745.\text{ cm}^{-1}$	C=O ester carbonyl double bond stretching of triglycerides
$1654\text{-}1659\text{ cm}^{-1}$	C=C stretching vibration of the cis olefins
$1460\text{-}1462\text{ cm}^{-1}$	deformations and bending of -C- H the CH_2 and CH_3 aliphatic groups
$1373.2\text{-}1377\text{ cm}^{-1}$	-C-H bending vibrations of CH_2 group
$1163.0\text{-}1236.3\text{ cm}^{-1}$	Stretching vibration of C-O
$908.2\text{-}970.2\text{ cm}^{-1}$	CH=CH trans unsaturation
723.3 cm^{-1}	(-CH ₂),-CH=CH- overlapping of the CH_2 rocking and the out of plane vibration of cis disubstituted olefins.

ภาพประกอบ 20 แสดงความสัมพันธ์ค่าความถี่ดูดกลืนรังสีอินฟราเรดต่อหมู่ฟังก์ชันต่างๆ

ที่มา : Verma G. (2016), FTIR Spectroscopy – A Technique for the Evaluation of Edible Oil Oxidation

จากผลการทดลองเติมนาโนซิลิกาจากแคลบข้าวที่ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเลนพบว่า ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอมีค่ามากขึ้นเมื่อเติมร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก และเมื่อเติมมากขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ทางสถิติ กลุ่มที่ไม่ได้เติมกับกลุ่มทดลองที่เติมร้อยละ 0.5 และ 1 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Balos และคณะ (21) ศึกษาทดลองใส่ นาโนซิลิกาเป็นวัสดุอัดแทรกในเรซินอะคริลิกในปริมาณน้อยๆ คือร้อยละ 0.023, 0.046, 0.091, 0.23, 0.46 และ 0.91 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบต่อคุณสมบัติเชิงกลชนิดอื่น คือ ค่าความแข็งระดับไมโคร (microhardness) และค่าความต้านทานการแตกหัก (fracture toughness) โดยผลการทดลองพบว่าทั้งสองค่านี้สูงที่สุดในกลุ่มที่ใส่ในปริมาณน้อย ๆ คือ ร้อยละ 0.023 โดยน้ำหนัก ซึ่งการใส่สารอัดแทรกไปปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ จะส่งผลให้อนุภาคนาโนซิลิกามีการเกาะจับกลุ่มกันเป็นก้อนเกิดการกระจายตัวน้อยลงในเรซินเมทริกซ์ ทำให้ค่าการทดสอบที่ได้จึงมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามหากเทียบกับการศึกษาที่วัดค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอเหมือนกัน จากการศึกษาของ SALMAN และคณะ (20) พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอเมื่อเติมนาโนซิลิการูปร่างอสัณฐานเป็นวัสดุอัดแทรกมากที่สุดในกลุ่มที่เติมร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ซึ่งแตกต่างจากงานของผู้วิจัย แต่การศึกษานี้ไม่ได้ปรับแต่งอนุภาคด้วยไซเลนก่อนนำมาเป็นวัสดุอัดแทรก

อนุภาคนาโนซิลิกาจากแคลบข้าวที่ส่วนใหญ่จะมีรูปร่างอสัณฐานเพราะสังเคราะห์จากธรรมชาติ โดยมีการทดลองก่อนหน้าของ Wongwittayakool และคณะ (22) ที่ศึกษาสกัดซิลิกาจากแคลบข้าวโดยนำแคลบข้าวทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก แล้วนำมาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ซิลิกาออกมาในรูปแบบเถ้าสีขาวหรือแบบผง จากนั้นตรวจสอบยืนยันผงที่ได้ว่าเป็นซิลิกาหรือไม่ โดยดูส่วนประกอบทางเคมีด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence spectrometer) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ชนิดของธาตุและปริมาณธาตุในสารตัวอย่างของผงเถ้าแคลบ และวิเคราะห์โครงสร้างของสารที่ได้โดยใช้เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer) พบว่าในผงเถ้าแคลบนั้นซิลิกาส่วนใหญ่มีรูปร่างอสัณฐาน เมื่อตรวจสอบยืนยันซิลิกาที่สังเคราะห์ได้ จึงนำมาทดสอบเป็นวัสดุอัดแทรกในเรซินอะคริลิกเปรียบเทียบกับคุณสมบัติเชิงกล คือ ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ พบว่าค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอในกลุ่มร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก เพิ่มขึ้นและสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกาพบว่าค่าที่ได้มีแนวโน้มลดลงคล้าย

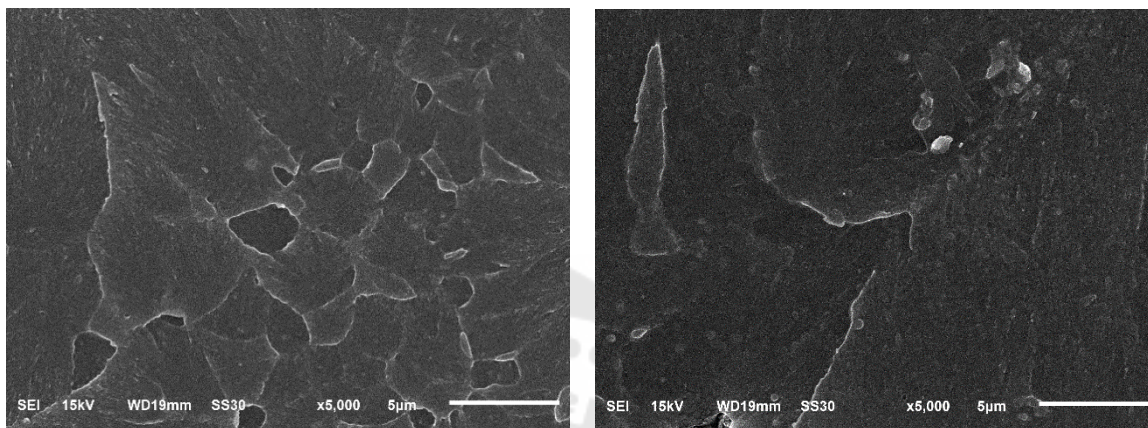
งานของผู้วิจัย แต่ว่าการศึกษานี้ไม่ได้ผ่านการปรับแต่งอนุภาคด้วยไซเลนเช่นเดียวกัน และไม่ได้ระบุขนาดของซิลิกาว่าเป็นขนาดนาโนหรือไม่

เนื่องด้วยอนุภาคซิลิกาเหล่านี้ที่เป็นสารอินทรีย์ไม่สามารถกระจายได้ในสารอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว เช่น โพลีเมอร์ต่างๆ ดังนั้นงานวิจัยในช่วงไม่กี่ปีจึงปรับการทดลองเพิ่มการใช้สารที่ช่วยให้กระจายมาปรับแต่งผิวซิลิกา ก่อน คือ แกมมาเมทาโคลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน ซึ่งตัวไซเลนนั้นจะเข้ามาเกาะสร้างพันธะเคมีที่ผิวของอนุภาคออกไซด์ ทำให้เมื่อนำไปเป็นวัสดุอุดแทรกในโพลีเมอร์สามารถกระจายละลายได้ดีขึ้น ซึ่งมีการทดลองของ Jiangkongkho และคณะ (27) วิเคราะห์ผลของการปรับแต่งผิวนาโนซิลิกาทรงกลม ขนาด 36 นาโนเมตรที่สังเคราะห์ได้จากสารเคมีด้วยไซเลนต่อคุณสมบัติเชิงกลคือ ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ พบว่าสามารถเพิ่มคุณสมบัติได้โดยกลุ่มที่เติมร้อยละ 1 โดยน้ำหนักให้ค่าเฉลี่ยมากที่สุด แตกต่างจากของผู้วิจัยที่พบว่าเติมปริมาณเล็กน้อยให้ค่ามากกว่า

อย่างไรก็ตามมีการวิเคราะห์หือภิมาน (meta-analysis) ของ Al-Thobity และ Gad (23) ที่ผลการวิเคราะห์แสดงถึงความไม่เห็นด้วยว่า การเติมนาโนซิลิกาเป็นวัสดุอุดแทรกจะมีผลเพิ่มความแข็งแรงต่อการโค้งงอในพอลิเมทิลเมทาคริเลตได้ ซึ่งมีการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในรูปแบบการศึกษาต่างๆ ที่แตกต่างกันออกไปพบว่า มีการศึกษาเติมเป็นวัสดุอุดแทรกตั้งแต่ร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก ถึงร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก โดยค่าการทดสอบที่ได้คือช่วง 41.25 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ถึง 124.56 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งของผู้วิจัยได้ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงออยู่ในช่วง 61.84 ถึง 91.65 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร โดยปัจจัยหลายๆ อย่างที่มีผลต่อการศึกษาดังกล่าว เช่น ความเข้มข้นที่ใส่เป็นวัสดุอุดแทรก ขนาดของชิ้นงานที่ทดสอบ การปรับแต่งด้วยไซเลน การจำลองสภาวะในรูปแบบต่างๆ ของชิ้นงานก่อนนำไปวัดค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ เป็นต้น ทั้งนี้การเติมในปริมาณน้อยๆ มีแนวโน้มที่สามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอได้ ซึ่งค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่ได้เติมวัสดุอุดแทรกตามไอเอสโอ 20795-1 ระบุไว้ ควรมีค่าขั้นต่ำที่ 65 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

เมื่อดูภาพที่ได้จากเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณที่มีการแตกหักเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่เติมและไม่ได้เติมวัสดุอุดแทรก จะพบว่าบริเวณชิ้นงานที่ไม่ได้เติมจะมีลักษณะผิวที่เรียบ เมื่อขยายเข้าไปจะพบเส้นของรอยแยก (ภาพที่ 21) โดยแตกต่างจากชิ้นงานที่ผ่านการเติมวัสดุอุดแทรกด้วยนาโนซิลิกาที่ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเลน (ภาพที่ 22) บริเวณที่แตกหักจะพบอนุภาควัสดุอุดแทรก ผิวมีลักษณะขรุขระ ไม่มีแนวรอยแยก และเห็นอนุภาคนาโนซิลิ

การกระจายทั่วไปเป็นกลุ่ม (ลูกศรขาว) ซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการพลังงานที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อให้วัสดุแตกหัก (27) ดังนั้นมันจึงสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอได้



ภาพประกอบ 21 รอยแตกหักขนาดกำลังขยาย 5000 เท่า จากตัวอย่างที่ไม่ได้เติมวัสดุอัดแทรกพบเป็นลักษณะผิวเรียบมีรอยแยก และภาพที่ 22 รอยแตกหักขนาดกำลังขยาย 5000 เท่าจากตัวอย่างที่เติมนาโนซิลิกาผ่านการปรับแต่งด้วยไซเรนพบเป็นลักษณะผิวขรุขระและเห็นอนุภาคนาโนซิลิกากระจายเป็นกลุ่มๆ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองและข้อจำกัดของงานวิจัยจึงสรุปได้ว่า การเติมนาโนซิลิกาจากเกลบข้าวที่ผ่านการปรับแต่งด้วยไซเรนเป็นวัสดุอัดแทรกในเรซินอะคริลิก พบว่าสามารถเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลได้ คือค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ ซึ่งการเติมร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอมากที่สุด อย่างไรก็ตามปัจจัยอีกหลาย ๆ อย่างก็ควรจะนำไปศึกษาอีกต่อไป เช่น การจำลองสภาวะเสมือนจริงในช่องปากก่อนนำมาทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ การทดสอบความเข้ากันได้กับชีวภาพ (biocompatibility) การนำมาศึกษาในวัสดุที่ซ่อมแซม (repair) เป็นต้น

บรรณานุกรม

1. Tandon R, Gupta S, Agarwal SK. Denture base materials: From past to future. *Indian J Dent Sci.* 2010;2(2):33-9.
2. Vojdani M, Giti R. Polyamide as a denture base material: A literature review. *Journal of Dentistry.* 2015;16(1 Suppl):1.
3. Beyli M, Von Fraunhofer J. An analysis of causes of fracture of acrylic resin dentures. *The Journal of prosthetic dentistry.* 1981;46(3):238-41.
4. Smith D. The acrylic denture mechanical evaluation mid-line fracture. *Br Dent J.* 1961;110:257-67.
5. Carroll C, Von Fraunhofer J. Wire reinforcement of acrylic resin prostheses. *The Journal of Prosthetic Dentistry.* 1984;52(5):639-41.
6. Sun L, Gibson RF, Gordaninejad F, Suhr J. Energy absorption capability of nanocomposites: a review. *Composites Science and technology.* 2009;69(14):2392-409.
7. Posthumus W, Magusin P, Brokken-Zijp J, Tinnemans A, Van der Linde R. Surface modification of oxidic nanoparticles using 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane. *Journal of Colloid and Interface Science.* 2004;269(1):109-16.
8. ทวดอาจ ภ. การศึกษานาโนซีลิกจากของเหลือทิ้งทางการเกษตรสู่วัสดุเชิงพาณิชย์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.* 2561;1.
9. McCabe JF, Walls AW. *Applied dental materials: John Wiley & Sons; 2013.*
10. El-Sheikh AM, Al-Zahrani SB. Causes of denture fracture: A survey. *Saudi dental journal.* 2006;18(3):149-54.
11. Tallgren A. The reduction in face height of edentulous and partially edentulous subjects during long-term denture wear a longitudinal roentgenographic cephalometric STUDY. *Acta odontologica scandinavica.* 1966;24(2):195-239.
12. Kydd WL. The comminuting efficiency of varied occlusal tooth form and the associated deformation of the complete denture base. *The Journal of the American Dental Association.* 1960;61(4):465-71.
13. Vivek R, Soni R. Denture base materials: Some relevant properties and their

determination. *Int J Dent Oral Health*. 2015;1(4):1-3.

14. Hild D, Schwartz P. Plasma-treated ultra-high-strength polyethylene fibres improved fracture toughness of poly (methyl methacrylate). *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 1993;4:481-93.

15. Sehajpal S, Sood V. Effect of metal fillers on some physical properties of acrylic resin. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1989;61(6):746-51.

16. Murthy HM, Shaik S, Sachdeva H, Khare S, Haralur SB, Roopa K. Effect of reinforcement using stainless steel mesh, glass fibers, and polyethylene on the impact strength of heat cure denture base resin-an in vitro study. *Journal of international oral health: JIOH*. 2015;7(6):71.

17. Asar NV, Albayrak H, Korkmaz T, Turkyilmaz I. Influence of various metal oxides on mechanical and physical properties of heat-cured polymethyl methacrylate denture base resins. *The journal of advanced prosthodontics*. 2013;5(3):241-7.

18. Jagger D, Harrison A, Jandt K. The reinforcement of dentures. *Journal of oral rehabilitation*. 1999;26(3):185-94.

19. Hasan SAB, Dimitrijević MM, Kojović A, Stojanović DB, Obradović-Đuričić K, Heinemann RMJ, et al. The effect of the size and shape of alumina nanofillers on the mechanical behavior of PMMA matrix composites. *Journal of the Serbian Chemical Society*. 2014;79(10):1295.

20. Salman AD, Jani GH, Fatalla AA. Comparative study of the effect of incorporating SiO₂ nano-particles on properties of poly methyl methacrylate denture bases. *Biomedical and Pharmacology Journal*. 2017;10(3):1525-35.

21. Balos S, Pilic B, Markovic D, Pavlicevic J, Luzanin O. Poly (methyl-methacrylate) nanocomposites with low silica addition. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2014;111(4):327-34.

22. Wongwitthayakool P, Sintunon T, Tanagetanasombat W, Soonthornchai P, Abbas AA, editors. Flexural Strength and Dynamic Mechanical Behavior of Rice Husk Ash Silica Filled Acrylic Resin Denture Base Material. *Key Engineering Materials*; 2019: Trans Tech Publ.

23. Al-Thobity AM, Gad MM. Effect of silicon dioxide nanoparticles on the flexural strength of heat-polymerized acrylic denture base material: A systematic review and meta-analysis. *The Saudi Dental Journal*. 2021;33(8):775-83.
24. KR I. *The chemistry of silica. Solubility, polymerization, colloid and surface properties and biochemistry of silica* 1979.
25. Bogush G, Tracy M, Zukoski Iv C. Preparation of monodisperse silica particles: control of size and mass fraction. *Journal of non-crystalline solids*. 1988;104(1):95-106.
26. Thuadaj N, Nuntiya A. Synthesis and characterization of nanosilica from rice husk ash prepared by precipitation method. *J Nat Sci Special Issue on Nanotechnology*. 2008;7(1):59-65.
27. Jiangkongkho P, Arksornnukit M, Takahashi H. The synthesis, modification, and application of nanosilica in polymethyl methacrylate denture base. *Dental materials journal*. 2018:2017-142.
28. Verma G, editor *FTIR Spectroscopy – A Technique for the Evaluation of Edible Oil Oxidation* 2016.

ประวัติผู้เขียน

