ศึกษาการเตรียมเครื่องมือจัดฟันแบบใสโดยใช้ผงแป้งข้าวเหนียว
STUDY ON THE PREPERATION OF CLEAR ALIGNER USING GLUTINOUS RICE FLOUR

นายพิชิตพงษ์ รุ่งเรือง รหัสนิสิต 56364557

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2560

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน ศึกษาการเตรียมเครื่องมือจัดฟันแบบใสโดยใช้ผงแป้งข้าวเหนียว
ผู้ดำเนินโครงการ นายพิชิตพงษ์ รุ่งเรือง รหัสนิสิต 56364557
ที่ปรึกษาโครงงาน ดร. ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์
สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสารหการ
ปีการศึกษา 2560

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ดร.ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์)

.....ประธานกรรมการ
(ดร.นฤมล สีพลไกร)

.....กรรมการ
(ดร.ชุลีพรย์ ป่าไร่)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ศึกษาการเตรียมเครื่องมือจัดฟันแบบใสโดยใช้ผงแป้งข้าวเหนียว
ผู้ดำเนินโครงการ	นายพิชิตพงษ์ รุ่งเรือง รหัสนิสิต 56364557
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2560

.....

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการเตรียมเครื่องมือจัดฟันแบบใสโดยใช้ผงแป้งข้าวเหนียวโดยผู้จัดทำโครงงานได้นำแป้งข้าวเหนียวไปใช้เตรียมเครื่องมือจัดฟันแบบใส โดยนำแป้งข้าวเหนียวไปกับของผสมเรซินและสารเพิ่มความแข็งในอัตราส่วนต่างๆ โดยทำการนำแป้งข้าวเหนียวมาผสมของผสมเรซินในอัตราส่วนร้อยล่ะ S1 (1:5), S2 (1:4.5), S3 (1:4), S4 (1:3.5), S5 (1:3), S6 (1:2.5), S7 (1:2), S8 (1:1.5), S9 (1:1), S10 (1:0.5) โดยปริมาณทั้งหมดแล้วทำการผสมแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนผสมกับของผสมเรซินเข้ากันแล้วปล่อยให้เซ็ตตัวระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทดสอบคุณสมบัติเชิงกล โดยการทดสอบความต้านทานแรงกดและการทดสอบความแข็ง จากการทดสอบสรุปได้ว่าปริมาณที่เหมาะสมในการใช้ส่วนผสมในอัตราส่วนร้อยละ S3 (1:4) เพราะมีค่าความต้านทานแรงกดที่สูงและมีค่าความแข็งที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นเมื่อได้อัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวที่ผสมกับของผสมเรซินที่ดีที่สุดแล้วนำมาผสมดินขาวที่อัตราส่วน SC1(100:0), SC2 (90:10), SC3 (80:20), SC4 (70:30), SC5 (60:40), SC6 (50:50) ,SC7 (40:60) ,SC8 (30:70), SC9 (20:80), SC10 (10:90) เพื่อให้ดินขาวมาช่วยเสริมแรงให้กับแป้งข้าวเหนียวเพื่อให้คุณสมบัติเชิงกลของแป้งข้าวเหนียวดีขึ้น จากการทดสอบสรุปได้ว่ามีค่าความต้านทานแรงกดเพิ่มขึ้นที่อัตราส่วนจนถึง SC4 (14:6) และจากนั้นเมื่อถึงตัวอย่าง SC5 (60:40)- SC10 (10:90) ค่าความต้านทานแรงกดลดลงเพราะปริมาณแป้งข้าวเหนียวลดลง และ ปริมาณดินขาวเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดเฟสไม่ต่อเนื่องค่าความต้านทานแรงกดลดลง จากการนำมาทดสอบค่าความแข็งพบว่าค่าความแข็งที่สูงที่สุดที่ SC1 และค่าความแข็งลดลงที่ SC2 (90:20)- SC10 (10:90) เพิ่มปริมาณดินขาวมากขึ้นพบว่าดินขาวเนื่องจากส่วนผสมของดินขาวและของผสมเรซิน (แป้งข้าวเหนียวผสมเรซินและสารเพิ่มความแข็ง) แล้วทำให้เฟสของเนื้อวัสดุผสมไม่มีความต่อเนื่องจึงทำให้ค่าความแข็งลดลงโดยสัดส่วนที่มีการเพิ่มดินขาวที่อัตราส่วน SC4 (14:6) พบว่าเป็นสัดส่วนที่มีความเหมาะสมในการนำไปพัฒนาเพื่อการใช้งานด้านการเตรียมเครื่องมือจัดฟันแบบใส

Project Title	Study on the preparation of clear aligner using glutinous Rice flour.
Name	Mr. Phichitphong Rungrueang ID. 56364557
Project Advisor	Dr. Piyanan Boonphayak
Major	Materials Engineering
Department	Industrial Engineering
Academic year	2560

.....

Abstract

This thesis was conducted to study the preparation of a transparent denture using glutinous rice flour. The glutinous rice flour mixed with a mixture of resin and hardener in various ratios. By mixing glutinous rice flour with a mixture of resin, S1 (1: 5), S2 (1: 4.5), S3 (1: 4), S4 (1: 3.5), S5 (1: 2.5), S7 (1: 2), S8 (1: 1.5), S9 (1: 1). Mix the resin and allow shet for 24 hours, then test the mechanical properties. By testing the pressure resistance and hardness test. From the test, it was concluded that the optimum amount of S3 (1: 4) was used because of its high strength and hardness. Then, when the ratio of glutinous rice mixed with the best resin mixture was adjusted to SC1 (100: 0), SC2 (90:10), SC3 (80:20), SC4 (70:30) SC5 (60:40), SC7 (40:60), SC8 (30:70), SC9 (20:80), SC10 (10:90). Glutinous rice flour to improve the mechanical properties of glutinous rice flour. The test results show that the resistance is increased to SC4 (14: 6). Then, when SC5 (60:40) to SC10 (10:90) is reached, the resistance decreases. The amount of glutinous rice flour decreased and the amount of kaolin increased. The discrete phase is reduced. The highest hardness value at SC1 and SC2 (90:20) - SC10 (10:90) increased kaolin content. It was found that kaolin due to the mixture of kaolin and resin mixture. It was found that the proportion of SC4 (14: 6) was higher than that of SC4 (14:6). Suitable for use in the development of Orthodontic preparation.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ได้คอยช่วยเหลือ ให้คำเสนอแนะ แนวคิด ตลอดจนแก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ ผู้จัดปริญญานิพนธ์เล่มนี้ต้องขอบพระคุณอย่างสูง ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ที่ประจำอยู่ห้องปฏิบัติการทดสอบทางวัสดุ และอาจารย์ที่ประจำอยู่อาคารปฏิบัติการทางวิศวกรรมอุตสาหการที่ได้สละเวลามาช่วยเหลือ ให้ยืมอุปกรณ์ ให้คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องทดสอบต่างๆ สำหรับปริญญานิพนธ์นี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่น้อง และญาติสนิททั้งหลาย ที่คอยดูแลให้คำแนะนำเป็นที่ปรึกษาในเรื่องต่างๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา ขอบคุณเพื่อนๆ ที่ช่วยเหลือคอยให้คำแนะนำในการทำเล่มปริญญานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงได้ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณแม่บ้านที่ประจำอยู่อาคารปฏิบัติการทางวิศวกรรมอุตสาหการที่ช่วยทำความสะอาดสิ่งสกปรกต่างๆ จากการทำงาน

ผู้จัดทำ
นายพิชิตพงษ์ รุ่งเรือง
พฤษภาคม 2561

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญต่อ ..... ฉ
สารบัญต่อ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญรูป ..... ฌ
สารบัญรูปต่อ ..... ญ
สารบัญสัญลักษณ์ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output) 2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลความสำเร็จ (Outcome) 2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน 2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน 3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 3
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 3

บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น 4
2.1 การจัดฟัน 4
2.2 วัสดุที่ใช้ในงานทันตกรรม 4
2.2.1 ประเภทโลหะ 4
2.2.2 ประเภทเซรามิก 5
2.2.3 ประเภทพอลิเมอร์ 7
2.3 วัสดุเชิงประกอบ 9
2.3.1 โพลิเมอร์คอมโพสิต 9

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2 เซรามิกคอมโพสิต 9
2.3.3 เมทัลคอมโพส 10
2.4 แป้งข้าวเหนียว 12
2.5 ดินขาว 16
2.5.1 ดินขาวที่ใช้ทางเซรามิก 16
2.5.2 ส่วนประกอบทางเคมีของดินขาว 16
2.5.3 คุณสมบัติทางกายภาพของแร่ดินขาว 17
2.5.4 ข้อควรคำนึงเกี่ยวกับแหล่งดินขาว 18
2.6 เรซิน (Resin) 18
2.7 สารเพิ่มความแข็ง (Hartdener) 19
2.8 การทดสอบชิ้นงาน 20
2.8.1 การทดสอบแรงอัด 20
2.8.2 การทดสอบความแข็งแบบวิคเกอร์(Vicker Hardness Test) 21
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 25
3.1 วัสดุ และอุปกรณ์ 25
3.1.1 สารเคมี 25
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 25
3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง 25
3.2 การเตรียมผงดิน 25
3.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงาน 27
3.4 การศึกษาหาอัตราส่วนที่ดีที่สุด ระหว่างผงแป้งข้าวเหนียวและเรซิน 28
3.5 ศึกษาผลกระทบของดินขาวที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของผงแป้งข้าวเหนียว 29
3.6 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) 30
3.6.1 การทดสอบการต้านทานแรงกด 30
3.6.2 การทดสอบความแข็ง(Hardness) 31
3.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 32
3.8 วิจารณ์ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง 33

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์.....34
4.1 ศึกษาหาอัตราส่วนผสมผงแป้งข้าวเหนียวต่อผสมเรซินและสารเพิ่มความแข็ง.....34
4.1.1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงกด (Compressive Strength).....37
4.1.2 ผลการทดสอบค่าความแข็ง (Hardness).....38
4.2 ศึกษาผลกระทบของดินขาวที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของผงแป้งข้าวเหนียว.....39
4.2.1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงกด (Compressive Strength).....43
4.2.2 ผลการทดสอบค่าความแข็ง (Hardness).....44

บทที่ 5 บทสรุป.....45
5.1 สรุปผลการทดลอง.....45
5.2 ข้อเสนอแนะ.....45

เอกสารอ้างอิง.....46
ภาคผนวก.....47
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....48

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงานวิจัย 3
2.1 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน 13
2.2 อะไมโลสที่พบในแป้งชนิดต่างๆ 13
2.3 ส่วนประกอบและอัตราส่วนทางเคมี 17
2.4 เปรียบเทียบการทดสอบความแข็งแบบ Vicker กับ Knoop 27
3.1 อัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียวที่ผสมเรซินและสารเพิ่มความแข็ง 27
3.2 อัตราส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียว ดินขาว 28
4.1 อัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:เรซินและสารเพิ่มความแข็ง 31
4.2 ลักษณะตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบอัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:เรซิน และสารเพิ่มความแข็ง 35
4.3 อัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:ดินขาว 39
4.4 ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบอัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:ดินขาว 40

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 การจัดฟันแบบโลหะ 1
1.2 การจัดฟันแบบใส (Clear Aligner) 2
2.1 ไทเทเนียมในงานจัดฟัน 4
2.2 เซรามิกชนิดเฟลสปาทิก (Feldspathic ceramic) 5
2.3 โพรเซรา (Procera: Nobel Biocare AB,Goteborg,Sweden) 6
2.4 เซรามิกที่มีเซอร์โคเนียเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน (Zirconia based ceramic) 7
2.5 ยางจัดฟัน 7
2.6 แบรกเกต (Bracket) 8
2.7 ตัวอย่างของการรวมตัวของวัสดุสองชนิดในวัสดุคอมโพสิต 10
2.8 วัสดุคอมโพสิตประเภทต่างๆ 11
2.9 ผงแป้งข้าวเหนียว 12
2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความหนืดและอุณหภูมิ 14
2.11 แป้งข้าวเหนียวเมื่อได้รับความร้อน 14
2.12 การพองตัวของเม็ดแป้ง 15
2.13 ลักษณะของดินขาว 16
2.14 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกด 20
2.15 การทดสอบความแข็งแบบวิคเกอร์ 21
2.16 รอยที่ได้จากการทดสอบแบบวิคเกอร์ 22
2.17 รอยบุ๋มพิระมิดทดสอบความแข็งแบบวิคเกอร์ 22
3.1 ขนาดแม่พิมพ์ทรงกระบอก 27
3.2 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกด (Compressive Strength) 30
3.3 เครื่องทดสอบความแข็ง (VickerMicrohardness Tester) 31
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 32
4.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกด (Comprssive Strength)ของ
อัตราส่วนผสมแป้งต่อผสมเรซินและสารเพิ่มความแข็ง 37
4.2 ผลการทดสอบค่าความแข็งจากการทดสอบ (Vicker Hardness)
ของอัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวผสมเรซินและสารเพิ่มความแข็ง 38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.3 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกด (Compressive Strength) ของอัตราส่วนของผงแป้งข้าวเหนียวผสมกับดินขาว 43
4.4 กราฟวิเคราะห์ผลการทดสอบความแข็ง (Vicker Hardness) ศึกษาผลกระทบของ ดินขาวที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของผงแป้งข้าวเหนียว 44

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สารบัญสัญลักษณ์

อักษรย่อ	ชื่อวัตถุดิบ
S	แป้ง (Start)
C	ดินขาว
R	เรซิน (Resin)
H	สารเพิ่มความแข็ง (Hardener)

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การจัดฟัน เป็นการรักษาความผิดปกติในการเรียงตัวของฟันที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อรูปร่างปาก และใบหน้า เช่น ฟันซ้อนเก การสบฟันไม่ดี การมีช่องห่างระหว่างฟันการจัดฟันมีหลายประเภท อาทิ การจัดฟันแบบโลหะ และการจัดฟันแบบใส (Clear aligner) ซึ่งการจัดฟันแบบโลหะนั้น สามารถจัดฟันได้หลายรูปแบบ เช่น ฟันยื่น ฟันซ้อนเก ฟันห่าง ฟันกัดเบี้ยว ฟันกัดคร่อม ฟันสบลึก ฟันสบเปิดหรือฟันล้มระเนระนาดข้างใน อีกทั้งราคาประหยัด แต่การจัดฟันในรูปแบบนี้ไม่สวยงาม เนื่องจากสามารถมองเห็นลวดโลหะที่ทำหน้าที่ดึงและจัดเรียงฟันให้เข้าที่

รูปที่ 1.1 การจัดฟันแบบโลหะ
ที่มา : Damon System Official Site (2556)

ในปัจจุบันจึงได้มีการจัดฟันในรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า การจัดฟันแบบใส (Clear aligner) ซึ่งการจัดฟันในรูปแบบนี้ผู้ที่จัดฟันสามารถถอดออกมาแปรงฟันหรือถอดออกก่อนรับประทานอาหารแล้วใส่กลับเข้าไปใหม่ได้ จึงไม่จำเป็นต้องงดอาหารที่อยากรับประทาน ขั้นตอนแปรงฟันก็สะดวกไม่ติดเหล็ก มีความสะดวกในการสวมใส่ เพราะถูกออกแบบมาเป็นขอบเรียบทำให้ไม่บาดเหงือกหรือกระพุ้งแก้มของผู้จัดฟันแบบเหล็กจัดฟันทั่วไป มีความใสทำให้ไม่รู้สึกว่ากำลังจัดฟันอยู่

รูปที่ 1.2 การจัดฟันแบบใส
ที่มา : **สิริโฉม สาตราวาห** (2555)

ดังนั้นในงานวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาแป้งข้าวเหนียวเป็นวัสดุทดแทนวัสดุที่ใช้ในการผลิตแบบฟันจากต่างประเทศ เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย และคุณสมบัติทางกายภาพของผงแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านความร้อนจนสุกส่งผลให้มีความใสและความแข็งเพิ่มขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการนำผงแป้งข้าวเหนียวมาประยุกต์ใช้ในการขึ้นรูปแบบพิมพ์ฟันแบบใส (Clear aligner)

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน

1.3.1 ได้อัตราส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียวกับ เรซินและสารเพิ่มความแข็ง ที่ให้ค่าความต้านทานแรงกด (Compressive Strength) ที่ดีที่สุด และค่าความแข็ง (Hardness) ที่แข็งที่สุด

1.3.2 ได้อัตราส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียว ดินขาว และ เรซินและสารเพิ่มความแข็ง ที่ให้ความต้านทานแรงกด (Compressive Strength) ที่ดีที่สุด และค่าความแข็ง (Hardness) ที่แข็งที่สุด

1.5 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ใช้ผงแป้งข้าวเหนียวยี่ห้อ ช้างเหยียบระฆัง

1.5.2 ศึกษาประมาณของเรซิน ในช่วงร้อยละ 0 – 100 โดยน้ำหนัก

1.5.3 ศึกษาผลกระทบของดินขาวต่อผงแป้งข้าวเหนียว โดยเติมดินขาวในอัตราส่วนร้อยละ 0 – 100 โดยน้ำหนัก

1.6 สถานที่ในการดำเนินการวิจัย

อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ (Shop IE) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับที่	การดำเนินงาน	ช่วงเวลา									
		2560					2561				
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.8.1	ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลการสังเคราะห์วัสดุเซรามิคเพื่อใช้สำหรับการจัดฟันแบบใส	←	→								
1.8.2	การขึ้นรูปผงแป้งข้างเหนียวกับดินขาว			←	→						
1.8.3	ทดลองการขึ้นรูปชิ้นงาน					←	→				
1.8.4	ทดสอบความแข็งของชิ้นงาน การทดสอบ ความต้านทานแรงดึงและการทดสอบแรงกระแทก						←	→			
1.8.5	วิเคราะห์ผลการทดสอบ								←	→	
1.8.6	เขียนรูปเล่มโครงงาน									←	→
1.8.7	นำเสนอโครงงาน									←	→

บทที่ 2
หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

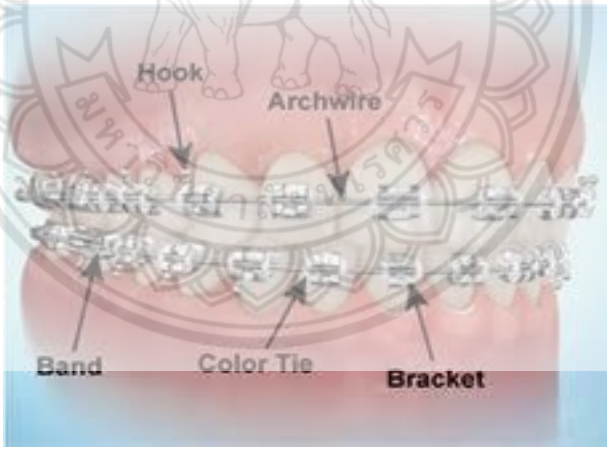
2.1 การจัดฟัน

การจัดฟันเป็นการรักษาความผิดปกติในการเรียงตัวของฟันที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อรูปร่างปากและใบหน้า การมีฟันเก ฟันห่าง ฟันที่เรียงซ้อนกันหรือฟันที่สบกันไม่พอดี รวมถึงปัญหาเกี่ยวกับขากรรไกรที่ส่งผลต่อการเคี้ยวอาหาร ล้วนเป็นปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพในการเคี้ยวอาหารลดลงและยังเป็นอุปสรรคต่อการทำความสะอาด ส่งผลต่อสุขภาพทางช่องปากและฟันตามมา ซึ่งสาเหตุของฟันที่สบกันไม่พอดีนี้อาจการถอนฟันแท้ในช่วงก่อนโตเป็นผู้ใหญ่หรือเกิดจากพันธุกรรม ดังนั้นการจัดฟันจึงมีผลดีต่อสุขภาพช่องปากและฟันเพราะเมื่อฟันเรียงตัวกันอย่างมีระเบียบการทำความสะอาดจะง่ายขึ้นช่วยป้องกันการเกิดฟันผุและโรคเหงือก นอกจากนี้ฟันที่สบกันสนิทจะทำให้เคี้ยวอาหารได้อย่างละเอียดทั้งยังสามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับการพูดที่เกิดจากการสบของฟัน

2.2 วัสดุที่ใช้ในงานทันตกรรม

2.2.1 โลหะ (Metal)

ไทเทเนียม (Thaitanium) เป็นวัสดุในงานจัดฟัน เพราะโลหะมีคุณสมบัติดีเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ (Biocompatibility) มีความต้านทานต่อการกรัดกร่อนและยังมีคุณสมบัติกายภาพและเชิงกลที่ดี



รูปที่ 2.1 ไทเทเนียมในงานจัดฟัน
ที่มา : เทพรัตน์ เขมาลีลากุล (2549)

ลวดจัดฟันจากโลหะผสมจำรูปเป็นลวดที่สามารถให้แรงแบบต่อเนื่องขนาดต่ำๆ ซึ่งเป็นแรงที่มีขนาดเหมาะสมสำหรับการเคลื่อนฟัน ทำให้ผู้เข้ารับการรักษาได้รับความเจ็บปวดลดลง ปัจจุบันลวดจัดฟันถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อรักษาความผิดปกติของการสบฟัน ในทางทันตกรรมของประเทศไทยนั้น นิยมใช้ลวดอยู่ 2 ชนิด คือ เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) และโลหะผสม (Shape memory alloys) ประเภทนิกเกิล - ไทเทเนียม เนื่องจากมีสมบัติที่เหมาะสมกว่าชนิดอื่น โดยเฉพาะโลหะผสมจำรูป ซึ่งมีแนวโน้มที่มีความต้องการสูงขึ้นมาก เพราะเป็นลวดที่สามารถให้แรงแบบต่อเนื่องขนาดต่ำๆ ซึ่งเป็นแรงที่มีขนาดเหมาะสมสำหรับการเคลื่อนฟัน ทำให้ผู้เข้ารับการรักษาได้รับความเจ็บปวดลดลง นอกจากนั้นโลหะชนิดนี้ยังมีความสามารถในการเคลื่อนฟันเป็นระยะทางมากกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมถึง 10 เท่า ทำให้ความถี่ในการเปลี่ยนลวดจัดฟันลดน้อยลง อีกทั้งยังสามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการจัดฟันได้อีกด้วย

2.2.2 เซรามิก จะแบ่งเป็น 3 ประเภทหลัก

2.2.2.1 เซรามิกที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก (Silicabased ceramic) ได้แก่

- เซรามิกชนิดเฟลสปาทิก (Feldspathic ceramic) มีความแข็งแรงต่ำ เปราะแตกหักง่าย มีความโปร่งแสง นิยมนำมาใช้ในบริเวณที่ต้องการความสวยงาม เช่น ใช้เป็นเซรามิกวีเนียร์เพื่อปิดทับส่วนแกนของครอบฟันซึ่งมีลักษณะทึบ

รูปที่ 2.2 เซรามิกชนิดเฟลสปาทิก (Feldspathic ceramic)
ที่มา : เทพรัตน์ เขมาลีลากุล (2549)

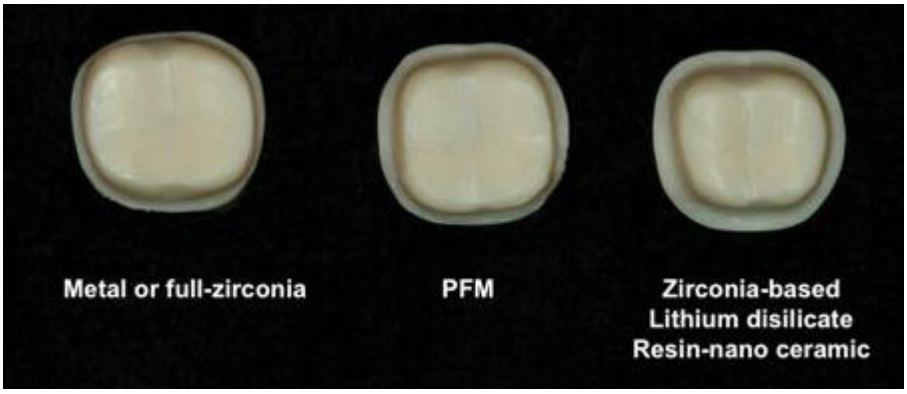
- กลาสเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลูไซต์ (Leucite reinforced glass ceramic) มีการเติมผลึกลูไซต์ในแก้วเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของเซรามิกสามารถใช้ทำอินเลย์ (Inlay) ออนเลย์ (Onlay) และครอบฟันหน้า เซรามิก กลุ่มนี้ได้แก่ ไอพีเอส เอ็มเพรส (IPS Empress: Ivoclar vivadent, Schaan, Liechtenstein)

- กลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเก (Lithium disilicate based ceramic) มีองค์ประกอบของผลึกลิเทียมไดซิลิเกตทำให้เซรามิกมีความแข็งแรงมากขึ้นสามารถใช้ทำครอบฟันหลังหรือสะพานฟันหน้าได้

2.2.2.2 เซรามิกที่มีอะลูมินาเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน (Alumina based ceramic) ประกอบด้วยออกไซด์ของโลหะอะลูมิเนียม (Al_2O_3) ที่อยู่รวมกันเป็นผลึกหนาแน่นมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบส่วนน้อยที่ใช้ทำครอบฟันและสะพานฟัน ได้แก่ อินซีแรมอะลูมินาและอินซีแรมเซอร์โคเนีย (In-Ceram Alumina,Zirconia:VITA,Zahnfabrik,Germany) และโพรเซรา (Procera: Nobel Biocare AB,Goteborg,Sweden)

รูปที่ 2.3 โพรเซรา (Procera: Nobel Biocare AB,Goteborg,Sweden)
ที่มา : เทพรัตน์ เขมาลีลากุล (2549)

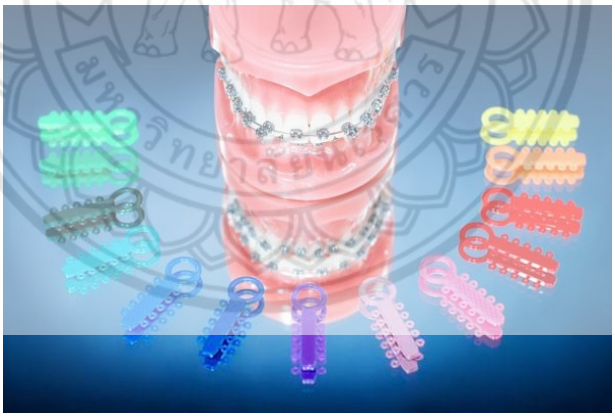
2.2.2.3 เซรามิกที่มีเซอร์โคเนียเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน (Zirconia based ceramic) มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบส่วนน้อย เนื่องจากเซอร์โคเนียมีผลึกที่เสถียรมาก มีความแข็งแรงสูง จึงสามารถนำมาใช้ทำสะพานฟันหลัง ได้แก่ เซอร์คอน (Cercon: Dentsply ceramo, York, Pennsylvania, U.S.A.), ลาวา (Lava: 3M ESPE, St. Paul, Minnesota, U.S.A.), ไอพีเอสอีแมกซ์เซอร์แคด (IPS e.max ZirCAD: Ivoclar Vivadent,Schaan,Liechtenstein) เซรามิกที่มีอะลูมินาหรือเซอร์โคเนียเป็นองค์ประกอบพื้นฐานมีการอัดแน่นของผลึกออกไซด์เซรามิกจึงมีความแข็งแรงมาก และมีความทึบแสง จึงใช้เซรามิกกลุ่มนี้เป็นส่วนแกนกลางและถูกปิดทับด้วยวีเนียร์เฟลสปาทิกเพื่อความสวยงาม



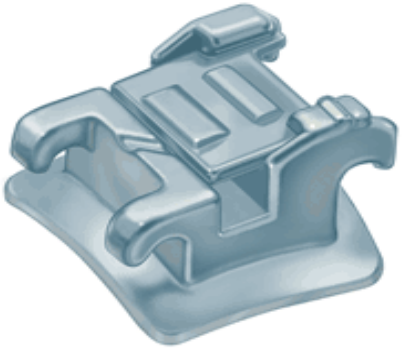
รูปที่ 2.4 เซรามิกที่มีเซอร์โคเนียเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน (Zirconia based ceramic)
ที่มา : เทพรัตน์ เขมาลีลากุล (2549)

2.2.3 พอลิเมอร์

ในงานทันตกรรมจัดฟันใช้ผลิตภัณฑ์หลายชนิดที่องค์ประกอบหลักทำจากยางโอริงจัดฟัน มีหน้าที่ในการยึดเส้นลวดจัดฟัน (Arch wire) ให้อยู่ในร่องแบรกเกต (Bracket) เพื่อทำให้เกิดแรงในการเคลื่อนฟันไปยังตำแหน่งที่เหมาะสม ซึ่งต้องมีคุณสมบัติที่สามารถยึดเส้นลวดจัดฟันให้อยู่ในร่องแบรกเกต มีความเสียดทานที่เหมาะสมกับเส้นลวดจัดฟันไม่เสื่อมสลายเมื่อสัมผัสน้ำลาย กรดหรือด่างและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจากอาหารที่รับประทาน ไม่เป็นที่ยึดเกาะของคราบจุลินทรีย์ ไม่ส่งเสริมให้เกิดฟันผุ ทนต่อแรงขัดถูได้ดี ผลิตจากวัสดุที่เข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อในช่องปาก



รูปที่ 2.5 ยางจัดฟัน
ที่มา : dek-d.com (2558)



รูปที่ 2.6 แบรกเกต (Bracket)
ที่มา : dek-d.com (2558)

ในปัจจุบันการขึ้นรูปชิ้นงานของการจัดฟันแบบใสจากพอลิเมอร์ทำจากวัสดุเทอร์โมพลาสติกโปร่งแสง 3 ชนิด ได้แก่

1. พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต

พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate: PET) เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางและสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ระหว่างกรดเทเรฟทาลิก (Terephthalic acid) และเอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol) PET มีวงอะโรมาติกเป็นองค์ประกอบบนโครงสร้างหลัก ทำให้มีความแข็งแรงยืดหยุ่นและสามารถรับแรงกระแทกได้ดี จึงนิยมใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ต่างๆ

2. พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride : PVC)

พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) เป็นพอลิเมอร์ที่สำคัญที่สุดในกลุ่มไวนิลด้วยกัน มักเรียกกันทั่วไปว่า พีวีซี เนื้อพีวีซีมักมีลักษณะขุ่นทึบแต่ก็สามารถผลิตออกมาให้มีสีสันได้ทุกสีเป็นฉนวนไฟฟ้าอย่างดี ตัวมันเองเป็นสารที่ทำให้ไฟดับจึงไม่ติดไฟ มีลักษณะทั้งที่เป็นของแข็งคงรูปและอ่อนนุ่มเหนียว เรซินมีทั้งที่เป็นเม็ดแข็งหรืออ่อนนุ่ม และเป็นผงจึงสามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง

สมบัติทั่วไป

มีความแข็งแรงดี ทนทานต่อสภาวะอากาศและสิ่งแวดล้อมปกติ ต้านทานต่อสารเคมีและน้ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี สามารถผสมสี แต่งสีได้อย่างไม่จำกัด สามารถเติมสารเติมแต่งต่างๆ เพื่อปรุงแต่งสมบัติของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่แข็ง คงตัวจนถึงอ่อนนิ่ม และยืดหยุ่นมากๆ มีสมบัติอื่นๆ กว้างขวางและสามารถสลายตัวเอง

3. โพลิเอทธิลีนเทเรฟทาเลต (Poly Ethylene Terephthalate, PET)

PET เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอโนเมอร์ (Monomer) หลายๆ ตัวซึ่งได้จากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) ระหว่าง Terephthalic acid (TPA) กับ Ethylene Glycol (EG หรือ Ethanediol) โดยมีน้ำเกิดขึ้นในปฏิกิริยา หรือเกิดจากมอโนเมอร์ซึ่งได้จากปฏิกิริยาระหว่าง Dimethyl terephthalate กับ Ethylene Glycol โดยมีเมทานอลเกิดขึ้นในปฏิกิริยา ซึ่งสารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิต PET นั้นได้จากอุตสาหกรรมน้ำมัน ทั้งนี้ความบริสุทธิ์ของสารตั้งต้นเป็นสิ่งสำคัญมากและมีผลต่อคุณภาพของ PET ที่ได้ โดยเฉพาะเมื่อใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุอาหาร

คุณสมบัติทั่วไป

PET ทนแรงกระแทก ไม่เปราะแตกง่าย สามารถทำให้ใสมาก มองเห็นสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซได้เป็นอย่างดี กันน้ำ และนำกลับมารีไซเคิลได้

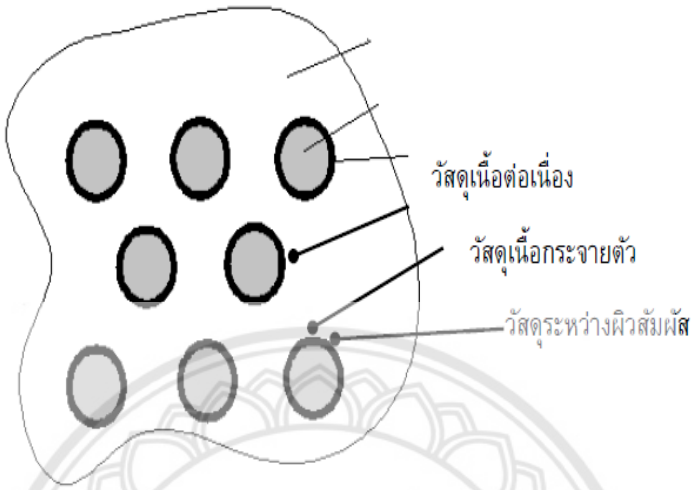
2.3 วัสดุเชิงประกอบ(Composite Materials)

คอมโพสิต เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยการรวมวัสดุมากกว่า 2 ประเภทเข้าด้วยกัน โดยทั่วไปคอมโพสิตจะมีวัสดุที่เป็นเนื้อหลัก (Matrix) และวัสดุเสริมแรง (Reinforcement materials) ที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อหลักนั้น วัสดุที่เป็นเนื้อหลัก จะรองรับวัสดุเสริมแรงให้อยู่ในรูปร่างที่กำหนด ขณะที่วัสดุเสริมแรงจะช่วยเพิ่ม หรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุเนื้อหลัก ให้สูงขึ้น ซึ่งวัสดุเสริมแรงอาจมีลักษณะเป็นเส้น ก้อน อนุภาค หรือเกล็ดก็ได้ แทรกอยู่ในวัสดุเนื้อหลัก (Base materials) อย่างโลหะ เซรามิก หรือโพลิเมอร์ ผลของการรวมวัสดุต่างกัน 2 ประเภทเข้าด้วยกันทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรง โดยรวมมากกว่าเมื่อเทียบกับความแข็งแรงของวัสดุแต่ละประเภทโดยลำพัง ปัจจุบันวัสดุคอมโพสิตแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

2.3.1 โพลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer matrix composites- PMCs) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่พบเห็นได้ง่ายของคอมโพสิตกลุ่มนี้คือ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไฟเบอร์กลาส ต่าง ๆ โพลิเมอร์ คอมโพสิตมีโพลิเมอร์ ซึ่งอาจจะเป็นพลาสติก หรือยางเป็นเนื้อหลัก และใช้วัสดุเสริมแรงได้หลายชนิด เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน เส้นลวดโลหะ เป็นต้น

2.3.2 เซรามิกคอมโพสิต (Ceramic Matrix composites- CMCs) เรารู้จักและคุ้นเคยกับคอมโพสิตกลุ่มนี้ดี คอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก (ปูน กรวด ทราย เหล็กเส้น) เป็นตัวแทนที่พบเห็นได้ทั่วไปของวัสดุกลุ่มนี้ ขณะที่วัสดุเซรามิกคอมโพสิตรุดหน้า (Advanced composite) มีเนื้อหลักเป็นเซรามิกและใช้วัสดุเสริมแรงเป็นเส้นใย คอมโพสิตกลุ่มนี้มักนำมาใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง เช่น กังหันใบพัดของเครื่องยนต์ไอพ่น เป็นต้น

2.3.3 เมทัลคอมโพสิต (Metal matrix composites- MMCs) คอมโพสิตกลุ่มนี้พบมากในผลิตภัณฑ์กลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ เมทัลคอมโพสิตมีโลหะเป็นเนื้อหลัก เช่น อะลูมิเนียม เป็นต้น สำหรับวัสดุเสริมแรงของคอมโพสิตกลุ่มนี้เป็นวัสดุเซรามิกส์ เช่น กลุ่มคาร์ไบด์ กลุ่มไนไตรด์ เป็นต้น แม้ว่าคอมโพสิตมีขอบข่ายกว้างครอบคลุมวัสดุ 3 ประเภทข้างต้น แต่ในที่นี้ขอพูดถึงเฉพาะโพลิเมอร์คอมโพสิตเท่านั้น



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างของการรวมตัวของวัสดุสองชนิดในวัสดุคอมโพสิต
ที่มา : ผศ. ดร.สนติพีร์ เอมมณี (2549)

โดยปกติสมบัติวัสดุของคอมโพสิตที่ได้รับการออกแบบให้ดีขึ้นเหล่านี้ไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน และก็ไม่จำเป็นต้องเป็นเช่นนั้น เพราะสมบัติของวัสดุบางอย่างอาจเกิดในด้านที่ขัดแย้งกัน เช่น การนำความร้อนได้ดีมักจะไม่เกิดขึ้นกับการเป็นฉนวนทางไฟฟ้าที่ดี หลักการโดยทั่วไปคือการสร้างวัสดุคอมโพสิตที่มีสมบัติและคุณลักษณะที่จำเพาะกับการใช้งานด้านหนึ่งๆ แม้ว่าแนวโน้มการออกแบบวัสดุคอมโพสิตจะไปในทิศทางที่ทำให้วัสดุมีสมบัติที่มีความหลากหลายและทำหน้าที่หลายอย่างในเวลาเดียวกัน (multifunctional) มากยิ่งขึ้น

การแบ่งประเภทของวัสดุคอมโพสิต

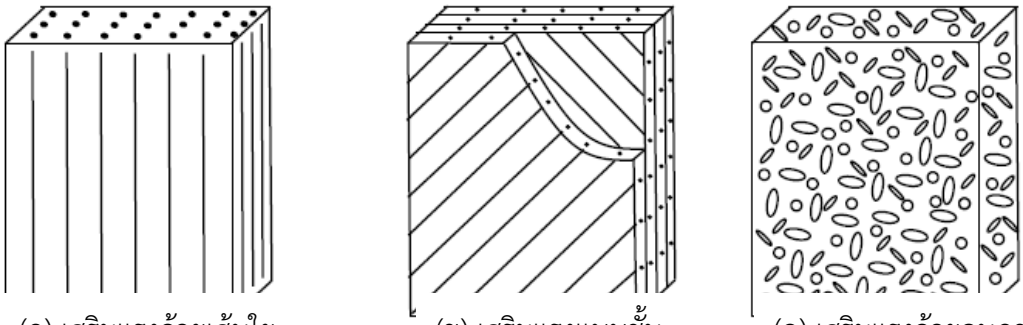
วัสดุคอมโพสิตสามารถแบ่งแยกได้ตามลักษณะทางกายภาพและรูปร่างของวัสดุที่นำมาผสมกัน ตามที่แสดงในรูปที่ 1 ได้ดังนี้

1) วัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใย (Fiber-reinforced composite material หรือ Fibrous composite) ซึ่งมีเส้นใย (Fiber) เป็นวัสดุที่ใช้ในการเสริมความแข็งแรง (reinforcement) และมีวัสดุพื้น (Matrix) เป็นตัวประสานเส้นใยเข้าด้วยกัน ดังแสดงรูปที่ 2(ก)

(2) วัสดุคอมโพสิตแบบซ้อนกันเป็นชั้นหรือลามิเนต (Laminated composite material) ประกอบไปด้วยการวางซ้อนกันของวัสดุหลายชนิดเป็นชั้นๆ ดังแสดงรูปที่ 2(ข)

(3) วัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยอนุภาค (Particulate composite material) มีวัสดุเสริมแรงเป็นลักษณะเป็นก้อนหรือเป็นแผ่นขนาดเล็กๆ (Particle) ล้อมรอบด้วยวัสดุพื้น ดังแสดงรูปที่ 2(ค)

(4) การผสมกันของวัสดุคอมโพสิตทั้งสามประเภทข้างต้น



(ก) เสริมแรงด้วยเส้นใย (ข) เสริมแรงแบบชั้น (ค) เสริมแรงด้วยอนุภาค

รูปที่ 2.8 วัสดุคอมโพสิตประเภทต่างๆ
ที่มา : ผศ.ดร.สนติพีร์ เอมมณี (2549)

โพลิเมอร์บางชนิด เช่น อีพ็อกซี่ และโพลิเอสเทอร์ มักมีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากโพลิเมอร์เหล่านี้มีความแข็งแรงเชิงกลต่ำ เมื่อเทียบกับวัสดุอื่น เช่น โลหะ เป็นต้น แต่โพลิเมอร์มีจุดเด่นเรื่องขึ้นรูปง่าย สามารถขึ้นรูปทรงที่มีรายละเอียดซับซ้อนได้ง่าย และมีน้ำหนักเบา (ความหนาแน่นต่ำ) ขณะที่วัสดุ เช่น แก้ว อะรามีด (Aramide) และโบรอน (Boron) มีจุดเด่นเรื่องความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength) และความแข็งแรงต่อแรงกด (Compressive strength) สูง แต่ว่าวัสดุที่กล่าวมานั้นเมื่อปรากฏในรูปของ ของแข็ง สมบัติเด่นเหล่านี้ปรากฏออกมาได้ไม่ชัดเจน เนื่องจากวัสดุสามารถแตกหักจาก ความเค้น (Stress) ได้ง่ายเพียงแค่ผิวของวัสดุ

ดังนั้นการผสมโพลิเมอร์กับเส้นใยเสริมแรง เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอนจะทำให้วัสดุมีสมบัติดีขึ้น เพราะเป็นการรวมเอาจุดเด่นของวัสดุโพลิเมอร์ กับจุดเด่นของเส้นใยเสริมแรง เข้าไว้ด้วยกัน (โดยเนื้อหลักของโพลิเมอร์ทำหน้าที่กระจายแรง ที่กระทำต่อวัสดุลงไประหว่าง เส้นใยแต่ละเส้น และโพลิเมอร์ยังทำหน้าที่ปกป้องเส้นใยไม่ให้เสียหาย เนื่องจากการเสียดสีและ การกระแทก ผลของการรวมโพลิเมอร์กับเส้นใยเสริมแรง ทำให้วัสดุโพลิเมอร์คอมโพสิตมีจุด เด่นหลายอย่าง ได้แก่ มีค่าความแข็งแรงและความแข็งตึง (stiffness) สูง สามารถขึ้นรูปง่าย น้ำหนักเบา และทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ

2.4 แป้งข้าวเหนียว

รูปที่ 2.9 ผงแป้งข้าวเหนียว
ที่มา : นัดดา โยมญาติ (2560)

ลักษณะของผงแป้งข้าวเหนียวมีสีขาวนวล สากมือ แป้งข้าวเหนียวมีความเหนียวนุ่มเมื่อได้รับความร้อนพบว่าในแป้งข้าวเหนียว มีอะไมโลเพคติน ปริมาณสูงถึงร้อยละ 99.70 และการให้ความร้อนแก่แป้งชนิดที่มีอะไมโลเพคติน ปริมาณสูงๆนั้น เมื่อแป้งสุกจะเกิดเจลข้นที่มีความหนืดมากกว่า และมีความสามารถในการพองตัวสูงกว่าแป้งชนิดอื่นๆ

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรงของน้ำตาลกลูโคสเรียงต่อกันเป็นสายยาว ไม่มีการแตกแขนง โดยทั่วไปประกอบด้วยกลูโคส 200 – 6000 หน่วย ซึ่งแต่ละโมเลกุลของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ชนิด a – 1,4

อะไมโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสเรียงต่อกันเป็นสายยาวและมีการแตกแขนง โดยทั่วไปการแตกแขนงจะเกิดขึ้นทุกๆ กลูโคส 24 – 30 หน่วย บนสายยาว ส่วนที่เป็นสายยาวนั้นโมเลกุลของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ชนิด a – 1,4 เหมือนกับอะไมโลส (amylose) และส่วนที่แตกแขนงจะเชื่อมต่อด้วยพันธะไกลโคซิดิก ชนิด a – 1,6 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินจะแสดงในตารางที่ 2.1 แป้งข้าวเหนียวที่มีอะไมโลแพคตินสูง เมื่อให้ความร้อนจนสุกจะมีความหนืดและใส

ตารางที่ 2.1 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

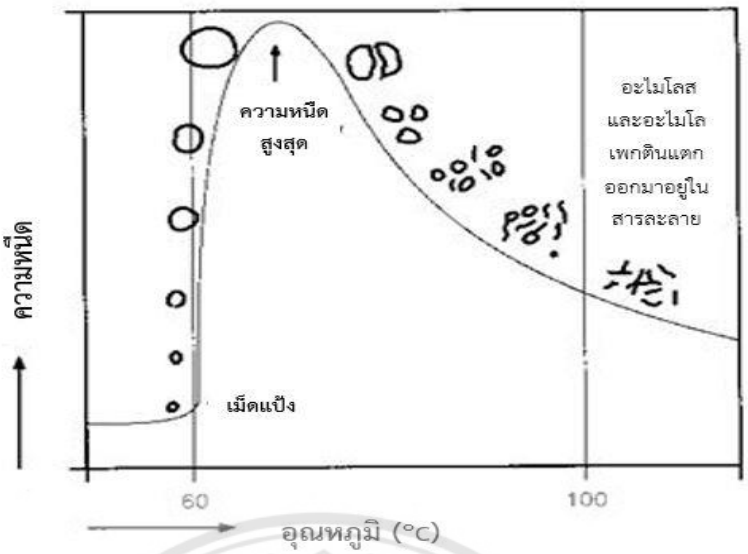
อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ a-1,4	1. โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ a-1,4 และมีการแตกกิ่งด้วยพันธะa-1,6
2. ประกอบด้วยกลูโคส 200 - 6000 หน่วย	2. แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20 - 25 หน่วย
3. ละลายน้ำได้น้อยกว่า	3. ละลายน้ำได้ดีกว่า
4. เมื่อต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อย	4. ข้นหนืดมากและใส
5. ต้มแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็งได้	5. จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง

แป้งแต่ละชนิดมีอะไมโลสที่แตกต่างกัน เมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อนแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสมากจะมีการเซ็ตตัวหรือการคืนตัวได้ดีกว่า ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อะไมโลสที่พบในแป้งชนิดต่างๆ

ชนิดของแป้ง	ร้อยละของอะไมโลส
แป้งข้าวเหนียว	0 – 2
แป้งมันสำปะหลัง	17 – 18
แป้งข้าวเจ้า	17 – 21
แป้งเท้ายายม่อม	21
แป้งสาลี	26
แป้งถั่วเขียว	31

เมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อนจะทำให้เม็ดแป้งพองตัวและมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด เนื่องจากเม็ดแป้งมีการพองตัวมากที่สุด ดังรูปที่ 2.10 ถ้ามีการกวนหรือให้ความร้อนเป็นเวลานาน โดยความหนืดอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง ความหนืดจะเริ่มลดลงเมื่อโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลายมากกว่าการพองตัวของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้น



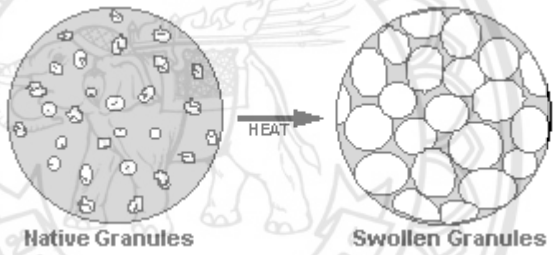
รูปที่ 2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความหนืดและอุณหภูมิ
ที่มา : นัดดา โยมญาติ (2560)

รูปที่ 2.11 แป้งข้าวเหนียวเมื่อได้รับความร้อน
ที่มา : นัดดา โยมญาติ (2560)

การเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำ (hydration)

เมื่อมีการเติมน้ำลงในแป้งแป้งจะเกิดการพองตัวน้อยมากจนไม่สังเกตเห็นได้ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินของเม็ดแป้งในส่วน Crystallite โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ช่วยป้องกันการกระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนของ Amorphous ซึ่งเป็นส่วนที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวมๆไม่เป็นระเบียบและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมาก

เมื่อเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำ (Hydration) ได้บ้างแม้ในน้ำเย็น เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 °C ขึ้นไป ส่วน Amorphous จับกับน้ำได้มากขึ้นและการจับกันของโมเลกุลในส่วน crystallite เริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.10) โมเลกุลในส่วน Arystallite ที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหเรียกว่า Micelle network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมีโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดเล็กและอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง เมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วน Crystallite ที่เหลืออยู่นี้จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสารละลายมากขึ้น



รูปที่ 2.12 การพองตัวของเม็ดแป้ง
ที่มา : นัดดา โยมญาติ (2560)

การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization)

จากรูปที่ 2.12 กลไกการเกิดเจลาติไนเซชัน เมื่อนำแป้งใส่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งดูดซับน้ำได้ในปริมาณจำกัดปริมาณหนึ่งทำให้แป้งมีความชื้นเพิ่มขึ้นแต่จะไม่พองตัวหรือพองตัวได้จำกัดมากและสังเกตได้ยาก Collison (1968) สังเกตการณ์พองตัวของเม็ดแป้งสาลีในน้ำที่อุณหภูมิห้องพบว่าแป้งที่พองตัวมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 10% และปรากฏการณ์นี้สามารถผันกลับได้ (Reversible) โดยเมื่อนำไปตากแห้งก็จะได้แป้งที่มีลักษณะและคุณสมบัติเดิมทั้งนี้ได้อธิบายว่าในสภาวะธรรมชาติในเม็ดแป้งโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพคติน 12 ในส่วนที่เป็นผลึก (Crystallite) จับตัวกันอย่างหนาแน่นแข็งแรงจึงไม่ละลายในน้ำเย็นแต่น้ำอาจจะซึมเข้าไปในส่วนของเม็ดแป้งซึ่งไม่แข็งแรงและมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระได้บ้างแต่เมื่อให้ความร้อนจนถึง

อุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60 - 70°C หรือใช้สารเคมี (Osman, 1967) เช่น ให้ความร้อนกับแป้งสาลีที่อุณหภูมิ 60°C จะมีผลทำให้การจับกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วนผลึก (Crystallite) คลายตัวลง เกิดปฏิกิริยาการรับน้ำและเกิดการพองตัวของเม็ดแป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ (Irreversible) และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า “เจลาติไนเซชัน” ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญขึ้นคือการพองตัวของเม็ดแป้ง

แป้งข้าวเหนียวมีคุณสมบัติที่เด่นคือมีความเหนียวสูงเมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อนจะมีความหนืดและใสและช่วยทำหน้าที่ช่วยเป็นตัวยึดเกาะระหว่างโมเลกุลเหมาะที่จับนำมาที่คลอปฟันแบบใสเนื่องจากสีของผงแป้งข้าวเหนียวมีความคล้าคลึงกับสีของฟันแต่แป้งข้าวเหนียวมีค่าความแข็งที่ต่ำจึงใช้ดินขาวมาช่วยในการเสริมแรงเพื่อให้มีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น

2.5 ดินขาว (White clay)

รูปที่ 2.13 ลักษณะของดินขาว
ที่มา : Asian Insulator Public Co., Ltd (2560)

ดินที่มีสีขาวหรือสีซีดจาง ทั้งในสภาพที่ยังไม่ได้เผาและเผาแล้ว ดินขาวมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ดินกลุ่ม Kaolinite และมีความสัมพันธ์กับมัสโคไวท์ไมกาอิลไลท์คอซต์และอาจมีมอนต์มอริลโลไนท์ คำว่า เกาลิน มาจากภาษาจีนแปลว่าภูเขาสูง ซึ่งเป็นแหล่งเกิดของดินขาวในประเทศจีน

ดินขาวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวมาถือเป็นสารตั้งต้นในการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารเคมี ซึ่งจะมีวิธีการที่แตกต่างกันไปตามวิธีใช้ดิน โดยหลักๆแล้วจะหมายถึงการใช้สารซิลิโคนมาเคลือบผิวดินก่อนหนึ่งชั้น ก่อนที่จะนำไปผนวกกับโครงสร้างโพลิเมอร์ที่คุณต้องการเพื่อให้ดินมีพันธะเคมีที่แข็งแรงขึ้น เพื่อเพิ่มสมรรถภาพด้านความทนทาน

2.5.1 ดินขาวที่ใช้ทางเซรามิก

ดินเกาลินถือเป็นวัตถุดิบชั้นเยี่ยมในการปั้นสินค้าเซรามิค โดยเฉพาะสินค้าจำพวกสุขภัณฑ์และจานชามต่างๆ เพราะดินเกาลินจะมีสีขาวตามธรรมชาติหลังจากเผา มีความยืดหยุ่น และทนทานสูง นอกจากนี้สินค้าจำพวกภาชนะหินและน้ำยาขัดเงาต่างๆมักจะใช้ดินเกาลินเป็นส่วนผสม

2.5.2 ส่วนประกอบทางเคมีของดินขาว

ผลึกที่บริสุทธิ์ของดินขาวมีส่วนประกอบทางเคมี เป็น $(OH)_4Al_2Si_2O_5$

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบและอัตราส่วนทางเคมี

ส่วนประกอบทางเคมี $(OH)_4\ Al_2Si_2O_5$	Al_2O_3	SiO_2	H_2O
อัตราส่วน	39.8%	46.3%	13.9%

2.5.3 คุณสมบัติทางกายภาพของแร่ดินขาว

การทราบคุณสมบัติทางกายภายของแร่ดินขาวจะช่วยทำให้สามารถทำนายคุณสมบัติของเนื้อดินปั้นซึ่งมีแร่ดินเหล่านั้นผสมอยู่ได้ดีพอสมควรและคุณสมบัติที่ศึกษา คือ

ขนาด (Particle size) คุณสมบัตินี้มีความสำคัญมากอันหนึ่งเนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางด้านความเหนียว (Plasticity) และการหดตัวเมื่อแห้ง (Drying shrinkage) กล่าวโดยทั่วไปดินเม็ดละเอียดจะให้ความเหนียวและการหดตัวเมื่อแห้งมากกว่าดินเม็ดหยาบ

รูปร่าง (Particle shape) อนุภาคของมันมีรูปร่างเป็นแผ่นหกเหลี่ยม มีขนาดจาก 0.05 ถึง 10 ไมครอน โดยเฉลี่ยขนาดอยู่ระหว่าง 0.5 ไมครอน

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอนุมูล (Base exchange capacity) คุณสมบัติข้อนี้สำหรับแร่ Kaolinite มีน้อยมาก เพราะว่าในแร่นี้มีการแทนที่กันของพวกอนุมูลบวกในโครงสร้างน้อยมาก โดยเฉพาะผลึก Kaolinite ที่บริสุทธิ์จะไม่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนอนุมูลเลยมันจะแลกเปลี่ยนได้เมื่อมันเป็นผลึกที่ไม่สมบูรณ์หรือมันดูดซับเอาผลึกขนาดเล็กของแร่พวก Three layer เข้าไว้ที่ผิวของมัน

คุณสมบัติเมื่อแห้ง (Drying propertics) การหดตัวเมื่อแห้งของแร่ดินอย่างเดียวจากการทำงานวิจัยครั้งนี้จะไม่สนใจเพราะว่าเนื้อดินมักประกอบด้วยแร่หลายอย่าง แต่อาจกล่าวได้ว่า ของละเอียดมีการหดตัวมากกว่าของหยาบเมื่อปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง

ความแข็งก่อนเผา (Green strength) คุณสมบัตินี้สำคัญมาก เนื่องจากการนำแร่ดินขาวไปใช้ในเนื้อดินปั้นซึ่งไม่มีดินเหนียวอยู่เลย เพราะว่าดินขาวเท่านั้นที่จะเป็นตัวช่วยให้ผลิตภัณฑ์ดิบมีความแข็งแรงมากหรือน้อยตามผลการทดลองที่คาดหวังเบื้องต้น

คุณสมบัติหลังจากเผา (Firing propertics) แร่ดินขาวมีการหดตัวมากหลังการเผาไม่ควรใช้แร่ดินขาวล้วนเป็นเนื้อดินปั้น เนื่องจากแร่ดินขาวเมื่อผ่านการเผาแล้วเกิดการหดตัวประมาณ 20%

2.5.4 ข้อควรคำนึงเกี่ยวกับแหล่งดินขาว

จะต้องพิจารณาคุณสมบัติของดินแต่ละแหล่งว่าจะนำมาใช้ทำเป็นฟิลเลอร์ได้หรือไม่ เช่น หากมีความขาวสูง ความคมต่ำ ความละเอียดดี อาจจะใช้ทำกระดาษได้ ถ้ามีแต่ความคมสูง อาจจะต้องนำไปใช้ผสมทำสี ยาฆ่าแมลง หรืออุตสาหกรรมยาง หรือบางแหล่งความขาวไม่สูงนัก ทรายหยาบน้อยอาจจะนำมาบดเพื่อให้เป็นฟิลเลอร์ราคาถูกในการทำปุ๋ยผสม ในการแต่งแร่นั้น ส่วนใหญ่เป็นเรื่องของการคัดขนาด ซึ่งนิยมใช้ไฮโดรไซโคลน ข้อสังเกตุก็คือ ควรจะเก็บของที่มีประโยชน์ให้หมดก่อนทิ้งไป และการพิจารณาแร่พลอย ได้ที่เหลือจากการแต่ง เช่น กรณีโรงล้างดินขาวลำปาง ทราย และของหยาบที่คัดทิ้งนั้นน่าที่จะนำมาศึกษา เพื่อใช้ทำกระเบื้องมุงหลังคา กระเบื้องประดับ โดยจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อแกร่งและขนาดมีมาตรฐานยิ่งขึ้น ดินขาวมีความแข็งมีหน้าที่ช่วยในการเสริมแรงให้กับวัสดุชนิดที่ต้องการเสริมแรงเพื่อเพิ่มความแข็งให้กับวัสดุต่างๆ

2.6 เรซิน (Resin)

เรซิน (Resins) เป็นสารที่ได้จากยางเหนียวของต้นไม้หรือจากการสังเคราะห์ เรซินละลายได้ในตัวทำละลายเกือบทุกชนิดและนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น สารเคลือบผิว กาว และใช้เป็นสารประกอบในอุตสาหกรรมยา สารให้กลิ่น (Flavors) และในอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น ได้มีการใช้ประโยชน์ของเรซินมากขึ้นเรซินนำไปใช้งานได้มากมายหลายกลุ่มงาน แต่แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ที่นิยมใช้ในประเทศไทย ได้แก่ กลุ่มงานหล่อ (Casting) ,กลุ่มงานเคลือบ (Laminate) และกลุ่มงานขึ้นรูปแม่แบบ (Molding)

การแข็งตัวของเรซิน

โพลีเอสเทอร์เรซินสามารถแข็งตัวได้หลายวิธีดังนี้

1. โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) หรือตัวทำให้แข็ง + ความร้อน
2. โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) หรือตัวทำให้แข็ง + ตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา/ตัวเร่งปฏิกิริยา (promote / accelerator) ที่อุณหภูมิห้อง
3. โดยใช้ความร้อนโดยทั่วไปการแข็งตัวของเรซิ่นแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 Gel time คือช่วงหลังจากเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) จนเรซินจับตัวเป็นวุ้น ช่วงที่2 Cure time คือช่วงที่เรซินแข็งตัวเต็มที่และเป็นช่วงที่เรซินเย็นตัวลงหลังจากที่มีความร้อนสูงในขณะทำปฏิกิริยา

องค์ประกอบที่มีผลต่อการแข็งตัวของเรซิน

1. อุณหภูมิ อุณหภูมิสูงเรซินแข็งตัวเร็วกว่าอุณหภูมิต่ำ

2. ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา ปริมาณที่มากแข็งตัวเร็วกว่าปริมาณที่น้อย

3. ความชื้นหรือน้ำ ความชื้นสูงการแข็งตัวของเรซินจะช้าลง ผิวงานขึ้นฝ้ามัว โดยปกติปริมาณน้ำที่อยู่ในเรซินจะต้องมีค่าไม่เกิน 0.05%

4. ปริมาณออกซิเจน ออกซิเจนเป็นตัวป้องกันการแข็งตัวของเรซิน ถ้าปริมาณออกซิเจนสูง เช่น การกวนเรซินนานจนเกินไปการแข็งตัวของเรซินจะช้าลง และออกซิเจนมีประโยชน์มากในเรื่องการยืดอายุการเก็บของเรซิน

2.7 สารเพิ่มความแข็ง (Hardener)

สารเพิ่มความแข็ง (Hardener) เป็นสารประกอบโพลีเอมีน ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยปฏิกิริยาจะเกิดที่หมู่ Epoxide ของสารประกอบ ซึ่งจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของแป้งกับสารเพิ่มความแข็งแบบร่างแห (Cross Link)

สารเพิ่มความแข็งจะทำให้เกิดความแข็งแบบร่างแห (Cross link) ในโมเลกุลเป็นจำนวนมาก ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นค่อนข้างซับซ้อน ความแข็งแบบร่างแห (Cross Link) ที่เกิดเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่ Amine กับหมู่ Epoxide โดยจะเกิดการเชื่อมต่อกันไปเรื่อยๆระหว่างโมเลกุล การทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล (Cross linking) จากพรีพอลิเมอร์ที่ได้ ปฏิกิริยาขั้นต่อไปคือการขึ้นรูปและทำาให้พรีพอลิเมอร์เกิดการเชื่อมโยงระหว่าง โมเลกุล ซึ่งการเกิด ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ดังกล่าวนี้สามารถทำให้เกิดได้ทั้งที่ตำแหน่งหมู่ อีพอกซีที่ปลายโมเลกุล และที่ตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซีในบริเวณตรงกลางสายโซ่ของพรีพอลิเมอร์ การทำปฏิกิริยาที่หมู่อีพอกซีจะใช้สารประกอบ เอมีนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หรืออาจเรียกว่าสารที่ทำให้แข็งตัว (Hardener) ซึ่งสารเอมีนที่ใช้จะมีหลายประเภท เช่นสารประกอบเอมีนที่มีหลายหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุล (Poly-functional amines) เช่น Diethylene triamine และ Triethylene tetraamine

2.8 การทดสอบชิ้นงาน

2.7.1 การทดสอบแรงอัด

การทดสอบแรงอัดเป็นการทดสอบที่มีลักษณะการใส่แรงกระทำในแบบตรงข้ามกับการทดสอบแรงดึงคือการทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบในลักษณะการดึงยืดชิ้นทดสอบส่วนการทดสอบแรงอัดเป็นการทดสอบในลักษณะการกดอัดชิ้นทดสอบ โดยการพิจารณาเลือกการทดสอบแรงอัดแทนกระบวนการทดสอบอื่นจะขึ้นอยู่กับประเภทของการนำไปใช้งานของวัสดุ เช่น โลหะซึ่งมีความต้านทานแรงดึงค่อนข้างสูงรวมทั้งวัสดุกลุ่มพลาสติก ส่วนใหญ่จะทำการทดสอบแรงดึง ส่วนวัสดุเปราะ เช่น คอนกรีต อิฐ และผลิตภัณฑ์เซรามิคซึ่งมีความต้านทานแรงดึงค่อนข้างสูง รวมทั้งวัสดุกลุ่มพลาสติก ส่วนใหญ่จะทำการทดสอบแรงดึง ส่วนวัสดุเปราะ เช่น คอนกรีต อิฐ และผลิตภัณฑ์เซรามิคซึ่งมีความแข็งแรงดึงค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับความแข็งแรงอัด ประกอบกับวัสดุประเภทนี้จะใช้งานในรูปของการรับแรงอัดมากกว่า ดังนั้นการทดสอบแรงอัดกับวัสดุประเภทนี้จึงให้ความสำคัญมากกว่าการทดสอบแรงดึง

แรงเค้นอัดเกิดจากแรงอัดที่ให้กับชิ้นทดสอบ ซึ่งทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการหดตัวหรืออัดตัวภายใต้แรงอัดนั้น ชิ้นทดสอบที่ใช้ในการทดสอบแรงอัดนี้ต้องมีลักษณะสั้นและมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าความยาว เนื่องจากการทดสอบแรงอัดกับชิ้นทดสอบที่มีขนาดยาวจะเกิดการโค้งงอด้านข้างซึ่งมีรูปแบบการเกิดที่ไม่แน่นอนจากการเสียรูปแบบยืดหยุ่น ดังนั้นโดยปกติชิ้นทดสอบที่ใช้ในการทดสอบแรงอัดมักเตรียมเป็นทรงกระบอก อย่างไรก็ตามบางวัสดุเช่นอิฐซึ่งเตรียมเป็นทรงกระบอกได้ยาก กรณีเช่นนี้จะเตรียมชิ้นทดสอบในรูปทรงที่สะดวกที่สุด

อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบต้องพิจารณาอย่างระมัดระวังทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุกับเงื่อนไขการทดสอบ เนื่องจากความคงรูปของชิ้นชิ้นทดสอบจะลดลงตามความสูงหรือความยาวของชิ้นทดสอบที่เพิ่มขึ้น

รูปที่ 2.14 เครื่องทดสอบแรงอัด
ที่มา : ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ (2555)

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$\boldsymbol{\sigma} = \frac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{A}} \qquad (2.1)$$

โดย $\boldsymbol{\sigma}$ คือ ค่าความเค้น มีหน่วยเป็น N/m^2 หรือ Pa

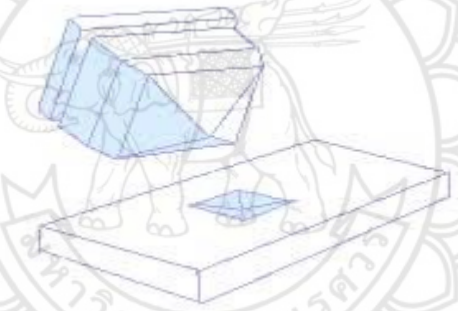
F คือ แรงที่กระทำต่อวัตถุ มีหน่วยเป็น N

A คือ พื้นที่หน้าตัด มีหน่วยเป็น m^2

2.7.2 การทดสอบความแข็งแบบวิคเกอร์

เครื่องทดสอบความแข็งสร้างรอยขนาดเล็กแบบวิคเกอร์ หรือเครื่องทดสอบความแข็งแบบวิคเกอร์ อยู่ในรูปที่ด้านบน การทำงานของเครื่องมีความคล้ายคลึงกันกับเครื่องทดสอบแบบบริเนล แต่จะมีความแตกต่างกันดังนี้

- หัวกดที่มีรูปร่างต่างกัน
- แรงกระทำที่น้อยกว่า
- หน่วยวัดความแข็งที่ไม่เหมือนกัน



รูปที่ 2.15 การทดสอบความแข็งแบบวิคเกอร์
ที่มา : ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ (2555)

มุมของหัวกดเพชรมีค่าประมาณ 136° ดูที่รูป แรงที่ใช้ในการกดอยู่ที่ 50 กิโลกรัม ในบางครั้งการทดสอบความแข็งแบบวิคเกอร์จะใช้แรงที่มาก หรือน้อยกว่า 50 กิโลกรัม ก็ได้ เช่น 5,10, 20, 30 หรือ 100 กิโลกรัม แรงที่ใช้กด ควรค้างไว้ที่ชิ้นทดสอบประมาณ 30 วินาที พื้นผิวที่ทดสอบควรที่จะราบเรียบ แบน สะอาด และเป็นแนวระนาบก่อนที่จะทำการทดสอบ

สามารถวัดความยาวของเส้นทแยงมุมจากรอยกดได้หลายวิธีได้แก่

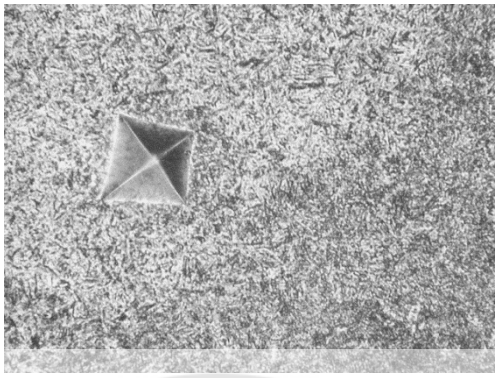
-ใช้กล้องจุลทรรศน์ที่คล้ายกับการวัดแบบบริเนล

-ใช้เครื่องมือวัดเปรียบเทียบที่เรียกว่า

ไมโครมิเตอร์บาร์เรล (Micrometer barrel)

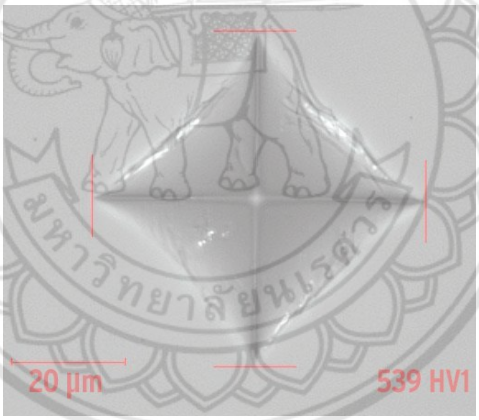
-ใช้การอ่านจากข้อมูลดิจิตอล (Digital readout)

-ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์แสดงรูปของรอยกดในหน้าจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.16 รอยที่ได้จากการทดสอบแบบวิคเกอร์

ที่มา : ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ (2555)



รูปที่ 2.17 รอยบุ๋มพิระมิดทดสอบความแข็งแบบวิคเกอร์

ที่มา : ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ (2555)

ทำการวัดความยาวเส้นทแยงมุมของรอยกด แล้วนำมาคำนวณจากความยาวเส้นทแยงมุม หรือเทียบกับตารางเปรียบเทียบค่าที่วัดได้ก็จะเปลี่ยนไปเป็นหน่วย DPH (Diamond pyramid hardness) ใช้สมการที่ 2.1 ในมาคำนวณ

$$\text{DPH} = \frac{1.85F}{d^2} \qquad (2.2)$$

กำหนดให้ DPH = ค่าความแข็งที่ได้จากหัวกดเพชรรอยพีระมิดของวิคเกอร์ หน่วยเป็น DPH

F = แรง หรือภาระที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบ หน่วยกิโลกรัม

d = ความยาวของแนวทแยงของรอยเว้าในหน่วยมิลลิเมตร

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธีรชัย ลิมป์ลาวัณย์ (ปี 2556) ได้ศึกษาค่าความแข็งผิวแบบนูปของวัสดุครอบฟันและสะพานฟันชั่วคราวชนิดบ่มเองร่วมกับบ่มด้วยแสงภายใต้ความหนาของซิลิโคนชนิดใสที่ระดับต่างๆ โดยศึกษาในวัสดุครอบฟันและสะพานฟันชั่วคราวชนิดบ่มเองร่วมกับบ่มด้วยแสงคือ เทมสแปน และลักซาเทมโซล่า ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดจะแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม ในกลุ่มเทมสแปนกำหนดให้ S0 เป็นกลุ่มที่ไม่ใช้ซิลิโคนชนิดใส กลุ่ม S2 S4 และS6 เป็นกลุ่มที่ใช้ซิลิโคนชนิดใสที่มีความหนา 2.0 4.0 และ 6.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในแต่ละกลุ่ม ผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งผิวแบบนูปและร้อยละของค่าเฉลี่ยความแข็งผิวแบบนูปทุกกลุ่มย่อยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<.05) และไม่มีกลุ่มตัวอย่างใดที่มีร้อยละของค่าเฉลี่ยความแข็งผิวแบบนูปเกินร้อยละ 80 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยความแข็งผิวแบบนูปที่ระดับ D0 ทำให้สรุปผลการทดลองได้ว่า เมื่อใช้แสงจากเครื่องฉายแสงชนิดฮาโลเจนเพียงอย่างเดียวในการบ่มวัสดุครอบฟันและสะพานฟันชั่วคราวชนิดบ่มเองร่วมกับบ่มด้วยแสงพบว่า ความหนาของของซิลิโคนชนิดใสมีผลต่อค่าความแข็งผิวแบบนูปของวัสดุครอบฟันและสะพานฟันชั่วคราวชนิดบ่มเองร่วมกับบ่มด้วยแสง ดังนั้นการใช้โครงแบบซิลิโคนชนิดใสผลิตวัสดุครอบฟันและสะพานฟันชั่วคราวจำเป็นต้องมีการฉายแสงเพิ่มเติมเพื่อให้วัสดุมีความแข็งแรงมากขึ้นก่อนให้ผู้ป่วยใช้งานจริง

บุษบา เปลี่ยนศรีทอง และคณะวิจัย (ปี 2554) ได้พยายามศึกษาวิธีการที่ดีที่สุดในการปรับสภาพพื้นผิวของเซอร์โคเนีย ทั้ง 5 วิธี โดยใช้ร่วมกับสารรองพื้นทั้ง 2 ชนิด การศึกษาความแข็งแรงของยึดติดระหว่างเซอร์โคเนียกับเรซินซีเมนต์จะกระทำโดยเตรียมชิ้นงานเซอร์โคเนียที่รูปร่างทรงกระบอกกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร จำนวน 75 ชิ้น จาก

ก้อนเซอร์โคเนียที่เผามาแล้วบางส่วนให้มีขนาดที่ใหญ่กว่ารูปร่างสุดท้ายประมาณ 35% และนำไปเผาจนสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 1,350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมงแล้วนำมาขัดแต่งให้ได้ขนาดที่ต้องการ จากนั้นแบ่งชิ้นงานทั้งหมดออกเป็น 5 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 ปรับสภาพพื้นผิวโดยการเคลือบด้วยผงซิลิกาและเคลือบด้วยสารรองพื้นโลหะ กลุ่มที่ 2 ปรับสภาพพื้นผิวโดยการเคลือบด้วยผงซิลิกาและเคลือบด้วยสารรองพื้นเซรามิก กลุ่มที่ 3 ปรับสภาพพื้นผิวโดยการเป่าด้วยผงอะลูมินาและเคลือบด้วยสารรองพื้นโลหะ กลุ่มที่ 4 ปรับสภาพพื้นผิวโดยการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกัดบนพื้นผิวและเคลือบด้วยสารรองพื้นโลหะ กลุ่มที่ 5 ปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริกัดบนพื้นผิวและเคลือบด้วยสารรองพื้นเซรามิก ในการวิจัยนี้จะใช้สารรองพื้นโลหะยี่ห้อพานาเวียร์ (Panavia® F2.0, Kuraray Medical, Japan) และสารรองพื้นเซรามิกยี่ห้อเคลียร์ฟิล (Clearfil ® F2.0, Kuraray Medical, Japan) ในการศึกษา จากนั้นยึดแผ่นเรซินคอมโพสิตทรงกระบอกกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร เข้ากับแผ่นเซอร์โคเนียที่ปรับสภาพแล้วโดยใช้เรซินซีเมนต์ยี่ห้อพานาเวีย เอฟ 2.0 (Panavia® F2.0, Kuraray Medical, Japan) แผ่นเซอร์โคเนียกลมซึ่งยึดติดกับแผ่นเรซินคอมโพสิตกลมจะถูกนามาทดสอบ
แรงยึดเฉือนด้วยเครื่องทดสอบแรงสากล (Hitachi S-3000N, Japan) โดยใช้หัวกดกดลงในแนวดิ่งที่ความเร็ว 2 มิลลิเมตรต่อนาที

เทพรัตน์ เขมาลีลากุล (ปี 2549) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการนำวัสดุเซรามิกระบบที่มีความแข็งแรงสูงนำมาใช้ในงานครอบฟันและฟันปลอมติดแน่นเพื่อทดแทนฟันที่หายไปในฟันหลังมีความต้องการเพิ่มมากขึ้น วัสดุใหม่ๆ ที่นำมาใช้สร้างโครงภายในครอบฟันได้ถูกพัฒนาขึ้นมาหลายชนิดในช่วงสิบปีที่ผ่านมา โดยเฉพาะยิทเทรียมเททระโกนอลเซอร์โคเนียโพลิคริสตัล เป็นวัสดุที่มีความน่าสนใจมากขึ้น ในปัจจุบันจากที่วัสดุนี้มีคุณสมบัติที่ให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างผลึกประกอบกับการนำเอาเทคโนโลยีแคด-แคมมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ทำให้มีการพัฒนาวิธีการผลิตครอบฟัน และฟันปลอมติดแน่นชนิดเซรามิกล้วนมากมายหลายรูปแบบ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงมีความสนใจในการศึกษาถึงลักษณะโครงสร้าง คุณสมบัติ และเทคนิกการผลิตครอบฟัน

อุมาพร วิมลกิตติพงศ์ (ปี 2558) ได้วิจัยเกี่ยวกับการซ่อมแซมครอบฟันและสะพานฟันโดยใช้วัสดุอุดเรซินคอมโพสิตในช่องปากที่แตกให้เกิดผลสำเร็จขึ้นกับความแข็งแรงของผิวยึดติดระหว่างพื้นผิวเซรามิกกับเรซินคอมโพสิตที่สำคัญ คือ การยึดติดเชิงกลและทางเคมี ซึ่งจำเป็นต้องมีการเตรียมผิวของเซรามิกให้เหมาะสมกับชนิดและองค์ประกอบของเซรามิกส่วนที่เหลืออยู่เพื่อให้เกิดการยึดติดสูงสุด บทความนี้จะกล่าวถึงการจำแนกเซรามิก ล้วนแยกตามองค์ประกอบเซรามิก อัตราการอยู่รอด และปัญหาที่พบภายหลังการใส่ครอบฟันเซรามิก ลักษณะการแตกของเซรามิกการซ่อมแซมครอบฟันเซรามิกล้วนที่แตกด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิต และการเตรียมผิวครอบฟันเซรามิกล้วนที่แตกแบ่งตามชนิดของเซรามิก

Yangyang Xuและคณะวิจัย (ปี 2560) เซรามิกโปร่งใส Y_2O_3 ถูกเตรียมจากสารเหลวที่มีแอลกอฮอล์ของนาโนโพลิเมอร์ Y_2O_3 ผ่านการหล่อหลอม วิธีการหลีกเลี่ยงปัญหาการไฮโดรไลซิส

polyvinyl pyrrolidone (PVP), polyethylene glycol (PEG) และ polyethylenimine (PEI) ถูกใช้เป็นสารช่วยกระจายตัวเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางรีโอโลจีของตะกอน ผลการวิจัยพบว่า PEI เป็นสารช่วยกระจายตัวที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในเอทานอล ปริมาณที่ดูดซับของ PEI ได้รับการประเมินด้วยอินฟราเรด การวัดการดูดกลืนและการไหลเวียนโลหิต สารละลาย Y_2O_3 ที่มีการใส่ทึบที่ 20.8 vol% และมีความหนืด < 0.1 Pa.s ที่อัตราเฉือนของ 10 s-1 โดยใช้ 1.5% wtly PEI สารละลายมีสีเขียวเป็นเนื้อเดียวกัน ร่างกายและสุดท้ายส่งผลให้มีเซรามิค Y_2O_3 ที่มีคุณภาพสูงโดยมีการส่งผ่านในเส้นที่ 80 นาโนเมตรที่ 800 นาโนเมตร

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ ขั้นตอนเตรียมสารและขั้นตอนการทดลองของผงแป้งข้าวเหนียว เพื่อนำไปใช้งานในการขึ้นรูปแบบพิมพ์ฟันแบบใส (Clear aligner) จากนั้นทดสอบสมบัติเชิงกล ทดสอบการสลายตัว และศึกษาความเป็นไปได้ของสัดส่วนในการผสมแป้งข้าวเหนียว แล้วสรุปผลการทดลอง

3.1 วัสดุ และอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุ

3.1.1.1 ผงแป้งข้าวเหนียว (ตราช้างเหยียบระฆัง)

3.1.1.2 ดินขาว (Wight clay) จากบริษัท (Asian Insulator Public Co., Ltd)

3.1.1.3 เรซิน

3.1.1.4 สารเพิ่มความแข็ง

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2.1 เครื่องชั่งสาร

3.1.2.2 กระบอกตวงสาร

3.1.2.3 ช้อนตักสาร

3.1.2.4 บีกเกอร์

3.1.2.5 แท่งแก้วคนสาร

3.1.2.6 หม้อบดบอลล์มิลล์ (Ball mill) และรางบด

3.1.2.7 ตะแกรงร่อน

3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1.3.1 เครื่องทดสอบความแข็ง ด้วยเครื่องทดสอบ Microvicker Hardness

3.1.3.2 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกด ด้วยเครื่องทดสอบ Compressive Strength

3.2 การเตรียมผงดิน

3.2.1 นำไปบดให้ละเอียด โดยวิธีการบดแห้งด้วยเครื่องบดอนุภาพแบบบอลล์มิล (Ball mill) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

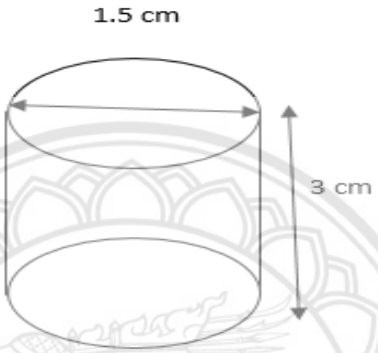
3.2.2 แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 (ขนาด 0.850 มิลลิเมตร) และเบอร์ 30 (ขนาด 0.600 มิลลิเมตร)

3.3 ขันตอนการขึ้นรูปชิ้นงาน

3.3.1 นำแป้งมาชั่งในอัตราส่วนต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ และทำการชั่งน้ำในอัตรา 1:1 ของแป้งข้าวเหนียว

3.3.2 นำไปผ่านกระบวนการทางความจนทำให้เกิดปฏิกิริยาเจลาติไนเซชั่นที่ความร้อนร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 25 นาที ทำการกวนแป้งจนแป้งเริ่มเหนียว และใส

3.3.3 นำของผสมเรซินมาผสมในอัตราส่วนต่างๆ แล้วเทลงแม่พิมพ์รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร และความสูงของชิ้นงานขนาด 3 เซนติเมตร แล้วปล่อยให้ชิ้นงานเซ็ตตัวใช้เวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.1 ขนาดแม่พิมพ์ทรงกระบอก

3.3.4 นำชิ้นงานที่ได้มาทดสอบสมบัติเชิงกล ทดสอบความต้านทานแรงกด และทดสอบความแข็ง

3.3.5 รวบรวมข้อมูลแล้วสรุปผลการทดลอง

3.4 การศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดระหว่างผงแป้งข้าวเหนียวผสมเรซินและสารเพิ่มความแข็ง

ในขั้นตอนนี้จะศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่ให้ค่าคุณสมบัติเชิงกลที่สูงที่สุดของแป้งข้าวเหนียวที่ผสมกับเรซินและสารเพิ่มความแข็งโดยใช้ผงแป้งข้าวเหนียว (ช้างเหยียบระฆัง) 20 กรัม และทำการศึกษาปริมาณเรซินในช่วงร้อยละ 0 - 100 โดยน้ำหนักดังตารางที่ 3.1 ในขั้นตอนนี้จะทำการผสมแป้งข้าวเหนียวผสมกับน้ำโดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวผสมกับน้ำในอัตราส่วนผสม 1:1 และนำมาผ่านกระบวนการทางความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 25 นาที ในการผสมให้แป้งข้าวเหนียวกับน้ำเข้ากันแล้วเกิดเป็นของเหลวเหนียวไม่มีความความแข็ง และได้ทำการผสมของผสมเรซินเพื่อเร่งปฏิกิริยาให้แป้งข้าวเหนียวให้มีการเซ็ตตัวได้เร็วขึ้น แล้วทำการผสมแป้งข้าวเหนียวกับของผสมเรซินในอัตราส่วนต่างๆตามตารางที่ 3.1 ผสมโดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวผสมกับน้ำในอัตราส่วนผสม 1:1 และนำมาผ่านกระบวนการทางความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 25 นาที ในการผสมให้แป้งข้าวเหนียวกับน้ำเข้ากันแล้วเกิดเป็นของเหลวเหนียวไม่มีความความแข็ง และได้ทำการผสมของผสมเรซินเพื่อเร่งปฏิกิริยาให้แป้งข้าวเหนียวให้มีการเซ็ตตัวได้เร็วขึ้นแป้งข้าวเหนียวเกิดในอัตราส่วนต่างๆตามตารางที่ 3.1 โดยใช้อัตราส่วนเรซินต่อสารเพิ่มความแข็ง 2:1 เมื่อทำการผสมเข้ากันดีแล้วให้นำส่วนผสมลงในแม่พิมพ์ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร และความสูงของชิ้นงานขนาด 3 เซนติเมตร หลังจากการขึ้นรูปเสร็จจะปล่อยให้ชิ้นงานเซ็ตตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปทดสอบความต้านทานแรงกด และทดสอบความแข็ง

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียวที่ผสมของผสมเรซิน

ตัวอย่าง	อัตราส่วนผสม แป้งข้าวเหนียว:ของผสมเรซิน
S1	1:5
S2	1:4.5
S3	1:4
S4	1:3.5
S5	1:3
S6	1:2.5
S7	1:2
S8	1:1.5
S9	1:1
S10	1:0.5

3.5 ศึกษาผลกระทบของดินขาวที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของผงแป้งข้าวเหนียว

โดยในขั้นตอนนี้จะศึกษาผลกระทบของดินขาวที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของแป้งข้าวเหนียว โดยเติมดินขาวอยู่ในช่วงปริมาณ ร้อยละ 0 - 100 โดยน้ำหนักดังตารางที่ 3.2 และในขั้นตอนนี้จะนำอัตราส่วนผสมที่ให้ค่าความต้านทานแรงกดที่สูงที่สุดและค่าความแข็งที่ดีที่ดีสุดจากตารางที่ 3.1 เพื่อจะนำดินขาวมาผสมเพื่อจะเสริมแรงให้กับแป้งข้าวเหนียวเพื่อจะให้คุณสมบัติเชิงกลของแป้งข้าวเหนียวดีขึ้นและในขั้นตอนนี้ได้ทำการลดอัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวและเพิ่มอัตราส่วนของของดินขาวตามตารางที่ 3.2 และในขั้นตอนนี้จะใช้อัตราส่วนของผสมเรซิน (Resin) ที่ดีที่สุดจากการทดลอง 3.3 และจะทำการขึ้นรูปในอัตราส่วนต่างๆ ตามตารางที่ 3.2 แล้วผสมให้เข้ากันแล้วนำไปเทลงแม่พิมพ์ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร และความสูงของชิ้นงานขนาด 3 เซนติเมตร หลังจากการขึ้นรูปเสร็จจะให้ชิ้นงานเซ็ตตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปทดสอบความต้านทานแรงกด และทดสอบความแข็ง

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียว ดินขาว

ตัวอย่าง	อัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:ดินขาว
SC1	100:0
SC2	90:10
SC3	80:20
SC4	70:30
SC5	60:40
SC6	50:50
SC7	40:60
SC8	30:70
SC9	20:80
SC10	10:90

3.6 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties)

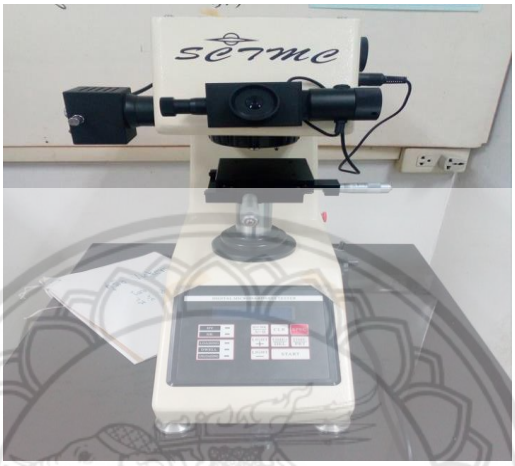
3.5.1 การทดสอบการต้านทานแรงกด

ในการเตรียมตัวอย่างการทดลองจะเตรียมตัวอย่างชิ้นงานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ความสูงขนาด 3 เซนติเมตร โดย 1 ตัวอย่างการทดสอบจะใช้จำนวนชิ้นงาน 5 ชิ้น ในการทดสอบ เมื่อได้ชิ้นงานที่จะทำการทดสอบแล้วจะทดสอบด้วยเครื่องต้านทานแรงอัด (Compressive Strenght) ด้วยเครื่องมือ Universal Testing Machine ยี่ห้อ Tecno Test โดยจะใช้ Load Cell ขนาด 250 กิโลนิวตัน และใช้ความเร็วหัวกด Cross load speed เท่ากับ 4 มิลลิเมตร.ต่อนาที แล้วจะนำค่าที่ได้มาคำนวณในสมการที่ 2.1

รูปที่ 3.2 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกด (Compressive Strength)
ที่มา : Shop IE (2561)

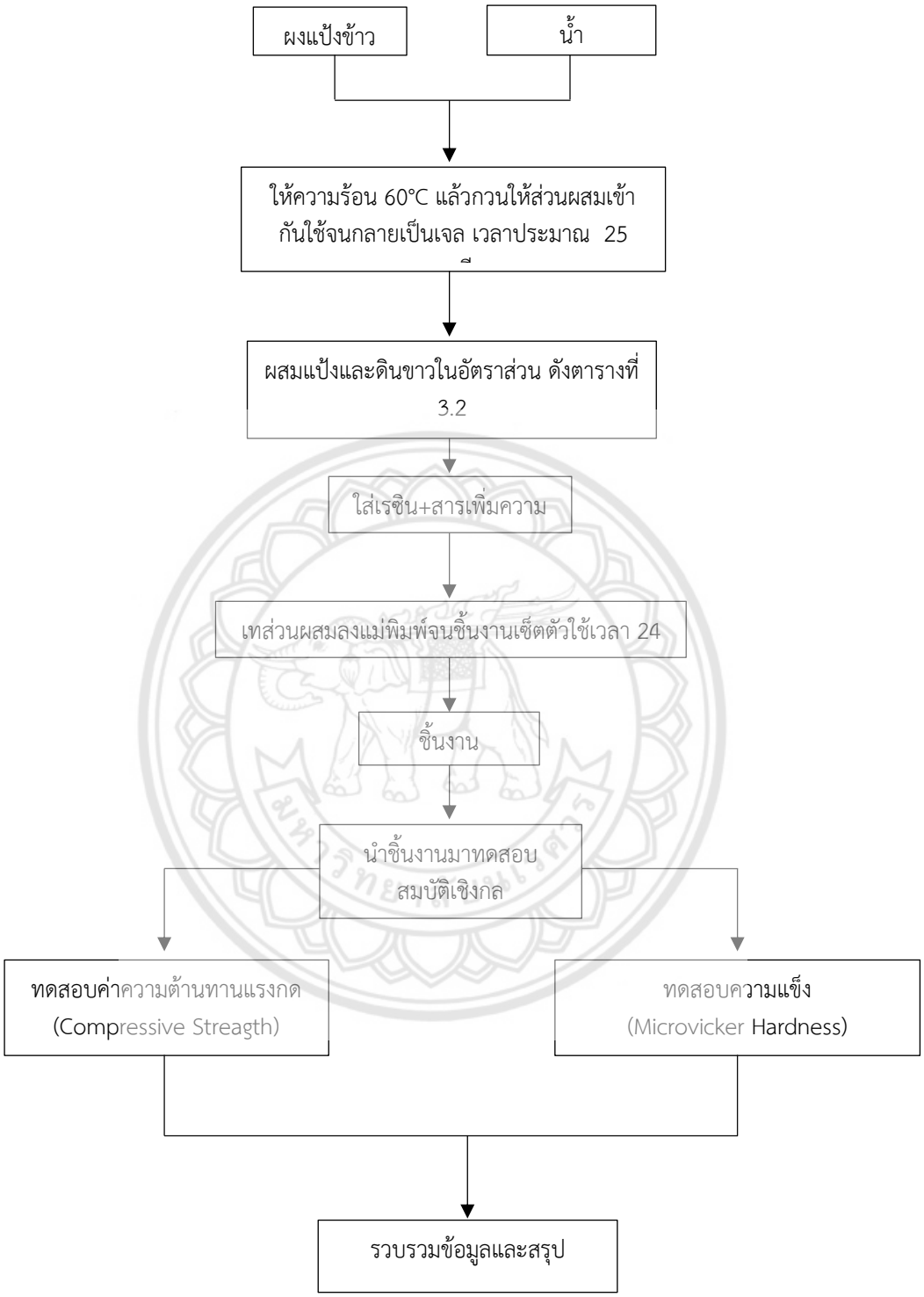
3.5.2 การทดสอบความแข็ง(Hardness)การทดสอบความแข็งด้วยเครื่องทดสอบ (vicker MicroHardness Tester)

ในการเตรียมตัวอย่างการทดลองจะเตรียมตัวอย่างชิ้นงานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ความสูงขนาด 3 เซนติเมตร โดย 1 ตัวอย่างการทดสอบจะใช้จำนวนชิ้นงาน 5 ชิ้น ในการทดสอบจะนำไปขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1000 เพื่อให้ผิวชิ้นงานเรียบก่อนจะทำการทดสอบความแข็งด้วยเครื่อง vicker MicroHardness เมื่อได้ชิ้นงานที่จะทำการทดสอบ โดยในการทดสอบหัวกดจะใช้ Load Cell ขนาด 0.245 กิโลกรัมฟอร์ช ใช้เวลาในการกด 15 วินาที



รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบความแข็ง (VickerMicrohardness Tester)
ที่มา : Shop IE (2561)

3.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.8 วิจารณ์ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

3.7.1 เปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดและค่าความแข็งของตัวอย่างที่ปริมาณของผสมเรชิน ที่แตกต่างกัน

3.7.2 เปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดและความแข็งของตัวอย่างที่เติมดินขาวที่ปริมาณที่แตกต่างกัน

3.7.3 สรุปผลการทดลอง

บทที่ 4
ผลการทดสอบและวิเคราะห์

4.1 ศึกษาหาอัตราส่วนผสมผงแป้งข้าวเหนียวผสมเรซินและสารเพิ่มความแข็ง

ในขั้นตอนนี้จะทำการผสมโดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวผสมกับน้ำในอัตราส่วนผสม 1:1 และนำมาผ่านกระบวนการทางความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 25 นาที ในการผสมให้แป้งข้าวเหนียวกับน้ำเข้ากันแล้วเกิดเป็นของเหลวเหนียวไม่สามารถวัดค่าความแข็งได้ และได้ทำการผสมของผสมเรซินเพื่อเร่งปฏิกิริยาให้แป้งข้าวเหนียวให้มีการเซ็ตตัวได้เร็วขึ้นแป้งข้าวเหนียวเกิดในอัตราส่วนต่างๆตามตารงที่ 3.1 จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนระหว่างส่วนผสมผงแป้งข้าวเหนียวและของผสมเรซินระหว่าง 1:0 -1:1.5 นั้น ไม่สามารถขึ้นรูปได้เนื่องจากเมื่อผสมไปแล้วอัตราส่วนผสมของเรซินและสารเพิ่มความแข็งน้อยเกินไป เมื่อผสมกันแล้วทำให้แป้งข้าวเหนียวไม่จับตัวกัน ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:ของผสมเรซิน

ตัวอย่าง	อัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:เรซินและสารเพิ่มความแข็ง	ค่าเฉลี่ยความต้านทาแรง (MPa)	ค่าเฉลี่ยความแข็ง(HV)
S1	1:5	14.63 ± 1.55	6.44 ± 0.99
S2	1:4.5	17.13 ± 1.20	6.09 ± 0.51
S3	1:4	18.73 ± 1.10	5.68 ± 0.45
S4	1:3.5	17.83 ± 0.28	5.19 ± 0.44
S5	1:3	17.13 ± 0.40	5.05 ± 0.30
S6	1:2.5	16.2 ± 1.60	4.87 ± 0.17
S7	1:2	15.5 ± 1.08	4.31 ± 0.99
S8	1:1.5	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว
S9	1:1	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว
S10	1:0.5	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว

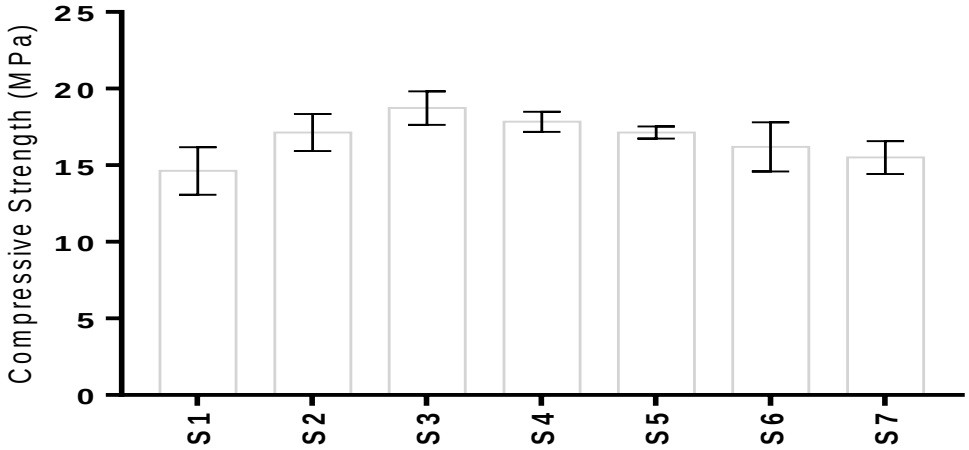
ตารางที่ 4.2 ลักษณะตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบอัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:เรซิน และสารเพิ่มความแข็ง

อัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:ของผสมเรซิน	**ลักษณะตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ**
1:5	
1:4.5	
1:4	

ตารางที่ 4.2 ลักษณะตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบอัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:เรซิน และสารเพิ่มความแข็ง

อัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:ของผสมเรซิน	**ลักษณะตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ**
1:3.5	
1:3	
1:2.5	
1:2	
1:1.5	ไม่เซ็ตตัว
1:1	ไม่เซ็ตตัว
1:0.5	ไม่เซ็ตตัว

4.1.1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงกด (Compressive Strength)

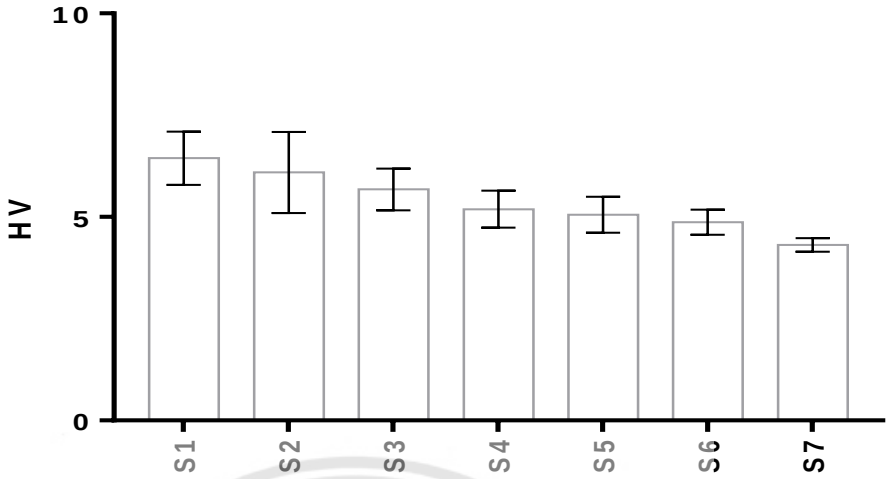


รูปที่4.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกด(Comprssive Strength)ของอัตราส่วนผสมแป้งต่อผสมเรซินและสารเพิ่มความแข็ง

จากรูปที่ 4.1 ผลการทดลองพบว่าเมื่อลดปริมาณของผสมเรซินลง พบว่าค่าความต้านทานแรงกดเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอัตราส่วนที่ให้ค่าความต้านทานแรงกดสูงสุดคือที่อัตราส่วน 1:4 (S3) และเมื่อลดอัตราส่วนของผสมเรซินลดลง จากอัตราส่วน 1:3.5 (S4) จนถึง 1:0.5 (S7) พบว่าค่าความต้านทานแรงกดลดลง เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวเมื่อผ่านกระบวนทางความร้อนทำให้แป้งข้าวเหนียวเกิดเป็นของเหลวเหนียวและหนืดไม่มีความแข็ง เมื่อทำการลดปริมาณของผสมเรซินลงจึงทำให้ค่าความต้านทานแรงกดลดลงดังนั้นจึงได้นำค่าความต้านแรงกดตัวอย่างที่ S3 อัตราส่วน 1:4 (S3) ไปทำการศึกษาในขั้นต่อไป

จากผลการทดลองพบว่าสอดคล้องกับทฤษฎีวัสดุเชิงประกอบ (Composite Materials) นั้นมีของผสมเรซิน เป็นวัสดุพื้น (Matrix) และผงแป้งข้าวเหนียวเป็นวัสดุเสริมแรง (Reinforcement) เมื่อผสมกันแล้วเฟสของเนื้อวัสดุผสมไม่มีความต่อเนื่องจึงทำให้ค่าความต้านทานแรงกดลดลง

4.1.2 ผลการทดสอบค่าความแข็ง (Hardness)



รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าความแข็งจากการทดสอบ (Vicker Hardness) ของอัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวผสมเรซินและสารเพิ่มความแข็ง

จากรูปที่ 4.2 จากผลการทดสอบความแข็งจากทดสอบ (Hardness) ได้ค่าความแข็งที่สุดคืออัตราส่วน 1:5 (S1) จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าเมื่อลดปริมาณของผสมเรซินลดลง ทำให้ค่าความแข็งของตัวอย่างลดลง เนื่องจากของผสมเรซินมีความแข็งกว่าแป้งข้าวเหนียว ดังนั้นเมื่อลดปริมาณของผสมเรซินลง จึงทำให้ค่าความแข็งลดลงด้วยเช่นกัน

อีกทั้งจากผลการทดลองพบว่าสอดคล้องกับทฤษฎีวัสดุเชิงประกอบ (Composite Materials) นั้นมีของผสมเรซิน เป็นวัสดุพื้น (Matrix) และผงแป้งข้าวเหนียวเป็นวัสดุเสริมแรง (Reinforcement) เมื่อผสมกันแล้วเฟสของเนื้อวัสดุผสมไม่มีความต่อเนื่องจึงทำให้ค่าความแข็งลดลง เมื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบค่าความแข็งพบว่าค่าความแข็งของ S1-S3 ไม่มีความแตกต่างที่นัยสำคัญจึงเลือก S3 มี อัตราส่วน 1:4 (S3) มีค่า SD ต่ำกว่า S1 จึงนำไปทำการศึกษาในขั้นต่อไป

4.2 ศึกษาผลกระทบของดินขาวที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของผงแป้งข้าวเหนียว

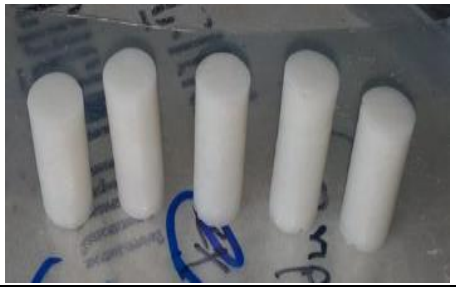
ในขั้นตอนการทดสอบนี้จะนำอัตราส่วนผสมที่ให้ค่าความต้านทานแรงกดที่สูงที่สุดและค่าความแข็งที่ดีที่ดีสุดคืออัตราส่วน 1:4 (S3) จากการทดลองที่ 3.3 เพื่อจะนำดินขาวมาเสริมแรงให้กับแป้งข้าวเหนียวเพื่อจะให้คุณสมบัติเชิงกลของแป้งข้าวเหนียวดีขึ้นและในขั้นตอนนี้ได้ทำการลดอัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวและเพิ่มอัตราส่วนของของดินขาวตามตารางที่ 3.2 และในขั้นตอนการทดสอบนี้จะใช้อัตราส่วนของผสมเรซิน (Resin)ที่ ดีที่สุดจากจาการทดลอง 3.3 และจะทำการขึ้นรูปในอัตราส่วนต่างๆ ตามตารางที่ 3.2 แล้วผสมให้เข้ากันแล้วนำไปเทลงแม่พิมพ์ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร และความสูงของชิ้นงานขนาด 3 เซนติเมตร หลังจากการขึ้นรูปเสร็จจะให้ชิ้นงานเซ็ตตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือ 1 วัน และนำไปทดสอบความต้านทานแรงกด และทดสอบความแข็ง

การศึกษาผลกระทบของดินขาวที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของผงแป้งข้าวเหนียวในอัตราส่วนร้อยละ 0-90 โดยน้ำหนักของผงแป้งข้าวเหนียวผสมกับดินขาว เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกด (Compressive Strength) และ ค่าความแข็ง (Hardness)

ตารางที่ 4.3 อัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:ดินขาว

ตัวอย่าง	อัตราส่วนผสแป้งข้าวเหนียว:ดินขาว (g)	ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงกด (MPa)	ค่าเฉลี่ยความแข็ง (HV)
SC1	100:0	14.63 ± 1.55	5.36 ± 0.35
SC2	90:10	16.16 ± 0.81	3 ± 0.57
SC3	80:20	16.37 ± 0.46	2.72 ± 0.47
SC4	70:30	20.3 ± 0.36	2.17 ± 0.72
SC5	60:40	18.4 ± 1.15	1.84 ± 0.28
SC6	50:50	13.63 ± 1.10	1.59 ± 0.19
SC7	40:60	13.36 ± 0.71	1.44 ± 0.32
SC8	30:70	13.18 ± 0.64	1.30 ± 0.17
SC9	20:80	11.57 ± 0.29	1.31 ± 0.24
SC10	10:90	6.9 ± 0.61	1.08 ± 0.17

ตารางที่ 4.4 ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบอัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:ดินขาว

อัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:ดินขาว	**ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ**
100:0	
90:10	
80:20	

ตารางที่ 4.4 ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบอัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:ดินขาว

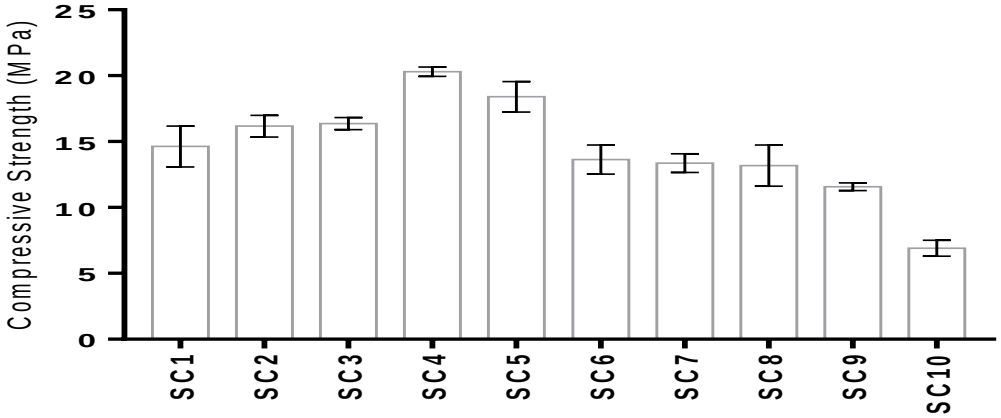
อัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:ดินขาว	**ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ**
70:30	
60:40	
50:50	
40:60	

ตารางที่ 4.4 ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบอัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:ดินขาว

อัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:ดินขาว	**ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ**
30:70	
20:80	
10:90	

จากตารางที่ 4.4 ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบอัตราส่วนผสมแป้งข้าวเหนียว:ดินขาว จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณดินขาวมากขึ้นลักษณะสีของชิ้นงานเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลเข้ม เนื่องจากสีของดินขาวมีลักษณะสีขาวออกเหลืองจึงทำให้ลักษณะชิ้นงานจึงเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลเข้ม

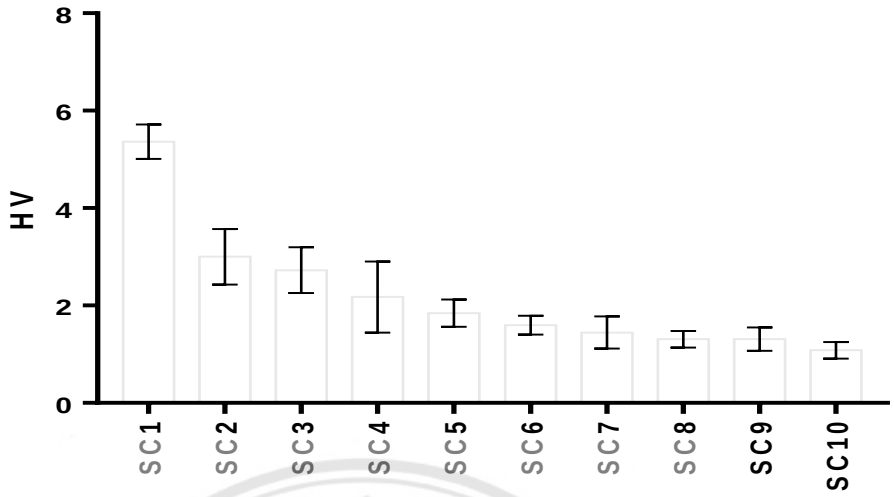
4.2.1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงกด (Comprssive Strength)



รูปที่4.3 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกด (Compressive Strength) ของอัตราส่วนของผงแป้งข้าวเหนียวผสมกับดินขาว

จากรูปที่ 4.3 จากผลการทดลองเมื่อเพิ่มปริมาณดินขาวพบว่าเสริมแรงให้กับแป้งข้าวเหนียว พบว่าค่าความต้านทานแรงกดเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอัตราส่วนที่ให้ค่าความต้านทานแรงกดเพิ่มขึ้นที่ตัวอย่าง SC2-SC4 และมีค่าความต้านทานแรงกดที่สูงที่สุดที่ SC4 เนื่องจากปริมาณแป้งข้าวเหนียวที่ผสมมีมากกว่าปริมาณดินขาวเมื่อแป้งข้าวเหนียวผ่านกระบวนทางความร้อนจะมีความหนืดและยึดเกาะกันดีเมื่อผสมกับปริมาณดินขาวที่มีอนุภาคขนาดเล็กเมื่อผสมกันแล้วทำให้มีความต่อเนื่องเฟสของเนื้อวัสดุ เมื่อนำมาผสมกับของผสมเรซินชิ้นงานสามารถเซ็ตตัวในระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อทำการทดสอบค่าความต้านทานแรงกดจึงทำให้ค่าความต้านทานแรงกดเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อถึงตัวอย่าง SC5-SC10 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดลดลง เนื่องจากปริมาณแป้งข้าวเหนียวลดลงพบว่า เมื่อผสมกับปริมาณดินขาวไปแล้วความหนืดลดลง และ เกิดเป็นของเหลวไม่หนืด เมื่อนำไปผสมกับของผสมเรซิน พบว่าเฟสของเนื้อวัสดุมีความไม่ต่อเนื่องทำให้ชิ้นงานมีความนิ่มเซ็ตตัวช้า เมื่อทำการทดสอบค่าความต้านทานแรงกดจึงทำให้ค่าความต้านทานแรงกดลดลง

4.2.2 ผลการทดสอบค่าความแข็ง (Hardness)



รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบความแข็ง(Hardness) ศึกษาผลกระทบของดินขาวที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของผงแป้งข้าวเหนียว

จากรูปที่ 4.4 พบว่าในการทดสอบความแข็ง (Hardness) พบว่าค่าความแข็งจะที่แข็งที่สุดคืออัตราส่วน 20:0 (SC1) เป็นปริมาณที่มีอัตราส่วนที่ยังไม่ได้ผสมกับอัตราส่วนของดินขาว จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณดินขาวที่นำมาผสมกับอัตราส่วน 1:4 (S3) มากขึ้นจะ ทำให้ค่าความแข็งของตัวอย่าง SC2-SC10 ลดลง เนื่องจากส่วนผสมของดินขาวและของผสมเรซิน (แป้งข้าวเหนียวผสมเรซินและสารเพิ่มความแข็ง) แล้วทำให้เฟสของเนื้อวัสดุผสมไม่มีความต่อเนื่องจึงทำให้ค่าความแข็งลดลง

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 จากการทดลองนี้พบว่าแป้งข้าวเหนียวผสมกับของผสมเรซินสามารถนำมาขึ้นรูปตัวอย่างเพื่อมาทดสอบค่าความต้านทานและค่าความแข็งได้

5.1.2 จากการศึกษาพบว่าการลดของผสมเรซินลงทำให้ค่าความต้านทานแรงกดเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ S3 และและค่าความต้านทานลดลงเนื่องจากการลดปริมาณเรซินและสารเพิ่มความแข็งจึงทำให้ค่าความต้านทานแรงกดลดลง และค่าความแข็งที่สูงที่สุดคือ S1 และลดปริมาณเของผสมเรซินทำให้ค่าความแข็งลดลงเนื่องจากแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนแล้วกลายเป็นของเหลวหนืด และเหนียวไม่มีความแข็ง เมื่อลดปริมาณของผสมเรซิน จึงทำให้ความแข็งลดลง

5.1.3 จากการศึกษาผลกระทบของดินขาวพบว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมของดินขาวเพื่อจะให้ดินขาวมาช่วยเสริมแรงทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดเพิ่มสูงขึ้นจนถึง SC4 เมื่อถึงตัวอย่างที่ SC5-SC10 ค่าความต้านทานแรงกดลดลง และทำให้ค่าความแข็งที่ลดลง เนื่องจากปริมาณของแป้งข้าวเหนียวลดลงและดินขาวเพิ่มขึ้นจึงทำให้การยึดเกาะของแป้งขาวเหนียวลดลง เมื่อนำมาผสมกับของผสมเรซิน (แป้งข้าวเหนียวผสมเรซินและสารเพิ่มความแข็ง) ดินขาวที่มีอนุภาคขนาดเล็กเกิดการรวมกันของโมเลกุลของดินขาว พบว่าเฟสของวัสดุไม่ต่อเนื่อง เมื่อนำมาทดสอบสมบัติเชิงกลจึงทำให้ค่าความต้านทานแรงกดลดลง และทำให้ค่าความแข็งลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ทดสอบแรงดึง (Tensile Strength)

5.2.2 ทอสอบเทอร์โมพลาสติก(Thermoplastic) และเทอร์โมเซ็ตติ้งพลาสติก (Thermosetting plastics) หรือเทอร์โมเซ็ต(Thermosets)

5.2.3 จากการทดลองผลกระทบของดินขาวต่อแป้งข้าวเหนียวควรมีการทำซ้ำเพื่อยืนยันผลการทดลอง เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณดินขาวค่าความแข็งควรมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น เพราะดินขาวมีคุณสมบัติที่แข็งกว่าแป้งข้าวเหนียว

5.2.4 จากผลการทดลองชิ้นงานที่ได้มีความขาวขุ่นควรปะยุกต์ใช้ในการผลิตฟันปลอม

เอกสารอ้างอิง

เทพรัตน์ เขมาลีลากุล และปฏมาภรน์ สำแดง. (2549). **ไททาเนียมที่ใช้ในงานทันตกรรม.** สืบค้นเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2560 จาก http://digi.library.tu.ac.th/index/0284/27-2-Jul-Dec-2549/05PAGE43-PAGE54.pdf

นิตา วิวัฒนทีปะ. (มปป). **การจัดฟันแบบใส.** สืบค้นเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2560 จาก http://health.haijai.com/3697/

อุมาพร วิมลกิตติพงศ์. (2558). **การซ่อมชิ้นงานบูรณะเซรามิกล้วนในช่องปาก.** สืบค้นเมื่อวันที่ 27 สิงหาคม 2560 จาก http://web1.dent.cmu.ac.th/cmdj/fulltext/fulltext_2558_36_2_386.pdf

เทพรัตน์ เขมาลีลากุล และปฏมาภรน์ สำแดง. (2549). **การบูรณะฟันด้วยเซอร์โคเมียมเซรามิก.** สืบค้นเมื่อวันที่ 27 สิงหาคม 2560 จาก http://digi.library.tu.ac.th/index/0284/27-2-Jul-Dec-2549/06PAGE55-PAGE66.pdf

สุนัดดา โยมญาติ. (2560). **ผงแป้งข้าวเหนียว สืบค้นเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2560 จาก** http://biology.ipst.ac.th/?p=3266

ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2555). **เครื่องทดสอบทางกล.** สืบค้นเมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายน 2560 จาก http://www.smkautomation.com/index.php?lay=show&ac=article

Pablo Echarri , Martín Pedernera. (ปี2012). **CA Clear Aligner Clinical Protocol, and Why It is as It is.** สืบค้นเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2560 จาก https://www.dentalnews.com/2015/09/08/ca-clear-aligner-clinical-protocol- and-why-it-is-as-it-is/

Artie J. Goldberg, Charles J. Burstone. (ปี2004). **Advanced thermoplastics for orthodontics.** สืบค้นเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2560 จาก: https://www.google.com/patents/WO2004004592A1?cl=en

บริษัท เกาลิน(มาเลเซีย). (2558). **ดินเกาลิน.** สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2560 จาก : http://www.kaolin.com.my/thai/kaolin.html

บุษกร วราเอกศิริ. (2555). **Epoxy (อีพ็อกซี).** สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2560 จาก : http://www.kru-aor.com/Chem_Tips/epoxy.html

ภาคผนวก

ตารางที่ ก.1 แป้งข้าวเหนียวผสมที่ผสมเรซินและสารเพิ่มความแข็ง

ตัวอย่าง	ผงแป้งข้าวเหนียว (g)	เรซิน (g)	สารเพิ่มความแข็ง (g)	Total (g)
S1	20	66.67	33.33	120
S2	20	60	30	110
S3	20	53.33	26.67	100
S4	20	46.67	23.33	90
S5	20	40	20	80
S6	20	33.33	16.67	70
S7	20	26.67	13.33	60
S8	20	20	10	50
S9	20	13.33	6.67	40
S10	20	6.67	3.33	30

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกด (Compressive Strength)

ตัวอย่างการทดสอบ	การทดสอบ Compressive Test (Mpa)				
	1	2	3	4	5
S1	11.2	12.3	15.1	15.9	12.9
S2	15.8	18.4	11.9	16	17
S3	11	9.4	19.6	19.1	17.5
S4	17.1	12.5	18	18.4	12.8
S5	12.7	19.6	17.5	17.2	16.7
S6	16	17.9	14.7	19.6	13.5
S7	14.3	15.8	18.3	17.5	16.4
S8	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว
S9	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว
S10	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบความแข็ง (Microvicker Hardness)

ตัวอย่างการทดสอบ	การทดสอบ Vicker Test				
	1	2	3	4	5
1	5.76	5.76	6.64	7.20	6.85
2	5.88	7.81	5.90	5.64	5.23
3	4.97	5.46	5.66	5.98	6.32
4	5.27	5.70	4.45	5.31	5.22
5	4.83	4.76	5.46	5.60	4.62
6	532	4.59	4.60	4.81	5.03
7	4.17	4.29	4.34	4.18	4.58
8	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว
9	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว
10	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว	ไม่เซ็ตตัว

ตารางที่ ก.4 อัตราส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียว ดินขาว

ตัวอย่าง	ผงวัตถุดิบ	
	แป้งข้าวเหนียว(g)	ดินขาว(g)
SC1	20	0
SC2	18	2
SC3	16	4
SC4	14	6
SC5	12	8
SC6	10	10
SC7	8	12
SC8	6	14
SC9	4	16
SC10	2	18

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกด (Compressive Strength)

ตัวอย่างการทดสอบ	การทดสอบ Compressive Test (Mpa)				
	1	2	3	4	5
SC1	11	9.4	19.6	19.1	17.5
SC2	9.5	9.9	15.8	15.6	17.1
SC3	16.1	16.1	14.6	16.9	23.6
SC4	20.4	19.9	20.6	18.4	17.8
SC5	19.7	17.5	18	20.5	20.7
SC6	14.8	12.6	11.2	13.5	9.2
SC7	14	13.5	14.5	16.0	12.6
SC8	13.5	11.3	13.3	12.3	15.5
SC9	11.9	11.4	11.4	14.4	13.9
SC10	6.2	7.2	7.3	10.7	8.7

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบความแข็ง (Microvicker Hardness)

ตัวอย่างการทดสอบ	การทดสอบ Vicker Test				
	1	2	3	4	5
SC1	11	9.4	19.6	19.1	17.5
SC2	3.09	3.91	2.37	2.87	2.76
SC3	2.92	2.73	3.35	2.07	2.56
SC4	2.89	2.03	2.81	1.09	2.05
SC5	2.31	1.63	1.81	1.86	1.62
SC6	1.36	1.46	1.67	1.86	1.62
SC7	1.95	1.22	1.61	1.26	1.19
SC8	1.24	1.58	1.12	1.29	1.31
SC9	1.29	1.02	1.59	1.51	1.15
SC10	0.95	0.91	1.27	1.25	1.02

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน