

ผลของการเติมวัสดุเสริมแรงต่อการต้านทานแรงดัดโค้ง ความแข็งผิว  
และแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุซีฟันเทียมอะคริลิก

EFFECT OF FILLERS ON FLEXURAL STRENGTH SURFACE HARDNESS  
AND SHEAR BOND STRENGTH OF ACRYLIC TOOTH MATERIAL

นางสาวกนกพร ศรีวิชา รหัส 53364659

นายวุฒิชัย มาน้อย รหัส 53364864

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2556

|              |                     |
|--------------|---------------------|
| ชื่อผู้พิมพ์ | นางสาวกนกพร ศรีวิชา |
| ชื่อผู้พิมพ์ | นายวุฒิชัย มาน้อย   |
| เลขที่พิมพ์  | 16550204            |
| เลขที่พิมพ์  | 25                  |
| ชื่อพิมพ์    | นเรศวร              |
| ชื่อพิมพ์    | 1124                |

2556



## ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ ผลของการเติมวัสดุเสริมแรงต่อการต้านทานแรงดัดโค้ง ความแข็งแรง  
และแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุซีพินเทียมอะคริลิก

ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวกนกพร ศรีวิชา รหัส 53364659  
นายวุฒิชัย มาน้อย รหัส 53364864

ที่ปรึกษาโครงการ ดร.นพวรรณ ไม้ทอง

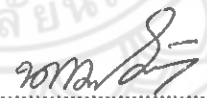
ที่ปรึกษาร่วมโครงการ Dr.Gareth Michael Ross


สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี


ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

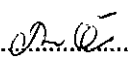
ปีการศึกษา 2556

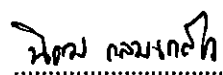
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

  
.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(ดร.นพวรรณ ไม้ทอง)

  
.....กรรมการ  
(ดร.อิสราวุธ ประเสริฐสังข์)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์อภาภรณ์ จันทรปรีกษ์)

  
.....กรรมการ  
(ดร.ภมรรัตน์ จันทรรม)

  
.....กรรมการ  
(ดร.นิตม กลมเกลี้ยง)

|                         |   |        |          |
|-------------------------|---|--------|----------|
| ชื่อหัวข้อโครงการงาน    | ผลของการเติมวัสดุเสริมแรงต่อการต้านทานแรงดัดโค้ง ความแข็งผิว และแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุซีฟันเทียมอะคริลิก |        |          |
| ผู้ดำเนินโครงการงาน     | นางสาวกนกพร ศรีวิชา   | รหัส   | 53364659 |
|                         | นายวุฒิชัย มาน้อย   | รหัส   | 53364864 |
| ที่ปรึกษาโครงการงาน     | ดร.นพวรรณ   | ไม้ทอง |          |
| ที่ปรึกษาร่วมโครงการงาน | Dr.Gareth Michael Ross  |        |          |
| สาขาวิชา                | วิศวกรรมเคมี  |        |          |
| ภาควิชา                 | วิศวกรรมอุตสาหกรรม  |        |          |
| ปีการศึกษา              | 2556  |        |          |

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติเชิงกลของซีฟันเทียมอะคริลิกที่มีการเสริมแรงด้วยวัสดุเสริมแรง 3 ชนิด คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ รวมทั้งศึกษาขนาดของวัสดุเสริมแรงของซิลิกอนไดออกไซด์ขนาด 15 นาโนเมตร และ 40 ไมโครเมตร ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล และเปรียบเทียบระหว่างวัสดุเสริมแรงที่ไม่ได้ปรับสภาพผิวกับวัสดุเสริมแรงที่ปรับสภาพผิวด้วยไฮเลน

การเสริมแรงด้วยวัสดุเสริมแรงในเรซินอะคริลิกจะแบ่งเป็นซิลิกอนไดออกไซด์ขนาด 15 นาโนเมตรและไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยจะใช้ปริมาณในการเติมที่ร้อยละ 1 2.5 และ 5 โดยน้ำหนัก ใน ส่วนของซิลิกอนไดออกไซด์ขนาด 40 ไมโครเมตร และอลูมิเนียมออกไซด์ใช้ปริมาณการเติมร้อยละ 1 5 และ 10 โดยน้ำหนัก ข้อมูลถูกวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ANOVA ด้วยเลขนัยสำคัญ 0.05 จากผลการทดสอบสมบัติแรงยึดติดเฉือน พบว่าเมื่อเสริมแรงด้วยวัสดุเสริมแรงชนิดอลูมิเนียมออกไซด์ ที่ 1 %wt/v ให้ค่าสมบัติแรงยึดติดเฉือนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 10.93 MPa แต่มีค่าต่ำกว่าเรซินอะคริลิก ที่ไม่มีการเสริมแรงอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) และที่การทดสอบการต้านทานแรงดัดโค้ง พบว่าการเติมวัสดุเสริมแรงอลูมิเนียมออกไซด์ที่ 1 %wt/v ให้ค่าแรงดัดโค้งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 101.59 MPa แต่เมื่อมีการปรับสภาพผิววัสดุเสริมแรงด้วยไฮเลนจะทำให้ค่าการต้านทานแรงดัดโค้งลดลงเท่ากับ 97.33 MPa ยกเว้นที่การเติมวัสดุเสริมแรงด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ที่ทำให้ค่าสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง เพิ่มขึ้นทุกร้อยละการเติม ส่วนการทดสอบความแข็งผิววิกเกอร์ พบว่าที่การเติมวัสดุเสริมแรง อะลูมิเนียมออกไซด์ที่ 1 %wt/v จะให้ค่าความแข็งผิวเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 19.43 HV โดยที่การปรับสภาพผิวด้วยไฮเลนช่วยเพิ่มสมบัติความแข็งผิวของเรซินอะคริลิกที่เสริมแรงด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ เท่านั้น แต่จะไม่มีผลกับวัสดุเสริมแรงชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของหลายๆ ฝ่าย โดยเฉพาะ ดร.นพวรรณ โหม้ทอง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนะนำวิธีแก้ปัญหา รวมถึงข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนความดูแลเอาใจใส่ ติดตามการดำเนินโครงการมาโดยตลอดและขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม Dr.Gareth Michael Ross ที่ให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้นและขอขอบคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณ คณะทันตกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวร อาจารย์ และบุคลากรทุกท่าน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าไปใช้สถานที่และเครื่องมือสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงการใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การดูแล อบรม สั่งสอน และให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา ตลอดจนการดำเนินโครงการจนสำเร็จการศึกษา

ผู้ดำเนินโครงการ  
นางสาวกนกพร ศรีวิชา  
นายวุฒิชัย มาน้อย

ธันวาคม 2556

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| ใบรับรองปริญญาโท.....                               | ก    |
| บทคัดย่อ.....                                       | ข    |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                | ค    |
| สารบัญ.....   | ง    |
| สารบัญตาราง.....                                    | ฉ    |
| สารบัญรูป.....                                      | ช    |
| <br>  |      |
| บทที่ 1 บทนำ.....                                   | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....           | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....                     | 2    |
| 1.3 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ.....                   | 2    |
| 1.4 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....                  | 3    |
| 1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....                 | 3    |
| 1.6 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....              | 3    |
| <br>  |      |
| บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4    |
| 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                      | 4    |
| 2.2 ทฤษฎีเบื้องต้น.....                             | 7    |
| 2.3 ทฤษฎีการทดสอบสมบัติเชิงกล.....                  | 17   |
| <br>  |      |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ.....                   | 24   |
| 3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในโครงการ.....             | 24   |
| 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....                 | 24   |
| 3.3 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ.....                      | 24   |
| 3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานทดสอบ.....        | 29   |
| <br>  |      |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....                 | 32   |
| 4.1 ผลการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง.....       | 32   |
| 4.2 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิววิกเกอร์.....        | 36   |
| 4.3 ผลการทดสอบสมบัติแรงยึดเหนี่ยว.....              | 40   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                  | หน้า |
|----------------------------------|------|
| บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... | 43   |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง.....          | 43   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ.....              | 44   |
| <br>                             |      |
| เอกสารอ้างอิง.....               | 45   |
| <br>                             |      |
| ภาคผนวก ก.....                   | 48   |
| ภาคผนวก ข.....                   | 63   |



## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....                                       | 3    |
| 2.1 สมบัติทางกายภาพทั่วไปของซิลิกอนไดออกไซด์.....                            | 11   |
| 2.2 สมบัติทางกายภาพทั่วไปของไทเทเนียมไดออกไซด์.....                          | 13   |
| 2.3 ข้อกำหนดของซีฟีนเทียมอะคริลิก.....                                       | 17   |
| 2.4 การทดลองประเภทวิเคราะห์ปัจจัยเดียว (Experiments with Single Factor)..... | 20   |
| 2.5 One-Way ANOVA.....   | 21   |
| 2.6 แสดงการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง.....                           | 22   |
| 2.7 Two-Way ANOVA.....   | 23   |
| ก.1 ผลการทดสอบสมบัติแรงต้านทานการตัดโค้งของเรซินอะคริลิก.....                | 49   |
| ก.2 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวของเรซินอะคริลิก.....                         | 53   |
| ก.3 ผลการทดสอบสมบัติแรงยึดติดเดือนของเรซินอะคริลิก.....                      | 58   |
| ข.1 ผลการวิเคราะห์ ANOVA สมบัติการต้านทานแรงตัดโค้งของเรซินอะคริลิก.....     | 64   |
| ข.2 ผลการวิเคราะห์ ANOVA สมบัติค่าความแข็งผิวของเรซินอะคริลิก.....           | 67   |
| ข.3 ผลการวิเคราะห์ ANOVA สมบัติแรงยึดติดเดือนของเรซินอะคริลิก.....           | 70   |
| ข.4 ตารางค่าวิกฤติแจกแจง F ที่เลขนัยสำคัญเท่ากับ 0.05.....                   | 73   |

## สารบัญรูป

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 แสดงค่าความแข็งวิกเกอร์ของซีฟันเทียมชนิดต่างๆ.....                           | 4    |
| 2.2 แสดงการต้านทานแรงดัดโค้งของเรซินอะคริลิกที่เสริมแรง.....                     | 5    |
| 2.3 แสดงความแข็งวิกเกอร์ของเรซินอะคริลิกที่เสริมแรง.....                         | 6    |
| 2.4 แสดงค่าการต้านทานแรงดัดโค้งและความแข็งวิกเกอร์.....                          | 6    |
| 2.5 โครงสร้างของพอลิเมทิลเมทาคริเลต.....   | 9    |
| 2.6 แสดงการแทรกของอะลูมินาในช่องออกตะฮีดรอล.....                                 | 11   |
| 2.7 ลักษณะโครงสร้างของ 3-MPS.....  | 14   |
| 2.8 การปรับสภาพพื้นผิวของซิลิกอนไดออกไซด์.....                                   | 15   |
| 2.9 การปรับสภาพพื้นผิวของอลูมิเนียมไดออกไซด์.....                                | 16   |
| 2.10 การปรับสภาพพื้นผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์.....                                | 16   |
| 2.11 ลักษณะทั่วคดและรอยกุดของการวัดความแข็งวิกเกอร์.....                         | 17   |
| 2.12 แสดงแผนผังการทดสอบการต้านทานแรงดัดโค้ง.....                                 | 18   |
| 2.13 แสดงการทดสอบแรงยึดเหนี่ยว.....  | 19   |
| 3.1 ชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปขึ้นทดสอบ.....  | 25   |
| 3.2 การเตรียมเข้าหล่อแบบ.....  | 25   |
| 3.3 เรซินอะคริลิกที่เสร็จสิ้นกระบวนการเตรียมแล้ว.....                            | 26   |
| 3.4 แผนผังการดำเนินงาน.....  | 27   |
| 3.5 แผนผังการเติมวัสดุเสริมแรง.....  | 28   |
| 3.6 การทดสอบสมบัติความแข็งผิว.....   | 29   |
| 3.7 ขนาดขึ้นทดสอบความแข็งผิว.....  | 29   |
| 3.8 การทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง.....                                      | 30   |
| 3.9 ขนาดขึ้นทดสอบตามมาตรฐาน ISO/FDSI 1567.....                                   | 30   |
| 3.10 การทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง.....                                     | 31   |
| 3.11 ขนาดขึ้นทดสอบแรงยึดเหนี่ยว.....   | 31   |
| 4.1.1 แผนภูมิแสดงผลของชนิดและปริมาณวัสดุเสริมแรงต่อการต้านทานแรงดัดโค้ง.....     | 32   |
| 4.1.2 แผนภูมิแสดงผลของขนาดวัสดุเสริมแรงต่อการต้านทานแรงดัดโค้ง.....              | 34   |
| 4.1.3 แผนภูมิแสดงผลของการปรับสภาพผิวของวัสดุเสริมแรงต่อการต้านทานแรงดัดโค้ง..... | 35   |
| 4.2.1 แผนภูมิแสดงผลของชนิดและปริมาณวัสดุเสริมแรงต่อความแข็งผิววิกเกอร์.....      | 36   |
| 4.2.2 แผนภูมิแสดงผลของขนาดวัสดุเสริมแรงต่อความแข็งผิววิกเกอร์.....               | 38   |
| 4.2.3 แผนภูมิแสดงผลของการปรับสภาพผิวของวัสดุเสริมแรงต่อความแข็งผิววิกเกอร์.....  | 39   |



## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 4.3.1 แผนภูมิแสดงผลของชนิดและปริมาณวัสดุเสริมแรงต่อสมบัติแรงยึดเหนี่ยว..... | 40   |
| 4.3.2 แผนภูมิแสดงผลของขนาดวัสดุเสริมแรงต่อสมบัติแรงยึดเหนี่ยว.....          | 41   |



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันในประเทศไทยได้มีจำนวนผู้ป่วยที่ต้องการการใส่ฟันเทียม (Denture Teeth) เพิ่มขึ้นอยู่มาก ซึ่งหากสามารถผลิตฟันเทียมขึ้นภายในประเทศไทยได้ จะสามารถลดจำนวนการนำเข้าจากต่างประเทศได้มาก การนำเอาเรซินอะคริลิก (Acrylic Resin) ซึ่งเป็นวัสดุทางพอลิเมอร์มาใช้ในทางทันตกรรมได้มีการแนะนำให้รู้จักกับตลาดทางการค้าในปี ค.ศ. 1937 ตั้งแต่นั้นมาก็ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เนื่องจากมีกระบวนการผลิตที่ง่ายไม่ซับซ้อนและต้นทุนในการผลิตต่ำ แม้สมบัติของวัสดุผลิตฟันเทียมชนิดอะคริลิกจะมีข้อดีน้อยกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ แต่ก็ยังคงเป็นทางเลือกที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบัน [1]

ซี่ฟันเทียมชนิดเรซินอะคริลิก (Acrylic Denture Teeth) ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ทดแทนฟันธรรมชาติที่สูญเสียไปของผู้ป่วย เนื่องจากสีสันทันเทียมฟันธรรมชาติ ราคาที่ไม่แพงจนเกินไป สามารถยึดติดกับฐานฟันปลอมได้ดี กรอแต่งได้ง่ายโดยไม่แตกหัก เมื่อพิจารณาความแข็งแรงของซี่ฟันเทียมอะคริลิกจะพบว่ามีความแข็งแรงน้อยกว่าชนิดอื่นๆ จึงไม่ทนต่อการสึกหรอที่เกิดจากการขัดสี ไม่ว่าจะจากการบดเคี้ยวอาหารและการแปรงฟันทำความสะอาด เป็นเหตุให้ซี่ฟันปลอมสึกเร็วขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการบดเคี้ยวอาหารลดลง

ปัญหาหลักของวัสดุผลิตซี่ฟันเทียมอะคริลิกในปัจจุบัน คือ วัสดุที่ได้มักมีความแข็งแรงที่ต่ำกว่าฟันเทียมในท้องตลาดและมีการต้านทานแรงดัดโค้งด้อยกว่า จึงเป็นปัญหาหลักๆ ของซี่ฟันประเภทนี้ การนำวัสดุเสริมแรงมาใช้ในการเพิ่มสมบัติทางกลของซี่ฟันเทียมอะคริลิกนั้น เป็นอีกทางเลือกของการปรับปรุงสมบัติของซี่ฟันเทียมอะคริลิกให้มีความแข็งแรงและการต้านทานแรงดัดโค้งใกล้เคียงกับฟันเทียมตามท้องตลาดให้มากที่สุด

ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยการปรับปรุงสมบัติทางกลของวัสดุ โดยในปัจจุบันมีนักวิจัยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการหาวัสดุเสริมแรงมาช่วยเพิ่มสมบัติของวัสดุผลิตซี่ฟันเทียมให้มีความแข็งแรงมากขึ้น [2] โดยวัสดุเสริมแรงที่นิยมใช้เพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกลให้แก่วัสดุทางทันตกรรมนั้น จะเป็นสารจำพวกซิลิกา อลูมินา เซอร์โคเนียมออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นต้น

วัสดุเสริมแรงที่เลือกใช้สำหรับเสริมแรงในงานวิจัยนี้ ทางผู้จัดทำจะเลือกใช้ทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ เพื่อให้ตรงกับจุดประสงค์ของงานวิจัย ที่ทำการศึกษาถึงความแข็งแรง การต้านทานแรงดัดโค้ง เนื่องจากสาร 3 ชนิดนี้ มีสมบัติเด่น [3] คือ เมื่อนำมาใช้กับพลาสติกจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับพลาสติก ช่วยเพิ่มเสถียรภาพทางรูปร่างที่อุณหภูมิสูง ช่วยลดการหดตัว การเกิดรอยแตก และช่วยเพิ่มความทนทานต่อการขีดข่วน

(Scratch Resistance) และเป็นสารที่ใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรม ทาซื้อได้ง่าย ความเหมาะสมของราคาจึงเป็นข้อดีที่เลือกใช้ซิลิกา อลูมินา และไทเทเนียมออกไซด์เป็นวัสดุเสริมแรง

เพื่อให้ซิลิกา อลูมินา และไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์ จะต้องปรับแต่งพื้นผิวของวัสดุเสริมแรงด้วยไซเลนเสียก่อนและเพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดติดกับฐานพื้นที่ยึดให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งไซเลนที่เหมาะสมสำหรับซิลิกาที่ใช้กับอีพอกซีเรซิน ได้แก่ อะมิโนหรืออีพอกซีไซเลน ส่วนไซเลนที่เหมาะสมสำหรับซิลิกาที่ใช้กับโพลอนและเทอร์โมพลาสติกพอลิเอสเทอร์ คือ อะมิโนไซเลน ในที่นี้ ไซเลนที่เราเลือกใช้เป็นสารคู่ควบชนิด 3-เมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน

ดังนั้นการศึกษาคูสมบัตการต้านทานแรงดัดโค้ง ความแข็งผิว และแรงยึดติดเฉือนจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษเปรียบเทียบการต้านทานแรงดัดโค้ง ความแข็งผิว และแรงยึดติดเฉือนของเรซินอะคริลิกที่ใช้ทำซีฟันทึ้ม เมื่อเสริมวัสดุเสริมแรงชนิดต่างๆ ลงไป อย่างไรก็ตาม สัดส่วนในการเติมวัสดุเสริมแรงอาจมีผลต่อคุณสมบัติดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาปริมาณในการเติมวัสดุเสริมแรงและการปรับสภาพผิววัสดุเสริมแรงรวมทั้งเปรียบเทียบคุณสมบัติดังกล่าวกับเรซินอะคริลิกชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนที่นิยมใช้ในทางทันตกรรม การศึกษาเปรียบเทียบทั้งหมดนี้ก็เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้ซีฟันทึ้มให้เหมาะสมกับผู้ป่วยต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของขนาดอนุภาควัสดุเสริมแรงและปริมาณของวัสดุเสริมแรง 3 ชนิด ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ ต่อความแข็งผิว การต้านทานแรงดัดโค้ง และแรงยึดติดเฉือนของเรซินอะคริลิก

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการปรับผิวของวัสดุเสริมแรงด้วยไซเลนต่อความแข็งผิว ต่อการต้านทานแรงดัดโค้ง และแรงยึดติดเฉือนของเรซินอะคริลิก

## 1.3 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

### 1.3.1 ตัวแปรต้น

1.3.1.1 ชนิดของวัสดุเสริมแรง 3 ชนิด ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์

1.3.1.2 ปริมาณวัสดุเสริมแรงร้อยละ 1 2.5 5 และ 10 โดยน้ำหนัก

1.3.1.3 ขนาดของอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ 15 นาโนเมตร และ 40 ไมโครเมตร

1.3.1.4 การปรับสภาพผิวของวัสดุเสริมแรงด้วยสารคู่ควบไซเลน

### 1.3.2 ตัวแปรตาม

1.3.2.1 ค่าความแข็งผิวของเรซินอะคริลิก

1.3.2.2 ค่าการต้านทานการดัดโค้งของเรซินอะคริลิก

1.3.2.3 ค่าแรงยึดติดเฉือน



## บทที่ 2

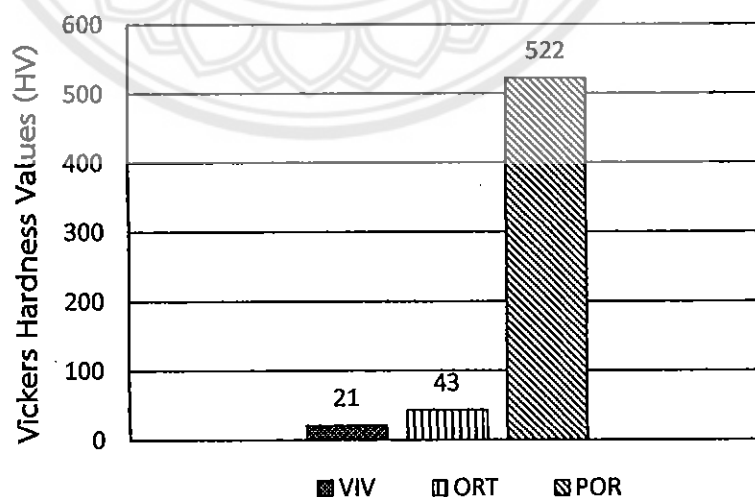
### ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความแข็งผิว (Surface Hardness) การต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural Strength) และแรงยึดเหนี่ยวติดกับฐานฟันเทียม คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญอย่างหนึ่งของซี่ฟันเทียม (Denture Teeth) ซึ่งชนิดของซี่ฟันเทียมมีค่าความแข็งผิว ค่าการต้านทานแรงดัดโค้ง และแรงยึดติดที่แตกต่างกัน รวมทั้งกระบวนการผลิตก็มีผลต่อสมบัติดังกล่าว ปัจจุบันมีผู้ผลิตและจำหน่ายซี่ฟันเทียมให้ทันตแพทย์ได้เลือกใช้อยู่หลากหลายยี่ห้อ จึงมีผู้วิจัยหลายท่านได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้

F. Kawano และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาค่าความแข็งผิววิกเกอร์ของซี่ฟันเทียมทางการค้าทั้งหมด 9 ยี่ห้อ P. Suwannaroop และคณะ [5] ศึกษาค่าการต้านทานการสึกหรอของซี่ฟันเทียม ค่าความแข็งผิว และค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของซี่ฟันปลอม 3 ชนิด X. Miao และคณะ [2] ศึกษาค่าการต้านทานแรงดัดโค้ง ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น และความแข็งวิกเกอร์ของซี่ฟันเทียม โดยเสริมแรงด้วยวัสดุเสริมแรง 3 ชนิด คือ ไตอะตอม ซิลิกอนไดออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ S.A. Shahdad และคณะ [6] ได้ทดสอบความแข็งผิววิกเกอร์ (Vickers Hardness) ของซี่ฟันเทียม 3 ชนิด ซึ่งชนิดของซี่ฟันเทียมทั้ง 3 ชนิด ที่คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษานั้นประกอบด้วยเรซินอะคริลิก (Acrylic Resin) เรซินอะคริลิกที่ปรับปรุงสมบัติ (Composite Material) และพอร์ซเลน (Porcelain) ดังแสดงในรูปแบบที่

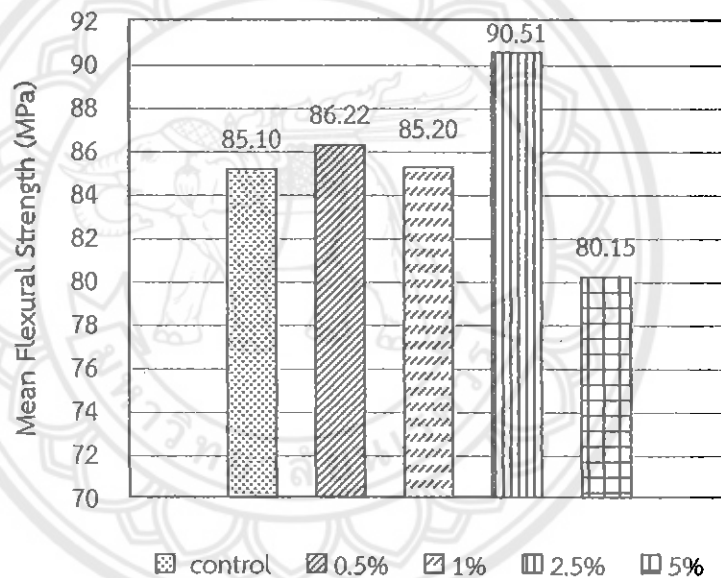
2.1



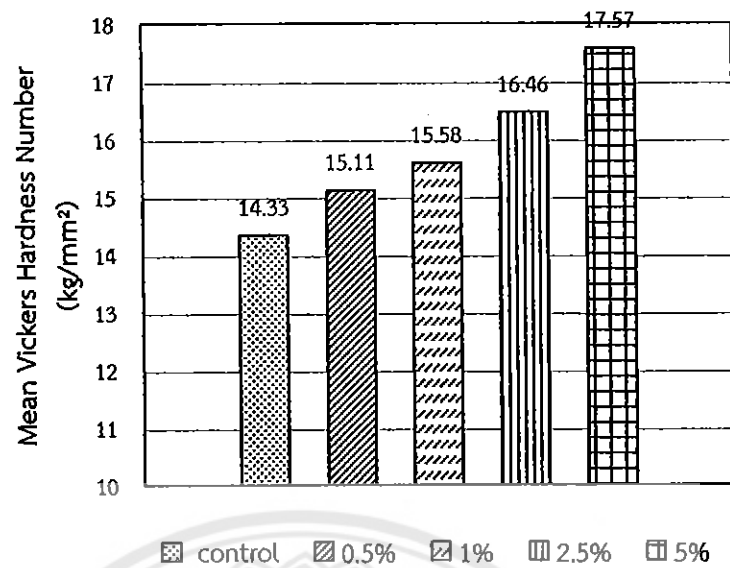
รูปที่ 2.1 แสดงค่าความแข็งวิกเกอร์ของซี่ฟันเทียมชนิดต่างๆ [6] (VIV = Acrylic Resin, ORT = Composite Resin, POR = Porcelain)

จากงานวิจัยที่ศึกษา พบว่าซีฟันเทียมชนิดที่มีความแข็งผิวมากที่สุด คือ พอร์ซเลน เรซินอะคริลิก ที่ปรับปรุงสมบัติ และเรซินอะคริลิกตามลำดับ จากรายงานผลการวิจัยข้างต้น ผลการวิจัยจะเห็นว่าซีฟันเทียมอะคริลิกที่ปรับปรุงสมบัติจะมีสมบัติที่ดีกว่าซีฟันเทียมอะคริลิกที่ไม่ปรับปรุงคุณสมบัติ โดยปัจจุบันมีผู้วิจัยศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงสมบัติของซีฟันเทียมอะคริลิก เช่น การเติมวัสดุเสริมแรง หลากหลายชนิดดังนี้

M. Vojdani และคณะ [7] ศึกษาผลกระทบของการต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural Strength) และความแข็งผิว (Surface Hardness) เมื่อเติมอลูมิเนียมออกไซด์ ( $Al_2O_3$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2.2-2.3 F. Unalan และคณะ [8] ได้ศึกษาผลของการเติมไมก้า (Mica) และแก้ว (Glass) ต่อความแข็งผิว (Surface Hardness) ของซีฟันเทียมอะคริลิก M.K Saritha และคณะ [9] ศึกษาผลการเติมอลูมิเนียมออกไซด์ต่อการต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural Strength)



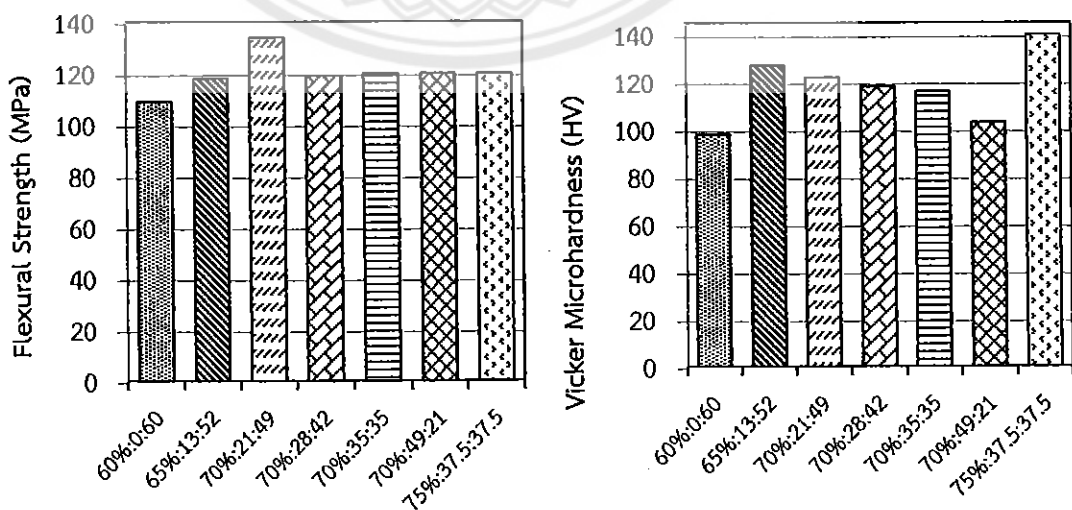
รูปที่ 2.2 แสดงการต้านทานแรงดัดโค้งของเรซินอะคริลิกที่เสริมแรงด้วยอลูมิเนียมออกไซด์ [7]



รูปที่ 2.3 แสดงความแข็งวิกเกอร์ของเรซินอะคริลิกที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนีเมียมออกไซด์ [7]

แต่ละท่านรายงานว่าการเติมวัสดุเสริมแรงทำให้สมบัติดังกล่าวให้ค่าสูงขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตาม ต้องเติมในสัดส่วนที่เหมาะสม ดังนั้นสัดส่วนของวัสดุเสริมแรงจึงมีผลต่อสมบัติทั้งสอง ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาสัดส่วนในการเติมวัสดุเสริมแรง

S.P. Samuel และคณะ [10] ผลของการเติมซิลิกาที่มีการรวมกันของซิลิกาที่มีรูพรุนและไม่มีรูพรุนในสัดส่วนต่างๆ ต่อสมบัติการต้านทานแรงกดและการต้านทานแรงดัดโค้ง H.Wang และคณะ [11] ศึกษาผลของการเติมซิลิกาที่มีการรวมกันของซิลิกา 2 ขนาด คือ 10 ไมโครเมตร และ 40 นาโนเมตร ในสัดส่วนต่างๆ ต่อการต้านทานแรงดัดโค้ง ความแข็ง และการต้านทานแรงกด ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงค่าการต้านทานแรงดัดโค้งและความแข็งวิกเกอร์ (10  $\mu$ m: 40 nm) [11]

พบว่า การที่นำวัสดุเสริมแรงชนิดเดียวกันที่มีขนาดหรือลักษณะทางกายภาพต่างกันมา รวมกันสามารถเพิ่มสมบัติได้ดีขึ้นในสัดส่วนการเติมที่เหมาะสม ดังนั้นขนาดของอนุภาคของวัสดุเสริมแรงจึงมีผลต่อสมบัติดังกล่าว ทางผู้วิจัยจึงสนใจในส่วนของ การเติมวัสดุเสริมแรงในขนาดอนุภาค 2 ขนาด คือ อนุภาคระดับนาโนเมตรและระดับไมโครเมตร

สมบัติแรงยึดเหนี่ยวติดเป็นอีกหนึ่งหัวข้อที่น่าสนใจในการศึกษาการเสริมแรงด้วยวัสดุเสริมแรง และการปรับสภาพพื้นผิวที่มีผลต่อสมบัติการยึดติดของซีฟันเทียมกับฐานฟันเทียม โดยมีนักวิจัยหลาย ท่านได้ทำการศึกษาศักยภาพการยึดติดเฉือน (Shear Bond Strength) ดังเช่น

Caeg และคณะ [12] ได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการเตรียมพื้นผิวของโลหะผสม 3 ชนิด ด้วยวิธีการกรดกัดด้วยไฟฟ้า การเคลือบผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน และวิธีการกรดกัดด้วย ไฟฟ้าร่วมกับการเคลือบผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน เพื่อเพิ่มแรงยึดติดให้กับเรซินซีเมนต์ 3 ชนิด พบว่า การเคลือบผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนให้แรงยึดสูงกว่าการใช้กรดกัดด้วยไฟฟ้าและไม่พบความแตกต่างใน การยึดติดอยู่ระหว่างโลหะผสมที่ใช้ทั้ง 3 ชนิด กับเรซินซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด ส่วนวิธีการกรดกัดด้วยไฟฟ้า ร่วมกับการเคลือบผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนทำให้แรงยึดลดลง

May และคณะ [13] ทำการทดลองการปรับสภาพผิวของไทเทเนียม เพื่อเพิ่มการยึดกันอยู่ของ พอลิเมทิลเมทาคริเลต พบว่าการเป่าทรายด้วยอลูมิเนียมออกไซด์ 110 ไมโครเมตร เพียงอย่างเดียวไม่ สามารถเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพพื้นผิวและการเป่าทราย ด้วยอลูมิเนียมไดออกไซด์ 110 ไมโครเมตร ส่วนการเคลือบด้วยไซเลนนั้นสามารถเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว ให้กับพอลิเมทิลเมทาคริเลตได้มากกว่าร้อยละ 60

แทบจะทุกงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนี้ ใช้สารคู่ควบไซเลนเป็นสารประสานกับวัสดุเสริมแรง ซึ่ง วัสดุเสริมแรงแต่ละชนิดต่างก็ใช้สารคู่ควบไซเลนที่ต่างกัน ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะใช้สารคู่ควบไซเลนเป็น สารประสานกับวัสดุเสริมแรงดังกล่าวนี้ด้วย

## 2.2 ทฤษฎีเบื้องต้น

ฟันเทียมนั้นประกอบด้วยฐานฟันเทียม (Denture Base) และซีฟันเทียม (Denture Teeth) ซึ่ง ซีฟันเทียมอะคริลิกจัดว่าเป็นวัสดุจำพวกพอลิเมอร์ชนิดพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl Methacrylate) และมีการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการเติมวัสดุเสริมแรงหลากหลายชนิด ซึ่งซิลิกา และใยแก้วเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงมาก จึงเป็นวัสดุเสริมแรงที่มีความนิยมใช้ในการเสริมแรงอย่าง กว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ

ความแข็งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญอย่างหนึ่งของซีฟันเทียมอะคริลิก ความแข็งเป็น คุณสมบัติที่เกิดจากการวัดโดยใช้หัวกด กดลงไปบนผิวของวัสดุนั้น โดยวัสดุที่นำมาเป็นหัวกดจะมีความ แข็งที่สูง เช่น เหล็กกล้าหรือเพชร จากนั้นวัดขนาดของรอยกดแล้วนำไปคำนวณค่าความแข็ง ตามสมการที่ 2.2 การทดสอบความแข็งมีการทดสอบหลายวิธี ซึ่งการทดสอบความแข็งของซีฟันเทียม นิยมใช้การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test)



การต้านทานแรงดัดโค้งก็เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่ง que แสดงให้เห็นถึงการต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปของซีฟันเทียมเมื่อถูกให้แรง ซึ่งก็เปรียบเสมือนแรงบดเคี้ยวที่เกิดขึ้นในช่องปากและข้อกำหนดของซีฟันเทียมอะคริลิกจะเป็นไปตามตารางที่ 2.3

### 2.2.1 ซีฟันเทียม (Denture Teeth)

มีสมบัติตามอุดมคติ คือ จะต้องมึรูปร่าง สีไม่ต่างจากฟันธรรมชาติ และควรเข้ากันได้กับฐานฟันเทียม (Denture Base) ได้ดี เพื่อป้องกันการหลุดออกจากกันของซีฟันเทียมกับฐานฟันเทียม ต้องมีความแข็งแรง ความเหนียวเพื่อต้านทานต่อการหัก และความแข็งผิว (Hardness) เพื่อป้องกันการสึกกร่อนที่เกิดในช่องปากและการสึกที่เกิดจากการเคี้ยวอาหารที่มีความแข็งผิวมาก การสึกจากการทำความสะอาดฟันเทียม แต่อย่างไรก็ตามซีฟันเทียมไม่ควรมีความแข็งมากเกินไป เพราะจะเกิดเสียงเมื่อมีการกระทบกันของฟันและจะยากต่อการกรอแต่งของช่างทันตกรรม

วัสดุที่ใช้ทำซีฟันเทียมจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ ซีฟันเทียมพอร์ซเลน (Porcelain) ซีฟันเทียมเรซินอะคริลิก (Acrylic Resin) และซีฟันเทียมเรซินอะคริลิกที่มีการปรับปรุงสมบัติ (Improved Resin)

ซีฟันเทียมเรซินอะคริลิกมีความต้านทานต่อการอัดสูงกว่าซีฟันเทียมพอร์ซเลน ทำให้ไม่เกิดการกระทบกระเทือนต่อเนื้อเยื่อใต้ฐานฟันเทียม อีกทั้งยังมีความเหนียว ไม่แตกหักง่าย ยึดติดกับฐานฟันเทียมได้ดีด้วยพันธะเคมี สามารถกรอแต่งได้ง่าย แต่ก็มีข้อเสีย คือ มีความแข็งผิวต่ำกว่าชนิดพอร์ซเลนและสามารถดูดซึ่มสารละลายได้ จึงอาจทำให้สีของซีฟันเทียมผิดไปจากเดิม อย่างไรก็ตามปัจจุบันมีความพยายามที่จะปรับปรุงคุณภาพของซีฟันเทียมเรซินอะคริลิกให้มีสมบัติดีขึ้น

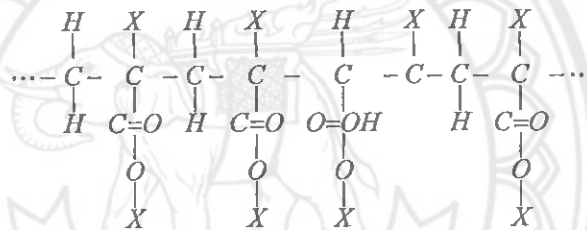
### 2.2.2 พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl Methacrylate; PMMA)

พอลิเมทิลเมทาคริเลตหรือที่เรียกง่ายๆ ว่า PMMA จัดเป็นพอลิเมอร์ในกลุ่มของเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ซึ่งมีสูตรเคมี คือ  $C_5H_8O_2$  พอลิเมทิลเมทาคริเลตมีสมบัติโดดเด่นในเรื่องความเหนียว ความโปร่งใส สามารถขึ้นรูปได้ง่าย และมีความหนาแน่นต่ำ พลาสติกชนิดนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานหลายอย่าง เช่น กระจกใสบนเครื่องบิน ป้ายโฆษณา กระจกตู้ปลา วัสดุทางการแพทย์ เป็นต้น นอกจากนั้นแล้วอะคริลิกพลาสติกยังเป็นที่นิยมนำมาขึ้นรูปใช้แทนแก้วในงานหลายอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ อะคริลิกพลาสติกเป็นพลาสติกที่สามารถเตรียมได้จากการนำมอนอเมอร์ของเมทิลเมทาคริเลต (Methyl Methacrylate, MMA) มาทำปฏิกิริยากันแล้วเกิดเป็น PMMA การเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) ในปี ค.ศ. 1880 นักเคมีชาวเยอรมัน 2 คน คือ ฟิททิจ (Fittig) และพอล (Paul) สามารถสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริเลต แต่ยังไม่สามารถพัฒนาวิธีผลิตให้ได้เป็นแผ่นอะคริลิกพลาสติกได้ ต่อมาเมื่อปี ค.ศ.1901 ออทโท เรห์ม (Otto Rohm) นักเคมีชาวเยอรมัน ขอจดสิทธิบัตรวิธีผลิตแผ่นพลาสติกใสจากพอลิเมทิลเมทาคริเลตในชื่อทางการค้า Plexiglas หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 1936 จึงมีการผลิตแผ่น Plexiglas ออกจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ เริ่มใช้ในช่วง

สงครามโลกครั้งที่สอง นำมาใช้กับเรือดำน้ำ กระจกตู้ปลา และกระจกเครื่องบิน นอกจากนี้ยังมี พอลิเมทิลเมทาคริเลต ที่ใช้ภายใต้เครื่องหมายการค้า เช่น ชนิดแผ่น Perplex (ICI) Oroglass และ พอลิเมทิลเมทาคริเลตในรูปของผงมีเครื่องหมายทางการค้า เช่น Diakon (ICI) Acry-ace (Fudow Chemical Co. Japan) Lucite (Dupont) และ Vedril (Montecatini) [14]

เรซินอะคริลิก (Acrylic Resin) เป็นอนุพันธ์ของเอซิลีนและมีกลุ่มไวนิล (Vinly Group) อยู่ในโครงสร้างอนุกรมของเรซินอะคริลิก (Acrylic Resin Series) ที่เกี่ยวข้องกับทางทันตกรรมมี อย่างน้อย 2 อนุกรม คือ อนุกรมที่ได้จากกรดอะคริลิก ( $\text{CH}_2 = \text{CHCOOH}$ ) กับอนุกรมจากกรดเมทาคริลิก ( $\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3)\text{COOH}$ ) สารประกอบของอนุกรมทั้งสองได้จากแบบรวมตัวพอลิเมอร์เช่น แบบรวมตัว

แม้สารเหล่านี้จะแข็งและใส แต่ดูนํ้ามากทำให้อ่อนและลดกำลังความแข็งแรงลงไม่ เหมาะกับการนำไปใช้ในปาก แต่เอสเทอร์ของกรดเหล่านี้ใสและดูนํ้าน้อยมาก จึงนำมาใช้ในปาก เช่น พอลิเมทิลเมทาคริเลต ซึ่งมีสูตรโครงสร้างห่วงโซ่ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของพอลิเมทิลเมทาคริเลต [15]

เมื่อ X แทนเอสเทอร์แรดิคัลของอินทรีย์หรืออินทรีย์ ซึ่งทำให้เกิดเรซินอะคริลิกชนิดต่างๆ มากมาย แต่ที่นิยมใช้ทำฟันประดิษฐ์และฐานเดนเจอร์ ได้แก่ พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl Methacrylate) คือ X เป็น  $\text{CH}_3$  แรดิคัล

เมทิลเมทาคริเลตมีลักษณะใสจุดเดือด 100 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 1.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและเป็นตัวละลายสารอินทรีย์ได้ดีมาก พอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นเทอร์โมพลาสติกมีกำลังความแข็งแรงสูงสุดในกลุ่มเดียวกันอ่อนตัวที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส [15] ซึ่งเหมาะสำหรับอัดในเบ้า ถ้าทำให้ร้อนถึงอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส พอลิเมทิลเมทาคริเลตถูกตีพอลิเมอร์ได้เมทิลเมทาคริเลตเชิงเดี่ยวหรือมอนอเมอร์เดิมอีก

เมทิลเมทาคริเลตโมเลกุลเชิงเดี่ยวหรือมอนอเมอร์ (Simple Molecule or Monomer) สามารถรวมตัวเป็นมหโมเลกุลหรือพอลิเมอร์ (Macromolecule or Polymer) ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตได้โดยปฏิกิริยาพอลิเมอร์เช่นแบบรวมตัวซึ่งเกิดจากตัวกระตุ้น อาจเป็นความร้อน แสงอัลตราไวโอเลตพวกหนึ่ง หรือสารอินทรีย์อีกพวกหนึ่งไปแยกหรือทำปฏิกิริยากับตัวเริ่มต้นให้ปล่อย

แรติคัลอิสระออกมา แรติคัลอิสระนี้ทำปฏิกิริยากับบอนด์คู่ระหว่างคาร์บอนต่อคาร์บอนของเมทิลเมทาคริเลตเชิงเดี่ยวกลายเป็นพอลิเมทิลเมทาคริเลต

แนวโน้มการนำพอลิเมทิลเมทาคริเลตมาใช้งานในรูปของอะคริลิกพลาสติกถูกประยุกต์ใช้ในงานหลายอย่างไม่ว่าจะเป็นเครื่องประดับ อุปกรณ์สำนักงานในรูปของอะคริลิกพลาสติกถูกประยุกต์ใช้ในงานหลายอย่างไม่ว่าจะเป็นเครื่องประดับ อุปกรณ์สำนักงาน อุปกรณ์ในห้องน้ำ สีทาบ้าน ป้ายโฆษณาหรือป้ายชื่อร้าน และอื่นๆ อีกมากมาย ส่วนใหญ่มักเป็นทางเลือกแทนการใช้กระจกเนื่องจากกระจกมีความเปราะบาง แตกง่าย ไม่ทนต่อรอยขีดข่วน ไม่ทนต่อสภาพอากาศจึงทำให้อะคริลิกพลาสติกเป็นทางเลือกใหม่กับงานเฉพาะด้านมากขึ้น

โดยสมบัติพื้นฐานของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นพลาสติกโปร่งใสที่มีพื้นผิวมันวาวสูง ทนทานสูง และโปร่งใสจัดเป็นวัสดุที่แข็ง แต่มีความเปราะ มีความต้านทานแรงดึง แรงอัด และจุดแข็งตัดถือว่าเป็นที่น่าพอใจสามารถต้านทานรอยขีดข่วนได้

### 2.2.3 ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์ [17]

ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon Dioxide) หรือสามารถเรียกง่ายๆ ได้อีกอย่างหนึ่งว่าซิลิกา คือ สารประกอบระหว่างออกไซด์และซิลิกอนรวมตัวกันเป็นสูตรทางเคมี คือ  $\text{SiO}_2$  และเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง ซิลิกามักพบได้ทั่วไปในธรรมชาติอาจในรูปของทรายหรือควอตซ์และในผนังเซลล์ของไดอะตอม ซิลิกาเป็นสารประกอบที่มีจำนวนมากโดยทั่วไปบนเปลือกโลก

ซิลิกาได้นำมาใช้เป็นวัสดุในการผลิตที่หลากหลายอาทิ เช่น คริสตัล กระจก แก้วน้ำ และขวดแก้ว สายใยแก้วที่ใช้ในการโทรคมนาคมก็เป็นผลิตผลจากซิลิกาเช่นเดียวกันและยังใช้เป็นวัตถุดิบแรกเริ่มในผลิตภัณฑ์จำพวกเซรามิก เช่น เครื่องปั้นดินเผา เครื่องหิน เครื่องลายคราม และการผลิตพาร์ตแลนดซ์ซีเมนต์

พื้นที่ผิวของซิลิกาเป็นปัจจัยที่สำคัญในการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพความแข็งแรงเมื่อนำไปใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในอุตสาหกรรมต่างๆ ซิลิกาที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะมีพื้นที่ผิวสูงและให้ความแข็งแรงในการเสริมแรงได้ดี

ในทางการค้าซิลิกาเป็นแหล่งผลิตซิลิกอนและถูกใช้ในปริมาณมาก ซึ่งเป็นส่วนของวัสดุก่อสร้าง ส่วนซิลิกาอสัณฐานนั้น (Amorphous Silica) ถูกใช้เป็นสารดูดความชื้น สารดูดซับ สารเพิ่มความแข็งแรง สารเติมแต่ง และองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพทั่วไปของซิลิกอนไดออกไซด์ [18]

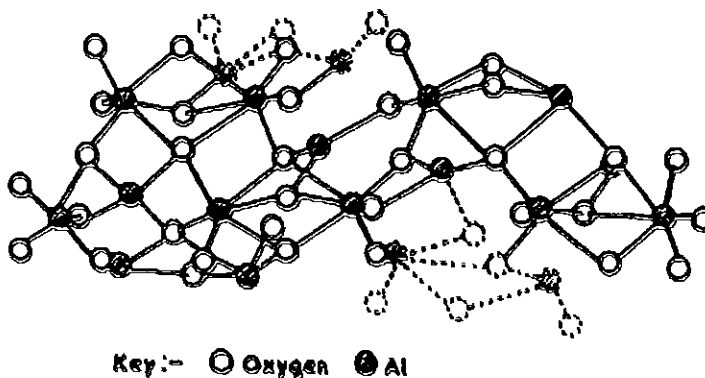
|                |  |
|----------------|--|
| ชื่อทั่วไป     | Silica, Quartz, Free, Crystalline Silica, Silica Flour, Silica |
| สูตรโมเลกุล    | SiO <sub>2</sub>   |
| น้ำหนักโมเลกุล | 60.1 g/mole  |
| สถานะ          | ของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น  |
| ความถ่วงจำเพาะ | 2.2  |
| จุดเดือด       | >2,200 °C  |
| จุดหลอมเหลว    | 1713 °C  |

#### 2.2.4 อลูมินาหรืออลูมิเนียมออกไซด์ [19]

อลูมินา (Alumina) มีชื่อทางเคมี คือ อลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium Oxide: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) มีรูปร่างโมเลกุลเป็นแบบทรงเหลี่ยมแปดหน้า ปัจจุบันถูกพัฒนานำมาใช้งานมากขึ้นในอนาคต อลูมินาจัดว่าเป็นวัสดุที่มีมูลค่าสูง เนื่องจากมีสมบัติที่โดดเด่นหลายด้าน เช่น มีจุดหลอมเหลวที่สูง มีความแข็งสูง และมีเสถียรภาพทางเคมีที่สูง

ไพริส (Sapphire) คือ อลูมินาซึ่งอยู่ในรูปผลึกเดี่ยว (Single Crystal) ซึ่งเป็นอลูมินาที่มีมูลค่าสูงมาก เนื่องจากถูกนำไปใช้เป็นเครื่องประดับ ส่วนอลูมินาที่อยู่ในรูปโครงสร้างผลึกที่ซับซ้อน (Polycrystalline) นั้นจะมีราคาที่ถูกกว่า แต่เป็นวัสดุที่มีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมที่ต้องการใช้งานที่อุณหภูมิสูง อลูมินาถูกนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างหลากหลาย เช่น ผลิตภัณฑ์อลูมินาที่ใช้ทำลูกบิด ผนังกรูหม้ออบ เครื่องมือตัดแต่งวัสดุ วัสดุยานยนต์ และชิ้นส่วนลดอันตรายจากกระสุนตลอดจนชิ้นส่วนสำหรับอวัยวะทดแทนในทางการแพทย์ เช่น ข้อต่อกระดูกเทียม เป็นต้น

อลูมินาที่มีความเสถียรมากที่สุดอยู่ในรูปอัลฟาอลูมินา ( $\alpha$  - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นเฮกซาโกนอล (Hexagonal) โดยมีออกซิเจนเรียงตัวกันแบบเฮกซาโกนอลและมีอลูมิเนียมที่มีขนาดเล็กกว่าแทรกอยู่ในช่องออกตะฮีดรอล 2 ใน 3 ส่วนของช่องทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการแทรกของอลูมินาในช่องออกตะฮีดรอล [19]

โดยผงอลูมินาจะเป็นที่นิยมใช้มากที่สุดเพราะเป็นวัสดุเริ่มต้นในการขึ้นรูปแบบต่างๆ ได้ดี ทั้งนี้อลูมินาที่นำมาใช้จะต้องมีความบริสุทธิ์สูงและมีความละเอียดมากเพราะสมบัติทางฟิสิกส์และเชิงกลของอลูมินาสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการกำจัดมลทินต่างๆ ออกไป เช่น

2.2.6.1 การปรับปรุงสมบัติเชิงกลโดยการปรับปรุงองค์ประกอบและโครงสร้างจุลภาค

2.2.6.2 การใช้ผงอลูมินาที่มีความละเอียดระดับเล็กกว่าไมโครเมตร

เพื่อที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อละเอียดมากๆ

2.2.6.3 การพัฒนาอลูมินาเซรามิกที่มีรูพรุน

เนื่องจากสมบัติของอลูมินาที่มีความแข็งสูง มีความหนาแน่นสูง มีความต้านทานต่อการขีดสี และสึกกร่อนสูง ทนต่อสารเคมี เป็นฉนวนไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงได้ดี และมีความทนไฟสูง จึงสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมได้หลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมเครื่องขัดถู (Abrasive) อุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ อุตสาหกรรมเซรามิก และอื่นๆ ซึ่งแนวโน้มในการนำอลูมินาไปใช้งานก็ได้มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สามารถนำอลูมินาที่ได้จากการสังเคราะห์มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายประเภท เช่น อุปกรณ์ประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ฉนวนไฟฟ้า เครื่องมือตัดแต่ง อุปกรณ์ทางการแพทย์ อวัยวะเทียม เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เป็นต้น โดยอลูมินาที่นำมาใช้นั้นจะมีชนิดที่เป็นผง เป็นผลึกเดี่ยวๆ เป็นแผ่นฟิล์มบางๆ เป็นเส้นใย และที่เป็นรูพรุน

## 2.2.5 ไทเทเนียมไดออกไซด์ [18]

ไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถผลิตเป็นโลหะเจือด้วยการผสมกับเหล็ก อะลูมิเนียม วานาเดียม โมลิบดีนัม และธาตุอื่นๆ เพื่อผลิตโลหะเจือที่แข็งแรง แต่น้ำหนักเบาสำหรับใช้ในยานอวกาศหรืออากาศยาน การทหาร กระบวนการทางอุตสาหกรรม (สารเคมี สารเคมีจากปิโตรเลียม ระบบผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเล (Desalination Plant) เยื่อกระดาษ และกระดาษ) ยานยนต์ อาหารจากเกษตรกรรม ภายอุปกรณ์ทางการแพทย์ กระดูกเทียม เครื่องมือทางทันตกรรม ฟันปลอมรากเทียม สินค้าทางการกีฬา อัญมณี โทรศัพท์มือถือ และการประยุกต์ใช้อื่นๆ

คุณสมบัติที่มีประโยชน์มากที่สุดของรูปลูกโลหะ คือ มีความต้านทานการกัดกร่อนและมีอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูงกว่าโลหะชนิดใดๆ ในสภาวะบริสุทธิ์ ไทเทเนียมไดออกไซด์มีความแข็งเท่ากับเหล็กกล้าบางชนิด แต่เบากว่าร้อยละ 45 สมบัติทางเคมีและสมบัติทางฟิสิกส์ของไทเทเนียมไดออกไซด์คล้ายกับเซอร์โคเนีย

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพทั่วไปของไทเทเนียมไดออกไซด์ [18]

|                |                           |
|----------------|---------------------------|
| ชื่อทั่วไป     | Baytitan , Titanium Oxide |
| สูตรโมเลกุล    | TiO <sub>2</sub>          |
| น้ำหนักโมเลกุล | 47.867 g/mole             |
| สถานะ          | ของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น   |
| ความถ่วงจำเพาะ | 3.9                       |
| จุดเดือด       | 2,500–3,000 °C            |
| จุดหลอมเหลว    | 1840 °C                   |

### 2.2.6 สารคู่ควบ (Coupling Agents) [3]

สารคู่ควบ คือ สารที่ช่วยปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์และฟิลเลอร์ ทำหน้าที่เหมือนเป็นสะพานเชื่อมทั้งสองโมเลกุลไว้ โดยส่วนหนึ่งของโมเลกุลเป็นส่วนที่จะเกิดปฏิกิริยากับฟิลเลอร์และอีกส่วนหนึ่งของโมเลกุลเป็นส่วนที่จะเกิดการรวมตัวหรือทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ได้เป็นอย่างดี เมื่อพื้นผิวฟิลเลอร์ได้รับการปรับปรุงด้วยสารคู่ควบจะช่วยลดแรงตึงผิวของฟิลเลอร์หรือเปลี่ยนลักษณะพื้นผิวของฟิลเลอร์ที่มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) เปลี่ยนไปเป็นไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) ทำให้สามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์ ซึ่งไม่เพียงช่วยให้การผสมเกิดได้ดีขึ้น แต่ยังช่วยปรับปรุงสมบัติโดยรวมของคอมโพสิตอีกด้วย

กลไกการปรับปรุงการยึดระหว่างฟิลเลอร์กับพอลิเมอร์โดยใช้สารคู่ควบ

สารคู่ควบมีสูตรทั่วไป คือ  $(RO)_x-M-(R-X)_y$

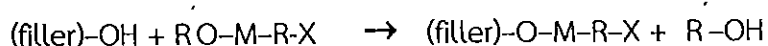
โดย M คือ โลหะ ได้แก่ ซิลิคอน ไททาเนียม หรือ เซอร์โคเนียม

X คือ หมู่ฟังก์ชันที่เข้าทำปฏิกิริยาเกิดพันธะกับพอลิเมอร์ เช่น หมู่ไวนิล  
หมู่อะนิโม เป็นต้น

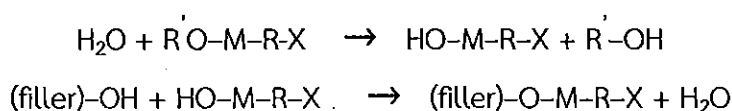
R คือ หมู่อินทรีย์ที่เชื่อมอยู่ระหว่างหมู่ X กับโลหะ M

RO คือ หมู่ที่เข้าทำปฏิกิริยาเกิดพันธะกับฟิลเลอร์หรือเส้นใยเสริมแรง

การยึดระหว่างสารประสานและฟิลเลอร์อาจเกิดจากปฏิกิริยาโดยตรงระหว่างหมู่ OR ของสารคู่ควบกับหมู่ OH ที่พื้นผิวฟิลเลอร์ดังนี้



หรืออาจเกิดจากการที่หมู่ OR ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยความชื้นที่พื้นผิวฟิลเลอร์ได้เป็นหมู่ OH ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยาต่อไปกับฟิลเลอร์ดังนี้



สำหรับการยึดเกาะระหว่างสารคู่ควบและพอลิเมอร์เกิดจากหมู่ X ของสารคู่ควบเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ โดยหมู่ X มีแตกต่างกันหลายชนิดเพื่อให้เหมาะสมในการใช้งานกับพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ

การใช้สารคู่ควบมี 2 วิธี

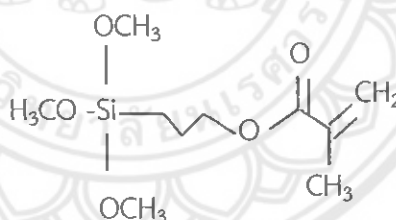
2.2.6.1 นำไปเคลือบหรือปรับแต่งที่พื้นผิวของฟิลเลอร์แล้วจึงนำไปผสมกับพอลิเมอร์

2.2.6.2 ผสมกับพอลิเมอร์โดยตรงระหว่างกระบวนการคอมพาวด์ดิ้ง

สำหรับสารคู่ควบที่ใช้กันทั่วไปมีดังนี้ คือ

- ก. สารโคเมียมเชิงซ้อน (Chromium Complexes)
- ข. ไซเลน (Silanes)
- ค. ไททาเนต (Titanates)
- ง. เซอร์โคเนียมอะลูมินาต (Zirconium Aluminates)

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้สารคู่ควบประเภทไซเลน คือ 3-เมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีซิลเลน (3-Methacryloxypropyltrimethoxysilane; 3-MPS) โดยจะแสดงลักษณะการจัดเรียงโครงสร้างทางเคมีของ 3-MPS ดังรูปที่ 2.7

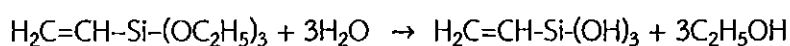


รูปที่ 2.7 ลักษณะโครงสร้างของ 3-MPS [3]

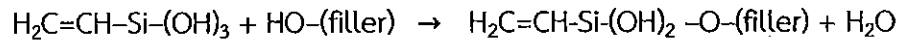
### 2.2.7 ไซเลน (Silanes)

ไซเลนเป็นสารคู่ควบที่นิยมใช้มากที่สุดกับผลิตภัณฑ์พลาสติกเสริมแรงด้วยฟิลเลอร์มีสูตรทั่วไป คือ  $\text{Y}-\text{Si}(\text{OR})_3$  โดยหมู่ OR (เช่น  $-\text{OCH}_3$ ,  $-\text{OC}_2\text{H}_5$ ) จะเข้าทำปฏิกิริยาเกิดพันธะกับฟิลเลอร์ ในขณะที่หมู่ Y (เช่น หมู่ไวนิล หมู่อะมิโน หมู่อีพอกซี และหมู่ Mercapto) จะทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ซึ่งมีผลทำให้ฟิลเลอร์ยึดเกาะกับพอลิเมอร์ได้ดี ตัวอย่างเช่น การใช้ 3-เมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีซิลเลน (3-MPS) จะช่วยให้ฟิลเลอร์ยึดเกาะกับพอลิเมอร์ได้ดังนี้ คือ

ขั้นที่ 1 หมู่เอพอกซีถูกไฮโดรไลซ์ได้เป็นหมู่ซิลานอล ( $\text{Si}-\text{OH}$ )



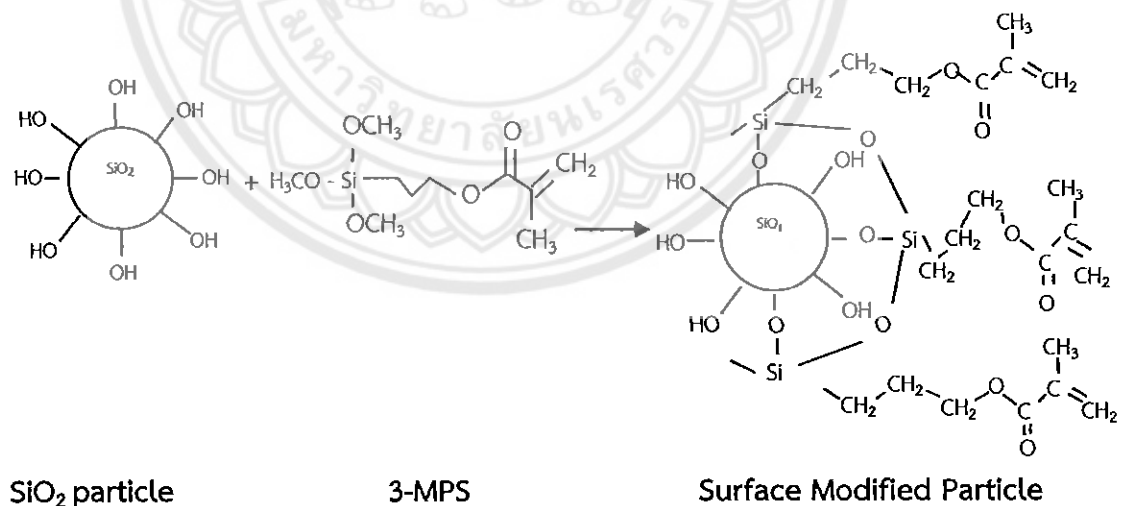
ขั้นที่ 2 ซิลทานอลเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ OH ที่พื้นผิวของฟิลเลอร์เกิดเป็นพันธะ Si-O-Si ระหว่างสารคู่ควบกับฟิลเลอร์



ในขณะที่เดียวกันหมู่อัลคิลจะเข้าทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์เกิดเป็นพันธะโคเวเลนต์ ระหว่างสารคู่ควบกับพอลิเมอร์ โดยวิธีการนี้ จึงทำให้ฟิลเลอร์มีแรงยึดติดกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดี

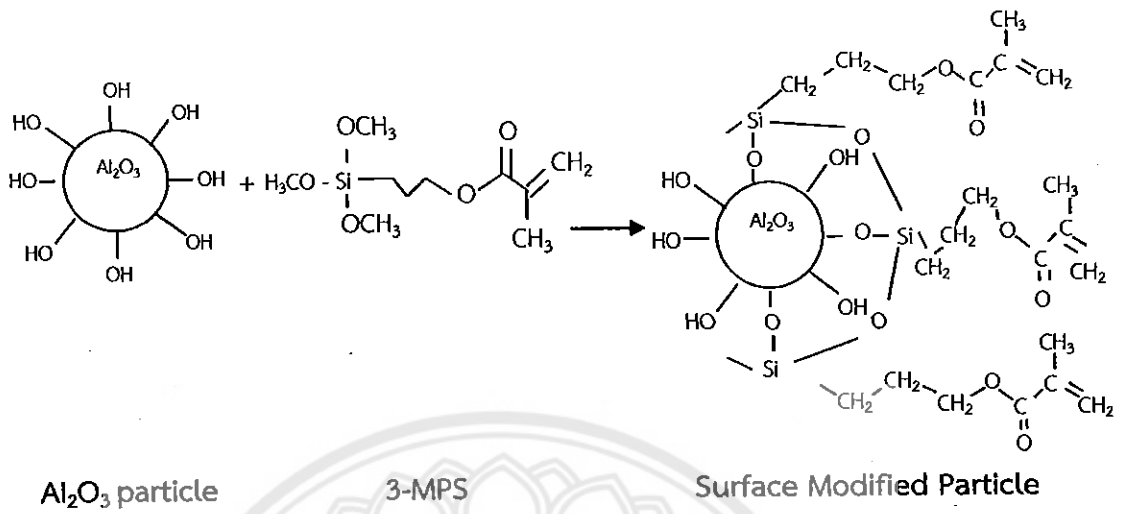
การใช้สารคู่ควบไซเลนจะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อนำไปใช้เป็นสารคู่ควบสำหรับฟิลเลอร์ ต่อไปนี้ คือ ซิลิกา แก้ว อลูมินา และอลูมิเนียมซิลิเกต ในทางตรงกันข้าม เมื่อนำไปใช้กับแคลเซียมคาร์บอเนต ไซเลนจะไม่มีประสิทธิภาพเลย

ในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์โดยการใส่ฟิลเลอร์นั้น คอมโพลิตที่ได้จะมีสมบัติดี ถ้าทำให้ฟิลเลอร์กระจายตัวหรือยึดเกาะกับพอลิเมอร์ได้ดี ซึ่งวิธีการหนึ่งที่ยอมรับกันมานานแล้ว คือ การเคลือบหรือปรับสภาพพื้นผิวของฟิลเลอร์ด้วยสารที่สามารถเข้ากันได้กับทั้งเนื้อพอลิเมอร์และฟิลเลอร์ โดยงานวิจัยนี้เลือกฟิลเลอร์หรือวัสดุเสริมแรง 3 ชนิด คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยจะแสดงลักษณะการปรับสภาพพื้นผิวของวัสดุเสริมแรงโดยใช้ 3-MPS เป็นตัวปรับสภาพพื้นผิว ดังรูปที่ 2.8-2.9

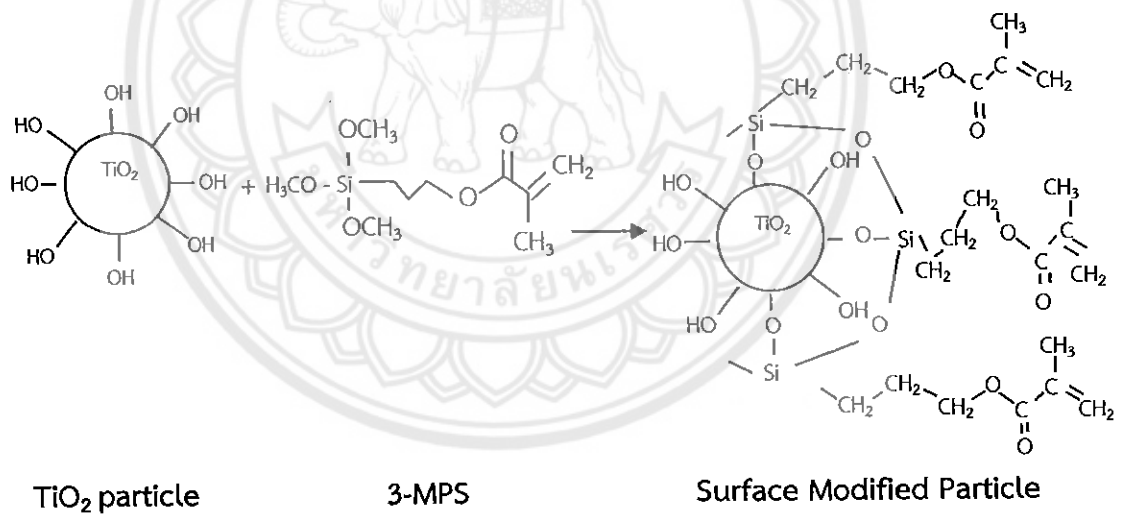


รูปที่ 2.8 การปรับสภาพพื้นผิวของซิลิกอนไดออกไซด์





รูปที่ 2.9 การปรับสภาพพื้นผิวของอลูมิเนียมออกไซด์

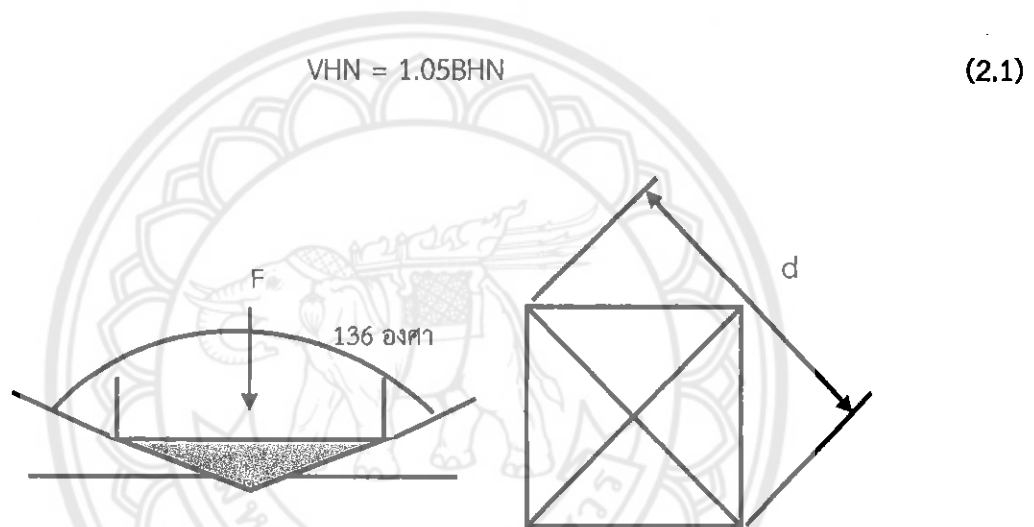


รูปที่ 2.10 การปรับสภาพพื้นผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์

## 2.3 ทฤษฎีการทดสอบสมบัติเชิงกล

### 2.3.1 การวัดความแข็งวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test-VHN) [20]

วิธีนี้ใช้หัวกดพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมที่ทำมาจากเพชรมีมุม 136 องศา แรงกด 5-120 กิโลกรัม เหมาะสำหรับวัดความแข็งของวัสดุที่มีความเปราะ จึงเหมาะในการวัดความแข็งผิวของพินธรรมชาติ และพินปลอม โดยมีหลักการคล้ายคลึงกับการทดสอบความแข็งนูนและบริเบลล์ แต่มีความแตกต่างกันตรงที่วิธีนี้ใช้หัวกดรูปพีระมิด แรงกดทำให้รอยกดคล้ายรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสบนผิววัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ค่าความแข็งของวัสดุจะถูกวัดจากเส้นทแยงมุมของสี่เหลี่ยมจัตุรัสทั้งสองเส้น นำมาหาค่าความแข็งเฉลี่ยแล้วคำนวณมาเป็นค่าความแข็งวิกเกอร์ (Vicker's Hardness Number-VHN) ค่าความแข็งวิกเกอร์และบริเนลล์มีความสัมพันธ์กันตามสมการที่ 2.1



รูปที่ 2.11 ลักษณะหัวกดและรอยกดของการวัดความแข็งวิกเกอร์

$$\text{การคำนวณค่าความแข็ง} \quad HV = \frac{2F \sin(136/2)}{d^2} \quad (2.2)$$

HV = ความแข็งวิกเกอร์ (Vickers Hardness)

F = น้ำหนักที่ใช้กด (kg)

d = ความยาวเส้นทแยงมุม (mm)

### ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดของซีพินเทียมอะคริลิกตามมาตรฐาน ISO 3336 [21]

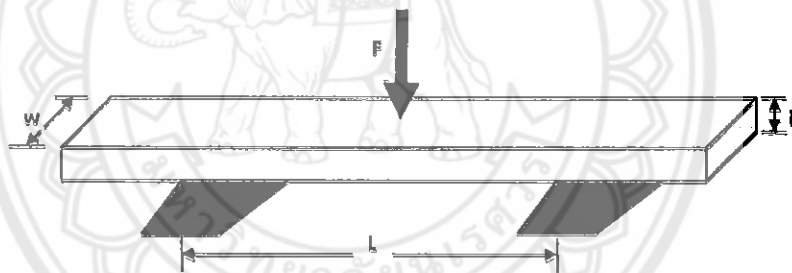
|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| ความหนาแน่น ( $\text{g/cm}^3$ ) | 1.2 |
| มอดูลัสของการยืดหยุ่น (GPa)     | 2.5 |
| ความแข็งผิว (VHN)               | 20  |

### 2.3.2 การต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural Strength) [20]

เป็นค่าความเค้นที่ได้จากการทดสอบให้เกิดการงอตัวโดยใช้หัวกด (Indenter) ซึ่งกดลงตั้งฉากกับชิ้นทดสอบที่อยู่ในลักษณะแนวนอนโดยมีตัวรองรับ (Supporting Jig) เป็นตัวกำหนดช่วงห่างของตัวรองรับ (Span) การทดสอบในลักษณะนี้ชิ้นทดสอบจะได้รับทั้งแรงเค้นดึง (Tensile Stress) และแรงกด (Compressive Stress) ซึ่งแรงเค้นกดจะเกิดขึ้นบนชิ้นทดสอบ ส่วนแรงเค้นดึงจะเกิดใต้ชิ้นทดสอบค่า Flexural Strength คือ ความเค้นมากที่สุดหาได้ดังสมการที่ 2.3

$$\text{Flexural Strength} = \frac{3FL}{2Wh^2} \quad (2.3)$$

- F = น้ำหนักที่ทำให้เกิดการแตกของพอลิเมอร์  
 L = ระยะห่างระหว่างตำแหน่งของวัสดุที่รองรับ  
 W = ความกว้างของตัวอย่าง  
 H = ความสูงของตัวอย่าง



รูปที่ 2.12 แสดงแผนผังการทดสอบการต้านทานแรงดัดโค้ง

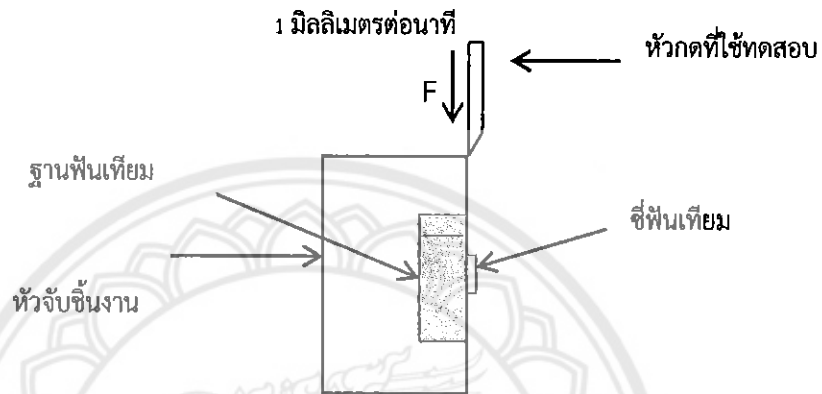
และมอดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ในการทำให้ตัวอย่างงอสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4

$$\text{Flexural Modulus} = \frac{L^3 F}{4Wh^3 d} \quad (2.4)$$

d = ระยะที่ถูกดัด ณ จุดศูนย์กลางชิ้นทดสอบ

### 2.3.3 แรงยึดเฉือน (Shear Bond Strength) [22]

แรงที่มากกระทำขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวางเพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านกันโดยที่ความเค้นแรงเฉือนมีค่าเท่ากับผลลัพธ์ของแรงเฉือนและพื้นที่ภาคตัดขวางที่ขนานกับแรงเฉือนที่มากกระทำ โดยการทดสอบนี้จะให้แรงกด (Compressive Stress) ที่ตั้งฉากกับชิ้นงานทดสอบจะได้ค่าในการกมมากที่สุดที่ทำให้วัสดุสองชิ้นหลุดออกจากกันหาได้จากสมการที่ 2.5



รูปที่ 2.13 แสดงการทดสอบแรงยึดเฉือน

นำค่าแรงที่ได้มาคำนวณหาค่าความแข็งแรงพันธะเฉือน (Shear Bond Strength) โดยใช้สูตร

$$\begin{aligned} \text{ความแข็งแรงพันธะเฉือน (SBS)} &= \frac{\text{แรง}}{\text{พื้นที่หน้าตัด}} \\ &= \frac{F}{\pi r^2} \end{aligned} \quad (2.5)$$

เมื่อ  $F$  คือ ค่าแรงที่ใช้ทำให้ซีฟันหลุดออกจากฐานพื้นเทียม (N)

$r$  คือ รัศมีของชิ้นซีฟันเทียม (วัดค่าแต่ละชิ้น) (m)

หน่วยของความแข็งแรงพันธะเฉือน คือ นิวตันต่อตารางเมตร ( $\text{N/m}^2$ ) หรือปาสคาลหรือแปลงเป็นเมกะปาสคาล

### 2.3.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (The Analysis of Variance; ANOVA) [27]

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance; ANOVA) เป็นวิธีการใช้คำนวณทางสถิติที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ผู้ที่พัฒนา คือ R.A. Fisher และได้มีการนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลในสาขาวิชาต่างๆ มากมาย โดยใช้หลักการแยกความผันแปรหรือความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการทดลองออกเป็นส่วนๆ ตามแหล่งที่ทำให้เกิดความผันแปร (Sources of Variation)

#### 2.3.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวเป็นการทดสอบโดยพิจารณาเลือกปัจจัยเพียงปัจจัยเดียวจากหลายๆ ปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองมากที่สุด แล้วนำมาทำการทดสอบที่วิธีการทดสอบ (Treatment) ที่ต่างกัน แล้วพิจารณาว่าปัจจัยที่นำมาพิจารณานั้นมีผลกระทบต่อผลการทดลองหรือไม่

ตารางที่ 2.4 การทดลองประเภทวิเคราะห์ปัจจัยเดียว (Experiments with Single Factor)

| Treatment | Observations |          |       |          | Total    | Average  |
|-----------|--------------|----------|-------|----------|----------|----------|
| 1         | $y_{11}$     | $y_{12}$ | ..... | $y_{1n}$ | $y_1$    | $y_1$    |
| 2         | $y_{21}$     | $y_{22}$ | ..... | $y_{2n}$ | $y_2$    | $y_2$    |
| :         | :            | :        | :     | :        | :        | :        |
| k         | $y_{k1}$     | $y_{k1}$ | ..... | $y_{kn}$ | $y_k$    | $y_k$    |
|           |              |          |       |          | $y_{..}$ | $y_{..}$ |

จากตารางเป็นข้อมูลการทดลองที่มี 1 ปัจจัย ประกอบด้วย k Treatment แต่ละ Treatment ประกอบด้วย n Observations

$y_{ij}$  = ค่าสังเกต (Observations) จากวิธีปฏิบัติที่ i ตัวอย่างที่ j

$y_i$  = ผลรวมของค่าสังเกต (Observations) ทุกค่าในวิธีปฏิบัติที่ i

$y_{.i}$  = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต (Observations) ในวิธีปฏิบัติที่ i

$y_{..}$  = ผลรวมของค่าสังเกต (Observations) ทั้งหมดในการทดลอง

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับหนึ่งปัจจัย

ก. ตั้งสมมติฐาน

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ อย่างน้อย 1 คู่}$$

ข. ความแปรปรวน (Total Sum of Squares:  $SS_T$ ) จะเกิดมาจาก 2 แหล่งคือ

ข.1 ความแปรปรวนที่เกิดวิธีปฏิบัติ (Treatment Sum of Squares:  $SS_{treat}$ )

ข.2 ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกลุ่ม (Error Sum of Squares:  $SS_E$ )

$$\text{ดังนั้น } SS_T = SS_{treat} + SS_E$$

$$\text{โดย } SS_T = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_{treat} = \sum_{i=1}^k \frac{y_i^2}{n_i} - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_E = SS_T - SS_{treat}$$

ปฏิบัติที่  $i$

เมื่อ  $N$  คือ จำนวนค่าสังเกตทั้งหมดและ  $n_i$  คือ จำนวนค่าสังเกตในวิธีปฏิบัติที่  $i$

ตารางที่ 2.5 One-Way ANOVA

| Source                   | SS           | df    | MS                              | Fc                  |
|--------------------------|--------------|-------|---------------------------------|---------------------|
| Between Treatment        | $SS_{treat}$ | $k-1$ | $MS_{treat} = SS_{treat} / k-1$ | $MS_{treat} / MS_E$ |
| Error (Within Treatment) | $SS_E$       | $N-k$ | $MS_E = SS_E / N-k$             |                     |
| Total                    | $SS_T$       | $N-1$ |                                 |                     |

ถ้า  $F_c > F_{\alpha, k-1, N-k}$  ให้ปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$

ถ้า  $F_c < F_{\alpha, k-1, N-k}$  ให้ยอมรับ  $H_0$  ปฏิเสธ  $H_1$

#### 2.3.4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-Way ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางเป็นการทดสอบโดยพิจารณาเลือก 2 ปัจจัยพร้อมกัน จากหลายๆ ปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองมากที่สุด แล้วนำมาทำการทดสอบที่วิธีการทดสอบ (Treatment) ที่ต่างกัน แล้วพิจารณาว่าปัจจัยที่นำมาพิจารณานั้นมีผลกระทบต่อผลการทดลองหรือไม่

ตารางที่ 2.6 แสดงการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง

| Factor A | Factor B                             |                                      |       |                                      | Total     |
|----------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------|--------------------------------------|-----------|
|          | 1                                    | 2                                    | ...   | l                                    |           |
| 1        | $Y_{111} \ Y_{112}$<br>... $Y_{11n}$ | $Y_{121} \ Y_{122}$<br>... $Y_{12n}$ | ..... | $Y_{1l1} \ Y_{1l2}$<br>... $Y_{1ln}$ | $Y_{1..}$ |
| 2        | $Y_{221} \ Y_{212}$<br>... $Y_{21n}$ | $Y_{221} \ Y_{222}$<br>... $Y_{22n}$ | ..... | $Y_{2l1} \ Y_{2l2}$<br>... $Y_{2ln}$ | $Y_{2..}$ |
| :        | :                                    | :                                    | ..... |                                      |           |
| :        | :                                    | :                                    | ..... |                                      |           |
| k        | $Y_{k11} \ Y_{k12}$<br>... $Y_{k1n}$ | $Y_{k21} \ Y_{k22}$<br>... $Y_{k2n}$ | ..... | $Y_{kl1} \ Y_{kl2}$<br>... $Y_{kln}$ | $Y_{k..}$ |
|          | $Y_{.1.}$                            | $Y_{.2.}$                            | ..... | $Y_{.l.}$                            | $Y_{...}$ |

จากตารางที่ 2.6 แสดงข้อมูลการทดลองที่มีปัจจัยสองปัจจัย คือ ปัจจัย A ซึ่งประกอบด้วย k Treatment; ปัจจัย B ซึ่งประกอบด้วย l Treatment แต่ละ Treatment มี n Observations และมีจำนวนข้อมูลทั้งหมด  $N = kn$

$y_{ijn}$  = ค่าสังเกตที่ n จากวิธีปฏิบัติที่ i ปัจจัย A จากวิธีปฏิบัติที่ j ปัจจัย B

$y_{i..}$  = ผลรวมของค่าสังเกต ln ค่าในวิธีปฏิบัติที่ i ปัจจัย A

$y_{.j.}$  = ผลรวมของค่าสังเกต kn ค่าในวิธีปฏิบัติที่ j ปัจจัย B

$y_{ij}$  = ผลรวมของค่าสังเกต n ค่าในวิธีปฏิบัติที่ i ปัจจัย A วิธีปฏิบัติที่ j ปัจจัย B

$y_{...}$  = ผลรวมของค่าสังเกตทุกค่า ( $N=kn$ ) ในการทดลอง

การวิเคราะห์ความแปรปรวน 2 ทาง

ก. ตั้งสมมติฐาน

$$H_0: (\beta)_{ij} = 0_k$$

$$H_1: (\beta)_{ij} \neq 0_k \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

ข. ความแปรปรวน (Total Sum of Squares :  $SS_T$ )

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AB} + SS_E$$

$$SS_T = \sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^k y_{ijn}^2 - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_A = \sum_{i=1}^k \frac{y_{i..}^2}{ln} - \frac{y^2}{N}$$

โดย

$$SS_B = \sum_{j=1}^l \frac{y_{.j.}^2}{kn} - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_{subtotal} = \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^k \frac{y_{ij.}^2}{n} - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_{AB} = SS_{subtotal} - SS_A - SS_B$$

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB}$$

ตารางที่ 2.7 Two-Way ANOVA

| Source         | SS        | df           | MS                   | Fc                   |
|----------------|-----------|--------------|----------------------|----------------------|
| A              | $SS_A$    | $k-1$        | $SS_A/(k-1)$         | $MS_A/MS_E^*$        |
| B              | $SS_B$    | $l-1$        | $SS_B/(l-1)$         | $MS_B/MS_E^{**}$     |
| Interaction AB | $SS_{AB}$ | $(k-1)(l-1)$ | $SS_{AB}/(k-1)(l-1)$ | $MS_{AB}/MS_E^{***}$ |
| Error          | $SS_E$    | $(kl)(n-1)$  | $SS_E/(kl)(n-1)$     |                      |
| Total          | $SS_T$    | $N-1$        |                      |                      |

ถ้า  $F^*c > F_{\alpha, k-1, (kl)(n-1)}$  ให้ปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$

ถ้า  $F^{**}c > F_{\alpha, k-1, (kl)(n-1)}$  ให้ปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$

ถ้า  $F^{***}c > F_{\alpha, k-1, (kl)(n-1)}$  ให้ปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินโครงการ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการเติมวัสดุเสริมแรงในเรซินอะคริลิกชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน โดยการเสริมแรงด้วยวัสดุเสริมแรง 3 ชนิด คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (ขนาด 15 นาโนเมตร และ 40 ไมโครเมตร) อลูมิเนียมออกไซด์ (ขนาด 40 ไมโครเมตร) และไทเทเนียมไดออกไซด์ เพื่อศึกษาขนาดของอนุภาคที่เหมาะสมในการเสริมแรงให้กับเรซินอะคริลิกชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน

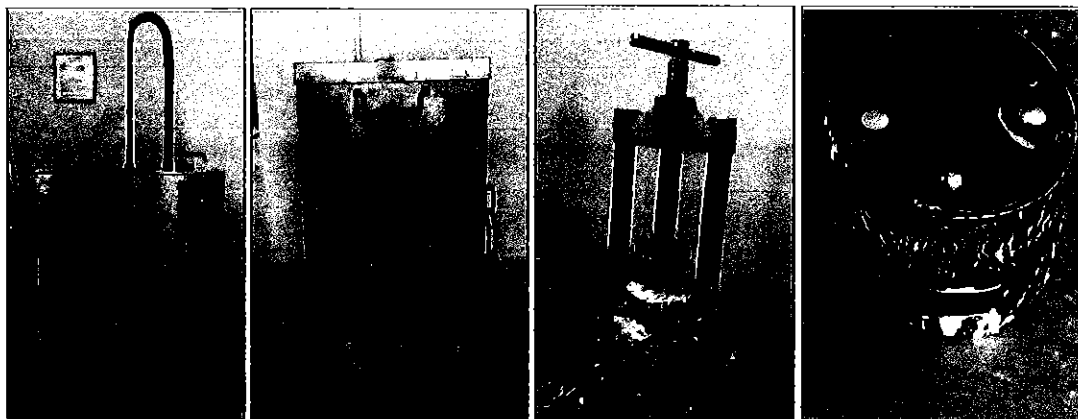
ปริมาณของวัสดุเสริมแรงเป็นร้อยละ 1 2.5 5 และ 10 %wt/v และมีการปรับสภาพของวัสดุเสริมแรงด้วยสารคู่ควบประเภท 3-เมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีซิเลน เปรียบเทียบกับวัสดุเสริมแรงที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยสารคู่ควบ เพื่อศึกษาความสามารถในการต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural Strength) ความแข็งผิว (Surface Hardness Strength) และแรงยึดติดเฉือน (Shear Bond Strength) ของชิ้นงานทดสอบและดำเนินโครงการตามตารางที่ 1.1

#### 3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในโครงการ

- 3.1.1 เรซินอะคริลิกชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน
- 3.1.2 ซิลิกอนไดออกไซด์ ขนาด 15 นาโนเมตร และ 40 ไมโครเมตร
- 3.1.3 อลูมิเนียมออกไซด์ ขนาด 40 ไมโครเมตร
- 3.1.4 ไทเทเนียมไดออกไซด์
- 3.1.5 3-เมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีซิเลน (3-Methacryloxypropyltrimethoxysilane)
- 3.1.6 ปูนปลาสเตอร์
- 3.1.7 ซีนี้งทางทันตกรรม

#### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 ฟลาสก์โลหะสำหรับทำเข้าหล่อแบบชิ้นงาน
- 3.2.2 เครื่องอัดพลาสติกไฮดรอลิก
- 3.2.3 เครื่องกำจัดซีเมนต์
- 3.2.4 เครื่องบ่มอะคริลิกด้วยความร้อน
- 3.2.5 เครื่องขัดผิววัสดุ
- 3.2.6 เครื่องมือทดสอบสมบัติความแข็งผิว (Vickers Hardness Tester)
- 3.2.7 เครื่องมือทดสอบสมบัติทางกลแบบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)



รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปขึ้นทดสอบ

### 3.3 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

#### 3.3.1 วิธีการเตรียมเข้าหล่อแบบ

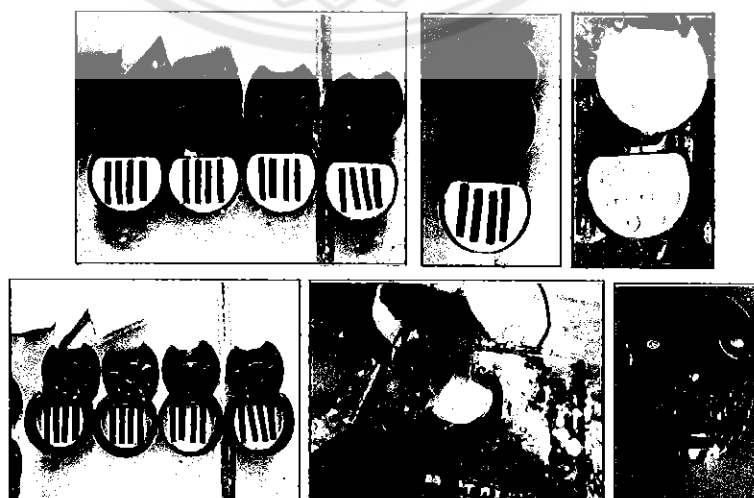
3.3.1.1 เตรียมแม่แบบตามขนาดการทดสอบ โดยใช้ซี่ผึ้งทางหันตกรรมทำแม่แบบ

3.3.1.2 ผสมปูนปลาสเตอร์กับน้ำเทลงในเข้าหล่อแบบส่วนล่าง หลังจากนั้นนำแม่แบบวางฝังลงไป

3.3.1.3 การเทปูนปลาสเตอร์ควรให้ผิวด้านบนเสมอกับผิวปูนปลาสเตอร์และขอบของเข้าหล่อแบบล่าง

3.3.1.4 นำเข้าหล่อแบบบนวางประกบกับเข้าหล่อแบบล่าง แล้วผสมปูนปลาสเตอร์กับน้ำเทลงไปในเข้าหล่อให้เต็ม

3.3.1.5 หลังจากปูนปลาสเตอร์แข็งตัวแล้ว นำเข้าหล่อแบบไปอบด้วยเครื่องกำจัดซี่ผึ้งอบเสร็จแยกเข้าหล่อแบบบนและล่างออก แล้วใช้น้ำร้อนทำความสะอาดเข้าหล่อ



รูปที่ 3.2 การเตรียมเข้าหล่อแบบ

### 3.3.2 วิธีการเตรียมชิ้นงานทดสอบ

3.3.2.1 ผสมเรซินอะคริลิกกับน้ำมอนอเมอร์ตามอัตราส่วนข้างฉลากบรรจุภัณฑ์

3.3.2.2 ให้นำอะคริลิกที่ผสมเสร็จแล้วฝังลงไปใบบนแบบแล้วนำไปอัดด้วยเครื่องอัดพลาสติก

ไฮดรอลิก

3.3.2.3 นำไปบ่มด้วยความร้อนในน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ต่อเนื่องเป็นเวลา

2 ชั่วโมง

3.3.2.4 นำชิ้นงานทดสอบที่บ่มเสร็จเรียบร้อยแล้ว ออกจากเบ้าหล่อแบบ นำไปตัดด้วย

เครื่องตัดฟันตาม

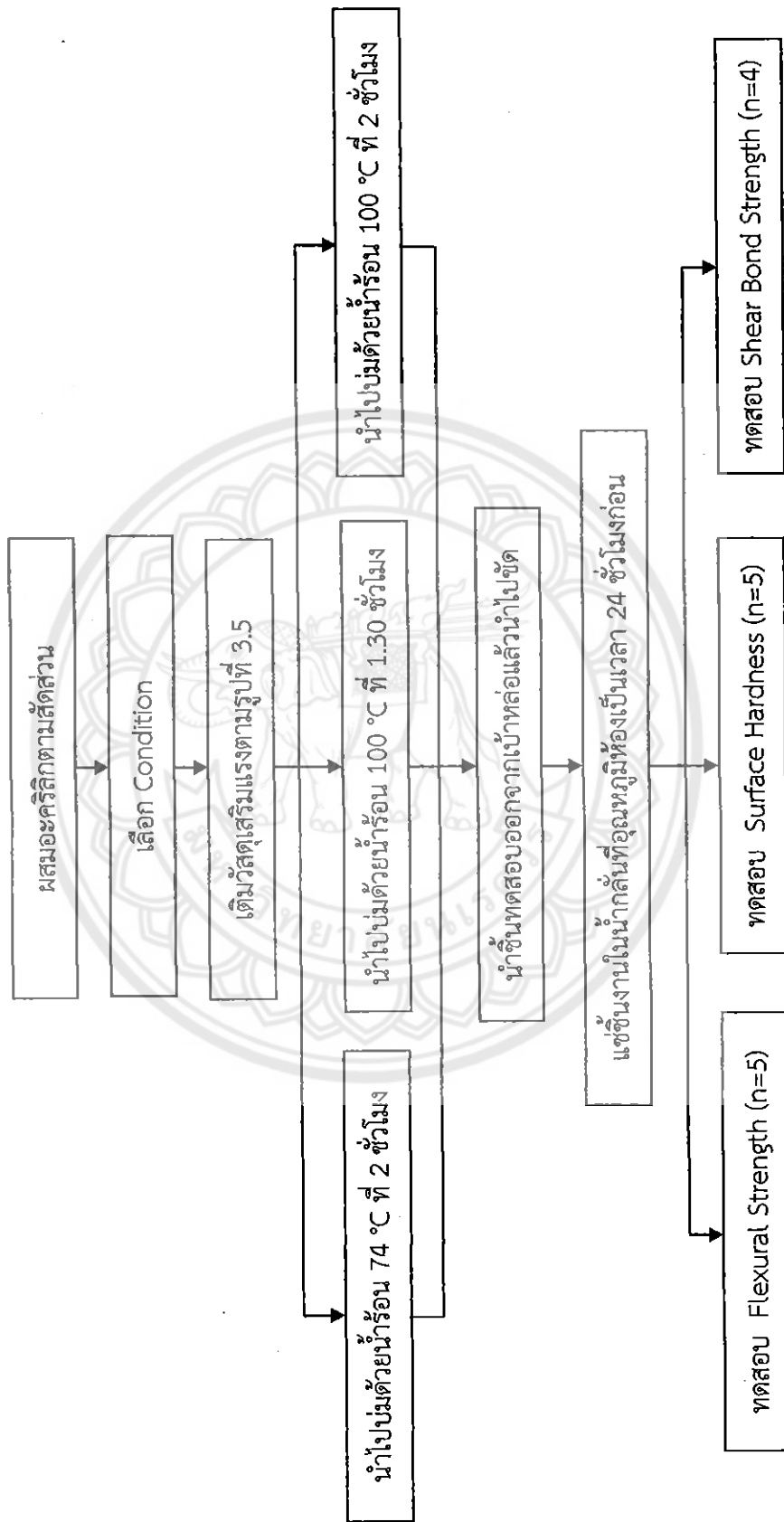
3.3.2.5 ขนาดการทดสอบ แล้วนำไปขัดด้วยเครื่องขัดผิวชิ้นทดสอบแบบจานหมุน

3.3.2.6 เก็บชิ้นตัวอย่างไว้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วันก่อนทดสอบ



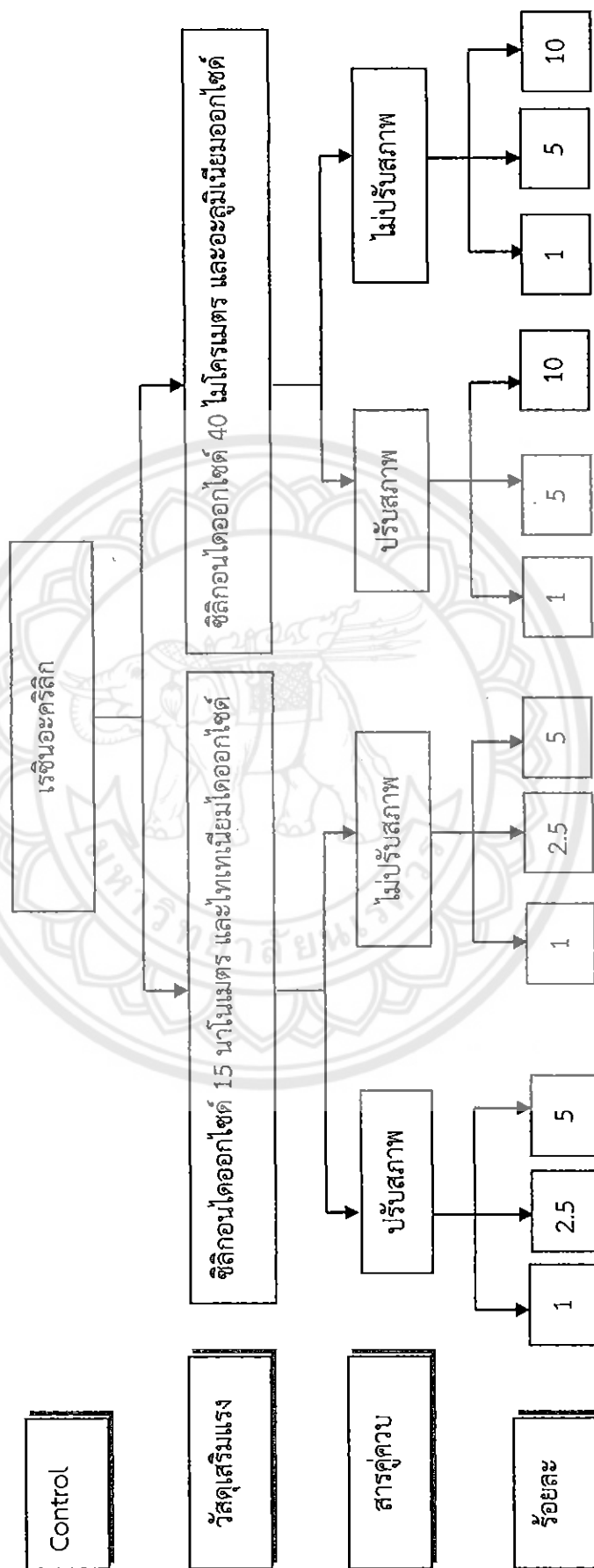
รูปที่ 3.3 เรซินอะคริลิกที่เสร็จสิ้นกระบวนการเตรียมแล้ว

### แผนผังการดำเนินงาน



รูปที่ 3.4 แผนผังการดำเนินงาน

แผนผังการเติมวัสดุเสริมแรง



รูปที่ 3.5 แผนผังการเติมวัสดุเสริมแรง

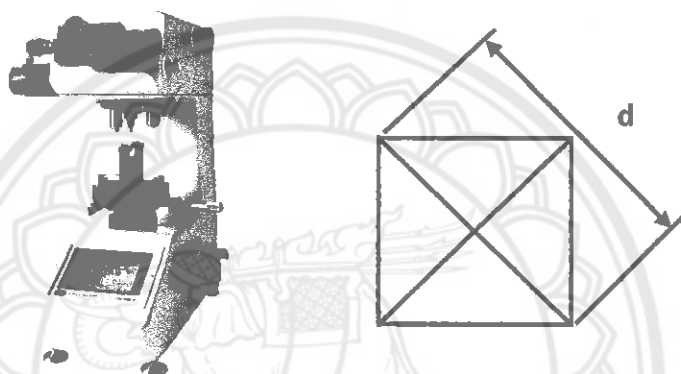
### 3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานทดสอบ

#### 3.4.1 การทดสอบสมบัติความแข็งผิว (Surface Hardness Tester)

สมบัติความแข็งผิว (Surface Hardness) เพื่อศึกษาความแข็งผิวโดยใช้เครื่องวัดความแข็งผิววิกเกอร์รุ่น Matsuzawa Model MXT 70 (Vickers Microhardness Tester) เป็นการทดสอบโดยให้แรงกดลงบนชิ้นทดสอบ กดขึ้นทดสอบด้วยหัวกดวิกเกอร์ (Vicker's Indenter) ด้วยแรงกดและเวลาใช้ค่าตามมาตรฐานของเครื่องทดสอบ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกลุ่มละ 5 ชิ้น

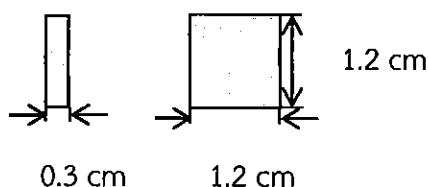
##### 3.4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติความแข็งผิว

###### ก. เครื่องมือวัดความแข็งผิวแบบจุลภาค (Microhardness Tester)



รูปที่ 3.6 การทดสอบสมบัติความแข็งผิว  
ที่มา: Shanghai Precision Testing Equipment Co. Ltd.

ข. ชิ้นทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าหนา 0.3 เซนติเมตร ยาว 1.2 เซนติเมตร และกว้าง 1.2 เซนติเมตร



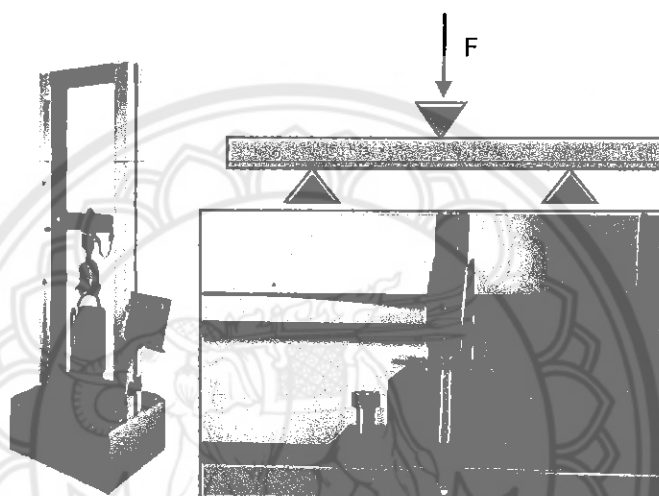
รูปที่ 3.7 ขนาดชิ้นทดสอบความแข็งผิว

### 3.4.2 การทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural Strength Tester)

การต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural Strength) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุเมื่อได้รับแรงกดที่ได้กำหนด จนได้ผลตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการทดสอบ จะทำการตรวจสอบโดยการใช้เครื่องทดสอบเบรกประสงค์ (Lloyd, LR 10K Plus) ตามมาตรฐาน ISO/FDISI 1567 และ ADA Specification No.12 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบจัดเป็นกลุ่มละ 5 ชิ้น

#### 3.4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง

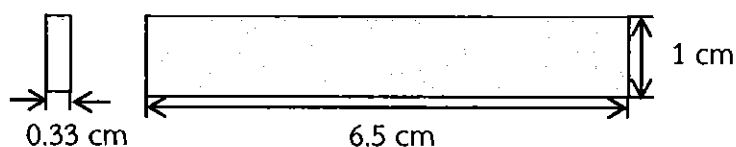
##### ก. เครื่องมือทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง



รูปที่ 3.8 การทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง

ที่มา: Shanghai Precision Testing Equipment Co. Ltd.

ข. ชิ้นทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าหนา 0.33 เซนติเมตร ยาว 6.5 เซนติเมตร และกว้าง 1 เซนติเมตร ให้มีขนาดตามมาตรฐาน ISO/FDISI 1567



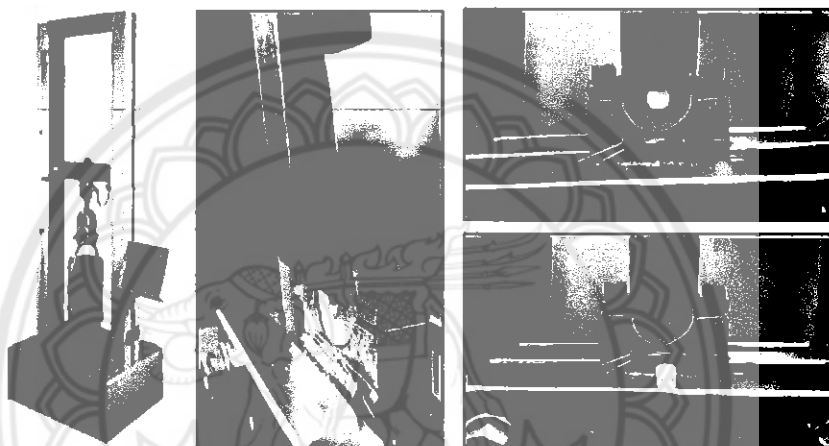
รูปที่ 3.9 ขนาดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ISO/FDISI 1567

### 3.4.3 การทดสอบแรงยึดติดเฉือน (Shear Bond Strength Tester)

นำชิ้นงานแต่ละกลุ่มมาทำการทดสอบแรงยึดติดเฉือน ด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Lloyd, LR 10K Plus) โดยตั้งค่าความเร็วของหัวทดสอบ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที และใช้โหลดเซลล์ขนาด 5 กิโลนิวตัน โดยยึดชิ้นงานเข้ากับเครื่องจับชิ้นงานและเช็คให้แนวแกนของหัวทดสอบขนานไปกับรอยต่อของชิ้นงานทั้งสองขนาดและหัวทดสอบอยู่ใกล้บริเวณรอยต่อมากที่สุด จากนั้นทำการทดสอบแรงยึดเฉือนจนครบทุกคู่ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบจัดเป็นกลุ่มละ 4 ชิ้น

#### 3.4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติแรงยึดติดเฉือน

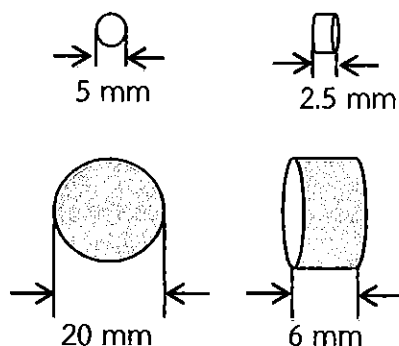
##### ก. เครื่องมือทดสอบสมบัติแรงยึดติดเฉือน



รูปที่ 3.10 การทดสอบสมบัติแรงยึดติดเฉือน

ที่มา: Shanghai Precision Testing Equipment Co. Ltd.

##### ข. ชิ้นทดสอบรูปทรงกลมขนาดตามมาตรฐาน ADA Specification No. 15



รูปที่ 3.11 ขนาดชิ้นทดสอบแรงยึดเฉือน



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการเติมวัสดุเสริมแรงทั้งหมด 3 ชนิด (ซิลิกา 15 นาโนเมตร ซิลิกา 40 ไมโครเมตร อลูมิเนียมออกไซด์ 40 ไมโครเมตร และไทเทเนียมไดออกไซด์) ในวัสดุซีฟฟันเทียมอะคริลิกชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน โดยแบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 3 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 ศึกษาผลการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง

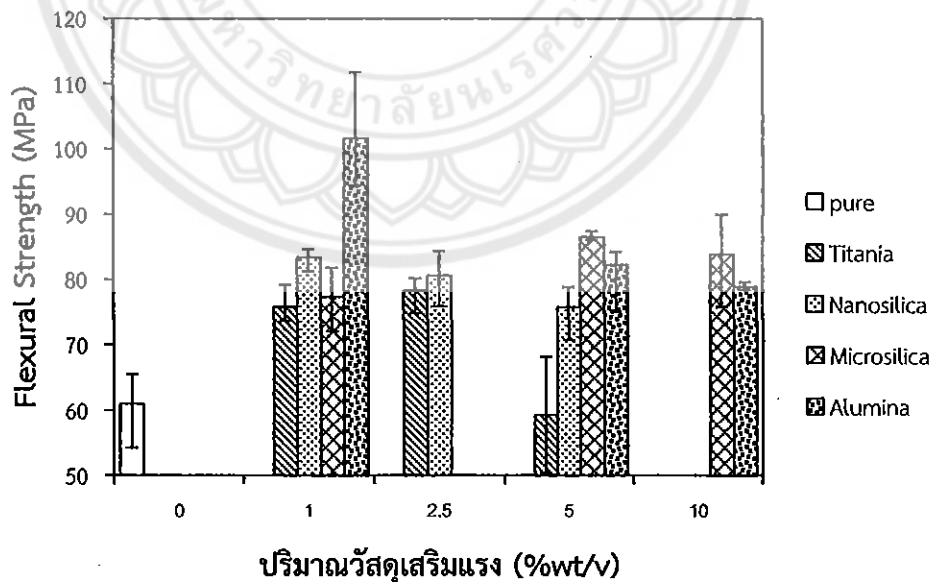
ตอนที่ 2 ศึกษาผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิววิกเกอร์

ตอนที่ 3 ศึกษาผลการทดสอบสมบัติแรงยึดเฉือน

โดยทั้ง 3 ตอนที่กล่าวมา จะมีลำดับขั้นตอนการนำเสนอเหมือนกัน คือ ลำดับแรกจะนำเสนอการวิเคราะห์ผลของการเติมชนิดวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟฟันเทียมอะคริลิก จากนั้นจะศึกษาผลของปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรง ตามด้วยการศึกษาผลของขนาดวัสดุเสริมแรง และลำดับสุดท้ายศึกษาผลของการปรับสภาพผิวของวัสดุเสริมแรงด้วยไซเลนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุซีฟฟันเทียมอะคริลิก โดยมีรายละเอียดผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองมีดังนี้

#### 4.1 ผลการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง

##### 4.1.1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบชนิดของการเติมวัสดุเสริมแรง



รูปที่ 4.1.1 แผนภูมิแสดงผลของชนิดและปริมาณวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟฟันเทียมอะคริลิกต่อสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural Strength)

จากรูปที่ 4.1.1 แสดงผลของชนิดวัสดุเสริมแรงต่อค่าการต้านทานแรงดัดโค้ง พบว่าเมื่อมีการเติมวัสดุเสริมแรงทุกชนิด ทำให้ค่าการต้านทานแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) โดยที่ซีฟันเทียมอะคริลิกที่ไม่ได้มีการเติมวัสดุเสริมแรงมีค่าการต้านทานแรงดัดโค้งเท่ากับ 60.98 MPa เมื่อพิจารณาที่ปริมาณวัสดุเสริมแรง 1 %wt/v พบว่าอลูมิเนียมออกไซด์มีค่าการต้านทานแรงดัดโค้งเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 101.59 MPa ในขณะที่ไททาเนียมไดออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์มีค่าการต้านทานแรงดัดโค้งเฉลี่ยเท่ากับ 75.76 และ 77.33 MPa ตามลำดับ จากการที่สมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้นนั้นสามารถอธิบายได้บนพื้นฐานของทรานสฟอร์มเมชันที่ฟเฟนนิ่ง (Transformation Toughening) [7] คือ อลูมิเนียมออกไซด์ที่อยู่ในเฟสเทอร์ไรต์ที่ถูกแรงจากภายนอกกระทำจะเกิดการเปลี่ยนเฟสเป็นมอโนคลินิกทำให้เกิดการขยายตัวของเฟสในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศของรอยร้าว พลังงานที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนเฟสดังกล่าวมีปริมาณสูงกว่าพลังงานที่ทำให้เกิดรอยร้าวขยายตัว ทำให้เกิดแรงอัดรอบรอยร้าวส่งผลให้ลดหรือหยุดการขยายตัวของรอยร้าว [26] จึงทำให้วัสดุเสียหายช้าลง ซึ่งอนุภาคต่างชนิดกันอาจมีความสามารถในการเปลี่ยนเฟสต่างกัน ทำให้ค่าการต้านทานแรงดัดโค้งมีค่าที่แตกต่างกันไปด้วย ในขณะที่เมื่อทำการพิจารณาที่ปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรง 5 %wt/v ซิลิกอนไดออกไซด์มีค่าการต้านทานแรงดัดโค้งสูงกว่าอลูมิเนียมออกไซด์ เนื่องจากไม่ใช่ปัจจัยด้านชนิดเพียงอย่างเดียวที่มีผล แต่ปัจจัยด้านปริมาณการเติมก็มีผลด้วยเช่นกัน ซึ่งจะได้อภิปรายผลต่อไป

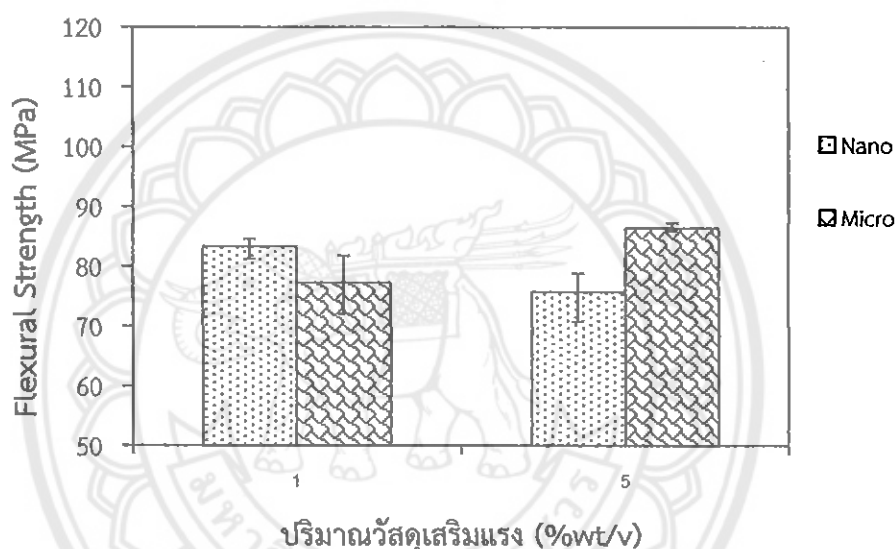
#### 4.1.2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบปริมาณของการเติมวัสดุเสริมแรง

จากรูปที่ 4.1.1 แสดงผลของปริมาณวัสดุเสริมแรงต่อค่าการต้านทานแรงดัดโค้ง พบว่าวัสดุเสริมแรงแต่ละชนิดมีอิทธิพลของปริมาณที่ต่างกัน เมื่อพิจารณาวัสดุเสริมแรงไททาเนียมไดออกไซด์พบว่าเมื่อเติมในปริมาณ 1 %wt/v มีค่าการต้านทานแรงดัดโค้งเฉลี่ยเท่ากับ 75.77 MPa ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญส่งผลให้ฟันเทียมอะคริลิกที่มีการเติมวัสดุเสริมแรงรับแรงได้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับซีฟันเทียมอะคริลิกที่ไม่ได้มีการเติมวัสดุเสริมแรงและเมื่อเติมวัสดุเสริมแรง 2.5 %wt/v จะทำให้ค่าการต้านทานแรงดัดโค้งมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 78.25 MPa แต่เมื่อเพิ่มเป็น 5 %wt/v กลับส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงดัดโค้งลดลง เนื่องจากการเติมวัสดุเสริมแรงนั้น ควรมีความเหมาะสมของสัดส่วนในการเติมจึงจะส่งผลให้วัสดุมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

พิจารณาที่วัสดุเสริมแรงซิลิกอนไดออกไซด์ พบว่าเมื่อเติมวัสดุเสริมแรงในปริมาณการเติม 1 %wt/v และ 5 %wt/v ทำให้ค่าการต้านทานแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่เมื่อเติมวัสดุเสริมแรงในปริมาณ 10 %wt/v จะมีค่าการต้านทานแรงดัดโค้งลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ พิจารณาที่วัสดุเสริมแรงอลูมิเนียมออกไซด์ พบว่าเมื่อเติมในปริมาณ 1 %wt/v มีค่าการต้านทานแรงดัดโค้งเฉลี่ยสูงชันมากเท่ากับ 101.59 MPa แต่เมื่อเติมมากกว่านี้จะทำให้ค่าการต้านทานแรงดัดโค้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการทดลองข้างต้น พบว่าการเติมวัสดุเสริมแรงช่วยเพิ่มสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งได้ด้วยปริมาณการเติมที่เหมาะสม ซึ่งอนุภาคของวัสดุเสริมจะช่วยในเรื่องของการเปลี่ยนเฟสที่เรียกว่า ทรานสฟอร์มเมชันที่เฟนนิ่งดังที่กล่าวไว้ข้างต้น แต่ว่าการเติมวัสดุเสริมแรงในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ค่าการต้านทานแรงดัดโค้งลดลง เนื่องจากปริมาณของอนุภาคที่มากเกินไปนั้น จะก่อให้เกิดรอยต่อระหว่างพื้นผิวที่มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้วัสดุมีความเปราะมากขึ้นทนต่อแรงดัดโค้งได้ไม่ดี

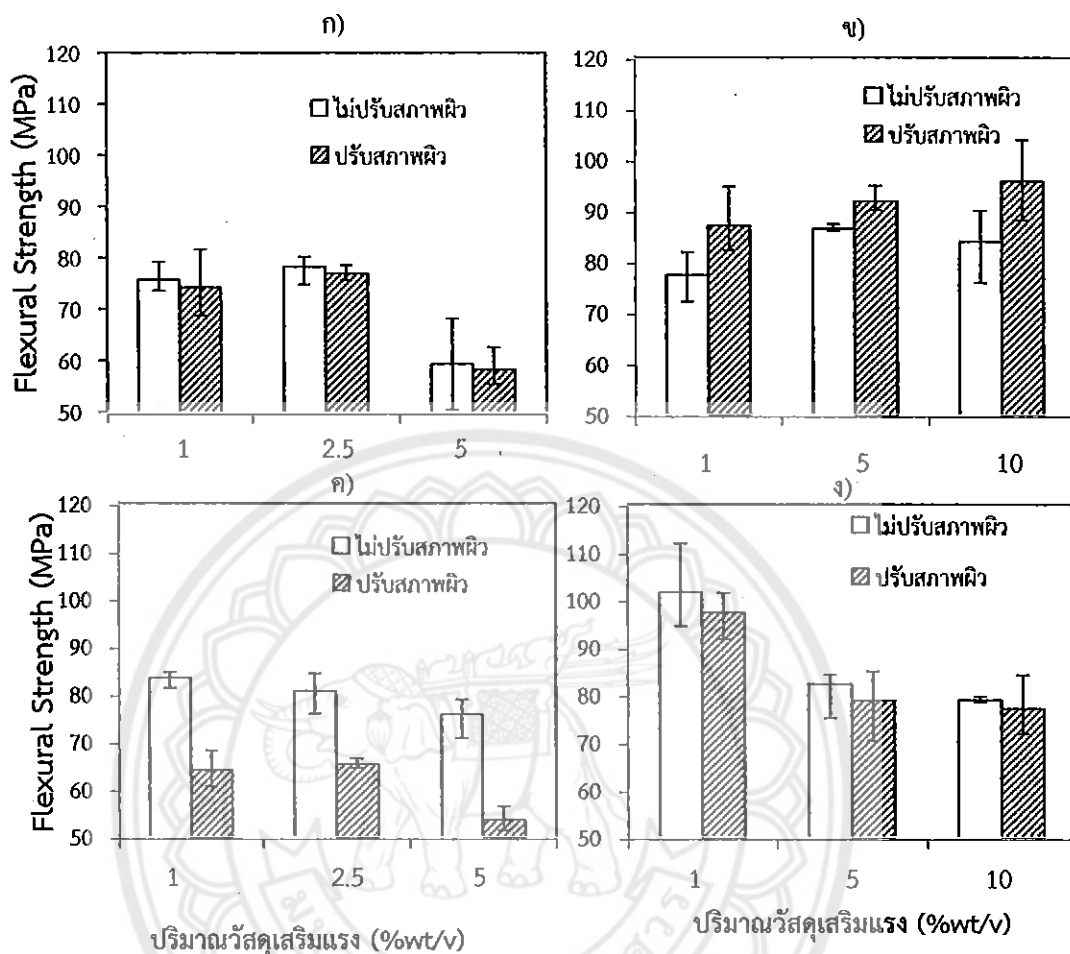
#### 4.1.3 ผลการทดสอบเปรียบเทียบผลของขนาดวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีพียูเทียมอะคริลิก



รูปที่ 4.1.2 แผนภูมิแสดงผลของขนาดอนุภาควัสดุเสริมแรงในวัสดุซีพียูเทียมอะคริลิกต่อสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural Strength)

จากรูป 4.1.2 แสดงผลของขนาดอนุภาควัสดุเสริมแรงซิลิกอนไดออกไซด์ต่อการต้านทานแรงดัดโค้ง พบว่าที่ปริมาณวัสดุเสริมแรง 1 %wt/v ขนาดนาโนเมตรมีค่าการต้านทานแรงดัดโค้งเฉลี่ยมากกว่าขนาดไมโครเมตร คือ 83.35 และ 77.33 MPa ตามลำดับ เนื่องจากขนาดนาโนเมตรมีความหนาแน่นของการจัดเรียงตัวของอนุภาคดีกว่าขนาดไมโครเมตร จึงมีการรับแรงได้ดีกว่าขนาดไมโครเมตร แต่เมื่อพิจารณาที่ปริมาณการเติม 5 %wt/v ขนาดไมโครเมตรมีค่าการต้านทานแรงดัดโค้งดีกว่าขนาดนาโนเมตร เนื่องจากเหตุผลในด้านปริมาณการเติมที่เหมาะสม ซึ่งได้กล่าวไว้ข้างต้น

#### 4.1.4 ผลการทดสอบเปรียบเทียบผลของการปรับสภาพผิวของวัสดุเสริมแรง



รูปที่ 4.1.3 แผนภูมิแสดงผลของการปรับสภาพผิวของวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีพินเทียมอะคริลิกต่อสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural Strength)

ก) วัสดุเสริมแรงไทเทเนียมไดออกไซด์

ข) วัสดุเสริมแรงซิลิกอนไดออกไซด์ขนาด 40 ไมโครเมตร

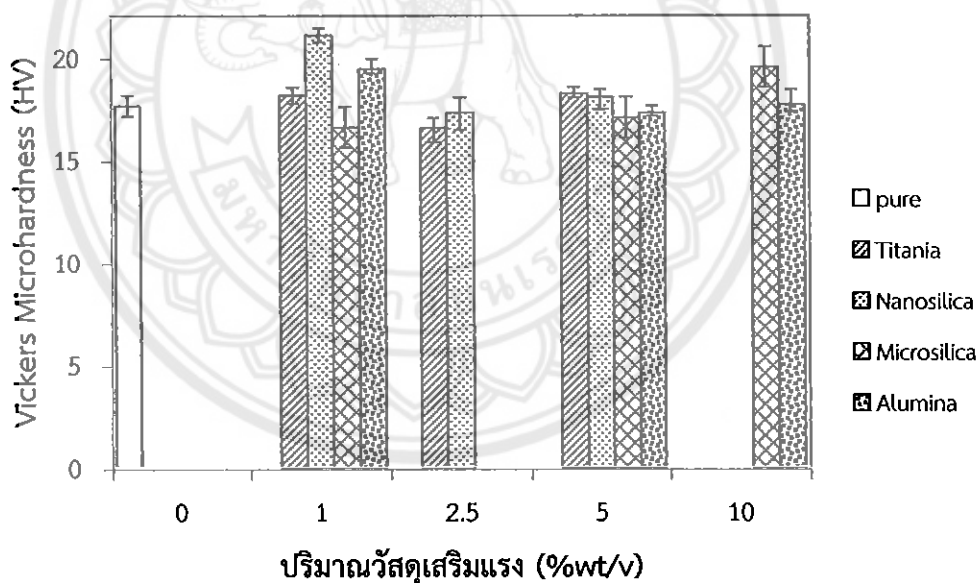
ค) วัสดุเสริมแรงซิลิกอนไดออกไซด์ขนาด 15 นาโนเมตร

ง) วัสดุเสริมแรงอะลูมิเนียมออกไซด์

จากรูปที่ 4.1.3 แสดงผลของการปรับสภาพผิวของวัสดุเสริมแรงด้วยไฮเลนต่อสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง พบว่าเมื่อปรับผิวด้วยไฮเลนกับไททาเนียมไดออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ และซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตรทำให้ค่าการต้านทานแรงดัดโค้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตรเมื่อถูกปรับผิวด้วยไฮเลนทำให้สมบัติการต้านทานการดัดโค้งดีขึ้น ซึ่งขัดกับหลายๆ งานวิจัย R. L. Bowen [23] กับ S. C. Bayne [24] ที่รายงานไว้ว่าเมื่อมีการปรับผิวด้วยไฮเลนจะทำให้อนุภาคซึ่งเข้ากับพอลิเมอร์ได้ไม่ดี ให้เข้ากันได้ด้วยพันธะทางเคมี ซึ่งจะทำให้สมบัติทางกลของวัสดุดีขึ้น แต่จากผลการทดลองในงานนี้ พบว่าสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งด้อยลง อาจเป็นเพราะหมู่ OR ของไฮเลนที่ควรจับกับหมู่ซิลานอลของอนุภาควัสดุเสริมแรงกลับจับกับไฮเลนกันเองทำให้อนุภาควัสดุเสริมแรงเข้ากับพอลิเมอร์ได้ไม่ดีและเกิดข้อบกพร่องในส่วนที่ไฮเลนจับกันเอง การกระจายตัวของอนุภาคจึงกระจายได้แย่งส่งผลให้สมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งด้อยลง

## 4.2 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิววิกเกอร์

### 4.2.1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบชนิดของวัสดุเสริมแรง



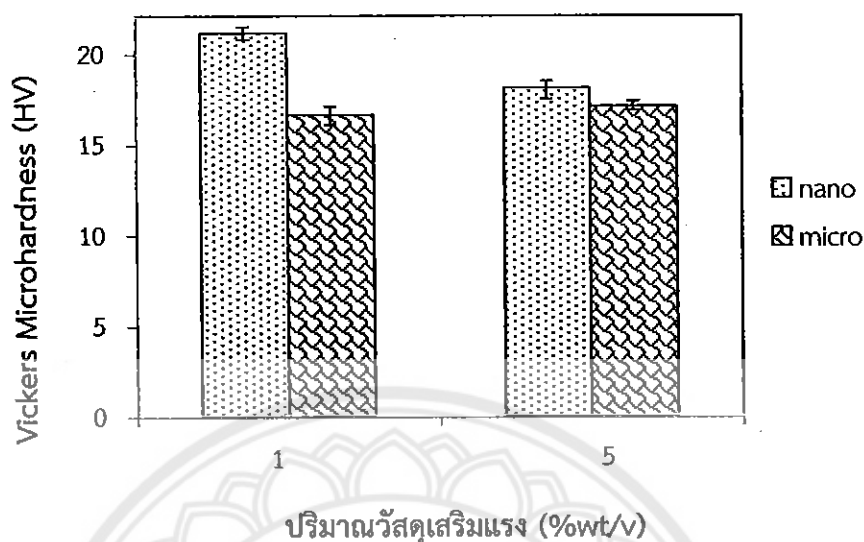
รูปที่ 4.2.1 แผนภูมิแสดงผลของชนิดและปริมาณวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีเมนต์อคริลิกต่อสมบัติความแข็งผิววิกเกอร์ (Vickers Microhardness Test)

จากรูปที่ 4.2.1 แสดงผลของชนิดวัสดุเสริมแรงต่อความแข็งแรงของซีพินเทียมอะคริลิก พบว่าการเติมวัสดุเสริมแรงช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงได้ในบางคอนดิชันเท่านั้น โดยที่ซีพินเทียมอะคริลิกที่ไม่มีการเติมวัสดุเสริมแรงมีค่าความแข็งแรงเฉลี่ยเท่ากับ 17.6 HV เมื่อพิจารณาชนิดของวัสดุเสริมแรงที่ปริมาณการเติม 1 %wt/v พบว่าอะลูมิเนียมออกไซด์มีค่าความแข็งแรงเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 19.43 HV ในขณะที่ไททาเนียมไดออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์มีค่าความแข็งแรงเฉลี่ยเท่ากับ 18.13 และ 16.56 HV ตามลำดับ เนื่องจากความแข็งแรงของอนุภาคแต่ละชนิดมีค่าความแข็งแรงที่ต่างกัน โดยที่อะลูมิเนียมออกไซด์ซึ่งมีค่าสเกลความแข็งแรงของโมสุมมากที่สุดเท่ากับ 9 ของไททาเนียมไดออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 5.5-6.5 และ 6-7 ตามลำดับ [25] ซึ่งอนุภาคที่แข็งแรงกว่าจะสามารถรับแรงได้ดีกว่า นอกจากนี้อาจเป็นผลของมวลโมเลกุลของวัสดุเสริมแรงดังกล่าวด้วย โดยที่อะลูมิเนียมออกไซด์มีค่ามวลโมเลกุลเท่ากับ 101.96 กรัมต่อโมล ไททาเนียมไดออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์เท่ากับ 79.86 กรัมต่อโมล 60.08 กรัมต่อโมล ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ANOVA ( $P < 0.05$ ) พบว่าชนิดของวัสดุเสริมแรงในปริมาณการเติม 5 %wt/v ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรง ให้ผลการทดลองในตาราง ก.2 (ภาคผนวก ก)

#### 4.2.2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบปริมาณของการเติมวัสดุเสริมแรง

จากรูปที่ 4.2.1 แสดงผลของปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงต่อค่าความแข็งแรง จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาที่ไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่าเมื่อเติมวัสดุเสริมแรงเข้าไป ไม่มีผลต่อการปรับปรุงสมบัติความแข็งแรงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) และเมื่อพิจารณาที่ซิลิกอนไดออกไซด์ พบว่าเมื่อเติมในปริมาณ 1 และ 5 %wt/v ค่าความแข็งแรงลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่เมื่อเติม 10 %wt/v ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเท่ากับ 19.5 HV ในขณะที่พิจารณาที่อะลูมิเนียมออกไซด์ พบว่าเมื่อเติมวัสดุเสริมแรงในปริมาณการเติม 1 %wt/v จะให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเป็น 19.43 HV และเมื่อเติมมากกว่า 1 %wt/v ทำให้ค่าความแข็งแรงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการเติมวัสดุเสริมแรงเพื่อเพิ่มค่าความแข็งแรง จำเป็นต้องเติมในปริมาณที่เหมาะสมซึ่งจะช่วยเสริมแรงทำให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเติมในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้มีรูพรุนเกิดขึ้น [7] ซึ่งจะเป็นข้อบกพร่องทำให้สมบัติความแข็งแรงลดลง จากผลการทดลองข้างต้น พบว่าปริมาณที่เหมาะสมของอะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ คือ ปริมาณการเติมที่ 1 %wt/v และ 10 %wt/v หรือมากกว่าตามลำดับ และในส่วนของซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตรมีค่าความแข็งแรงเฉลี่ยสูงสุดที่ปริมาณการเติม 1 %wt/v และค่าความแข็งแรงจะลดลงเมื่อเติมมากกว่า 1 %wt/v เนื่องจากอนุภาคขนาดนาโนเมตรมีสมบัติที่ง่ายต่อการรวมตัวกัน ซึ่งจะเป็นจุดบกพร่องทำให้สมบัติความแข็งแรงลดลง

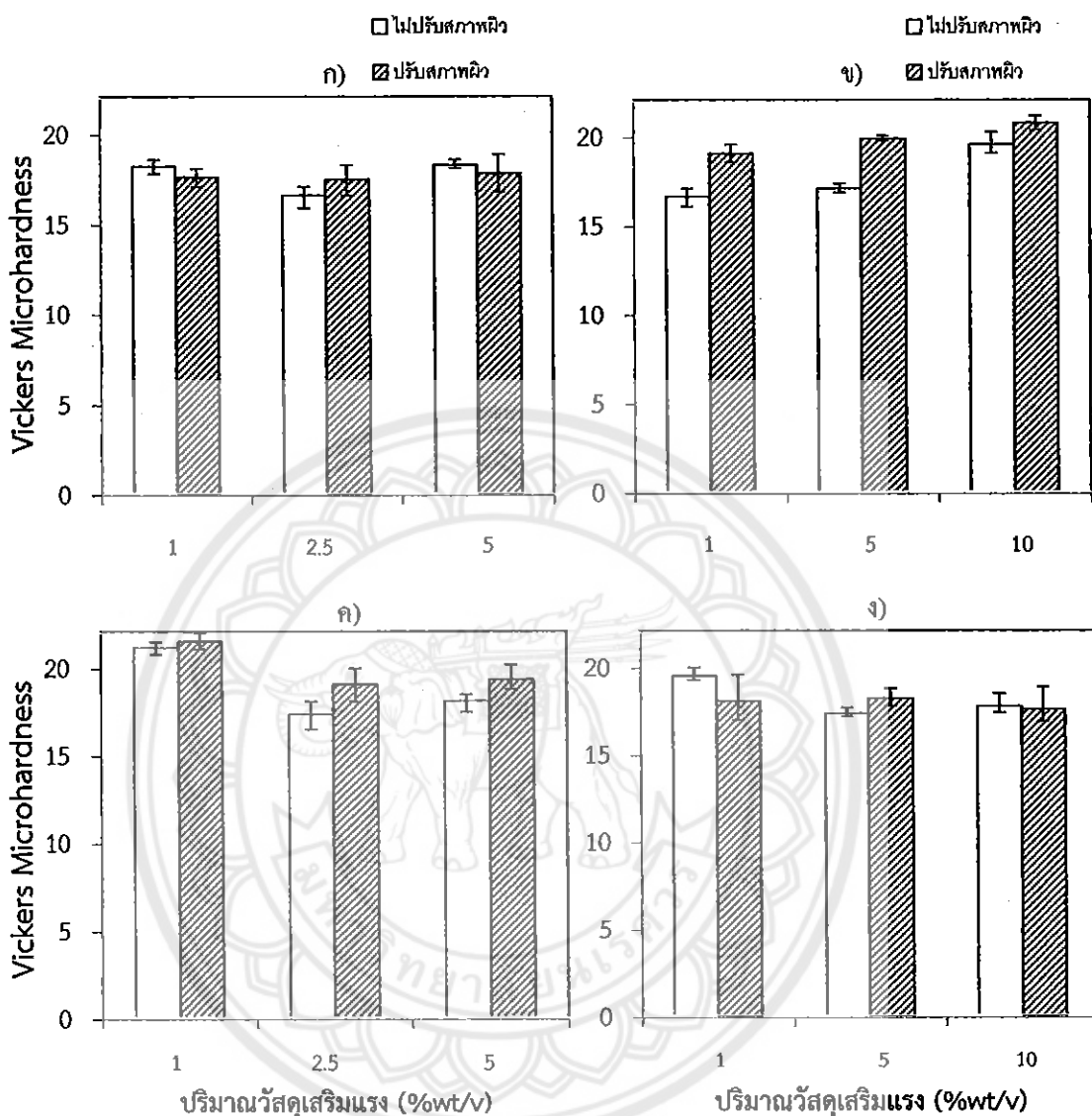
#### 4.2.3 ผลการทดสอบเปรียบเทียบผลของขนาดวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีพินเทียมอะคริลิก



รูปที่ 4.2.2 แผนภูมิแสดงผลของขนาดวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีพินเทียมอะคริลิกต่อสมบัติความแข็งผิววิกเกอร์ (Vickers Microhardness Test)

จากรูปที่ 4.2.2 แสดงผลของขนาดอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ต่อค่าความแข็งผิวทั้งปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงที่ 1 และ 5 %wt/v อนุภาคขนาดนาโนเมตรให้ค่าความแข็งผิวมากกว่าขนาดไมโครเมตร เนื่องจากขนาดนาโนเมตรมีความหนาแน่นในการจัดเรียงตัว (Packing Density) มากกว่าขนาดไมโครเมตร [11] จึงเป็นสาเหตุทำให้ขนาดนาโนเมตรให้ค่าความแข็งที่มากกว่าขนาดไมโครเมตร

#### 4.2.4 ผลการทดสอบเปรียบเทียบผลของการปรับสภาพผิวของวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟันเทียมอะคริลิก



รูปที่ 4.2.3 แผนภูมิแสดงผลของการปรับสภาพผิวของวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟันเทียมอะคริลิกต่อสมบัติความแข็งผิววิกเกอร์ (Vickers Microhardness Test)

ก) วัสดุเสริมแรงไทเทเนียมไดออกไซด์

ข) วัสดุเสริมแรงซิลิกอนไดออกไซด์ขนาด 40 ไมโครเมตร

ค) วัสดุเสริมแรงซิลิกอนไดออกไซด์ขนาด 15 นาโนเมตร

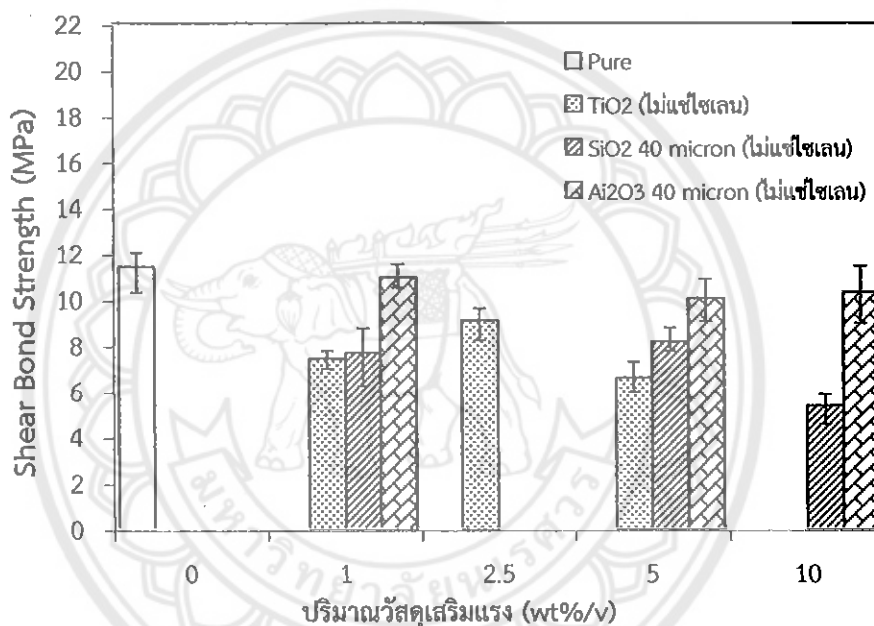
ง) วัสดุเสริมแรงอะลูมิเนียมออกไซด์



จากรูปที่ 4.2.3 แสดงผลของการปรับสภาพผิวของวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟีนเทียมอะคริลิก จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อปรับสภาพผิวของวัสดุเสริมแรงไททาเนียมไดออกไซด์และอลูมิเนียมออกไซด์มีการปรับปรุงสมบัติความแข็งแรงอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่ในส่วนของซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตร และขนาดนาโนเมตรการปรับผิวด้วยไซเลนมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยงานวิจัย R. L. Bowen [23] กับ S. C. Bayne [24] ไซเลนดังกล่าวจะช่วยเพิ่มการเข้ากันได้ระหว่างอนุภาควัสดุเสริมแรงกับพอลิเมอร์

### 4.3 ผลการทดสอบสมบัติแรงยึดเหนี่ยว

#### 4.3.1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบชนิดของวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟีนเทียมอะคริลิก



รูปที่ 4.3.1 แผนภูมิแสดงผลของชนิดและปริมาณวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟีนเทียมอะคริลิก ต่อสมบัติแรงยึดเหนี่ยว (Shear Bond Strength)

จากรูปที่ 4.3.1 แสดงผลของชนิดวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟีนเทียมอะคริลิกต่อสมบัติแรงยึดเหนี่ยว พบว่าเมื่อมีการเติมวัสดุเสริมแรงทั้ง 3 ชนิดทำให้ค่าสมบัติแรงยึดติดกับฐานพีนเทียมเฉลี่ยต่ำกว่าเรซินอะคริลิกที่ไม่มีการเสริมแรงอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่อพิจารณาที่ปริมาณวัสดุเสริมแรง 1 และ 5 %wt/v พบว่าอะลูมิเนียมออกไซด์มีค่าแรงยึดเหนี่ยวติดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 10.93 MPa และ 10.02 MPa ตามลำดับ ในขณะที่ไททาเนียมไดออกไซด์มีค่าแรงยึดเหนี่ยวเท่ากับ 7.39 MPa และ 6.56 MPa ตามลำดับ และซิลิกอนไดออกไซด์มีค่าแรงยึดเหนี่ยวติดเฉลี่ยน้อยสุดเท่ากับ 7.64 MPa และ 8.13 MPa ตามลำดับ เนื่องจากอลูมิเนียมไดออกไซด์มีการกระจายตัวของอนุภาคที่ไม่ดี ซึ่งอนุภาคดังกล่าวจะเป็นตัวขัดขวางการยึดติด จึงทำให้บริเวณผิวสัมผัสระหว่างฐานพีนเทียมกับซีฟีนเทียมอาจมีอนุภาคอยู่น้อย จึงทำให้ซีฟีนเทียมกับฐานพีนเทียมมีค่าแรงยึดเหนี่ยวติดที่สูง ในทางตรงกันข้าม

ซิลิกอนไดออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์มีการกระจายตัวของอนุภาคที่ดีกว่าอะลูมิเนียมออกไซด์ จึงมีค่าแรงยึดติดที่ต่ำกว่า ให้ผลการทดลองในตาราง ก.3 (ภาคผนวก ก)

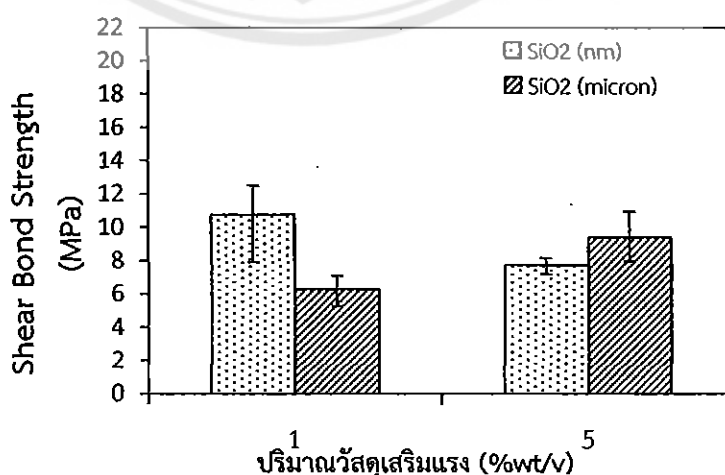
#### 4.3.2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟันทึ่มอะคริลิก

จากรูปที่ 4.3.1 แสดงผลปริมาณวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟันทึ่มอะคริลิกต่อสมบัติแรงยึดเหนี่ยว เมื่อพิจารณาที่ไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่าเมื่อมีการเติมวัสดุเสริมแรงในปริมาณ 1 2.5 และ 5 %wt/v มีค่าแรงยึดติดเฉลี่ยเท่ากับ 7.39 9.06 และ 6.56 MPa ตามลำดับ จะเห็นว่าที่ปริมาณ 2.5 %wt/v มีค่าแรงยึดติดเฉลี่ยมากที่สุด เนื่องจากอนุภาคที่ผิวจะทำหน้าที่ช่วยเพิ่มแรงเสียดทาน จึงทำให้ที่ 2.5 %wt/v มีค่าแรงยึดติดเฉลี่ยมากกว่า 1 %wt/v แต่เมื่อเติมถึง 5 %wt/v อนุภาคอาจมาเกาะกันไปจนไปขัดขวางการยึดติดระหว่างซีฟันทึ่มกับฐานฟันเทียมและทำให้เนื้อพอลิเมอร์เหลือน้อย จึงส่งผลให้แรงยึดติดด้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ

พิจารณาที่ซิลิกอนไดออกไซด์ พบว่า เมื่อมีการเติมที่ 1 5 และ 10 %wt/v มีค่าแรงยึดติดเฉลี่ยเท่ากับ 7.64 8.13 และ 5.33 MPa ตามลำดับ จะเห็นว่าที่ปริมาณ 5 %wt/v มีค่าแรงยึดติดเฉลี่ยมากที่สุด เนื่องจากอนุภาคที่ผิวจะทำหน้าที่ช่วยเพิ่มแรงเสียดทาน จึงทำให้ที่ 5 %wt/v มีค่าแรงยึดติดเฉลี่ยมากกว่า 1 %wt/v แต่เมื่อเติมถึง 10 %wt/v อนุภาคของวัสดุเสริมแรงอาจมาจนทำให้เข้าไปแทนที่ของเนื้อพอลิเมอร์ทำให้เนื้อพอลิเมอร์น้อยลง จึงส่งผลให้แรงยึดติดด้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาที่อะลูมิเนียมออกไซด์พบว่า เมื่อมีการเติมที่ 1 5 และ 10 %wt/v มีค่าแรงยึดติดเฉลี่ยเท่ากับ 10.93 10.02 และ 10.29 MPa ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุเสริมแรงจะทำให้ค่าแรงยึดติดลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ

#### 4.3.3 ผลการทดสอบเปรียบเทียบผลของขนาดวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟันทึ่มอะคริลิก



รูปที่ 4.3.2 แผนภูมิแสดงผลของขนาดวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟันทึ่มอะคริลิกต่อสมบัติแรงยึดเหนี่ยว (Shear Bond Strength)

จากรูปที่ 4.3.2 แสดงผลของขนาดวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟั้นเทียมอะคริลิกต่อสมบัติแรงยึดเหนี่ยวติด โดยเปรียบเทียบที่ซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดอนุภาค 15 นาโนเมตร กับ 40 ไมโครเมตร เมื่อพิจารณาที่ปริมาณการเติม 1 %wt/v จะเห็นว่าที่ขนาดนาโนเมตรมีค่าสมบัติแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 9.7 MPa ในขณะที่ซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตรมีค่าแรงยึดติดเฉลี่ยเท่ากับ 7.64 MPa ซึ่งน้อยกว่าขนาดนาโนเมตรอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากอนุภาคขนาดนาโนเมตรมีการกระจายตัวของอนุภาคที่มากพอในการช่วยเพิ่มแรงเสียดทานระหว่างวัสดุซีฟั้นเทียมกับฐานพื้นเทียม ในขณะที่อนุภาคไมโครเมตรมีการกระจายตัวที่น้อยกว่าขนาดนาโนเมตร ซึ่งอนุภาคดังกล่าวในปริมาณ 1 %wt/v ทำหน้าที่เป็นตัวขัดขวางการยึดติดระหว่างซีฟั้นเทียมกับฐานพื้นเทียม เมื่อพิจารณาที่ปริมาณ 5 %wt/v จะเห็นว่าที่ขนาดนาโนเมตรมีสมบัติแรงยึดเหนี่ยวต่ำกว่าอนุภาคไมโครเมตรอย่างมีนัยสำคัญ คือเท่ากับ 3.77 และ 5.33 MPa ตามลำดับ เนื่องมาจากขนาดนาโนเมตรที่ปริมาณการเติม 5 %wt/v มีปริมาณอนุภาคมากเกินไป ทำให้เนื้อพอลิเมอร์น้อยลงส่งผลให้แรงยึดติดเหนื่อนน้อยลงเช่นกัน ในขณะที่ขนาดไมโครเมตรที่ปริมาณการเติม 5 %wt/v มีปริมาณอนุภาคที่มากพอในการช่วยเพิ่มแรงเสียดทานระหว่างวัสดุซีฟั้นเทียมกับฐานพื้นเทียมดังที่กล่าวไว้ข้างต้น



## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### 5.1.1 ศึกษาผลของชนิดวัสดุเสริมแรงต่อความแข็งแรง ค่าการต้านทานแรงดัดโค้ง และแรงยึดติดเดือน

จากผลการทดลองชนิดของวัสดุเสริมแรงประกอบด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์ ไททานเนียมไดออกไซด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์ พบว่าอะลูมิเนียมออกไซด์ให้ค่าความแข็งแรง ค่าการต้านทานแรงดัดโค้ง และแรงยึดติดเดือนเฉลี่ยสูงสุด คือ 19.43 HV 101.59 MPa และ 10.93 MPa ตามลำดับ

##### 5.1.2 ศึกษาผลของปริมาณวัสดุเสริมแรงต่อความแข็งแรง การต้านทานแรงดัดโค้ง และแรงยึดติดเดือน

จากผลการทดลองวัสดุเสริมแรงทั้งหมด 3 ชนิด ประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ ไททานเนียมไดออกไซด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์รวมทั้งซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตร จะมีปริมาณการเติมที่เหมาะสมกับสมบัติต่างๆ ดังนี้ ซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตรให้ค่าความแข็งแรง ค่าการต้านทานแรงดัดโค้ง และแรงยึดติดเดือนเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 10 %wt/v 5 %wt/v และ 1 %wt/v ตามลำดับ ไททานเนียมไดออกไซด์ให้ค่าการต้านทานแรงดัดโค้ง และแรงยึดติดเดือนเฉลี่ยสูงสุดที่ปริมาณ 2.5 %wt/v ในขณะที่ปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงไม่มีผลกับค่าความแข็งแรง อะลูมิเนียมออกไซด์ให้ค่าความแข็งแรง ค่าการต้านทานแรงดัดโค้ง และแรงยึดติดเดือนเฉลี่ยสูงสุดที่ปริมาณ 1 %wt/v และซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตรให้ค่าความแข็งแรง ค่าการต้านทานแรงดัดโค้ง และแรงยึดติดเดือนเฉลี่ยสูงสุดที่ 1 %wt/v

##### 5.1.3 ศึกษาผลของขนาดอนุภาควัสดุเสริมแรงต่อความแข็งแรง การต้านทานแรงดัดโค้ง และแรงยึดติดเดือน

จากการศึกษาขนาดของอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์พบว่าขนาดนาโนเมตรให้ค่าความแข็งแรงมากกว่าขนาดไมโครเมตร ในขณะที่ค่าการต้านทานแรงดัดโค้งและแรงยึดติดเดือนที่ขนาดนาโนเมตรจะให้ค่าสูงกว่าที่ปริมาณการเติม 1 %wt/v ส่วนขนาดไมโครเมตรจะให้ค่าสูงกว่าขนาดนาโนเมตรที่ปริมาณการเติม 5 %wt/v

#### 5.1.4 ศึกษาผลของการปรับผิววัสดุเสริมแรงด้วยไซเลนต่อความแข็ง การต้านทานแรงดัดโค้ง และแรงยึดติดเดือน

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลทั้ง 3 การทดสอบ พบว่าการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนจะช่วยให้ซิลิกอนไดออกไซด์ทั้ง 2 ขนาด มีสมบัติความแข็งดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่วัสดุเสริมแรงชนิด โททานเนียมไดออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ เมื่อมีการปรับสภาพผิวด้วยไซเลนแล้วจะไม่มีผลต่อสมบัติความแข็ง

ในส่วนของการต้านทานแรงดัดโค้งการปรับสภาพผิวซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตร โททานเนียมไดออกไซด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์ทำให้สมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งลดลง แต่ในทางตรงกันข้ามซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตรกลับมีสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้น

ในขณะที่การปรับสภาพผิวซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตร ซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตร และโททานเนียมไดออกไซด์จะช่วยเพิ่มสมบัติแรงยึดเดือนติดได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่ในกรณีของอะลูมิเนียมออกไซด์การปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนไม่มีผลกับสมบัติแรงยึดติดเดือน

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากโครงการนี้มีความพยายามที่จะปรับสมบัติด้านความแข็งผิว การต้านทานแรงดัดโค้ง และแรงยึดติดเดือน โดยใช้วัสดุเสริมแรง 3 ชนิด คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ โททานเนียมไดออกไซด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์ซึ่งเป็นขนาดไมโครเมตรและยังศึกษาขนาดของอนุภาคโดยใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตรเปรียบเทียบกับขนาดไมโครเมตร โดยจะศึกษาปริมาณการเติมที่เหมาะสมด้วย นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเรื่องการปรับผิววัสดุเสริมแรงด้วยไซเลน โดยที่จะช่วยเพิ่มการกระจายตัวของอนุภาคในเนื้อพอลิเมอร์ทำให้สมบัติทางกลดีขึ้น ซึ่งปริมาณไซเลนที่ใช้เป็นปริมาณที่ได้จากการคำนวณ จากผลการทดลอง พบว่าบางชนิดมีสมบัติทางกลลดลง ซึ่งปริมาณไซเลนดังกล่าวอาจจะน้อยไปหรือมากไป ดังนั้นควรมีการศึกษาปริมาณของไซเลนด้วย ตลอดจนควรมีการวิเคราะห์รูปร่างของอนุภาคซึ่งก็มีผลต่อการเข้ากันได้เช่นกัน

## เอกสารอ้างอิง

- [1] A.E. Stoia, C. Sinescu, M. Pielmusi, M. Enescu, A. Tudor and R. O. Rominu. (2011). Tensile Testing, A Method Used to Demonstrate The Effect of Organic Solvents on Acrylic Teeth Denture Base Resin Bond Strength. **Internation Journal of Biology and Biomedical Engineering.**, Vol. 5, pp. 1.
- [2] X. Miao, M. Zhu, Y. Li, Q. Zhang and H. Wang. (2012). Synthesis of Dental Resins Using Diatomite and Nano-Sized SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>. **Materials International.**, Vol. 22, No. 2, pp. 94-99.
- [3] อรุษา สรวารี. (2546). สารเติมแต่งพอลิเมอร์. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- [4] F. Kawano, T. Ohguri, T. Ichikawa, I. Mizuno and A. Hasegawa. (2002). Shock Absorbability and Hardness of Commercially Available Denture Teeth. **The Internation Journal of Prosthodontics.**, pp. 243-247.
- [5] P. Suwannaroop, P. Chaiiarenont, N. Kootathape, H. Takahashi and M. Arksomnukit. (2011). In Vitro Wear Resistance, Hardness and Elastic Modulus of Artificial Denture Teeth. **Dental Material Journal.**, Vol. 30, No. 4, pp. 461-468.
- [6] S. A. Shahdad, J. F. McCabe, S. Bull, S. Rusby and R. W. Wassell. (2007). Hardness Measured With Traditional Vickers and Martens Hardness Methods. **Dental Material.**, pp. 1079-1085.
- [7] M. Vojdani, R. Bagheri and A. A. R. Khaledi. (2012) Effect of Aluminium Oxide Addition on The Flexural Strength, Surface Hardness, and Roughness of Heat-polymerized Acrylic Resin. **Journal of Dental Sciences.**, pp. 238-244.
- [8] F. Unalan and I. Dikbas. (2007). Effect of Mica and Glass on Surface Hardness of Acrylic Resin Teeth Material. **Dental Material Journal.**, Vol. 26, No. 4, pp. 545-548.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [9] M. K. Saritha. (2012). An in Vitro Study to Investigate The Flexural Strength of Conventional Heat Polymerised Denture Base Resin With Addition of Different Percentage of Aluminium Oxide Powder. *Asian Journal of Medical and Clinical Sciences*.
- [10] S. P. Samuel, S. Li, I. Mukherjee, Y. Guo, A. C. Patel, G. Baran and Y. Wei. (2009). Mechanical Properties of Experimental Dental Composites Containing a Combination of Mesoporous and Nonporous Spherical Silica as Fillers. *Dental Materials.*, Vol. 25, pp. 296–301.
- [11] H.Wang, Z. Meifang, Y. Li, Q. Zhang and H. Wang. (2011). Mechanical Properties of Dental Resin Composites by Co-filling Diatomite and Nanosized Silica Particles. *Materials Science and Engineering.*, Vol. 31, pp. 600–605.
- [12] C. Caeg, K. F. Leinfelder, W. R. Lacefield and W. Bell. (1990). Effectiveness of a Method Used In Bonding Resins to Metal. *J Prosthet Dent.*, Vol. 64, pp. 37-41.
- [13] K. B. May, J. Fox, M. E. Razzoog and B. R. Lang. (1995). Silane to Enhance The Bond between Polymethyl Methacrylate and Titanium. *J Prosthet Dent.*, Vol. 73, pp. 428-431.
- [14] ณัฏฐร ชูมา และภัทรพร ชุตินทร. (2555). ศึกษาสมบัติเชิงกลของฐานฟันเทียมจากพอลิเมทิลเมทาคริลิตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว. *มหาลัยนเรศวร, พิษณุโลก*.
- [15] เจน รัตน์ไพศาล. (2533). *ทันตวัสดุศาสตร์. (พิมพ์ครั้งที่สอง)*, กรุงเทพฯ: บริษัทสำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด. กรุงเทพฯ, หน้า 385-387.
- [16] PolymethylMethacrylate. Material Safety Data Sheet. Bangs Laboratories, Inc. 9025 Technology Drive. Fishers. Indiana 46038.
- [17] เขาวนั ศรีเพชรดี. (2010). การศึกษาการใช้ซิลิกาเจลขนาดนาโนชนิดมีรูพรุนที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบเพื่อเสริมแรงในยางธรรมชาติ โดยกระบวนการโซลเจล. *มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม*.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [18] ศูนย์ข้อมูลวัสดุอันตรายและเคมีภัณฑ์. (2544). ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon Dioxide). สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2556, จาก <http://WWW.pcd.go.th>.
- [19] อนุรัตน์ ภูวานคำ. (2005). การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบ อลูมินา-มูลโลหะ-เซอร์โคเนีย สำหรับงานทางวิศวกรรม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- [20] ชนิตา ศุภอมรกุล. (2008). ความต้านทานต่อการสึกของซีฟีนปลอมอะคริลิกเรซินชนิดต่างๆ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- [21] J. F. McCabe. Applied Dental Materials 9 Edition. Blackwell ISBN-13: 978- 1-4051-3961-8.
- [22] บุญเลิศ กุ้เกียรติตระกูล. (2543). ความแข็งแรงพันธะเดือนของพอร์ซเลนที่มีลูไลท์ปริมาณสูงซึ่งยึดติดกับเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน หรืออะลูมินัสพอร์ซเลน ด้วยเรซินซีเมนต์ภายใต้การปรับสภาพผิวต่างกัน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- [23] R.L.Bowen. (1963). Properties of a Silica-reinforced Polymer for Denta Restoration. J Am Dent Assoc., Vol. 66, pp. 57-64.
- [24] S. C. Bayne, M. S., Ph.D and F.A.D.M. (2005). Dental Biomaterials: Where are we and Where are we going. J Dent Educ., Vol. 69, pp. 571-85.
- [25] D. Tabor. (2000). The Hardness of Metals. Oxford University Press.
- [26] พีรพงษ์ จันทรพุ่ม. (2551). เซอร์โคเนียเซรามิก: เซรามิกทางเลือกสำหรับฟันเทียมบางส่วน ดัดแน่นในฟันหลัง. ว.ทันต. ปีที่ 58 ฉบับที่ 1 ม.ค.-มี.ค.
- [27] กานต์ ลีพัฒน์ยิ่งยง. (2552). สถิติวิศวกรรม (Engineering Statistics). ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.





ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบสมบัติทางกลของเรซินอะคริลิก

มหาวิทยาลัยพระนคร

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งของเรซินอะคริลิก

| Flexural Strength (MPa) |                           |           |             |                |       |       |       |          |               |
|-------------------------|---------------------------|-----------|-------------|----------------|-------|-------|-------|----------|---------------|
| ชนิดวัสดุเสริมแรง       | ร้อยละวัสดุเสริมแรง %wt/v | ชั้นทดสอบ | ปรับสภาพผิว | ไม่ปรับสภาพผิว | L(mm) | h(mm) | B(mm) | Fmax (N) | $F=3FL/2Bh^2$ |
| SiO <sub>2</sub> 15 nm  | 1                         | 1         | /           |                | 50.00 | 3.70  | 9.62  | 111.43   | 63.46         |
|                         |                           | 2         | /           |                | 50.00 | 3.66  | 9.40  | 101.73   | 60.59         |
|                         |                           | 3         | /           |                | 50.00 | 3.56  | 9.13  | 105.08   | 68.11         |
|                         |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                         | 2.5                       | 1         | /           |                | 50.00 | 3.57  | 9.23  | 104.06   | 66.46         |
|                         |                           | 2         | /           |                | 50.00 | 3.23  | 9.47  | 84.89    | 64.46         |
|                         |                           | 3         | /           |                | 50.00 | 3.30  | 9.57  | 90.36    | 65.05         |
|                         |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                         | 5                         | 1         | /           |                | 50.00 | 3.60  | 9.42  | 91.83    | 56.41         |
|                         |                           | 2         | /           |                | 50.00 | 3.60  | 9.37  | 85.89    | 53.04         |
|                         |                           | 3         | /           |                | 50.00 | 3.80  | 9.83  | 97.14    | 51.33         |
|                         |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                         | 1                         | 1         |             | /              | 50.00 | 3.38  | 10.13 | 129.99   | 84.24         |
|                         |                           | 2         |             | /              | 50.00 | 3.65  | 9.95  | 143.59   | 81.24         |
|                         |                           | 3         |             | /              | 50.00 | 3.57  | 9.26  | 133.12   | 84.60         |
|                         |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                         | 2.5                       | 1         |             | /              | 50.00 | 3.63  | 9.27  | 123.60   | 75.89         |
|                         |                           | 2         |             | /              | 50.00 | 3.67  | 9.77  | 147.93   | 84.31         |
|                         |                           | 3         |             | /              | 50.00 | 3.47  | 9.47  | 123.74   | 81.53         |
|                         |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                         | 5                         | 1         |             | /              | 50.00 | 3.35  | 9.53  | 112.40   | 78.82         |
|                         |                           | 2         |             | /              | 50.00 | 3.42  | 10.13 | 122.75   | 77.70         |
|                         |                           | 3         |             | /              | 50.00 | 3.33  | 10.06 | 105.24   | 70.75         |
|                         |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ผลการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งของเรซินอะคริลิก

| Flexural Strength (MPa)     |                           |           |             |                |       |       |       |          |               |
|-----------------------------|---------------------------|-----------|-------------|----------------|-------|-------|-------|----------|---------------|
| ชนิดวัสดุเสริมแรง           | ร้อยละวัสดุเสริมแรง %wt/v | ชั้นทดสอบ | ปรับสภาพผิว | ไม่ปรับสภาพผิว | L(mm) | h(mm) | B(mm) | Fmax (N) | $F=3FL/2Bh^2$ |
| SiO <sub>2</sub> 40 $\mu$ m | 1                         | 1         | /           |                | 50.00 | 3.47  | 10.34 | 157.08   | 94.62         |
|                             |                           | 2         | /           |                | 50.00 | 3.44  | 10.06 | 130.40   | 82.19         |
|                             |                           | 3         | /           |                | 50.00 | 3.45  | 10.28 | 137.60   | 82.19         |
|                             |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                             | 5                         | 1         | /           |                | 50.00 | 3.97  | 9.37  | 186.73   | 94.83         |
|                             |                           | 2         | /           |                | 50.00 | 3.87  | 9.37  | 169.24   | 90.45         |
|                             |                           | 3         | /           |                | 50.00 | 3.73  | 9.37  | 156.51   | 90.04         |
|                             |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                             | 10                        | 1         | /           |                | 50.00 | 3.47  | 9.57  | 146.03   | 95.24         |
|                             |                           | 2         | /           |                | 50.00 | 3.50  | 9.47  | 136.27   | 88.13         |
|                             |                           | 3         | /           |                | 50.00 | 3.13  | 9.73  | 131.97   | 103.83        |
|                             |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                             | 1                         | 1         |             | /              | 50.00 | 3.54  | 10.08 | 137.73   | 81.78         |
|                             |                           | 2         |             | /              | 50.00 | 3.71  | 9.87  | 141.30   | 78.17         |
|                             |                           | 3         |             | /              | 50.00 | 3.63  | 10.14 | 128.37   | 72.06         |
|                             |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                             | 5                         | 1         |             | /              | 50.00 | 3.54  | 10.24 | 149.39   | 87.34         |
|                             |                           | 2         |             | /              | 50.00 | 3.71  | 9.84  | 154.90   | 85.99         |
|                             |                           | 3         |             | /              | 50.00 | 3.73  | 9.68  | 154.37   | 85.97         |
|                             |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                             | 10                        | 1         |             | /              | 50.00 | 3.37  | 9.50  | 108.86   | 75.81         |
|                             |                           | 2         |             | /              | 50.00 | 3.40  | 9.47  | 125.04   | 85.69         |
|                             |                           | 3         |             | /              | 50.00 | 3.60  | 9.23  | 143.46   | 89.94         |
|                             |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ผลการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งของเรซินอะคริลิก

| Flexural Strength (MPa)        |                           |           |             |                |       |       |       |          |               |
|--------------------------------|---------------------------|-----------|-------------|----------------|-------|-------|-------|----------|---------------|
| ชนิดวัสดุเสริมแรง              | ร้อยละวัสดุเสริมแรง %wt/v | ชั้นทดสอบ | ปรับสภาพผิว | ไม่ปรับสภาพผิว | L(mm) | h(mm) | B(mm) | Fmax (N) | $F=3FL/2Bh^2$ |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1                         | 1         | /           |                | 50.00 | 3.30  | 9.83  | 130.69   | 91.56         |
|                                |                           | 2         | /           |                | 50.00 | 3.57  | 9.33  | 156.82   | 99.08         |
|                                |                           | 3         | /           |                | 50.00 | 3.30  | 9.48  | 139.56   | 101.36        |
|                                |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                                | 5                         | 1         | /           |                | 50.00 | 3.85  | 9.47  | 152.06   | 81.24         |
|                                |                           | 2         | /           |                | 50.00 | 3.67  | 9.53  | 145.20   | 84.84         |
|                                |                           | 3         | /           |                | 50.00 | 3.60  | 9.47  | 115.12   | 70.35         |
|                                |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                                | 10                        | 1         | /           |                | 50.00 | 3.43  | 9.63  | 127.10   | 84.14         |
|                                |                           | 2         | /           |                | 50.00 | 3.47  | 9.42  | 108.19   | 71.68         |
|                                |                           | 3         | /           |                | 50.00 | 3.80  | 10.00 | 145.45   | 75.55         |
|                                |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                                | 1                         | 1         |             | /              | 50.00 | 3.63  | 9.37  | 162.40   | 98.65         |
|                                |                           | 2         |             | /              | 50.00 | 3.63  | 9.63  | 159.63   | 94.35         |
|                                |                           | 3         |             | /              | 50.00 | 3.58  | 8.98  | 171.52   | 111.77        |
|                                |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                                | 5                         | 1         |             | /              | 50.00 | 3.37  | 9.20  | 121.82   | 87.44         |
|                                |                           | 2         |             | /              | 50.00 | 3.30  | 9.30  | 101.36   | 75.06         |
|                                |                           | 3         |             | /              | 50.00 | 3.40  | 9.70  | 125.86   | 84.18         |
|                                |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                                | 10                        | 1         |             | /              | 50.00 | 3.40  | 9.57  | 117.36   | 79.58         |
|                                |                           | 2         |             | /              | 50.00 | 3.47  | 9.50  | 119.81   | 78.69         |
|                                |                           | 3         |             | /              | 50.00 | 3.93  | 8.88  | 143.41   | 78.39         |
|                                |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ผลการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งของเรซินอะคริลิก

| Flexural Strength (MPa) |                           |           |             |                |       |       |       |          |               |
|-------------------------|---------------------------|-----------|-------------|----------------|-------|-------|-------|----------|---------------|
| ชนิดวัสดุเสริมแรง       | ร้อยละวัสดุเสริมแรง %wt/v | ชิ้นทดสอบ | ปรับสภาพผิว | ไม่ปรับสภาพผิว | L(mm) | h(mm) | B(mm) | Fmax (N) | $F=3FL/2Bh^2$ |
| TiO <sub>2</sub>        | 1                         | 1         | /           |                | 50.00 | 4.03  | 9.53  | 168.40   | 81.60         |
|                         |                           | 2         | /           |                | 50.00 | 3.87  | 9.57  | 138.32   | 72.38         |
|                         |                           | 3         | /           |                | 50.00 | 3.77  | 9.53  | 124.18   | 68.76         |
|                         |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                         | 2.5                       | 1         | /           |                | 50.00 | 3.47  | 9.43  | 116.10   | 76.68         |
|                         |                           | 2         | /           |                | 50.00 | 3.43  | 9.33  | 114.92   | 78.52         |
|                         |                           | 3         | /           |                | 50.00 | 3.57  | 9.53  | 122.45   | 75.61         |
|                         |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                         | 5                         | 1         | /           |                | 50.00 | 3.76  | 8.76  | 103.30   | 62.56         |
|                         |                           | 2         | /           |                | 50.00 | 3.83  | 9.40  | 103.97   | 56.55         |
|                         |                           | 3         | /           |                | 50.00 | 3.97  | 9.30  | 108.15   | 55.34         |
|                         |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                         | 1                         | 1         |             | /              | 50.00 | 3.48  | 9.47  | 121.04   | 79.16         |
|                         |                           | 2         |             | /              | 50.00 | 3.57  | 9.70  | 122.86   | 74.54         |
|                         |                           | 3         |             | /              | 50.00 | 3.53  | 9.27  | 113.38   | 73.62         |
|                         |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                         | 2.5                       | 1         |             | /              | 50.00 | 3.61  | 9.42  | 130.92   | 80.14         |
|                         |                           | 2         |             | /              | 50.00 | 3.50  | 9.00  | 110.50   | 75.04         |
|                         |                           | 3         |             | /              | 50.00 | 3.67  | 9.40  | 134.32   | 79.57         |
|                         |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |
|                         | 5                         | 1         |             | /              | 50.00 | 3.33  | 9.50  | 83.30    | 59.30         |
|                         |                           | 2         |             | /              | 50.00 | 3.37  | 9.90  | 102.23   | 68.20         |
|                         |                           | 3         |             | /              | 50.00 | 3.33  | 9.27  | 69.07    | 50.39         |
|                         |                           | AVERAGE   |             |                |       |       |       |          |               |

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ผลการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งของเรซินอะคริลิก

| Flexural Strength (MPa) |           |       |       |       |          |               |
|-------------------------|-----------|-------|-------|-------|----------|---------------|
| ชนิดวัสดุเสริมแรง       | ชั้นทดสอบ | L(mm) | h(mm) | B(mm) | Fmax (N) | $F=3FL/2Bh^2$ |
| Pure                    | 1.00      | 50.00 | 3.30  | 9.77  | 92.89    | 65.48         |
|                         | 2.00      | 50.00 | 3.30  | 9.37  | 86.07    | 63.26         |
|                         | 3.00      | 50.00 | 3.37  | 10.13 | 83.01    | 54.21         |
|                         |           |       |       |       | AVERAGE  | 60.98         |

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวของเรซินอะคริลิก

| Vickers Microhardness Test (HV) |              |       |
|---------------------------------|--------------|-------|
| ชนิดวัสดุเสริมแรง               | ชั้นทดสอบที่ | HV    |
| Pure                            | 1            | 17.10 |
|                                 | 2            | 17.60 |
|                                 | 3            | 18.10 |
| AVERAGE                         |              | 17.60 |

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวของเรซินอะคริลิก

| Vickers Microhardness Test (HV) |                           |              |             |                |       |
|---------------------------------|---------------------------|--------------|-------------|----------------|-------|
| ชนิดวัสดุเสริมแรง               | ร้อยละวัสดุเสริมแรง %wt/v | ชั้นทดสอบที่ | ปรับสภาพผิว | ไม่ปรับสภาพผิว | HV    |
| SiO <sub>2</sub> 15 nm          | 1                         | 1            | /           |                | 21.00 |
|                                 |                           | 2            | /           |                | 21.40 |
|                                 |                           | 3            | /           |                | 21.90 |
|                                 |                           | AVERAGE      |             |                |       |
|                                 | 2.5                       | 1            | /           |                | 18.00 |
|                                 |                           | 2            | /           |                | 19.10 |
|                                 |                           | 3            | /           |                | 19.90 |
|                                 |                           | AVERAGE      |             |                |       |
|                                 | 5                         | 1            | /           |                | 18.70 |
|                                 |                           | 2            | /           |                | 19.00 |
|                                 |                           | 3            | /           |                | 20.10 |
|                                 |                           | AVERAGE      |             |                |       |
|                                 | 1                         | 1            |             | /              | 20.70 |
|                                 |                           | 2            |             | /              | 21.10 |
|                                 |                           | 3            |             | /              | 21.40 |
|                                 |                           | AVERAGE      |             |                |       |
|                                 | 2.5                       | 1            |             | /              | 16.40 |
|                                 |                           | 2            |             | /              | 17.40 |
|                                 |                           | 3            |             | /              | 18.00 |
|                                 |                           | AVERAGE      |             |                |       |
|                                 | 5                         | 1            |             | /              | 17.40 |
|                                 |                           | 2            |             | /              | 18.30 |
|                                 |                           | 3            |             | /              | 18.40 |
|                                 |                           | AVERAGE      |             |                |       |

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวของเรซินอะคริลิก

| Vickers Microhardness Test (HV) |                                  |                 |                 |                    |       |
|---------------------------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|-------|
| ชนิดวัสดุ<br>เสริมแรง           | ร้อยละวัสดุ<br>เสริมแรง<br>%wt/v | ขั้นตอนทดสอบที่ | ปรับ<br>สภาพผิว | ไม่ปรับ<br>สภาพผิว | HV    |
| SiO <sub>2</sub> 40 µm          | 1                                | 1               | /               |                    | 18.50 |
|                                 |                                  | 2               | /               |                    | 19.00 |
|                                 |                                  | 3               | /               |                    | 19.50 |
|                                 |                                  | AVERAGE         |                 |                    |       |
|                                 | 5                                | 1               | /               |                    | 19.70 |
|                                 |                                  | 2               | /               |                    | 19.80 |
|                                 |                                  | 3               | /               |                    | 20.00 |
|                                 |                                  | AVERAGE         |                 |                    |       |
|                                 | 10                               | 1               | /               |                    | 20.30 |
|                                 |                                  | 2               | /               |                    | 20.80 |
|                                 |                                  | 3               | /               |                    | 21.10 |
|                                 |                                  | AVERAGE         |                 |                    |       |
|                                 | 1                                | 1               |                 | /                  | 16.00 |
|                                 |                                  | 2               |                 | /                  | 16.70 |
|                                 |                                  | 3               |                 | /                  | 17.00 |
|                                 |                                  | AVERAGE         |                 |                    |       |
|                                 | 5                                | 1               |                 | /                  | 16.80 |
|                                 |                                  | 2               |                 | /                  | 17.00 |
|                                 |                                  | 3               |                 | /                  | 17.30 |
|                                 |                                  | AVERAGE         |                 |                    |       |
|                                 | 10                               | 1               |                 | /                  | 19.00 |
|                                 |                                  | 2               |                 | /                  | 19.30 |
|                                 |                                  | 3               |                 | /                  | 20.20 |
|                                 |                                  | AVERAGE         |                 |                    |       |



ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวของเรซินอะคริลิก

| Vickers Microhardness Test (HV) |                           |              |             |                |       |
|---------------------------------|---------------------------|--------------|-------------|----------------|-------|
| ชนิดวัสดุเสริมแรง               | ร้อยละวัสดุเสริมแรง %wt/v | ชั้นทดสอบที่ | ปรับสภาพผิว | ไม่ปรับสภาพผิว | HV    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 1                         | 1            | /           |                | 16.90 |
|                                 |                           | 2            | /           |                | 17.60 |
|                                 |                           | 3            | /           |                | 19.50 |
|                                 |                           | AVERAGE      |             |                |       |
|                                 | 5                         | 1            | /           |                | 17.70 |
|                                 |                           | 2            | /           |                | 18.00 |
|                                 |                           | 3            | /           |                | 18.70 |
|                                 |                           | AVERAGE      |             |                |       |
|                                 | 10                        | 1            | /           |                | 16.80 |
|                                 |                           | 2            | /           |                | 16.90 |
|                                 |                           | 3            | /           |                | 18.80 |
|                                 |                           | AVERAGE      |             |                |       |
|                                 | 1                         | 1            |             | /              | 19.20 |
|                                 |                           | 2            |             | /              | 19.20 |
|                                 |                           | 3            |             | /              | 19.90 |
|                                 |                           | AVERAGE      |             |                |       |
|                                 | 5                         | 1            |             | /              | 17.10 |
|                                 |                           | 2            |             | /              | 17.10 |
|                                 |                           | 3            |             | /              | 17.60 |
|                                 |                           | AVERAGE      |             |                |       |
|                                 | 10                        | 1            |             | /              | 17.30 |
|                                 |                           | 2            |             | /              | 17.30 |
|                                 |                           | 3            |             | /              | 18.40 |
|                                 |                           | AVERAGE      |             |                |       |

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวของเรซินอะคริลิก

| Vickers Microhardness Test (HV) |                                  |              |                 |                    |       |
|---------------------------------|----------------------------------|--------------|-----------------|--------------------|-------|
| ชนิดวัสดุ<br>เสริมแรง           | ร้อยละวัสดุ<br>เสริมแรง<br>%wt/v | ชั้นทดสอบที่ | ปรับ<br>สภาพผิว | ไม่ปรับ<br>สภาพผิว | HV    |
| TiO <sub>2</sub>                | 1                                | 1            | /               |                    | 17.00 |
|                                 |                                  | 2            | /               |                    | 17.60 |
|                                 |                                  | 3            | /               |                    | 18.00 |
|                                 |                                  | AVERAGE      |                 |                    |       |
|                                 | 2.5                              | 1            | /               |                    | 16.50 |
|                                 |                                  | 2            | /               |                    | 17.50 |
|                                 |                                  | 3            | /               |                    | 18.20 |
|                                 |                                  | AVERAGE      |                 |                    |       |
|                                 | 5                                | 1            | /               |                    | 16.70 |
|                                 |                                  | 2            | /               |                    | 17.70 |
|                                 |                                  | 3            | /               |                    | 18.80 |
|                                 |                                  | AVERAGE      |                 |                    |       |
|                                 | 1                                | 1            |                 | /                  | 17.70 |
|                                 |                                  | 2            |                 | /                  | 18.20 |
|                                 |                                  | 3            |                 | /                  | 18.50 |
|                                 |                                  | AVERAGE      |                 |                    |       |
|                                 | 2.5                              | 1            |                 | /                  | 15.80 |
|                                 |                                  | 2            |                 | /                  | 16.90 |
|                                 |                                  | 3            |                 | /                  | 17.00 |
|                                 |                                  | AVERAGE      |                 |                    |       |
|                                 | 5                                | 1            |                 | /                  | 18.00 |
|                                 |                                  | 2            |                 | /                  | 18.10 |
|                                 |                                  | 3            |                 | /                  | 18.50 |
|                                 |                                  | AVERAGE      |                 |                    |       |

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบสมบัติแรงยึดติดเดือนของเรซินอะคริลิกซีฟันเทียมที่ยึดกับฐานฟันเทียม

| Shear Bond Strength; SBS (N/mm <sup>2</sup> ) |                           |           |             |                |                         |                |          |              |
|---|---------------------------|-----------|-------------|----------------|-------------------------|----------------|----------|--------------|
| ชนิดวัสดุเสริมแรง                             | ร้อยละวัสดุเสริมแรง %wt/v | ชั้นทดสอบ | ปรับสภาพผิว | ไม่ปรับสภาพผิว | Area (mm <sup>2</sup> ) |                | Fmax (N) | SBS = Fmax/A |
|   |                           |           |             |                | Diameter (mm)           | Thickness (mm) |          |              |
| SiO <sub>2</sub> 15 nm                        | 1                         | 1         | /           |                | 5.39                    | 3.00           | 201.94   | 12.48        |
|   |                           | 2         | /           |                | 5.76                    | 3.00           | 205.60   | 11.89        |
|   |                           | 3         | /           |                | 5.54                    | 3.00           | 131.20   | 7.89         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 2.5                       | 1         | /           |                | 5.77                    | 3.00           | 106.67   | 6.162        |
|   |                           | 2         | /           |                | 5.90                    | 3.00           | 129.98   | 7.34         |
|   |                           | 3         | /           |                | 5.92                    | 3.00           | 190.13   | 10.70        |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 5                         | 1         | /           |                | 5.75                    | 3.00           | 140.81   | 8.16         |
|   |                           | 2         | /           |                | 5.75                    | 3.00           | 134.87   | 7.81         |
|   |                           | 3         | /           |                | 5.35                    | 3.00           | 115.30   | 7.18         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 1                         | 1         |             | /              | 5.58                    | 3.00           | 190.91   | 11.40        |
|   |                           | 2         |             | /              | 5.75                    | 3.00           | 124.72   | 7.23         |
|   |                           | 3         |             | /              | 5.55                    | 3.00           | 174.29   | 10.46        |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 2.5                       | 1         |             | /              | 5.21                    | 3.00           | 100.04   | 6.40         |
|   |                           | 2         |             | /              | 5.08                    | 3.00           | 74.03    | 4.85         |
|   |                           | 3         |             | /              | 5.77                    | 3.00           | 144.85   | 8.36         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 5                         | 1         |             | /              | 5.21                    | 3.00           | 71.79    | 4.59         |
|   |                           | 2         |             | /              | 5.58                    | 3.00           | 49.70    | 2.96         |
|   |                           | 3         |             | /              | 5.31                    | 3.00           | 60.00    | 3.76         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ผลการทดสอบสมบัติแรงยึดติดเฉือนของเรซินอะคริลิกสีฟันเทียมที่ยึดกับฐานฟันเทียม

| Shear Bond Strength; SBS (N/mm <sup>2</sup> ) |                           |           |             |                |                         |                |          |              |
|---|---------------------------|-----------|-------------|----------------|-------------------------|----------------|----------|--------------|
| ชนิดวัสดุเสริมแรง                             | ร้อยละวัสดุเสริมแรง %wt/v | ชั้นทดสอบ | ปรับสภาพผิว | ไม่ปรับสภาพผิว | Area (mm <sup>2</sup> ) |                | Fmax (N) | SBS = Fmax/A |
|   |                           |           |             |                | Diameter (mm)           | Thickness (mm) |          |              |
| SiO <sub>2</sub> 40 μm                        | 1                         | 1         | /           |                | 5.73                    | 3.00           | 121.64   | 7.07         |
|   |                           | 2         | /           |                | 5.78                    | 3.00           | 111.97   | 6.45         |
|   |                           | 3         | /           |                | 5.80                    | 3.00           | 91.59    | 5.26         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 5                         | 1         | /           |                | 5.47                    | 3.00           | 130.49   | 7.95         |
|   |                           | 2         | /           |                | 5.57                    | 3.00           | 155.85   | 9.32         |
|   |                           | 3         | /           |                | 5.16                    | 3.00           | 169.50   | 10.94        |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 10                        | 1         | /           |                | 5.89                    | 3.00           | 152.93   | 8.65         |
|   |                           | 2         | /           |                | 5.82                    | 3.00           | 169.05   | 9.68         |
|   |                           | 3         | /           |                | 5.85                    | 3.00           | 105.93   | 6.03         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 1                         | 1         | /           |                | 5.62                    | 3.00           | 84.56    | 5.01         |
|   |                           | 2         | /           |                | 5.71                    | 3.00           | 110.48   | 6.44         |
|   |                           | 3         | /           |                | 6.05                    | 3.00           | 148.09   | 8.15         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 5                         | 1         |             | /              | 5.58                    | 3.00           | 132.94   | 7.94         |
|   |                           | 2         |             | /              | 5.16                    | 3.00           | 119.58   | 7.72         |
|   |                           | 3         |             |                | 5.36                    | 3.00           | 140.54   | 8.74         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 10                        | 1         |             | /              | 5.75                    | 3.00           | 100.38   | 5.81         |
|   |                           | 2         |             | /              | 5.90                    | 3.00           | 99.98    | 5.64         |
|   |                           | 3         |             | /              | 5.98                    | 3.00           | 81.22    | 4.52         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ผลการทดสอบสมบัติแรงยึดติดเดือนของเรซินอะคริลิกซีฟันเทียมที่ยึดกับฐานฟันเทียม

| Shear Bond Strength; SBS (N/mm <sup>2</sup> ) |                           |           |             |                |                         |                |          |              |
|---|---------------------------|-----------|-------------|----------------|-------------------------|----------------|----------|--------------|
| ชนิดวัสดุเสริมแรง                             | ร้อยละวัสดุเสริมแรง %wt/v | ชั้นทดสอบ | ปรับสภาพผิว | ไม่ปรับสภาพผิว | Area (mm <sup>2</sup> ) |                | Fmax (N) | SBS = Fmax/A |
|   |                           |           |             |                | Diameter (mm)           | Thickness (mm) |          |              |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                | 1                         | 1         | /           |                | 5.76                    | 3.00           | 103.34   | 5.98         |
|   |                           | 2         | /           |                | 5.73                    | 3.00           | 210.27   | 12.23        |
|   |                           | 3         | /           |                | 5.65                    | 3.00           | 124.98   | 7.37         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 5                         | 1         | /           |                | 5.56                    | 3.00           | 171.55   | 10.28        |
|   |                           | 2         | /           |                | 5.76                    | 3.00           | 110.88   | 6.42         |
|   |                           | 3         | /           |                | 6.15                    | 3.00           | 183.63   | 9.95         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 10                        | 1         | /           |                | 5.75                    | 3.00           | 133.59   | 7.74         |
|   |                           | 2         | /           |                | 5.78                    | 3.00           | 193.34   | 11.15        |
|   |                           | 3         | /           |                | 5.79                    | 3.00           | 221.09   | 12.73        |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 1                         | 1         |             | /              | 5.63                    | 3.00           | 182.51   | 10.81        |
|   |                           | 2         |             | /              | 5.24                    | 3.00           | 180.82   | 11.50        |
|   |                           | 3         |             | /              | 5.52                    | 3.00           | 173.69   | 10.49        |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 5                         | 1         |             | /              | 5.94                    | 3.00           | 193.57   | 10.86        |
|   |                           | 2         |             | /              | 5.71                    | 3.00           | 174.96   | 10.21        |
|   |                           | 3         |             |                | 5.82                    | 3.00           | 157.37   | 9.01         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 10                        | 1         |             | /              | 6.11                    | 3.00           | 209.40   | 11.42        |
|   |                           | 2         |             | /              | 5.95                    | 3.00           | 187.96   | 10.53        |
|   |                           | 3         |             | /              | 5.66                    | 3.00           | 151.63   | 8.93         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ผลการทดสอบสมบัติแรงยึดติดเฉือนของเรซินอะคริลิกสีฟันเทียมที่ยึดกับฐานฟันเทียม

| Shear Bond Strength; SBS (N/mm <sup>2</sup> ) |                           |           |             |                |                         |                |          |              |
|---|---------------------------|-----------|-------------|----------------|-------------------------|----------------|----------|--------------|
| ชนิดวัสดุเสริมแรง                             | ร้อยละวัสดุเสริมแรง %wt/v | ชั้นทดสอบ | ปรับสภาพผิว | ไม่ปรับสภาพผิว | Area (mm <sup>2</sup> ) |                | Fmax (N) | SBS = Fmax/A |
|   |                           |           |             |                | Diameter (mm)           | Thickness (mm) |          |              |
| TiO <sub>2</sub>                              | 1                         | 1         | /           |                | 5.61                    | 3.00           | 128.62   | 7.64         |
|   |                           | 2         | /           |                | 5.67                    | 3.00           | 159.26   | 9.36         |
|   |                           | 3         | /           |                | 5.53                    | 3.00           | 150.64   | 9.08         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 2.5                       | 1         | /           |                | 5.44                    | 3.00           | 156.04   | 9.56         |
|   |                           | 2         | /           |                | 5.43                    | 3.00           | 189.40   | 11.63        |
|   |                           | 3         | /           |                | 5.51                    | 3.00           | 121.74   | 7.36         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 5                         | 1         | /           |                | 5.29                    | 3.00           | 123.29   | 7.77         |
|   |                           | 2         | /           |                | 5.67                    | 3.00           | 166.14   | 9.77         |
|   |                           | 3         | /           |                | 5.47                    | 3.00           | 158.36   | 9.65         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 1                         | 1         | /           |                | 5.79                    | 3.00           | 134.41   | 7.74         |
|   |                           | 2         | /           |                | 5.43                    | 3.00           | 113.02   | 6.94         |
|   |                           | 3         | /           |                | 5.87                    | 3.00           | 132.43   | 7.52         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 2.5                       | 1         |             | /              | 5.86                    | 3.00           | 165.62   | 9.42         |
|   |                           | 2         |             | /              | 5.92                    | 3.00           | 170.11   | 9.58         |
|   |                           | 3         |             | /              | 5.99                    | 3.00           | 147.08   | 8.18         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |
|   | 5                         | 1         |             | /              | 5.61                    | 3.00           | 99.52    | 5.91         |
|   |                           | 2         |             | /              | 5.24                    | 3.00           | 113.79   | 7.24         |
|   |                           | 3         |             | /              | 4.83                    | 3.00           | 94.94    | 6.55         |
|   |                           | AVERAGE   |             |                |                         |                |          |              |

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ผลการทดสอบสมบัติแรงยึดติดเฉือนของเรซินอะคริลิกซีฟันเทียมที่ยึดกับฐานฟันเทียม

| Shear Bond Strength; SBS (N/mm <sup>2</sup> ) |           |                         |                |          |              |
|---|-----------|-------------------------|----------------|----------|--------------|
| ชนิดวัสดุเสริมแรง                             | ชั้นทดสอบ | Area (mm <sup>2</sup> ) |                | Fmax (N) | SBS = Fmax/A |
|   |           | Diameter (mm)           | Thickness (mm) |          |              |
| Pure  | 1.00      | 5.90                    | 3.00           | 212.39   | 12.00        |
|   | 3.00      | 5.49                    | 3.00           | 169.24   | 10.28        |
|   | 4.00      | 5.57                    | 3.00           | 199.61   | 11.95        |
| AVERAGE                                       |           |                         |                |          | 11.41        |







ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์ ANOVA สมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งของเรซินอะคริลิก

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบชนิดที่ 1 %wt/v)

| Source                   | SS       | df | MS       | Fc       |
|--------------------------|----------|----|----------|----------|
| Treatment                | 1257.433 | 2  | 628.7166 | 16.34924 |
| Error (Within Treatment) | 230.7324 | 6  | 38.4554  |          |
| Total                    | 1488.166 | 8  |          |          |

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบชนิดที่ 5 %wt/v)

| Source                   | SS       | df | MS       | Fc       |
|--------------------------|----------|----|----------|----------|
| Treatment                | 1279.943 | 2  | 639.9713 | 15.85936 |
| Error (Within Treatment) | 242.1175 | 6  | 40.35292 |          |
| Total                    | 1522.06  | 8  |          |          |

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบปริมาณการเติมของ SiO<sub>2</sub>)

| Source                   | SS       | df | MS       | Fc       |
|--------------------------|----------|----|----------|----------|
| Treatment                | 1175.946 | 3  | 391.982  | 13.87687 |
| Error (Within Treatment) | 225.9772 | 8  | 28.24715 |          |
| Total                    | 1401.923 | 11 |          |          |

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบปริมาณการเติมของ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

| Source                   | SS       | df | MS       | Fc       |
|--------------------------|----------|----|----------|----------|
| Treatment                | 2491.487 | 3  | 830.4957 | 20.81208 |
| Error (Within Treatment) | 319.2361 | 8  | 39.90451 |          |
| Total                    | 2810.723 | 11 |          |          |

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบปริมาณการเติมของ TiO<sub>2</sub>)

| Source                   | SS       | df | MS       | Fc       |
|--------------------------|----------|----|----------|----------|
| Treatment                | 862.1111 | 3  | 287.3704 | 8.685271 |
| Error (Within Treatment) | 264.6967 | 8  | 33.08709 |          |
| Total                    | 1126.808 | 11 |          |          |

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ ANOVA สมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งของเรซินอะคริลิก

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบขนาดอนุภาคที่ 1 %wt/v)

| Source                   | SS       | df | MS       | Fc       |
|--------------------------|----------|----|----------|----------|
| Treatment                | 54.42036 | 1  | 54.42036 | 3.952729 |
| Error (Within Treatment) | 55.07117 | 4  | 13.76779 |          |
| Total                    | 109.4915 | 5  |          |          |

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบขนาดอนุภาคที่ 5 %wt/v)

| Source                   | SS       | df | MS       | Fc      |
|--------------------------|----------|----|----------|---------|
| Treatment                | 159.2457 | 1  | 159.2457 | 14.2734 |
| Error (Within Treatment) | 44.62727 | 4  | 11.15682 |         |
| Total                    | 203.873  | 5  |          |         |

Two-Way ANOVA (เปรียบเทียบการปรับผิวด้วยไซเลนของนาโนซิลิกา)

| Source         | SS       | df | MS       | Fc       |
|----------------|----------|----|----------|----------|
| A              | 1630.219 | 1  | 1630.219 | 148.9592 |
| B              | 288.3184 | 2  | 144.1592 | 13.17237 |
| Interaction AB | 39.93554 | 2  | 19.96777 | 1.82453  |
| Error          | 131.3288 | 12 | 10.94406 |          |
| Total          | 2089.802 | 17 |          |          |

Two-Way ANOVA (เปรียบเทียบการปรับผิวด้วยไซเลนของไมโครซิลิกา)

| Source         | SS       | df | MS       | Fc       |
|----------------|----------|----|----------|----------|
| A              | 268.9654 | 1  | 268.9654 | 9.092968 |
| B              | 148.9425 | 2  | 74.47123 | 2.517664 |
| Interaction AB | 39.73359 | 2  | 19.8668  | 0.671641 |
| Error          | 354.9539 | 12 | 29.57949 |          |
| Total          | 812.5954 | 17 |          |          |

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ ANOVA สมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งของเรซินอะคริลิก

Two-Way ANOVA (เปรียบเทียบการปรับผิวด้วยไซเลนของอลูมินา)

| Source         | SS       | df | MS       | Fc       |
|----------------|----------|----|----------|----------|
| A              | 44.56514 | 1  | 44.56514 | 1.078866 |
| B              | 1650.95  | 2  | 825.475  | 19.98372 |
| Interaction AB | 4.815949 | 2  | 2.407974 | 0.058294 |
| Error          | 495.6885 | 12 | 41.30737 |          |
| Total          | 2196.02  | 17 |          |          |

Two-Way ANOVA (เปรียบเทียบการปรับผิวด้วยไซเลนของโททานี)

| Source         | SS       | df | MS       | Fc       |
|----------------|----------|----|----------|----------|
| A              | 7.583818 | 1  | 7.583818 | 0.2885   |
| B              | 1252.208 | 2  | 626.1042 | 23.81793 |
| Interaction AB | 0.118867 | 2  | 0.059434 | 0.002261 |
| Error          | 315.4451 | 12 | 26.28709 |          |
| Total          | 1575.356 | 17 |          |          |

ตารางที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์ ANOVA สมบัติค่าความแข็งผิวของเรซินอะคริลิก

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบชนิดที่ 1 %wt/v)

| Source                   | SS    | df | MS    | Fc       |
|--------------------------|-------|----|-------|----------|
| Treatment                | 12.36 | 2  | 6.181 | 31.42938 |
| Error (Within Treatment) | 1.18  | 6  | 0.197 |          |
| Total                    | 13.54 | 8  |       |          |

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบชนิดที่ 5 %wt/v)

| Source                   | SS    | df | MS    | Fc       |
|--------------------------|-------|----|-------|----------|
| Treatment                | 2.587 | 2  | 1.293 | 15.11688 |
| Error (Within Treatment) | 0.513 | 6  | 0.086 |          |
| Total                    | 3.1   | 8  |       |          |

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบปริมาณการเติมของ SiO<sub>2</sub>)

| Source                   | SS    | df | MS    | Fc       |
|--------------------------|-------|----|-------|----------|
| Treatment                | 27.41 | 3  | 9.136 | 27.47786 |
| Error (Within Treatment) | 2.66  | 8  | 0.332 |          |
| Total                    | 30.07 | 11 |       |          |

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบปริมาณการเติมของ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

| Source                   | SS    | df | MS    | Fc       |
|--------------------------|-------|----|-------|----------|
| Treatment                | 8.589 | 3  | 2.863 | 12.72469 |
| Error (Within Treatment) | 1.8   | 8  | 0.225 |          |
| Total                    | 10.39 | 11 |       |          |

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบปริมาณการเติมของ TiO<sub>2</sub>)

| Source                   | SS    | df | MS    | Fc      |
|--------------------------|-------|----|-------|---------|
| Treatment                | 1.743 | 3  | 0.581 | 2.19979 |
| Error (Within Treatment) | 2.113 | 8  | 0.264 |         |
| Total                    | 3.857 | 11 |       |         |

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ ANOVA สมบัติค่าความแข็งผิวของเรซินอะคริลิก

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบขนาดอนุภาคที่ 1 %wt/v)

| Source                   | SS    | df | MS     | Fc       |
|--------------------------|-------|----|--------|----------|
| Treatment                | 30.37 | 1  | 30.375 | 157.1121 |
| Error (Within Treatment) | 0.773 | 4  | 0.1933 |          |
| Total                    | 31.15 | 5  |        |          |

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบขนาดอนุภาคที่ 5 %wt/v)

| Source                   | SS    | df | MS     | Fc       |
|--------------------------|-------|----|--------|----------|
| Treatment                | 1.5   | 1  | 1.5    | 8.181818 |
| Error (Within Treatment) | 0.733 | 4  | 0.1833 |          |
| Total                    | 2.233 | 5  |        |          |

Two-way ANOVA (เปรียบเทียบการปรับผิวด้วยไซเลนของนาโนซิลิกา)

| Source         | SS   | df | MS    | Fc      |
|----------------|------|----|-------|---------|
| A              | 5.56 | 1  | 5.556 | 12.1803 |
| B              | 33.5 | 2  | 16.74 | 36.7028 |
| Interaction AB | 1.43 | 2  | 0.717 | 1.57247 |
| Error          | 5.47 | 12 | 0.456 |         |
| Total          | 45.9 | 17 |       |         |

Two-way ANOVA (เปรียบเทียบการปรับผิวด้วยไซเลนของไมโครซิลิกา)

| Source         | SS   | df | MS    | Fc      |
|----------------|------|----|-------|---------|
| A              | 20.9 | 1  | 5.556 | 12.1803 |
| B              | 17.4 | 2  | 16.74 | 36.7028 |
| Interaction AB | 2.01 | 2  | 0.717 | 1.57247 |
| Error          | 2.31 | 12 | 0.456 |         |
| Total          | 42.6 | 17 |       |         |

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ ANOVA สมบัติค่าความแข็งแรงผิวของเรซินอะคริลิก

Two-Way ANOVA (เปรียบเทียบการปรับผิวด้วยไซเลนของอลูมินา)

| Source         | SS   | df | MS    | Fc      |
|----------------|------|----|-------|---------|
| A              | 0.27 | 1  | 0.269 | 0.40401 |
| B              | 4.66 | 2  | 2.332 | 3.50334 |
| Interaction AB | 3.98 | 2  | 1.991 | 2.99082 |
| Error          | 7.99 | 12 | 0.666 |         |
| Total          | 16.9 | 17 |       |         |

Two-Way ANOVA (เปรียบเทียบการปรับผิวด้วยไซเลนของไททานี)

| Source         | SS   | df | MS    | Fc      |
|----------------|------|----|-------|---------|
| A              | 0.03 | 1  | 0.027 | 0.05911 |
| B              | 3.41 | 2  | 1.707 | 3.70688 |
| Interaction AB | 1.88 | 2  | 0.941 | 2.04222 |
| Error          | 5.53 | 12 | 0.461 |         |
| Total          | 10.8 | 17 |       |         |

ตารางที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์ ANOVA สมบัติแรงยึดติดเดือนของเรซินอะคริลิก

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบชนิดที่ 1 %wt/v)

| Source                   | SS      | df | MS      | Fc      |
|--------------------------|---------|----|---------|---------|
| Treatment                | 32.4934 | 2  | 16.2467 | 16.7072 |
| Error (Within Treatment) | 5.8346  | 6  | 0.9724  |         |
| Total                    | 38.3280 | 8  |         |         |

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบชนิดที่ 5 %wt/v)

| Source                   | SS      | df | MS     | Fc      |
|--------------------------|---------|----|--------|---------|
| Treatment                | 18.0296 | 2  | 9.0148 | 16.8436 |
| Error (Within Treatment) | 3.2112  | 6  | 0.5352 |         |
| Total                    | 21.2409 | 8  |        |         |

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบปริมาณการเติมของ SiO<sub>2</sub>)

| Source                   | SS      | df | MS      | Fc      |
|--------------------------|---------|----|---------|---------|
| Treatment                | 62.3581 | 3  | 20.7860 | 19.7202 |
| Error (Within Treatment) | 8.4324  | 8  | 1.0541  |         |
| Total                    | 70.7905 | 11 |         |         |

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบปริมาณการเติมของ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

| Source                   | SS      | df | MS     | Fc     |
|--------------------------|---------|----|--------|--------|
| Treatment                | 3.4880  | 3  | 1.1627 | 1.2546 |
| Error (Within Treatment) | 7.4138  | 8  | 0.9267 |        |
| Total                    | 10.9018 | 11 |        |        |

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ ANOVA สมบัติแรงยึดติดเหนือนของเรซินอะคริลิก

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบปริมาณการเติมของ  $\text{TiO}_2$ )

| Source                   | SS      | df | MS      | Fc      |
|--------------------------|---------|----|---------|---------|
| Treatment                | 40.9923 | 3  | 13.6641 | 25.3792 |
| Error (Within Treatment) | 4.3072  | 8  | 0.5384  |         |
| Total                    | 45.2995 | 11 |         |         |

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบขนาดอนุภาคที่ 1 %wt/v)

| Source                   | SS      | df     | MS      | Fc     |
|--------------------------|---------|--------|---------|--------|
| Treatment                | 14.9714 | 1.0000 | 14.9714 | 4.1157 |
| Error (Within Treatment) | 14.5505 | 4.0000 | 3.6376  |        |
| Total                    | 29.5219 | 5.0000 |         |        |

One-Way ANOVA (เปรียบเทียบขนาดอนุภาคที่ 5 %wt/v)

| Source                   | SS      | df     | MS      | Fc      |
|--------------------------|---------|--------|---------|---------|
| Treatment                | 28.5081 | 1.0000 | 28.5081 | 60.3075 |
| Error (Within Treatment) | 1.8909  | 4.0000 | 0.4727  |         |
| Total                    | 30.3990 | 5.0000 |         |         |

Two-Way ANOVA (เปรียบเทียบการปรับผิวด้วยไซเลนของนาโนซิลิกา)

| Source         | SS       | df      | MS      | Fc     |
|----------------|----------|---------|---------|--------|
| A              | 21.3437  | 1.0000  | 21.3437 | 6.2153 |
| B              | 62.1269  | 2.0000  | 31.0635 | 9.0457 |
| Interaction AB | 7.1955   | 2.0000  | 3.5978  | 1.0477 |
| Error          | 41.2087  | 12.0000 | 3.4341  |        |
| Total          | 131.8749 | 17.0000 |         |        |



ตารางที่ ข.3 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ ANOVA สมบัติแรงยึดติดเดือนของเรซินอะคริลิก

Two-Way ANOVA (เปรียบเทียบการปรับผิวด้วยไซเลนของไมโครซิลิกา)

| Source         | SS      | df      | MS     | Fc     |
|----------------|---------|---------|--------|--------|
| A              | 7.1842  | 1.0000  | 7.1842 | 4.3580 |
| B              | 19.7929 | 2.0000  | 9.8965 | 6.0033 |
| Interaction AB | 7.0599  | 2.0000  | 3.5300 | 2.1413 |
| Error          | 19.7821 | 12.0000 | 1.6485 |        |
| Total          | 53.8191 | 17.0000 |        |        |

Two-Way ANOVA (เปรียบเทียบการปรับผิวด้วยไซเลนของอลูมินา)

| Source         | SS      | df      | MS     | Fc     |
|----------------|---------|---------|--------|--------|
| A              | 5.4528  | 1.0000  | 5.4528 | 1.3298 |
| B              | 2.9388  | 2.0000  | 1.4694 | 0.3584 |
| Interaction AB | 5.2701  | 2.0000  | 2.6350 | 0.6426 |
| Error          | 49.2042 | 12.0000 | 4.1003 |        |
| Total          | 62.8659 | 17.0000 |        |        |

Two-Way ANOVA (เปรียบเทียบการปรับผิวด้วยไซเลนของไททาเนีย)

| Source         | SS      | df      | MS      | Fc     |
|----------------|---------|---------|---------|--------|
| A              | 21.3360 | 1.0000  | 21.3360 | 8.7380 |
| B              | 4.9664  | 2.0000  | 2.4832  | 1.0170 |
| Interaction AB | 15.7649 | 2.0000  | 7.8824  | 3.2282 |
| Error          | 29.3011 | 12.0000 | 2.4418  |        |
| Total          | 71.3683 | 17.0000 |         |        |

ตารางที่ ข.4 ตารางค่าวิกฤติแจกแจง F ที่เลขนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

|    | 1      | 2     | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9     | 10     |
|----|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 1  | 161.45 | 199.5 | 215.71 | 224.58 | 230.16 | 233.99 | 236.77 | 238.88 | 240.5 | 241.88 |
| 2  | 18.51  | 19    | 19.16  | 19.25  | 19.3   | 19.33  | 19.35  | 19.37  | 19.39 | 19.4   |
| 3  | 10.13  | 9.55  | 9.28   | 9.12   | 9.01   | 8.94   | 8.89   | 8.85   | 8.81  | 8.79   |
| 4  | 7.71   | 6.94  | 6.59   | 6.39   | 6.26   | 6.16   | 6.09   | 6.04   | 6     | 5.96   |
| 5  | 6.61   | 5.79  | 5.41   | 5.19   | 5.05   | 4.95   | 4.88   | 4.82   | 4.77  | 4.74   |
| 6  | 5.99   | 5.14  | 4.76   | 4.53   | 4.39   | 4.28   | 4.21   | 4.15   | 4.1   | 4.06   |
| 7  | 5.59   | 4.74  | 4.35   | 4.12   | 3.97   | 3.87   | 3.79   | 3.73   | 3.68  | 3.64   |
| 8  | 5.32   | 4.46  | 4.07   | 3.84   | 3.69   | 3.58   | 3.5    | 3.44   | 3.39  | 3.35   |
| 9  | 5.12   | 4.26  | 3.86   | 3.63   | 3.48   | 3.37   | 3.29   | 3.23   | 3.18  | 3.14   |
| 10 | 4.97   | 4.1   | 3.71   | 3.48   | 3.33   | 3.22   | 3.14   | 3.07   | 3.02  | 2.98   |
| 11 | 4.84   | 3.98  | 3.59   | 3.36   | 3.2    | 3.1    | 3.01   | 2.95   | 2.9   | 2.85   |
| 12 | 4.75   | 3.89  | 3.49   | 3.26   | 3.11   | 3      | 2.91   | 2.85   | 2.8   | 2.75   |
| 13 | 4.67   | 3.81  | 3.41   | 3.18   | 3.03   | 2.92   | 2.83   | 2.77   | 2.71  | 2.67   |
| 14 | 4.6    | 3.74  | 3.34   | 3.11   | 2.96   | 2.85   | 2.76   | 2.7    | 2.65  | 2.6    |
| 15 | 4.54   | 3.68  | 3.29   | 3.06   | 2.9    | 2.79   | 2.71   | 2.64   | 2.59  | 2.54   |
| 16 | 4.49   | 3.63  | 3.24   | 3.01   | 2.85   | 2.74   | 2.66   | 2.59   | 2.54  | 2.49   |
| 17 | 4.45   | 3.59  | 3.2    | 2.97   | 2.81   | 2.7    | 2.61   | 2.55   | 2.49  | 2.45   |
| 18 | 4.41   | 3.56  | 3.16   | 2.93   | 2.77   | 2.66   | 2.58   | 2.51   | 2.46  | 2.41   |
| 19 | 4.38   | 3.52  | 3.13   | 2.9    | 2.74   | 2.63   | 2.54   | 2.48   | 2.42  | 2.38   |
| 20 | 4.35   | 3.49  | 3.1    | 2.87   | 2.71   | 2.6    | 2.51   | 2.45   | 2.39  | 2.35   |
| 21 | 4.33   | 3.47  | 3.07   | 2.84   | 2.69   | 2.57   | 2.49   | 2.42   | 2.37  | 2.32   |
| 22 | 4.3    | 3.44  | 3.05   | 2.82   | 2.66   | 2.55   | 2.46   | 2.4    | 2.34  | 2.3    |
| 23 | 4.28   | 3.42  | 3.03   | 2.8    | 2.64   | 2.53   | 2.44   | 2.38   | 2.32  | 2.28   |
| 24 | 4.26   | 3.4   | 3.01   | 2.78   | 2.62   | 2.51   | 2.42   | 2.36   | 2.3   | 2.26   |
| 25 | 4.24   | 3.39  | 2.99   | 2.76   | 2.6    | 2.49   | 2.41   | 2.34   | 2.28  | 2.24   |
| 26 | 4.23   | 3.37  | 2.98   | 2.74   | 2.59   | 2.47   | 2.39   | 2.32   | 2.27  | 2.22   |
| 27 | 4.21   | 3.35  | 2.96   | 2.73   | 2.57   | 2.46   | 2.37   | 2.31   | 2.25  | 2.2    |
| 28 | 4.2    | 3.34  | 2.95   | 2.71   | 2.56   | 2.45   | 2.36   | 2.29   | 2.24  | 2.19   |
| 29 | 4.18   | 3.33  | 2.93   | 2.7    | 2.55   | 2.43   | 2.35   | 2.28   | 2.22  | 2.18   |
| 30 | 4.17   | 3.32  | 2.92   | 2.69   | 2.53   | 2.42   | 2.33   | 2.27   | 2.21  | 2.17   |

## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นางสาวกนกพร ศรีวิชา  
ภูมิลำเนา 200 หมู่ 4 ต.ท่าพุทรา อ.คลองขลุง  
จ.กำแพงเพชร

### ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนคลองขลุงราษฎร์รังสรรค์ จ.กำแพงเพชร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Kanookporn53@email.nu.ac.th



ชื่อ นายวุฒิชัย มาน้อย  
ภูมิลำเนา 57 หมู่ 3 ต.หนองหลวง อ.ลานกระบือ  
จ.กำแพงเพชร

### ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนลานกระบือวิทยา จ.กำแพงเพชร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: top\_2534@yahoo.com