



ผลของสภาวะการจำลองการใช้งานต่อความแข็งผิวและแรงสบฟัน  
ของซี่ฟันเทียมอะคริลิก

EFFECT OF SIMULATED CONDITIONS ON SURFACE HARDNESS AND CHEWING FORCE  
OF ACRYLIC RESIN DENTURE TEETH

นางสาวรัตติกาล โตเทียม รหัส 55361670  
นางสาววราภรณ์ อมะพุธ รหัส 55362707  
นายศรัณย์ ปั่นแก้ว รหัส 55362721

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2558




## ใบรับรองปริญญาโท

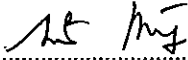
ชื่อหัวข้อโครงการ ผลของสภาวะการจำลองการใช้งานต่อความแข็งแรงและแรงสับสน  
ของซีพีเอ็มเทียมอะคริลิก

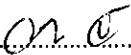
ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวรัตติกาล โตเทียม รหัส 55361670  
นางสาวราภรณ์ อมะพะอู รหัส 55362707  
นายศรัณย์ บันแก้ว รหัส 55362721

ที่ปรึกษาโครงการ ดร.นพวรรณ โม้ทอง  
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี  
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม  
ปีการศึกษา 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ  
การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

  
.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(ดร.นพวรรณ โม้ทอง)

  
.....กรรมการ  
(รศ.ดร.สมร หิรัญประดิษฐ์กุล)

  
.....กรรมการ  
(ดร.ภมรรัตน์ จันธรรม)

ชื่อหัวข้อโครงการ	ผลของสภาวะการจำลองการใช้งานต่อความแข็งแรงและแรงสปริงของซีฟันเทียมอะคริลิก		
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวรัตติกาล โตเทียม	รหัส	55361670
	นางสาวราภรณ์ อมะพะอู	รหัส	55362707
	นายศรัณย์ ปิ่นแก้ว	รหัส	55362721
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.นพวรรณ โม่ทอง		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2558		

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาความแข็งแรงและแรงสปริงของซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยความร้อนเสริมแรงด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการจำลองอุณหภูมิและการกักความร้อนจากสารเคมี รวมทั้งศึกษาสมบัติแรงสปริงของซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยตัวเอง โดยแบ่งออกการทดลองออกเป็นสองส่วนคือส่วนแรกศึกษาแรงสปริงของซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตทั้งสองชนิดเมื่อผ่านสภาวะจำลองอุณหภูมิที่ 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 2,500 และ 5,000 รอบ และส่วนที่สองศึกษาความแข็งแรงของซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยความร้อนเมื่อผ่านสภาวะจำลองอุณหภูมิจำนวน 5,000 รอบ จากนั้นทำการจำลองการกักความร้อนจากสารเคมี 3 ชนิด คือ กาแฟ น้ำมะนาวและโคคาโคล่า เป็นเวลา 1 3 7 14 และ 28 วัน ผลการทดลองพบว่าเมื่อเสริมแรงซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก แล้วทำให้ซีฟันเทียมมีสมบัติแรงสปริงและความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจากซีฟันเทียมที่ ไม่มีการเสริมแรงสูงสุด 20.67 และ 5.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลของการขึ้นรูปพบว่าทุกสภาวะการขึ้นรูปแบบ บ่มด้วยตัวเองให้ค่าแรงสปริงที่สูงกว่าวิธีการขึ้นรูปแบบบ่มด้วยความร้อน ยกเว้นสภาวะเดียวคือ ซีฟันกรามพอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิตและเมื่อพิจารณาผลของการจำลองการใช้งานพบว่าเมื่อผ่านการจำลองการใช้งาน ทั้งสองอย่างในระยะเวลาเวลานานจะส่งผลให้แรงสปริงและความแข็งแรงของ ซีฟันเทียมลดลงและสารละลายที่มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงลดลงมากที่สุดคือ โคคาโคล่าลดลงสูงสุด 9.71 เปอร์เซ็นต์

**Title** EFFECT OF SIMULATED CONDITIONS ON SURFACE HARDNESS AND CHEWING FORCE OF ACRYLIC RESIN DENTURE TEETH

**Author** Rattikan Tohiam ID. 55361670  
Waraporn Amaput ID. 55362707  
Saran Pankeaw ID. 55362721

**Advisor** Dr. Noppawan Motong

**Keyword** Denture, Poly-methylmethacrylate, PMMA, Aluminium oxide, Vickers hardness, Chewing force, Thermocycling

---

### Abstract

This research studied the Vickers hardness and chewing force, through the temperature simulation and corrosive chemicals, of the heat cured type Poly-methylmethacrylate denture reinforced with aluminium oxide 2.5 percent by weight. In addition, the physical properties of the chewing force of polymethylmethacrylate denture in self-cured type Polymethylmethacrylate denture are also investigated.

The experiments were divided into two parts: the first part studied the chewing force of both types poly- methylmethacrylate denture after the simulation of temperature at 5 and 55 degrees Celsius for 2,500 and 5,000 cycles. The second part studied the surface hardness of heat cured type polymethylmethacrylate denture after the simulating temperature for 5,000 cycles and simulated of corrosive chemicals in coffee lemonade and Coca-Cola for 1 3 7 14 and 28 days.

The results showed that when reinforced the polymethylmethacrylate with aluminum oxide 2.5 percent by weight, the denture shows higher chewing force and the increasing of the surface hardness. Moreover, the longer corrosive simulation the lower chewing force and surface hardness. Coca-Cola gave the lowest surface hardness at 9.71% lower than the original denture samples.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือของหลายๆ ฝ่ายโดยเฉพาะ ดร.นพวรรณ โหม้ทอง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนะนำวิธีแก้ปัญหา รวมถึงข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนความดูแลเอาใจใส่ ติดตามการดำเนินโครงการมาโดยตลอดและขอขอบคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ได้ให้วิชาความรู้เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ขอขอบคุณคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อาจารย์และบุคลากรทุกท่าน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าไปใช้สถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงาน ตลอดจนความรู้ คำแนะนำต่างๆ เพื่อใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงการใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้การดูแล อบรม สั่งสอนและให้กำลังใจด้วยดีเสมอมาตลอดการดำเนินโครงการจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นางสาวรัตติกาล

โตเหี้ยม

นางสาววารภรณ์

อะมะพุธ

นายศรัณย์

ปิ่นแก้ว

พฤษภาคม 2559

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ.....	2
1.4 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1.1 ซี่ฟันเทียม (Denture Teeth) .....	4
2.1.2 สารตั้งต้นในการผลิตซี่ฟันเทียม.....	5
2.1.3 วัสดุเชิงประกอบ.....	7
2.1.4 วิธีการขึ้นรูปซี่ฟันเทียม.....	8
2.1.5 การจำลองกระบวนการใช้งาน.....	8
2.1.6 การทดสอบ.....	9
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ.....	17
3.1 การเตรียมชิ้นงานซีฟันเทียม.....	17
3.2 การจำลองกระบวนการทดสอบ.....	23
3.3 การทดสอบสมบัติต่างๆ ของซีฟันเทียม.....	24
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	27
4.1 ผลการทดสอบแรงสบฟัน.....	28
4.2 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวแบบวิกเกอร์.....	36
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	42
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	42
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	44
เอกสารอ้างอิง.....	45
ภาคผนวก.....	48
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของซีฟันเทียม.....	48

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	3
2.1 แสดงสมบัติทางกลของพอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	5
2.2 แสดงสมบัติของอะลูมิเนียมออกไซด์ (Nicholas P. Cheremisinoff, 1990).....	7
2.3 ความเป็นกรดของสารละลายแต่ละชนิด.....	11
ก.1 ผลการทดสอบสมบัติแรงสปริง.....	49
ก.2 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวที่ 1 วัน .....	50
ก.3 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวที่ 3 วัน .....	51
ก.4 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวที่ 7 วัน .....	52
ก.5 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวที่ 14 วัน .....	53
ก.6 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวที่ 28 วัน .....	54



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของพอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	6
2.2 โครงสร้างอลูมิเนียมออกไซด์ .....	7
2.3 แสดงความแข็งของซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยอลูมิเนียมออกไซด์.....	11
2.4 ผลการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของตัวอย่างเรซินอะคริลิก ก.) เติมอลูมิเนียมออกไซด์ 2.5% โดยน้ำหนัก ข.) เติมอลูมิเนียมออกไซด์ 5% โดยน้ำหนัก.....	11
2.5 ลักษณะของพื้นผิวของชิ้นงาน ก.) ตั้งอยู่อุณหภูมิร่างกาย ข.) ผ่านการจำลองอุณหภูมิ.....	14
2.6 ภาพตัดขวางของฟันกรามกับจุดรับแรงกดจากเครื่องทดสอบ.....	15
2.7 เครื่องวัดแรงกับเซ็นเซอร์จำลองการเคี้ยว.....	15
2.8 องค์การวางซีฟันที่ ก.) 0 องศาและ ข.) 45 องศา.....	16
2.9 ตัวอย่างภายใต้แรงกดลักษณะการวาง 45 องศา .....	16
3.1 แบบขึ้นรูปซีฟันเทียม ก.) ซีฟันกราม ข.) ซีฟันหน้า.....	18
3.2 วิธีการเตรียมเข้าหล่อแบบของซีฟันเทียม ก.) เข้าหล่อแบบซีฟันกราม ข.) เข้าหล่อแบบซีฟันหน้า ค.) เข้าหล่อแบบของซีฟันเทียม.....	19
3.3 ชิ้นงานซีฟันเทียมสำหรับทดสอบแรงสบฟัน ก.) ซีฟันกราม ข.) ซีฟันหน้า.....	20
3.4 ชิ้นงานซีฟันเทียมสำหรับทดสอบความแข็งผิว ก.) แบบขึ้นรูป ข.) ทำเข้าหล่อแบบซีฟันเทียม ค.) เข้าหล่อแบบ ง.) ชิ้นงานทดสอบความแข็งผิว.....	21
3.5 แผนผังการดำเนินงาน.....	22
3.6 เครื่องควบคุมอุณหภูมิร้อนเย็นเป็นจังหวะ (Thermal Cycling Machine).....	23
3.7 แสดงการทดสอบความแข็งผิวของซีฟันเทียมหลังแช่สารละลาย.....	24
3.8 เครื่องทดสอบแรงสบฟัน.....	25
3.9 ลักษณะเส้นกราฟแรงกดของชิ้นงาน.....	25
3.10 ลักษณะห้วงกดและรอยกดของการวัดความแข็งวิกเกอร์.....	26
3.11 ขนาดขึ้นทดสอบความแข็งผิว.....	26

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 การทดสอบแรงสพพื้นโดย ก.) เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุแบบอเนกประสงค์ ข.) ลักษณะการวางชิ้นงานของแรงสพพื้นชนิดซีพินกราม ค.) ลักษณะการวางชิ้นงานของ แรงสพพื้นชนิดซีพินหน้า.....	28
4.2 แผนภูมิแสดงผลของการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ 2.5 ร้อยละโดยมวล ที่มีผลต่อแรงสพพื้น	29
4.3 แผนภูมิแสดงผลของลักษณะรูปร่างของซีพินที่เชื่อมต่อแรงสพพื้น.....	29
4.4 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงสพพื้นกับวิธีการขึ้นรูปชิ้นงานของซีพินที่เชื่อม.....	31
4.5 กราฟตัวอย่างที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ให้ซีพินที่เชื่อมกับระยะเวลาที่ให้แรงของซี พินที่เชื่อมที่ผ่านการขึ้นรูปด้วย ก.) วิธีบ่มด้วยตัวเอง ข.) วิธีบ่มด้วยความร้อน.....	32
4.6 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงสพพื้นกับการผ่านสภาวะจำลองอุณหภูมิของการ ขึ้นรูปชิ้นงานแบบการบ่มด้วยความร้อน.....	34
4.7 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงสพพื้นกับการผ่านสภาวะจำลองอุณหภูมิของการ ขึ้นรูปชิ้นงานแบบการบ่มด้วยตัวเอง.....	34
4.8 แบบจำลองพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ผ่านการจำลองอุณหภูมิ.....	35
4.9 การทดสอบความแข็งแรงผิวแบบวิกเกอร์โดย ก.) เครื่องทดสอบความแข็งแรงผิวแบบวิกเกอร์ ข.) ลักษณะการกัดชิ้นงานที่หัวกดฐานพีระมิดสี่เหลี่ยมมีมุม 136 องศา.....	36
4.10 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีผลต่อความ แข็งแรง.....	37
4.11 แผนภูมิแสดงผลของการจำลองอุณหภูมิต่อความแข็งแรงผิวแบบวิกเกอร์.....	38
4.12 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงผิวแบบวิกเกอร์กับระยะเวลาการจำลอง การกัดกร่อนจากสารเคมีโดย ก.) วัสดุไม่เสริมแรง ข.) วัสดุเสริมแรง.....	40

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันผู้สูงอายุไทยมีจำนวนเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง ประเทศไทยเป็นประเทศลำดับที่สามในทวีปเอเชียที่โครงสร้างประชากรสูงอายุเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (รองจากประเทศญี่ปุ่นและเกาหลีใต้) ในปี 2557 มี 9 ล้านกว่าคน หรือร้อยละ 14 ของประชากร พบผู้สูงอายุที่มีฟันน้อยกว่า 20 ซี่ ร้อยละ 42 มีผู้สูงอายุที่จำเป็นต้องใส่ซี่ฟันเทียมทั้งปากจำนวน 236,000 ราย หรือร้อยละ 3 ของประชากรผู้สูงอายุ [1] ซี่ฟันเทียมทั้งหมดจะมีการสั่งซื้อต่างประเทศทำให้มีราคาสูง หากสามารถผลิตและพัฒนาซี่ฟันเทียมภายในประเทศ จะช่วยลดต้นทุนของซี่ฟันเทียมได้ ปัจจุบันมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยการนำพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Poly methyl methacrylate; PMMA) มาใช้ในงานผลิตซี่ฟันเทียม เป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีลักษณะโปร่งใสสามารถเติมสีให้คล้ายคลึงกับฟันจริงได้ มีความคงรูปดีมาก เป็นฉนวนไฟฟ้า ไม่ดูดซึมความชื้น ทนทานต่อการขีดข่วน ซ่อมแซมได้ง่ายและมีราคาไม่สูงมากเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่น แต่ข้อเสียของวัสดุชนิดนี้คือ มีสมบัติเชิงกลบางประการต่ำ (ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นต่ำ แข็งเปราะและมีความแข็งผิวต่ำ) [2] จึงทำให้สึกกร่อนได้ง่าย เป็นเหตุให้ซี่ฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตรับแรงดัดโค้งได้น้อย สึกเร็วและแตกหักได้ง่าย

จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีการปรับปรุงการผลิตจนถึงปัจจุบันมีการเสริมแรงด้วยวัสดุอัดแทรกชนิดอนุภาค เพื่อเพิ่มสมบัติของวัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ใช้ผลิตซี่ฟันเทียมให้มีความแข็งแรงมากขึ้น [3] เป็นสารจำพวกซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum oxide) เป็นต้น ในงานวิจัยนี้จะใช้อะลูมิเนียมออกไซด์เป็นวัสดุเสริมแรงให้กับซี่ฟันเทียมที่ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก [4]

นอกจากนี้ จะทำการขึ้นรูปฟันด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยความร้อน (Heat-curing) เพื่อศึกษาผลการผ่านการจำลองอุณหภูมิ (Thermocycling) ต่อซี่ฟันเทียม เป็นการจำลองอุณหภูมิภายในช่องปาก วิธีการคือ จะสลับอุณหภูมิระหว่าง 5 และ 55 องศาเซลเซียส โดยใช้รอบการสลับอุณหภูมิเทียบกับเวลาการใช้งาน ในงานวิจัยนี้จะใช้ 2,500 และ 5,000 รอบ เมื่อเทียบกับเวลาใช้งานจริงมาตรฐานเท่ากับ 3 เดือน และ 6 เดือนตามลำดับ แล้วทำการศึกษาค่าแรงสปันของซี่ฟันเทียม [5]

จากนั้นจะศึกษาผลของสารละลายและระยะเวลาของการทำงานต่อซีฟันเทียม โดยการนำซีฟันเทียมผ่านการจำลองอุณหภูมิจำนวน 2,500 รอบ แซ่สารละลาย 3 ชนิด ในระยะเวลาต่างๆ แล้วทำการวัดความแข็งแรงของซีฟันเทียม

เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาใช้วิธีการขึ้นรูปแบบการบ่มด้วยความร้อน เป็นวิธีที่ใช้เวลานานในการขึ้นรูปในแต่ละครั้ง งานวิจัยนี้จะมีการศึกษาเบื้องต้นของวิธีการขึ้นรูปแบบการบ่มด้วยตัวเอง (Self-curing) ของพอลิเมทิลเมทาคริเลต เพื่อลดเวลาในการขึ้นรูปของซีฟันเทียม โดยการนำซีฟันเทียมผ่านการจำลองอุณหภูมิ 2,500 และ 5,000 รอบ จากนั้นทำการศึกษาค่าแรงสปันของซีฟันเทียม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาแรงสปันของซีฟันเทียมที่ผ่านการขึ้นรูปขึ้นงานด้วยวิธีบ่มด้วยความร้อนและการบ่มด้วยตัวเอง ทั้งในสภาวะปกติและผ่านสภาวะจำลองการใช้งาน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการผ่านการจำลองอุณหภูมิและการจำลองการกัดกร่อนจากสารเคมีที่มีผลต่อความแข็งแรง

## 1.3 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

- 1.3.1 ตัวแปรต้น
  - 1.3.1.1 ชนิดของพอลิเมทิลเมทาคริเลตคือ พอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนและบ่มตัวด้วยตัวเอง
  - 1.3.1.2 ชนิดของสารละลาย (กาแฟ น้ำอัดลม และน้ำมะนาว โดยมีน้ำลายเทียมเป็นสารละลายควบคุม)
  - 1.3.1.3 ระยะเวลาในการแช่สารละลาย (1 3 7 14 และ 28 วัน)
  - 1.3.1.4 จำนวนรอบของการจำลองอุณหภูมิ (2,500 และ 5,000 รอบ)
- 1.3.2 ตัวแปรตาม
  - 1.3.2.1 ค่าแรงสปันของซีฟันเทียมที่สภาวะปกติและที่ผ่านการจำลองอุณหภูมิ
  - 1.3.2.2 ค่าความแข็งแรงของซีฟันเทียมการเปลี่ยนแปลงสภาพฟันผิวที่ผ่านการแช่สารละลายในสภาวะปกติและที่ผ่านการจำลองอุณหภูมิ
- 1.3.3 ตัวแปรควบคุม
  - 1.3.3.1 วัสดุเนื้อฟันคือ พอลิเมทิลเมทาคริเลต

- 1.3.3.2 อุณหภูมิในการขึ้นรูปซีฟีนเทียมชนิดที่ขึ้นรูปด้วยความร้อนคือ 100 องศาเซลเซียส
- 1.3.3.3 ระยะเวลาในการขึ้นรูปซีฟีนเทียมชนิดที่ขึ้นรูปด้วยความร้อนคือ 2 ชั่วโมง
- 1.3.3.4 ขนาดของชิ้นงานทดสอบ
- 1.3.3.5 ชนิดของวัสดุเสริมแรงคือ อะลูมิเนียมออกไซด์ ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

#### 1.4 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

- 1.4.1 อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- 1.4.2 คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร



## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โดยส่วนใหญ่แล้วซี่ฟันเทียมจะเป็นวัสดุจำพวกพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl Methacrylate) ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งแรงแต่เปราะแตกหักง่าย ทนความร้อนความเย็นได้ดี เป็นฉนวนนำไฟฟ้าที่ดี เกิดรอยขีดข่วนยาก และในปัจจุบันมีการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวัสดุเสริมแรงต่างๆ จำเป็นพวกอะลูมิเนียมออกไซด์ [5] เป็นวัสดุเสริมแรงที่มีความแข็งแรงมาก เมื่อมาผสมกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตซึ่งมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ไม่เกิดปฏิกิริยาในช่องปากแล้วสามารถนำมาใช้ในการขึ้นรูปซี่ฟันเทียมที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมได้

การศึกษาสมบัติของซี่ฟันเทียม จึงใช้พอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นวัสดุหลัก อะลูมิเนียมออกไซด์เป็นวัสดุเสริมแรง แล้วมีการผ่านจำลองการทดสอบโดยผ่านการจำลองอุณหภูมิและผ่านการจำลองการกัดกร่อนของสารเคมีที่ส่งผลต่อซี่ฟันเทียม เพื่อทำการการทดสอบทดสอบเชิงกล มีการทดสอบทดสอบแรงสับฟันและความแข็งผิว

#### 2.1.1 ซี่ฟันเทียม (Denture Teeth) [3,6]

ซี่ฟันเทียมที่มีสมบัติตามอุดมคติคือ ต้องมีรูปร่างและสีที่ไม่ต่างจากฟันธรรมชาติ เพื่อให้เกิดความสวยงาม เหมาะแก่การนำไปใช้งานและที่สำคัญคือ ต้องเข้ากันได้กับฐานฟันเทียม (Denture Base) ได้ดี เพื่อป้องกันการหลุดออกจากกันของซี่ฟันเทียมกับฐานฟันเทียม อีกทั้งยังต้องมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นสูง เพื่อต้านทานต่อการแตกหักและมีความแข็งที่เพียงพอต่อการป้องกันการสึกกร่อน ที่เกิดขึ้นในช่องปากและการสึกกร่อนที่เกิดจากการบดเคี้ยวอาหารที่มีความแข็งมาก แต่อย่างไรก็ตามซี่ฟันเทียมไม่ควรที่จะมีความแข็งมากเกินไป เพราะจะทำให้เกิดเสียงเมื่อมีการกระทบกันของฟันและทำให้ยากต่อการรื้อแต่งซี่ฟันของช่างทันตกรรมอีกด้วย

วัสดุที่ใช้ในการทำซี่ฟันเทียมจะสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ได้แก่ ซี่ฟันเทียมพอร์ซเลน (Porcelain) ซี่ฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตหรือซี่ฟันเทียมเรซินอะคริลิก (Acrylic Resin) และซี่ฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่มีการปรับปรุง (Improved Resin) ผลการทดสอบจากนักวิจัยพบว่าซี่ฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตมีความต้านทานต่อแรงดัดโค้งและการอัดที่สูงกว่าซี่ฟันเทียมพอร์ซเลน ทำให้ไม่เกิดการกระทบกระเทือนต่อเนื้อเยื่อใต้ฐานฟันเทียมและมีความสามารถยึดกับ

ฐานพื้นเทียมได้ดีด้วยพันธะเคมีแต่มีข้อด้อยคือ มีความแข็งผิวต่ำกว่าซีพียูพื้นเทียมพอร์ซเลน สามารถดูดซึ่มสารละลายได้ จึงอาจทำให้สีของพื้นเปลี่ยนแปลงไปเมื่อใช้งานเป็นเวลานาน อย่างไรก็ตามยังมีนักวิจัยพยายามที่จะปรับปรุงคุณสมบัติของซีพียูพื้นเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น

## 2.1.2 สารตั้งต้นในการผลิตซีพียูพื้นเทียม

### 2.1.2.1 พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl Methacrylate; PMMA)

พอลิเมทิลเมทาคริเลตจัดเป็นพอลิเมอร์ในกลุ่มของเทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting plastic) ซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ  $C_5H_8O_2$  พอลิเมทิลเมทาคริเลตมีสมบัติเด่นคือ มีความมันเงา ความหนาแน่นต่ำ จึงทำให้น้ำหนักเบาและสามารถขึ้นรูปได้ง่าย พลาสติกชนิดนี้จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้งานหลายอย่าง เช่น วัสดุทางการแพทย์และวัสดุทางทันตกรรม เป็นต้น พอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถเตรียมได้จากการนำมอนอเมอร์ของเมทิลเมทาคริเลต (Methyl Methacrylate, MMA) มาทำปฏิกิริยากันแล้วเกิดเป็นพอลิเมทิลเมทาคริเลต

แนวโน้มการนำพอลิเมทิลเมทาคริเลตมาใช้งานสูงขึ้นในอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้งานหลายอย่างไม่ว่าจะเป็นเครื่องประดับ อุปกรณ์สำนักงาน แม้กระทั่งวัสดุทางทันตกรรม เนื่องจากคุณสมบัติของพอลิเมทิลเมทาคริเลต [8] ที่มีความทนทานสูง มันเงา แต่จัดเป็นวัสดุที่แข็งเปราะ มีความต้านทานแรงกระแทกและแรงดัดโค้งต่ำ ซึ่งสามารถสรุปคุณสมบัติทางกลของพอลิเมทิลเมทาคริเลตได้ดังตารางที่ 2.1

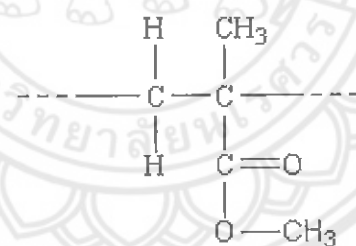
ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติทางกลของพอลิเมทิลเมทาคริเลต [7]

สมบัติเชิงกล	ข้อมูล
โมดูลัสของยัง (Young's Modulus)	1,800 – 3,100 MPa
โมดูลัสแรงเฉือน (Shear Modulus)	1,700 MPa
แรงอัด (Compressive Strength)	83 - 124 MPa
แรงดัดโค้ง (Bending Strength)	120 - 148 MPa
แรงกระแทก (Impact Strength)	0.16 - 0.27 J/cm <sup>2</sup>

ในทางทันตกรรม ได้มีการนำพอลิเมทิลเมทาคริเลตมาประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากพอลิเมทิลเมทาคริเลต มีความแข็งและความหนาแน่นต่ำ แต่สามารถเข้ากันได้กับอวัยวะในช่องปาก โดยไม่

เกิดการระคายเคือง ดุคน้ำน้อย ไม่ละลายในน้ำหรือน้ำลาย ทนต่อแรงบดเคี้ยว ไม่แตกหักหรือเปลี่ยนรูปร่าง ดังนั้นจึงนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุทันตกรรม

โครงสร้างทางเคมีของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นอนุพันธ์ของเอซิลีนและมีกลุ่มไวนิล (Vinly Group) อยู่ในโครงสร้างอนุกรมของพอลิเมทิลเมทาคริเลต ที่เกี่ยวข้องกับทางทันตกรรมมีอย่างน้อย 2 อนุกรม คือ อนุกรมที่ได้จากการต่อะคริลิก ( $\text{CH}_2=\text{CHCOOH}$ ) กับอนุกรมจากกรดเมทาคริลิก ( $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOH}$ ) สารประกอบของอนุกรมทั้งสองได้จากการพอลิเมอไรเซชันแบบรวมตัว (Addition Polymerization) เป็นปฏิกิริยาที่เติมอนุมูลอิสระ (Free radical) หรือไอออน (Ion) เข้าไปในโมเลกุล ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นและดำเนินต่อเนื่องกันเป็นลูกโซ่ (Chain reaction) พอลิเมทิลเมทาคริเลตสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ทั้งในแบบอนุมูลอิสระและแบบไอออนลบ แต่จะไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ในแบบไอออนบวก เนื่องจากหมู่เอสเทอร์ที่เป็นหมู่แทนที่ในโมเลกุลมอนอเมอร์ จะมีลักษณะเป็นหมู่ที่ดึงอิเล็กตรอน (Electron Withdrawing Group) ซึ่งจะช่วยให้สารว่องไวปฏิกิริยาที่เป็นอนุมูลอิสระและไอออนลบ มีความเสถียร เกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้ว ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างพันธะกับน้ำที่มีสภาพความมีขั้วเช่นเดียวกันได้จากมอนอเมอร์ที่หลีกเลี่ยงการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของพอลิเมทิลเมทาคริเลต [9]

### 2.1.2.2 อะลูมิเนียมออกไซด์ Aluminium oxide: $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) [6]

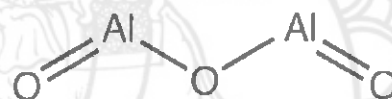
อะลูมิเนียมออกไซด์มีชื่อเรียกทางธรรมชาติว่า คอรันดัม ซึ่งเป็นแร่ที่ไม่บริสุทธิ์รู้จักกันดีในรูปของวัสดุที่ใช้ในการขัดถู โดยคอรันดัมจะรวมถึงแร่อะลูมิเนียมซิลิเกต (Andalusite, Silimanate) และไคยาไนท์ (Kayanite) ซึ่งแร่อะลูมิเนียมซิลิเกตโดยมีความเสถียรที่ความดันและอุณหภูมิต่ำ ตรงกันข้ามกับแร่ Silimanate ซึ่งเสถียรที่อุณหภูมิสูง (Ring, 1996) สำหรับอะลูมิเนียมออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) เป็นวัสดุหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากมีมูลค่าสูงเนื่องจากมีสมบัติที่



โดดเด่นหลายด้าน เช่น มีจุดหลอมเหลวที่สูง มีความแข็งสูงและมีเสถียรรูปทางเคมีที่สูง [9] ซึ่ง อะลูมิเนียมออกไซด์เป็นสารที่มีความเหนียวมากและทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดและด่างได้ดี

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติของอะลูมิเนียมออกไซด์ (Nicholas P. Cheremisinoff, 1990) [9]

สมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมออกไซด์	ข้อมูล
ความหนาแน่น ( $\text{g/cm}^3$ )	3.96
จุดหลอมเหลว ( $^{\circ}\text{C}$ )	2,054
โมดูลัสความยืดหยุ่น (GPa)	520
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน ( $10^{-6} / \text{K}$ )	8.5
ความแข็ง (GPa)	20



รูปที่ 2.2 โครงสร้างอะลูมิเนียมออกไซด์

ในทางทันตกรรมได้มีการนำอะลูมิเนียมออกไซด์มาประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากมีความแข็งสูง มีความหนาแน่นสูง มีความต้านทานต่อการขีดสีและการสึกกร่อนสูง ทนต่อสารเคมีเป็นฉนวนไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงได้ดีและไม่ละลายน้ำ ดังนั้นจึงนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงทางทันตกรรม

### 2.1.3 วัสดุเชิงประกอบ (Composite Material) [9,10]

วัสดุเชิงประกอบคือ วัสดุที่มีองค์ประกอบทางเคมีหรือโครงสร้างแตกต่างกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมกัน ซึ่งวัสดุที่ได้จะมีสมบัติของวัสดุเริ่มต้นรวมกัน โดยทั่วไปแล้ววัสดุเชิงประกอบจะประกอบด้วยวัสดุตัวหนึ่งที่ทำหน้าเป็นเนื้อหลักหรือเมทริกซ์ (Matrix) และวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นเฟสที่กระจายตัวอยู่ (Dispersed Phase) ในเมทริกซ์นั้นหรืออาจเรียกว่าเป็นเฟสเสริมแรง (Reinforced Phase) ตัวอย่างของวัสดุเชิงประกอบที่พบในธรรมชาติ เช่น ไม้ ซึ่งเป็นวัสดุเชิงประกอบระหว่างลิกนิน (Lignin) กับเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fiber) หรือกระดูกซึ่งเป็นคอมโพสิตระหว่างแร่อะพาไทต์ (Apatite) กับโปรตีนคอลลาเจน (Collagen) เป็นต้น ในส่วนของวัสดุเชิงประกอบสังเคราะห์นั้น จะถูก

เตรียมขึ้นมาเพื่อให้มีสมบัติที่ดี เหมาะกับการใช้งานเฉพาะทางโดยสมบัติของวัสดุเชิงประกอบที่ได้จะขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุเริ่มต้น อัตราส่วนของวัสดุเริ่มต้นแต่ละชนิดและลักษณะของเฟสที่กระจายตัวอยู่ส่งผลต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบจะเห็นได้ว่าถึงแม้จะเป็นวัสดุเชิงประกอบที่เกิดจากเมทริกซ์และเฟสที่กระจายตัวอยู่ชนิดเดียวกัน แต่ถ้ามีความเข้มข้น (ปริมาณ) ขนาด รูปร่าง ลักษณะการกระจายหรือการจัดเรียงตัวของเฟสที่กระจายตัวอยู่แตกต่างกันแล้ววัสดุเชิงประกอบที่ได้จะมีสมบัติที่ไม่เหมือนกัน

#### 2.1.4 วิธีการขึ้นรูปซีฟีนเทียม

##### 2.1.4.1 การขึ้นรูปซีฟีนเทียมด้วยวิธีบ่มตัวด้วยความร้อน (Heat-Cure)

การขึ้นรูปซีฟีนเทียมด้วยวิธีบ่มตัวด้วยความร้อนคือ การใช้ปูนปลาสเตอร์วางลงภาชนะเข้าหล่อแบบ เมื่อเข้าหล่อแบบแข็งตัวจึงใส่ซีฟิ่งทางทิศตรงข้ามบนเข้าหล่อแบบ จากนั้นนำเข้าหล่อแบบไปต้มในหม้อต้มเพื่อไล่ซีฟิ่งทางทิศตรงข้ามที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นใส่พอลิเมทิลเมทาคริเลตไปยังเข้าหล่อแบบ จากนั้นนำไปอัดความดันด้วยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิกด้วยความดัน 100 บาร์ แล้วนำไปบ่มด้วยเครื่องบ่มความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้พอลิเมทิลเมทาคริเลตทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันกับมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลต แล้วแข็งตัวจากความร้อนจนได้ชิ้นงาน

##### 2.1.4.2 การขึ้นรูปซีฟีนเทียมด้วยวิธีบ่มตัวด้วยตัวเอง (Self-Cure)

การขึ้นรูปซีฟีนเทียมด้วยวิธีบ่มตัวด้วยตัวเอง มีกระบวนการเตรียมเข้าหล่อแบบคล้ายคลึงกับวิธีบ่มตัวด้วยความร้อน จากนั้นนำไปอัดความดันด้วยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิกด้วยความดัน 100 บาร์ หลังจากนั้นรอเวลา 3 - 5 นาที เพื่อให้พอลิเมทิลเมทาคริเลตทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันกับมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลต แล้วแข็งตัวจนได้ชิ้นงาน

#### 2.1.5 การจำลองกระบวนการใช้งาน

##### 2.1.5.1 การจำลองอุณหภูมิ

อ่างควบคุมอุณหภูมิร้อนเย็นเป็นจังหวะ (Thermal Cycling Machine) [5] เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของวัสดุในสภาพจำลองการจำลองอุณหภูมิในช่องปากที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร้อนเย็น ก่อนนำไปทดสอบคุณสมบัติด้านอื่นๆ ของวัสดุจะมีลักษณะเป็นอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเพื่อจำลองการจำลองอุณหภูมิของวัสดุที่อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิในช่องปากที่มีช่วง

อุณหภูมิ 5 ถึง 55 องศาเซลเซียส ในเงื่อนไขที่อุณหภูมิห้องที่เครื่องติดตั้งอยู่มีค่าไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส ซึ่งประกอบด้วยอ่างน้ำร้อน 1 อ่าง อ่างน้ำเย็น 1 อ่าง และเครื่องสลับตำแหน่งชิ้นงานที่มีแกนตะกร้าใส่วัสดุในลักษณะตะขอแขวนที่สามารถรับน้ำหนักวัสดุในตะกร้าได้ถึง 1 กิโลกรัม สามารถเคลื่อนไปมาและขึ้นลงในอ่างน้ำ 2 อ่าง ด้วยอัตราเร็วคงที่และสามารถตั้งระยะเวลาตะกร้าลงในอ่างน้ำ (Dipping Time) และระยะเวลาที่ตะกร้าพ้นจากอ่างน้ำก่อนลงแช่ต่อไป (Stand by Time) ได้ในช่วง 0 ถึง 9,999 วินาที ช่วงเวลาเร็วสุดของการเคลื่อนที่เมื่อครบรอบคือ 4 วินาที

การจำลองลักษณะการใช้งานของซีฟันเทียมและฐานฟันเทียม ในช่องปากของคนเรามีการใช้งานที่หลากหลายกล่าวคือ การรับประทานอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีอุณหภูมิที่ต่างกันนั้น มีผลกระทบอย่างมากต่อซีฟันเทียมและฐานฟันเทียม ดังนั้นจึงมีทดสอบด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบร้อนเย็นเป็นจังหวะ (Thermal Cycling Machine) โดยมีหลักการคือ เป็นเครื่องมือที่จัดสร้างเพื่อใช้จำลองการเปลี่ยนแปลงสภาวะอุณหภูมิร้อนเย็นภายในช่องปาก เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านต่างๆ ของทันตวัสดุหรือฟัน โดยการให้วัสดุแช่ในน้ำหรือสารละลายที่มีอุณหภูมิต่ำสลับกับการแช่ในน้ำหรือสารละลายที่มีอุณหภูมิสูงตามจำนวนรอบที่กำหนด

#### 2.1.5.2 การจำลองการกัดกร่อนจากสารเคมี [11]

การจำลองการกัดกร่อนจากสารเคมีคือ การที่สารละลายถูกโมเลกุลของน้ำแทรกเข้ามาในเนื้อซีฟันเทียม อาจเกิดจากมอนอเมอร์ที่เหลือยู่จากการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่มีสภาพเป็นขี้ ทำให้น้ำซึมเข้ามาได้ โดยการเกิดปฏิกิริยานี้มีผลกระทบทางสมบัติทางกลและทางเคมี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาด รูปร่าง และเกิดการกัดกร่อนของวัสดุซีฟันเทียม

ฟันของมนุษย์ทั้งฟันแท้และฟันเทียมล้วนต้องเจอกับอาหารที่หลากหลาย ทั้งที่เป็นกรดเบสหรืออาหารที่มีส่วนผสมของสารเคมีบางตัวอยู่และเมื่อฟันได้รับการสะสมของสารเหล่านี้มากขึ้นส่งผลให้ซีฟันเกิดการสึกกร่อนจากสารเคมี เช่น การดื่มหรือรับประทานอาหารที่มีรสเปรี้ยว คุณสมบัติเป็นกรด เช่น โซดา มะนาวและกาแฟ เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนได้แล้วส่งผลทำให้ซีฟันมีความแข็งแรงลดน้อยลงตามอายุการใช้งาน

#### 2.1.6 การทดสอบ

##### 2.1.6.1 การทดสอบเชิงกล

การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุเป็นสิ่งที่ยกสมบัติของวัสดุเพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน โดยสมบัติเชิงกลที่นิยมและถูกนำมาใช้ในการทดสอบพอลิเมอไรเซชัน ได้แก่

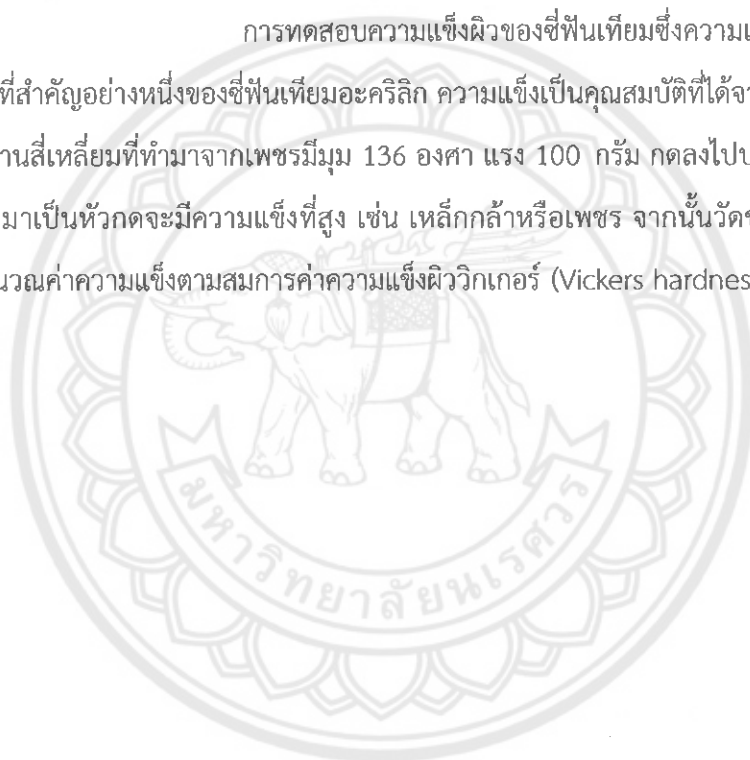
#### 2.1.6.1.1 การทดสอบแรงสปิ้น [12]

การทดสอบแรงสปิ้นเป็นการหาแรงที่ใช้ในการบิดเคี้ยวสูงสุดที่ซี่ฟันเทียมสามารถทนรับแรงได้ซี่ฟันเทียมชนิดถอดได้รับแรงสูงสุดได้ประมาณ 1.245 – 4.4 กิโลนิวตัน

การทดสอบแรงสปิ้นจะใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุแบบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) โดยจะเพิ่มแรงกดที่กระทำต่อซี่ฟันเทียมจนรูปร่างของซี่ฟันเทียมเปลี่ยนแปลงไป (แตก)

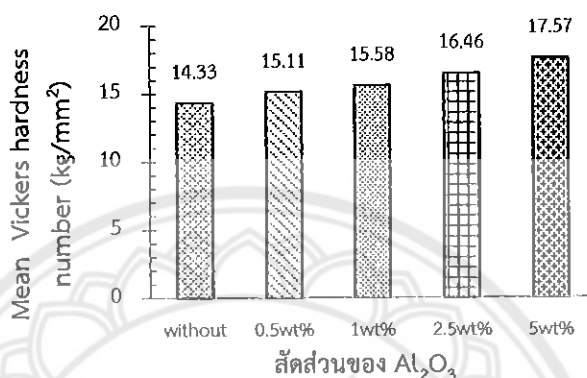
#### 2.1.6.1.2 การทดสอบความแข็งผิว [11,13]

การทดสอบความแข็งผิวของซี่ฟันเทียมซึ่งความแข็งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญอย่างหนึ่งของซี่ฟันเทียมอะคริลิก ความแข็งเป็นคุณสมบัติที่ได้จากการวัดโดยใช้หัวกดพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมที่ทำมาจากเพชรมีมุม 136 องศา แรง 100 กรัม กดลงไปบนผิวของวัสดุนั้น โดยวัสดุที่นำมาเป็นหัวกดจะมีความแข็งที่สูง เช่น เหล็กกล้าหรือเพชร จากนั้นวัดขนาดของรอยกดแล้วนำไปคำนวณค่าความแข็งตามสมการค่าความแข็งผิววิกเกอร์ (Vickers hardness Tester)



## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

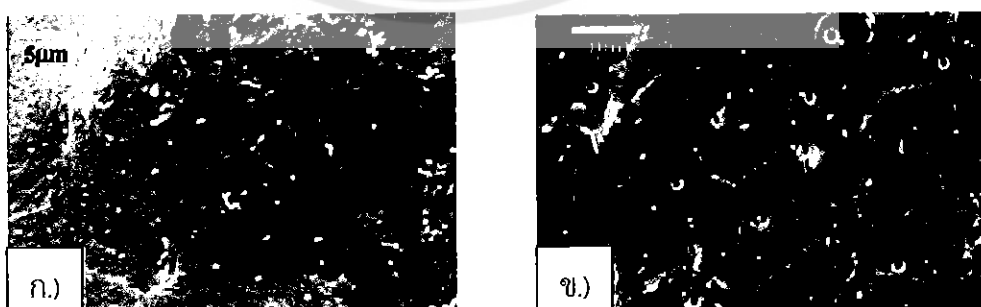
Vojdani M. และคณะ [13] ได้ศึกษาผลกระทบของความแข็งผิว (Surface Hardness) เมื่อเติม อะลูมิเนียมออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 Unalan F. และคณะ ก็ได้ศึกษาผลของการเติม ไมก้า (Mica) และแก้ว (Glass) ต่อความแข็งผิวของซีฟีนเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลต



รูปที่ 2.3 แสดงความแข็งของซีฟีนเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ [13]

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของอะลูมิเนียมออกไซด์ จะส่งผลให้ค่าความแข็งผิวและค่าความต้านทานแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้น โดยที่อะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักจะทำให้พอลิเมทิลเมทาคริเลตสามารถต้านทานแรงดัดโค้งและมีความแข็งผิวที่มากที่สุด

จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักการกระจายตัวสม่ำเสมอมากกว่าการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 2.4 ผลการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของตัวอย่างเรซินอะคริลิก [13] ก.) เติมอะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก ข.) เติมอะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

Mese A. และคณะ [14] ได้ศึกษาผลกระทบของระยะเวลาในการจัดเก็บต่อความต้านทานแรงดัดโค้งและความแข็งผิวของซีฟันเทียมที่ทำมาจากซิลิกอนและอะคริลิกชนิดขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มด้วยความร้อน ตัวอย่างทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ถูกแช่ในน้ำ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน 3 เดือน และ 6 เดือน จากนั้นจะใช้ตัวอย่างทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้งจำนวน 10 ตัวอย่าง ขนาด  $10 \times 10 \times 3$  มิลลิเมตร ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุแบบอเนกประสงค์ ใช้ความเร็ว 20 มิลลิเมตรต่อนาที และตัวอย่างทดสอบความแข็งผิวจำนวน 10 ตัวอย่าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร และสูง 12 มิลลิเมตร ทดสอบโดยเครื่องทดสอบความแข็งยางและพลาสติก ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างที่แช่น้ำเป็นระยะเวลานานความต้านทานแรงดัดโค้งและความแข็งผิวจะมีค่าลดลง

Juan I. และคณะ [15] ได้ศึกษาผลของการจำลองอุณหภูมิต่อความเหนียวและความแข็งผิวของซีฟันเทียม ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 20 ชิ้น 15 ชิ้น จะผ่านการจำลองอุณหภูมิ 2,000 รอบ และอีก 5 ชิ้น ไม่ผ่านการจำลองอุณหภูมิ ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุแบบอเนกประสงค์ ผลการทดลองพบว่าชิ้นงานตัวอย่างส่วนใหญ่เมื่อผ่านการจำลองอุณหภูมิแล้วทำให้สมบัติของซีฟันเทียมลดลง แต่มีบางชิ้นเมื่อผ่านการจำลองอุณหภูมิแล้วทำให้สมบัติเชิงกลสูงขึ้น

Wongkhantee S. และคณะ [16] วิจัยทำการเปรียบเทียบเครื่องดื่ม 5 ชนิด คือ น้ำดื่ม โคล่า โยเกิร์ต น้ำส้ม เครื่องดื่มชูกำลังและน้ำดื่มยาคูทัง ทั้ง 5 ชนิดนี้จะมีการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายให้มีความเข้มข้นที่เท่ากันตลอดการทดลอง โดยมีตัวควบคุมคือ การแช่ในน้ำลายเทียม

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างความเป็นกรดของสารละลาย [16]

Food/drink	pH
Cola soft drink	2.74
Orange juice	3.75
Sports Drink	3.78
Drinking Yogurt	3.83
Tom-yum soup	4.20

หลังจากนั้นทำการวัดความแข็งผิวโดยใช้วิธีของวิกเกอร์ โดยกดน้ำหนักที่ 100 กรัม ในเวลา 15 วินาที ซึ่งสรุปได้ว่าการแช่ในโคล่าทำให้มีการกัดกร่อนถึง 3 ชั้นของเนื้อฟันคือ ชั้นเคลือบผิวฟัน ชั้นเนื้อฟันและชั้นรากฟัน ส่วนน้ำส้มและเครื่องดื่มชูกำลังทำให้มีการกัดกร่อนถึง 2 ระดับ คือ ชั้นของเนื้อฟันคือ ชั้นเคลือบผิวฟัน สูดท้ายโยเกิร์ตและน้ำดื่มย่ำกึ่ง ทำให้มีการกัดกร่อน 1 ชั้น คือ ชั้นเคลือบผิวฟัน

Eygen I. V. และคณะ [17] ทำการทดสอบความแข็งผิววิธีน็อฟ ฮาร์ดเนส (Knoop Hardness) ซึ่งผ่านการจำลองการกัดกร่อนจากสารเคมี ก่อนการวัดความแข็งผิวได้มีการจำลองการกัดกร่อนจากสารเคมี มีการหาความแตกต่างของการจำลองการกัดกร่อนจากสารเคมี 4 ตัวอย่าง คือ 1). จำลองในโคล่าโคล่า 20 นาที หลังจากนั้นจำลองในน้ำเทียม 1 ชั่วโมง กลุ่ม 2). จำลองเช่นเดียวกับกลุ่ม 1 แต่ทำซ้ำ 2 ครั้ง 3). จำลองเช่นเดียวกับกลุ่มที่ 1 แต่ทำซ้ำ 3 ครั้ง 4). จำลองซี่ฟันเทียมในโคล่าโคล่า 1 นาที สลับกับจำลองในน้ำลายเทียม 3 นาที ทำซ้ำจนครบ 20 นาที ทั้ง 4 กลุ่มนี้ทำการจำลองต่อ 1 วัน ซึ่งทำการจำลองทั้งหมด 1 3 และ 7 วัน แล้วทำการวัดความแข็งผิว ซึ่งผลการทดลองออกมาว่าในกลุ่มที่ 1 - 3 มีค่าความแข็งผิวที่ใกล้เคียงกัน จำนวนรอบที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการจำลองการกัดกร่อน แต่กลุ่มที่ 4 มีค่าความแข็งผิวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

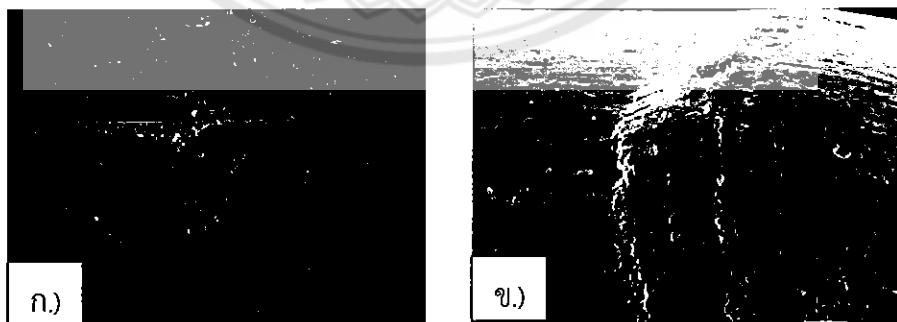
Neppelenbroek K. และ Wergani C. [18] จัดทำการศึกษาเกี่ยวกับการหาค่าความแข็งผิวของพอลิเมอร์อะคริลิกเรซินหลังจากผ่านการฆ่าเชื้อและการแช่น้ำในระยะยาว แล้วทำการวัดความแข็งผิวด้วยวิธีของวิกเกอร์ การเตรียมตัวอย่างโดยใช้ พอลิเมทิลเมทาคริเลต ด้วยวิธีการบ่มความร้อน จัดถูกเก็บไว้ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วไปทำการทดสอบความแข็งผิวของวิกเกอร์ ก่อนที่จะฆ่าเชื้อโรคโดยแช่ในสารละลาย Chlorhexidine 4% ใน 10 นาที ต่อมาแช่ในน้ำอีก 3 นาที ทำซ้ำครบทั้ง 4 ครั้ง นับเป็น 1 วัฏจักร โดยกลุ่มควบคุมจะไม่มี การฆ่าเชื้อ แต่แช่ในน้ำเป็นเวลา 56 นาที ใน 1 วัฏจักร การทดสอบความแข็ง ได้ดำเนินการหลังจาก 15 30 60 และ 120 วันของการจัดเก็บ พบว่าจากการฆ่าเชื้อแล้วนำไปทดสอบในวันที่ 15 มีค่าความแข็งลดลงอย่างต่อเนื่อง จนถึงวันที่ 60 เริ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความแข็งผิวมากนัก

กาญจนพร มิ่งมงคลชัยกุล และปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล [19] ศึกษาความแข็งผิวเพื่อเปรียบเทียบระหว่างซี่ฟันเทียมอะคริลิกชนิดเทอร์โมพลาสติกกับซี่ฟันเทียมอะคริลิกที่ผลิตจากบริษัทต่างกัน ซึ่งได้แก่ เมเจอร์เดนท ออร์โทแล็กซ์ที่อปและยามาฮาซิเอฟเอ็กซ์การทดสอบใช้เครื่องทดสอบความแข็งผิวแบบจุลภาคกดด้วยแรง 300 กรัม นาน 15 วินาที ซึ่งยามาฮาซิเอฟเอ็กซ์มีค่าความแข็งผิวสูงสุด รองลงมาคือ ออร์โทแล็กซ์ที่อป เมเจอร์เดนทและฟันอะคริลิกเทอร์โมพลาสติก ตามลำดับ

Pinto J. และคณะ [20] ศึกษาผลกระทบของการจำลองอุณหภูมิต่อความแข็งแรงของซีฟันเทียม วัสดุที่ใช้คือ อะคริลิกเรซินและซิลิกอนโดยตัดชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส 20 ตารางมิลลิเมตร (10 มิลลิเมตร x 10 มิลลิเมตร) และทรงกระบอก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร x สูง 19.0 มิลลิเมตร) ผ่านการจำลองอุณหภูมิ 3,000 รอบ และมีกลุ่มควบคุมเป็นการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวัดความแข็งแรงพบว่าซีฟันเทียมกลุ่มควบคุมที่แช่น้ำมีความแข็งแรงมากกว่าซีฟันเทียมที่ผ่านการจำลองอุณหภูมิประมาณร้อยละ 9

Wirley G.A. DDS และคณะ [21] ได้ศึกษาผลของระยะเวลาการแช่น้ำลายเทียมและการจำลองอุณหภูมิต่อความแข็งแรงของซีฟันเทียม ทำการทดลองโดยการแช่น้ำลายเทียมที่อุณหภูมิร่างกาย (37 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 15 30 และ 60 วัน เทียบกับการจำลองอุณหภูมิที่ 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 5,000 รอบ จากนั้นนำไปวัดความแข็งแรงพบว่าซีฟันเทียมกลุ่มควบคุมที่แช่น้ำมีความแข็งแรงมากกว่าซีฟันเทียมที่ผ่านการจำลองอุณหภูมิ

Dominic A.S. และคณะ [22] ได้ศึกษาผลกระทบของการจำลองอุณหภูมิต่อคุณสมบัติทางกล และการเปลี่ยนแปลงสภาพผิวของรากฟันพลาสติกผสมเส้นใยแก้ว โดยการจำลองอุณหภูมิ 10,000 รอบ เมื่อเทียบกับเวลามาตรฐานคือ 1 ปี และมีชุดควบคุมคือ ชิ้นงานที่ตั้งอยู่อุณหภูมิร่างกาย (37 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 1 ปี จากนั้นนำมาวัดค่าความแข็งแรงพบว่ารากฟันกลุ่มควบคุมที่ตั้งไว้มีความแข็งแรงมากกว่าซีฟันเทียมที่ผ่านการจำลองอุณหภูมิและนำมาส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าชิ้นงานที่ตั้งอยู่อุณหภูมิร่างกายมีลักษณะโค้งงอของชิ้นงาน ส่วนชิ้นงานที่ผ่านการจำลองอุณหภูมิมิมีลักษณะแตกหักอย่างเห็นได้ชัด

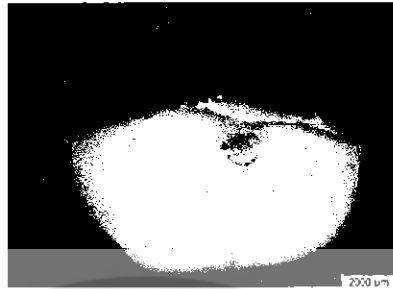


รูปที่ 2.5 ลักษณะของพื้นผิวของชิ้นงาน ก.) ตั้งอยู่อุณหภูมิร่างกาย ข.) ผ่านการจำลองอุณหภูมิ [22]

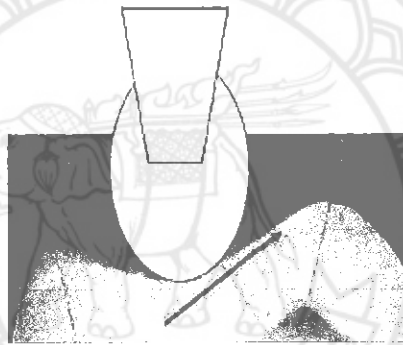
Heintze S.D. และคณะ [23] ศึกษาวิธีใหม่ในการทดสอบการแตกหักของเซรามิคครอบฟันที่มีการจำลองการเคี้ยวซีฟันเทียมแบบฟันกราม 16 ซี่ ใช้น้ำหนักกด 3 เฟส เริ่มที่ 3 กิโลกรัม 5 กิโลกรัม และ 9 กิโลกรัม ผ่านการจำลองอุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 417



รอบ พบว่า สองเฟสแรกซีฟีนเทียมเกิดการแตกหัก 50 เปอร์เซ็นต์ของผิวชิ้นงาน เมื่อให้แรงกดจนถึง 9 กิโลกรัมพบว่าผิวของชิ้นงาน 75 เปอร์เซ็นต์มีการแตกหัก

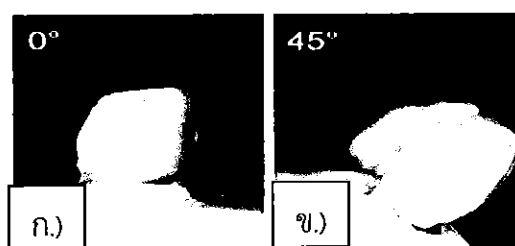


รูปที่ 2.6 ลักษณะการแตกหักของซีฟีนเทียม [23]



รูปที่ 2.7 ภาพตัดขวางของชิ้นงานทดสอบกับจุดรับแรงกดจากเครื่องทดสอบ [23]

Koutayas S. และคณะ [24] ศึกษาการออกแบบและรูปแบบของการโหลดที่มีผลต่อความแข็งแรงของเซรามิกเรซินในซีฟีนเทียมบางส่วน ที่เป็นแกนคู่ จำลองการเคี้ยว เมื่อเติมเซรามิกอะลูมิเนียมออกไซด์ ( $Al_2O_3$ ) ใช้ฟัน 48 ซี่ โดย 24 ซี่ ในการออกแบบใช้ตัวยึด 2 ตัว และ 24 ซี่ ใช้ตัวยึด 1 ตัว มีองศาการวางซีฟีนที่ 0 องศา และ 45 องศา การทดสอบความแข็งแรงของแตกหักโดยการควบคุมจังหวะที่ความเร็ว 2 มิลลิเมตรต่อนาที จนกว่าจะแตกหัก ในแกนคู่การจำลองการเคี้ยวจนเกิดการแตกหัก จุดแข็งของการแตกหักภายใต้การโหลด 45 องศา อยู่ระหว่าง 134 นิวตันและ 174 นิวตัน องศาการวางซีฟีนที่ 0 องศาประมาณ 233 นิวตัน พบว่าทิศทางของการวางซีฟีนมีผลต่อความแข็งแรงของการแตกหัก ดังแสดงในรูปที่ 2.8-2.9



รูปที่ 2.8 องศาการวางซีฟันทึ; ก.) 0 องศาและ ข.) 45 องศา [24]



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างภายใต้แรงกดลักษณะการวาง 45 องศา [24]

Guo J. และคณะ [25] ศึกษาการตรวจสอบพฤติกรรมการสึกหรอพื้นเทียมเซรามิกพอร์ซเลนผสมกับโลหะในระหว่างการจำลองการเคี้ยว การทดสอบในโปรแกรมจำลองการเคี้ยว ใช้โลหะชนิดสแตนเลสเป็นตัวอย่าง ใช้แรงกดแบบไดนามิกในการจำลองเคี้ยวด้วยแรง 350 นิวตัน นำตัวอย่างชุดแรก 20 ซี ไปผ่านการจำลองอุณหภูมิที่มีอุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน  $2.6 \times 10^6$  รอบ ตัวอย่างชุดที่สอง 20 ซี แช่น้ำกลั่น 30 วันจากนั้นนำไปทดสอบแรงสับฟันพบว่าตัวอย่างชุดแรกเกิดการสึกหรออย่างรุนแรงจนเกิดรอยแตกมากกว่าตัวอย่างชุดที่สอง

Heintze S.D. และคณะ [26] ศึกษาผลกระทบจากการทดสอบการแตกหักของเซรามิกครอบฟันที่มีการจำลองการเคี้ยวโหลดที่แตกต่างกันโดยใช้ฟันกราม 24 ซี พอลิเมอร์ชนิดพอลิเมทิลเมทริเลต น้ำหนักโหลดที่ 20 25 และ 50 นิวตัน มีความเร็วทดสอบ 10 มิลลิเมตรต่อนาที ผ่านการจำลองอุณหภูมิ ที่ 5 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุแบบอเนกประสงค์ พบว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของฟันกรามมีการแตกหักเพียงเล็กน้อยที่โหลด 20 และ 25 นิวตัน เมื่อเพิ่มโหลดจนถึง 50 นิวตัน พบว่าฟันกรามเกิดการแตกหักสูงสุด

### บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลและเชิงเคมีของวัสดุซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยความร้อนและบ่มด้วยตัวเอง สำหรับวัสดุซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยความร้อนโดยศึกษาความแข็งผิวที่เปลี่ยนแปลงไปหลังแช่สารละลายและผ่านการจำลองอุณหภูมิของซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ปรับปรุงด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ซึ่งเป็นวัสดุเสริมแรงร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก และศึกษาสมบัติของแรงสปฟันของซีฟันเทียมที่ผ่านสภาวะจำลองการนำไปใช้งาน เพื่อหาแรงบดเคี้ยวสูงสุดที่ซีฟันเทียมสามารถรับแรงได้และสำหรับวัสดุซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยตัวเองจะศึกษาสมบัติของแรงสปฟันของซีฟันเทียมที่ผ่านการจำลองอุณหภูมิ เพื่อเป็นการศึกษาเบื้องต้นของวัสดุซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยตัวเอง

#### 3.1 การเตรียมชิ้นงานซีฟันเทียม

##### 3.1.1 วัสดุและสารเคมี

- 1). ผงพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยความร้อนและบ่มด้วยตัวเองยี่ห้อ MAJOR DENT เฉดสี 4F (อิตาลี) ผลิตโดยบริษัท MAJOR C&B DENTINE
- 2). เมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยความร้อนและบ่มด้วยตัวเองยี่ห้อ MAJOR DENT ผลิตโดยบริษัท MAJOR C&B DENTINE
- 3). อะลูมิเนียมไดออกไซด์ ขนาด 40 ไมโครเมตร
- 4). ปูนพลาสติก ยี่ห้อ ช้างคู่ ผลิตโดย บริษัท ช้างคู่ จำกัด
- 5). ซีฟ้ังทางทันตกรรมยี่ห้อ MAJOR DENT
- 6). วาสลิน
- 7). กาวแยก
- 8). ไขว้สำหรับทาเครื่องขัดเงา
- 9). ซิลิโคนยี่ห้อฟอร์คอน-ดี
- 11). แป้งมันยี่ห้อเหรียญคู่

### 3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

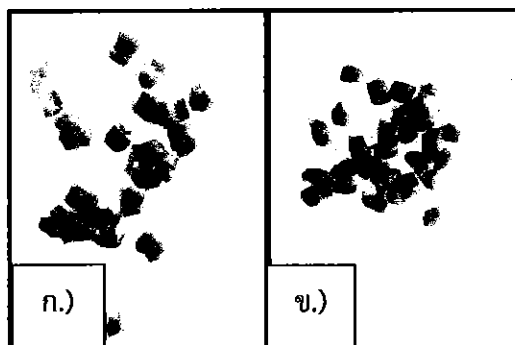
- 1). ถุงมือ
- 2). กรรไกร
- 3). เครื่องชั่ง
- 4). กระบอกตวง
- 5). มีดตัดซีฟิ่งทันตกรรม
- 6). ถ้วยผสมปูนปลาสเตอร์
- 7). เครื่องต้มไล่ซีฟิ่งทางทันตกรรม
- 8). เครื่องขัดผิววัสดุ รุ่น D-88299 Leutkirch im Allgau
- 9). เครื่องเขย่าปูนปลาสเตอร์
- 10). เครื่องอัดไฮดรอลิก ขนาด 400 บาร์
- 11). เครื่องบ่มอะคริลิกด้วยความร้อน
- 12). ฟลาสก์โลหะสำหรับทำเบ้าหล่อแบบขึ้นงาน

### 3.1.3 วิธีการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงสับฟันของซีฟิ่งเทียมขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มตัวด้วยความร้อน (Heat-Cure)

#### 3.1.3.1 เตรียมเบ้าซิลิโคนแบบซีฟิ่งและแบบซีฟิ่งรูปซีฟิ่งเทียม

ก.) ผสมซิลิโคนกับแป้งมันลงบนถาด จากนั้นนวดจนเป็นเนื้อเดียวกันจนเนื้อของซิลิโคนไม่ติดมือ แล้วนำแบบซีฟิ่งเทียมที่เตรียมไว้กดลงบนเนื้อซิลิโคน รोजนซิลิโคนแข็งตัว

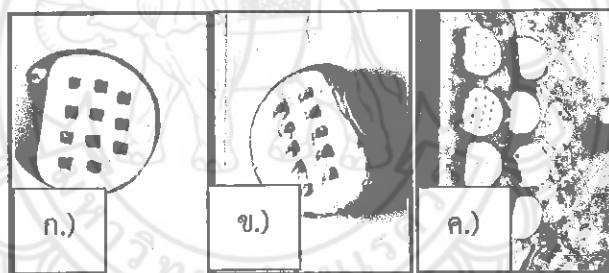
ข.) ให้ความร้อนกับซีฟิ่งทันตกรรมเพื่อหลอมเหลว จากนั้นนำซีฟิ่งเหลวใส่ในแบบซิลิโคนที่เตรียมไว้ รोजนซีฟิ่งแข็งตัว



รูปที่ 3.1 แบบซีฟิ่งรูปซีฟิ่งเทียม ก.) ซีฟิ่งกราม ข.) ซีฟิ่งหน้า

### 3.1.3.2 เตรียมเข้าหล่อแบบรูปซี่ฟันเทียม

- ก.) เตรียมชิ้นงานทดสอบ โดยใช้ซี่ฟันทางทันตกรรมจากหัวข้อที่ 3.1.3.1
- ข.) ทาวาสลินบนเข้าหล่อแบบล่างและบน
- ค.) ผสมปูนพลาสติกอร์กับน้ำใส่ลงในเข้าหล่อที่ทำด้วยวาสลินแบบล่าง จากนั้นวางซี่ฟันทางทันตกรรมให้ฝังลงไปเสมอกับผิวปูนพลาสติกอร์และขอบเข้าหล่อแบบล่าง รอจนปูนพลาสติกอร์แข็งตัวแล้วทาวาสลินอีกครั้ง
- ง.) วางเข้าหล่อแบบบนลงไป พร้อมกับผสมปูนพลาสติกอร์กับน้ำตามลงไป ปิดฝา รอจนปูนพลาสติกอร์แข็งตัว
- จ.) นำเข้าหล่อแบบไปต้มในหม้อต้มเพื่อไล่ซี่ฟันทางทันตกรรมออก ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำเข้าหล่อแบบบนและล่างแยกออกจากกันเพื่อเอาซี่ฟันออก และล้างทำความสะอาดด้วยน้ำร้อนอีกครั้ง
- ฉ.) รอจนเข้าหล่อแบบเย็น แล้วทากาวแยกลงไปเพื่อเตรียมขึ้นรูปชิ้นงานต่อไป



รูปที่ 3.2 วิธีการเตรียมเข้าหล่อแบบของซี่ฟันเทียม

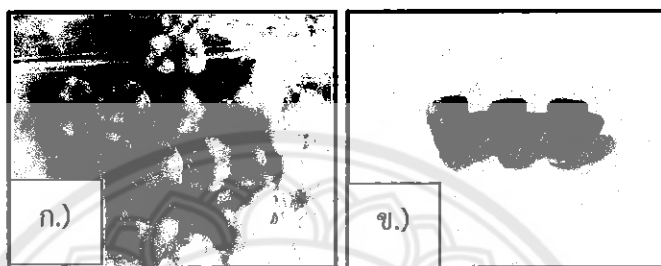
- ก.) เข้าหล่อแบบซี่ฟันกราม ข.) เข้าหล่อแบบซี่ฟันหน้า ค.) เข้าหล่อแบบของซี่ฟันเทียม

### 3.1.3.3 วิธีการเตรียมขึ้นทดสอบ

- ก.) ผสมพอลิเอทิลเมทาคริเลตร่วมกับอะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก ต่อเมทิลเมทาคริเลตในอัตราส่วน 2:1 ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปนวดในถุงพลาสติกจนนิ่ม ทิ้งไว้สักครู่
- ข.) นำพอลิเอทิลเมทาคริเลตวางลงในเข้าหล่อแบบที่เตรียมไว้ เพื่อขึ้นรูปตามขนาดของชิ้นงานทดสอบ
- ค.) นำเข้าหล่อที่วางพอลิเอทิลเมทาคริเลตแล้วไปอัดด้วยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก ด้วยความดัน 100 บาร์

ง.) นำไปบ่มด้วยเครื่องบ่มความร้อนที่อุณหภูมิน้ำ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

จ.) นำชิ้นทดสอบที่บ่มเสร็จแล้วออกจากเบ้าหล่อแบบไปขัดด้วยกระดาษทราย เพื่อเก็บรายละเอียดของขนาดชิ้นงานก่อนนำไปขัดด้วยเครื่องขัดละเอียดและขัดเงา



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานซีฟันเทียมสำหรับทดสอบแรงสพฟัน ก.) ซีฟันกราม ข.) ซีฟันหน้า

3.1.4 วิธีการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงสพฟันของซีฟันเทียมขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มตัวด้วยบ่มตัวด้วยตัวเอง (Self-Cure)

3.1.4.1 เตรียมเบ้าซิลิโคนแบบซีฟี่รูปซีฟันเทียมและเตรียมเบ้าหล่อแบบรูปซีฟันเทียม ทำตามหัวข้อที่ 3.1.3.1 และ 3.1.3.2 ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

3.1.4.2 วิธีการเตรียมชิ้นทดสอบ

ก.) ผสมพอลิเทิลเมทาคริเลตร่วมกับอะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก ต่อเมทิลเมทาคริเลตในอัตราส่วน 2:1 ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปนวดในถุงพลาสติกจนนิ่ม ทิ้งไว้สักครู่

ข.) นำพอลิเมทิลเมทาคริเลตวางลงในเบ้าหล่อแบบที่เตรียมไว้ เพื่อขึ้นรูปตามขนาดของชิ้นงานทดสอบ

ค.) นำเบ้าหล่อที่วางพอลิเมทิลเมทาคริเลตแล้วไปอัดด้วยเครื่องอัดแบบไฮโดรลิก ด้วยความดัน 100 บาร์ ทิ้งไว้ให้แข็งตัว 5 นาที

ง.) นำชิ้นทดสอบที่แข็งตัวเสร็จแล้วออกจากเบ้าหล่อแบบไปขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 100 800 และ 1000 ตามลำดับ เพื่อเก็บรายละเอียดของขนาดชิ้นงานก่อนนำไปขัดด้วยเครื่องขัดละเอียดและขัดเงา

### 3.1.5 วิธีการเตรียมชิ้นงานทดสอบความแข็งผิวของซีฟันเทียม

#### 3.1.5.1 เตรียมเข้าหล่อแบบ

ก.) เตรียมชิ้นทดสอบ โดยใช้ซีฟันทางทันตกรรมที่มีขนาดความกว้าง ความยาว และความสูงตามขนาดชิ้นงานทดสอบเป็นแบบในการทำการหล่อแบบ (ขนาดเท่ากับ ISO 3336 ของ การทดสอบแต่ละประเภท)

ข.) ทาวาสลีนบนเข้าหล่อแบบล่างและบน

ค.) ผสมปูนปลาสเตอร์กับน้ำใส่ลงในเข้าหล่อที่ทำด้วยวาสลีนแบบล่างจากนั้นวาง ซีฟันทางทันตกรรมให้ฝังลงไปเสมอกับผิวปูนปลาสเตอร์และขอบเข้าหล่อแบบล่าง รोजนปูนปลาสเตอร์ แข็งตัวแล้วทาวาสลีนอีกครั้ง

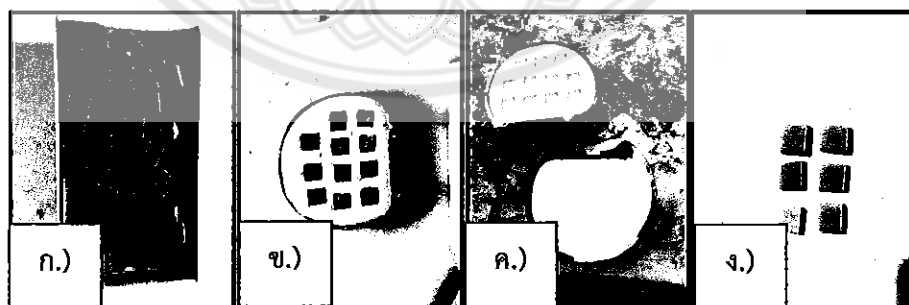
ง.) วางเข้าหล่อแบบบนลงไป พร้อมกับผสมปูนปลาสเตอร์กับน้ำตามลงไปปิดฝา รोजนปูนปลาสเตอร์แข็งตัว

จ.) นำเข้าหล่อแบบไปต้มในหม้อต้มเพื่อไล่ซีฟันทางทันตกรรมออก ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำเข้าหล่อแบบบนและล่างแยกออกจากกันเพื่อเอาซีฟันออก และล้างทำความสะอาดด้วยน้ำร้อนอีกครั้ง

ฉ.) รोजนเข้าหล่อแบบเย็น แล้วทากาวแยกลงไปเพื่อเตรียมชิ้นงานต่อไป

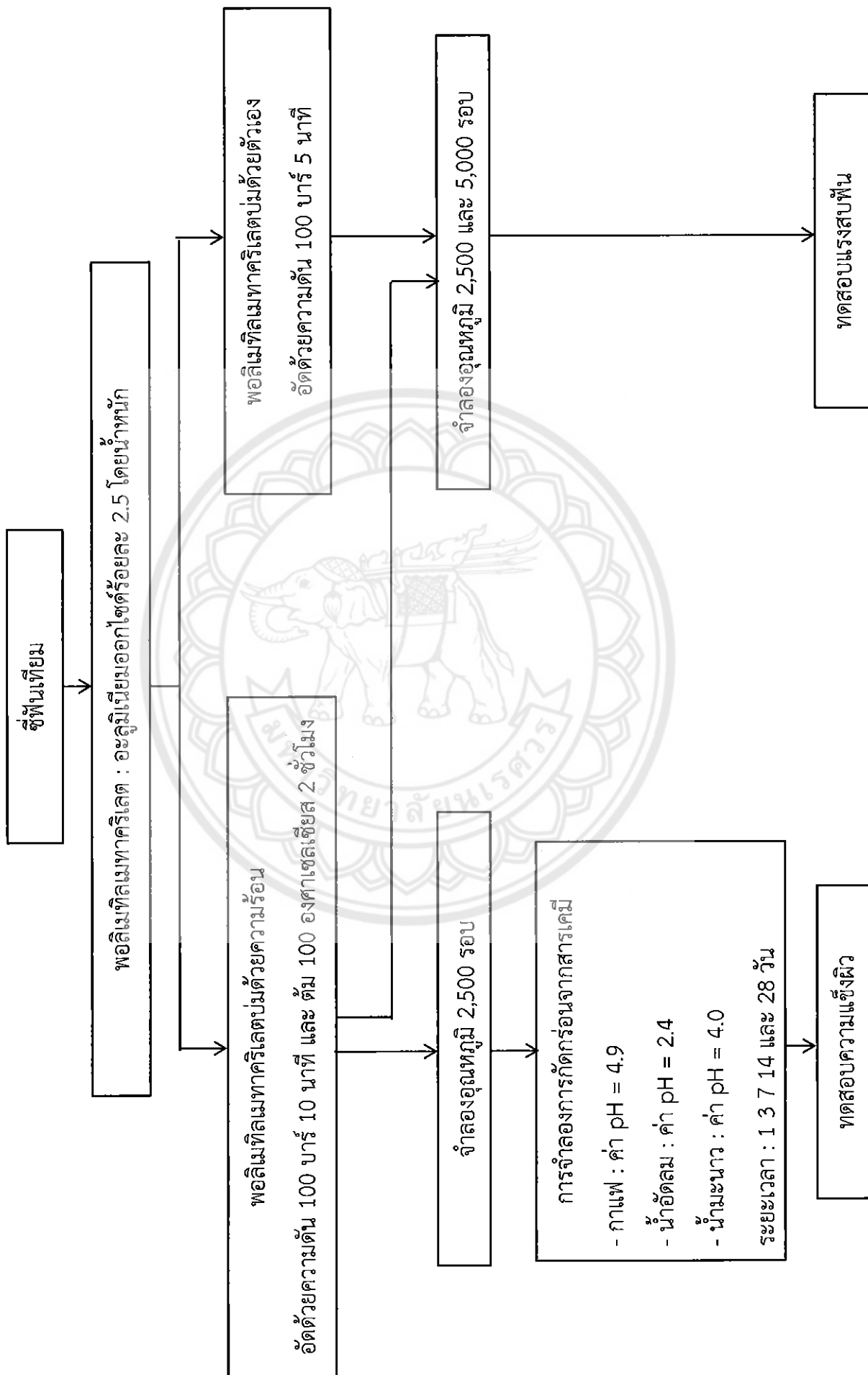
#### 3.1.5.2 วิธีการเตรียมชิ้นทดสอบ

ทำตามหัวข้อที่ 3.1.3.3 ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น



รูปที่ 3.4 ชิ้นงานซีฟันเทียมสำหรับทดสอบความแข็งผิว

ก.) แบบซีฟัน ข.) ทำเข้าหล่อแบบซีฟันเทียม ค.) เข้าหล่อแบบ ง.) ชิ้นงานทดสอบความแข็งผิว



รูปที่ 3.5 แผนผังการดำเนินงาน

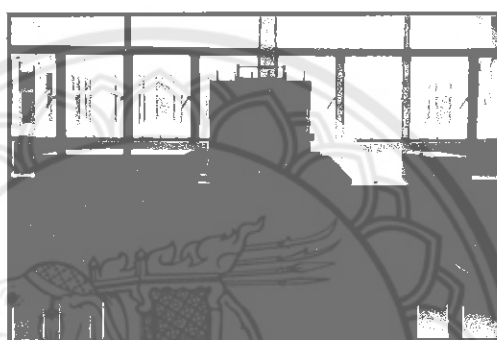


### 3.2 การจำลองกระบวนการทดสอบ

#### 3.2.1 การจำลองกระบวนการใช้งาน

##### 3.2.1.1 การจำลองอุณหภูมิ

ในการทดสอบชิ้นงานซีพินเทียมและฐานพินเทียมแบบที่ผ่านการจำลองอุณหภูมิ จะใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิร้อนเย็นเป็นจังหวะซึ่งได้รับการอนุเคราะห์การใช้เครื่องจากคณะทันต-แพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ เพื่อจำลองอุณหภูมิในช่องปาก [22]



รูปที่ 3.6 เครื่องควบคุมอุณหภูมิร้อนเย็นเป็นจังหวะ (Thermal Cycling Machine)

##### 3.2.1.2 ขั้นตอนการจำลองอุณหภูมิ

ก.) เตรียมน้ำที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เพื่อการจำลองอุณหภูมิใช้งานของ ชิ้นงานซีพินเทียมในอ่างที่ 1 โดยปริมาตรของอ่างมีความจุ 4 ลิตร ขนาด กว้าง × ยาว × สูง ภายใน เท่ากับ 30 × 30 × 20 เซนติเมตร

ข.) เตรียมน้ำที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เพื่อการจำลองอุณหภูมิใช้งานของ ชิ้นงานซีพินเทียมในอ่างที่ 2 โดยปริมาตรของอ่างมีความจุ 4 ลิตร ขนาด กว้าง × ยาว × สูง ภายใน เท่ากับ 30 × 30 × 20 เซนติเมตร (เครื่องทดสอบจะปรับอุณหภูมิด้วยระบบดิจิทัล เป็นตัวเลขที่ ละเอียดครั้งละ 1 องศาเซลเซียส)

ค.) ตั้งค่ารอบสลับในการแช่ชิ้นงานซีพินเทียมระหว่างอ่างที่ 1 ไปอ่างที่ 2 โดยใช้ ที่ 2,500 กับ 5,000 รอบ พัก 10 วินาที (ระยะเวลาในการเคลื่อนที่จากอ่างที่ 1 ไปอ่างที่ 2 เป็นเวลา 4 วินาที)

ง.) เมื่อเครื่องทำงานครบรอบที่กำหนดแล้วนำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกล ของซีพินเทียม เพื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานซีพินเทียมที่ไม่ได้ผ่านสภาวะจำลอง

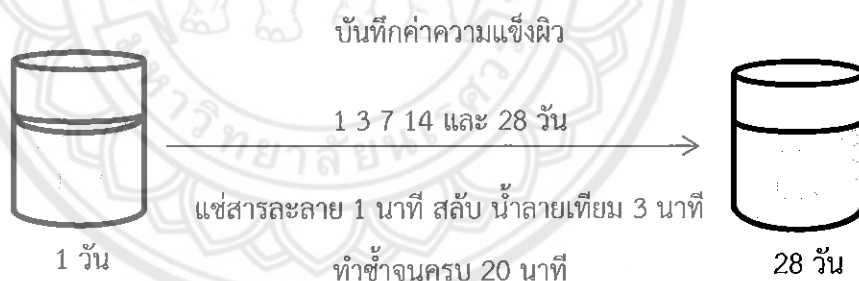
### 3.2.2 การจำลองการกัดกร่อนจากสารเคมี

#### 3.2.2.1 การเตรียมสารละลาย

- 1). น้ำลายเทียม: pH เท่ากับ 7
- 2). กาแฟ: ความเข้มข้น 2 %wt/v มีค่า pH เท่ากับ 4.9
- 3). น้ำอัดลม: ผลิตโดยบริษัทโคคาโคล่า มีค่า pH เท่ากับ 2.4
- 4). น้ำมะนาว: ความเข้มข้น 0.42 %v/v มีค่า pH เท่ากับ 4.0

#### 3.2.2.2 วิธีการแช่ฟันเทียมในสารละลาย

ทำการทดสอบโดยแช่ชิ้นงานทดสอบในกาแฟ น้ำอัดลม และน้ำมะนาว ที่มีการแช่น้ำลายเทียมเป็นตัวควบคุมโดยทำการทดสอบความแข็งผิวและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสภาพพื้นผิวที่ฟันเทียมกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด หลังจากการแช่ 1 3 7 14 และ 28 วัน ซึ่งในการแช่สารละลายจะแช่ฟันเทียมในสารละลาย 1 นาที แล้วนำไปแช่ในน้ำลายเทียม 3 นาที ครบ 1 วัฏจักร ทำซ้ำจนครบ 20 นาที จากนั้นนำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ทำเช่นนี้จนกว่าจะครบเวลาที่กำหนดไว้



รูปที่ 3.7 แสดงการทดสอบความแข็งผิวของฟันเทียมหลังแช่สารละลาย

### 3.3 การทดสอบสมบัติต่างๆ ของฟันเทียม

#### 3.3.1 การทดสอบสมบัติทางกล

##### 3.3.1.1 การทดสอบแรงสบฟัน (Chewing force test)

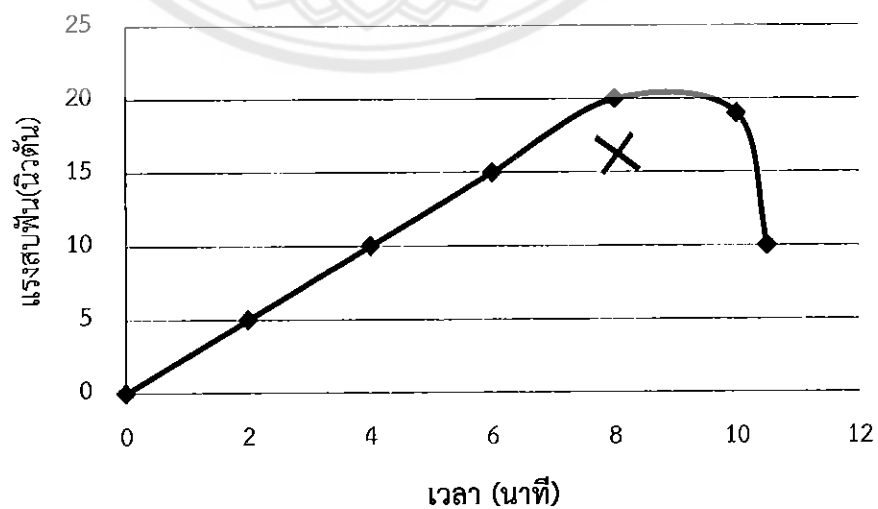
แรงสบฟัน (Chewing force) เป็นการศึกษาเพื่อหาแรงที่ใช้ในการบดเคี้ยวสูงสุดที่ฟันเทียมสามารถรับที่ได้กำหนด จนได้ผลตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการทดสอบ จะทำการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุแบบอเนกประสงค์ (Universal Testing

Machine) ตามมาตรฐาน ISO/FDIS 1567 และ ADA Specification No.12 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแบ่งเป็น 2 ชุด คือ ซีฟันหน้าและซีฟันกราม กำหนดน้ำหนักกด 5 กิโลนิวตัน และความเร็วในการกด 10 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบแรงสบฟัน

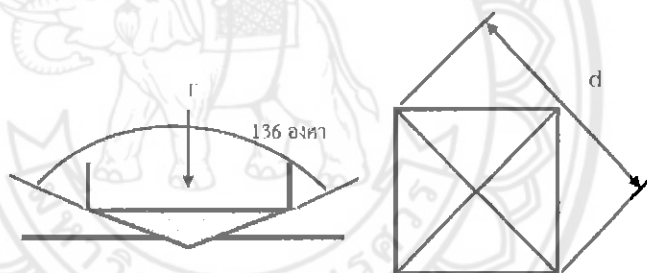
การทดสอบจะทดสอบด้วยความเร็วในการกดคงที่จนชิ้นงานเกิดการหักงอหรือแตกหักแล้วจะได้ค่าผลการทดลองที่ออกมาในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาในการกดแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ลักษณะเส้นกราฟกราฟตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงสบฟันและเวลา

### 3.3.1.2 การทดสอบความแข็งผิว [11]

สมบัติความแข็งผิว (Surface Hardness) เป็นการศึกษาความแข็งผิวโดยใช้เครื่องวัดความแข็งผิววิกเกอร์ในการทดสอบ วิธีนี้ใช้หัวกดพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมที่ทำมาจากเพชรมีมุม 136 องศา แรงกด 100 กรัม เหมาะสำหรับวัดความแข็งของวัสดุที่มีความเปราะ จึงเหมาะในการวัดความแข็งผิวของพอลิเมอร์และซีเมนต์ โดยมีหลักการคล้ายคลึงกับการทดสอบความแข็งน็อฟและบริเบลล์แต่มีความแตกต่างกันตรงที่วิธีนี้ใช้หัวกดรูปพีระมิด แรงกดทำให้เกิดรอยกดคล้ายรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสบนผิววัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยใช้แรงกด 100 กรัม เป็นเวลา 15 วินาที ค่าความแข็งของวัสดุจะถูกวัดจากเส้นทแยงมุมของสี่เหลี่ยมจัตุรัสทั้งสองเส้น แล้วหาค่าความแข็งวิกเกอร์ (Vickers Hardness) ตามสมการที่ 3.1 และขนาดของชิ้นงานแสดงในรูปที่ 3.11 ตามมาตรฐาน ISO 3336



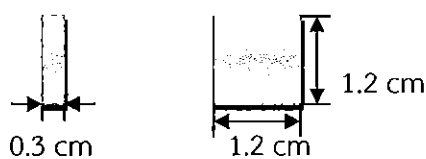
รูปที่ 3.10 ลักษณะหัวกดและรอยกดของการวัดความแข็งวิกเกอร์ [11]

$$\text{สมการการคำนวณค่าความแข็ง} \quad HV = \frac{2F \sin\left(\frac{136}{2}\right)}{d^2} \quad (3.1)$$

HV = ความแข็งวิกเกอร์ (Vickers Hardness)

F = น้ำหนักที่ใช้กด (kg)

d = ความยาวเส้นทแยงมุม (mm)



รูปที่ 3.11 ขนาดชิ้นทดสอบความแข็งผิว [6]

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ประเด็นคือ การศึกษาแรงสปริง ของซีพินเทียมที่ผ่านการขึ้นรูปขึ้นงานด้วยวิธีปั๊มด้วยความร้อนและการปั๊มด้วยตัวเอง ทั้งในสภาวะปกติและผ่านสภาวะจำลองการใช้งานและศึกษาผลของการผ่านการจำลองอุณหภูมิและการจำลองการกัดกร่อนจากสารเคมีที่มีผลต่อความแข็งแรง ซึ่งทั้ง 2 ประเด็นนี้ยังมีการเปรียบเทียบกันระหว่างซีพินเทียมที่ผลิตจากพอลิเมทิลเมทาคริเลต กับพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ 2.5 ร้อยละโดยมวล ทางผู้วิจัยได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

#### ตอนที่ 4.1 ผลการทดสอบสมบัติแรงสปริง

4.1.1 ผลการทดสอบสมบัติแรงสปริงโดยการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ 2.5 ร้อยละโดยมวล

4.1.2 ผลการศึกษาผลของซีพินเทียมที่ผ่านการขึ้นรูปขึ้นงานด้วยวิธีปั๊มด้วยความร้อนและการปั๊มด้วยตัวเอง

4.1.3 ผลการทดสอบสมบัติแรงสปริง ของซีพินเทียมที่สภาวะปกติและผ่านสภาวะจำลองการใช้งาน

#### ตอนที่ 4.2 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งแรงแบบวิกเกอร์

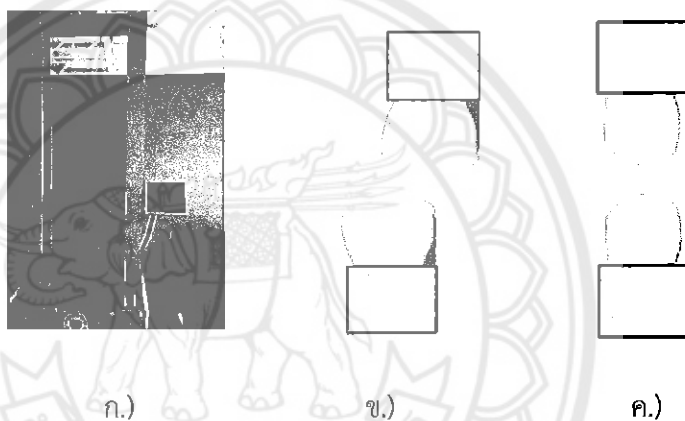
4.2.1 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งแรงแบบวิกเกอร์โดยการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ 2.5 ร้อยละโดยมวล

4.2.2 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งแรงแบบวิกเกอร์โดยผ่านการจำลองอุณหภูมิ

4.2.3 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งแรงแบบวิกเกอร์โดยผ่านการจำลองการกัดกร่อนจากสารเคมี

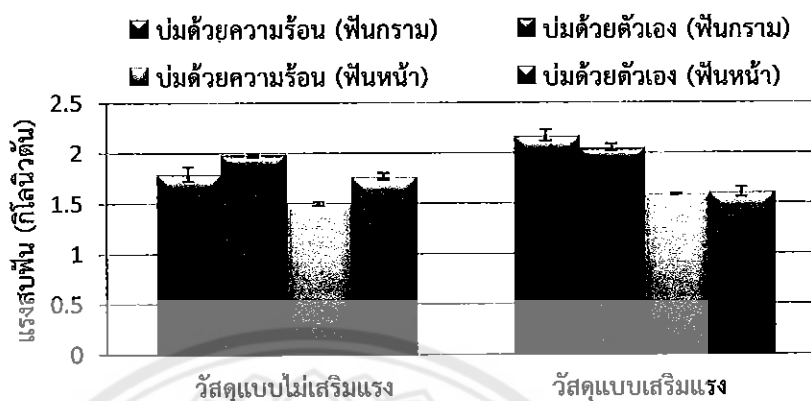
#### ตอนที่ 4.1 ผลการทดสอบสมบัติแรงสปริง

การศึกษาเรื่องแรงสปริงเป็นการทดสอบเพื่อหาแรงกดสูงสุดที่ซี่ฟันเทียมสามารถรับได้ โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุแบบอเนกประสงค์ ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบจะมีลักษณะเป็นซี่ฟันกรามและซี่ฟันหน้า มีการวางชิ้นงานทดสอบต่างกัน ซี่ฟันกรามจะวางเหลื่อมกันสองส่วนสามของคู่สับเพื่อเป็นการจำลองลักษณะการบดเคี้ยวของซี่ฟันกรามและซี่ฟันหน้าจะวางลักษณะตรงกันกับคู่สับเพื่อเป็นการจำลองลักษณะการกัดฉีก เพื่อศึกษาผลของการเสริมแรงด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ การขึ้นรูป และการจำลองอุณหภูมิต่อแรงสปริง นอกจากนี้พื้นที่หน้าตัดของซี่ฟันเทียมทั้งสองแบบต่างก็ก็ยังส่งผลต่อแรงสปริงอีกด้วย

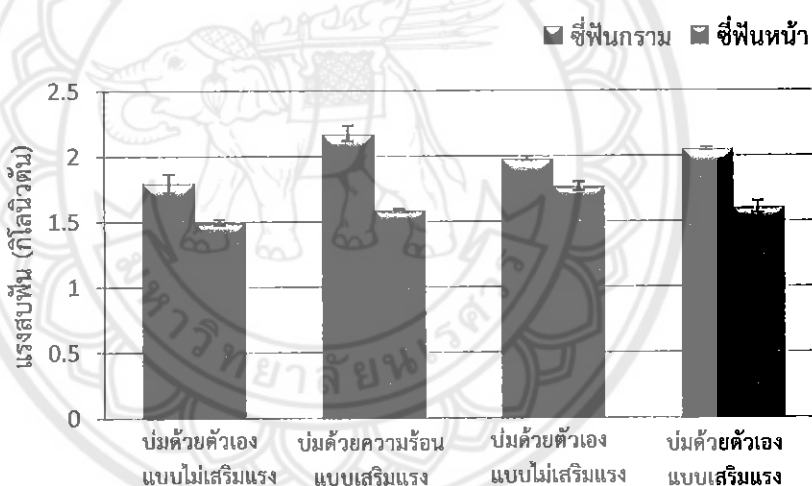


รูปที่ 4.1 การทดสอบแรงสปริงโดย ก.) เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุแบบอเนกประสงค์ ข.) ลักษณะการวางชิ้นงานของแรงสปริงชนิดซี่ฟันกราม ค.) ลักษณะการวางชิ้นงานของแรงสปริงชนิดซี่ฟันหน้า

#### 4.1.1 ผลการทดสอบสมบัติแรงสปริงโดยการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ 2.5 ร้อยละโดยมวล การศึกษาผลของการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อแรงสปริง ดังแสดงในรูปต่อไปนี้



#### รูปที่ 4.2 แผนภูมิแสดงผลของการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ 2.5 ร้อยละโดยมวล ที่มีผลต่อแรงสปริง



#### รูปที่ 4.3 แผนภูมิแสดงผลของลักษณะรูปร่างของซีพื้นที่ยึดต่อแรงสปริง

จากรูปที่ 4.2 แสดงผลของการเติมวัสดุเสริมแรงต่อค่าแรงสปริง ของแต่ละสภาวะคือ ซีพื้นگرامบ่มด้วยความร้อน ซีพื้นگرامบ่มด้วยตัวเอง ซีพื้นหน้าบ่มด้วยความร้อนและซีพื้นหน้าบ่มด้วยตัวเอง พบว่าอะลูมิเนียมออกไซด์ส่งผลต่อค่าแรงสปริง วัสดุซีพื้นที่ยึดแบบเสริมแรงจะมีแรงสปริงเพิ่มขึ้นในสภาวะของซีพื้นที่ยึดคือ พื้นGRAMบ่มด้วยความร้อน ซีพื้นGRAMบ่มด้วยตัวเองและซีพื้นหน้าบ่มด้วยความร้อน มีค่าแรงสปริงเพิ่มขึ้น 20.67 3.02 และ 6.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นวัสดุเสริมแรงที่มีความแข็งแรงสูงกว่าพอลิเมทิลเมทาคริเลต ทำให้พอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิตมีความแข็งแรงมากขึ้นและสามารถรับแรงได้สูงขึ้น สามารถอธิบายได้บนพื้นฐานของทรานสเฟอร์เมชันทัพเพนนิ่งคือ อะลูมิเนียมออกไซด์ที่อยู่ในเฟสเทอร์โกนัลที่ถูกแรงจากภายนอกกระทำจะเกิดการเปลี่ยนเฟสเป็นโมโนคลินิกทำให้เกิดการขยายตัวของเฟสในทิศทางตรงข้ามกับทิศ

ของรอยร้าว พลังงานที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนเฟสดังกล่าวมีปริมาณสูงกว่าพลังงานที่ทำให้เกิดรอยร้าว ขยายตัว ทำให้เกิดแรงอัดรอบรอยร้าว ส่งผลให้ลดหรือหยุดการขยายตัวของรอยร้าว [27]

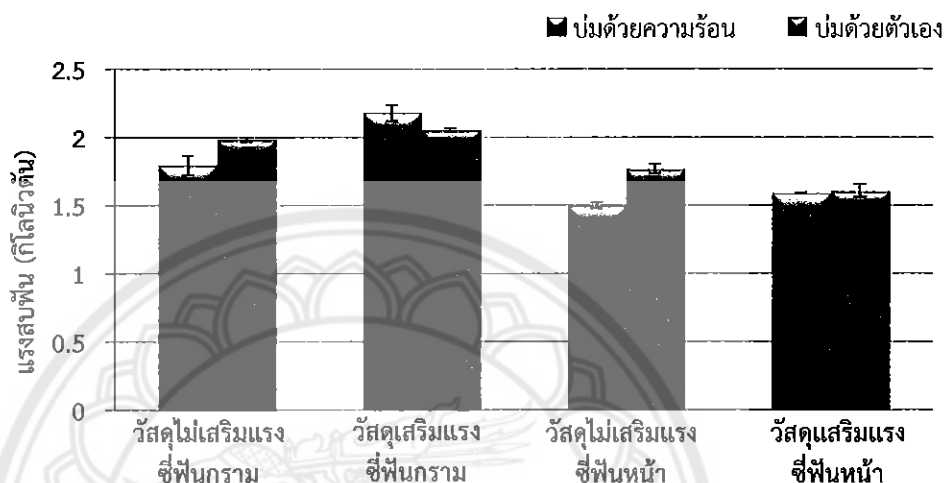
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการเสริมแรงด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ส่งผลต่อซีฟิสิกการบ่มด้วยความร้อนมากที่สุด รองลงมาคือ ซีฟิสิกหน้าบ่มด้วยความร้อน จึงสรุปได้ว่าการเสริมแรงด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ส่งผลต่อซีฟิสิกที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มด้วยความร้อนมากกว่าการบ่มด้วยตัวเอง เนื่องจากระยะเวลาในการขึ้นรูปของซีฟิสิกที่บ่มด้วยความร้อนใช้ระยะเวลานานในการขึ้นรูปทำให้อุณหภูมิของอะลูมิเนียมออกไซด์กระจายในเนื้อวัสดุหลักของซีฟิสิกได้ดี ซึ่งตรงกันข้ามกับการขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มด้วยตัวเอง เมื่อเสริมแรงด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์แล้วซีฟิสิกที่มีค่าแรงสปริงเพิ่มขึ้นเพียง 3.02 เปอร์เซ็นต์ เพราะใช้เวลาในการขึ้นรูปที่น้อยจึงทำให้อุณหภูมิของอะลูมิเนียมออกไซด์กระจายในเนื้อวัสดุหลักของซีฟิสิกได้ไม่ดีและมีรูพรุนเกิดขึ้นในชิ้นงานซีฟิสิก ซีฟิสิกจึงรับแรงเพิ่มขึ้นได้น้อยกว่าแบบซีฟิสิกชนิดบ่มด้วยความร้อน แต่มีหนึ่งสภาวะที่เมื่อเติมอะลูมิเนียมออกไซด์แล้วค่าแรงสปริงน้อยลงคือ ซีฟิสิกหน้าบ่มด้วยตัวเองมีค่าแรงสปริงลดลงจากเดิมที่ไม่มีการเสริมแรง 9.11 เปอร์เซ็นต์ เพราะว่าอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นวัสดุเสริมแรงแบบอนุภาค เมื่อผสมระหว่างพอลิเมทิลเมทาคริเลต (วัสดุเนื้อหลัก) กับอะลูมิเนียมออกไซด์ (วัสดุเสริมแรง) แล้ว เข้ากันได้ น้อยและปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยตัวเองใช้เวลาอย่างรวดเร็ว ทำให้ชิ้นงานเกิดรอยต่อระหว่างพื้นผิว สอดคล้องกับงานวิจัยของกนกพร ศรีวิชาและวุฒิชัย มาน้อย [4] ที่ได้ศึกษาการเสริมแรงซีฟิสิกพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ ผลการทดลองพบว่าเมื่อเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ในปริมาณที่มากขึ้นแล้วทำให้ซีฟิสิกมีค่าแรงสปริงได้น้อยลง

นอกจากนี้ในส่วนของพื้นที่ผิวรับแรงของซีฟิสิกก็มีส่วนต่อการรับแรงของซีฟิสิกด้วย เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.3 พบว่าซีฟิสิกการบ่มด้วยความร้อนจะมีค่าแรงสปริงที่สูงกว่าซีฟิสิกหน้าบ่มโดยการสปริงของซีฟิสิกการบ่มด้วยความร้อนที่สูงสุดของการขึ้นรูปชิ้นงานทั้งวิธีบ่มด้วยความร้อนและการบ่มด้วยตัวเองในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 2.16 กิโลนิวตัน และต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 1.79 กิโลนิวตัน ส่วนค่าการสปริงของซีฟิสิกหน้าบ่มด้วยความร้อนที่สูงสุดของการขึ้นรูปชิ้นงานทั้งวิธีบ่มด้วยความร้อนและการบ่มด้วยตัวเองในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 1.77 กิโลนิวตัน และต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 1.50 กิโลนิวตัน เมื่อพิจารณาเรื่องรูปร่างของซีฟิสิกต่อค่าแรงสปริงพบว่าซีฟิสิกหน้าบ่มมีความสามารถในการรับแรงที่น้อยกว่าซีฟิสิกการบ่มด้วยความร้อน เนื่องจากซีฟิสิกหน้าบ่มที่รับแรงน้อย (บาง) กว่าซีฟิสิกการบ่มด้วยความร้อน ทำให้ความสามารถในการรับแรงของซีฟิสิกลดลง ในขณะที่ซีฟิสิกการบ่มด้วยความร้อนเป็นการสปริงเป็นลักษณะสับหว่างระหว่างซีฟิสิกบนและซีฟิสิกล่างจะเอื้อประโยชน์ต่อการบิดเคี้ยว ซึ่งทำให้เกิดการสึกของซีฟิสิกที่น้อย ทำให้เป็นผลดีต่อสุขภาพระบบการบิดเคี้ยวและมีพื้นที่สัมผัสมากทำให้รับแรงได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามหากความเสถียรและความทนของซีฟิสิกไม่ดี อัตราเร็วการเคี้ยวอาจลดลง เพื่อให้การบิดเคี้ยวมีความสมบูรณ์ ทั้งนี้แรงระหว่างด้านบดเคี้ยวที่ตำแหน่งสมดุลก็มีความสำคัญเช่นกัน



#### 4.1.2 ผลการศึกษาผลของซีฟันเทียมที่ผ่านการขึ้นรูปขึ้นงานด้วยวิธีบ่มด้วยความร้อนและการบ่มด้วยตัวเอง

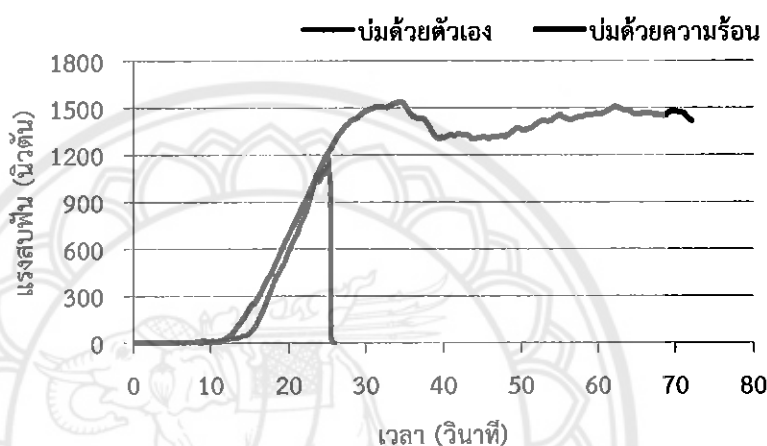
การศึกษาแรงสับฟันของซีฟันเทียมที่ผ่านการขึ้นรูปขึ้นงานด้วยวิธีบ่มด้วยความร้อนและการบ่มด้วยตัวเอง ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงสับฟันกับวิธีการขึ้นรูปขึ้นงานของซีฟันเทียม

จากรูปที่ 4.4 เป็นแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงสับฟันกับการขึ้นรูปขึ้นงานของซีฟันเทียมที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการบ่มด้วยความร้อนและบ่มด้วยตัวเอง พบว่าวัสดุซีฟันกรามแบบเสริมแรงที่ขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มด้วยความร้อนมีค่าแรงสับฟันสูงที่สุดอยู่ที่ 2.16 กิโลนิวตัน มีค่าเพิ่มขึ้นจากวัสดุฟันกรามแบบไม่เสริมแรง 17.13 เปอร์เซ็นต์ และค่าแรงสับฟันที่น้อยที่สุดคือ วัสดุฟันหน้าแบบไม่เสริมแรงที่ขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มด้วยความร้อนมีค่าเท่ากับ 1.49 กิโลนิวตัน แต่เมื่อมีการเสริมแรงทำให้มีค่าเพิ่มขึ้นถึง 5.66 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตรงตามการวิเคราะห์ในหัวข้อ 4.1.1 เมื่อมีการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ทำให้ซีฟันที่ขึ้นรูปนั้นมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ *Vojdani M. [13]* ที่ได้ศึกษาการเสริมแรงซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ ผลการทดลองพบว่าเมื่อเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ทำให้ซีฟันเทียมมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีมากยิ่งขึ้น จากแผนภูมิข้างต้นจะพบว่า 1). การขึ้นรูปซีฟันกรามด้วยวิธีบ่มด้วยความร้อนและบ่มด้วยตัวเองของวัสดุแบบไม่เสริมแรง 2). การขึ้นรูปซีฟันหน้าด้วยวิธีบ่มความร้อนและบ่มด้วยตัวเองของวัสดุแบบไม่เสริมแรง 3). การขึ้นรูปซีฟันหน้าด้วยวิธีบ่มด้วยความร้อนและบ่มด้วยตัวเองของวัสดุที่มีการเสริมแรง จะเห็นได้ว่าวิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มด้วยตัวเองมีค่าสูงกว่าวิธีบ่มด้วยความร้อนเท่ากับ 10.61 18.00 และ 1.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งตามทฤษฎี [28] วิธีการบ่มด้วยตัวเองมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าวิธีการบ่มด้วยความร้อนเพราะวิธีการบ่มด้วยตัวเองใช้เวลาในการขึ้นรูปน้อย เมื่อตอนอัดความดันของขึ้นงานยังคงมีฟองอากาศและรูพรุนอยู่ภายในวัสดุอยู่มากทำให้มีค่าคุณสมบัติเชิงกลที่ต่ำกว่าวิธีการบ่มด้วยความ

ร้อนเพราะวิธีการบ่มด้วยความร้อน ซีพินเทียมจะต้องใช้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในการเซทตัวที่นาน ทำให้โครงสร้างของพอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวซ้ำและมีโครงสร้างที่แน่นกว่าวิธีการขึ้นรูปที่บ่มด้วยตัวเอง ซึ่งผลการทดลองที่วิธีการบ่มด้วยตัวเองมีค่าสูงกว่าวิธีบ่มด้วยความร้อน อาจเนื่องมาจากวัสดุที่ขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มด้วยตัวเองใช้เวลาในการขึ้นรูปค่อนข้างเร็วจึงทำให้มีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างที่มีความแข็งแรงแต่เป็นแบบแข็งเปราะ ดังแสดงในภาพที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ให้ซีพินเทียบกับระยะเวลาที่ให้แรงของซีพินเทียมที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มด้วยตัวเองและวิธีบ่มด้วยความร้อน

จากรูปที่ 4.5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงสปันที่ได้ต่อระยะเวลาในการกดขึ้นงานจากกราฟจะเห็นว่าขึ้นงานได้รับแรงที่ระยะเวลาที่แตกต่างกันเพราะในการทดสอบเราไม่สามารถกำหนดให้ขึ้นงานรับแรงได้ในระยะเวลาที่เท่ากัน แล้วจากความชันของขึ้นงานที่ได้รับแรงต่อระยะเวลาในช่วงแรกของทั้งวิธีการบ่มด้วยความร้อนและวิธีการบ่มด้วยตัวเองจะเห็นว่ามีความชันที่ไปในทางเดียวกัน เนื่องมาจากความเร็วในการทดสอบและแรงที่ใช้ในการทดสอบมีค่าเท่ากัน ขึ้นงานจึงมีค่าการรับแรงต่อระยะเวลาที่เท่ากัน แต่จากการทดลองทำให้เห็นว่าขึ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มด้วยตัวเองมีความแข็งแรงแต่เปราะ แตกหักได้ง่าย เมื่อทำการทดสอบถึงจุดหนึ่งที่ขึ้นงานสามารถรับแรงได้นั้นขึ้นงานจะเกิดการแตกหักทันที เนื่องจากขึ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มด้วยตัวเองจะมีฟองอากาศเกิดขึ้นภายในขึ้นงาน ทำให้เกิดรูพรุนมาก จึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปผลิตเป็นซีพินเทียม เพราะการที่มีฟองอากาศอยู่ในขึ้นงานมากนั้นส่งผลทำให้สมบัติไม่คงที่ ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้นของกระบวนการขึ้นรูปของทั้ง 2 วิธี การขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มด้วยความร้อนใช้เวลานานในการขึ้นรูป จึงได้ทำการศึกษการขึ้นรูปขึ้นงานด้วยวิธีบ่มด้วยตัวเองที่ใช้เวลาในการขึ้นรูปน้อยกว่าแต่ยังมีคุณสมบัติเชิงกลที่ยังไม่ตอบสนองความต้องการมากนัก เพราะการขึ้นรูปขึ้นงานด้วยวิธีบ่มด้วยตัวเองมักจะนิยมใช้ในงานด้าน

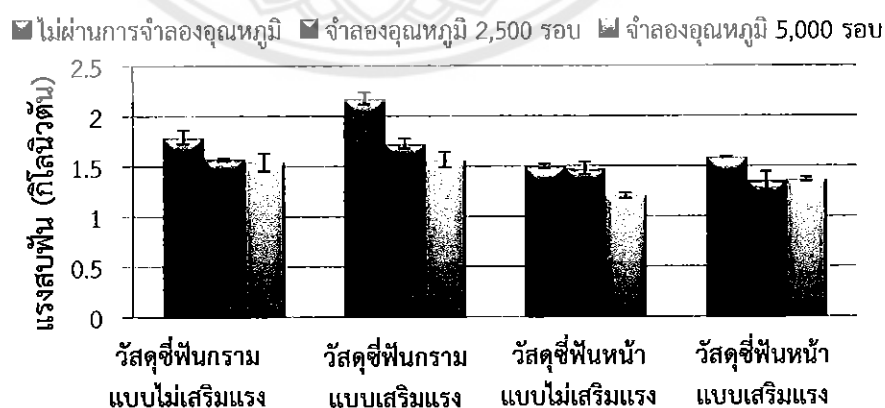
ที่ไม่มีการรับแรงกระแทกและแรงกดที่มากนัก ดังนั้นซีฟีนเทียมควรมีการขึ้นรูปด้วยวิธีการบ่มด้วยความร้อนเป็นกระบวนการที่ดีที่สุด ส่วนวิธีการขึ้นรูปซีฟีนเทียมด้วยวิธีบ่มด้วยตัวเองเหมาะสมที่จะใช้ในงานในด้านการเติมแต่งของวัสดุซีฟีนเทียมที่มีรูปร่างไม่สมบูรณ์ มีการเบี้ยวของชิ้นงาน จึงใช้วัสดุจากวิธีการบ่มด้วยตัวเองเข้าไปเสริมทำให้ชิ้นงานมีรูปร่างที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวิธีบ่มด้วยความร้อนเมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบ จากกราฟเห็นได้ว่ามีความแข็งแรงมากและมีความเหนียว เมื่อชิ้นงานเกิดการแตกหักแต่ยังสามารถรับแรงได้อีก เพราะการขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มด้วยความร้อนจะทำพอลิเมอร์เกิดโครงสร้างที่หนาแน่นและมีการเรียงตัวมากกว่าวิธีบ่มด้วยตัวเอง แล้วการขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มด้วยความร้อนไม่เกิดฟองอากาศ หรือเกิดเพียงเล็กน้อยจึงทำให้เกิดรูพรุนเล็กน้อย ซึ่งทำให้การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวิธีบ่มด้วยความร้อนมีคุณสมบัติเชิงกลมากกว่าการขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มด้วยตัวเอง [28]

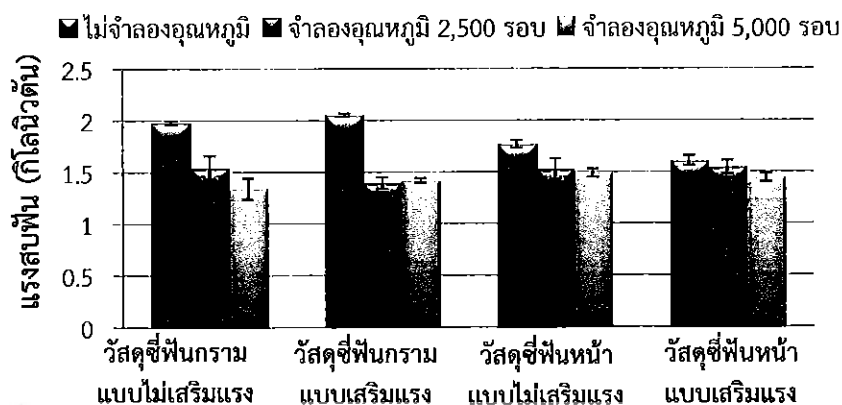
#### 4.1.3 ผลการทดสอบสมบัติแรงสปริง ของซีฟีนเทียมที่สภาวะปกติและผ่านสภาวะจำลองการใช้งาน

การทดสอบสภาวะจำลองอุณหภูมิเป็นการจำลองสภาวะการใช้งานภายในช่องปาก จำลองการรับประทานอาหารอุณหภูมิร้อนเย็นสลับกัน โดยใช้อุณหภูมิน้ำร้อน 55 องศาเซลเซียส และน้ำเย็น 5 องศาเซลเซียส จำนวนรอบ 2,500 และ 5,000 รอบ เทียบกับเวลามาตรฐานเท่ากับ 3 และ 6 เดือน ตามลำดับ

แรงสปริงคือ แรงสูงสุดที่ซีฟีนเทียมสามารถรับแรงได้ วัดได้จากเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุแบบอเนกประสงค์ ในงานวิจัยนี้ทางคณะผู้จัดทำได้ศึกษาแรงสปริงของซีฟีนเทียมสองแบบคือ ซีฟีนกรามและซีฟีนหน้าแล้วนำมาวิเคราะห์ผลได้ดังนี้



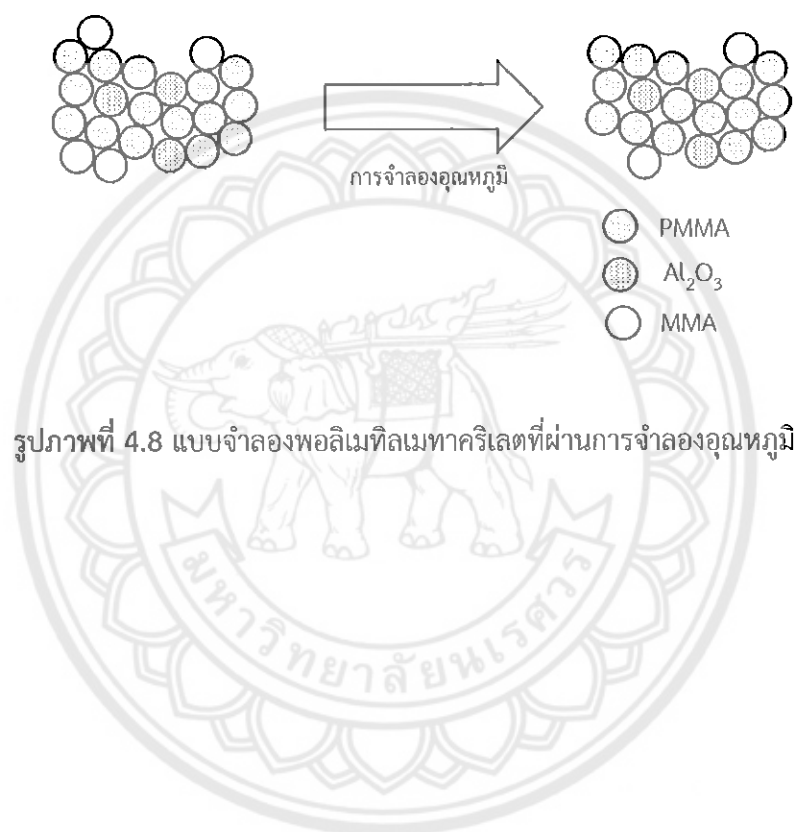
รูปที่ 4.6 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงสปริงกับการผ่านสภาวะจำลองอุณหภูมิของการขึ้นรูปชิ้นงานแบบการบ่มด้วยความร้อน



รูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงสับสนกับการผ่านสภาวะจำลองอุณหภูมิของการขึ้นรูปชิ้นงานแบบการบ่มด้วยตัวเอง

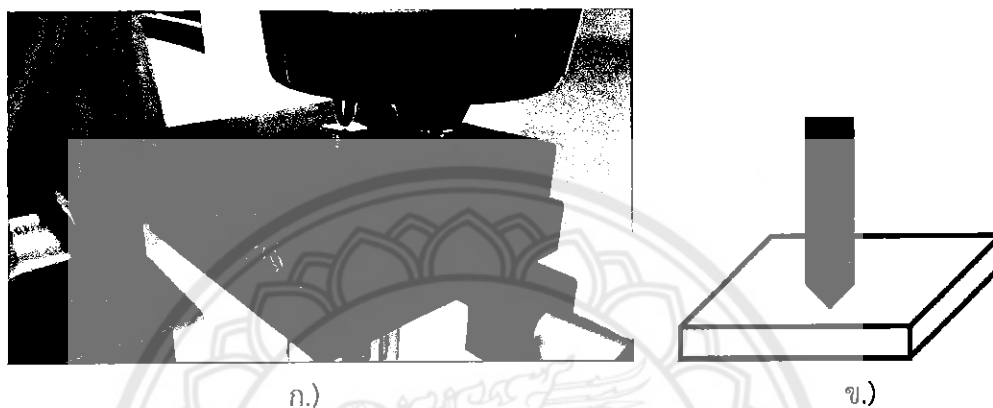
จากรูป 4.6 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงสับสนกับการผ่านสภาวะจำลองอุณหภูมิของการขึ้นรูปชิ้นงานแบบการบ่มด้วยความร้อน จากแผนภูมิจะเห็นว่า 1). วัสดุชีฟนกรามแบบไม่เสริมแรง 2). วัสดุชีฟนกรามแบบเสริมแรง 3). วัสดุชีฟนหน้าแบบไม่เสริมแรงและจากรูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงสับสนกับการผ่านสภาวะจำลองอุณหภูมิของการขึ้นรูปชิ้นงานแบบการบ่มด้วยตัวเอง จากแผนภูมิจะเห็นว่า 1). วัสดุชีฟนกรามแบบไม่เสริมแรง 2). วัสดุชีฟนหน้าแบบไม่เสริมแรง 3). วัสดุชีฟนหน้าแบบเสริมแรง เมื่อนำชิ้นงานทั้งวิธีการขึ้นรูปด้วยความร้อนและบ่มด้วยตัวเองผ่านสภาวะจำลองอุณหภูมิที่ 2,500 และ 5,000 รอบ พบว่าค่าแรงสับสนของชีฟนเทียมที่นำไปจำลองสภาวะการใช้งานที่จำนวนรอบมากขึ้นส่งผลให้มีค่าแรงสับสนลดลงตามลำดับ เนื่องจากสภาวะการจำลองอุณหภูมิคือ การนำชิ้นงานทดสอบผ่านการแช่น้ำร้อนและน้ำเย็นสลับกัน ทำให้พันธะเคมีของชีฟนเทียมเปลี่ยนแปลงไปเกิดการทำลายของพันธะทางเคมี ทำให้เกิดช่องว่างของโครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ กลายเป็นวัสดุที่มีความแข็งเปราะและมีแรงสับสนต่ำลงกว่าชีฟนเทียมที่ไม่ผ่านสภาวะจำลองอุณหภูมิ ยิ่งผ่านการจำลองอุณหภูมิจำนวนรอบมากขึ้นเท่ากับการใช้งานชีฟนเทียมในระยะเวลาานทำให้ชีฟนเทียมมีประสิทธิภาพในการรับแรงได้น้อยลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wirley G.A. และคณะ [21] ที่ได้ศึกษาผลของการจำลองการใช้งานในระยะเวลาต่างๆ ต่อความแข็งและความเหนียวของชีฟนเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลต จากผลการวิจัยพบว่าชีฟนเทียมรับแรงได้น้อยลงเมื่อใช้งานเป็นระยะเวลาานแล้ว จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าที่สภาวะ 4). วัสดุชีฟนหน้าแบบเสริมแรง แล้วจากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าที่สภาวะ 4). วัสดุชีฟนกรามแบบเสริมแรง มีค่าแรงสับสนจากการจำลองอุณหภูมิที่ 5,000 รอบ มากกว่าการจำลองอุณหภูมิที่ 2,500 ทั้งนี้อธิบายได้ว่า วัสดุมีมอนอเมอร์หลงเหลืออยู่จากกบมตัวที่ไม่สมบูรณ์ จึงโดนความร้อนของสภาวะจำลองทำให้ชีฟนเทียมเกิดปฏิกิริยาการบ่มตัวต่อ แล้วสายโซ่พอลิเมอร์เกิดการเชื่อมต่อกัน เรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้น ชีฟน

เทียมจึงสามารถรับแรงได้สูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.8 ซึ่งที่การจำลองที่ 5,000 รอบใช้ระยะเวลาในการจำลองที่นานกว่าจึงทำให้สามารถรับแรงได้มากกว่าการจำลองอุณหภูมิที่ 2,500 รอบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yasemin K.O. และคณะ [29] ที่ได้ศึกษาผลของการจำลองการใช้งานต่อพันธะความแข็งของซีฟีนเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตพบว่า มีบางสภาวะเมื่อซีฟีนเทียมผ่านการจำลองอุณหภูมิแล้วทำให้สามารถรับแรงได้สูงขึ้น อันเนื่องมาจากการเชื่อมต่อของพันธะเช่นกัน



#### ตอนที่ 4.2 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งแรงแบบวิกเกอร์

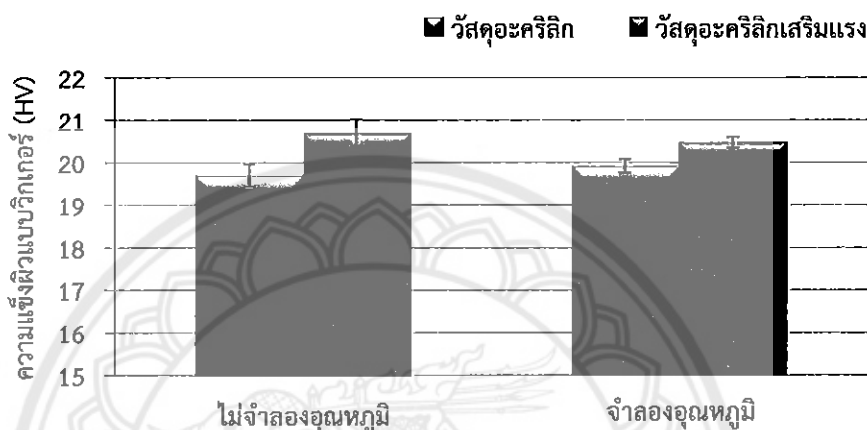
การศึกษาเรื่องความแข็งแรงผิวของซีฟันเทียม โดยการทดสอบความแข็งแรงแบบวิกเกอร์ ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบมีพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส  $12 \times 12$  มิลลิเมตร เพื่อศึกษาผลของการเสริมแรงด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ การจำลองอุณหภูมิและการจำลองการกัดกร่อนต่อความแข็งแรง



รูปที่ 4.9 การทดสอบความแข็งแรงผิวแบบวิกเกอร์โดย ก.) เครื่องทดสอบความแข็งแรงผิวแบบวิกเกอร์  
ข.) ลักษณะการกดชิ้นงานที่หัวกดฐานพีระมิดสี่เหลี่ยมมีมุม 136 องศา

#### 4.2.1 ผลการศึกษาผลขอผลการทดสอบสมบัติความแข็งแรงแบบวิกเกอร์โดยการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ 2.5 ร้อยละโดยมวล

ในหัวข้อนี้ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค่าผลของการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีผลต่อความแข็งแรงโดยผ่านการจำลองอุณหภูมิและไม่ผ่านการจำลองอุณหภูมิ ซึ่งจะได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.10



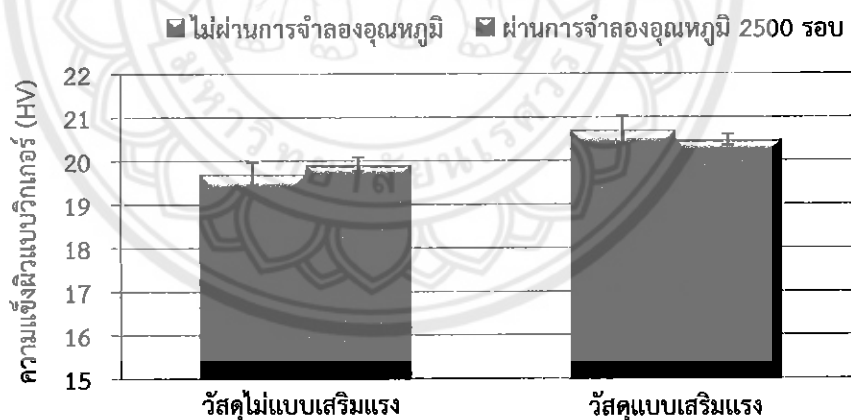
รูปที่ 4.10 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีผลต่อความแข็งแรง

จากรูปที่ 4.10 แสดงผลของการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีผลต่อความแข็งแรงทั้งการผ่านการจำลองอุณหภูมิและไม่ผ่านการจำลอง พบว่าอะลูมิเนียมออกไซด์ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงทำให้ซีฟันเทียมมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่เติมอะลูมิเนียมออกไซด์ทั้งไม่ผ่านการจำลองอุณหภูมิและผ่านการจำลองอุณหภูมิจึงมีค่าความแข็งแรงเฉลี่ยเท่ากับ 19.70 และ 19.92 HV ตามลำดับ เมื่อพิจารณาซีฟันเทียมที่เติมอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ไม่ผ่านการจำลองอุณหภูมิและผ่านการจำลองอุณหภูมิจึงมีค่าความแข็งแรงเฉลี่ยเท่ากับ 20.71 และ 20.47 HV ตามลำดับ พบว่าซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เติมอะลูมิเนียมออกไซด์มีค่าความแข็งแรงมากกว่าซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่เติมอะลูมิเนียมออกไซด์ทั้งไม่ผ่านการจำลองอุณหภูมิและผ่านการจำลองอุณหภูมิ 5.13 และ 2.76 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ถูกเสริมแรงด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์จะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นในทุกๆ สภาวะของฟัน เนื่องจากอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นวัสดุเสริมแรงที่มีความแข็งแรงสูงกว่าพอลิเมทิลเมทาคริเลต ทำให้พอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิตมีความแข็งแรงมากขึ้นและสามารถรับแรงได้สูงขึ้น อีกทั้งปริมาณของอนุภาคที่เหมาะสมนั้นจะทำให้พอลิเมทิลเมทาคริเลต (วัสดุเนื้อหลัก) กับอะลูมิเนียมออกไซด์ (วัสดุเสริมแรง) เข้ากันได้ดี การกระจายตัวของวัสดุเสริมแรงสามารถกระจายตัวได้ดีในวัสดุเนื้อหลักและทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุเนื้อหลักและวัสดุเสริมแรงเพิ่มขึ้น ความสามารถในการรับแรงของซีฟันเทียมดีขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ

กนกพร ศรีวิชาและวุฒิชัย มาน้อย [4] ที่ได้ศึกษาการเสริมแรงซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วย อะลูมิเนียมออกไซด์ ผลการทดลองพบว่าเมื่อเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ในปริมาณที่ 2.5 ร้อยละโดยมวล ทำให้ซีฟันเทียมรับแรงได้ดีขึ้นมีค่าต้านทานแรงดัดโค้งที่สูง ซึ่งจากผลการทดลองเมื่อนำชิ้นงานทดสอบ ไปส่องดูลักษณะการกระจายตัวของวัสดุเสริมแรงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะได้ว่าปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์ในปริมาณที่ 2.5 ร้อยละโดยมวล เกิดการกระจายตัวของวัสดุเสริมแรง สามารถกระจายตัวได้ดีในวัสดุเนื้อหลัก การเสริมแรงด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ทำให้ค่าความแข็งผิวเพิ่มขึ้นดังรายงานผลการวิจัยของ Vojdani M. และคณะ [13] ที่ได้ศึกษาค่าความแข็งผิวของซีฟัน เทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตเมื่อเสริมแรงด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์

#### 4.2.2 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวแบบวิกเกอร์โดยผ่านการจำลองอุณหภูมิ

การศึกษาผลของการจำลองอุณหภูมิเป็นการจำลองสภาวะการใช้งานภายในช่องปาก จำลองการรับประทานอาหารอุณหภูมิร้อนเย็นสลับกัน โดยใช้อุณหภูมิน้ำร้อน 55 องศาเซลเซียส และ น้ำเย็น 5 องศาเซลเซียส จำนวนรอบ 2,500 รอบ เทียบกับเวลามาตรฐานเท่ากับ 3 เดือน เพื่อหาผล ต่อความแข็งผิวแบบวิกเกอร์ของซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและพอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิต แบบบ่มด้วยความร้อน นำมาวิเคราะห์ผลได้ดังนี้



รูปที่ 4.11 แผนภูมิแสดงผลของการจำลองอุณหภูมิต่อความแข็งผิวแบบวิกเกอร์

จากรูปที่ 4.11 แสดงผลการจำลองอุณหภูมิต่อค่าความแข็งผิวของวัสดุซีฟันเทียมแบบ เสริมแรงและไม่เสริมแรง พบว่าวัสดุซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตเมื่อผ่านการจำลองอุณหภูมิ 2,500 รอบ แล้วมีค่าความแข็งผิวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นชิ้นงานซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตขึ้น รูปแบบบ่มเนื้อด้วยความร้อน เมื่อนำไปจำลองอุณหภูมิแล้วจะเป็นการให้ความร้อนแก่ซีฟันแล้ว เกิดปฏิกิริยาการบ่มตัวต่ออย่างสมบูรณ์ ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการเชื่อมต่อกันมากขึ้นและมีส่วน

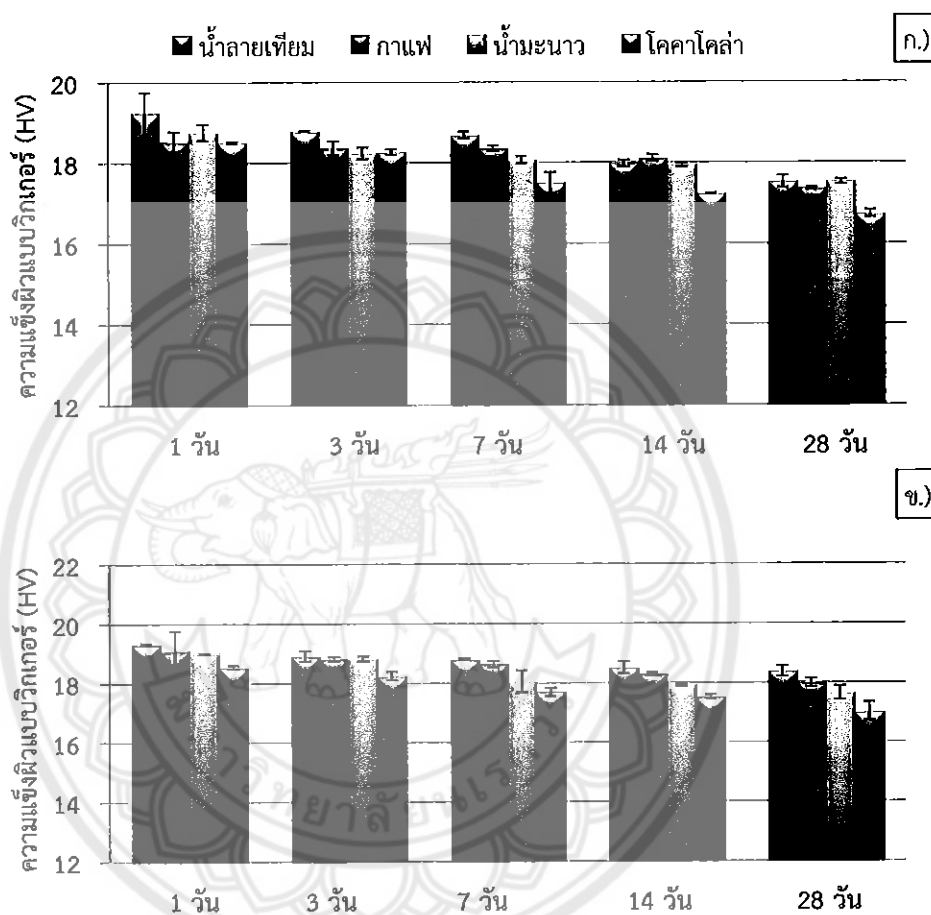


ของมอนอเมอร์หลงเหลืออยู่น้อยมาก ซีฟีนเทียมจึงมีความแข็งมากขึ้นจากกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการจำลองอุณหภูมิ 1.13 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Juan I. [15] และคณะที่ศึกษาผลของการจำลองอุณหภูมิต่อความแข็งผิว ผลการวิจัยพบว่าเมื่อผ่านการจำลองอุณหภูมิแล้วซีฟีนเทียมจะมีค่าความแข็งผิวสูงขึ้นเช่นกันแสดงดังรูปที่ 4.8 แบบจำลองพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ผ่านการจำลองอุณหภูมิ

เมื่อพิจารณาในส่วนของซีฟีนเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิต ที่เสริมแรงด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก พบว่ากลุ่มควบคุมที่ยังไม่มีการจำลองอุณหภูมิมิมีค่าความแข็งผิว 20.71 HV ซึ่งมีค่าสูงกว่าซีฟีนเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตทั้งที่ยังไม่จำลองอุณหภูมิและที่จำลองอุณหภูมิแล้ว เนื่องจากอะลูมิเนียมออกไซด์มีค่าความแข็งสูงเมื่อนำมาเสริมแรงให้กับซีฟีนเทียมแล้วทำให้ซีฟีนเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิตมีค่าความแข็งสูงเช่นกัน เมื่อนำซีฟีนเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิตผ่านการจำลองอุณหภูมิจบพบว่าค่าความแข็งผิวลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wirley G.A และคณะ [21] ได้ศึกษาผลของการจำลองการใช้งานในระยะเวลาต่างๆต่อความแข็งและความเหนียวของซีฟีนเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลต ผลการวิจัยพบว่าพอลิเมทิลเมทาคริเลตเมื่อผ่านการจำลองอุณหภูมิแล้วค่าความแข็งผิวมีค่าลดลง เนื่องจากซีฟีนเทียมเมื่อเสริมแรงด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ แล้วเกิดการเข้ากันได้บ้าง ทำให้อุณหภูมิรอยต่อระหว่างพื้นผิว เมื่อผ่านการให้ความร้อนในการจำลองอุณหภูมิแล้วส่งผลให้เกิดการคลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อสายโซ่ถูกคลายออกให้ห่างกันมากขึ้น ทำให้ซีฟีนเทียมมีการดูดซับน้ำเข้าไป แล้วทำให้คุณสมบัติในการรับแรงต่ำลง ค่าความแข็งผิวจึงลดลงจากสภาวะปกติ 1.17 เปอร์เซ็นต์

#### 4.2.3 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวแบบวิกเกอร์โดยผ่านการจำลองการกัดกร่อนจากสารเคมี

ผลการศึกษาการจำลองการกัดกร่อนจากสารเคมีที่มีผลต่อความแข็งผิว ดังแสดงในรูปต่อไปนี



รูปที่ 4.12 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งผิวแบบวิกเกอร์กับระยะเวลาการจำลองการกัดกร่อนจากสารเคมีโดย ก.) วัสดุไม่เสริมแรง ข.) วัสดุเสริมแรง

จากรูปที่ 4.12 เป็นแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งผิวแบบวิกเกอร์กับระยะเวลาการจำลองการกัดกร่อนจากสารเคมี ซึ่งมีการเปรียบเทียบกันระหว่าง ก.) เมททิลเมทาคริเลตไม่เสริมแรงกับ ข.) เมททิลเมทาคริเลตเสริมแรง ที่ระยะเวลาตั้งแต่ 0 - 28 วัน โดยแบ่งการสังเกตเป็น 5 ช่วง คือ ที่ 1 3 7 14 และ 28 วัน และการจำลองการกัดกร่อนใช้สารละลายที่มีค่าความเป็นกรดที่แตกต่างกันเมื่อ น้ำลายเทียม pH = 7 กาแฟมี pH = 4.9 น้ำมะนาว pH = 4 และโคคาโคล่า pH = 2.4

จากแผนภูมิ 4.12 ก.) จะเห็นได้ว่าโคคาลามีค่าความแข็งผิวน้อยที่สุด มีค่าความแข็งผิวเท่ากับ 16.73 HV ที่การจำลอง 28 วัน ลดลงจากวันที่ 1 มีค่าความแข็งผิวเท่ากับ 18.531 HV ซึ่งลดลงมาถึง 9.71 เปอร์เซ็นต์ น้ำมะนาวมีค่าความแข็งผิวเท่ากับ 17.52 HV ที่การจำลอง 28 วัน ลดลงจากวันที่ 1 มีค่าความแข็งผิวเท่ากับ 18.75 HV ซึ่งลดลงมาถึง 6.56 เปอร์เซ็นต์ กาแฟมีค่าความแข็งผิวเท่ากับ 17.36 HV ที่การจำลอง 28 วัน ลดลงจากวันที่ 1 มีค่าความแข็งผิวเท่ากับ 18.53 HV ซึ่งลดลงมาถึง 6.311 เปอร์เซ็นต์ แล้วตัวควบคุม น้ำลายเทียมมีค่าความแข็งผิวเท่ากับ 19.31 HV ที่การจำลอง 28 วัน ลดลงจากวันที่ 1 มีค่าความแข็งผิวเท่ากับ 18.38 HV ซึ่งลดลงมาถึง 4.81 เปอร์เซ็นต์ แล้วแผนภูมิ 4.12 ข.) มีแนวโน้มเช่นเดียวกับแผนภูมิ 4.12 ก.) เนื่องจากโคคาโคลามีค่าความแข็งผิวน้อยที่สุด มีค่าความแข็งผิวลดลงมากถึง 8.14 7.11 5.81 และ 4.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นว่าชิ้นงานที่ผ่านการจำลองการกัดกร่อนจากสารเคมีมีค่าความแข็งผิวลดลงตามค่า pH ที่มีค่าความเป็นกรดมาก เนื่องจากที่ pH ที่มีค่าความเป็นกรดมาก ความเป็นกรดจะทำลายเนื้อเยื่อที่ผิวของชิ้นงาน ทำให้พื้นผิวของชิ้นงานมีความอ่อนนุ่มแล้วยังเกิดการสูญเสียน้ำหนักของพื้นที่ผิวของชิ้นงานอีกด้วยจึงทำให้มีความแข็งผิวลดลงตามลำดับ [30] และระยะเวลาในการแช่ก็มีผลที่ทำให้มีค่าความแข็งผิวลดลงเนื่องจากระยะเวลาผ่านไป จะทำให้ชิ้นพื้นเทียมเกิดการสึกกร่อนมากขึ้นตามระยะเวลาที่มากขึ้น

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### 5.1.1 ผลการศึกษาผลของการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ 2.5 ร้อยละโดยมวล ที่มีผลต่อแรงสปน

จากผลการทดลองเพื่อหาผลของการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ 2.5 ร้อยละโดยมวลต่อแรงสปน พบว่าซีพินเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิตเสริมแรงด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์มีค่าแรงสปนของซีพินแกรมบ่มด้วยความร้อน ซีพินแกรมบ่มด้วยตัวเองและซีพินหน้าบ่มด้วยความร้อนในกรณีที่ไม่มีการจำลองอุณหภูมิ ค่าแรงสปนเฉลี่ยแต่ละสภาวะคือ 2.16 2.05 และ 1.59 กิโลนิวตัน ตามลำดับ สูงกว่าซีพินเทียมที่ไม่ได้เสริมแรง 20.67 3.02 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

##### 5.1.2 ผลการศึกษาผลของการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวิธีบ่มด้วยความร้อนและการบ่มด้วยตัวเองต่อแรงสปน

จากผลการทดลองเพื่อหาผลของวิธีการขึ้นรูปต่อแรงสปน เมื่อพิจารณาของลักษณะการขึ้นรูปชิ้นงานที่บ่มด้วยตัวเองและบ่มด้วยความร้อน พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวิธีบ่มด้วยตัวเองมีค่าแรงสปนมากกว่าการขึ้นรูปด้วยความร้อนในสภาวะดังต่อไปนี้คือ ซีพินแกรมอะคริลิก ซีพินแกรมอะคริลิกเสริมแรงด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์และซีพินหน้าอะคริลิกเสริมแรงด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ แต่ความแข็งแรงที่ทดสอบได้จากวิธีบ่มด้วยตัวเองเป็นความแข็งแรงแบบแข็งแรงประาะ ค่าแรงสปนเฉลี่ยแต่ละสภาวะคือ 1.98 1.77 และ 1.61 กิโลนิวตัน ตามลำดับ สูงกว่าซีพินเทียมที่ผ่านวิธีการขึ้นรูปด้วยความร้อน 10.61 18 และ 1.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

##### 5.1.3 ผลการศึกษาผลของการจำลองอุณหภูมิต่อแรงสปน

จากผลการทดลองเพื่อหาผลของการจำลองอุณหภูมิต่อแรงสปน โดยแบ่งออกเป็นสองส่วนคือผลของการจำลองอุณหภูมิต่อแรงสปนของซีพินเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มด้วยความร้อนและผลของการจำลองอุณหภูมิต่อแรงสปนของซีพินเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มด้วยตัวเอง พบว่าทั้งสองส่วนเมื่อผ่านการจำลองอุณหภูมิ 2,500 และ 5,000 รอบ ค่าแรงสปนจะลดลงตามลำดับ ในส่วนของซีพินเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตขึ้นรูปด้วยวิธีบ่มด้วยความร้อนที่

สภาวะซีฟันทึ่มพอลิเมทิลเมทาครีเลตเมื่อผ่านการจ้ลองอุณหภูมิจ 5,000 ครอบ แล้วมืค่าแรงสบฟันทึลลดล่งต่ำสุด 1.21 กิลอนิวตัน ต้กว้ซีฟันทึ่มพอลิเมทิลเมทาครีเลตคอมโพสึตเสริมแรงด้วยอะลูมึเนียมออกซึด 18.79 เพอร์เซนต์ และในส่วนของซีฟันทึ่มพอลิเมทิลเมทาครีเลตซึ่นรูปด้วยวิธีบ่มด้วยตัวเองในสภาวะซีฟันทึ่มพอลิเมทิลเมทาครีเลตเมื่อผ่านการจ้ลองอุณหภูมิจ 5,000 ครอบ มืค่าแรงสบฟันทึลลดล่งต่ำสุด มืค่าแรงสบฟันทึล 1.34 กิลอนิวตัน ต้กว้ซีฟันทึ่มพอลิเมทิลเมทาครีเลตคอมโพสึตเสริมแรงด้วยอะลูมึเนียมออกซึด 32.32 เพอร์เซนต์

#### 5.1.4 ผลการศึษาผลของการเตมอะลูมึเนียมออกซึด 2.5 ร้อยละโดยมวลต่อความซึ้งผิว

จกผลการทดลองเพือหาผลของการเตมอะลูมึเนียมออกซึด 2.5 ร้อยละโดยมวล ต่อความซึ้งผิว พบว้ซีฟันทึ่มพอลิเมทิลเมทาครีเลตคอมโพสึตเสริมแรงด้วยอะลูมึเนียมออกซึดมืความซึ้งผิวมากซึ่นทึ้งในสภาวะปกติและสภาวะผ่านการจ้ลองอุณหภูมิจ มืค่าความซึ้งผิวเฉลี่ยคื 20.71 และ 20.47 HV ตามลำดับ สุกว้ซีฟันทึ่มพอลิเมทิลเมทาครีเลตคอมโพสึตเสริมแรง 5.13 และ 2.76 เพอร์เซนต์ตามลำดับ

#### 5.1.5 ผลการศึษาผลของการผ่านการจ้ลองอุณหภูมิจที่มีผลต่อความซึ้งผิว

จกผลการทดลองเพือหาผลการผ่านการจ้ลองอุณหภูมิจต่อความซึ้งผิว พบว้ซีฟันทึ่มพอลิเมทิลเมทาครีเลต เมื่อผ่านการจ้ลองอุณหภูมิจจะมีค่าความซึ้งผิวเฉลี่ยคื 19.92 HV สุกว้สภาวะทึ่มผ่านการจ้ลองอุณหภูมิจ 1.13 เพอร์เซนต์ เนือจกเกิดปฏึกรึยาบ่มตัวต่อและซีฟันทึ่มพอลิเมทิลเมทาครีเลตคอมโพสึตเมื่อผ่านการจ้ลองอุณหภูมิจจะมีค่าความซึ้งผิวคื 20.47 HV ลดล่งมากกว่าสภาวะทึ่มผ่านการจ้ลองอุณหภูมิจ 1.17 เพอร์เซนต์

#### 5.1.6 ผลการศึษาการจ้ลองการกั้ดกร่อนจกสารเคมิจที่มีผลต่อความซึ้งผิว

จกผลการทดลองเพือหาผลของการจ้ลองการกั้ดกร่อนจกสารเคมิจต่อความซึ้งผิว พบว้ซีฟันทึ่มพอลิเมทิลเมทาครีเลตและซีฟันทึ่มพอลิเมทิลเมทาครีเลตคอมโพสึตเมื่อผ่านการจ้ลองการกั้ดกร่อนจกสารเคมิจมืค่าความซึ้งผิวลดล่งเมื่อผ่านการจ้ลองในระยเวลาคื 28 วัน และโคคาโคล้เป็นสารละลายทึ่มทำให้ค่าความซึ้งผิวลดล่งมากทึ่มสุด เนือจกมืค่าความเป็นกรตสูง สภาวะทึ่มซีฟันทึ่มพอลิเมทิลเมทาครีเลตมีค่าความซึ้งผิวต่ำทึ่มสุดคื ซีฟันทึ่มพอลิเมทิลเมทาครีเลตมืค่าความซึ้งผิว 16.73 HV ต้กว้ซีฟันทึ่มพอลิเมทิลเมทาครีเลตคอมโพสึตเสริมแรงด้วยอะลูมึเนียมออกซึด 17.75 เพอร์เซนต์

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากโครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาสมบัติแรงสฟีนและความแข็งแรงของซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ผ่านการจำลองอุณหภูมิและการจำลองการกัดจากสารเคมีที่มีความเป็นกรดต่างกัน ในระยะเวลาที่ต่างกัน สำหรับแรงสฟีนขึ้นงานจะขึ้นรูปเป็นซีฟันเทียมในลักษณะซีฟันกราม และฟันหน้าและสมบัติความแข็งแรงจะขึ้นรูปขึ้นงานเป็นลักษณะสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทั้งนี้มีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางการศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการใช้งานด้านอื่นๆ ต่อไปคือ

- 1) ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิตที่มีการปรับสภาพพื้นผิววัสดุเสริมแรงกับที่ไม่มีการเสริมแรง
- 2) การจำลองการกัดกร่อนจากสารเคมีของซีฟันเทียมควรใช้ระยะเวลาในการศึกษานานกว่า 28 วัน เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงที่ชัดเจนยิ่งขึ้น
- 3) ควรพัฒนาปรับปรุงซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วยการทดสอบความสามารถในการใช้งานจริง เช่น ความเป็นพิษ ความเข้ากันได้ของเนื้อเยื่อ เพื่อความปลอดภัยต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น



## เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักสารนิเทศ กระทรวงสาธารณสุข. (2015). สาธารณสุขเผยของขวัญฟันเทียมผู้สูงวัยคืบหน้า จับมือมหาวิทยาลัยเพิ่มเป้าหมายอีก 2,200 ราย เสร็จต้นธันวาคม. นนทบุรี.
- [2] McCabe, J. F. and Walls, A. (2008). Applied dental materials (9<sup>th</sup> ed). Oxford: Blackwell.
- [3] Miao X et al. (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).
- [4] กนกพร ศรีวิชาและวุฒิชัย มาน้อย. (2013). ผลของการเติมวัสดุเสริมแรงต่อการทานแรงดัดโค้ง ความแข็งแรงและแรงยึดเหนี่ยวของซีฟันเทียมอะคริลิก. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- [5] Gale MS and Darvell BW. (1999). Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. Journal of Dental (Vol.27. No.2, pp. 89-99).
- [6] พวงรัตน์ ขจิตวิษยานุกูลและจิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย. อะลูมิเนียมไดออกไซด์ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). สถานวิจัยเพื่อความ เป็นเลิศทางวิชาการด้านวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [7] McCabe, J. F. and Walls, A. (2008). Applied dental materials (9<sup>th</sup> ed). Oxford: Blackwell.
- [8] Brydson, J. A. (1999). Plastics Materials. Butterworth Heinemann.
- [9] วันทกัต กิรติเสวีและคณะ. ภาพรวมของวัสดุเชิงประกอบ. วิศวกรรมสาร (หน้า 21-24). คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน.
- [10] จิตติ รินเสนา. (2551). การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบอะลูมินา-อะลูมิเนียม แบบอัดซ้อน. (หน้า 3-19). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก.
- [11] นพวรรณ โหมทอง. (2558). ผลของวัสดุเสริมแรงที่มีต่อสมบัติทางกล การดูดซึมน้ำและสมบัติ ไดนามิกสัวิสโคอีลาสติก ของวัสดุฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลทคอมโพสิต. มหาวิทยาลัย นเรศวร.
- [12] เจน รัตน์ไพศาล. (2533). พันธวัสดุศาสตร์. (พิมพ์ครั้งที่ 2. หน้า 385-387). กรุงเทพฯ: บริษัท สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด.

- [13] Vojdani M et al. (2012). Effects of aluminum oxide addition on the flexural strength, surface hardness, and roughness of heat-polymerized acrylic resin. *Journal of Dental Sciences* (Vol.2, pp. 238-244). Biomaterial Research Center, School of Dentistry, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran.
- [14] Mese A et al. (2015). Effect of storage duration on the hardness and tensile bond strength of silicone- and acrylic resin-based resilient denture liners to a processed denture base acrylic resin (6<sup>th</sup> ed., pp. 28-34). Egypt.
- [15] Juan I et al. (2001). The effect of thermocycling on the fracture toughness and hardness of core buildup materials. *Journal of Prosthetic Dentistry* (Vol.86, No.5).
- [16] Wongkhantee S. et al. (2004). Effect of acidic food and drinks on surface hardness of enamel dentine and tooth-coloured filling materials. Department of Operative Dentistry Khon-Kaen University.
- [17] Eygen I. V. et al. (2005). Influence of a soft drink with low pH on enamel surfaces: An in vitro study (Vol.128, pp.372-379). Belgium
- [18] Neppelenbroek K.. (2005). Hardness of heat-polymerized acrylic resins after disinfection and long-term water immersion. Department of Dental Materials and Prosthodontics Sao Paulo State University.
- [19] กาญจนพร มิ่งมงคลชัยกุลและปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล. (2011). ความแข็งผิวของซีฟันเทียมอะคริลิกชนิดเทอร์โมพลาสติก. ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [20] Pinto J et al. (2002). Effect of thermocycling on bond strength and elasticity of 4 long-term soft denture liners (Vol.88, No.5, pp. 516-521). Brazil.
- [21] Wirley G.A et al. (2010). Effect of storage in artificial saliva and thermal cycling on Knoop hardness of resin denture teeth. *Journal of Prosthodontic Research* (Vol.54, pp. 123–127).



- [22] Dominic A.S. et al. (2010). The effect of clinically relevant thermocycling on the flexural properties of endodontic post materials (pp.123-127). England.
- [23] Heintze S.D. et al. (2011). A new method to test the fracture probability of all ceramic crowns with a dual-axis chewing simulator. **Journal of Dental materials** ( pp.10-19.)
- [24] Koutayas S. et al. (2000). Influence of design and mode of loading on the fracture strength of allceramic resin-bonded fixed partial dentures: An in vitro study in a dual-axis chewing simulator (Vol.83, pp. 540-547).
- [25] Guo J. et al. (2014). Investigation of the time-dependent wear behavior of veneering ceramic in porcelain fused to metal crowns during chewing simulations (pp.23-32).
- [26] Heintze S.D. et al. (2008). The effect of the definitive test of ceramic crowns with different simulated chewing load. **Journal Dental materials** (Vol.24. pp. 1352–1361).
- [27] พีระพงษ์ จันทร์พุ่ม. (2008). เซอร์โคเนียเซรามิก: เซรามิกทางเลือกสำหรับฟันเทียมบางส่วนติดแน่นในฟันหลวง. วารสารทันตะ (ฉบับที่ 1)
- [28] G. VISHAL et al. Denture base materials (acrylic resins). Presentation for student.
- [29] Yasemin K.O, Atilla S. and Hale G. (2003). Effect of thermocycling on tensile bond strength of six silicone-based resilient denture liners. **Journal of Prosthetic Dentistry** (Vol.89.No.3).
- [30] Vanga V. et al. (2011). Effect of Cola on Surface Microhardness and Marginal Integrity of Resin Modified Glass Ionomer and Compomer. **Journal of Scientific Research**. Department of Pedodontics and Preventive Dentistry, Coorg Institute of Dental Sciences.



ภาคผนวก ก


ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของซีฟันเทียม

มหาวิทยาลัยพระนครศรีอยุธยา


ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบสมบัติแรงสปริง

ซีพีนเทียม	สูตร	วิธีการขึ้นรูป	การจำลองอุณหภูมิ	แรงสปริง (กิโลนิวตัน)
ซีพีนแกรม	พอลิเมทิลเมทา ครีเลต	บ่มด้วยความร้อน	ไม่จำลองอุณหภูมิ	1.79
			2,500 รอบ	1.56
			5,000 รอบ	1.54
		บ่มด้วยตัวเอง	ไม่จำลองอุณหภูมิ	1.98
			2,500 รอบ	1.55
			5,000 รอบ	1.34
	พอลิเมทิลเม ทาครีเลต + อะลูมิเนียม ออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก	บ่มด้วยความร้อน	ไม่จำลองอุณหภูมิ	2.17
			2,500 รอบ	1.73
			5,000 รอบ	1.56
		บ่มด้วยตัวเอง	ไม่จำลองอุณหภูมิ	2.05
			2,500 รอบ	1.39
			5,000 รอบ	1.42
ซีพีนหน้า	พอลิเมทิลเม ทาครีเลต	บ่มด้วยความร้อน	ไม่จำลองอุณหภูมิ	1.5
			2,500 รอบ	1.48
			5,000 รอบ	1.21
		บ่มด้วยตัวเอง	ไม่จำลองอุณหภูมิ	1.77
			2,500 รอบ	1.53
			5,000 รอบ	1.49
	พอลิเมทิลเม ทาครีเลต + อะลูมิเนียม ออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก	บ่มด้วยความร้อน	ไม่จำลองอุณหภูมิ	1.59
			2,500 รอบ	1.35
			5,000 รอบ	1.37
		บ่มด้วยตัวเอง	ไม่จำลองอุณหภูมิ	1.61
			2,500 รอบ	1.54
			5,000 รอบ	1.44

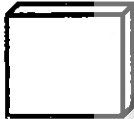
ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งแรงผิวที่ 1 วัน

สีฟันเทียม	สูตร	วิธีการขึ้นรูป	การจำลอง อุณหภูมิ	การจำลองการกัด กร่อนจากสารเคมี	ความแข็งแรง ผิว (HV)
	พอลิเมทิลเมทา ครีเลต		ไม่จำลอง อุณหภูมิ	น้ำลายเทียม	19.23
				กาแฟ	18.53
				น้ำมะนาว	18.76
			โคคา โคล่า	18.51	
			2,500 รอบ	น้ำลายเทียม	19.03
				กาแฟ	18.76
	น้ำมะนาว	18.71			
	พอลิเมทิลเมทาครี เลต + อะลูมิเนียม ออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก	ป่นด้วยความ ร้อน	ไม่จำลอง อุณหภูมิ	โคคา โคล่า	18.36
				น้ำลายเทียม	19.32
				กาแฟ	19.09
				น้ำมะนาว	18.99
			2,500 รอบ	โคคา โคล่า	18.54
				น้ำลายเทียม	18.98
				กาแฟ	18.87
น้ำมะนาว				18.75	
โคคา โคล่า	18				

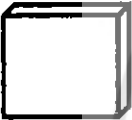
ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวที่ 3 วัน

สีพื้นเทียม	สูตร	วิธีการขึ้นรูป	การจำลอง อุณหภูมิ	การจำลองการกัด กร่อนจากสารเคมี	ความแข็ง ผิว(HV)
	พอลิเมทิลเมทา คริลิต	บ่มด้วยความ ร้อน	ไม่จำลอง อุณหภูมิ	น้ำลายเทียม	18.78
				กาแฟ	18.37
				น้ำมะนาว	18.24
				โคคา โคล่า	18.27
			2,500 รอบ	น้ำลายเทียม	18.77
				กาแฟ	18.8
				น้ำมะนาว	18.62
				โคคา โคล่า	18.24
	พอลิเมทิลเม ทาคริลิต + อะลูมิเนียม ออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก	บ่มด้วยความ ร้อน	ไม่จำลอง อุณหภูมิ	น้ำลายเทียม	18.92
				กาแฟ	18.82
				น้ำมะนาว	18.81
				โคคา โคล่า	18.24
			2,500 รอบ	น้ำลายเทียม	18.8
				กาแฟ	18.18
				น้ำมะนาว	18.67
				โคคา โคล่า	17.94


ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวที่ 7 วัน

สีฟันเทียม	สูตร	วิธีการขึ้นรูป	การจำลอง อุณหภูมิ	การจำลองการกัด กร่อนจากสารเคมี	ความแข็ง ผิว(HV)	
	พอลิเมทิลเมทา คริลิต		ไม่จำลอง อุณหภูมิ	น้ำลายเทียม	18.69	
				กาแฟ	18.355	
				น้ำมะนาว	18.07	
				โคคา โคล่า	17.5	
				น้ำลายเทียม	18.39	
				กาแฟ	18.51	
	พอลิเมทิลเม ทาคริลิต + อะลูมิเนียม ออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก	บ่มด้วยความ ร้อน	2,500 รอบ	ไม่จำลอง อุณหภูมิ	น้ำมะนาว	17.76
					โคคา โคล่า	17.61
					น้ำลายเทียม	18.8
					กาแฟ	18.62
					น้ำมะนาว	18.04
					โคคา โคล่า	17.68
					น้ำลายเทียม	18.68
					กาแฟ	17.72
2,500 รอบ	น้ำมะนาว	17.79				
	โคคา โคล่า	17.52				

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวที่ 14 วัน

ซีฟ้นเทียม	สูตร	วิธีการขึ้นรูป	การจำลอง อุณหภูมิ	การจำลองการกัด กร่อนจากสารเคมี	ความแข็ง ผิว(HV)	
	พอลิเมทิลเมทา ครีเลต	บ่มด้วยความ ร้อน	ไม่จำลอง อุณหภูมิ	น้ำลายเทียม	17.98	
				กาแฟ	18.11	
				น้ำมะนาว	17.94	
				โคคา โคล่า	17.23	
				น้ำลายเทียม	18.04	
				กาแฟ	18.24	
	พอลิเมทิลเม ทาครีเลต + อะลูมิเนียม ออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก	บ่มด้วยความ ร้อน	ไม่จำลอง อุณหภูมิ	2,500 รอบ	น้ำมะนาว	17.53
					โคคา โคล่า	17.38
					น้ำลายเทียม	18.51
					กาแฟ	18.31
					น้ำมะนาว	17.91
					โคคา โคล่า	17.52
					น้ำลายเทียม	18.38
					กาแฟ	17.98
โคคา โคล่า	17.67					
	โคคา โคล่า	17.42				

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวที่ 28 วัน

ซีพินเทียม	สูตร	วิธีการขึ้นรูป	การจำลอง อุณหภูมิ	การจำลองการกัด กร่อนจากสารเคมี	ความแข็ง ผิว(HV)
	พอลิเมทิลเมทา ครีเลต		ไม่จำลอง อุณหภูมิ	น้ำลายเทียม	17.53
				กาแฟ	17.36
				น้ำมะนาว	17.52
				โคคา โคล่า	16.73
			2,500 รอบ	น้ำลายเทียม	17.82
				กาแฟ	17.28
				น้ำมะนาว	17.41
				โคคา โคล่า	16.88
	พอลิเมทิลเม ทาครีเลต + อะลูมิเนียม ออกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก	บ่มด้วยความ ร้อน	ไม่จำลอง อุณหภูมิ	น้ำลายเทียม	18.38
				กาแฟ	17.98
				น้ำมะนาว	17.64
				โคคา โคล่า	17.02
			2,500 รอบ	น้ำลายเทียม	18.15
				กาแฟ	17.29
				น้ำมะนาว	17.3
				โคคา โคล่า	16.9