

สมบัติทางกายภาพและทางกลของซีเมนต์ที่กักการสพพื้นที่พัฒนาขึ้นใหม่

นางสาววิไลندا ไทยเจริญพร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

THE PHYSICAL PROPERTIES AND MECHANICAL PROPERTIES OF NEWLY
DEVELOPED BITE - REGISTRATION WAXES

Miss Wilanda Thaicharoenporn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Sciences Program in Prosthodontics

Department of Prosthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

สมบัติทางกายภาพและทางกลของซีเมนต์ที่ทำการสับพื้นที่
พัฒนาขึ้นใหม่

โดย

นางสาววิไลนดา ไทยเจริญพร

สาขาวิชา

ทันตกรรมประดิษฐ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง วัชรารภรณ์ ทัศจันทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. มรกต เปี่ยมใจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. วิวิทย์พล ศรีมณีพงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. พนารัตน์ ขอดแก้ว)

วิไลندا ไทยเจริญพร : สมบัติทางกายภาพและทางกลของขี้ผึ้งบันทึกการสบฟันที่พัฒนาขึ้นใหม่ (THE PHYSICAL PROPERTIES AND MECHANICAL PROPERTIES OF NEWLY DEVELOPED BITE - REGISTRATION WAXES)

อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ทพ.ดร. ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล, 158 หน้า.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของขี้ผึ้งบันทึกการสบฟันที่เตรียมขึ้นใหม่ 5 สูตร เปรียบเทียบกับขี้ผึ้งบันทึกการสบฟันที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า ได้แก่ ALUWAX (USA.) และ ALMINAX (UK.) และขี้ผึ้งที่ผลิตในประเทศไทย (ALUT) ตอนที่ 1 ศึกษาระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ในตุ้มจำลองสภาวะช่องปาก อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) และเปรียบเทียบเชิงซ้อนทุกคู่ และทามเฮน ($\alpha = 0.05$) ผลคือ การเติมคาร์บูนาในขี้ผึ้งบันทึกการสบฟันสูตรหลัก จะมีผลทำให้ระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตอนที่ 2 ศึกษาความแข็งผิวโดยเครื่องทดสอบค่าความแข็งผิวชอร์เอ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ วิเคราะห์ทางสถิติด้วยความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) และเปรียบเทียบเชิงซ้อนทามเฮน ($\alpha = 0.05$) ผลคือ การเติมคาร์บูนาในสูตรหลัก จะส่งผลให้ความแข็งผิวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าความแข็งผิวจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ตอนที่ 3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นหลังก่อตัว ที่เวลาต่าง ๆ โดยกล้องไมโครสโคป วิเคราะห์ทางสถิติด้วยความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) และเปรียบเทียบเชิงซ้อนทามเฮน ($\alpha = 0.05$) ผลคือ การเติมคาร์บูนาในสูตรหลัก จะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สรุปผล พบว่าขี้ผึ้งบันทึกการสบฟันที่เตรียมขึ้นใหม่สูตร C10 เป็นสูตรที่มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่น้อยกว่า และมีค่าความแข็งผิวที่สูงกว่าขี้ผึ้งบันทึกการสบฟันสูตรหลัก สูตร C05 และขี้ผึ้งบันทึกการสบฟันทางการค้า

สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์.....ลายมือชื่อ.....
ปีการศึกษา 2554.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

5276130032 : MAJOR PROSTHODONTICS

KEYWORDS : BITE REGISTRATION WAX / ALUWAX / ALMINAX

WILANDA THAICHAROENPORN : THE PHYSICAL PROPERTIES AND MECHANICAL PROPERTIES OF NEWLY DEVELOPED BITE - REGISTRATION WAXES. ADVISOR : ASSOC. PROF. PIYAWAT PHANKOSOL, Ph. D., 158 pp.

The purpose of this study was to examine the physical and mechanical properties of five newly developed bite-registration waxes compared to commercial waxes. Three commercial waxes; ALUWAX (USA), ALMINAX (UK), and ALUT (THAILAND) were tested. Part 1 aimed to evaluate the penetration using a penetrometer at 37°C. Two-way ANOVA was used for statistical analysis. Multiple comparison was done using Tamhane's T2 and Tukey HSD ($P < 0.05$). The results showed that adding carnauba waxes in the primary formula resulted in a significant decrease in penetration. The objective of part 2 was to evaluate surface hardness by the shore A hardness test at different temperatures. Two-way ANOVA was used for statistical analysis. Multiple comparison was done using Tamhane's T2 ($P < 0.05$). The results showed that adding carnauba waxes in the primary formula significantly increased surface hardness and increases in temperature reduced surface hardness. In part 3, the linear dimensional change of the waxes was evaluated at different times using a microscope. Two-way ANOVA was used for statistical analysis. Multiple comparison was done using Tamhane's T2 ($P < 0.05$). The results showed that adding carnauba waxes in the primary formula significantly decreased the linear dimensional change. We conclude that C10 is the best formula, with less linear dimensional change and higher surface hardness than primary formula, C05 and commercial waxes.

Field of Study : Prosthodontics..... Student's Signature

Academic Year : 2011..... Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือและการให้คำปรึกษาที่มีค่ายิ่ง ตลอดจนความเอาใจใส่ของรองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล อาจารย์ที่ปรึกษาหลักวิทยานิพนธ์ จึงขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. นิยม อารังค์อนันต์สกุล ที่ได้ให้ความรู้และคำปรึกษาต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับงานวิจัย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ไพโรพรรณ พิทยานนท์ ที่ได้ให้ความรู้และคำปรึกษาด้านสถิติ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ ศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก ที่ได้ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือ พร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดีตลอดมา

และสุดท้าย ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ขอขอบคุณพี่ชายและเพื่อน ๆ สำหรับกำลังใจดี ๆ ที่มีให้ตลอดมา และขอขอบคุณทพ. ตุลย์ ศรีอัมพร ที่คอยให้คำแนะนำต่าง ๆ จนงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ด
บทที่	
1 บทนำ	
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
คำถามของการวิจัย.....	3
สมมุติฐานของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	5
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	6
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	6
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
วิธีดำเนินการวิจัย.....	6
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
แนวคิดและทฤษฎี.....	7
การจำแนกชนิดของชี้ฝั่งทางทันกรรม.....	10
สมบัติต่าง ๆ ของชี้ฝั่ง.....	15
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
สมบัติความทนแรงอัดและความแข็งผิว.....	17
การวัดค่าความแข็งผิว.....	18
สมบัติเสถียรภาพทางมิติ.....	20
สมบัติคุณสมบัติหลอมเหลวของชี้ฝั่ง.....	23

บทที่	หน้า
สมบัติเวลาทำงานและเวลาก่อตัว.....	24
3 วิธีดำเนินการวิจัย	
ประชากร.....	26
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	26
วิธีการวิจัย.....	29
แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบด้วยวิธีทางสถิติ.....	37
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	40
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
ผลการศึกษาคุณนุภูมิการหลอมเหลว.....	42
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตอนที่ 1.....	46
ผลการเปรียบเทียบข้อมูลตอนที่ 1.....	52
ผลการวิเคราะห์ปัจจัยตอนที่ 1.....	54
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตอนที่ 2.....	55
ผลการเปรียบเทียบข้อมูลตอนที่ 2.....	55
ผลการวิเคราะห์ปัจจัยตอนที่ 2.....	58
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตอนที่ 3.....	60
ผลการเปรียบเทียบข้อมูลตอนที่ 3.....	60
ผลการวิเคราะห์ปัจจัยข้อมูลตอนที่ 3.....	68
5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
อภิปรายผลการวิจัย.....	70
สรุปผลการวิจัย.....	78
ข้อเสนอแนะ.....	79
รายการอ้างอิง.....	80
ภาคผนวก.....	85
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	158

สารบัญญัตินำ

ตารางที่		หน้า
1	แสดงส่วนประกอบและราคาขี้ผึ้งบันทึกการสพพันทางการค้า.....	12
2	แสดงค่าการนำความร้อนของผงโลหะชนิดต่าง ๆ.....	14
3	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของขี้ผึ้งชนิดต่าง ๆ.....	15
4	แสดงรายละเอียดการทดสอบความแข็งผิวแบบต่าง ๆ.....	20
5	แสดงข้อมูลวัสดุบันทึกการสพพันที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าแต่ละชนิด.....	25
6	แสดงรายละเอียดของสารตั้งต้นชนิดต่าง ๆ.....	29
7	แสดงร้อยละสารตั้งต้นในขี้ผึ้งบันทึกการสพพันที่เป็นสูตรหลัก.....	30
8	แสดงชื่อย่อและร้อยละของปริมาณคาร์บอนาในสูตรหลัก.....	30
9	แสดงคุณสมบัติการหลอมเหลวของขี้ผึ้งบันทึกการสพพัน.....	42
10	แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยระยะการแทรกผ่าน (มิลลิเมตร) โดยพีนิโตรมิเตอร์ของขี้ผึ้งบันทึกการสพพันที่เวลาต่าง ๆ.....	47
11	แสดงร้อยละการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์.....	52
12	แสดงผลค่าเฉลี่ยความแข็งผิวของขี้ผึ้งบันทึกการสพพันที่อุณหภูมิต่าง ๆ และร้อยละการลดลงของค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับที่ 25 องศาเซลเซียส.....	55
13	แสดงค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของขี้ผึ้งบันทึกการสพพัน.....	60
14	แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลา 0.5 ชั่วโมง.....	62
15	แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลา 1 ชั่วโมง.....	62
16	แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลา 24 ชั่วโมง.....	63
17	แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลา 48 ชั่วโมง.....	64
18	แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลา 72 ชั่วโมง.....	64

ตารางที่		หน้า
19	แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติ เชิงเส้นของ ALUWAX.....	65
20	แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติ เชิงเส้นของ ALMINAX.....	65
21	แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติ เชิงเส้นของสูตร C10.....	65
22	แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติ เชิงเส้นของสูตร C15.....	66
23	แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติ เชิงเส้นของสูตร C20.....	66
24	แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติ เชิงเส้นของสูตร ALUT.....	67
25	แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติ เชิงเส้นของสูตร C00.....	67
26	แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติ เชิงเส้นของสูตร C05.....	67
27	แสดงชี้แจงบันทึกการสอบพันทางการค้าต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษานำร่อง.....	85
28	แสดงระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ของชี้แจงบันทึกการสอบพันทางการค้า...	85
29	แสดงค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ค่าความแข็งแรงผิวของชี้แจงบันทึกการสอบพัน ที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่อุณหภูมิ 25 30 และ 37 องศาเซลเซียส.....	86
30	แสดงค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของชี้แจง บันทึกการสอบพันที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่อุณหภูมิ 25 30 และ 37 องศา	86
31	เซลเซียส....	87
32	แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงผิวของชี้แจงที่ใช้เป็นสารตั้งต้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	
	แสดงร้อยละของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมสูตรชี้แจงบันทึกการสอบพันที่เตรียมขึ้น	88
33	ใหม่.....	89
34	แสดงข้อมูลค่าความแข็งแรงผิวของชี้แจงที่เตรียมขึ้นใหม่สูตร 7-12.....	
	การศึกษานำร่องแสดงข้อมูลร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของชี้แจงบันทึกกา สอบพันที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าและชี้แจงที่เตรียมขึ้นใหม่สูตร 7 8 10 และ 11.....	89

ตารางที่	หน้า
35	
	90
36	
	91
37	
	92
38	
	92
39	
	93
40	
	95
41	
	96
42	
	96
43	
	97
44	
	99
45	
	100
46	
	100
47	
	101
48	
	104

ตารางที่	หน้า
63	
64	แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาแทรกผ่านของ พีนิโตรมิเตอร์ในซีเมนต์ทุกกลุ่มที่เวลา 7 นาที..... 118
65	แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาแทรกผ่านของ พีนิโตรมิเตอร์ในซีเมนต์ที่การสพพื้นผลิตภัณฑ์ ALUWAX ที่เวลาต่าง ๆ โดย โปรแกรม SPSS Statistics version 17.0 และการทดสอบความแตกต่าง ระหว่างกลุ่มโดยโปรแกรม SigmaStat version 3.5..... 120
66	แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาแทรกผ่านของ พีนิโตรมิเตอร์ในซีเมนต์ที่การสพพื้นผลิตภัณฑ์ ALMINAX ที่เวลาต่าง ๆ โดย โปรแกรม SPSS Statistics version 17.0 และการทดสอบความแตกต่าง ระหว่างกลุ่มโดยโปรแกรม SigmaStat version 3.5..... 122
67	แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาแทรกผ่านของ พีนิโตรมิเตอร์ในซีเมนต์ที่การสพพื้นผลิตภัณฑ์ ALUT ที่เวลาต่าง ๆ โดย โปรแกรม SPSS Statistics version 17.0 และการทดสอบความแตกต่าง ระหว่างกลุ่มโดยโปรแกรม SigmaStat version 3.5..... 125
68	แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาแทรกผ่านของ พีนิโตรมิเตอร์ในซีเมนต์ที่การสพพื้นสูตร C00 ที่เวลาต่าง ๆ โดยโปรแกรม SPSS Statistics version 17.0 และการทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยโปรแกรม SigmaStat version 3.5..... 127
69	แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาแทรกผ่านของ พีนิโตรมิเตอร์ในซีเมนต์ที่การสพพื้นสูตร C05 ที่เวลาต่าง ๆ โดยโปรแกรม SPSS Statistics version 17.0 และการทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยโปรแกรม SigmaStat version 3.5..... 129
69	แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาแทรกผ่านของ พีนิโตรมิเตอร์ในซีเมนต์ที่การสพพื้นสูตร C10 ที่เวลาต่าง ๆ โดยโปรแกรม SPSS Statistics version 17.0 และการทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยโปรแกรม SigmaStat version 3.5..... 131

ตารางที่	หน้า	
70	แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะการแทรกผ่านของ พีนิโตรมิเตอร์ในซีเมนต์ที่การสับฟันสูตร C15 ที่เวลาต่าง ๆ โดยโปรแกรม SPSS Statistics version 17.0 และการทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยโปรแกรม SigmaStat version 3.5.....	133
71	แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะการแทรกผ่านของ พีนิโตรมิเตอร์ในซีเมนต์ที่การสับฟันสูตร C20 ที่เวลาต่าง ๆ โดยโปรแกรม SPSS Statistics version 17.0 และการทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยโปรแกรม SigmaStat version 3.5.....	135
72	แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่การสับฟันทุกกลุ่ม.....	137
73	แสดงการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบ ค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่การสับฟันสูตรหลักและทางการ ค้า.....	138
74	แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการ ทดสอบค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่การสับฟันสูตรหลักและ ทางการค้า.....	139
75	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบค่า ความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่การสับฟันสูตรหลักและทางการค้า...	139
76	แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงซ้อนตามเฮน (Tamhane's T2) ในการ ทดสอบค่าความแข็งผิวของซีเมนต์ที่การสับฟันสูตรหลักและทางการค้า.....	140
77	แสดงการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบ ค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่การสับฟันที่เตรียมขึ้นใหม่ 5 สูตร..	140
78	แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการ ทดสอบค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่การสับฟันที่เตรียมขึ้นใหม่ 5 สูตร.....	141
79	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบ ค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่การสับฟันที่เตรียมขึ้นใหม่ 5 สูตร..	141
80	แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงซ้อนตามเฮน (Tamhane's T2) ในการ	142

ตารางที่	ทดสอบค่าความแข็งแรงผิวของซีเมนต์ที่ทำการสปันที่เตรียมขึ้นใหม่ 5 สูตร.....	หน้า
81	แสดงการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบ	143
82	ค่าความแข็งแรงผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสปันทุกกลุ่ม.....	
	แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการ	144
83	ทดสอบค่าความแข็งแรงผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสปันทุกกลุ่ม.....	
	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบ	144
84	ค่าความแข็งแรงผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสปันทุกกลุ่ม.....	
	แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงซ้อนทามเฮน (Tamhane's T2) ในการ	145
85	ทดสอบค่าความแข็งแรงผิวของซีเมนต์ที่ทำการสปันที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	
	แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่	146
86	เวลาต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสปันทุกกลุ่ม.....	
	แสดงการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบ	
	การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสปันสูตรหลักและ	148
87	ทางการค้า.....	
	แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการ	
	ทดสอบการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสปันสูตรหลัก	149
88	และทางการค้า.....	
	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบการ	
	เปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสปันสูตรหลักและทางการ	149
89	ค้า.....	
	แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงซ้อนทามเฮน (Tamhane's T2) ในการ	
	ทดสอบการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสปันสูตร	150
90	หลักและทางการค้า.....	
	แสดงการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบ	
	การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสปันที่เตรียมขึ้นใหม่	151
91	5 สูตร.....	
	แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการ	
	ทดสอบการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสปันที่เตรียม	151
	ขึ้นใหม่ 5 สูตร.....	

ตารางที่	หน้า
92	
	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่างๆ ของซีผึ้งบันทึกการสปันที่เตรียมขึ้นใหม่ 5
93	152
	สูตร.....
	แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงซ้อนทามเฮน (Tamhane's T2) ในการทดสอบการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่าง ๆ ของซีผึ้งบันทึกการสปันที่เตรียม
94	153
	ขึ้นใหม่ 5 สูตร.....
	แสดงการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบ
95	154
	การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่างๆ ของซีผึ้งบันทึกการสปันทุกกลุ่ม.....
	แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการ
96	154
	ทดสอบการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่างๆ ของซีผึ้งบันทึกการสปันทุกกลุ่ม...
	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบการ
97	155
	เปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่างๆ ของซีผึ้งบันทึกการสปันทุกกลุ่ม.....
	แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงซ้อนทามเฮน (Tamhane's T2) ในการทดสอบการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่าง ๆ ของซีผึ้งบันทึกการสปันทุกกลุ่ม.....
	155

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงแม่แบบโลหะที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานเพื่อการทดสอบการเปลี่ยนแปลง มิติเชิงเส้นในการศึกษาของ Michalakos et al.,2004.....	23
2	กราฟแสดงผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริ มิเตอร์	24
3	แสดงชิ้นงานที่ทำการสปันผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ.....	27
4	แสดงสารตั้งต้นที่ใช้เตรียมชิ้นงานที่ทำการสปัน.....	28
5	แสดงการหลอมชิ้นงานในบีกเกอร์บนเตาไฟฟ้าที่มีสวิตช์ควบคุมอุณหภูมิ.....	31
6	แสดงเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์.....	31
7	แสดงแบบอะคริลิกรูปสี่เหลี่ยมที่ภายในมีหลุมทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ลึก 3 มิลลิเมตร.....	32
8	แสดงตู้ควบคุมอุณหภูมิที่มีเครื่องพี้นิโตรมิเตอร์ติดตั้งอยู่ภายใน.....	33
9	แสดงการทดสอบการแทรกผ่านของพี้นิโตรมิเตอร์ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ.....	33
10	แสดงชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบค่าความแข็งผิว.....	34
11	แสดงเครื่องมือในการวัดค่าความแข็งผิว.....	35
12	แสดงแม่แบบโลหะไร้สนิม.....	36
13	แสดงเส้นอ้างอิงบนผิวชิ้นงานที่ทำการสปันที่วางอยู่บนแผ่นโลหะไร้สนิม.....	36
14	แสดงลักษณะอุณหภูมิการหลอมเหลวของชิ้นงานที่ทำการสปันที่เป็น ผลิตภัณฑ์ทางการค้า.....	43
15	แสดงลักษณะอุณหภูมิการหลอมเหลวของชิ้นงานที่ทำการสปัน ที่เตรียมสูตรขึ้นใหม่.....	45
16	แสดงระยะการแทรกผ่านโดยพี้นิโตรมิเตอร์ของ ALUWAX.....	48
17	แสดงระยะการแทรกผ่านโดยพี้นิโตรมิเตอร์ของ ALMINAX.....	49
18	แสดงระยะการแทรกผ่านโดยพี้นิโตรมิเตอร์ของ ALUT.....	49
19	แสดงระยะการแทรกผ่านโดยพี้นิโตรมิเตอร์ของสูตรที่ C00.....	50
20	แสดงระยะการแทรกผ่านโดยพี้นิโตรมิเตอร์ของสูตรที่ C05.....	50
21	แสดงระยะการแทรกผ่านโดยพี้นิโตรมิเตอร์ของสูตรที่ C10.....	50

ภาพที่		หน้า
22	แสดงระยะเวลาการแทรกผ่านโดยพีวีไทรมิเตอร์ของสูตรที่ C15.....	51
23	แสดงระยะเวลาการแทรกผ่านโดยพีวีไทรมิเตอร์ของสูตรที่ C20.....	51
24	กราฟแสดงร้อยละของค่าเฉลี่ยการแทรกผ่านโดยพีวีไทรมิเตอร์เมื่อคำนวณจากความหนาของชั้นตัวอย่างทดสอบของซีเมนต์ที่ทำการสับฟันทางการค้าและสูตรหลัก.....	52
25	กราฟแสดงร้อยละของค่าเฉลี่ยการแทรกผ่านโดยพีวีไทรมิเตอร์เมื่อคำนวณจากความหนาของชั้นตัวอย่างทดสอบของซีเมนต์ที่ทำการสับฟันที่เตรียมขึ้นใหม่ทุกสูตร.....	53
26	กราฟแสดงร้อยละของค่าเฉลี่ยการแทรกผ่านโดยพีวีไทรมิเตอร์เมื่อคำนวณจากความหนาของชั้นตัวอย่างทดสอบของซีเมนต์ที่ทำการสับฟันทางการค้าและที่เตรียมขึ้นใหม่ทุกสูตร.....	54
27	แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งผิวของซีเมนต์ที่ทำการสับฟันทางการค้าและสูตรหลักที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	56
28	แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งผิวของซีเมนต์ที่ทำการสับฟันทางการค้าและที่เตรียมขึ้นใหม่ทุกสูตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	57
29	แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งผิวของซีเมนต์ที่ทำการสับฟันทางการค้าและที่เตรียมขึ้นใหม่ทุกสูตรที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	57
30	แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งผิวของซีเมนต์ที่ทำการสับฟันทางการค้าและที่เตรียมขึ้นใหม่ทุกสูตรที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส.....	58
31	แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งผิวของซีเมนต์ที่ทำการสับฟันที่เตรียมขึ้นใหม่สูตรหลักและสูตรอื่น ๆ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	59
32	แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของซีเมนต์ที่ทำการสับฟันทางการค้าและสูตรหลักที่เวลาต่าง ๆ.....	61
33	แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของซีเมนต์ที่ทำการสับฟันที่เตรียมขึ้นใหม่สูตรหลักและสูตรอื่น ๆ ที่เวลาต่าง ๆ.....	68
34	ภาพจำลองแบบขึ้นงานระหว่างการทดสอบการนำความร้อน.....	90

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันยังมีผู้ป่วยสูงอายุเป็นจำนวนมากที่มีความต้องการใส่ฟันเทียมเพื่อทดแทนฟันธรรมชาติที่สูญเสียไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรายที่อยู่ในพื้นที่ห่างไกลมีโอกาสเข้าถึงการรักษาได้ยาก การออกหน่วยทันตกรรมเคลื่อนที่จึงเป็นส่วนหนึ่งในการกระจายการรักษาให้มีความทั่วถึงมากยิ่งขึ้น ฟันเทียมพระราชทานก็เป็นหนึ่งในโครงการที่ให้การรักษาผู้ป่วยที่มีสันเหงือกว่างบางส่วนหรือทั้งปากด้วยการใส่ฟันเทียมชนิดถอดได้ที่ไม่สามารถทำให้เสร็จสิ้นได้ภายในครั้งเดียวและไม่สามารถสร้างชิ้นงานได้โดยตรงในช่องปาก ทันตแพทย์ต้องพิมพ์ปากเพื่อทำขึ้นหล่อของขากรรไกรบนและล่างเพื่อนำมายืดบนกลอุปรกรณ์ขากรรไกรจำลอง (articulator) ในความสัมพันธ์เดียวกันกับภายในช่องปาก ซึ่งในกรณีที่ไม่สามารถจับขึ้นหล่อบนและล่างให้สบกันอย่างมีเสถียรภาพตามร่องรอยการสบฟันที่ปรากฏอยู่ หรือเมื่อประเมินว่าการสบฟันที่เป็นอยู่นั้นไม่เหมาะสมสำหรับการบูรณะ การบันทึกการสบฟันจึงมีความจำเป็น

การบันทึกความสัมพันธ์ระหว่างขากรรไกรบนและล่าง และถ่ายทอดความสัมพันธ์ไปสู่กลอุปรกรณ์ขากรรไกรจำลอง เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ส่งผลต่อความเที่ยงตรงและความถูกต้องของฟันเทียมกับช่องปากของผู้ป่วย[1] มีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลคุณภาพและความถูกต้องของการบันทึกการสบฟัน อาทิเช่น ปัจจัยจากตัวผู้ป่วยเอง ความชำนาญของทันตแพทย์ รวมถึงสมบัติของวัสดุบันทึกการสบฟัน[2]

ปัจจุบันมีวัสดุบันทึกการสบฟันที่ทำจากวัสดุหลากหลายประเภท อาทิเช่น พลาสติกเทอร์โมพลาสติก ซิงค์ออกไซด์ยูจีนอล ซิลิโคน โพลีอีเทอร์ และซีผึ้ง เป็นต้น ซึ่งแต่ละประเภทยังก็มีสมบัติเฉพาะ ข้อบ่งใช้ รวมถึงราคาที่แตกต่างกันออกไป

วัสดุบันทึกการสบฟันกลุ่มซีผึ้งเป็นวัสดุที่ใช้มาตั้งแต่สมัยอดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากใช้งานง่าย และด้วยสมบัติเทอร์โมพลาสติก การใช้ความร้อนจากเปลวไฟทำให้ซีผึ้งบันทึกการสบฟันแปรสภาพจากวัสดุที่แข็งเกร็งมาเป็นวัสดุที่อ่อนนุ่มและไหลแผ่ได้ เมื่อได้รับแรงบีบอัดจากการสบฟัน ซีผึ้งก็จะแทรกตัวไปตามร่องหลุมต่าง ๆ บนพื้นผิวด้านสบฟัน หรือรอยบากที่สร้างขึ้นบนแท่นกัด (occlusion rim) เมื่อซีผึ้งแข็งตัวก็จะกลายเป็นร่องรอยสำหรับการจับยึดขึ้นหล่อบนและล่างให้อยู่ในความสัมพันธ์เดียวกันกับในช่องปากผู้ป่วย อย่างไรก็ตามเมื่อพบว่ารอยบันทึกนั้นไม่ถูกต้องก็สามารถให้ความร้อนซ้ำและทำการบันทึกใหม่โดยใช้ซีผึ้งเดิมในผู้ป่วยรายเดียวกันได้ ซึ่งเป็น

ลักษณะเด่นที่เหนือกว่าวัสดุบันทึกการสบฟันชนิดอื่น ๆ ที่เมื่อก่อตัวเสร็จสมบูรณ์แล้วจะไม่สามารถนำกลับมาบันทึกได้ใหม่ นอกจากนี้ซี่ฝึ่งบันทึกการสบฟันยังมีราคาที่ย่อมเยากว่าวัสดุบันทึกการสบฟันประเภทอื่น ๆ และยึดติดกับแท่นกัดที่ทำจากซี่ฝึ่งได้เนื่องจากเป็นวัสดุประเภทเดียวกัน[3] แต่อย่างไรก็ตามซี่ฝึ่งบันทึกการสบฟันยังคงมีข้อด้อย จากการมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนที่สูง (high coefficient of thermal expansion) และมีการหดตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง (cooling contraction)[4, 5] ทำให้มีปัญหาเสถียรภาพทางมิติ แต่ด้วยสมบัติที่ดีของซี่ฝึ่งหลายประการดังที่กล่าวมาข้างต้น จึงเป็นเหตุผลที่มีการใช้ซี่ฝึ่งสำหรับบันทึกการสบฟันมาจนถึงปัจจุบันและยังคงเป็นวัสดุที่น่าเชื่อถือในงานฟันเทียมชนิดถอดได้[6]

ซี่ฝึ่งบันทึกการสบฟันทางการค้าที่มีจำหน่ายในประเทศไทยมีอยู่ 3 ผลิตภัณฑ์ คือ อะลูแว็กซ์ (ALUWAX, Aluwax Dental Product Company, USA) อล์มินแอกซ์ (ALMINAX, Associated Dental Product Ltd. Kemdent, UK) และอะลูแว็กซ์ (ALUWAX, ห้างมีน้ำ Thailand) ซึ่งในการศึกษานี้ใช้ชื่อว่า ALUT

ในปัจจุบันโครงการฟันเทียมพระราชทานได้ใช้ซี่ฝึ่งบันทึกการสบฟันที่เป็นผลิตภัณฑ์จากต่างประเทศ คือ ALUWAX และ ALMINAX นอกจากนี้ในท้องตลาดยังมี ALUT ซึ่งเป็นซี่ฝึ่งบันทึกการสบฟันที่ผลิตในประเทศไทยจำหน่าย แต่ไม่พบเอกสารรับรองคุณภาพตามพรบ. เครื่องมือแพทย์ปีพ.ศ. 2551 มาตรา 40(8)

จากการศึกษานำร่องดังภาคผนวกหน้า 85-86 พบว่าทั้ง ALUWAX และ ALMINAX มีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นเมื่อเวลาผ่านไปที่ใกล้เคียงกัน แต่มีค่าการเปลี่ยนแปลงมิติที่ต่ำกว่า ALUT นอกจากนี้พบว่า ALMINAX มีความแข็งผิวที่สูงที่สุด และมีความแข็งผิวที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น ที่น้อยกว่าผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ในขณะที่ ALUWAX นั้นมีค่าความแข็งผิวที่เปลี่ยนแปลงไปมากเมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้ ALUWAX เกิดการอ่อนตัวได้มากเมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูง ซึ่งจะส่งผลต่อความเที่ยงตรงหลังการบันทึกการสบฟัน และเมื่อพิจารณาเวลาก่อตัวและเวลาทำงาน พบว่า ALUWAX มีเวลาทำงานและเวลาก่อตัวนานที่สุดถึงประมาณ 3 และ 7 นาที ตามลำดับ ในขณะที่ ALMINAX และ ALUT มีเวลาก่อตัวที่ใกล้เคียงกันประมาณ 4 นาที แต่ ALUT มีเวลาทำงาน 2 นาที ซึ่งยาวนานกว่า ALMINAX ที่มีเวลาทำงานประมาณ 1 นาที

ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงมีความต้องการพัฒนาซี่ฝึ่งบันทึกการสบฟันที่มีคุณภาพใช้งานได้ดี เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศที่เป็นเขตร้อน สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ มีราคาเย่อมเยา รวมทั้งมีความเหมาะสมกับผู้สูงอายุชาวไทยในโครงการฟันเทียมพระราชทาน โดยพิจารณาจากสมบัติของซี่ฝึ่งบันทึกการสบฟันทางการค้าเพื่อเป็นแนวทางในการหาสูตรซี่ฝึ่งบันทึกการสบฟันที่มีความเหมาะสม โดยทำการศึกษา

1. ผลของระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีวีไตรมิเตอร์ของซีผังบันทึกการสบฟันที่เตรียมขึ้นใหม่ และผลิตภัณฑ์ทางการค้า
2. ผลของค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งซีผังบันทึกการสบฟันที่เตรียมขึ้นใหม่ควรมีค่าความแข็งผิวที่เทียบเคียงหรือสูงกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า
3. ผลของการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นตามเวลา ซึ่งซีผังบันทึกการสบฟันที่เตรียมขึ้นใหม่ควรมีร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เทียบเคียงหรือน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีวีไตรมิเตอร์ของซีผังบันทึกการสบฟันที่เตรียมขึ้นใหม่เปรียบเทียบกับซีผังบันทึกการสบฟันทางการค้า 3 ผลิตภัณฑ์
2. เพื่อศึกษาความแข็งผิวภายหลังก่อตัวที่อุณหภูมิต่าง ๆ 25 30 และ 37 องศาเซลเซียส ของซีผังบันทึกการสบฟันที่เตรียมขึ้นใหม่เปรียบเทียบกับซีผังบันทึกการสบฟันทางการค้า 3 ผลิตภัณฑ์
3. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นภายหลังการก่อตัวที่เวลาต่าง ๆ ของซีผังบันทึกการสบฟันที่เตรียมขึ้นใหม่เปรียบเทียบกับซีผังบันทึกการสบฟันทางการค้า 3 ผลิตภัณฑ์

คำถามของการวิจัย

1. ซีผังบันทึกการสบฟันที่เตรียมขึ้นใหม่ มีระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีวีไตรมิเตอร์แตกต่างจากซีผังบันทึกการสบฟันทางการค้าหรือไม่
2. ซีผังบันทึกการสบฟันที่เตรียมขึ้นใหม่ มีค่าความแข็งผิวหลังการก่อตัว แตกต่างจากซีผังบันทึกการสบฟันทางการค้าหรือไม่
3. ซีผังบันทึกการสบฟันที่เตรียมขึ้นใหม่มีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นหลังก่อตัวเมื่อเวลาผ่านไปแตกต่างจากซีผังบันทึกการสบฟันทางการค้าหรือไม่

สมมุติฐานของการวิจัย

1. ระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีวีไตรมิเตอร์

สมมุติฐานที่ 1

สมมุติฐานว่าง = ระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีวีไตรมิเตอร์ของซีผังบันทึกการสบฟันชนิดต่าง ๆ ที่เวลาเดียวกันมีค่าไม่แตกต่างกัน

สมมุติฐานแย้ง = ระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีเนโตรมิเตอร์ของซี่ผึ้งบันทึกการสปันชนิดต่าง ๆ ที่เวลาเดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

สมมุติฐานที่ 2

สมมุติฐานว่าง = ระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีเนโตรมิเตอร์ของซี่ผึ้งบันทึกการสปันชนิดเดียวกัน ที่เวลาต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน

สมมุติฐานแย้ง = ระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีเนโตรมิเตอร์ของซี่ผึ้งบันทึกการสปันชนิดเดียวกัน ที่เวลาต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

สมมุติฐานที่ 3

สมมุติฐานว่าง = ระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีเนโตรมิเตอร์ของซี่ผึ้งบันทึกการสปันชนิดต่าง ๆ ที่เวลาต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน

สมมุติฐานแย้ง = ระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีเนโตรมิเตอร์ของซี่ผึ้งบันทึกการสปันชนิดต่าง ๆ ที่เวลาต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

2. ค่าความแข็งแรงผิว

สมมุติฐานที่ 1

สมมุติฐานว่าง = ค่าความแข็งแรงผิวของซี่ผึ้งบันทึกการสปันชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิเดียวกันมีค่าไม่แตกต่างกัน

สมมุติฐานแย้ง = ค่าความแข็งแรงผิวของซี่ผึ้งบันทึกการสปันชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิเดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

สมมุติฐานที่ 2

สมมุติฐานว่าง = ค่าความแข็งแรงผิวของซี่ผึ้งบันทึกการสปันชนิดเดียวกัน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน

สมมุติฐานแย้ง = ค่าความแข็งแรงผิวของซี่ผึ้งบันทึกการสปันชนิดเดียวกัน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

สมมุติฐานที่ 3

สมมุติฐานว่าง = ค่าความแข็งแรงผิวของซี่ผึ้งบันทึกการสปันชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน

สมมุติฐานแย้ง = ค่าความแข็งผิวของซี่ผึ้งบันทึกการสปันชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

3. การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้น

สมมุติฐานที่ 1

สมมุติฐานว่าง = การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของซี่ผึ้งบันทึกการสปันชนิดต่าง ๆ ที่เวลาเดียวกัน มีค่าไม่แตกต่างกัน

สมมุติฐานแย้ง = การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของซี่ผึ้งบันทึกการสปันชนิดต่าง ๆ ที่เวลาเดียวกัน มีค่าแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

สมมุติฐานที่ 2

สมมุติฐานว่าง = การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของซี่ผึ้งบันทึกการสปันชนิดเดียวกัน ที่เวลาต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน

สมมุติฐานแย้ง = การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของซี่ผึ้งบันทึกการสปันชนิดเดียวกัน ที่เวลาต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

สมมุติฐานที่ 3

สมมุติฐานว่าง = การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของซี่ผึ้งบันทึกการสปันชนิดต่าง ๆ ที่เวลาต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน

สมมุติฐานแย้ง = การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของซี่ผึ้งบันทึกการสปันชนิดต่าง ๆ ที่เวลาต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้ทำในห้องปฏิบัติการภายใต้สภาวะที่กำหนด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรซี่ผึ้งบันทึกการสปันขึ้นใหม่จากวัตถุดิบที่สามารถหาซื้อได้ในประเทศไทย ให้มีสมบัติในหัวข้อระยะการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ ความแข็งผิวภายหลังการก่อตัว และการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นภายหลังการก่อตัว ที่เทียบเคียงหรือเหมาะสมกว่าซี่ผึ้งบันทึกการสปันทางการค้า 3 ผลิตภัณฑ์

ข้อตกลงเบื้องต้น

การวิจัยนี้เป็นการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของซี่ฟันที่ทำการสบฟันที่เตรียมสูตรขึ้นใหม่ และที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า โดยมีการสร้างขึ้นตัวอย่างให้มีขนาดมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับเครื่องมือทดสอบนั้น ๆ การศึกษาดำเนินการโดยคนเดียวและใช้อุปกรณ์ชุดเดียว

ข้อจำกัดของการวิจัย

การวิจัยนี้ทำในห้องปฏิบัติการภายใต้สภาวะที่กำหนด การตีความเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ทางคลินิกจึงทำได้จำกัด การศึกษาเพิ่มเติมต่อไปจึงมีความจำเป็น

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ระยะการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ หมายถึง ระยะในการแทรกผ่านโดยใช้เครื่องมือที่มีหัวกดปลายทู่ปล่อยลงบนผิวหน้าวัสดุ โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

ความแข็งผิว (surface hardness) หมายถึง ความต้านทานบนพื้นผิวของชิ้นทดสอบต่อแรงกดของหัวทดสอบจนเกิดเป็นความลึกของรอยกด โดยแสดงค่าบนมาตรวัดตั้งแต่ 0-100[7]

การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้น (linear dimensional change) หมายถึง ร้อยละความยาวที่เปลี่ยนแปลง ต่อ ความยาวเริ่มต้น ณ ช่วงเวลาที่กำหนด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สูตรซี่ฟันที่ทำการสบฟันที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพในสภาพอากาศร้อน เช่น ประเทศไทย
2. มีผลิตภัณฑ์ซี่ฟันที่ทำการสบฟันที่ผลิตในประเทศไทย ที่มีสมบัติหลากหลายมากขึ้น สำหรับใช้ในโครงการฟันเทียมพระราชทาน
3. ได้วิธีการทดสอบสมบัติของซี่ฟันที่ทำการสบฟันที่อ้างอิงถึงการใช้งานทางคลินิกได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory experimental research)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

การบันทึกการสบฟันเป็นการใช้วัสดุสำหรับบันทึกความสัมพันธ์ระหว่างขากรรไกรบนและล่าง โดยวัสดุนั้นต้องมีสมบัติในการบันทึกร่องรอยบนผิวด้านบดเคี้ยวของฟันหรือรอยบากบนแท่นกัดและคงสภาพร่องรอยนั้นเพื่อใช้สำหรับยึดแบบจำลองปูนบนและล่างในกลอุปรกรณ์ขากรรไกรจำลอง ขั้นตอนนี้จึงมีความสำคัญต่อความเที่ยงตรงและความถูกต้องของด้านบดเคี้ยวซึ่งจะส่งผลต่อความสำเร็จในการใส่ฟันเทียมให้แก่ผู้ป่วย[1]

มีปัจจัยหลายประการที่อาจส่งผลต่อคุณภาพและความถูกต้องของการบันทึกการสบฟัน อาทิเช่น ปัจจัยจากตัวผู้ป่วยเอง ความชำนาญของทันตแพทย์ รวมถึงสมบัติของวัสดุบันทึกการสบฟัน[2]

วัสดุบันทึกการสบฟันควรมีสมบัติในอุดมคติ[3] ดังนี้

1. วัสดุมีความหนืดที่ต่ำ (low viscosity) เพื่อสามารถเกิดการไหลแผ่และลอกเลียนรายละเอียดตามร่องหลุมของด้านบดเคี้ยว
2. วัสดุมีความต้านทานต่อการกัดที่ต่ำ (low resistance to closure) เพื่อไม่ก่อให้เกิดการเคลื่อนของขากรรไกรล่างออกจากตำแหน่งที่ถูกต้อง ขณะทำการบันทึกการสบฟัน
3. รอยบันทึกมีความเที่ยงตรง (precision in detail)
4. รอยบันทึกมีเสถียรภาพทางมิติ (dimensional stability)
5. วัสดุมีสภาพพลาสติก (plasticity)
6. วัสดุมีความยืดหยุ่น (elasticity)
7. เป็นวัสดุที่ใช้ง่าย รวมไปถึงการมีเวลาทำงานที่เหมาะสมกับทันตแพทย์แต่ละบุคคล ต้องการ มีเวลาก่อนตัวขึ้น ขั้นตอนการทำงานไม่ซับซ้อน (ease to use: adequate working time, rapid hardening, simple operation)
8. ผู้ป่วยยอมรับกลิ่นและรสชาติของวัสดุได้ (acceptability by the patient)

จากสมบัติที่กล่าวมาข้างต้น ยังไม่มีวัสดุบันทึกการสบฟันใดที่มีสมบัติครบดังที่กล่าวมาทุกประการ โดยวัสดุบันทึกการสบฟันที่ใช้สำหรับฟันธรรมชาติหรือฟันเทียมติดแน่น นั้นอาจมีความหนืดที่แตกต่างกัน โดยอาจเลือกใช้ความหนืดแบบใดก็ได้ แต่สำหรับฟันเทียมถอดได้นั้นควรเป็นวัสดุที่มีความหนืดที่พอเหมาะเพื่อให้เกิดสมดุลย์ในการกัดสบ ไม่อ่อนเหลวจนเกินไปซึ่งอาจทำ

ให้เกิดการกระดก และไม่มีแรงต้านมากเกินไปที่จะก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของขากรรไกรล่างออก จากตำแหน่งศูนย์สับสนขณะทำการบันทึกการสบฟัน

ปัจจุบันมีวัสดุบันทึกการสบฟันจำหน่ายในท้องตลาดอยู่มากมายหลายประเภท อาทิเช่น ซิงค์ออกไซด์ ยูจีนอลเฟสท์ เรซินอะคริลิก โพลีไวนิลไซลอคเซน โพลีอีเทอร์และซีฟิ่งบันทึกการสบฟัน ซึ่งแต่ละชนิดนั้นก็ยังมีข้อบ่งชี้และมีความเหมาะสมกับงานที่แตกต่างกันออกไป

ซีฟิ่งบันทึกการสบฟันเป็นวัสดุบันทึกการสบฟันที่นิยมใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานฟันเทียมชนิดถอดได้ ทั้งที่มีสมบัติบางประการที่ไม่เหมาะสม[3, 8-10] เช่น มีแรงต้านต่อการกัดที่สูง เกิดการหดตัวระหว่างกระบวนการก่อตัว[11] มีการบิดเบี้ยวง่ายขณะนำออกจากช่องปาก มีรายละเอียดที่ไม่ดี และเสถียรภาพทางมิติที่ต่ำ ส่งผลให้มีความเที่ยงตรงที่ต่ำกว่าวัสดุบันทึกการสบฟันกลุ่มอื่น แต่อย่างไรก็ตามก็ยังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากใช้งานง่าย ราคาประหยัด สามารถตรวจพิสูจน์ความถูกต้องได้ง่าย โดยในกรณีที่เกิดความผิดพลาดขึ้นก็สามารถนำซีฟิ่งนั้นกลับมาบันทึกซ้ำในผู้ป่วยรายเดียวกันได้ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดการยึดติดกับซีฟิ่งบนแท่นกัด และไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่ออ่อนด้านใต้ขณะทำการบันทึก[12]

การเพิ่มความน่าเชื่อถือในการใช้งานซีฟิ่งสำหรับบันทึกการสบฟัน สามารถทำได้โดยการไม่เคลื่อนขยับรอยบันทึกหลังจากขั้นตอนการบันทึกเสร็จสิ้น เช่น การบันทึกการสบฟันกรณีฟันเทียมชนิดถอดได้ ที่ทำการบันทึกโดยใช้ซีฟิ่งบันทึกการสบฟันร่วมกับฐานบันทึกการสบฟัน (record base) และแท่นกัด[13] โดยหลังทำการบันทึกแล้วควรทิ้งรอยบันทึกไว้บนแท่นกัด จะช่วยเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือในการบันทึกการสบฟันด้วยซีฟิ่งบันทึกการสบฟันได้

เรซินอะคริลิก เป็นวัสดุบันทึกการสบฟันที่มีส่วนประกอบของโมโนเมอร์และโพลีเมอร์ มีข้อด้อยคือ ปัญหาเรื่องเสถียรภาพทางมิติเนื่องจากการหดตัวและมีการคายความร้อนขณะเกิดกระบวนการโพลีเมอร์ไรเซชัน มีกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ มีการยึดติดกับฟันธรรมชาติ โดยเฉพาะบริเวณใต้ส่วนป่อง (undercut area) ของฟัน มีเวลาก่อตัวช้า มีความยืดหยุ่นต่ำ แต่มีข้อดี คือ มีความเหนียว มีแรงต้านต่อการกัดที่ต่ำ มีรายละเอียดที่ดีเป็นที่ยอมรับ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น Paladur[®], Germany

วัสดุในกลุ่มอีลาสโตเมอร์ มักจะถูกใช้เป็นวัสดุสำหรับพิมพ์ปากเนื่องจากมีความเที่ยงตรงและเสถียรภาพทางมิติที่ดี[14] ในรูปแบบที่เป็นวัสดุบันทึกการสบฟันจะมีการปรับปรุงโดยการใส่ฟิลเลอร์และพลาสติกไฮเซอร[15] ทำให้วัสดุมีสมบัติในการไหลแผ่ที่ดีกว่า รวมทั้งมีแรงต้านต่อการกัดที่ต่ำกว่าซีฟิ่งบันทึกการสบฟัน การหดตัวระหว่างกระบวนการโพลีเมอร์ไรเซชันจะเกิดขึ้นได้บ้าง แต่มีค่าต่ำกว่าเรซินอะคริลิกอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถดึงออกได้ง่ายโดยไม่เกิดการยึดติดฟันธรรมชาติ[16] อีลาสโตเมอร์ที่ใช้บันทึกการสบฟันมี 2 ชนิด คือ โพลีอีเทอร์ และซิลิโคนชนิดแอดดิ

ชั้น มีหลายการศึกษาที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างวัสดุ 2 กลุ่มนี้ พบว่าโพลีอีเทอร์มีเสถียรภาพทางมิติที่ดีกว่า[16, 17] ตัวอย่างผลิตภัณฑ์วัสดุบันทึกการสบฟันชนิดโพลีอีเทอร์ เช่น Ramitec[®], Germany และตัวอย่างซิลิโคนชนิดแอดดิชัน เช่น Futar D[®], Germany

มีบางการศึกษา[12] ได้กล่าวถึงหลักในการเลือกวัสดุบันทึกการสบฟันที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งบนกลอุปกณ์ขากรรไกรจำลองไว้ดังนี้

1. กรณีที่ผู้ป่วยมีฟันธรรมชาติบนและล่างที่สบกันได้อย่างมีเสถียรภาพ หรือมีลักษณะการสบครบสามตำแหน่ง (tripod contact) สามารถจับสบแบบปูนจำลองบนและล่างด้วยมือ และทำการติดตั้งบนกลอุปกณ์ขากรรไกรจำลองได้โดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนการบันทึกการสบฟัน

2. กรณีที่ผู้ป่วยมีฟันธรรมชาติบนและล่างแต่ขาดเสถียรภาพในแนวระนาบ ขั้นตอนการบันทึกการสบฟันจึงมีความจำเป็น โดยสามารถใช้วัสดุกลุ่มอีลาสโตเมอร์ เช่น ซิลิโคน และโพลีอีเทอร์เนื่องจากวัสดุกลุ่มนี้มีแรงต้านในการกัดที่ต่ำ และมีการไหลแผ่ที่ดีทำให้สามารถทำการบันทึกแบบสบสนิทได้ อย่างไรก็ตามไม่ควรใช้วัสดุที่มีลักษณะแข็งและมีแรงต้านในการกัดที่สูง เช่น ซี้ผึ้ง เรซินอะคริลิก และปูนพลาสติก เนื่องจากอาจเกิดการเพิ่มขึ้นของมิติแนวตั้งขณะสบฟัน (occlusal vertical dimension) และอาจเกิดการขยับเคลื่อนที่ของขากรรไกรล่างในแนวด้านข้าง เนื่องจากไม่สามารถทำการบันทึกแบบสบสนิทได้

3. กรณีที่ผู้ป่วยมีฟันธรรมชาติที่มีลักษณะการสบที่ไม่ครบสามตำแหน่ง หรือไม่มีการสบระหว่างฟันบนและล่างปรากฏอยู่ มีความจำเป็นต้องทำการบันทึกการสบฟันร่วมกับการเลือกใช้วัสดุบันทึกการสบฟันที่ทำหน้าที่ เสมือนเป็นตัวแทนของซี่ฟันในบริเวณสันเหงือกกว้างนั้น โดยต้องมีลักษณะที่คงตัวและยึดหยุ่นต่ำภายหลังการบันทึกการสบฟันเสร็จสิ้น เพื่อช่วยทำให้เกิดเสถียรภาพในตำแหน่งที่ทำการบันทึก ตัวอย่างเช่น อะลูมิเนียม และเรซิน อะคริลิก เป็นต้น อย่างไรก็ตามวัสดุกลุ่มอีลาสโตเมอร์จะไม่มีที่เหมาะสมสำหรับกรณีนี้ เนื่องจากวัสดุชนิดนี้จะมีความยืดหยุ่นและถูกกดได้มากภายหลังการก่อตัว ซึ่งอาจจะส่งผลต่อความผิดพลาดในการบันทึกการสบฟันได้[18]

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาซี่ฟันบันทึกการสบฟันขึ้นใหม่ ที่มีความเหมาะสมสำหรับงานฟันเทียมชนิดถอดได้ เนื่องจากมีสมบัติที่ดีคือ มีความยืดหยุ่นที่ต่ำ และมีลักษณะที่สามารถเป็นตัวแทนของตำแหน่งฟันในสันเหงือกกว้าง ดังที่กล่าวในข้างต้น โดยในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาระยะการแทรกผ่านโดยพีเนโตรมิเตอร์ ค่าความแข็งผิว และการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้น ให้มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับการใช้งานในโครงการฟันเทียมพระราชทาน

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คำว่าขี้ผึ้ง (Wax) หมายถึง อินทรีย์ของสารผสมหรือสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงระหว่าง 400 ถึง 4,000 แต่มีจุดหลอมตัวต่ำ อยู่ในสภาพของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ขี้ผึ้งทางทันตกรรมจะมีส่วนประกอบจากขี้ผึ้งชนิดต่าง ๆ รวมทั้งสารเติมแต่งอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยส่วนประกอบสามารถแบ่งได้เป็น ขี้ผึ้งที่ได้จากธรรมชาติ (natural waxes) ขี้ผึ้งที่ได้จากการสังเคราะห์ (synthetic waxes) และสารเติมแต่ง (additives)[19]

การจำแนกชนิดของขี้ผึ้งทางทันตกรรม

ขี้ผึ้งได้ถูกนำมาใช้ในงานทางทันตกรรมมากกว่า 200 ปีเศษแล้ว โดยมีการแบ่งจำแนกออกเป็นหมวดหมู่เพื่อเอื้อประโยชน์ต่อการสร้างชิ้นงานทางห้องปฏิบัติการและการใช้งานทางคลินิก ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม[19] ได้แก่

1. กระจกขี้ผึ้ง (pattern waxes) คือ ขี้ผึ้งสำหรับใช้ในการปั้นรูปร่างฟัน มีทั้งแบบแท่ง แบบแผ่น และสำเร็จรูป โดยแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

ขี้ผึ้งเบสเพลต (baseplate waxes) เป็นขี้ผึ้งที่นำมาทำเป็นฐานสำหรับหล่อฟันเทียม ลักษณะเป็นแผ่นสีเหลืองผืนผ้า มีสีชมพูหรือแดงคล้ายเหงือก แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ ชนิดแรก (type I) คือ ชนิดอ่อน (soft) ใช้ในการเติมหรือเชื่อมส่วนขาดไปเล็กน้อยของขี้ผึ้งแบบหล่อ ชนิดที่สอง คือ ชนิดแข็งปานกลาง (medium hard) เป็นขี้ผึ้งที่ใช้ในการทำเบสเพลตสำหรับฟันเทียม การใช้งานจะเหมาะกับประเทศที่มีสภาพภูมิอากาศหนาวและอบอุ่นเนื่องจากมีการคืบเนื้อฟันที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเท่ากับร้อยละ 2.5 และชนิดที่สาม คือ ชนิดแข็งมาก (extra hard) ใช้ในการทำเบสเพลตสำหรับฟันเทียมเช่นเดียวกัน แต่จะเหมาะกับประเทศที่มีสภาพภูมิอากาศร้อนเนื่องจากมีการคืบเนื้อฟันที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่ต่ำกว่าชนิดที่สอง ซึ่งมีค่าร้อยละ 1.2

ขี้ผึ้งอินเลย์ (inlay casting waxes) ได้แก่ ขี้ผึ้งอินเลย์ ครอบฟันและสะพานฟันมี 2 ชนิด ได้แก่ ชนิดแรกเป็นขี้ผึ้งที่ใช้ปั้นแบบจากฟันธรรมชาติ (Direct inlay wax) และชนิดที่สองเป็นขี้ผึ้งที่ใช้ปั้นแบบจากแบบจำลองหรือต้นแบบ (Indirect inlay wax)

ขี้ผึ้งหล่อแบบ (casting waxes) เป็นขี้ผึ้งที่ใช้หล่อโครงโลหะของฟันเทียมบางส่วนชนิดถอดได้ มีรูปแบบต่าง ๆ ให้เลือกใช้ เช่น เป็นแผ่นบาง หนา เป็นเส้นสำเร็จรูป หรือหล่อเป็นตะขอ (clasp)

2. ขี้ผึ้งเชิงปฏิบัติการ (Processing waxes) มีหลายชนิด ได้แก่

ขี้ผึ้งล้อมขอบ (*boxing waxes*) ขี้ผึ้งชนิดนี้มีลักษณะอ่อนแต่เหนียว ใช้ในการล้อมขอบรอยพิมพ์ เพื่อเทปูนให้ได้ขึ้นหล่อที่มีความหนาของฐานตามต้องการ

ขี้ผึ้งเหนียว (*sticky waxes*) เป็นขี้ผึ้งที่แข็งตัวช้ากว่าคร่าว เช่น ใช้ยึดส่วนที่แตกของฟันเทียมให้เชื่อมติดกัน ขี้ผึ้งประเภทนี้มีลักษณะติดเหนียวคล้ายกาว มีความแข็งแรงสูง แต่มีลักษณะที่เปราะ

ขี้ผึ้งสารพัดประโยชน์ (*utility waxes*) เป็นขี้ผึ้งที่ใช้งานเล็ก ๆ น้อย ๆ เช่น ใช้เสริมขอบของถาดพิมพ์ปากให้มีความยาวตามต้องการ หรือแต่งปิดเพื่อลดบริเวณส่วนที่เว้าของขึ้นหล่อ

3. ขี้ผึ้งพิมพ์ปาก (*impression waxes*) เป็นขี้ผึ้งที่ใช้ในการพิมพ์รายละเอียดภายในช่องปาก ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้มาตั้งแต่สมัยอดีต สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

คอเรคทีฟ แวกซ์ (corrective waxes) ใช้พิมพ์บริเวณสันเหงือกและเนื้อเยื่อที่เคลื่อนไหวได้ในบริเวณที่ไม่มีฟันธรรมชาติ

ขี้ผึ้งบันทึกการสบฟัน (*bite registration waxes*) ขี้ผึ้งชนิดนี้ใช้ในการบันทึกความสัมพันธ์ระหว่างขากรรไกรบนและล่าง เพื่อถ่ายโอนความสัมพันธ์นั้นไปติดตั้งบนกลอุปกรณ์ขากรรไกรจำลอง โดยอาจอยู่ในรูปแบบที่เป็นขี้ผึ้งล้วนซึ่งมักมีส่วนประกอบจากพาราฟิน และบีแวกซ์[20] หรือเป็นขี้ผึ้งที่มีการผสมผงหรือแผ่นโลหะบาง ๆ เพื่อประโยชน์ในการคงรูปและนำความร้อน[19] ขี้ผึ้งชนิดนี้มีการไหลแผ่ที่อุณหภูมิช่องปากร้อยละ 2.5-22 จึงอาจทำให้เกิดการบิดเบี้ยวขณะนำขี้ผึ้งออกจากช่องปากได้[20]

ขี้ผึ้งบันทึกการสบฟันที่มีจำหน่ายในประเทศไทยจะอยู่ในรูปแบบของขี้ผึ้งที่มีส่วนผสมโลหะ ซึ่งมีอยู่ 3 ผลิตภัณฑ์ คือ ALUWAX ที่ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา ALMINAX ที่ผลิตในประเทศสหราชอาณาจักร และ ALUT ที่ผลิตภายในประเทศไทย โดยพบรายงานข้อมูล MSDS (Material Safety Data Sheet) ในสองผลิตภัณฑ์แรกเท่านั้น และจากข้อมูล MSDS ของ ALUWAX และ ALMINAX พบว่าไม่มีรายละเอียดที่แสดงถึงสมบัติที่จะทำการทดสอบในการศึกษาครั้งนี้ อีกทั้งถ้าพิจารณาในแง่ของราคา พบว่าผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศมีราคาที่สูงกว่าที่ผลิตในประเทศ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบและราคาขี้ผึ้งบันทึกการสปันทางการค้า[21, 22]

ผลิตภัณฑ์	บริษัท	ราคาต่อกรัม (บาท)	อุณหภูมิหลอม เหลว (°C)	ส่วนประกอบ
ALUWAX	Aluwax Dental Product Company	8	49-53 ± 1	พาราฟิน และบีแว็กซ์*
ALMINAX	Associated Dental Product Ltd. Kemdenty	5	60-61	ขี้ผึ้งที่ได้จากพืชขี้ผึ้งที่ ได้จาก แร่ธาตุและผง อะลูมิเนียม*
ALUT	NA	3	59.6**	ขี้ผึ้งไม่ระบุชนิด

*ไม่แสดงปริมาณส่วนผสม

**ข้อมูลได้จากการทดสอบด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์

ขี้ผึ้งที่ได้จากธรรมชาติ

ขี้ผึ้งที่ได้จากธรรมชาติเป็นขี้ผึ้งที่เป็นผลผลิตจากแร่ธาตุ (mineral) พืช (plant) แมลง (insect) หรือสัตว์ (animal) ซึ่งในปัจจุบันมีขี้ผึ้งที่ผลิตจากธรรมชาติวางจำหน่ายตามท้องตลาดหลายชนิด อาทิเช่น

พาราฟิน (paraffin waxes) เป็นขี้ผึ้งที่ได้จากแร่ธาตุโดยได้มาจากกากส่วนเหลือจากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบแบบหอกลิ้นลำดับส่วน ซึ่งกากที่ได้จากกระบวนการกลั่นนี้จะเรียกว่า สแลค แวกซ์ (Slack wax) ซึ่งเป็นขี้ผึ้งที่มีปริมาณน้ำมันอยู่สูง จึงต้องผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันออกเพื่อให้ได้พาราฟินที่มีปริมาณน้ำมันตามค่ามาตรฐาน คือ ร้อยละ 0.1-5 โดยน้ำหนัก มีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ C_nH_{2n+2} จำนวนคาร์บอนในห่วงโซ่โมเลกุล 19-36 อะตอม ($C_{19}-C_{36}$) มีลักษณะเป็นของแข็ง มีสีเหลืองอ่อนถึงขาว[23] มีจุดหลอมเหลวในช่วง 40-71 องศาเซลเซียส[20] โดยจะมีค่าสูงหรือต่ำแตกต่างกันตามแหล่งวัตถุดิบ พาราฟินที่มีจุดหลอมเหลวที่สูงจะมีการหดตัวมากเมื่ออุณหภูมิลดลง โดยทั่วไปมักใช้พาราฟินเป็นส่วนประกอบหลักในการทำขี้ผึ้งชนิดต่าง ๆ โดยเติมขี้ผึ้งชนิดอื่นเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมตามความต้องการ[19]

ไมโครคริสตัลไลน์ (microcrystalline waxes) เป็นขี้ผึ้งที่ได้จากแร่ธาตุ ซึ่งมีกระบวนการผลิตเช่นเดียวกับการผลิตพาราฟิน ที่ได้มาจากกากส่วนเหลือของกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบแบบหอกลิ้นลำดับส่วน[24] แต่มีความแตกต่างจากพาราฟินคือมีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่า โดยอยู่ในช่วง

60-91 องศาเซลเซียส มีลักษณะเหนียวและยืดหยุ่นมากกว่า และมีการหดตัวเมื่ออุณหภูมิลดลงที่ต่ำกว่าพาราฟิน[20]

คาร์นูบา (carnauba waxes) เป็นขี้ผึ้งที่ได้จากพืช คือ ต้นปาล์มคาร์นูบา ซึ่งจะมีการหดตัวที่ต่ำกว่าขี้ผึ้งที่ได้จากแร่ธาตุ ขี้ผึ้งชนิดนี้มีความแข็งและเปราะ มีจุดหลอมเหลวสูงอยู่ในช่วง 84-91 องศาเซลเซียส[20] ใช้เพิ่มความแข็งแรง และอุณหภูมิการหลอมเหลวให้กับพาราฟิน[19, 20] การเติมคาร์นูบาตั้งแต่ร้อยละ 10 จะช่วยทำให้พาราฟินมีเวลาก่อนตัวที่ลดลงได้

แคนดีลิลลา (candelilla waxes) เป็นขี้ผึ้งที่ได้จากพืช คือ ต้นแคนดีลิลลาซึ่งพบมากในทางตอนเหนือของประเทศเม็กซิโก มีลักษณะแข็งและเปราะ[25] มีจุดหลอมเหลว 68-75 องศาเซลเซียส ใช้เพิ่มความแข็งแรงของพาราฟินแต่ไม่เพิ่มอุณหภูมิการหลอมเหลว[20]

บีแว็กซ์ (beeswax) เป็นขี้ผึ้งที่ได้จากสัตว์จำพวกผึ้ง มีจุดหลอมเหลว 63-70 องศาเซลเซียส มีลักษณะเปราะที่อุณหภูมิต่ำ และเปลี่ยนเป็นสภาพพลาสติกที่อุณหภูมิร่างกาย จึงมักใช้บีแว็กซ์ในการเพิ่มการไหลแผ่ที่อุณหภูมิต่ำของปากของสูตรขี้ผึ้ง และใช้เป็นองค์ประกอบหลักของขี้ผึ้งเหนียว[20]

ขี้ผึ้งที่ได้จากการสังเคราะห์

ขี้ผึ้งที่ได้จากการสังเคราะห์ เป็นขี้ผึ้งที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่มีความซับซ้อนและเป็นลำดับที่แน่นอนมากกว่าขี้ผึ้งที่ได้จากธรรมชาติ สมบัติของขี้ผึ้งที่ได้จากการสังเคราะห์มีความคล้ายคลึงกับขี้ผึ้งที่ได้จากธรรมชาติ แต่มีจุดหลอมเหลวที่ค่อนข้างแน่นอนมากกว่า ตัวอย่างของขี้ผึ้งที่ได้จากการสังเคราะห์ ได้แก่

ขี้ผึ้งโพลีเอทิลีน (polyethylene waxes) เป็นขี้ผึ้งที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีค่าประมาณ 2,000-4,000 นอกจากนี้ยังมีอุณหภูมิการหลอมเหลวที่ค่อนข้างสูงกว่าขี้ผึ้งที่ได้จากธรรมชาติ โดยอยู่ในช่วง 100-105 องศาเซลเซียส[20] จึงสามารถใช้ขี้ผึ้งชนิดนี้ในการช่วยเพิ่มความแข็งแรงและจุดหลอมเหลวให้กับพาราฟินได้[26]

ขี้ผึ้งโพลีออกซีเอทิลีนไกลคอล (polyoxyethylene glycol waxes) เป็นขี้ผึ้งที่เป็นโพลีเมอร์ของเอทิลีนไกลคอล ที่มีอุณหภูมิการหลอมเหลวที่ค่อนข้างต่ำแต่อยู่ในช่วงกว้างตั้งแต่ 37-63 องศาเซลเซียส จึงเป็นข้อจำกัดในการผสมขี้ผึ้งชนิดนี้ในขี้ผึ้งชนิดอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามสามารถใช้ขี้ผึ้งชนิดนี้ในการเป็นสารเพิ่มความอ่อนนุ่ม (plasticizer) ให้กับขี้ผึ้งชนิดอื่น ๆ ได้[20]

สารเติมแต่ง

สารเติมแต่ง เป็นสารที่ใส่เพียงเล็กน้อยเพื่อปรับปรุงสมบัติให้ได้ตามความต้องการ[27]
อาทิเช่น

น้ำมันสน น้ำมันไฮโดรคาร์บอน (*glyceryl tristearate*) การใส่สารเติมแต่งประเภทน้ำมัน จะมีส่วนช่วยทำให้ขี้ผึ้งมีความอ่อนตัวและสามารถปั้นแต่งได้ง่ายขึ้น[20] ปริมาณในการผสม 1 ซ้อนโต๊ะต่อส่วนผสมขี้ผึ้ง 1 กิโลกรัม[26]

ยางสนธรรมชาติและยางสนสังเคราะห์ ตัวอย่างเช่น ยางสนธรรมชาติ (rosin) และ ยางสนสังเคราะห์ (modified rosin) เป็นต้น ซึ่งเป็นสารเติมแต่งสำหรับขี้ผึ้งที่สามารถละลายในของเหลวที่เป็นอินทรีย์สาร มีสมบัติทำให้ขี้ผึ้งมีความเหนียว และมีความแข็งแรงมากขึ้น[19, 20] ยางสนธรรมชาติจะมีความคงตัวที่ต่ำ เกิดการเกาะกลุ่มและออกซิเดชันได้ง่ายกว่ายางสนสังเคราะห์ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนต (hydrogenate) การเติมยางสนสังเคราะห์ปริมาณร้อยละ 25 จะช่วยลดการหดตัวของขี้ผึ้งได้[28]

ผงโลหะ การใส่ผงโลหะเพื่อทำให้ขี้ผึ้งมีการนำและกระจายความร้อนที่ดีขึ้น อาทิเช่น ผงอะลูมิเนียม ผงคอปเปอร์ เป็นต้น ผงอะลูมิเนียม (aluminium powder) มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 660.32 องศาเซลเซียส และจุดเดือดเท่ากับ 2,519 องศาเซลเซียส[29] ผงอะลูมิเนียมอาจแบ่งตามขนาดอนุภาคได้ 3 ชนิด ชนิดแรก คือ ดาร์ก อะลูมิเนียม (dark aluminium) ลักษณะผงสีดำ มีขนาดอนุภาคประมาณ 2 ไมครอน ใช้สำหรับเป็นพลังงานเชื้อเพลิง ชนิดที่สอง คือ อะตอมไมซ์ อะลูมิเนียม (atomized aluminium) ลักษณะผงสีเทา ใช้ในงานพู่ไฟ ชนิดที่สาม คือ เฟลค อะลูมิเนียม (flake aluminium) ลักษณะผงสีเงิน ขนาดอนุภาคเล็กละเอียดน้อยกว่า 2 ไมครอน ใช้ในงานเกี่ยวกับการพ่นสีหรือเครื่องสำอางค์ และการนำความร้อน ผงทองแดง (copper powder) เป็นโลหะมีสีแดงมันเงา นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี เป็นผงสีแดง ไม่มีกลิ่น ไม่ละลายน้ำ มีจุดหลอมเหลวที่ 1084.62 องศาเซลเซียส และจุดเดือดที่ 2,562 องศาเซลเซียส[30]

ตารางที่ 2 แสดงค่าการนำความร้อนของผงโลหะชนิดต่าง ๆ[31]

ผงโลหะ	การนำความร้อนที่อุณหภูมิ 300 K (W/(m·K))
อะลูมิเนียม	237 .0
ทองแดง	401.0
ไทเทเนียม	21.9

สมบัติต่าง ๆ ของซีฟิ่ง[20]

1. การหลอมเหลว เนื่องจากผลิตภัณฑ์จากซีฟิ่งมักได้จากการผสมของซีฟิ่งหลาย ๆ ชนิด เข้าด้วยกัน จึงทำให้ซีฟิ่งมีอุณหภูมิการหลอมเหลวเป็นช่วงการหลอมเหลว (melting range) การเติมคาร์นูบาในปริมาณร้อยละ 10 ในพาราฟิน จะส่งผลให้ซีฟิ่งมีช่วงการหลอมเหลวกว้างมากขึ้น แต่จะไม่ส่งผลทำให้จุดหลอมเหลว (melting point) เปลี่ยนแปลงไป แต่การเติมคาร์นูบาใน ปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 10 จะไม่ส่งผลทำให้ช่วงการหลอมเหลวกว้างขึ้นหรือแคบลง แต่เพื่อ ควบคุมการไหลแผ่และสมบัติทางกลอื่น ๆ ของซีฟิ่ง

2. การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ (thermal expansion) ซีฟิ่งจะมีพฤติกรรมขยายตัวเมื่อ อุณหภูมิที่สูงขึ้น และมีการหดตัวเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ในกลุ่มวัสดุบูรณะทางทันตกรรม ซีฟิ่งเป็นวัสดุ ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนสูงที่สุด สมบัติการขยายตัวเชิงเส้นเมื่อ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของซีฟิ่งนั้น สามารถอธิบายโดยใช้หลักของแรงเวเลนซ์อันดับรอง (secondary valence force) ซึ่งโดยทั่วไปซีฟิ่งที่ได้จากแร่ธาตุ จะมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อ อุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่าซีฟิ่งที่ได้จากพืช เนื่องจากซีฟิ่งที่ได้จากแร่ธาตุนั้นมีแรงเวเลนซ์อันดับรองที่ อ่อนแอกว่า ทำให้มีการดูดซับพลังงานจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และเกิดการเคลื่อนที่ของ องค์ประกอบในซีฟิ่งได้ง่าย ในขณะที่ซีฟิ่งที่ได้จากพืชนั้น จะมีองค์ประกอบของเอสเตอร์ (ester) อยู่ในปริมาณสูงทำให้มีแรงเวเลนซ์อันดับรองที่แข็งแรง ซึ่งแรงนี้จะทำหน้าที่ยับยั้งการเคลื่อนที่ของ องค์ประกอบในซีฟิ่ง ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของซีฟิ่งที่ได้จากพืชมี ค่าต่ำกว่า

ตารางที่ 3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของซีฟิ่งชนิดต่าง ๆ [20]

ซีฟิ่ง	ช่วงอุณหภูมิ (°C)	ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน ($\times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$)
พาราฟิน	20.0 - 27.8	307
	27.8 - 34.0	1,631
คาร์นูบา	22.0 - 52.0	156
บีแวกซ์	22.0 - 41.2	344
	41.2 - 50.0	1,048

3. สมบัติทางกล (mechanical properties) ซีฟิ่งทุกชนิดมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (elastic modulus) ขีดยึดปฏิภาค (proportional limit) และความทนแรงอัด (compressive strength) ที่มี แนวโน้มลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่น ๆ พบว่าซีฟิ่งมีค่ามอดุลัส

ยืดหยุ่นและความแข็งแรงอดที่ต่ำกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับในกลุ่มซี่ผึ้งพบว่าคาร์บอนามีมอดุลัสยืดหยุ่นสูงสุด บีเวกซ์มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นต่ำที่สุด

4. การไหลแผ่ (flow) เป็นการเปลี่ยนแปลงของวัสดุเมื่อเกิดการเสียรูปถาวร (plastic deformation) ในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยบีเวกซ์จะเริ่มมีการไหลแผ่ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส โดยมีการไหลแผ่ร้อยละ 7 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 40 องศาเซลเซียส จึงทำให้มักเลือกใช้บีเวกซ์เป็นส่วนประกอบหลักของซี่ผึ้งพิมพ์ปาก ซี่ผึ้งที่ได้จากแร่ธาตุ เช่น พาราฟินจะเกิดการไหลแผ่มากถึงร้อยละ 50 ที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการหลอมเหลว 20 องศาเซลเซียส สาเหตุเนื่องจากพาราฟินมีโครงสร้างโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน ที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือเป็นสาขา ซึ่งเป็นแรงเวเลนซ์อันดับรอง (secondary valence force) ที่อ่อนแอ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะเกิดการเคลื่อนที่ของโครงสร้างโมเลกุลได้ง่าย แต่ซี่ผึ้งที่ได้จากพีชจะมีองค์ประกอบของเอสเทอร์ ร่วมกับแอลกอฮอล์และกรดไขมันในปริมาณที่สูง จึงมีการเคลื่อนที่ของโครงสร้างได้ยากมากกว่า ซี่ผึ้งที่ได้จากแร่ธาตุ จึงต้องการอุณหภูมิที่สูงกว่าและใกล้เคียงกับอุณหภูมิการหลอมเหลวเพื่อให้เกิดการไหลแผ่ได้ร้อยละ 50

5. ความสามารถในการยืด เปลี่ยนแปลงรูปร่าง (ductility) ซี่ผึ้งจะมีความสามารถในการยืดที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการไหลแผ่ โดยทั่วไปซี่ผึ้งที่มีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่า จะมีความสามารถในการยืดที่สูงกว่าซี่ผึ้งที่มีจุดหลอมเหลวสูง แต่อย่างไรก็ตามส่วนประกอบในซี่ผึ้งจะส่งผลต่อความสามารถในการยืดและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ ซี่ผึ้งที่มีส่วนประกอบที่หลากหลายและมีช่วงอุณหภูมิการหลอมเหลวที่กว้าง จะมีความสามารถในการยืดออกที่สูงกว่าซี่ผึ้งที่มีช่วงอุณหภูมิการหลอมเหลวที่แคบ และโดยทั่วไปซี่ผึ้งที่มีความบริสุทธิ์มาก ๆ จะมีความเปราะที่สูง แต่พบว่าไมโครคริสตัลไลน์เป็นซี่ผึ้งบริสุทธิ์ที่มีสภาพพลาสติก (plasticity) มีความอ่อนนุ่มและความสามารถในการยืดที่ค่อนข้างสูง โดยไม่มีลักษณะเปราะเช่นเดียวกับซี่ผึ้งชนิดอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากไมโครคริสตัลไลน์เป็นซี่ผึ้งที่มีองค์ประกอบของน้ำมันร่วมอยู่ด้วย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนการใช้ซี่ผึ้งเพื่อบันทึกการสบฟันนั้นมีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เมื่อซี่ผึ้งได้รับความร้อนจะเกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในซี่ผึ้งส่งผลให้เกิดการอ่อนตัว และเมื่อทำการบันทึกการสบฟัน ซี่ผึ้งจะมีการไหลแผ่เพื่อลดรอยละเอียดยของด้านสบฟันหรือรอยบากที่สร้างขึ้นบนแท่นกัดจนกระทั่งเริ่มก่อตัวและเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็ง จึงสามารถนำออกจากช่องปากและไปติดตั้งบนกลอุปรกรณ์ขากรรไกรจำลอง ซึ่งขั้นตอนในการติดตั้งนั้นอาจไม่สามารถทำได้ในทันที เนื่องจากปัญหาด้านระยะทางระหว่างคลินิกและห้องปฏิบัติการ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง

ในพื้นที่ที่ห่างไกล นอกจากนี้ปัญหาสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยที่เป็นเขตร้อนและมีแนวโน้มของอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงหรือ เสถียรภาพทางมิติของซีเมนต์ที่ทำการสอบพันหลังการบันทึกเสร็จสมบูรณ์แล้วได้

จากขั้นตอนต่าง ๆ ในการบันทึกการสอบพันดังกล่าวมาข้างต้น มีสมบัติหลายประการที่เกี่ยวข้องเนื่องกับการใช้งานซีเมนต์ที่ทำการสอบพัน อาทิเช่น ความต้านทานต่อการกัด การไหลแผ่และการลอกเลียนรายละเอียดพื้นผิวของคู่สอบขณะทำการบันทึก ความแข็งแรง ความเที่ยงตรง และเสถียรภาพทางมิติเมื่ออุณหภูมิและเวลาเปลี่ยนแปลงไป

สมบัติความทนแรงอัดและความแข็งแรง

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาซีเมนต์ที่ทำการสอบพันขึ้นใหม่ โดยต้องการศึกษาระยะการแทรกผ่านโดยพีเนโตรมิเตอร์ ค่าความแข็งแรงในสภาวะอุณหภูมิที่แตกต่างกัน และการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นตามเวลา ซึ่งโดยทั่วไปความแข็งแรงของวัสดุจะมีความเกี่ยวข้องและสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงมิติ วัสดุบันทึกการสอบพันที่มีความแข็งแรงที่ต่ำจะมีโอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้มากภายหลังการก่อตัวจากน้ำหนักหรือแรงในการจับสอบขณะยึดแบบจำลองปูนเข้ากับกลุ่ปรกรณ์ขากรรไกรจำลอง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เกิดขึ้นนั้นก็ส่งผลโดยตรงส่งต่อเสถียรภาพทางมิติ[32]

การศึกษาความทนแรงอัด (compressive strength) ของวัสดุบันทึกการสอบพันหลังการก่อตัวโดยเครื่องเทนโซมิเตอร์ (Tensometer Limited 81, W7584, England)[33] ที่ความหนาแตกต่างกันคือ 2 5 10 และ 20 มิลลิเมตร ซึ่งความหนาที่แตกต่างกันนั้นแสดงถึงระยะที่แตกต่างกันระหว่างคู่สอบบนและล่าง ทั้งที่มีพื้นธรรมชาติและในกรณีที่เป็นสันเหือกกว้าง โดยสร้างชิ้นงานอย่างละ 10 ชิ้น ในแม่แบบ (split brass mold) พบว่าที่เวลา 12 ชั่วโมงหลังผสมวัสดุ ความทนแรงอัดระหว่างวัสดุแต่ละชนิดที่มีความหนา 2 10 และ 20 มิลลิเมตร มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ยกเว้นที่ความหนา 5 มิลลิเมตร พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าซีเมนต์ที่ทำการสอบพัน เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงกตมากที่สุด จึงส่งผลให้มีการบิดเบือนน้อยกว่าวัสดุบันทึกการสอบพันชนิดอื่น ๆ รองลงมาคือโพลีไวนิลไซลอกเซนและซิลิโคน

การศึกษาความแข็งแรงของวัสดุบันทึกการสอบพัน[34] โดยทำการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของโพลีไวนิลไซลอกเซน โพลีเอเทอร์และซิงค์ออกไซด์ ยูจีนอลเพสท ที่เวลา 30 นาทีและ 24 ชั่วโมงหลังเริ่มผสม ทำในแม่แบบในลอนหนา 6.5 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 มิลลิเมตร

ทดสอบโดยใช้เครื่องวัดความแข็งผิวชนิดชอร์ เอ (Shore Instrument & Manufacturing, NY) ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง พบว่าวัสดุทุกชนิดมีค่าความแข็งผิวหลังเริ่มผสมวัสดุ 30 นาทีที่มากกว่า 70 ยูนิต โดยความแข็งผิวของซิงค์ออกไซด์ ยูจีนอลเฟสท มีค่าที่สุด คือ 94.50 ยูนิต และวัสดุอีก 4 ชนิดในกลุ่มอีลาสโตเมอร์ที่มีค่าความแข็งผิวที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่เวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงหลังผสม ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดโพลีเมอร์ไรเซชันยังไม่สมบูรณ์ ในการวิจัยครั้งนี้มีการใช้เครื่องทดสอบความแข็งผิวชนิดชอร์ เอ เช่นเดียวกับการศึกษาก่อนหน้านี้ เนื่องจากเครื่องมือนี้มีความเหมาะสมสำหรับวัสดุหลายประเภท โดยนอกจากสามารถทดสอบค่าความแข็งผิวของวัสดุจำพวกยาง อีลาสโตเมอร์ และซีเมนต์ด้วย[7]

การศึกษาความต้านทานการกดของวัสดุบันทึกการสพพัน[32] ที่มีการดัดแปลงวิธีทดสอบจากข้อกำหนดของสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา (ANSI/ADA specification หมายเลข 19) สำหรับวัสดุพิมพ์ปากกลุ่มอีลาสโตเมอร์ เพื่อใช้ในการศึกษาความต้านทานการกดของวัสดุบันทึกการสพพันที่อุณหภูมิ 21 ± 1 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องมือกด (Geger, Tonindustrie, Germany) ภายหลังจากวัสดุก่อตัว การทดสอบจะเริ่มหลังจากนำวัสดุออกจากแม่แบบ 6 นาที ด้วยแรงกด 100 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร กดเป็นเวลา 30 วินาที วัดการเปลี่ยนแปลงของระยะที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องเวทิกเคิล แทรเวลลิง ไมโครมิเตอร์ ไมโครสโคป และหลังจากการเริ่มกดด้วยแรงกด 100 กรัมเป็นเวลา 60 วินาที ให้ใช้แรงกด 1000 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร กดซ้ำเป็นเวลา 30 วินาที วัดระยะของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงอีกครั้ง พบว่าบลูมัสเป็นวัสดุที่มีแรงต้านต่อการกดสูงที่สุด ซีเมนต์อัลมินแน็กซ์ (Alminax) มีแรงต้านการกดที่มากกว่าซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลเฟสท และซิลิโคน (Regisil 2X)

การวัดค่าความแข็งผิว

ความแข็งผิวโดยทั่วไป หมายถึง การต้านทานต่อการเจาะทะลุ (penetration) การทำให้เกิดรอย (indentation) หรือการขีด (scratching) ลงบนพื้นผิวของวัสดุ วัสดุใดที่เกิดรอยขีดได้ยาก วัสดุนั้นจะมีค่าความแข็งผิวที่สูง แต่ถ้าวัสดุใดเกิดรอยขีดที่ลึก วัสดุนั้นจะมีค่าความแข็งผิวต่ำ[19] การวัดค่าความแข็งผิวจึงเป็นการวัดความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยแรงที่กระทำบนพื้นผิวของวัสดุ[33]

เราสามารถวัดค่าความแข็งของวัสดุได้หลายวิธี เช่น การทดสอบความแข็งผิวแบบรอกเวลล์ (Rockwell) บริเนลล์ (Brinell) วิคเกอร์ (Vicker) และชอร์ (Shore)[20]

การวัดความแข็งผิวแบบชอร์มีหลายแบบ แต่ละแบบจะมีหลักการทำงานที่เหมือนกัน แต่มีความแตกต่างกันเฉพาะปลายของหัวกดและขนาดน้ำหนักกดที่ได้จากแรงส่งของสปริงขนาดต่าง ๆ

ที่เกิดขึ้นขณะที่หัวกดนั้นกดลงบนผิววัสดุ ดังตารางที่ 4 ซึ่งถ้าวัสดุนั้นมีความแข็งผิวมากก็จะมีแรงต้านต่อการกดที่มากด้วย จึงทำให้เกิดการสะท้อนกลับของสปริงและเกิดการเปลี่ยนแปลงของเข็มบนมาตรวัดคูโรมิเตอร์ ซึ่งนั่นก็คือ ค่าความแข็งผิวของวัสดุ

ความต้านทานต่อการกดที่เกิดขึ้นบนผิวขึ้นทดสอบ จะสามารถอ่านค่าได้โดยตรงจากหน้าปัดคูโรมิเตอร์ซึ่งมีค่า 0 -100 ยูนิท ที่ความลึกของรอยกดเท่ากับศูนย์จะอ่านได้ค่าความแข็งเท่ากับ 100 ยูนิท และที่ความลึกของรอยกดเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร จะอ่านค่าความแข็งได้เท่ากับ 0 ยูนิท ค่าตัวเลขที่มากจะหมายถึงวัสดุที่มีความแข็งผิวมากหรือมีความต้านทานต่อการเกิดรอยกดได้สูง

มีการศึกษาก่อนหน้าเกี่ยวกับค่าความแข็งผิวของวัสดุโพลีไวนิลไซลออกเซน โพลีอีเทอร์ และซิงค์ออกไซด์ ยูจีนอลเฟสท [34] โดยใช้เครื่องวัดความแข็งผิวชนิดชอร์ เอ (Shore Instrument & Manufacturing, NY) ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง พบว่าวัสดุทุกชนิดมีค่าความแข็งผิวหลังเริ่มผสมวัสดุ 30 นาทีที่มากกว่า 70 ยูนิท

การทดสอบค่าความแข็งผิวแบบชอร์ เอ ตามมาตรฐาน ASTM D2240[7] ชิ้นงานควรมีความหนาอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร การทดสอบกระทำ 5 ตำแหน่งต่อชิ้นงาน มีระยะห่างระหว่างตำแหน่ง 6 มิลลิเมตร ขณะทดสอบให้วางชิ้นงานที่มีผิวเรียบบนแนวระนาบของแท่นทดสอบโดยให้สัมผัสกับปลายหัวกดอินเดนเตอร์ โดยสังเกตว่าเข็มของมาตรวัดค่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง หมุนอุปกรณ์ทดสอบจนสังเกตได้เสียงกระดอนของสปริง แล้วจดบันทึกค่าที่แสดงบนมาตรวัดมีหน่วยเป็น ยูนิทชอร์ เอ แล้วหาค่าเฉลี่ยของทุกตำแหน่งจะได้เป็นค่าความแข็งผิว 1 ชิ้นงาน

การวัดความแข็งผิวแบบชอร์ เอ เหมาะสมกับวัสดุอ่อน เช่น ยาง พลาสติกและซีเมนต์[7] ในทางทันตกรรมมักใช้สำหรับการทดสอบวัสดุฐานฟันเทียมชนิดนิ่ม (soft denture liner) และวัสดุกลุ่มอีลาสโตเมอร์ การวัดค่าความแข็งผิวด้วยวิธีอื่น ๆ ไม่มีความเหมาะสมเนื่องจากไม่สามารถทำให้เกิดรอยที่ผิวของวัสดุประเภทนี้ได้[20]

ค่าความแข็งผิวเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่จะช่วยคงรูปร่างของวัสดุบันทึกการสบฟันหลังการก่อตัว ถ้าวัสดุนั้นเกิดรอยหรือบิดเบี้ยวจากแรงที่มากระทำได้ง่าย ก็อาจจะส่งผลโดยตรงต่อความถูกต้องและเสถียรภาพทางมิติของวัสดุนั้น ๆ ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมีการวัดค่าความแข็งผิวในสภาวะอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยจะทำการทดสอบภายใต้อุณหภูมิช่องปาก 37 ± 1 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้องซึ่งปกติทั่วไปจะหมายถึงอุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส แต่จากสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในปัจจุบันทำให้ประเทศไทยมีสภาวะอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยรายงานของกรมอุตุนิยมวิทยาของประเทศไทยในปี พ.ศ.2553[35] พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 27.9 องศาเซลเซียส และในปี พ.ศ. 2554 มีอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี มีค่าสูงสุดเท่ากับ 32.1 องศา

เซลเซียส[36] ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกอุณหภูมิในการทดสอบที่ 30 ± 1 องศาเซลเซียส (ซึ่งได้จากค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในปี พ.ศ.2553 และในปี พ.ศ. 2554)

ตารางที่ 4 แสดงรายละเอียดการทดสอบความแข็งผิวแบบต่าง ๆ[7]

ชนิด	น้ำหนักจากสปริง	ลักษณะหัวกด	ประเภทชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ
Type A ASTM D2240	821 gf 1.81 lb.	กรวยมุม 35° ปลายตัด	ยางที่มีลักษณะนิ่ม วัสดุกลุ่มอีลาสโตเมอร์ หนัง ชี้นำ
Type D ASTM D2240	4.5 kgf 10 lb.	กรวยมุม 35° ปลายแหลม	ยางที่มีลักษณะแข็ง พลาสติก
Type B ASTM D2240	821 gf 1.81 lb.	กรวยมุม 35° ปลายแหลม	ยาง วัสดุกลุ่มอีลาสโตเมอร์
Type C ASTM D2240	4.5 kgf 10 lb.	กรวยมุม 35° ปลายตัด	ยางที่มีลักษณะแข็งปานกลาง พลาสติก
Type DO ASTM D2240	4.5 kgf 10 lb.	ครึ่งทรงกลม ขนาด 3/32"	ลูกกลิ้งการพิมพ์หรือตัวกรอเส้นใย ชนิดหนาแน่น
Type O ASTM D2240	821 gf 1.81 lb.	ครึ่งทรงกลม ขนาด 3/32"	ลูกกลิ้งการพิมพ์หรือตัวกรอเส้นใย ชนิดนิ่ม
Type OO ASTM D2240	113 gf 4 oz.	ครึ่งทรงกลม ขนาด 3/32"	ยางที่มีลักษณะนิ่ม หรือลักษณะเป็นฟองน้ำ
Type OOO	113 gf 4 oz.	ครึ่งทรงกลม ขนาด 1/2"	ยางหรือวัสดุที่อ่อนมาก
Type SL	142 gf 5 oz.	ทรงกลม ขนาด $\varnothing 0.5"$	โฟมยาง

สมบัติเสถียรภาพทางมิติ

เสถียรภาพทางมิติของวัสดุบันทึกการสพพื้น เป็นการศึกษการเปลี่ยนแปลงทางมิติของวัสดุภายหลังการก่อตัว จนกระทั่งติดตั้งบนกลอุปกรณ์ขากรรไกรจำลอง ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป ต่อ ความยาวเริ่มต้น ณ ช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งมีหลายการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงมิติของวัสดุ ดังต่อไปนี้

ขี้ผึ้งเป็นวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนที่สูงเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่น และมีการหดตัวสูงเมื่ออุณหภูมิลดลง (อาจถึง 0.4 เปอร์เซ็นต์)[37] เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงมิติในแนวตั้งระหว่างขี้ผึ้งเบสเพลทิสซิมพู และขี้ผึ้งที่มีการใส่ผงโลหะทองแดง พบว่าขี้ผึ้งทั้งสองชนิดนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวตั้ง แต่มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญในแนวระนาบ ขี้ผึ้งบันทึกการสพพันทั้งสองชนิดนี้มีการบิดเบี้ยวที่ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุบันทึกการสพพันชนิดอื่น[38]

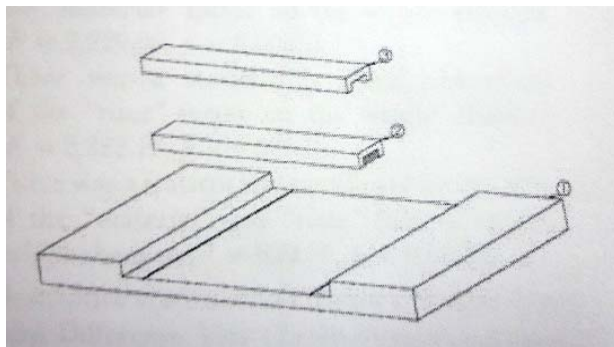
การศึกษาเกี่ยวกับความเที่ยงตรงของขี้ผึ้งลามิเนตที่มีแผ่นโลหะเป็นแกนกลาง (Laminated wax) 2 ชนิด โดยใช้เครื่องมือไฮโดรอปติก (Hydroptic test and measurement system)[39] ด้วยแรงกด 66 psi ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที และวัดค่าการเปลี่ยนแปลงทางมิติที่สภาวะการเก็บที่ต่างกัน คือ เก็บที่อุณหภูมิห้องและเก็บในน้ำอุณหภูมิ 12 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 6 12 และ 48 ชั่วโมง พบว่าขี้ผึ้งลามิเนตมีความไม่เที่ยงตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้การนำขี้ผึ้งบันทึกการสพพันมาทำการติดตั้งบนกลอุกรณ์ขากรรไกรจำลองทันทีหลังจากการบันทึกเสร็จสิ้น จะช่วยลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงมิติได้ การให้ความร้อนแก่ขี้ผึ้งบันทึกการสพพันก่อนทำการบันทึกสพพัน จะทำให้มีแรงต้านต่อการกัดที่น้อยกว่า การไม่ให้ความร้อนก่อนการบันทึกการสพพัน การเก็บขี้ผึ้งบันทึกการสพพันในน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงมิติของขี้ผึ้งมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิห้อง

การศึกษาเวลาในการเก็บวัสดุที่สัมพันธ์กับความเที่ยงตรงและการเปลี่ยนแปลงมิติของวัสดุบันทึกการสพพัน[40] ซึ่งทำการศึกษาเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที 6 และ 24 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องมือ Condymeter system ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ของขากรรไกรได้สามมิติ โดยการทดสอบกระทำในอุณหภูมิ 17 และ 22 องศาเซลเซียส พบว่าพลาสติกอิมพีปาก มีการเปลี่ยนแปลงมิติเล็กน้อยภายใน 30 นาที และมีเสถียรทางมิติมากกว่าที่เวลา 24 ชั่วโมง ขี้ผึ้งสีชมพูที่ฉาบด้วยซิงค์ออกไซด์ ยูจีนอลเพสทมีการเปลี่ยนแปลงมิติที่ต่ำ แต่เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงจะมีการเปลี่ยนแปลงมิติที่มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่เรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยตนเอง และขี้ผึ้งสีชมพูมีการเปลี่ยนแปลงมิติมากทั้งในแนวระนาบและแนวตั้งตั้งแต่ 30 นาทีแรก โพลีอีเทอร์มีเสถียรภาพทางมิติมากที่สุดภายใน 6 ชั่วโมงแรก โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นภายหลัง 24 ชั่วโมง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางมิติเชิงเส้นของวัสดุบันทึกการสพพันโดย Michalakis et al.[15] ได้แก่ โพลีอีเทอร์ ซิลิโคน ซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลและขี้ผึ้งอัลมินาซ์ (Alminax) เมื่อเวลาผ่านไป 0, 1, 24, 48 และ 72 ชั่วโมงภายหลังการก่อตัว ที่สภาวะอุณหภูมิ 21 ± 1 องศาเซลเซียส การเตรียมชิ้นงานจะทำในแม่แบบโลหะที่มีร่องตัววีที่พื้นผิว 2 ร่อง ห่างกัน 40 มิลลิเมตร ชิ้นงานที่

เตรียมได้จะมีขนาดกว้าง 8 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร และมีแนวอ้างอิงบนผิววัสดุ ที่ใช้เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงด้วยกล้องไมโครสโคป พบว่าซีฟิ่งอัลมิแนกซ์มีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นมากที่สุดในทุกช่วงเวลาที่ทดสอบ เนื่องจากซีฟิ่งมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน[4] และมีการปลดปล่อยพลังงานที่ตกค้างภายในที่สูง[4, 5]

การวิจัยครั้งนี้ ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งไม่ได้อ้างอิงจากข้อกำหนดของสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกาหมายเลข 24 สำหรับทดสอบซีฟิ่งเบสเพลด (ANSI/ADA specification no.24) เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของวัสดุบันทึกการสบฟัน ภายหลังจากการก่อตัว ที่มีการกำหนดอุณหภูมิให้คงที่ แต่การทดสอบในข้อกำหนดของสมาคม ฯ หมายเลข 24 จะเป็นการทดสอบการหดหรือขยายตัวตามยาวของซีฟิ่งเมื่อได้รับความร้อนระหว่างอุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส (linear thermal expansion) จึงมีวัตถุประสงค์ในการทดสอบที่แตกต่างกัน และหากใช้ชิ้นงานที่มีขนาดตามข้อกำหนดของสมาคม ฯ อาจทำให้การควบคุมคุณภาพของแต่ละชิ้นงานกระทำได้ยาก เนื่องจากชิ้นงานมีความยาวถึง 26.7 เซนติเมตร แต่มีความกว้างและหนาเพียง 6.35 มิลลิเมตร และอาจไม่สามารถหลีกเลี่ยงฟองอากาศที่เกิดขึ้นขณะขึ้นงานได้ และขนาดของชิ้นงานนั้นไม่ได้แสดงถึงการใช้งานจริงทางคลินิก ดังนั้นในวิจัยครั้งนี้จึงดัดแปลงวิธีการทดสอบจาก Michalakakis et al.[15] โดยมีขนาดของชิ้นงานที่เท่ากัน คือ กว้าง 8 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร และมีแนวอ้างอิงบนผิววัสดุห่างกัน 40 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 1 ขนาดของชิ้นงานนั้นจะแสดงถึงลักษณะการใช้งานทางคลินิก โดยความกว้างที่กำหนดเป็นตัวแทนความกว้างของด้านบดเคี้ยวในฟันหลัง ความยาวเป็นตัวแทนความยาวเฉลี่ยของแนวใกล้กลางและไกลกลางของฟันหน้าบน ฟันหลังบน และฟันหลังล่าง ความหนาเป็นตัวแทนของระยะช่องว่างระหว่างคู่สบบนและล่าง แต่ผู้วิจัยมีการดัดแปลงขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานเล็กน้อย เนื่องจากการศึกษานำร่องพบว่าการถอดซีฟิ่งออกจากแม่แบบโลหะทางด้านข้างนั้น จะต้องใช้ที่ไม่คงที่ กระทำได้ค่อนข้างยาก และชิ้นงานที่ได้ไม่มีฐานรองรับ ซึ่งทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของชิ้นงานได้ง่าย จึงปรับปรุงแม่แบบโลหะใหม่และใช้แม่เหล็กในการตั้งฐานของชิ้นงานขึ้นในแนวตั้ง เพื่อควบคุมแรงที่มากระทำต่อชิ้นงานทุกชิ้นให้คงที่ นอกจากนี้ระหว่างการทดสอบของการศึกษาก่อนหน้านี้ ได้มีขั้นตอนการฉีดวัสดุลงในแม่แบบที่อุณหภูมิห้องแล้วจึงเคลื่อนย้ายไปที่อุณหภูมิสภาวะจำลองช่องปาก ซึ่งมีลักษณะที่ไม่อิงตามการใช้งานจริงในคลินิก ผู้วิจัยจึงปรับปรุงวิธีการทดสอบ โดยกระทำการฉีดวัสดุลงในแม่แบบที่อุณหภูมิสภาวะจำลองช่องปาก และระจจนกระทั่งวัสดุเกิดการก่อตัว ซึ่งจะกล่าวถึงข้อมูลส่วนนี้ อย่างละเอียดต่อไปในส่วนของการทดสอบการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นในบทที่ 3 หน้า 35-36

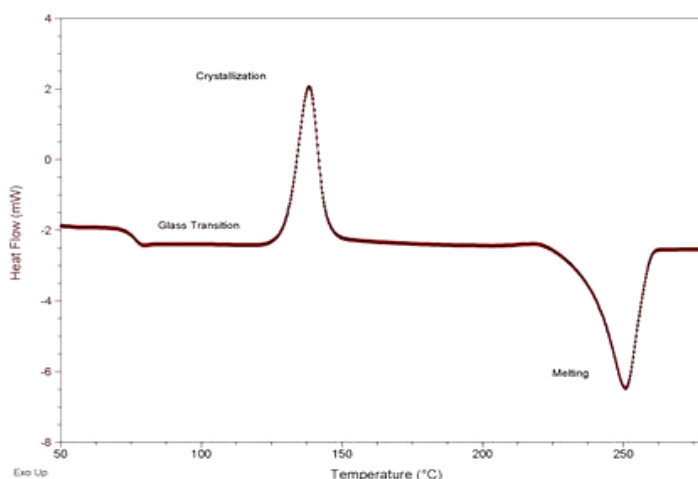


ภาพที่ 1 แสดงแม่แบบโลหะที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานเพื่อการทดสอบ
การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของ Michalakis et al., 2004

สมบัติอุณหภูมิหลอมเหลวของซีเมนต์

อุณหภูมิการหลอมเหลวเป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญอย่างหนึ่งของซีเมนต์ทุกชนิด การวัดอุณหภูมิการหลอมเหลวด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimetry, DSC) นั้นเป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในปัจจุบัน มีการศึกษาพฤติกรรมทางอุณหภูมิของบีแวกซ์ที่ผลิตจากซีเมนต์สายพันธุ์ที่แตกต่างกัน โดยใช้เทคนิคนี้ พบว่าสามารถแสดงลักษณะพฤติกรรมทางอุณหภูมิของบีแวกซ์ได้อย่างสมบูรณ์[41] หลักการของเทคนิคนี้ คือ การวัดความแตกต่างของพลังงาน (energy) หรือการไหลของความร้อน (heat flow) ระหว่างสารที่ต้องการทดสอบและสารอ้างอิงเป็นฟังก์ชันกับเวลาหรืออุณหภูมิ โดยอุณหภูมิที่ให้แก่สารทดสอบและสารอ้างอิงจะถูกกำหนดไว้ ณ บรรยากาศการทดสอบ ซึ่งเทคนิคนี้สามารถบอกขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงของความร้อนในระบบที่สัมพันธ์กับปรากฏการณ์ต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและ/หรือทางเคมีที่เกิดขึ้น เมื่อวัสดุได้รับความร้อน หรือถูกทำให้เย็นตัวลง[42] เทคนิคนี้สามารถใช้ทดสอบในวัสดุจำพวกโพลีเมอร์ ซึ่งจะแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปแบบกราฟ จุดต่ำสุดของกราฟจะแสดงจุดหลอมเหลวของสารทดสอบ (T_m)

ในการหาอุณหภูมิการหลอมเหลว (melting temperature, T_m) นิยมใช้ปริมาณสารตัวอย่าง 1-3 มิลลิกรัม[42] วัสดุทางทันตกรรมที่ใช้ในช่องปาก ควรมีอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไปจนก่อให้เกิดอันตรายต่ออวัยวะในช่องปาก ซึ่งควรมีอุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส[43]



ภาพที่ 2 กราฟแสดงผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์

สมบัติเวลาทำงานและเวลาก่อตัว

การวัดเวลาก่อตัวของวัสดุโดยทั่วไปจะใช้พีนิโตรมิเตอร์ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีหัวกดปลายทู่ ปลดปล่อยบนผิวหน้าวัสดุ วัสดุที่ก่อตัวในช่องปากแต่ละชนิดจะมีเวลาการก่อตัวที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 3-12 นาที ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของวัสดุและบริษัทผู้ผลิต[19] จากตารางที่ 5 พบว่าวัสดุบันทึกการสับฟันแต่ละชนิดและผลิตภัณฑ์นั้นมีเวลาทำงานที่แตกต่างกัน โดยอยู่ในช่วง 0.5-2 นาที และมีระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่สามารถนำวัสดุออกจากช่องปาก (Minimum Removal Time, MRT) อยู่ในช่วง 0.5-2 นาที ซึ่งเวลาทั้งสองค่านี้จะนับตั้งแต่ขณะเริ่มผสมวัสดุ

สำหรับซี่ฝังบันทึกการสับฟันจะมีสมบัติและพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงตามสภาวะอุณหภูมิ ซึ่งอาจไม่สามารถระบุได้ชัดเจนถึงเวลาทำงานและเวลาก่อตัว แต่อาจสามารถบอกได้เป็นช่วงของกราฟที่เปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากแรงต้านที่เกิดขึ้นภายในซี่ฝัง ซึ่งในระหว่างกระบวนการใช้งานซี่ฝังนั้นจะพิจารณาเวลาทำงาน ซึ่งจะอยู่ในช่วงที่ซี่ฝังบันทึกการสับฟันมีความอ่อนนุ่มเพียงพอและไม่เกิดแรงต้านที่ทำให้ขากรรไกรล่างเกิดการเบี่ยงเบนออกจากความสัมพันธ์ในศูนย์ โดยจะเริ่มนับเวลาตั้งแต่นำเข้าสู่อุณหภูมิช่องปาก จนกระทั่งซี่ฝังเริ่มเกิดแรงต้านขึ้น และเวลาก่อตัว คือ เวลาหลังจากนั้น ที่ซี่ฝังมีแรงต้านที่มากขึ้นจนเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งเกร็ง ที่ทำให้เกิดระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์มีค่าคงที่ 3 ค่า

ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลวัสดุบันทึกการสบฟันที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าแต่ละชนิด[44-47]

ผลิตภัณฑ์	ชนิดของวัสดุ	บริษัทผู้ผลิต	เวลาทำงาน*(นาที)	MRT**(นาที)	ความแข็งผิว Shore A (ยูนิต)
BLU-MOUSSE SUPERFAST	Additional silicone	Parkell, Inc.	0.5	0.5	85
GREEN-MOUSSE	Additional silicone	Parkell, Inc.	2	2	60
Regisil®	Additional silicone	Densply Caulk	1.5	4	87
Ramitec™ Penta™	Polyether	3M EPSE	2	5	NV

หมายเหตุ * คือ เวลาทำงานของวัสดุ โดยนับตั้งแต่เริ่มผสมวัสดุ

** คือ Minimum Removal Time ซึ่งเป็นเวลาน้อยที่สุดที่สามารถนำวัสดุออกจากช่องปาก โดยนับเวลาตั้งแต่เริ่มผสมวัสดุ

ซีฟู้งบันทึกการสบฟันที่ดีควรมีเวลาการก่อตัวสั้น เพื่อลดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการขยับของขากรรไกรล่างขณะรอให้วัสดุแข็งตัว และควรมีเวลาทำงานที่เหมาะสมกับระยะเวลาที่ทันตแพทย์ต้องการสำหรับกระบวนการบันทึกความสัมพันธ์ของขากรรไกร ซึ่งมีความแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล ทันตแพทย์ที่มีประสบการณ์และความชำนาญสูงจะสามารถเลือกให้ซีฟู้งบันทึกการสบฟันที่มีเวลาทำงานที่ยาวหรือสั้นได้ ขณะที่ทันตแพทย์ที่มีประสบการณ์น้อยอาจต้องการซีฟู้งบันทึกการสบฟันที่มีเวลาทำงานที่ยาว เพื่อเชื่อมต่อกระบวนการบันทึกที่สำเร็จและถูกต้อง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากร

ซีฟู้ดบัตติกการสบพันทางการค้า 3 ผลิตภัณฑ์ และซีฟู้ดบัตติกการสบพันที่เตรียมสูตรขึ้นใหม่ 5 สูตร จำนวน 10 ชิ้นต่อผลิตภัณฑ์หรือต่อสูตร ต่อ 1 การทดสอบ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วย

อุปกรณ์เตรียมชิ้นงาน

1. ตู้ดูดไอระเหยสารเคมี
2. แม่แบบซิลิโคน
3. แม่แบบโลหะไร้สนิม
4. วอเตอร์ บัทธ (Water bath, Teledyne Hanau, U.S.A.)
5. อื่น ๆ ได้แก่ แท่งแก้วคนสาร นาฬิกาจับเวลา ภาชนะโลหะขนาดต่าง ๆ ปีกอร์ เกรียง ตะเกียงแอลกอฮอล์ เทอร์โมมิเตอร์ ฟู่กัน

อุปกรณ์ทดสอบ

1. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter: DSC 204 F, NETZSCH)
2. เครื่องพีเนโตรมิเตอร์ (Penetrometer : THCC575, Thailand)
3. เครื่องวัดความแข็งผิวแบบชอร์ เอ (ASTM Type A Durometer : Model 408)
4. กล้องไมโครสโคป (Traveling microscope : Mitutoyo, Japan)

วัสดุที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

1. ซีฟู้ดบัตติกการสบพันทางการค้า ดังแสดงในภาพที่ 3
2. สารตั้งต้นที่ใช้เตรียมซีฟู้ดบัตติกการสบพัน ดังแสดงในภาพที่ 4 และตารางที่ 6 ได้แก่
 - 2.1 ซีฟู้ดพาราฟิน (Paraffin wax : Nippon Seiro Co.,Ltd., Japan)
 - 2.2 ซีฟู้ดไมโครคริสตัลไลน์ (Microcrystalline wax : Sonneborn, Inc., USA.)

- 2.3 ขี้ผึ้งคาร์นุบา (Carnauba wax : Kahl & Co. Vertriebsges. mbH, Germany)
- 2.4 ขี้ผึ้งบีแวกซ์ (Beeswax : Miki Chemical Industry & Co.,Ltd., Japan)
- 2.5 ยางสนดัดเคราะห์ (Modified rosin : Briture Co., Ltd., China)
- 2.6 ผงอะลูมิเนียม (Aluminium powder : Siam Prodex Co.,Ltd., Thailand)
3. ซิลิโคนหล่อลื่น
4. อะซิโตน



ก.



ข.



ค.

ภาพที่ 3 แสดงขี้ผึ้งบันทึกการสบฟันผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

ก. ขี้ผึ้งอะลูแวกซ์ (ALUWAX)

ข. ขี้ผึ้งอัลมินแนกซ์ (ALMINAX)

ค. ขี้ผึ้งบันทึกการสบฟันที่ผลิตในประเทศไทย (ALUT)



ก.



ข.



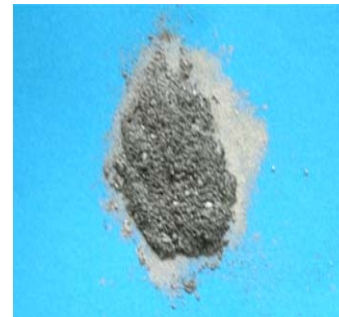
ค.



ง.



ฉ.



ช.

ภาพที่ 4 สารตั้งต้นที่ใช้เตรียมขี้ผึ้งบันทึกการสพพัน

ก. ขี้ผึ้งพาราฟิน (Paraffin wax)

ข. ขี้ผึ้งไมโครคริสตัลไลน์ (Microcrystalline wax)

ค. ขี้ผึ้งคาร์นูบา (Carnauba wax)

ง. ขี้ผึ้งบีแวกซ์ (Beeswax)

ฉ. ยางสนสังเคราะห์ (Modified rosin)

ช. ผงอะลูมิเนียม (Aluminium powder)

ตารางที่ 6 แสดงรายละเอียดของสารตั้งต้นชนิดต่าง ๆ

สารตั้งต้น	Form	Color	Melting range(°C)
พาราฟิน	NA	white	78-88
ไมโคร คริสตัลไลน์	solid	white to yellow	54-102
คาร์บูบา	solid, flakes	yellow - brown	78-88
ปีแวกซ์	NA	yellow	60-67
ยางสน สังเคราะห์	NA	yellow	78-88
ผงอะลูมิเนียม	powder	silver colored	600

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาสูตรซีเมนต์ขึ้นใหม่จากวัตถุดิบที่หาซื้อได้ในประเทศไทย ซึ่งการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ

ตอนที่ 1 เพื่อศึกษาระยะการแทรกผ่านโดยพีเนโตรมิเตอร์ของซีเมนต์ขึ้นใหม่ที่เตรียมขึ้นใหม่เปรียบเทียบกับซีเมนต์ขึ้นใหม่ทางการค้า 3 ผลิตภัณฑ์

ตอนที่ 2 เพื่อศึกษาความแข็งแรงผิวภายหลังก่อตัวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ขึ้นใหม่ที่เตรียมขึ้นใหม่เปรียบเทียบกับซีเมนต์ขึ้นใหม่ทางการค้า 3 ผลิตภัณฑ์

ตอนที่ 3 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นภายหลังการก่อตัวที่เวลาต่าง ๆ ของซีเมนต์ขึ้นใหม่ที่เตรียมขึ้นใหม่เปรียบเทียบกับซีเมนต์ขึ้นใหม่ทางการค้า 3 ผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนการเตรียมซีเมนต์ขึ้นใหม่ทางการสอบพัน

1. ขั้นตอนการศึกษาเพื่อหาสูตรหลักซีเมนต์ขึ้นใหม่ทางการสอบพัน โดยใช้สารตั้งต้นที่ประกอบด้วยซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ ยางสนสังเคราะห์ และผงอะลูมิเนียมในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังภาคผนวกหน้า 89 - 92 โดยพิจารณาสมบัติต่าง ๆ ในเบื้องต้นจนได้สัดส่วนของสารตั้งต้นที่เหมาะสมในสูตรหลักดังตารางที่ 7 ซึ่งให้ชื่อเป็นสูตรที่ 1 (ชื่อย่อ: C00) จากการทดสอบสมบัติ พบว่าซีเมนต์หลักนี้มีระยะการแทรกผ่านโดยพีเนโตรมิเตอร์ ค่าความแข็งแรงที่ใกล้เคียงกับซีเมนต์ขึ้นใหม่ทางการค้า

การค้ำ และเมื่อทดสอบด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter : DSC 204 F, NETZSCH) พบว่ามีอุณหภูมิการหลอมเหลวอยู่ในค่าที่เหมาะสม คือไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส[48] แต่อย่างไรก็ตามยังพบข้อด้อย คือ มีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่มากกว่าซีฟิ่งที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าบางผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการปรับปรุงค่าความแข็งแรง และการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้น โดยพิจารณาการใส่ซีฟิ่งคาร์นูบาที่มีค่าความแข็งแรงสูงดังตารางที่ 8 ซึ่งสามารถเพิ่มความแข็งแรงแก่ซีฟิ่งได้ และยังมีการเปลี่ยนแปลงมิติที่ต่ำกว่าซีฟิ่งชนิดอื่น ๆ เนื่องจากเป็นซีฟิ่งที่ผลิตจากพืชมีแรงดึงดูระหว่างโมเลกุลที่แข็งแรงกว่าซีฟิ่งที่ได้จากแร่ธาตุ [20]

ตารางที่ 7 แสดงร้อยละสารตั้งต้นในซีฟิ่งบันทึกการสปันที่เป็นสูตรหลัก

ชนิดสารตั้งต้น	ปริมาณ (ร้อยละ)
Paraffin	35
Microcrystalline	35
Beeswax	05
Modified rosin	25
Aluminium powder	10

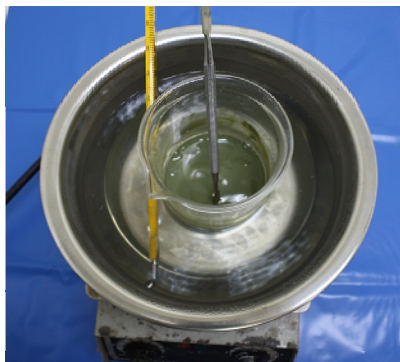
ตารางที่ 8 แสดงชื่อย่อและร้อยละของปริมาณคาร์นูบาในสูตรหลัก

สูตร	ชื่อย่อ	ร้อยละ
1	C00	00
2	C05	05
3	C10	10
4	C15	15
5	C20	20

2. การเตรียมซีฟิ่งบันทึกการสปันแต่ละสูตร

นำสารตั้งต้นของซีฟิ่งบันทึกการสปันทั้ง 5 สูตร หลอมในบีกเกอร์ที่หล่อด้วยน้ำอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียสอยู่โดยรอบ โดยก้นบีกเกอร์อยู่ห่างจากก้นภาชนะโลหะเป็นระยะ 5 เซนติเมตร ซึ่งภาชนะโลหะนี้ถูกวางบนเตาไฟฟ้าที่มีสวิตช์ควบคุมอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพที่ 5 คนเบา ๆ เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ส่วนประกอบทั้งหมดเป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนี้แล้วยังต้องระวัง

ไม่ให้เกิดฟองอากาศและเดือด ที่อาจทำให้เสียสมบัติทางกายภาพ จากนั้นเทขี้ผึ้งที่หลอมเหลวในโมลซิลิโคน ปล่อยให้ค่อย ๆ ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้งาน



ภาพที่ 5 แสดงการหลอมขี้ผึ้งในปิกเกอร์บนเตาไฟฟ้าที่มีสวิตช์ควบคุมอุณหภูมิ

ขั้นตอนการหาอุณหภูมิหลอมเหลวของขี้ผึ้งบันทึกการสพพัน

นำขี้ผึ้งบันทึกการสพพันที่เตรียมขึ้นใหม่ทั้ง 5 สูตร และที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ น้ำหนักขี้ผึ้ง 2.6 มิลลิกรัม \pm ร้อยละ 10 มาเข้าเครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 6 เพื่อหาอุณหภูมิการหลอมเหลว ทดสอบในช่วงอุณหภูมิ 0 ถึง 180 องศาเซลเซียส และโดยมีอัตราการไหลของความร้อนเท่ากับ 10 K/min

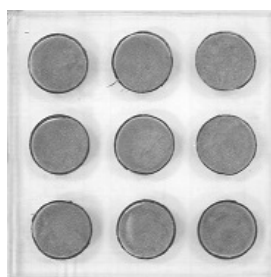


ภาพที่ 6 แสดงเครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์

ขั้นตอนการทดสอบระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีวีไทรมิเตอร์

1. การเตรียมชิ้นงาน

เตรียมชิ้นงาน โดยนำซีฟิ่งบนที่กการสปพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่ทั้ง 5 สูตรและที่เป็นผลิตภัณฑ์การค้า 3 ผลิตภัณฑ์ หลอมในบีกเกอร์ที่หล่อด้วยน้ำอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียสอยู่โดยรอบ เช่นเดียวกับในขั้นตอนการเตรียมซีฟิ่งบนที่กการสปพื้นที่หลอมซีฟิ่งเป็นเวลา 5 นาที แล้วบรรจุลงในหลอดแก้วที่ปรับอุณหภูมิโดยแช่ในน้ำภายในวอเตอร์ บาร์ท ที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิการหลอมเหลวของซีฟิ่งแต่ละชนิดเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นฉีดซีฟิ่งหลอมลงในแบบภาชนะอะคริลิกจนเต็มทั้ง 9 หลุมโดยระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศ ปาดผิวหน้าให้เรียบด้วยพายโลหะโดยเคลื่อนไปในทิศทางเดียว และระวังไม่ให้ระดับของซีฟิ่งอยู่ต่ำกว่าขอบของแบบอะคริลิก ดังแสดงในภาพที่ 7 หลังจากนั้นปิดทับผิวหน้าด้วยแผ่นอะคริลิก กดทับด้วยน้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม 30 วินาที จากนั้นกำจัดครีบบีฟิ่งออกและทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงก่อนทดสอบ



ภาพที่ 7 แสดงแบบอะคริลิกรูปสี่เหลี่ยมที่ภายในมีหลุมทรงกระบอก

เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ลึก 3 มิลลิเมตร

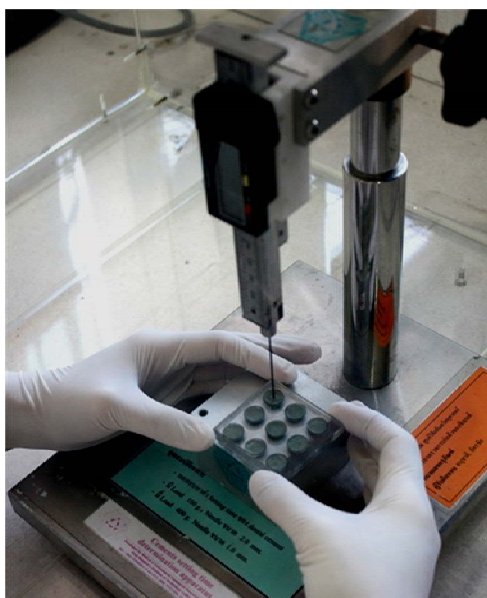
2. การทดสอบระยะเวลาแทรกผ่าน

เครื่องพีวีไทรมิเตอร์ที่ใช้สำหรับการทดสอบค่าการแทรกผ่านถูกติดตั้งให้อยู่ภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ที่ 37 ± 1 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 8 เมื่ออุณหภูมิมีค่าคงที่แล้วรอให้ครบ 10 นาที จึงเริ่มทำการทดสอบ โดยนำซีฟิ่งบนที่กการสปพื้นที่เตรียมไว้ในแบบมาจุ่มในน้ำภายในวอเตอร์ บาร์ท ที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิหลอมเหลวของซีฟิ่งแต่ละชนิด (ข้อมูลจากการทดสอบด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์) เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจึงนำไปทดสอบการแทรกผ่านโดยพีวีไทรมิเตอร์ที่มีลักษณะปลายเป็นทรงกระบอกหน้าตัดตรง เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร น้ำหนัก 100 กรัม[49] ที่เตรียมไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ โดยปล่อยให้เข็มของพีวีไทรมิเตอร์วางอยู่ตำแหน่งตรงกลางของหลุมตัวอย่างและสัมผัสที่ผิวซีฟิ่ง จากนั้นปล่อยให้

ให้แทรกตัวลงไปในกลุ่มตัวอย่างเป็นเวลา 1 นาที (เริ่มจับเวลา ณ จุดที่ปล่อยเข็มพีเนโตรมิเตอร์) บันทึกค่าการแทรกผ่าน จากนั้นเคลื่อนย้ายไปยังหลุมต่อไปเรื่อยๆ ในทุก ๆ 1 นาที จนกระทั่งพบว่าเข็มของพีเนโตรมิเตอร์มีระยะการแทรกผ่านเป็นระยะคงที่จำนวน 3 หลุม (3 นาที) ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 8 แสดงตู้ควบคุมอุณหภูมิที่มีเครื่องพีเนโตรมิเตอร์ติดตั้งอยู่ภายใน

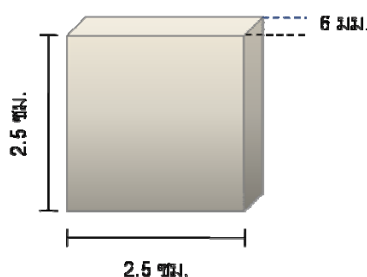


ภาพที่ 9 การทดสอบการแทรกผ่านของพีเนโตรมิเตอร์ที่วางอยู่ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ

ขั้นตอนการทดสอบความแข็งแรง

1. การเตรียมชิ้นงาน

เตรียมชิ้นงาน โดยนำซีเมนต์บดที่การสพพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่ทั้ง 5 สูตรและที่เป็นผลิตภัณฑ์การค้า 3 ผลิตภัณฑ์ หลอมในบีกเกอร์ที่หล่อด้วยน้ำอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียสอยู่โดยรอบ เช่นเดียวกับในขั้นตอนการเตรียมซีเมนต์บดที่การสพพื้นที่การสพพื้นที่ หลอมซีเมนต์เป็นเวลา 5 นาที บรรจุซีเมนต์ที่หลอมแล้วลงในแม่แบบซิลิโคนรูปสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 2.5 เซนติเมตร หนา 6 มิลลิเมตร[7] ดังแสดงในภาพที่ 10 ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง และนำซีเมนต์บดที่การสพพื้นที่ออกจากแม่แบบเพื่อทดสอบความแข็งแรงต่อไป



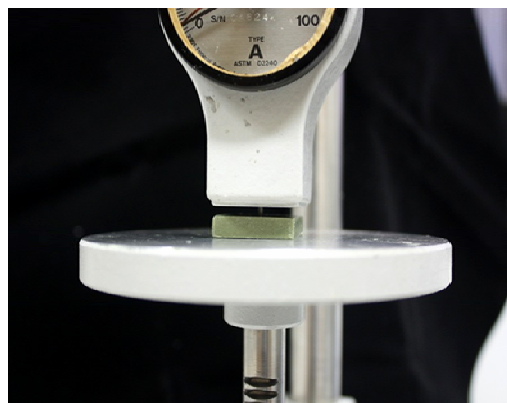
ภาพที่ 10 แสดงชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบค่าความแข็งแรง

2. ทดสอบความแข็งแรง

การทดสอบทำในสภาวะควบคุมอุณหภูมิ 3 สภาวะ ดังนี้ ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส (ดังแสดงในภาพที่ 8) ที่อุณหภูมิห้อง 30 ± 1 และ 25 ± 1 องศาเซลเซียส สำหรับการทดสอบที่ 37 ± 1 องศาเซลเซียส ให้สังเกตจนกระทั่งอุณหภูมิภายในตู้ควบคุมมีค่าตามที่ต้องการ แล้วรอจนครบ 10 นาทีจึงเริ่มทำการทดสอบ ก่อนทดสอบนำชิ้นงาน วางไว้ในอุณหภูมิที่ต้องการทดสอบเป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบตามเวลาให้นำชิ้นงานวางบนแท่นทดสอบ โดยให้ปลายหัวกดสัมผัสพอดีกับผิวหน้าของชิ้นงาน (สังเกตตำแหน่งเข็มมาตรวัดชี้ที่ตำแหน่งศูนย์) ดังแสดงในภาพที่ 11ข. จากนั้นหมุนอุปกรณ์ทดสอบ (ที่อยู่ด้านล่างของแท่นทดสอบ) จนสังเกตได้ถึงการกระดอนของสปริง ซึ่งภายในอุปกรณ์ทดสอบมีสปริงน้ำหนัก 821 กรัมที่จะเกิดการกระดอนกลับเมื่อหัวกดสัมผัสกับผิววัสดุ แล้วจดบันทึกค่าที่แสดงบนมาตรวัดซึ่งมีหน่วยเป็นยูนิตเซอร์ เอ กระทำการทดสอบ 5 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งมีระยะห่าง 6 มิลลิเมตร แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ย และบันทึกเป็นข้อมูลความแข็งแรงของตัวอย่างทดสอบนั้น ๆ



ก.



ข.

ภาพที่ 11 แสดงเครื่องมือในการวัดค่าความแข็งผิว

ก. แสดงเครื่องวัดค่าความแข็งผิวแบบชอร์ เอ

ข. แสดงการวางชิ้นงานบนเครื่องวัดค่าความแข็งผิวแบบชอร์ เอ

ขั้นตอนการทดสอบการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้น

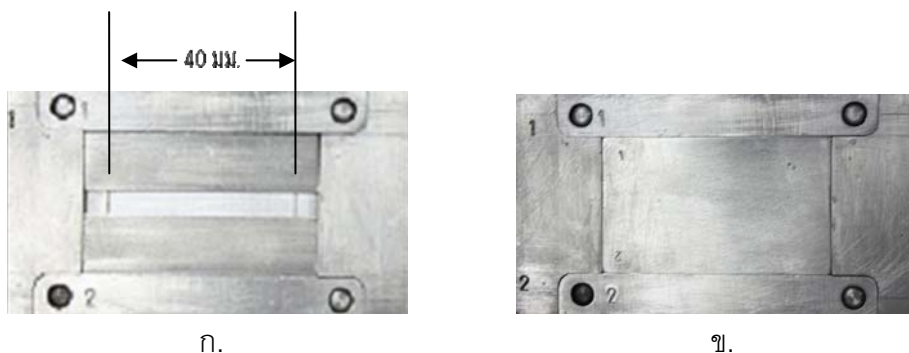
การเตรียมชิ้นงานและการทดสอบการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้น ดัดแปลงจากการศึกษาของ Michalakos et al.[15] โดยมีรายละเอียดดังนี้

- นำหลอดฉีดแก้ววางภายในน้ำที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิการหลอมเหลวของซีพิ้งแต่ละชนิด (ข้อมูลจากการทดสอบด้วยเครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนิงแคลอริมิเตอร์) และนำแม่แบบโลหะวางในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาทีก่อนการทดสอบ
- นำซีพิ้งบันทึกการสพพันที่เตรียมขึ้นใหม่ทั้ง 5 สูตร และที่เป็นผลิตภัณฑ์การค้า 3 ผลิตภัณฑ์ลงในน้ำภายในวอเตอร์ บัทธ ที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิการหลอมเหลวของซีพิ้งแต่ละชนิด เป็นเวลา 5 นาที แล้วบรรจุลงในหลอดฉีดแก้วที่เตรียมไว้ในข้อ 1 และทำการอุ่นอีก 5 นาที
- นำหลอดฉีดแก้วที่บรรจุซีพิ้งบันทึกการสพพันเข้าตู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส และฉีดลงช่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 8 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร และลึก 3 มิลลิเมตร ที่เตรียมไว้ในแม่แบบโลหะไร้สนิม โดยที่พื้นผิวของช่องสี่เหลี่ยมนี้จะมีร่องอ้างอิงรูปตัววีห่างกัน 40 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 12ก.
- ปิดด้วยแผ่นโลหะไร้สนิม (เพื่อเป็นฐานสำหรับการวัดการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของซีพิ้งบันทึกการสพพัน) ดังแสดงในภาพที่ 12ข. และใช้น้ำหนัก 0.5 กิโลกรัมกดทับเป็นเวลา 30 วินาที

5. จับเวลาจนครบตามเวลาก่อตัวของซีเมนต์บ่มที่ทำการสพพื้นแต่ละชนิด โดยบวกเพิ่มอีก 3 นาที เพื่อให้มั่นใจว่าซีเมนต์บ่มที่ทำการสพพื้นมีการก่อตัวสมบูรณ์ เมื่อครบตามเวลากำหนดให้ใช้แท่งแม่เหล็กดูดแผ่นโลหะไร้สนิมที่ใช้เป็นฐานสำหรับซีเมนต์ออกจากแม่แบบ พลิกขึ้นมาจะเห็นซีเมนต์บ่มที่ทำการสพพื้นที่มีส่วนนูนรูปสามเหลี่ยม ปรากฏบนพื้นผิวโดยมีระยะห่างกัน 40 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 13 (หากพบว่ามีฟองอากาศที่ผิวชิ้นงานซีเมนต์บ่มที่ทำการสพพื้นจะไม่นำมาทดสอบ)

6. ทำการวัดระยะระหว่างจุดอ้างอิงทันทีที่ถอดออกจากแบบโลหะ การวัดค่าจะกระทำภายใต้อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส โดยนำชิ้นงานยึดเข้ากับอุปกรณ์คงตำแหน่งบนกลิ้งองไมโครสโคปที่อ่านค่าได้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง และใช้กำลังขยาย 10 เท่า จากนั้นวัดระยะซ้ำเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที 1 24 48 และ 72 ชั่วโมง นำค่าระยะที่ได้เมื่อเวลาผ่านไป มาเข้าสมการเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นดังนี้

$$\text{ร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้น} = \frac{\text{ระยะเริ่มต้น} - \text{ระยะเมื่อเวลาผ่านไป}}{\text{ระยะเริ่มต้น}} \times 100$$



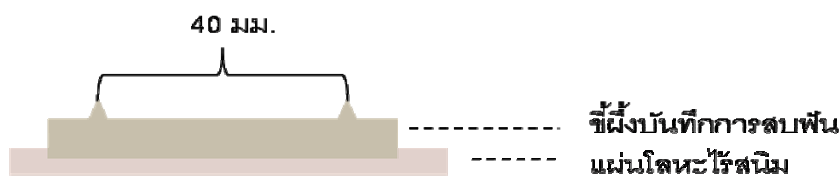
ก.

ข.

ภาพที่ 12 แสดงแม่แบบโลหะไร้สนิม

ก. แสดงแม่แบบโลหะที่มีช่องสำหรับเตรียมชิ้นงานและร่องอ้างอิงที่มีระยะ 40 มิลลิเมตร

ข. แสดงแม่แบบโลหะหลังจากฉีดซีเมนต์บ่มที่ทำการสพพื้นและปิดด้วยแผ่นโลหะไร้สนิม



ภาพที่ 13 แสดงจุดอ้างอิงบนผิวซีเมนต์บ่มที่ทำการสพพื้นที่วางอยู่บนแผ่นโลหะไร้สนิม

แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบโดยวิธีทางสถิติ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

นำข้อมูลที่บันทึกจากการทดลองจัดเรียงในรูปแบบเพื่อการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS Statistics version 17.0 และ SigmaStat version 3.5 สำหรับการวิเคราะห์ระยะแทรกผ่านของพินิโตรมิเตอร์ และโปรแกรม SPSS Statistics version 17.0 สำหรับการทดสอบความแข็งแรง และการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้น

ตอนที่ 1 ศึกษาระยะเวลาการแทรกผ่านโดยพินิโตรมิเตอร์ของซีเมนต์บ่มที่การสปันที่พัฒนาขึ้นใหม่เปรียบเทียบกับซีเมนต์บ่มที่การสปันทางการค้า

1. แสดงข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาด้วย ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วยวิธีโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test)

2. ในกรณีที่การกระจายตัวของข้อมูลเป็นปกติ ทำการเปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มด้วยการใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-Way Analysis of Variance : ANOVA) ทั้งนี้เนื่องจากมีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวแปร คือ ชนิดซีเมนต์และเวลาที่ทดสอบ โดยที่ชนิดของซีเมนต์ต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent) แต่เวลาที่ทำทดสอบนั้นเป็นปัจจัยที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (dependent) โดยถ้าพบว่าทั้งสองตัวแปร มีปัจจัยร่วมกัน (มี interaction) จึงแยกวิเคราะห์โดย

2.1 วิเคราะห์ปัจจัยตามชนิดซีเมนต์ ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระยะเวลาการแทรกผ่านของพินิโตรมิเตอร์ที่เวลาเดียวกัน (ซีเมนต์บ่มที่การสปันต่างชนิดกัน) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance : ANOVA) และแบ่งเป็น

2.1.1 กรณีค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีการกระจายตัวของข้อมูลปกติ และความแปรปรวนของข้อมูลไม่แตกต่างกัน ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกีย์ (Multiple comparisons : Tukey HSD)

2.2 กรณีค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีการกระจายตัวของข้อมูลปกติ แต่ความแปรปรวนของข้อมูลแตกต่างกัน ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Robust Tests of Equality of Means : Brown – Forsythe ถ้าพบว่ามีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ จึงทดสอบหาความแตกต่างด้วยวิธีเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทามเฮน (Multiple comparisons : Tamhane's T2)

2.2 วิเคราะห์ปัจจัยตามเวลาที่ทดสอบ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระยะการแทรกผ่าน โดยพีโนโตรมิเตอร์ของซีผังบันทึกการสปันชนิดเดียวกัน (แต่ที่เวลาต่างกัน) ทำการวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance : ANOVA) และทำการทดสอบความแปรปรวนด้วย One Way Repeated Measures Analysis of Variance ในโปรแกรม SigmaStat version 3.5 และแบ่งเป็น

2.2.1 กรณีค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ และความแปรปรวนของข้อมูลไม่แตกต่างกัน ให้ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย One Way Repeated Measures Analysis of Variance

2.2.2 กรณีค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ แต่ความแปรปรวนของข้อมูลแตกต่างกัน ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยสถิติแบบนอนพาราเมตริกชนิด Friedman Repeated Measures Analysis of Variance on Rank ถ้าพบว่ามีค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน อย่างน้อย 1 คู่ จึงทดสอบหาความแตกต่างด้วยวิธีเปรียบเทียบเชิงซ้อนทุุกี (Multiple Comparisons : Tukey HSD)

3. ในกรณีที่การกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ ให้ใช้สถิติแบบนอนพาราเมตริกชนิด Friedman Repeated Measures Analysis of Variance on Rank

ส่วนที่ 2 ศึกษาความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีผังบันทึกการสปันที่พัฒนาขึ้นใหม่ เปรียบเทียบกับซีผังบันทึกการสปันทางการค้า

1. แสดงข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาด้วย ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วยวิธีโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test)

2. ในกรณีที่การกระจายตัวของข้อมูลเป็นปกติ ทดสอบค่าความแปรปรวนของข้อมูล (Test of Homogeneity of Variances) ทำการเปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มด้วยการใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-Way Analysis of Variance : ANOVA) ทั้งนี้เนื่องจากมีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวแปร คือ ชนิดซีผัง และอุณหภูมิที่ทดสอบ โดยที่ชนิดของซีผังและอุณหภูมิต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent) ถ้าพบว่าทั้งสองตัวแปรมีปัจจัยร่วมกัน (มี interaction) จึงจัดเรียงให้เหลือ 1 ตัวแปรและทำการเปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มด้วยการใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance : ANOVA) ถ้าพบว่า

2.1 กรณีค่าเฉลี่ยการของข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ และความแปรปรวนของข้อมูลไม่แตกต่างกัน ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนทุกคู่ (Multiple Comparisons : Tukey HSD)

2.2 กรณีค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ แต่ความแปรปรวนของข้อมูลแตกต่างกัน ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Robust Tests of Equality of Means : Brown – Forsythe ถ้าพบว่ามีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ จึงทดสอบหาความแตกต่างด้วยวิธีเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทามเฮน (Multiple comparisons: Tamhane's T2)

3. ในกรณีที่การกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ ให้ใช้สถิติแบบนอนพาราเมตริกซ์ชนิดคาสคาลวอลลิสเฮช (Kruskal-Wallis H)

ตอนที่3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่าง ๆ ของซีผังบันทึกการสพพันที่พัฒนาขึ้นใหม่เปรียบเทียบกับซีผังบันทึกการสพพันทางการค้า

1. แสดงข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาด้วย ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วยวิธีโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test)

2. ในกรณีที่การกระจายตัวของข้อมูลเป็นปกติ ทดสอบค่าความแปรปรวนของข้อมูล (Test of Homogeneity of Variances) ทำการเปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มด้วยการใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-Way Analysis of Variance : ANOVA) ทั้งนี้เนื่องจากมีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวแปร คือ ชนิดซีผัง และเวลาที่ทดสอบ โดยที่ชนิดของซีผังและเวลาต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent) เนื่องจากข้อมูลที่ทำการทดสอบในแต่ละเวลาได้ถูกคำนวณการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้น ดังนั้นข้อมูลจึงมีความเป็นอิสระ ถ้าพบว่าทั้งสองตัวแปรมีปัจจัยร่วมกัน (มี interaction) จึงจัดเรียงให้เหลือ 1 ตัวแปรและทำการเปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มด้วยการใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance : ANOVA) ถ้าพบว่า

2.1 กรณีค่าเฉลี่ยการของข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ และความแปรปรวนของข้อมูลไม่แตกต่างกัน ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทุกคู่ (Multiple comparisons: Tukey HSD)

2.2 กรณีค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ แต่ความแปรปรวนของข้อมูลแตกต่างกัน ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Robust Tests of Equality of Means: Brown – Forsythe ถ้าพบว่ามีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ จึงทดสอบหาความแตกต่างด้วยวิธีเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทามเฮน (Multiple comparisons: Tamhane's T2)

3. ในกรณีที่การกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ ให้ใช้สถิติแบบนอนพาราเมตริกซ์ชนิดคาสคาลวอลล์ลิสเอช (Kruskal-Wallis H)

การวิเคราะห์ข้อมูล

ตอนที่1 ศึกษาระยะเวลาแทรกผ่านโดยฟีนีโตรมิเตอร์ของซีผึ้งบันทึกการสบฟันที่พัฒนาขึ้นใหม่เปรียบเทียบกับซีผึ้งบันทึกการสบฟันทางการค้า

ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วย One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test พบว่าข้อมูลทุกกลุ่มมีการกระจายเป็นปกติ ($p > 0.05$) และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-Way Analysis of Variance : ANOVA) ซึ่งพบว่าไม่มีปัจจัยร่วมกันระหว่างตัวแปรที่ 1 และตัวแปรที่ 2 จากนั้นจึงแยกวิเคราะห์ปัจจัยตามชนิดซีผึ้ง และเวลาที่ทดสอบ ดังต่อไปนี้

1) วิเคราะห์ปัจจัยตามชนิดซีผึ้ง ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระยะเวลาแทรกผ่านของฟีนีโตรมิเตอร์ที่เวลาเดียวกัน (ซีผึ้งบันทึกการสบฟันต่างชนิดกัน) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance : ANOVA) โดยเมื่อทดสอบความแปรปรวนด้วย Test of Homogeneity of Variances พบว่ามีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ($p < 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกทำการทดสอบด้วย Robust Tests of Equality of Means : Brown-Forsythe และพบว่ามีการแทรกผ่านของฟีนีโตรมิเตอร์ที่แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ จึงทดสอบหาคู่ที่แตกต่างกันด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนทามเฮน (Multiple Comparisons : Tamhane's T2)

2) วิเคราะห์ปัจจัยตามเวลาที่ทดสอบ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระยะเวลาแทรกผ่านโดยฟีนีโตรมิเตอร์ของซีผึ้งบันทึกการสบฟันชนิดเดียวกัน (แต่ที่เวลาต่างกัน) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance : ANOVA) โดยเมื่อทดสอบความแปรปรวนด้วย One Way Repeated Measures Analysis of Variance พบว่ามีความแปรปรวนที่ไม่เท่ากัน จึงต้องทำการทดสอบด้วย Friedman Repeated Measures Analysis of Variance on Rank พบว่ามีการแทรกผ่านของฟีนีโตรมิเตอร์ที่แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ จึงทดสอบหาคู่ที่แตกต่างกันด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนทูกีย์ (Multiple Comparisons : Tukey HSD)

ตอนที่2 ศึกษาความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีผึ้งบันทึกการสบฟันที่พัฒนาขึ้นใหม่เปรียบเทียบกับซีผึ้งบันทึกการสบฟันทางการค้า

ทำการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วย One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test พบว่าทุกกลุ่มมีการกระจายของข้อมูลเป็นปกติ ($p > 0.05$) และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

แบบสองทาง (Two-Way Analysis of Variance : ANOVA) ซึ่งพบว่าไม่มีปัจจัยร่วมกันระหว่างตัวแปรที่ 1 และตัวแปรที่ 2 จึงจัดเรียงให้เหลือเพียง 1 ตัวแปรและทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way Analysis of Variance : ANOVA) และเมื่อทดสอบ Test of Homogeneity of Variances พบว่ามีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ($p < 0.05$) จึงทำการทดสอบด้วย Robust Tests of Equality of Means : Brown - Forsythe พบว่ามีค่าความเข้มงวดที่แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ และทดสอบหาคู่ที่แตกต่างกันด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนตามเสน (Multiple Comparisons : Tamhane's T2)

ตอนที่3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่าง ๆ ของซี่ฝังบันทึกการสบฟันที่พัฒนาขึ้นใหม่เปรียบเทียบกับซี่ฝังบันทึกการสบฟันทางการค้า

ทำการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วย One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test พบว่าทุกกลุ่มมีการกระจายของข้อมูลเป็นปกติ ($p > 0.05$) และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-Way Analysis of Variance : ANOVA) ซึ่งพบว่าไม่มีปัจจัยร่วมกันระหว่างตัวแปรที่ 1 และตัวแปรที่ 2 จึงจัดเรียงให้เหลือเพียง 1 ตัวแปรและทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way Analysis of Variance : ANOVA) และเมื่อทดสอบ Test of Homogeneity of Variances พบว่ามีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ($p < 0.05$) จึงทำการทดสอบด้วย Robust Tests of Equality of Means : Brown - Forsythe พบว่ามีค่าการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ และทดสอบหาคู่ที่แตกต่างกันด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนตามเสน (Multiple Comparisons : Tamhane's T2)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

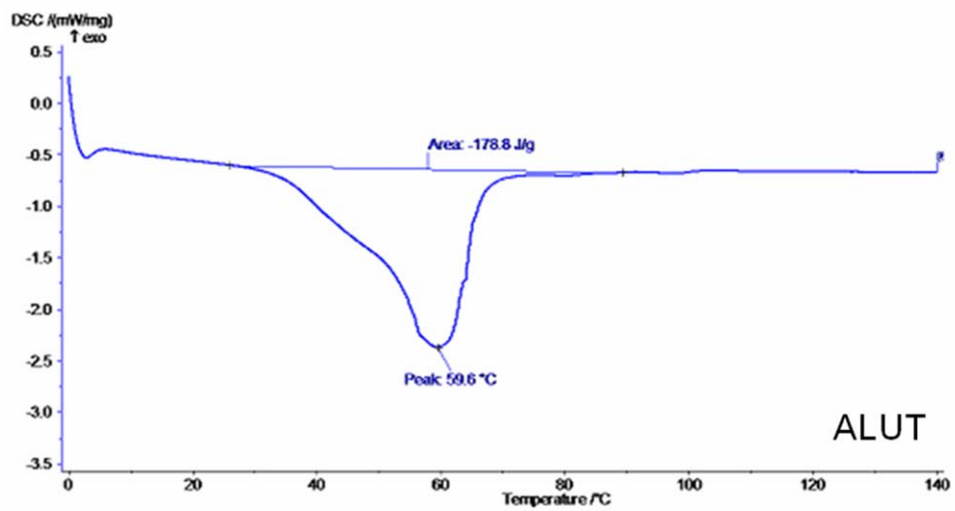
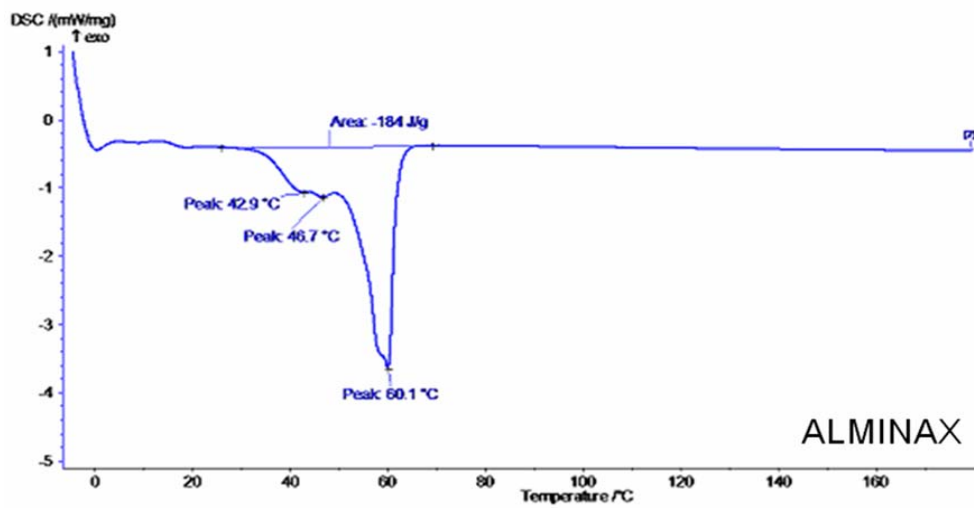
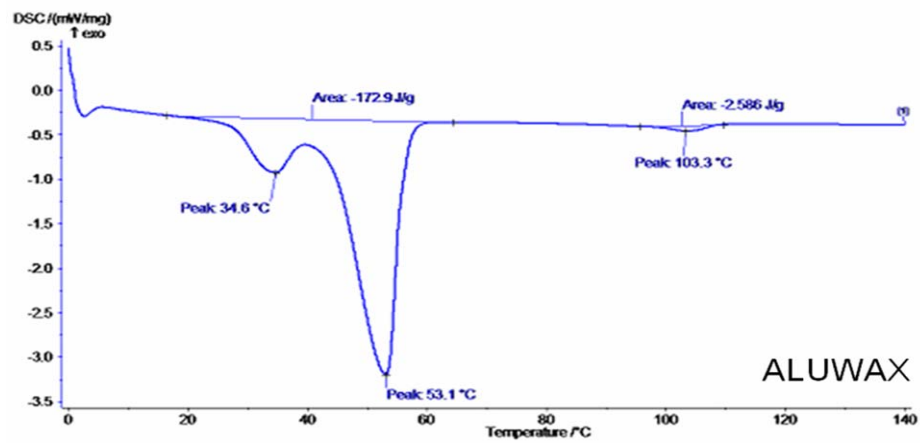
ผลการศึกษาคุณสมบัติการหลอมเหลว

ผลการทดสอบคุณสมบัติการหลอมเหลวของซีเมนต์ที่ทำการสับฟันแต่ละชนิดด้วยเครื่องดีพีเฟอเรนเชียลสแกนิงแคลอริมิเตอร์ แสดงในตารางที่ 9 โดยพบว่าคุณสมบัติการหลอมเหลวของซีเมนต์ที่ทำการสับฟันทางการค้า มีค่าอยู่ในช่วง 53.1 - 60.1 องศาเซลเซียส และซีเมนต์ที่ทำการสับฟันที่เตรียมสูตรขึ้นใหม่ มีค่าอยู่ในช่วง 57.0 - 58.3 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าคุณสมบัติการหลอมเหลวที่ทดสอบได้ จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการเตรียมขึ้นตัวอย่างและกระบวนการทดสอบ ในการทดสอบตอนที่ 1 และตอนที่ 3 ต่อไป

ตารางที่ 9 แสดงคุณสมบัติการหลอมเหลวของซีเมนต์ที่ทำการสับฟัน

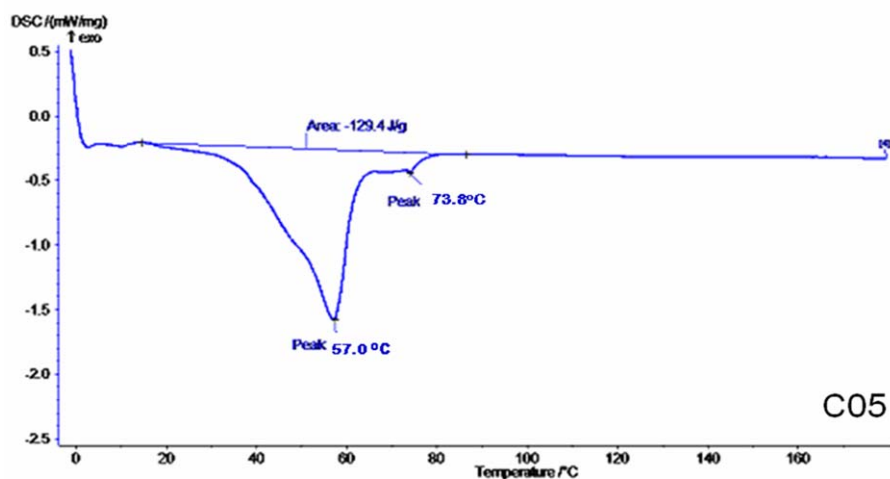
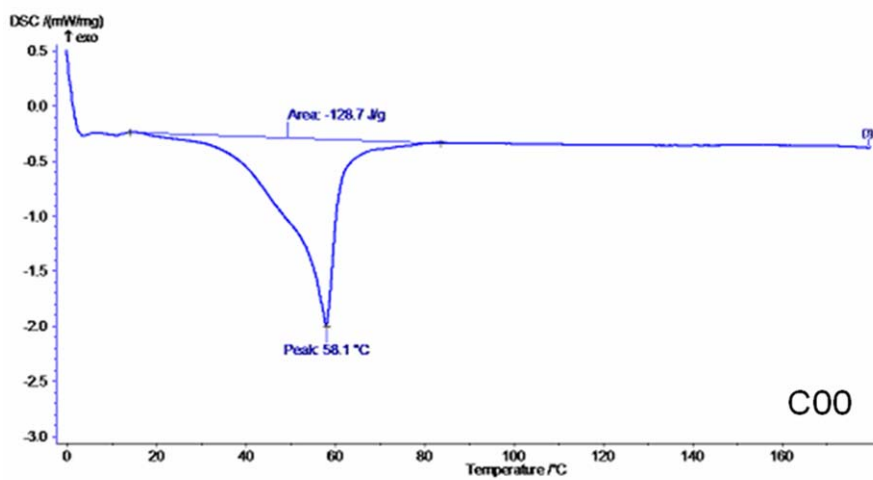
ชื่อผลิตภัณฑ์/สูตร	คุณสมบัติการหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
ALUWAX	53.1
ALMINAX	60.1
ALUT	59.6
C00	58.1
C05	57.0
C10	57.4
C15	58.1
C20	58.3

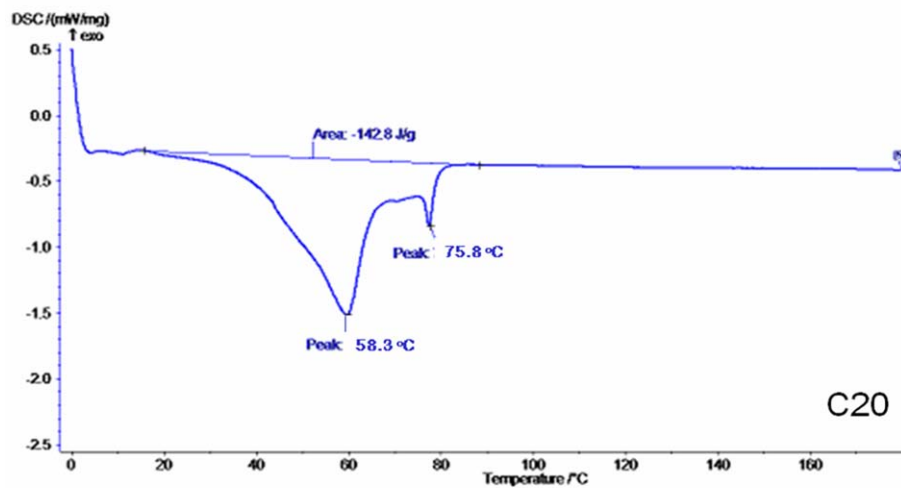
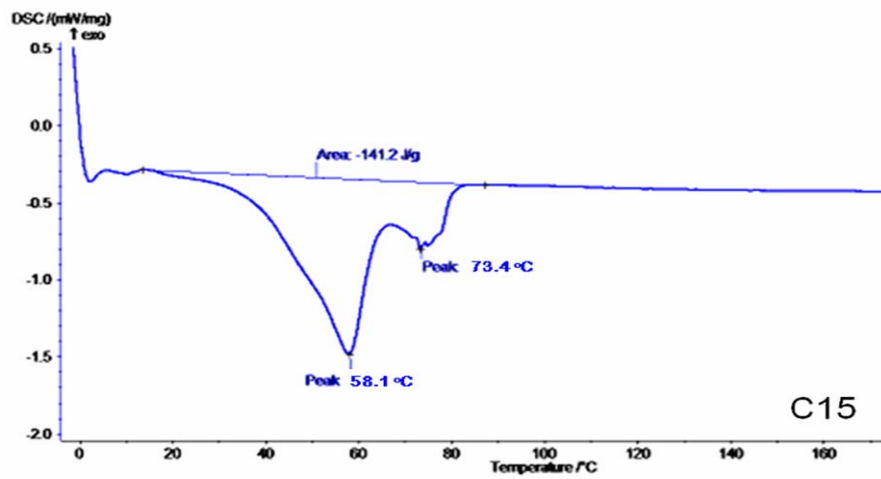
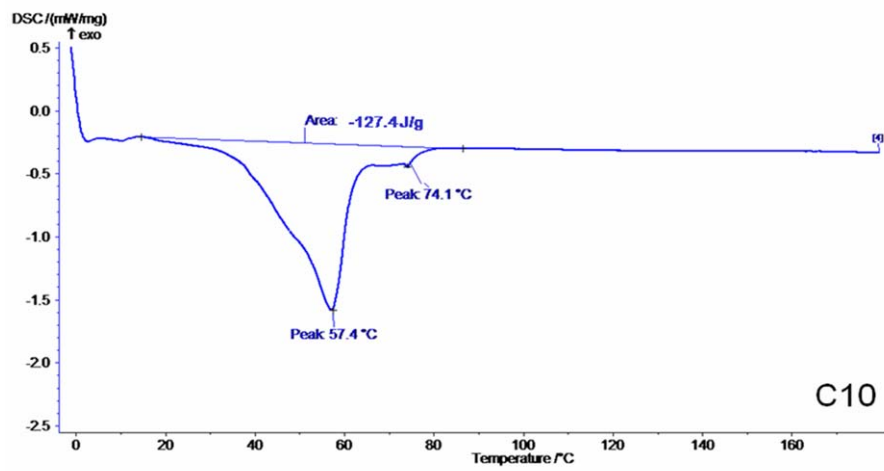
และภาพที่ 14 และ 15 แสดงลักษณะคุณสมบัติการหลอมเหลวของซีเมนต์ที่ทำการสับฟันทางการค้า และซีเมนต์ที่ทำการสับฟันที่เตรียมสูตรขึ้นใหม่



ภาพที่ 14 แสดงลักษณะอุณหภูมิการหลอมเหลวของซีเมนต์ที่ทำการสพพื้นที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า

จากภาพผลการทดสอบคุณสมบัติการหลอมเหลว จะเห็นว่าซีฟู้งับนที่การสับฟันทางการค้าแต่ละผลิตภัณฑ์ มีพีคหลักและรองอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ซึ่งบ่งบอกถึงความแตกต่างในองค์ประกอบที่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนโดยรวมของผลิตภัณฑ์ โดยพีคหลักจะหมายถึงคุณสมบัติการหลอมเหลวของซีฟู้งที่เป็นองค์ประกอบหลักในซีฟู้งชนิดนั้น ๆ และ พีครองจะหมายถึงอุณหภูมิที่เกิดการหลอมเหลวของซีฟู้งบางชนิดที่ไม่ใช่องค์ประกอบหลัก แต่ใส่เพื่อปรับสมบัติบางประการให้กับซีฟู้งแต่ละชนิด





ภาพที่ 15 แสดงลักษณะอุณหภูมิการหลอมเหลวของซีเมนต์ที่ทำการสพพื้นที่เตรียมสูตรขึ้นใหม่

จากภาพที่ 15 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการหลอมเหลวจะเห็นว่าซีเมนต์บดที่การสับ
 พันที่เตรียมสูตรขึ้นใหม่ มีพีคหลักอยู่ในช่วง 57.0 – 58.3 องศาเซลเซียส และมีพีครองที่แสดงถึง
 ปริมาณคาร์บอนาที่เพิ่มในสูตรซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 73.4 – 75.8 องศาเซลเซียส และเมื่อเปรียบเทียบ
 พีคหลักของซีเมนต์บดที่การสับพันที่เตรียมขึ้นใหม่ พบว่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับ พีคหลักของ ALUT
 และ ALMINAX ที่มีค่าเท่ากับ 59.6 และ 60.1 องศาเซลเซียส

ตอนที่ 1 ศึกษากระบวนการแทรกผ่านของซีเมนต์บดที่การสับพันที่พัฒนาขึ้นใหม่เปรียบเทียบกับซีเมนต์บดที่การสับพันทางการค้า

ผลการวิเคราะห์

การศึกษาระยะการแทรกผ่านของซีเมนต์บดที่การสับพันเป็นการศึกษาที่สังเกตพฤติกรรม
 ของซีเมนต์บดที่การสับพันขณะใช้งานภายในสภาวะอุณหภูมิช่องปาก โดยพิจารณาความสามารถ
 ในการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ในซีเมนต์บดที่การสับพันแต่ละชนิด ที่ถูกเตรียมให้พร้อมสำหรับ
 การบดที่การสับพันในน้ำที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิการหลอมเหลวของซีเมนต์แต่ละชนิดที่ได้จาก
 การศึกษาก่อนหน้า เมื่อนำซีเมนต์บดที่การสับพันเข้าสู่อุณหภูมิสภาวะจำลองช่องปาก จะเกิดแรง
 ต้านภายในซีเมนต์ซึ่งส่งผลให้มีระยะการแทรกผ่านที่แตกต่างกันและมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ดัง
 แสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยระยะการแทรกผ่าน (มิลลิเมตร)
โดยพี้นิโตรมิเตอร์ของผู้ฝังบันทึกการสพพื้นที่เวลาต่าง ๆ

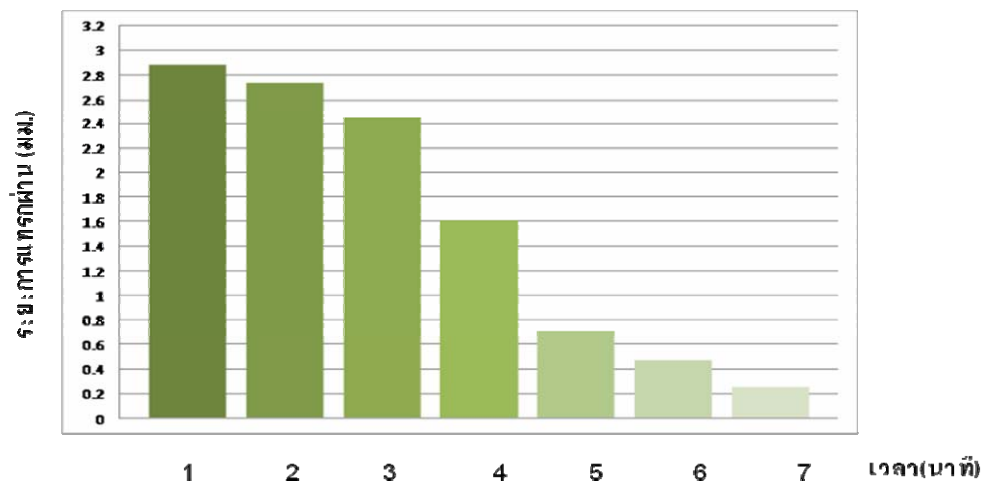
ชื่อผลิตภัณฑ์/ รหัส/	เวลา (นาที)						
	1	2	3	4	5	6	7
	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)
ALU WAX	2.885 ^{aα} (0.026)	2.745 ^{abα□} (0.031)	2.450 ^{α□∅} (0.114)	1.611 ^{□∅¥} (0.131)	0.706 ^{∅¥£} (0.089)	0.463 ^{¥£} (0.105)	0.251 [£] (0.108)
ALMI NAX	2.607 ^α (0.055)	1.544 ^{cα□} (0.125)	0.607 ^{aα□} (0.142)	0.251 ^{b□∅} (0.038)	0.067 ^{a∅} (0.008)	0.067 ^{a∅} (0.008)	0.067 ^{a∅} (0.008)
ALUT	2.879 ^{abα} (0.044)	2.722 ^{abα□} (0.063)	0.657 ^{aα□∅} (0.108)	0.217 ^{bc□∅} ¥ (0.117)	0.091 ^{∅¥} (0.007)	0.089 [¥] (0.009)	0.093 [¥] (0.011)
C00	2.917 ^{aα} (0.022)	2.800 ^{aα□} (0.029)	1.617 ^{α□∅} (0.053)	0.809 ^{□∅¥} (0.031)	0.299 ^{∅¥} (0.030)	0.057 ^{ab¥} (0.009)	0.057 ^{ab¥} (0.009)
C05	2.908 ^{aα} (0.042)	2.677 ^{bα□} (0.050)	0.619 ^{aα□∅} (0.151)	0.133 ^{c□∅¥} (0.011)	0.059 ^{a∅¥} (0.007)	0.06 ^{a¥} (0.007)	0.059 ^{a¥} (0.007)
C10	2.820 ^{bα} (0.032)	1.590 ^{cα} (0.085)	0.148 ^{α□} (0.030)	0.042 ^{a□} (0.008)	0.043 ^{b□} (0.007)	0.042 ^{c□} (0.008)	0.042 ^{c□} (0.008)
C15	1.863 ^α (0.061)	0.993 ^{dα} (0.046)	0.244 ^{bα□} (0.028)	0.044 ^{a□} (0.007)	0.045 ^{b□} (0.005)	0.044 ^{bc□} (0.007)	0.044 ^{bc} □ (0.007)
C20	1.563 ^α (0.049)	0.994 ^{dα} (0.048)	0.218 ^{bα□} (0.025)	0.036 ^{a□} (0.008)	0.036 ^{b□} (0.008)	0.036 ^{c□} (0.008)	0.036 ^{c□} (0.008)

หมายเหตุ 1. ตัวอักษร a, b, c, d ที่เหมือนกันจะให้ความหมาย คือ มีความแตกต่างกันอย่างไรไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบในแนวตั้งพิจารณาที่นาทีเดียวกัน แต่ผู้ฝังบันทึกการสพพื้นที่ต่างชนิดกัน

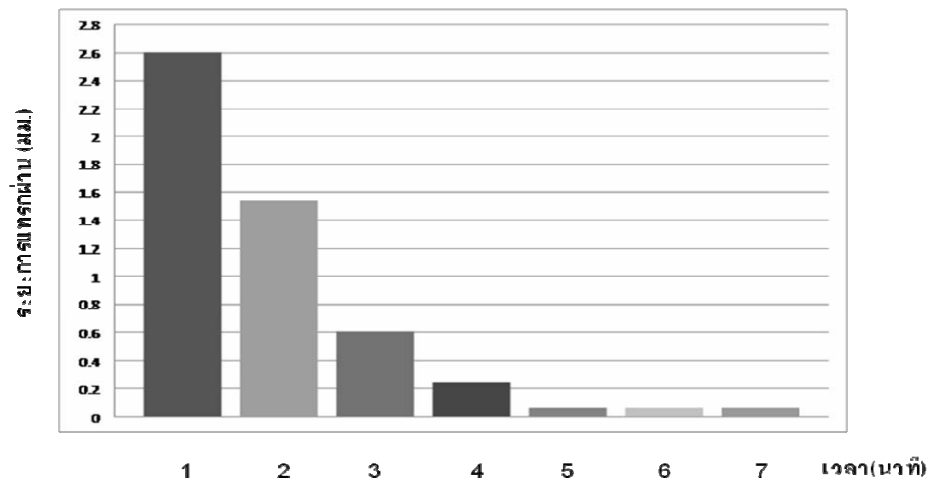
2. สัญลักษณ์ α , \square , \varnothing , \forall , ε ที่เหมือนกันจะให้ความหมาย คือ มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบในแนวนอนพิจารณาซ้ำๆ ซ้ำๆ ในหน่วยเดียวกัน แต่เวลาต่างกัน

เมื่อนำค่าเฉลี่ยระยะการแทรกผ่านโดยพีเนโตรมิเตอร์ของซีเมนต์ที่ทำการสอบในแต่ละชนิดมาแสดงในรูปแบบแผนภูมิแท่ง จะได้ผลของซีเมนต์ที่ทำการสอบผลิตภัณฑ์ทางการค้าดังในภาพที่ 16 - 18 จะเห็นได้ว่า ALUWAX มีระยะการแทรกผ่านโดยพีเนโตรมิเตอร์ที่สูงในช่วง 3 นาทีแรกๆ ที่ทำการทดสอบและเริ่มลดต่ำลงในนาทีที่ 4 จนมีระยะการแทรกผ่านที่ต่ำมากในช่วงนาทีที่ 5 - 7 ซึ่งจะมีความแตกต่างจาก ALMINAX และ ALUT โดยพบว่า ALMINAX มีระยะการแทรกผ่านที่สูงในนาทีแรก และเริ่มลดต่ำลงในนาทีที่ 2 แต่ขณะที่ ALUT มีระยะการแทรกผ่านที่สูงใน 2 นาทีแรก และลดต่ำลงในนาทีที่ 3

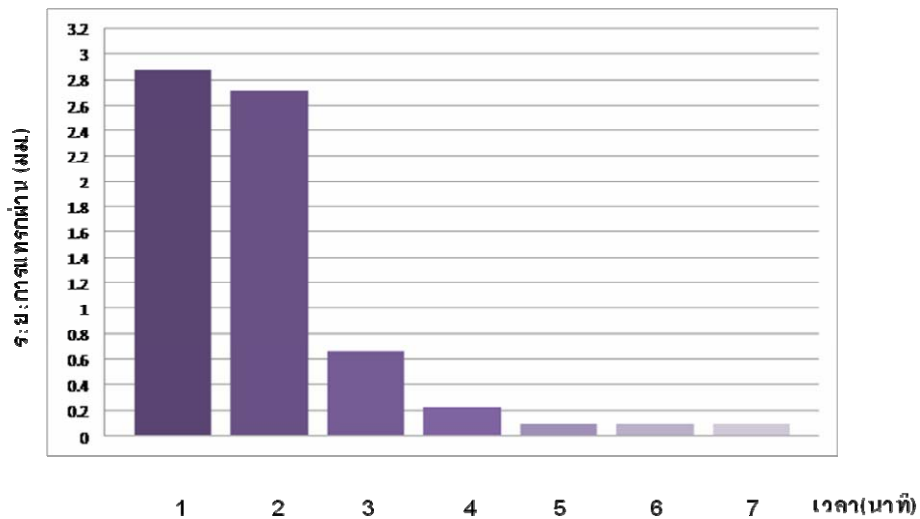
เมื่อพิจารณาแต่ละนาทีที่ทำการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่าในนาทีที่ 1 - 2 ALUWAX และ ALUT มีระยะการแทรกผ่านที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญโดยมีระยะการแทรกผ่านที่สูงกว่า ALMINAX เมื่อเวลาผ่านไปในนาทีที่ 3 - 4 ALUWAX ยังคงมีค่าการแทรกผ่านที่สูง ในขณะที่ ALMINAX และ ALUT มีค่าการแทรกผ่านที่ต่ำมากส่งผลให้ ALMINAX และ ALUT มีระยะการแทรกผ่านที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ



ภาพที่ 16 แสดงระยะการแทรกผ่านโดยพีเนโตรมิเตอร์ของ ALUWAX

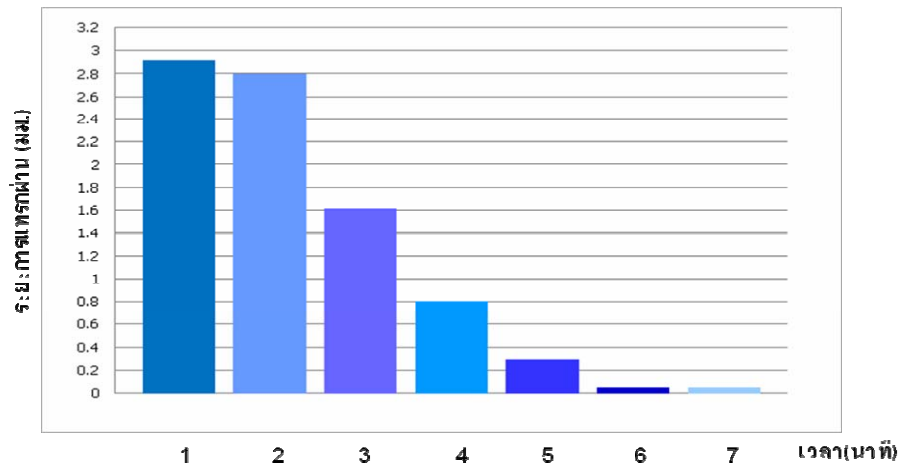


ภาพที่ 17 แสดงระยะการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ของ ALMINAX

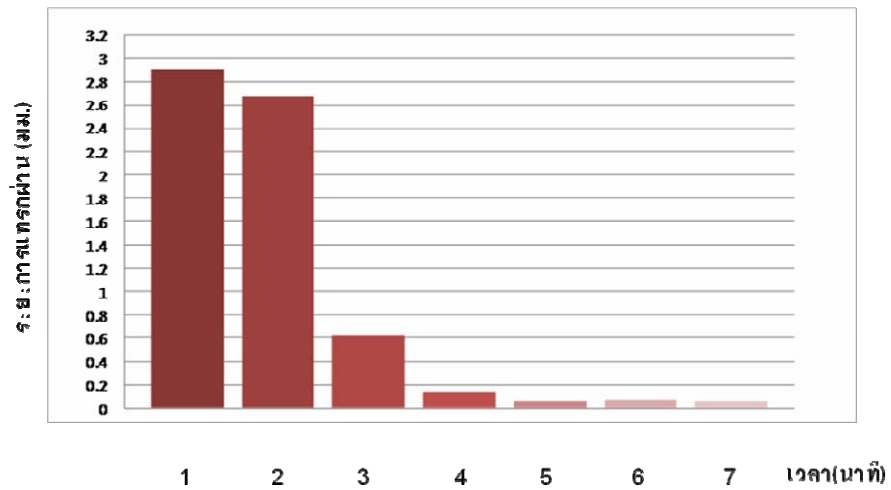


ภาพที่ 18 แสดงระยะการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ของ ALUT

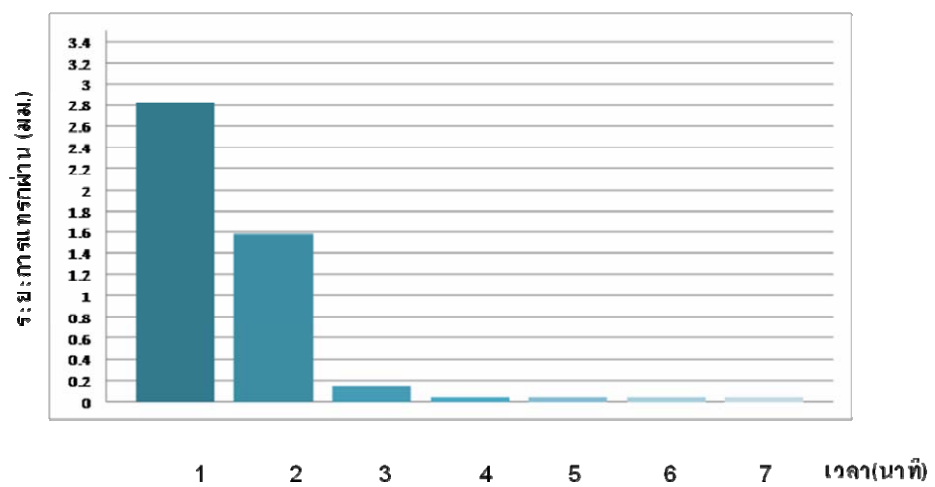
เมื่อนำผลค่าเฉลี่ยการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ของซีฟี่งบ้นที่กการสปพื้นที่เตรียมสูตร
 ขึ้นใหม่มาแสดงในรูปแบบแผนภูมิแท่ง ดังแสดงในภาพที่ 19 - 23 พบว่าสูตรหลักและสูตร C05 จะ
 มีระยะการแทรกผ่านที่สูงมากในช่วง 2 นาที่แรก และค่อย ๆ ลดลงในนาที่ที่ 3 ในขณะที่สูตร C10
 จะมีผลระยะการแทรกผ่านที่สูงในนาที่แรก และลดลงอย่างมากในนาที่ที่ 2 นอกจากนี้ทั้งสูตร C15
 และ C20 มีผลการทดสอบในทางเดียวกัน คือ มีระยะการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ที่มีค่าต่ำ
 ตั้งแต่แรก



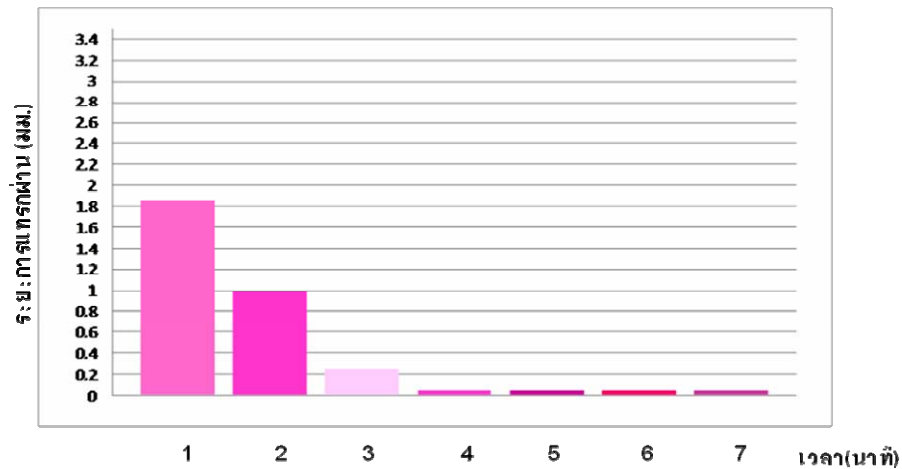
ภาพที่ 19 แสดงระยะการแทรกผ่านโดยฟิไนโตรมิเตอร์ของสูตรที่ C00



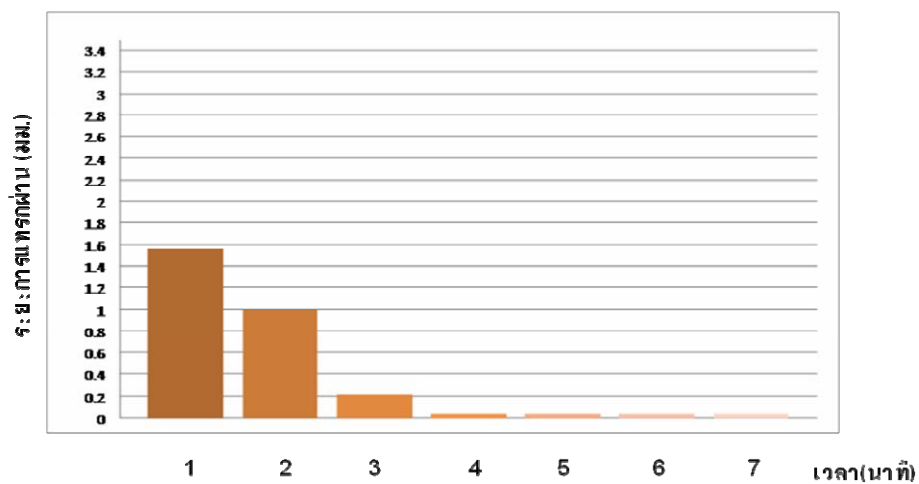
ภาพที่ 20 แสดงระยะการแทรกผ่านโดยฟิไนโตรมิเตอร์ของสูตรที่ C05



ภาพที่ 21 แสดงระยะการแทรกผ่านโดยฟิไนโตรมิเตอร์ของสูตรที่ C10



ภาพที่ 22 แสดงระยะการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ของสูตรที่ C15



ภาพที่ 23 แสดงระยะการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ของสูตรที่ C20

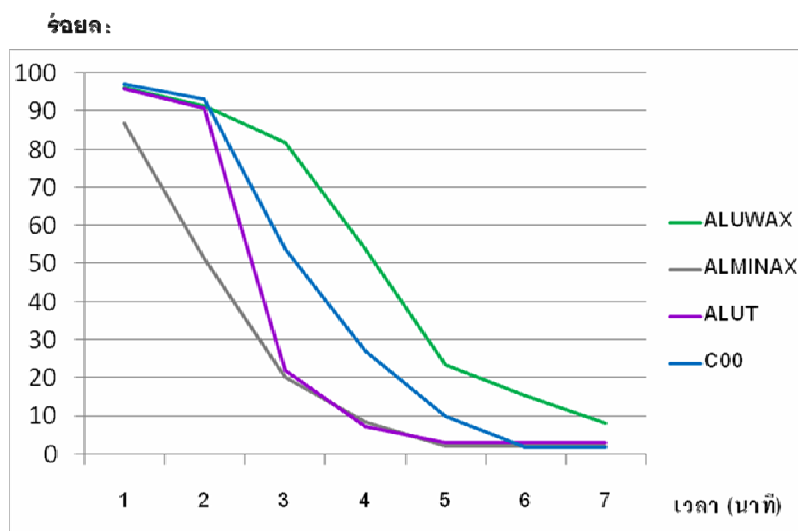
เมื่อนำค่าเฉลี่ยการแทรกผ่านของพีนิโตรมิเตอร์มาคำนวณเป็นร้อยละจากความหนาของชั้นตัวอย่างทดสอบ พบว่ามีข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 11 ซึ่งจะเห็นได้ว่าซีเมนต์ที่การสับฟันผลิตภัณฑ์ทางการค้าทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ในนาที่แรกนั้นจะมีแรงต้านต่อการแทรกผ่านของพีนิโตรมิเตอร์ที่ต่ำ จึงทำให้มีค่าการแทรกผ่านที่สูงอยู่ในช่วงร้อยละ 86.9 - 96.2 ขณะที่ซีเมนต์ที่การสับฟันที่เตรียมสูตรขึ้นใหม่ มีเพียง 3 สูตร (C00 C05 และ C10) ที่มีค่าการแทรกผ่านในนาที่แรกที่สูงอยู่ในช่วงร้อยละ 94.0 - 97.2 ขณะที่อีก 2 สูตร (C15 และ C20) ที่มีค่าการแทรกผ่านในนาที่แรกที่ต่ำกว่าโดยอยู่ในช่วงร้อยละ 52.1 - 62.1 จึงกล่าวได้ว่า C15 และ C20 มีสมบัติการแทรกผ่านที่ไม่สอดคล้องกับซีเมนต์ที่การสับฟันทางการค้า

ตารางที่ 11 แสดงร้อยละการแทรกผ่านโดยพีวีไทรมิเตอร์

ชื่อผลิตภัณฑ์/ สูตร	เวลา(นาที)						
	1	2	3	4	5	6	7
ALUWAX	96.2	91.5	81.7	53.7	23.5	15.4	8.26
ALMINAX	86.9	51.5	20.2	8.4	2.2	2.2	2.2
ALUT	96.0	90.7	21.9	7.2	3.0	3.0	3.1
C00	97.2	93.3	53.9	27.0	10.0	1.9	1.9
C05	96.9	89.2	20.6	4.43	2.0	2.0	2.0
C10	94.0	53.0	4.9	1.4	1.4	1.4	1.4
C15	62.1	33.1	8.1	1.5	1.5	1.5	1.5
C20	52.1	33.1	7.3	1.2	1.2	1.2	1.2

ผลการเปรียบเทียบ

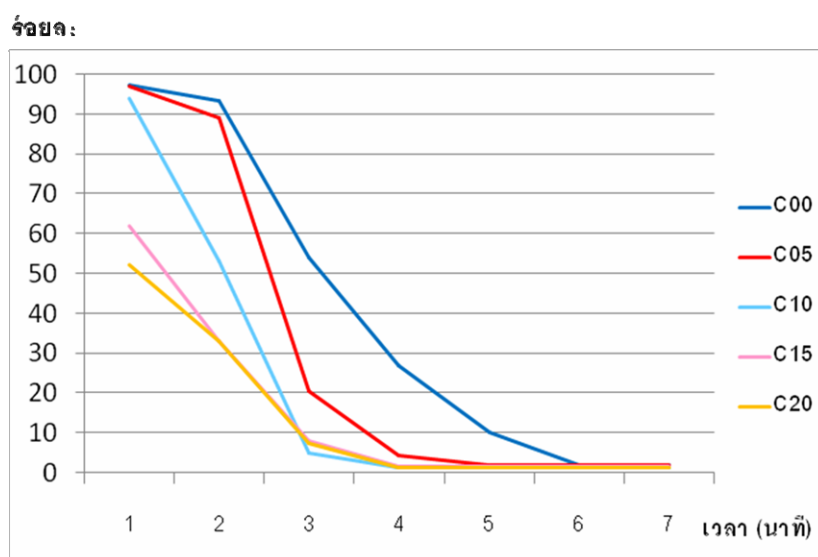
เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการแทรกผ่านโดยพีวีไทรมิเตอร์ที่คำนวณเป็นร้อยละจากความหนาของชั้นตัวอย่างทดสอบของซีเมนต์ที่ทำการสปันทางการค้าและสูตรหลัก จะได้ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 กราฟแสดงร้อยละของค่าเฉลี่ยการแทรกผ่านโดยพีวีไทรมิเตอร์เมื่อคำนวณจากความหนาของชั้นตัวอย่างทดสอบของซีเมนต์ที่ทำการสปันทางการค้าและสูตรหลัก

จากภาพที่ 24 และตารางที่ 11 พบว่าซีฟู้บั้งที่ทำการสพพื้นสูตรหลักมีลักษณะการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ที่ค่อนข้างสูงในช่วง 2 นาทีแรก โดยมีค่ามากกว่าร้อยละ 93.3 ของความหนาของชั้นตัวอย่างทดสอบ ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับ ALUWAX และ ALUT แต่เมื่อเวลาผ่านไปถึงนาทีที่ 3 กลับพบว่าสูตรหลัก มีลักษณะการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ที่ลดลงจนเหลือระยะการแทรกผ่านร้อยละเพียง 53.9 ซึ่งลักษณะกราฟในช่วงนาทีที่ 3 – 7 จะมีความชันของกราฟใกล้เคียงกับ ALMINAX

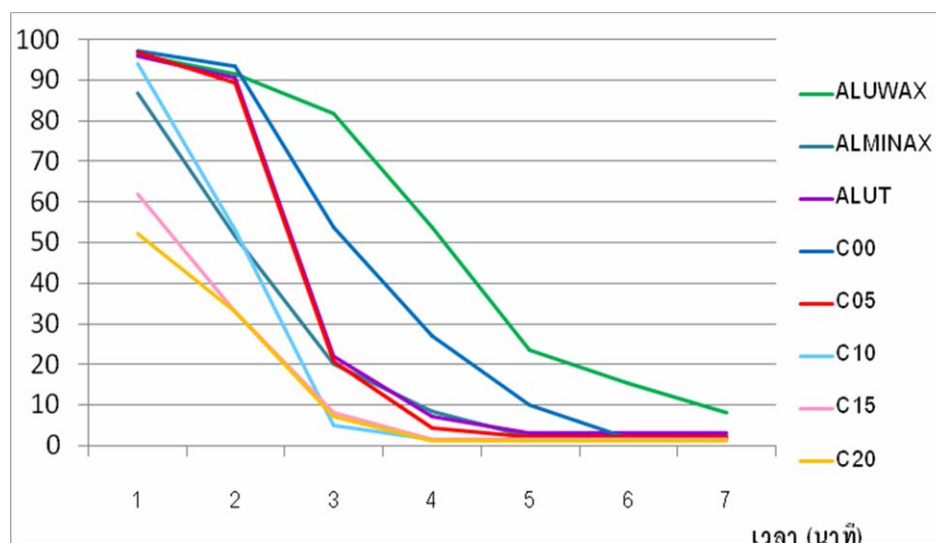
เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ที่คำนวณเป็นร้อยละจากความหนาของชั้นตัวอย่างทดสอบของซีฟู้บั้งที่ทำการสพพื้นสูตรหลักและสูตรอื่น ๆ ที่มีความแตกต่างในปริมาณของคาร์นูบาจะได้นำมาแสดงในภาพที่ 25 ซึ่งพบว่าคาร์นูบาในซีฟู้บั้งสูตรหลักจะส่งผลให้มีระยะการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์มีแนวโน้มที่ลดลง



ภาพที่ 25 กราฟแสดงร้อยละของค่าเฉลี่ยการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์เมื่อคำนวณจากความหนาของชั้นตัวอย่างทดสอบของซีฟู้บั้งที่ทำการสพพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่ทุกสูตร

ผลการวิเคราะห์ปัจจัย

ร้อยละ



ภาพที่ 26 กราฟแสดงร้อยละของค่าเฉลี่ยการแทรกผ่านโดยพีเน็โตรมิเตอร์เมื่อคำนวณจากความหนาของชั้นตัวอย่างทดสอบของชี้ผึ้งบันทึกการสพพื้นที่การค้ำและที่เตรียมขึ้นใหม่ทุกสูตร

จากภาพที่ 26 พบว่าปริมาณคาร์บอนาที่แตกต่างในชี้ผึ้งบันทึกการสพพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่แต่ละสูตร ส่งผลเกิดระยะการแทรกผ่านโดยพีเน็โตรมิเตอร์ที่แตกต่างกันออกไป โดยสูตร C00 ซึ่งเป็นสูตรหลักที่ไม่มีคาร์บอนาเป็นส่วนประกอบ จะมีการแทรกผ่านโดยพีเน็โตรมิเตอร์มากที่สุด เมื่อเทียบกับสูตรอื่น ๆ โดยการเพิ่มปริมาณคาร์บอนาร้อยละ 5 ในสูตร C05 จะทำให้ระยะการแทรกผ่านของพีเน็โตรมิเตอร์มีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับสูตรหลัก และมีลักษณะกราฟที่คล้ายคลึงกับ ALUT การเพิ่มปริมาณคาร์บอนาร้อยละ 10 ในสูตร C10 จะมีผลทำให้ระยะการแทรกผ่านโดยพีเน็โตรมิเตอร์มีค่าลดลงมากกว่าสูตร C05 และมีลักษณะกราฟที่มีความชันที่มากขึ้นในช่วงนาที่ที่ 2 - 3 ในขณะที่การเพิ่มปริมาณคาร์บอนาร้อยละ 15 และ 20 นั้นจะทำให้ระยะการแทรกผ่านโดยพีเน็โตรมิเตอร์ในช่วงนาที่แรกมีค่าที่ต่ำ เนื่องจากบางส่วนภายในชี้ผึ้งเริ่มมีแรงต้านเกิดขึ้นตั้งแต่นาทีแรก

สูตรชี้ผึ้งบันทึกการสพพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่ทั้ง 5 สูตร มีแนวโน้มการลดลงของระยะการแทรกผ่านที่แตกต่างกัน ซึ่งสูตรหลัก C05 และ C10 น่าจะเป็นสูตรที่มีความเหมาะสม เนื่องจากสูตรหลักและ C05 มีแรงต้านที่ต่ำในช่วงต้นคือ ประมาณ 2 นาทีแรก แต่ในนาที่ที่ 3 สูตร C05 จะมีการลดลงของระยะการแทรกผ่านที่มากกว่าสูตรหลัก ซึ่งทำให้เกิดกราฟที่มีความชันที่มากกว่าสูตรหลัก ในขณะที่สูตร C10 มีแรงต้านที่ต่ำในช่วงต้นคือใน 1 นาทีแรก ซึ่งหลังจากนั้นจะเกิดการลดลงของระยะการแทรกผ่านโดยพีเน็โตรมิเตอร์ค่อนข้างมาก ทำให้ได้ลักษณะกราฟที่มีความชันสูงในช่วงเวลาถัดมา

ตอนที่ 2 ศึกษาความแข็งแรงผิวที่อุณหภูมิต่างๆ ของซีเมนต์บ่มที่การสปันที่พัฒนาขึ้นใหม่ เปรียบเทียบกับซีเมนต์บ่มที่การสปันทางการค้า

ผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงผิวที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นดังตารางที่ 12 โดยพบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงผิวของซีเมนต์บ่มที่การสปันทุกชนิดมีแนวโน้มที่ลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ตารางที่ 12 แสดงผลค่าเฉลี่ยความแข็งแรงผิวของซีเมนต์บ่มที่การสปันที่อุณหภูมิต่างๆ และร้อยละการลดลงของค่าความแข็งแรงผิวที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับที่ 25 องศาเซลเซียส

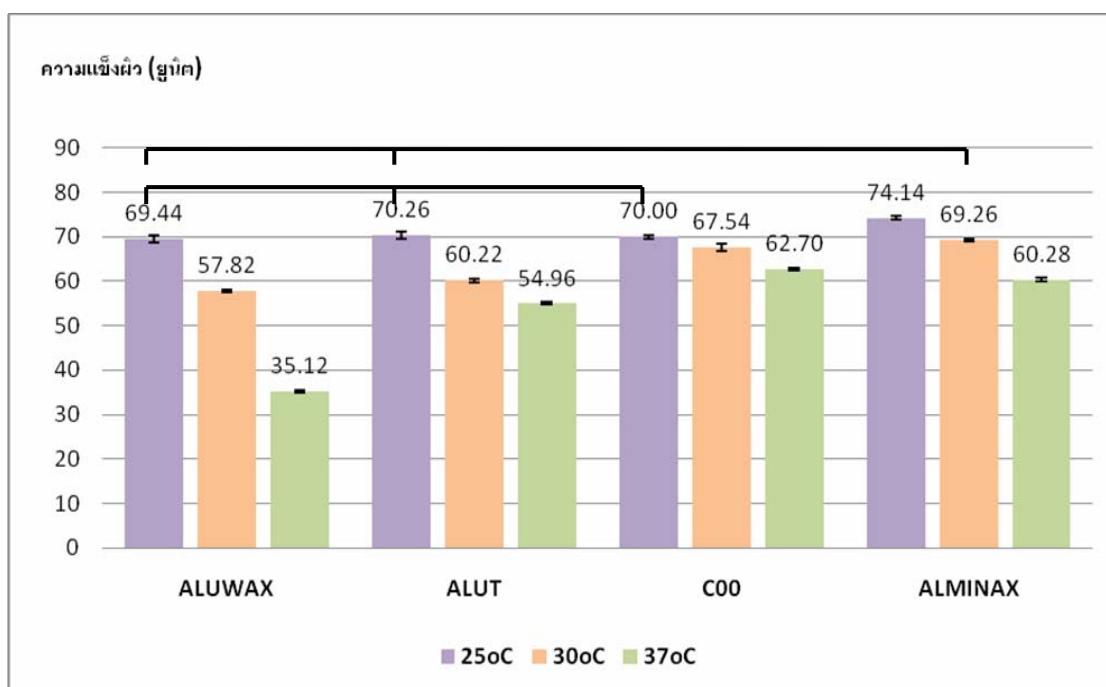
ชื่อผลิตภัณฑ์/ สูตร	25°C		30°C		37°C		ร้อยละการ ลดลงที่ 30°C	ร้อยละการ ลดลงที่ 37°C
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
ALUWAX	69	0.74	58	0.35	35	0.29	16.7	49.4
ALMINAX	74	0.42	69	0.34	60	0.43	6.6	18.7
ALUT	70	0.79	60	0.41	55	0.28	14.3	21.8
C00	70	0.43	68	0.88	63	0.30	3.5	10.4
C05	73	0.21	70	0.23	65	0.25	2.9	10.0
C10	76	0.40	73	0.32	68	0.38	3.0	10.2
C15	79	0.29	76	0.20	71	0.33	2.8	9.6
C20	81	0.30	78	0.33	74	0.30	3.0	8.9

ผลการเปรียบเทียบ

เมื่อเปรียบเทียบซีเมนต์บ่มที่การสปันในกลุ่มเดียวกัน พบว่ามีค่าความแข็งแรงผิวที่อุณหภูมิต่างๆ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความแข็งแรงผิวจะมีค่าลดลงเมื่อสัมผัสอุณหภูมิที่สูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 12 และภาพที่ 27

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงผิวที่อุณหภูมิต่างๆ ของซีเมนต์บ่มที่การสปันสูตรหลัก และที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 27 โดยพบว่า ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สูตรหลักมีค่าความแข็งแรงผิวที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับ ALUWAX และ ALUT แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าต่ำกว่า ALMINAX เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สูตรหลักมีค่าความแข็งแรงผิวที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับซีเมนต์บ่มที่การสปันทางการค้าทุก

ผลิตภัณฑ์ โดยเรียงจากค่าน้อยไปหามากคือ ALUWAX ALUT C00 และ ALMINAX และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่าสูตรหลักมีค่าความแข็งผิวที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับซีเมนต์ที่ทำการสพพันทางการค้าทุกผลิตภัณฑ์เช่นกัน โดยเรียงจากค่าน้อยไปหามากคือ ALUWAX ALUT ALMINAX และ C00

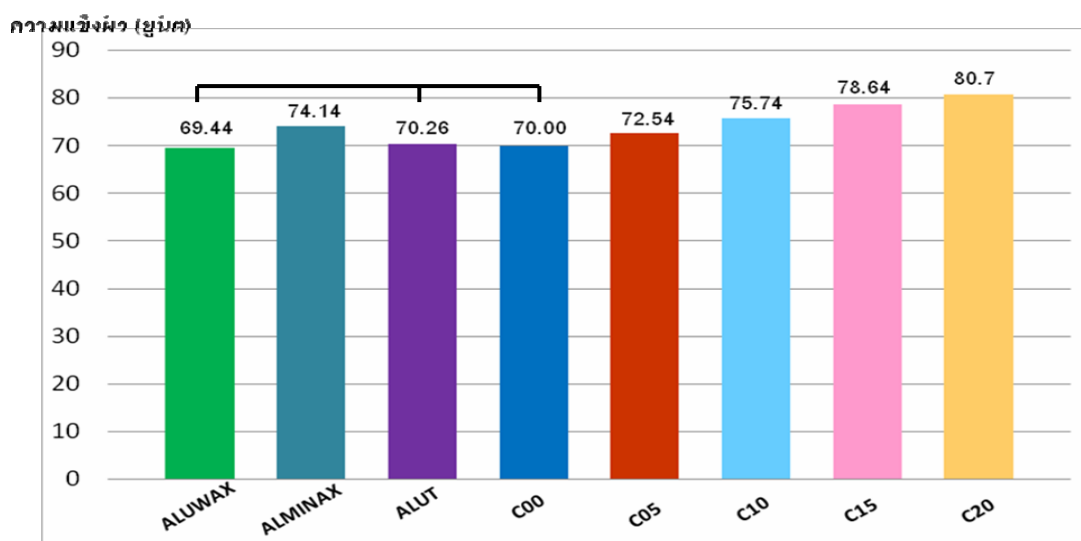


หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ภาพที่ 27 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งผิว
ของซีเมนต์ที่ทำการสพพันทางการค้าและสูตรหลักที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งผิวของซีเมนต์ที่ทำการสพพันทุกกลุ่ม ที่อุณหภูมิเดียวกัน จะได้ดังภาพที่ 28 - 30

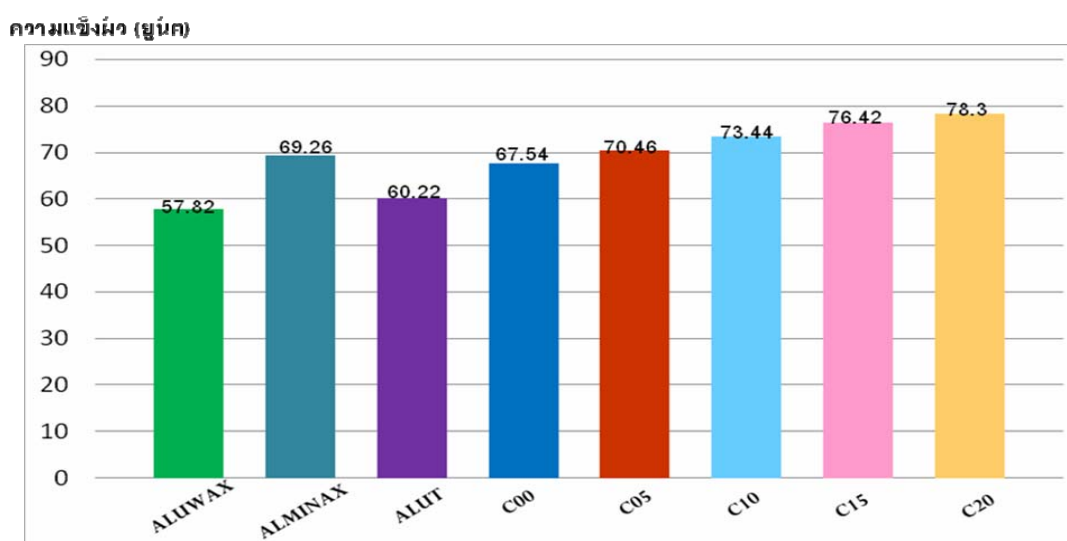
จากภาพที่ 28 พิจารณาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สูตรหลักนั้นมีค่าความแข็งผิวที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับซีเมนต์ที่ทำการสพพันทางการค้า 2 ชนิด คือ ALUWAX และ ALUT ในขณะที่สูตร C05 ที่มีปริมาณคาร์นูบาร้อยละ 5 มีค่าความแข็งผิวที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับซีเมนต์ที่ทำการสพพันทางการค้าทุกผลิตภัณฑ์ โดยมีค่าความแข็งผิวสูงกว่า ALUWAX และ ALUT แต่มีค่าต่ำกว่า ALMINAX นอกจากนี้สูตร C10 C15 C20 มีค่าความแข็งผิวที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับซีเมนต์ที่ทำการสพพันทางการค้า โดยมีค่าความแข็งผิวสูงกว่าทุกผลิตภัณฑ์



หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ภาพที่ 28 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งผิวของ
ซีเมนต์ที่การสพพันทางการค้าและที่เตรียมขึ้นใหม่ทุกสูตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

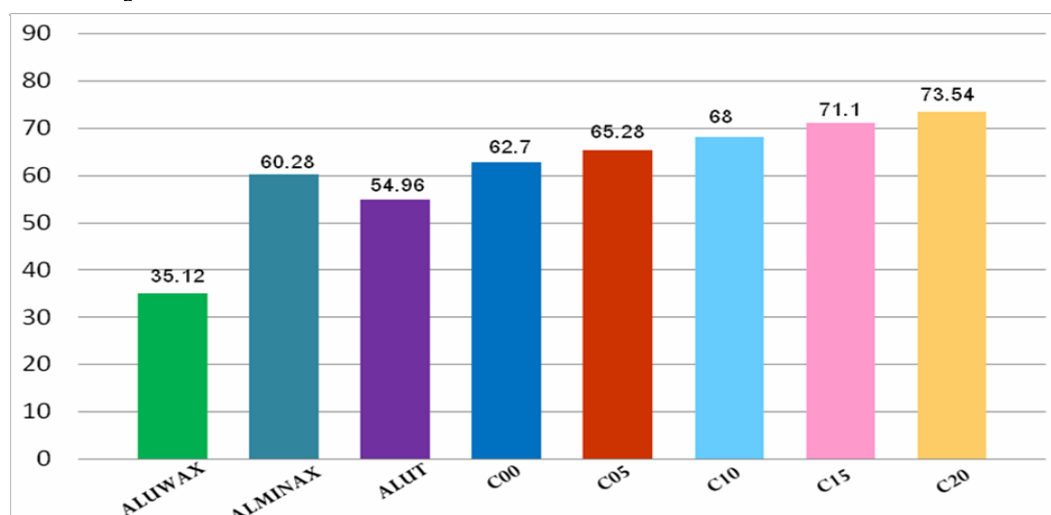
จากภาพที่ 29 พิจารณาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าสูตรหลักมีค่าความแข็งผิวที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับซีเมนต์ที่การสพพันทางการค้าทุกผลิตภัณฑ์ โดยมีค่าความแข็งผิวสูงกว่า ALUWAX และ ALUT แต่มีค่าต่ำกว่า ALMINAX นอกจากนี้พบว่าสูตร C05 C10 C15 และ C20 มีค่าความแข็งผิวที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับซีเมนต์ที่การสพพันทางการค้า โดยมีค่าความแข็งผิวสูงกว่าทุกผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 29 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งผิวของ
ซีเมนต์ที่การสพพันทางการค้าและที่เตรียมขึ้นใหม่ทุกสูตรที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 30 พิจารณาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่าซีเมนต์บดที่การสับฟันทุกสูตรที่เตรียมขึ้นใหม่มีค่าความแข็งผิวที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับซีเมนต์บดที่การสับฟันทางการค้า โดยมีค่าความแข็งผิวที่สูงกว่าทุกผลิตภัณฑ์

ความแข็งผิว (ยูนิท)

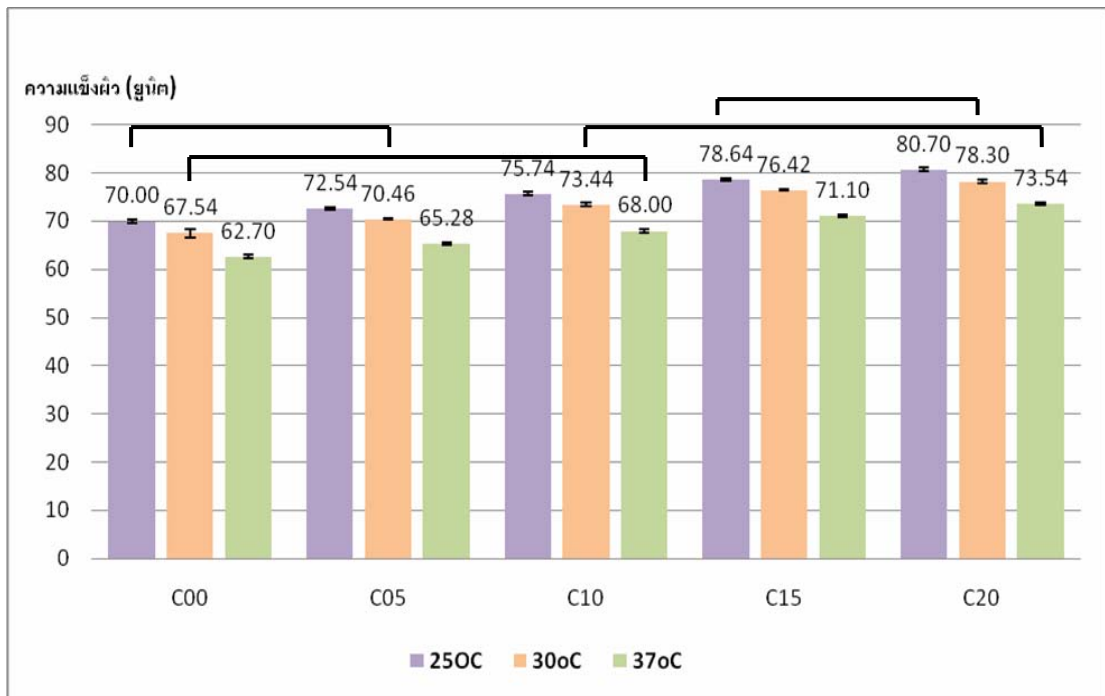


ภาพที่ 30 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งผิวของซีเมนต์บดที่การสับฟันทางการค้าและที่เตรียมขึ้นใหม่ทุกสูตรที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์ปัจจัย

ซีเมนต์บดที่การสับฟันที่เตรียมขึ้นใหม่ทั้ง 5 สูตร ที่มีความแตกต่างในปริมาณคาร์รูนูบาจะส่งผลให้มีค่าความแข็งผิวที่ต่างกันอย่างชัดเจน โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์บดที่การสับฟันที่เตรียมขึ้นใหม่ทุกสูตร จะได้ผลดังแสดงในภาพที่ 31

จากภาพที่ 31 พบว่าค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิเดียวกัน ของซีเมนต์บดที่การสับฟันที่เตรียมขึ้นใหม่ทั้ง 5 สูตร จะมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณคาร์รูนูบาเพิ่มมากขึ้น โดยมีผลค่าเฉลี่ยความแข็งผิวเรียงจากน้อยไปหามาก คือ สูตรหลัก C05 C10 C15 และ C20 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบในสูตรเดียวกัน พบว่าค่าความแข็งผิวจะมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น



หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
 ภาพที่ 31 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรง
 ของซีเมนต์ที่ทำการสพพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่สูตรหลักและสูตรอื่น ๆ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ตอนที่ 3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่าง ๆ ของซีฟิ่งบันทึกการสพพันที่พัฒนาขึ้นใหม่เปรียบเทียบกับซีฟิ่งบันทึกการสพพันทางการค้า

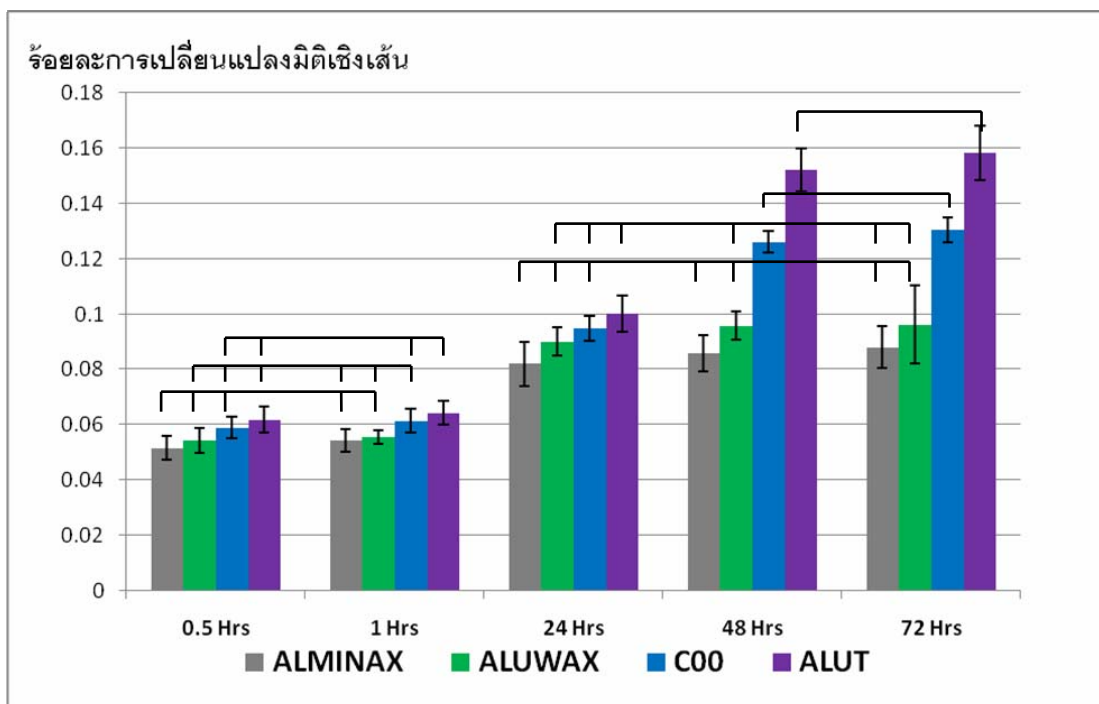
ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของซีฟิ่งบันทึกการสพพันที่เวลาต่าง ๆ เป็นดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 แสดงค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของซีฟิ่งบันทึกการสพพัน

ชื่อผลิตภัณฑ์/ สูตร	ข้อมูล	เวลา (ชั่วโมง)				
		0.5	1	24	48	72
ALUWAX	Mean	0.0543	0.0555	0.0901	0.0958	0.0962
	SD	0.0045	0.0024	0.0050	0.0050	0.0142
ALMINAX	Mean	0.0516	0.0545	0.0821	0.0858	0.0880
	SD	0.0043	0.0041	0.0080	0.0065	0.0075
ALUT	Mean	0.0619	0.0644	0.1002	0.1522	0.1584
	SD	0.0047	0.0044	0.0066	0.0079	0.0098
C00	Mean	0.0590	0.0615	0.0948	0.1261	0.1305
	SD	0.0039	0.0044	0.0045	0.0039	0.0044
C05	Mean	0.0467	0.0496	0.0696	0.0738	0.0768
	SD	0.0032	0.0040	0.0112	0.0121	0.0136
C10	Mean	0.0363	0.0393	0.0536	0.0615	0.0640
	SD	0.0040	0.0047	0.0067	0.0064	0.0063
C15	Mean	0.0313	0.0340	0.0511	0.0546	0.0578
	SD	0.0063	0.0068	0.0067	0.0060	0.0070
C20	Mean	0.0311	0.0336	0.0499	0.0541	0.0573
	SD	0.0041	0.0048	0.0038	0.0036	0.0052

ผลการเปรียบเทียบ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างซีฟิ่งบันทึกการสพพันทางการค้าและสูตรหลัก ดังแสดงในภาพที่ 32 พบว่าสูตรหลักมีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับผลิตภัณฑ์ทางการค้าทุกกลุ่ม ในช่วง 0.5 1 และ 24 ชั่วโมง แต่ที่เวลา 48 และ 72 ชั่วโมงกลับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่มากกว่า ALUWAX และ ALMINAX แต่มีค่าการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่น้อยกว่า ALUT



ภาพที่ 32 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของ
ซีฟิ่งบันทึกการสพพันทางการค้าและสูตรหลักที่เวลาต่าง ๆ

เมื่อนำค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของซีฟิ่งบันทึกการสพพันทุกกลุ่ม มา
พิจารณาตามช่วงเวลา จะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 14 – 18

พิจารณาที่เวลา 0.5 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 14 พบว่า ALMINAX ALUWAX ALUT
และสูตรหลัก มีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่พบว่าสูตรหลักมี
การเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับสูตร C05 C10 C15
และ C20 นอกจากนี้พบว่าสูตร C05 มีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับ
ALMINAX และ ALUWAX แต่มีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าที่มากกว่า
เมื่อเทียบกับสูตร C10 C15 และ C20 และน้อยกว่าเมื่อเทียบกับ ALUT

ตารางที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละ
การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลา 0.5 ชั่วโมง

ชื่อผลิตภัณฑ์/สูตร	Subset for alpha = 0.05		
C20	0.0311		
C15	0.0313		
C10	0.0363		
C05		0.0467	
ALMINAX		0.0516	0.0516
ALUWAX		0.0543	0.0543
C00			0.0590
ALUT			0.0619

พิจารณาที่เวลา 1 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 15 พบว่า ALUWAX ALMINAX ALUT และสูตรหลัก มีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยสูตร ALUT และสูตรหลักจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงมากกว่า C05 C10 C15 และ C20 นอกจากนี้สูตร C05 จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญจาก ALUWAX และ ALMINAX แต่จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าสูตร C10 C15 และ C20

ตารางที่ 15 แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละ
การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลา 1 ชั่วโมง

ชื่อผลิตภัณฑ์/สูตร	Subset for alpha = 0.05		
C20	0.0336		
C15	0.0340		
C10	0.0393		
C05		0.0496	
ALMINAX		0.0545	0.0545
ALUWAX		0.0555	0.0555
C00			0.0615
ALUT			0.0644

พิจารณาที่เวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 16 พบว่าสูตรหลักมีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับผลิตภัณฑ์ทางการค้าทุกผลิตภัณฑ์ แต่มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าที่มากกว่าเมื่อเทียบกับซีฟู้ดที่การสบฟู่ที่เตรียมขึ้นใหม่ทุกสูตร นอกจากนี้ยังพบว่าสูตร C05 มีค่าการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับ ALUWAX ALMINAX C10 C15 และ C20

ตารางที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลา 24 ชั่วโมง

ชื่อผลิตภัณฑ์/สูตร	Subset for alpha = 0.05			
C20	0.0499			
C15	0.0511			
C10	0.0536			
C05	0.0696	0.0696		
ALMINAX		0.0821	0.0821	
ALUWAX		0.0901	0.0901	0.0901
C00			0.0948	0.0948
ALUT				0.1002

พิจารณาที่เวลา 48 และ 72 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 17 - 18 ให้ผลในทางเดียวกันโดยพบว่า ALUT มีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่ามากกว่ากลุ่มอื่น ๆ รองลงมาคือสูตรหลัก มีค่าการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มอื่น ๆ โดยมีค่ามากกว่า ALUWAX ALMINAX C05 C10 C15 และ C20 แต่น้อยกว่า ALUT นอกจากนี้พบว่าสูตร C05 มีค่าการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับ ALUWAX ALMINAX C10 C15 และ C20

ตารางที่ 17 แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละ
การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลา 48 ชั่วโมง

ชื่อผลิตภัณฑ์/สูตร	Subset for alpha = 0.05			
C20	0.0541			
C15	0.0546			
C10	0.0615			
C05	0.0738	0.0738		
ALMINAX		0.0858		
ALUWAX		0.0958		
C00			0.1261	
ALUT				0.1522

ตารางที่ 18 แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละ
การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลา 72 ชั่วโมง

ชื่อผลิตภัณฑ์/สูตร	Subset for alpha = 0.05			
C20	0.0573			
C15	0.0578			
C10	0.0640			
C05	0.0768	0.0768		
ALMINAX		0.0880		
ALUWAX		0.0962		
C00			0.1305	
ALUT				0.1584

นอกจากนี้เมื่อนำร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของซีฟู้ดบับที่การสปันชนิดเดียวกัน มาพิจารณาในเวลาทดสอบที่แตกต่างกัน พบว่าซีฟู้ดบับที่การสปันทุกชนิดมีร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่มากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ดังแสดงในตารางที่ 19 - 26 ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 แนวโน้มดังนี้

แนวโน้มแรกดังแสดงในตารางที่ 19 - 23 คือ ALUWAX ALMINAX C10 C15 และ C20 เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลา 0.5 และ 1 ชั่วโมง ที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

แต่มีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญและมีค่าน้อยกว่าที่เวลา 24 48 และ 72 ชั่วโมง (โดยที่เวลา 24 48 และ 72 ชั่วโมงมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันอย่างไร้มีนัยสำคัญ)

ตารางที่ 19 แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของ ALUWAX

ที่เวลา(ชั่วโมง)	Subset for alpha = 0.05	
0.5	0.0543	
1	0.0555	
24		0.0901
48		0.0958
72		0.0962

ตารางที่ 20 แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของ ALMINAX

ที่เวลา(ชั่วโมง)	Subset for alpha = 0.05	
0.5	0.0516	
1	0.0545	
24		0.0821
48		0.0858
72		0.0880

ตารางที่ 21 แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของสูตร C10

ที่เวลา(ชั่วโมง)	Subset for alpha = 0.05	
0.5	0.0363	
1	0.0393	
24		0.0536
48		0.0615
72		0.0640

ตารางที่ 22 แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละ
การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของสูตร C15

ที่เวลา(ชั่วโมง)	Subset for alpha = 0.05	
0.5	0.0313	
1	0.0340	
24		0.0511
48		0.0546
72		0.0578

ตารางที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละ
การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของสูตร C20

ที่เวลา(ชั่วโมง)	Subset for alpha = 0.05	
0.5	0.0311	
1	0.0336	
24		0.0499
48		0.0541
72		0.0573

แนวโน้มที่สอง ดังแสดงในตารางที่ 24 - 25 คือ คือ ALUT และ C00 เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลา 0.5 และ 1 ชั่วโมงที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่จะมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีการเปลี่ยนแปลงที่มากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง และเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมงจะมีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าเมื่อเทียบกับเวลา 24 ชั่วโมง (โดยที่เวลา 48 และ 72 ชั่วโมง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ)

ตารางที่ 24 แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละ
การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของสูตร ALUT

ที่เวลา(ชั่วโมง)	Subset for alpha = 0.05		
0.5	0.0619		
1	0.0644		
24		0.1002	
48			0.1522
72			0.1584

ตารางที่ 25 แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละ
การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของสูตร C00

ที่เวลา(ชั่วโมง)	Subset for alpha = 0.05		
0.5	0.0590		
1	0.0615		
24		0.0948	
48			0.1261
72			0.1305

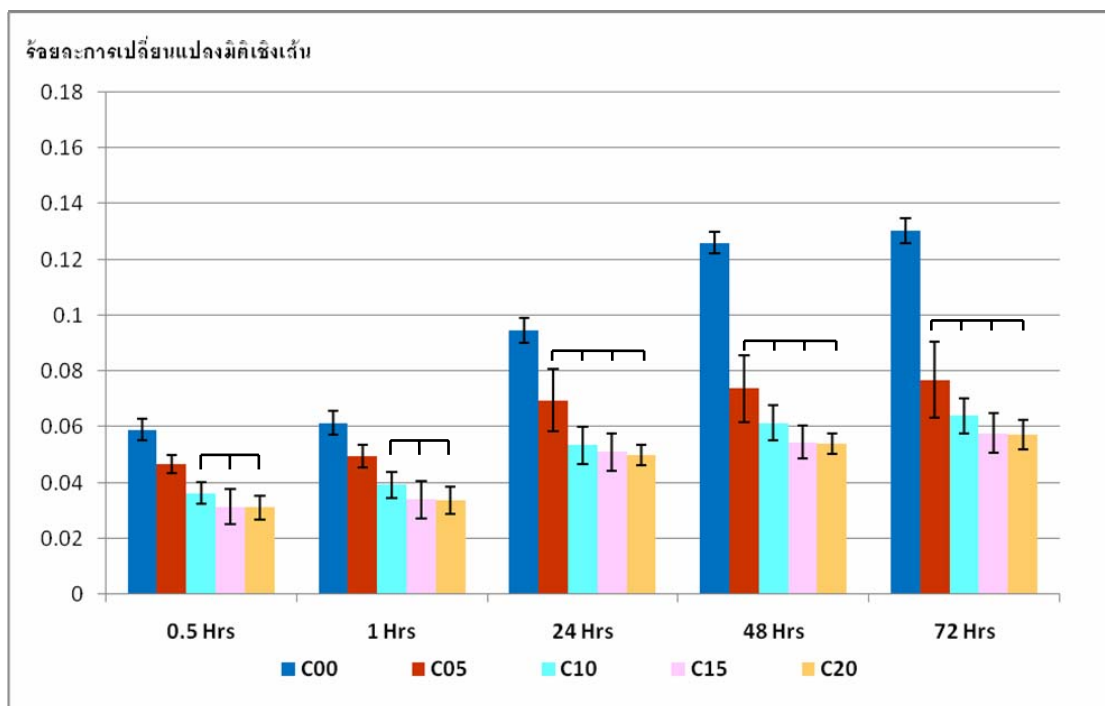
แนวโน้มที่สาม ดังแสดงในตารางที่ 26 คือ สูตร C05 ที่มีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญในช่วงเวลา 0.5 1 และ 24 ชั่วโมง แต่ที่เวลา 0.5 ชั่วโมง พบว่ามีค่าการเปลี่ยนแปลงที่น้อยกว่า และมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเวลา 48 และ 72 ชั่วโมง

ตารางที่ 26 แสดงผลการวิเคราะห์ทามเฮน (Tamhane's T2) แสดงร้อยละ
การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของสูตร C05

ที่เวลา(ชั่วโมง)	Subset for alpha = 0.05		
0.5	0.0467		
1	0.0496		0.0496
24	0.0696		0.0696
48			0.0738
72			0.0768

ผลการวิเคราะห์ปัจจัย

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างซีเมนต์ที่ทำการสับพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่สูตรหลักและสูตรอื่น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 33 พบว่าการเพิ่มปริมาณคาร์นูบา จะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่ลดลง โดยสูตร C05 C10 C15 และ C20 มีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสูตรหลัก ซึ่งมีค่าต่ำกว่าสูตรหลักในทุกช่วงเวลาที่ทดสอบ และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นระหว่าง สูตรที่เติมคาร์นูบา พบว่าระหว่างสูตร C10 C15 และ C20 มีค่าการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญในทุกเวลาที่ทำการทดสอบ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าสูตร C10 C15 และ C20 นั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่น้อยกว่าสูตร C05 ที่เวลา 0.5 และ 1 ชั่วโมง แต่เมื่อเวลาผ่านไป 24-72 ชั่วโมงกลับพบว่าทั้ง 4 สูตรนั้น มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ



ภาพที่ 33 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของซีเมนต์ที่ทำการสับพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่สูตรหลักและสูตรอื่น ๆ ที่เวลาต่าง ๆ

ซึ่งหากทำการเปรียบเทียบระหว่างซีเมนต์ที่ทำการสับพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่ กับซีเมนต์ที่ทำการสับพื้นที่การค้ำ พบว่าสูตรหลักมีการเปลี่ยนแปลงมิติในช่วงเวลา 0.5-24 ชั่วโมง ที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญกับผลิตภัณฑ์ทางการค้าทุกผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อเวลาผ่านไป 48 และ 72 ชั่วโมงกลับพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าที่มากกว่า ALUWAX และ

ALMINAX แต่น้อยกว่า ALUT เมื่อพิจารณาสูตร C05 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงมิติที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับ ALUWAX และ ALMINAX ในทุกช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ เมื่อพิจารณาสูตร C10 C15 และ C20 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าที่น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้าทุกผลิตภัณฑ์ ดังนั้นหากพิจารณาจากสมบัติการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้น สูตรที่มีความเหมาะสมได้แก่ สูตร C05 C10 C15 และ C20 เนื่องจากสูตร C05 มีการเปลี่ยนแปลงมิติที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า และสูตร C10 C15 C20 มีการเปลี่ยนแปลงมิติที่น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาค้างได้ทำการศึกษาสมบัติซีฟิ่งบันทึกการสพพันทางการค้า 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ อะลูมิเนียมที่ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา อัลมิแนกซ์ที่ผลิตในประเทศสหราชอาณาจักร และซีฟิ่งบันทึกการสพพันที่ผลิตภายในประเทศไทย เพื่อเป็นแนวทางในการเตรียมสูตรซีฟิ่งบันทึกการสพพันขึ้นใหม่เพื่อให้มีลักษณะที่เหมาะสมต่อการใช้งานในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย โดยเฉพาะสำหรับโครงการฟื้นเทียมพระราชทาน โดยมีกลุ่มเป้าหมาย คือ ผู้ป่วยที่มีสันเหงือกกว้างทั้งปากหรือบางส่วน ที่ต้องได้รับการใส่ฟันเทียมชนิดถอดได้

การหาสูตรหลัก ซีฟิ่งบันทึกการสพพันที่เตรียมขึ้นใหม่ที่ใช้ในการทดสอบในวิจัยนี้ เป็นซีฟิ่งที่มีส่วนผสมของซีฟิ่งและสารเติมแต่งหลายชนิด ทั้งนี้เนื่องจากซีฟิ่งแต่ละชนิดจะมีสมบัติเฉพาะตัวที่ต่างกันออกไป การใช้ซีฟิ่งเพียงชนิดเดียวอาจไม่สามารถทำให้ซีฟิ่งนั้นมีสมบัติตามที่ต้องการ ลักษณะโดยทั่วไปของซีฟิ่งพาราฟินจะมีลักษณะเปราะและร่วน ไม่สามารถนำมาปั้นแต่งได้ ดังนั้นจึงต้องมีการเติมซีฟิ่งชนิดอื่น ๆ และสารเติมแต่ง เช่น ไมโครคริสตัลไลน์ และยางสนธรรมชาติหรือยางสนสังเคราะห์ จะช่วยให้ซีฟิ่งพาราฟินมีความเหนียวที่เพิ่มขึ้น แต่เนื่องด้วยยางธรรมชาติจะมีความคงตัวที่ต่ำ เกิดการเกาะกลุ่มและออกซิเดชันได้ง่าย การวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้ยางสนสังเคราะห์ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนท (Hydrogenate) แล้ว เนื่องจากมีความคงตัวที่ดีกว่าและเกิดออกซิเดชันได้ยาก โดยใส่เป็นปริมาณร้อยละ 25 จะช่วยลดการหดตัวของซีฟิ่งได้[28] ซีฟิ่งไมโครคริสตัลไลน์ เป็นซีฟิ่งที่มีความเหนียวที่สูง เนื่องจากมีองค์ประกอบของน้ำมันแทรกอยู่ในเนื้อซีฟิ่ง และมีการหดตัวที่ต่ำกว่าพาราฟินเมื่อสัมผัสอุณหภูมิลดลง[20] แต่มีข้อด้อยคือ มีลักษณะที่ติดถุงมือและต้องใช้เวลาที่ค่อนข้างยาวนานกว่าจะมีระยะการแทรกผ่านโดยพีวีไทรมิเตอร์ที่คงที่ ดังนั้นการเติมไมโครคริสตัลไลน์ต้องคำนึงถึงระยะการแทรกผ่านโดยพีวีไทรมิเตอร์ที่จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย นอกจากนี้การเติมบีแว็กซ์เพื่อช่วยเพิ่มการไหลแผ่ ลดการติดถุงมือของซีฟิ่ง

การทดสอบสมบัติของซีฟิ่งบันทึกการสพพันนั้น มีการทดสอบ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการพิจารณาความเข้ากันของสารตั้งต้น ความสามารถในการปั้นแต่ง ไม่ติดถุงมือขณะใช้งาน ขั้นที่สองคือการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความแข็งผิวและการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้น และขั้นที่สามคือ นำสูตรหลักที่เหมาะสมจากการพิจารณาจากสองขั้นแรกมาทดสอบการนำความร้อน โดยการใส่ปริมาณโลหะที่แตกต่างกัน ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมไม่พบข้อมูลปริมาณโลหะที่ใช้ในซีฟิ่งบันทึกการสพพัน แต่สำหรับวัสดุอิมเพรสชัน คอมปาน์ พบว่ามีการเติมผงอะลูมิเนียมเป็น

ปริมาณร้อยละ 5-15[50] จากการศึกษาสำรวจพบว่าการเติมผงอะลูมิเนียมร้อยละ 10 จะมีการนำความร้อนที่ดีกว่าการเติมผงอะลูมิเนียมร้อยละ 5 แต่มีค่าไม่แตกต่างเมื่อเทียบกับการเติมผงอะลูมิเนียมร้อยละ 15 ดังภาคผนวกหน้า 90-91 ซึ่งจะทำให้ได้สูตรหลักที่มีสารตั้งต้น ได้แก่ พาราฟิน ไมโครคริสตัลไลน์ บีแวกซ์ ยางสนสังเคราะห์ และผงอะลูมิเนียม เป็นปริมาณร้อยละ 35 35 5 25 และ 10 ตามลำดับ

ซึ่งพื้นฐานที่การสพพันสูตรหลักที่ได้พบว่า มีลักษณะความแข็งผิวที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสที่เท่ากับ 70 ยูนิท และมีระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ในช่วง 2 นาทีแรกที่สูงมากกว่าร้อยละ 93.3 ของความหนาขึ้นตัวอย่างทดสอบ โดยเป็นค่าที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับซึ่งพื้นฐานที่การสพพันทางการค้า 2 ผลิตภัณฑ์ คือ ALUWAX และ ALUT ดังภาคผนวกหน้า 89 นอกจากนี้สูตรหลักยังมีระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ในช่วง 3-7 นาที ที่มีความชื้นที่ใกล้เคียงไปทาง ALMINAX เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้น พบว่าสูตรหลักมีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลา 0.5 1 และ 24 ชั่วโมง ที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับซึ่งพื้นฐานที่การสพพันทางการค้า คือ ALUWAX และ ALMINAX แต่ที่เวลา 48 และ 72 ชั่วโมง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าที่มากกว่า ALUWAX และ ALMINAX แต่มีค่าน้อยกว่า ALUT ซึ่งจะเห็นได้ว่าซึ่งพื้นฐานที่นั้น มีเพียงสมบัติที่ใกล้เคียงกับซึ่งพื้นฐานที่การสพพันทางการค้า ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการปรับปรุงโดยการเติมซึ่งคาร์นูบา เนื่องจากคาร์นูบาเป็นซึ่งที่ได้จากพืชมีการหดตัวที่ต่ำกว่าซึ่งที่ได้จากแร่ธาตุ เนื่องจากมีองค์ประกอบของเอสเตอร์ (ester) อยู่ในปริมาณสูงทำให้มีแรงเวเลนซ์อันดับรองที่แข็งแรง ซึ่งแรงนี้จะทำหน้าที่ยับยั้งการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบในซึ่งซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้น[20] การเติมปริมาณร้อยละ 10 เป็นอย่างน้อย[28] จะทำให้ซึ่งมีการก่อตัวที่รวดเร็วขึ้น นอกจากนี้คาร์นูบายังส่งผลโดยตรงต่อค่าความแข็งผิวของซึ่งพื้นฐานที่การสพพันอีกด้วย

ผลการทดสอบอุณหภูมิการหลอมเหลวของซึ่งพื้นฐานที่การสพพันแต่ละชนิดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนิงแคลอริมิเตอร์ พบว่าซึ่งพื้นฐานที่การสพพันที่เตรียมสูตรขึ้นใหม่มีค่าอยู่ในช่วง 57.0 - 58.3 องศาเซลเซียส และซึ่งพื้นฐานที่การสพพันทางการค้ามีค่าอยู่ในช่วง 53.1 - 60.1 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการใช้งานในช่องปากเนื่องจากมีค่าที่ไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส[43] ซึ่งจากภาพผลการทดสอบอุณหภูมิการหลอมเหลวจะเห็นได้ว่าซึ่งพื้นฐานที่การสพพันทุกกลุ่มมี พีคหลักและรองอยู่ที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ซึ่งบ่งบอกถึงความแตกต่างขององค์ประกอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากข้อมูล MSDS พบว่า ALUWAX มีองค์ประกอบของพาราฟินและบีแวกซ์ ALMINAX มีองค์ประกอบของซึ่งที่ได้จากพืชและจากแร่ธาตุไม่ระบุชนิด นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบซึ่งพื้นฐานที่การสพพันสูตรหลักและสูตรอื่น ๆ พบว่า สูตรหลักจะมีหนึ่ง

พีคหลักที่อุณหภูมิ 58.1 องศาเซลเซียส แต่สูตรอื่น ๆ จะมีพีคหลักในช่วง 57.0 - 58.3 องศาเซลเซียส และพีครองที่อาจแสดงถึงซีฟิ่งคาร์บูนาในช่วง 73.4 - 75.8 องศาเซลเซียส โดยมีค่าลดลงจากอุณหภูมิการหลอมเหลวจริงของคาร์บูนาในช่วง 78 - 88 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อาจเนื่องจากมีองค์ประกอบนอกเหนือจากคาร์บูนาแสดงปะปนอยู่ด้วย

ตอนที่ 1 ศึกษาระยะเวลาการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ของซีฟิ่งบันทึกการสบฟันที่พัฒนาขึ้นใหม่เปรียบเทียบกับซีฟิ่งบันทึกการสบฟันทางการค้า

การวัดระยะเวลาการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์เป็นการทดสอบเกี่ยวกับการก่อตัวของวัสดุ โดยทั่วไปจะใช้เครื่องมือที่มีหัวกดปลายหุ่ปล่อยลงบนผิวหน้าวัสดุ โดยเวลาก่อตัวของวัสดุที่ใช้ในช่องปากจะมีค่าแตกต่างกันไปตามแต่ละบริษัทผู้ผลิต โดยอาจมีเวลาก่อตัวตั้งแต่ 3-12 นาที[19]

เวลาทำงานและเวลาก่อตัวเป็นสมบัติหนึ่งที่สำคัญที่ผู้ใช้งานควรทราบเกี่ยวกับวัสดุชนิดนั้นเพื่อสามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับซีฟิ่งบันทึกการสบฟันที่มีสมบัติและพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงตามสภาวะอุณหภูมิ ซึ่งอาจไม่สามารถระบุได้ชัดเจนถึงเวลาทำงานและเวลาก่อตัว แต่อาจสามารถบอกได้เป็นช่วงของกราฟที่เปลี่ยนแปลงไป อันเนื่องมาจากแรงต้านที่เกิดขึ้นภายในซีฟิ่ง ซึ่งในระหว่างกระบวนการใช้งานซีฟิ่งนั้นจะพิจารณาเวลาทำงาน ซึ่งจะอยู่ในช่วงที่ซีฟิ่งบันทึกการสบฟันมีความอ่อนนุ่มเพียงพอ และไม่เกิดแรงต้านที่ทำให้ชากรรไกรล่างเกิดการเบี่ยงเบนออกจากความสัมพันธ์ในศูนย์ โดยจะเริ่มนับเวลาดังแต่นำเข้าสู่อุณหภูมิช่องปาก จนกระทั่งซีฟิ่งเริ่มเกิดแรงต้านขึ้น และเวลาก่อตัว คือ เวลาหลังจากนั้นที่ซีฟิ่งมีแรงต้านที่เพิ่มขึ้นจนเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งเกร็ง ที่ทำให้เกิดระยะเวลาการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์มีค่าคงที่ 3 ค่า

วัสดุบันทึกการสบฟันที่ดีควรมีเวลาทำงานที่เหมาะสมสำหรับทันตแพทย์แต่ละบุคคล ต้องการซึ่งมีความแตกต่างกันออกไป และมีเวลาก่อตัวที่รวดเร็วเพื่อหลีกเลี่ยงการเคลื่อนขยับของชากรรไกรล่างที่อาจเกิดขึ้นจากความเมื่อยล้าระหว่างทำการบันทึกการสบฟัน ซึ่งหากพิจารณาซีฟิ่งบันทึกการสบฟันทางการค้าและสูตรหลักพบว่าในช่วง 2 นาทีแรก สูตรหลักมีระยะเวลาการแทรกผ่านที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับ ALUWAX และ ALUT แต่เมื่อผ่านไปนาทีที่ 3 พบว่าสูตรหลักมีระยะเวลาการแทรกผ่านที่ลดลงทำให้มีความชันของกราฟในนาทีที่ 3 - 7 ที่ใกล้เคียงกับ ALMINAX นอกจากนี้สูตรหลักจะมีแนวโน้มการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่น ๆ การเพิ่มปริมาณคาร์บูบาร้อยละ 5 ในสูตร C05 จะทำให้ระยะเวลาการแทรกผ่านของพีนิโตรมิเตอร์มีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกับ ALUT การเพิ่มปริมาณคาร์บูบาร้อยละ 10 ในสูตร C10 จะส่งผลทำให้ระยะเวลาการแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์มีแนวโน้มที่ลดลงมากกว่าสูตร C05 และมีลักษณะ

กราฟที่มีความชันที่มากขึ้นในช่วงนาที่ที่ 2 - 3 การเพิ่มปริมาณคาร์บอนร้อยละ 15 และ 20 นั้นจะทำให้ระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ในช่วงนาที่แรกมีค่าที่ต่ำ เนื่องจากบางส่วนภายในซีผึ้งเริ่มมีแรงต้านเกิดขึ้นตั้งแต่นาทีแรก

จากผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างซีผึ้งบันทึกการสปันทุกกลุ่ม สามารถแบ่งซีผึ้งบันทึกการการสปันออกเป็น 4 กลุ่ม โดยพิจารณาในช่วง 3 นาทีแรก คือ กลุ่มที่มีระยะเวลาแทรกผ่านของพีนิโตรมิเตอร์ที่สูงและลดลงอย่างรวดเร็วหลังจาก 1 นาที ได้แก่ ALMINAX และ C10 กลุ่มที่ 2 คือ ซีผึ้งบันทึกการสปันที่มีระยะเวลาแทรกผ่านของพีนิโตรมิเตอร์ที่สูงและลดลงหลังจาก 2 นาที ได้แก่ ALUT C00 และ C05 กลุ่มที่ 3 คือ มีระยะเวลาแทรกผ่านของพีนิโตรมิเตอร์ที่สูงและลดลงหลังจาก 3 นาที ได้แก่ ALUWAX และกลุ่มที่ 4 คือ C15 และ C20 ที่มีระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ที่มีค่าต่ำเพียงร้อยละ 52.1 – 62.1 ของความหนาของขึ้นตัวอย่างทดสอบ

จากผลระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีนิโตรมิเตอร์ ทำให้อาจสามารถประเมินเวลาทำงานของซีผึ้งบันทึกการสปันได้ดังนี้ ALUWAX เป็นซีผึ้งบันทึกการสปันที่มีเวลาทำงานที่ยาวนานเนื่องจากมีระยะเวลาแทรกผ่านที่สูงถึง 3 นาที จึงเหมาะสมสำหรับกระบวนการบันทึกการสปันที่ต้องใช้เวลานานไม่ว่าจะเนื่องจากตัวผู้ป่วยเองหรือทันตแพทย์ ซึ่งการเลือกซีผึ้งบันทึกการสปันชนิดนี้จะช่วยให้การบันทึกการสปันทำได้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามซีผึ้งชนิดนี้มีข้อด้อย คือ มีเวลาก่อนตัวที่ค่อนข้างยาว ดังนั้นในช่วงที่รอให้ซีผึ้งบันทึกการสปันก่อตัว ทันตแพทย์จะต้องควบคุมให้ผู้ป่วยอยู่นิ่งในตำแหน่งความสัมพันธ์นั้นโดยตลอด ซีผึ้งบันทึกการสปันสูตรหลัก C05 และ ALUT มีเวลาทำงานใกล้เคียงกันเนื่องจากมีระยะเวลาแทรกผ่านสูงในช่วง 2 นาทีแรก แต่อย่างไรก็ตามพบว่า สูตรหลักมีเวลาก่อนตัวที่ยาวนานกว่า จึงเป็นข้อด้อยเมื่อเทียบกับสูตร C05 และ ALUT ซีผึ้งบันทึกการสปันสูตร C10 มีเวลาทำงานที่สั้น เนื่องจากมีระยะเวลาแทรกผ่านสูงเพียงช่วง 1 นาทีแรก จึงเป็นทางเลือกสำหรับทันตแพทย์ที่มีความชำนาญ ซึ่งสามารถเลือกซีผึ้งที่มีเวลาทำงานที่สั้นหรือยาวได้ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าซีผึ้งบันทึกการสปันสูตร C15 และ C20 นั้นมีระยะเวลาแทรกผ่านที่ต่ำตั้งแต่นาทีแรกที่ทำกรทดสอบ จึงเป็นสูตรซีผึ้งบันทึกการสปันที่ไม่มีความเหมาะสมเมื่อเทียบกับสูตรอื่น ๆ

ตอนที่ 2 ศึกษาความแข็งแรงผิวที่อุณหภูมิต่างๆ ของซีผึ้งบันทึกการสปันที่พัฒนาขึ้นใหม่ เปรียบ เทียบกับซีผึ้งบันทึกการสปันทางการค้า

การวัดค่าความแข็งแรงผิวของวัสดุ เป็นการวัดความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากแรงที่กระทำบนพื้นผิวของวัสดุ[33] ซึ่งการทดสอบค่าความแข็งแรงผิวนั้นอาจทำได้หลายวิธี โดยขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิวที่ทำกรทดสอบ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกการทดสอบความแข็งแรง

แบบซอร์ เอ ด้วยเครื่องดูโรมิเตอร์ซึ่งเหมาะกับวัสดุที่มีพื้นผิวอ่อน เช่น ยาง พลาสติก และซีเมนต์ ตามมาตรฐาน ASTM D2240[7] ซึ่งการทดสอบนี้จะสะท้อนถึงความแข็งผิวหลังก่อตัวของซีเมนต์บันทึกการสับฟันที่สามารถต้านต่อแรงที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานได้ ซึ่งแรงนั้นอาจเกิดระหว่างการตรวจสอบความถูกต้องหลังการบันทึกด้วยการนำซีเมนต์บันทึกการสับฟันที่ก่อตัวแล้ว เข้าตรวจสอบตำแหน่งในช่องปากอีกครั้ง หรือแรงที่เกิดขึ้นขณะนารอยบันทึกนั้นมายึดเข้ากับแบบจำลองปูนเพื่อติดตั้งบนกลอุปรกรณ์ชากรรไกรจำลอง

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งผิวอาจแบ่งได้เป็นปัจจัยภายใน คือ ชนิดของซีเมนต์ที่เป็นองค์ประกอบ และปัจจัยภายนอก คือ อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม การใช้งานซีเมนต์บันทึกการสับฟันจะเกี่ยวข้องกับ 2 สภาวะ คือ ที่อุณหภูมิช่องปาก และอุณหภูมิห้อง ซึ่งปกติจะมีค่าประมาณ 25 ± 1 องศาเซลเซียส จากรายงานของกรมอุตุนิยมวิทยาของประเทศไทยในปี พ.ศ.2553[35] พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 27.9 องศาเซลเซียส และในปี พ.ศ. 2554 มีอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีที่สูงขึ้น โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 32.1 องศาเซลเซียส[36] ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกอุณหภูมิในการทดสอบเป็น 3 สภาวะ คือ ที่อุณหภูมิช่องปาก 37 ± 1 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิห้อง 25 ± 1 และ 30 ± 1 องศาเซลเซียส (ซึ่งได้จากค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในปี พ.ศ.2553 และในปี พ.ศ. 2554)

นอกจากนี้ปัจจัยภายในที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง คือ องค์ประกอบของซีเมนต์ ซีเมนต์หนึ่งชนิดมักมีองค์ประกอบของซีเมนต์ที่หลากหลาย เพื่อปรับปรุงสมบัติให้เหมาะกับการใช้งาน ในงานวิจัยครั้งนี้มีการเติมคาร์นูบาในปริมาณที่แตกต่างกัน เนื่องจากช่วยเพิ่มสมบัติความแข็งผิวให้กับซีเมนต์ได้[19, 20]

จากผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างซีเมนต์บันทึกการสับฟันสูตรหลักและซีเมนต์บันทึกการสับฟันทางการค้า พบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สูตรหลักมีค่าความแข็งผิวที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญจาก ALUWAX และ ALUT แต่มีค่าที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าที่ต่ำกว่า ALMINAX ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สูตรหลักมีค่าที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากผลิตภัณฑ์ทางการค้าทุกผลิตภัณฑ์ โดยเรียงจากมากไปน้อย คือ ALMINAX สูตรหลัก ALUT และ ALUWAX ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สูตรหลักมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากผลิตภัณฑ์ทางการค้าทุกผลิตภัณฑ์ โดยเรียงจากมากไปน้อยคือ คือ สูตรหลัก ALMINAX ALUT และ ALUWAX

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างซีเมนต์บันทึกการสับฟันที่เตรียมขึ้นใหม่ทั้ง 5 สูตร พบว่าค่าความแข็งผิวของซีเมนต์บันทึกการสับฟันแต่ละสูตรที่อุณหภูมิเดียวกัน เรียงจากน้อยไปหามาก คือ สูตรหลัก C05 C10 C15 และ C20 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าปริมาณคาร์นูบาจะมีค่าแปรผันตรงกับค่าความแข็งผิว โดยทุกสูตรจะมีความเหมาะสมที่แตกต่างกันออกไป สูตรหลักและ C05 มีค่าความ

แข็งผิวที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า แต่สูตร C10 C15 และ C20 มีค่าความแข็งผิวที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า ดังนั้นเมื่อรับแรงกระทำที่เท่ากันจะเกิดรอยที่ผิวได้น้อยกว่า

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่ส่งผลต่อค่าความแข็งผิว พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้ซีเมนต์บ่มที่การสับฟันมีค่าความแข็งผิวที่ลดลง โดยคำนวณเป็นค่าความแข็งผิวที่เปลี่ยนแปลงไปของ ALMINAX ALUT และ ALUWAX เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิ 25 และ 37 องศาเซลเซียสได้เท่ากับร้อยละ 18.7 21.8 และ 49.4 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์บ่มที่การสับฟันที่เตรียมขึ้นใหม่ทุกสูตร ที่มีค่าความแข็งผิวระหว่างอุณหภูมิ 25 และ 37 องศาเซลเซียส ที่เปลี่ยนแปลงไปอยู่ในช่วงร้อยละ 8.9 - 10.4 เท่านั้น ซึ่งหมายถึงซีเมนต์บ่มที่การสับฟันที่เตรียมขึ้นใหม่มีค่าความแข็งผิวที่คงตัวมากกว่าซีเมนต์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าเมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงไป

เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาก่อนหน้านี้[34] ที่ได้ทำการวัดค่าความแข็งผิวโดยใช้เทคนิคเดียวกันกับการศึกษาครั้งนี้ คือ การวัดค่าความแข็งผิวแบบชอร์ เอ ของวัสดุบ่มที่การสับฟัน 3 ชนิด ได้แก่ โพลีไวนิลไซลอกเซน โพลีเอเทอร์และซิงค์ออกไซด์ยูเรเนียมเพสท แต่ทำการทดสอบในระยะเวลาที่แตกต่างกัน คือ กระทำในระยะเวลาหลังจากผสมวัสดุ 30 นาที และ 24 ชั่วโมง เนื่องจากวัสดุที่ทำการทดสอบอาจเกิดโพลีเมอร์ไรเซชันไม่สมบูรณ์ โดยพบว่าค่าความแข็งผิวเฉลี่ยของวัสดุบ่มที่การสับฟันทุกชนิดมีค่าสูงกว่า 70 ยูนิตเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษานี้ที่อุณหภูมิเดียวกันคือ 25 ± 1 องศาเซลเซียส พบว่าซีเมนต์บ่มที่การสับฟันที่เตรียมขึ้นใหม่ทุกชนิดมีค่าความแข็งผิวเฉลี่ยสูงกว่าหรือเท่ากับ 70 ยูนิต โดยซีเมนต์สูตรหลัก นั้นมีค่าความแข็งผิวที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับ ALUWAX และ ALUT แต่จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่าความแข็งผิวต่ำกว่า ALMINAX ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ALUWAX มีส่วนประกอบเป็นหลักเป็นพาราฟินและบีแวกซ์เช่นเดียวกับสูตรหลัก ในขณะที่ ALMINAX นั้นมีส่วนประกอบจากซีเมนต์ที่ได้จากพืชที่ไม่ระบุชนิด ดังตารางที่ 1

ตอนที่ 3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่างๆ ของซีเมนต์บ่มที่การสับฟันที่พัฒนาขึ้นใหม่เปรียบเทียบกับซีเมนต์บ่มที่การสับฟันทางการค้า

การทดสอบการเปลี่ยนแปลงมิติเป็นสมบัติที่สำคัญสำหรับวัสดุบ่มที่การสับฟัน เนื่องจากวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงมิติมากจะก่อให้เกิดความไม่ถูกต้องของรอยบ่มที่การสับฟันได้ ซึ่งส่งผลต่อเนื่องไปยังความสำเร็จของการใส่ฟันเทียมให้กับผู้ป่วย มีหลายการศึกษา[6, 15, 18, 39, 51-53] ที่ศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงมิติของวัสดุบ่มที่การสับฟันโดยทดสอบเป็นช่วงเวลาหลังวัสดุก่อตัว เนื่องจากในความเป็นจริง ทันตแพทย์ส่วนใหญ่ไม่ได้นำวัสดุบ่มที่การสับฟันติดตั้งบน

กลอุปรณ์ขากรไรกรจำลองทันทีหลังจากการบ้นที่กสปนเสร์จลัน ซึ่งเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมิติของวัสดุบ้นที่กการสปนได้

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการศึกษากการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่าง ๆ หลังจากซีผึ้งบ้นที่กการสปนก่อตัว ซึ่งการทดสอบได้ดัดแปลงวิธีการทดสอบจากการศึกษาของ Michalakos et al.[15] โดยจะมีขนาดของชิ้นงานที่เท่ากัน คือ กว้าง 8 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร และมีแนวอ้างอิงบนผิววัสดุห่างกัน 40 มิลลิเมตร โดยขนาดของชิ้นงานนั้นจะแสดงถึงลักษณะการใช้งานทางคลินิก โดยความกว้างที่กำหนด เป็นตัวแทนความกว้างของด้านบดเคี้ยวในฟันหลัง ความยาวเป็นตัวแทนความยาวเฉลี่ยของแนวใกล้กลางและไกลกลางของฟันหน้าบน ฟันหลังบน และฟันหลังล่าง ความหนาเป็นตัวแทนของระยะช่องว่างระหว่างคู่สบบนและล่าง แต่ผู้วิจัยมีการดัดแปลงลักษณะของแม่แบบโลหะเล็กน้อย เนื่องจากการศึกษา นำร่องพบว่า การถอดซีผึ้งออกจากแม่แบบโลหะในทางด้านข้างนั้น จะใช้แรงที่ไม่คงที่ ทำได้ค่อนข้างยาก และชิ้นงานที่ได้ไม่มีฐานมารองรับ อาจทำให้เกิดการบิดเบี้ยวที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมิติ จึงปรับปรุงแม่แบบโลหะใหม่ โดยให้มีฐานรองรับชิ้นงานและใช้แม่เหล็กในการตั้งฐานของชิ้นงานขึ้นในแนวตั้ง เพื่อควบคุมแรงที่มากกระทำต่อชิ้นงานทุกชิ้นให้คงที่ นอกจากนี้ระหว่างการศึกษาการทดสอบในกรศึกษา ก่อนหน้า จะทำการฉีดซีผึ้งลงในแบบจำลองโลหะที่สภาวะอุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำไปไว้ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเพื่อจำลองสภาวะช่องปาก แต่ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการฉีดซีผึ้งลงในแบบจำลองโลหะในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความใกล้เคียงกับการใช้งานทางคลินิกที่มากกว่า

จากผลการศึกษาพบว่าซีผึ้งบ้นที่กการสปนทุกชนิด มีร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งสามารถพิจารณาตามเวลาและตามชนิดของซีผึ้งบ้นที่กการสปนได้ดังนี้

เมื่อเปรียบเทียบซีผึ้งบ้นที่กการสปนทุกกลุ่มที่เวลาเดียวกัน (ซีผึ้งบ้นที่กการสปนต่างชนิดกัน) พบว่าซีผึ้งบ้นที่กการสปนสูตรหลัก มีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่แตกต่างกันมีนัยสำคัญ โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าซีผึ้งที่เตรียมขึ้นใหม่สูตรอื่น ๆ แต่มีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับซีผึ้งบ้นที่กการสปนทางการค้าทุกผลิตภัณฑ์ในช่วงเวลา 0.5 1 และ 24 ชั่วโมง ยกเว้นที่เวลา 48 และ 72 ชั่วโมง โดยพบว่าจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่า ALUWAX และ ALMINAX และน้อยกว่า ALUT สูตร C05 มีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลา 0.5 และ 1 ชั่วโมง ที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับซีผึ้งบ้นที่กการสปนทางการค้าทุกผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อเวลาผ่านไป 24-72 ชั่วโมง สูตร C05 มีค่าการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงที่ต่ำกว่า ALUT นอกจากนี้สูตร C10 C15 และ C20 มีผลการเปลี่ยนแปลงทาง

มิติเชิงเส้นในทุกเวลาที่ทดสอบที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้าทุกผลิตภัณฑ์

การเติมคาร์บอนาจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างซีฟู้ดบันทึกการสพพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่สูตรหลักและสูตรอื่น ๆ ที่เวลาเดียวกัน พบว่าการเพิ่มปริมาณคาร์บอนาจะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่ลดลง โดยสูตร C05 C10 C15 และ C20 มีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าต่ำกว่าสูตรหลักในทุกช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ ซึ่งคาร์บอนามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางมิติ เนื่องจากคาร์บอนาเป็นซีฟู้ดที่ผลิตจากพืชที่มีแรงเวเลนซ์อันดับรอง (secondary valence force) ที่สูงกว่าซีฟู้ดที่ผลิตจากแร่ธาตุ เช่น พาราฟินไมโครคริสตัลไลน์ ซึ่งจะช่วยยับยั้งการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในซีฟู้ด ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่ลดลง[20]

เมื่อพิจารณาซีฟู้ดบันทึกการสพพื้นที่ชนิดเดียวกัน (เวลาที่แตกต่างกัน) สามารถจัดแบ่งได้เป็น 3 แนวโน้ม

แนวโน้มแรก คือ ALUWAX ALMINAX C10 C15 และ C20 เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นระหว่างเวลา 0.5 และ 1 ชั่วโมง ที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่มีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญและมีค่าน้อยกว่าที่เวลา 24 48 และ 72 ชั่วโมง (โดยที่เวลา 24 48 และ 72 ชั่วโมงมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ) อาจกล่าวได้ว่าระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการติดตั้งรอยบันทึกการสพพื้นบนกลอุปกรณ์ขากรรไกรจำลอง คือภายใน 1 ชั่วโมงแรก เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงทางมิติน้อยที่สุด แต่ถ้าไม่สามารถกระทำได้ในช่วงเวลาดังกล่าว ก็สามารถเลือกการติดตั้งที่เวลา 24 48 หรือ 72 ชั่วโมงหลังการก่อตัว เนื่องจากมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

แนวโน้มที่สอง คือ ALUT และ C00 เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลา 0.5 และ 1 ชั่วโมงที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าการเปลี่ยนแปลงที่มากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง และเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมงจะยังคงมีค่าการเปลี่ยนแปลงที่มากขึ้นอีก และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเวลา 24 ชั่วโมง (แต่ที่เวลา 48 และ 72 ชั่วโมง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ) อาจกล่าวได้ว่าระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการติดตั้งรอยบันทึกการสพพื้นบนกลอุปกรณ์ขากรรไกรจำลอง คือ ภายใน 1 ชั่วโมง เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงมิติน้อยที่สุด แต่ถ้าไม่สามารถกระทำได้ในช่วงเวลาดังกล่าว ก็ควรที่จะรีบติดตั้งภายใน 24 ชั่วโมง เนื่องจากหลังจากช่วงเวลานี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงมิติเพิ่มมากขึ้นอีกอย่างมีนัยสำคัญ

แนวโน้มที่สาม คือ สูตร C05 ที่มีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญในช่วงเวลา 0.5 1 และ 24 ชั่วโมง แต่ที่เวลา 0.5 ชั่วโมงพบว่ามีค่าการเปลี่ยนแปลงที่น้อยกว่า และมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเวลา 48 และ 72 ชั่วโมง อาจกล่าวได้ว่าระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการติดตั้งรอยบันทึกการสับสนบนกลอุปรกรณ์ขากรรไกรจำลอง คือ ภายใน 0.5 ชั่วโมงหลังการก่อตัว เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงทางมิติที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเวลาอื่น ๆ

แนวทางการเลือกใช้ซีเมนต์บันทึกการสับสน

การใช้งาน ALUWAX ซึ่งเป็นซีเมนต์บันทึกการสับสนที่มีเวลาทำงานและเวลาก่อตัวที่ค่อนข้างยาวนาน จึงเหมาะสมกับทันตแพทย์ที่ยังขาดความชำนาญหรือนิสิตทันตแพทย์ แต่อย่างไรก็ตามต้องควบคุมให้ขากรรไกรล่างอยู่นิ่งตลอดการบันทึกการสับสนด้วยเนื่องจากมีเวลาก่อตัวที่ยาวนาน ในขณะที่ ALMINAX และ C10 จะเหมาะสมกับทันตแพทย์ที่มีความชำนาญแล้ว เนื่องจากซีเมนต์บันทึกการสับสนทั้งสองกลุ่มนี้มีเวลาทำงานที่ค่อนข้างรวดเร็ว ซีเมนต์บันทึกการสับสนสูตรหลัก สูตร C05 และ ALUT มีเวลาทำงานที่ใกล้เคียงกัน แต่สูตรหลักมีเวลาก่อตัวที่ช้ากว่า จึงเป็นสูตรที่มีความเหมาะสมน้อยกว่าสูตร C05 และ ALUT นอกจากนี้ซีเมนต์บันทึกการสับสนสูตร C15 และ C20 เป็นซีเมนต์บันทึกการสับสนที่มีระยะเวลาการแทรกผ่านของฟีนีโตรมิเตอร์ที่นาที่แรกเท่ากับ 1.863 และ 1.563 มิลลิเมตร หรือเท่ากับร้อยละ 52.1 และ 62.1 ของความหนาของชิ้นตัวอย่างทดสอบ ซึ่งหากเลือกใช้ซีเมนต์บันทึกการสับสนสูตร C15 และ C20 อาจจะทำให้เกิดการเปื่อยเบนของขากรรไกรล่างขณะทำการบันทึกการสับสน เนื่องจากแรงต้านที่เกิดขึ้นอย่างมากภายในซีเมนต์ตั้งแต่วินาทีแรก ดังนั้นซีเมนต์บันทึกการสับสนทั้งสองสูตรนี้ จึงไม่ใช่ซีเมนต์บันทึกการสับสนที่มีความเหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีการเตรียมสูตรซีเมนต์บันทึกการสับสนขึ้นใหม่ทั้งหมด 5 สูตร โดยมีสูตรหลักและสูตรอื่น ๆ ที่มีปัจจัยที่แตกต่างกัน คือ ปริมาณของคาร์นูบา คาร์นูบาจะมีส่วนช่วยเพิ่มความแข็งแรง ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้น และทำให้ระยะเวลาการแทรกผ่านโดยฟีนีโตรมิเตอร์มีแนวโน้มที่ลดลงซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

1. การเติมคาร์นูบาในซีเมนต์บันทึกการสับสนสูตรหลัก จะส่งผลให้ระยะเวลาการแทรกผ่านโดยฟีนีโตรมิเตอร์มีแนวโน้มที่ลดลง
2. การเติมคาร์นูบาจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับซีเมนต์บันทึกการสับสนอย่างมีนัยสำคัญ และซีเมนต์บันทึกการสับสนทุกกลุ่มจะมีค่าความแข็งแรงที่ลดลงเมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น

3. การเติมคาร์บูนาจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยสูตรหลักจะมีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่ามากกว่าสูตรอื่น ๆ ในทุกช่วงเวลาที่ทดสอบ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าระหว่างสูตร C10 C15 และ C20 นั้นมีการเปลี่ยนแปลงทางมิติที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญในทุกช่วงเวลา

4. พิจารณาชี้ฝั่งบันทึกการสพพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่ทุกสูตร พบว่าสูตร C10 จะมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่น้อยกว่า และมีค่าความแข็งผิวที่สูงกว่าชี้ฝั่งบันทึกการสพพื้นที่สูตรหลัก สูตร C05 และทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญ สูตรที่มีความเหมาะสมรองลงมาคือ C05 เนื่องจากมีค่าความแข็งผิวที่น้อยกว่าสูตร C10 แต่มีค่าการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นทุกเวลาที่ทำการทดสอบที่ไม่แตกต่างจาก ALUWAX และ ALMINAX สูตรที่เหมาะสมเป็นลำดับสุดท้ายคือ สูตรหลัก เนื่องจากมีค่าความแข็งผิวที่น้อยกว่าสูตร C05 และสูตร C10 และแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่ไม่แตกต่างกับทางการค้าที่เวลา 0.5 – 24 ชั่วโมง แต่พบว่าเมื่อเวลาผ่าน 48 และ 72 ชั่วโมง จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าทางการค้า

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาสมบัติบางประการของชี้ฝั่งบันทึกการสพพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่ โดยพบว่าชี้ฝั่งบันทึกการสพพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่สูตรหลัก สูตร C05 และ C10 นั้นมีสมบัติตามทำการทดสอบที่เทียบเคียงหรือเหมาะสมกว่าทางการค้า ซึ่งในการศึกษาต่อไปอาจนำทั้งสามสูตรดังกล่าวมาทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงสมบัติอื่น ๆ เช่น ความเหนียว ความเที่ยงตรง โดยอาจทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างชี้ฝั่งบันทึกการสพพื้นที่ด้วยกันเองหรือวัสดุบันทึกการสพพื้นที่ชนิดอื่น ๆ

รายการอ้างอิง

- [1] Tripodakis, A.P., Vergos, V.K. and Tsoutsos, A.G. Evaluation of the accuracy of interocclusal records in relation to two recording techniques. J Prosthet Dent. 77 (Feb 1997): 141-6.
- [2] Mullick, S.C., Stackhouse, J.A., Jr. and Vincent, G.R. A study of interocclusal record materials. J Prosthet Dent. 46 (Sep 1981): 304-7.
- [3] Assif, D., Himel, R. and Grajower, Y. A new electromechanical device to measure the accuracy of interocclusal records. J Prosthet Dent. 59 (Jun 1988): 672-6.
- [4] Ohashi, M. and Paffenbarger, G.C. Melting, flow, and thermal expansion characteristics of some dental and commercial waxes. J Am Dent Assoc. 72 (May 1966): 1141-50.
- [5] Phillips, R.W. and Biggs, D.H. Distortion of wax patterns as influenced by storage time, storage temperature, and temperature of wax manipulation. J Am Dent Assoc. 41 (1950): 28-37.
- [6] Lassila, V. Comparison of five interocclusal recording materials. J Prosthet Dent. 55 (Feb 1986): 215-8.
- [7] Corporation, P.T. ASTM Type A Durometer.
- [8] Millstein, P.L., Kronman, J.H. and Clark, R.E. Determination of the accuracy of wax interocclusal registrations. J Prosthet Dent. 25 (Feb 1971): 189-96.
- [9] Millstein, P.L., Clark, R.E. and Kronman, J.H. Determination of the accuracy of wax interocclusal registrations. II. J Prosthet Dent. 29 (Jan 1973): 40-5.
- [10] Muller, J., Gotz, G., Horz, W. and Kraft, E. An experimental study on the influence of the derived casts on the accuracy of different recording materials. Part I: Plaster, impression compound, and wax. J Prosthet Dent. 63 (Mar 1990): 263-9.
- [11] Vergos, V.K. and Tripodakis, A.P. Evaluation of vertical accuracy of interocclusal records. Int J Prosthodont. 16 (Jul-Aug 2003): 365-8.

- [12] Freilich, M.A., Altieri, J.V. and Wahle, J.J. Principles for selecting interocclusal records for articulation of dentate and partially dentate casts. J Prosthet Dent. 68 (Aug 1992): 361-7.
- [13] Wirth, C.G. and Aplin, A.W. An improved interocclusal record of centric relation. J Prosthet Dent. 25 (Mar 1971): 279-86.
- [14] Bell, J.W., Davies, E.H. and von Fraunhofer, J.A. The dimensional changes of elastomeric impression materials under various conditions of humidity. J Dent. 4 (Mar 1976): 73-82.
- [15] Michalakis, K.X., Pissiotis, A., Anastasiadou, V. and Kapari, D. An experimental study on particular physical properties of several interocclusal recording media. Part II: Linear dimensional change and accompanying weight change. J Prosthodont. 13 (Sep 2004): 150-9.
- [16] Lassila, V. and McCabe, J.F. Properties of interocclusal registration materials. J Prosthet Dent. 53 (Jan 1985): 100-4.
- [17] Fattore, L., Malone, W.F., Sandrik, J.L., Mazur, B. and Hart, T. Clinical evaluation of the accuracy of interocclusal recording materials. J Prosthet Dent. 51 (Feb 1984): 152-7.
- [18] Ghazal, M., Albashaireh, Z.S. and Kern, M. The ability of different materials to reproduce accurate records of interocclusal relationships in the vertical dimension. J Oral Rehabil. 35 (Nov 2008): 816-20.
- [19] เจน รัตนไพศาล. ทันตวัสดุศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, 2533.
- [20] Powers, J.M. and Sakaguchi, R.L. CRAIG'S Restorative Dental Materials. St. Louis: Mosby, 2006.
- [21] Aluwax dental company. Aluwax Dental Bite and Impression Waxes Material safety data sheets [online]. Available from: http://www.aluwaxdental.com/material_safety.html
- [22] Whip Mix Corporation. Alminax Material safety data sheets [online]. Available from: http://www.whipmix.com/wp-content/uploads/via-product-catalog/product_docs/Wax%20Rev%2011%2030%2009.pdf
- [23] วิกีพีเดีย. พาราฟิน [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://th.wikipedia.org/wiki/พาราฟิน>

- [24] Chal, E. กระบวนการผลิตแว็กซ์จากน้ำมันปิโตรเลียม [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.vcharkarn.com/vblog/115317> [2012, January]
- [25] Grant, D.L. Candelilla wax [online]. Available from: <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v30je12.htm>
- [26] วันเพ็ญ พงษ์เก่า. เทียบหอมจากภูมิปัญญาไทย. ประดิศประดอย, 2548.
- [27] webmaster@rubbercenter.org. [online]. Available from: <http://www.rubbercenter.org/dictionary/total.php> [2007]
- [28] Bennett, H. INDUSTRIAL WAXES VOLUME II COMPOUNDED WAXES & TECHNOLOGY. New York: CHEMICAL PUBLISHING COMPANY, INC, 1963.
- [29] วิกิพีเดีย. อะลูมิเนียม [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://th.wikipedia.org/wiki/อะลูมิเนียม> [2012, March]
- [30] วิกิพีเดีย. ทองแดง [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://th.wikipedia.org/wiki/ทองแดง> [2012, February]
- [31] วิกิพีเดีย. การนำความร้อนของธาตุ [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://th.wikipedia.org/wiki/การนำความร้อนของธาตุ> [2010, April]
- [32] Michalakakis, K.X., Pissiotis, A., Anastasiadou, V. and Kapari, D. An experimental study on particular physical properties of several interocclusal recording media. Part III: resistance to compression after setting. J Prosthodont. 13 (Dec 2004): 233-7.
- [33] Keyf, F. and Altunsoy, S. Compressive strength of interocclusal recording materials. Braz Dent J. 12 (2001): 43-6.
- [34] Chai, J., Tan, E. and Pang, I.C. A study of the surface hardness and dimensional stability of several intermaxillary registration materials. Int J Prosthodont. 7 (Nov-Dec 1994): 538-42.
- [35] ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา. สภาวะอากาศของประเทศไทย ในปีพ.ศ. 2553 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.tmd.go.th/programs/uploads/yearlySummary/T_weather2553.pdf [2555]
- [36] ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา. สภาวะอากาศของประเทศไทย ในปีพ.ศ. 2554 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

http://www.tmd.go.th/programs/uploads/yearlySummary/สภาวะอากาศ2554_up.pdf, [2555]

- [37] O'BRIEN, WJ. and Ryge, G. An outline of dental material and their selection USA: W.B.SAUNDERS COMPANY, 1997.
- [38] Combe, EC. Notes on dental materials. USA: Churchill Livingstone, 1986.
- [39] Millstein, P.L. and Clark, R.E. Determination of the accuracy of laminated wax interocclusal wafers. J Prosthet Dent. 50 (Sep 1983): 327-31.
- [40] Muller, J., Gotz, G., Horz, W. and Kraft, E. Study of the accuracy of different recording materials. J Prosthet Dent. 63 (Jan 1990): 41-6.
- [41] Buchwald, R., Breed, M.D. and Greenberg, A.R. The thermal properties of beeswaxes: unexpected findings. J Exp Biol. 211 (Jan 2008): 121-7.
- [42] รัชนี ศิริสุข. Thermal analysis for polymer characterization. เอกสารประกอบการสอน.
- [43] Anusavice, K.J. and Phillips, R.W. Phillips' science of dental materials. St. Louis: Saunders, 2003.
- [44] Parkell, Inc. BLU-MOUSSE SUPERFAST INSTRUCTIONS [online]. Available from: <http://www.parkell.com/Media/Display.aspx?pdf=339&pdfchoice=1>
- [45] Parkell, Inc. GREEN-MOUSSE INSTRUCTIONS [online]. Available from: <http://www.parkell.com/Media/Display.aspx?pdf=339&pdfchoice=1>
- [46] Dentsply, Caulk. Regisil® PB DIRECTIONS FOR USE. [online]. Available from: http://www.dentsply.es/DFU/eng/Regisil_eng.pdf
- [47] 3M, EPSE. Ramitec™ Penta™ [online]. Available from: http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=66666UuZjcFSLXTt4Xf6mXTyEVuQEcuZgVs6EVs6E666666--&fn=ramitec_ifu_we.pdf
- [48] Anusavice, K.J. and Phillips, R.W. Phillips' science of dental materials. St. Louis, Mo: Saunders, 2003.
- [49] ASTM International. Standard test method for needle penetration of petroleum waxes, ASTM D1321-04.
- [50] Johnson, P.A. and Pinkalla, H.A. Dental impression compound, 1976.

- [51] Eames, W.B., Wallace, S.W., Suway, N.B. and Rogers, L.B. Accuracy and dimensional stability of elastomeric impression materials. J Prosthet Dent. 42 (Aug 1979): 159-62.
- [52] Marcinak, C.F., Young, F.A., Draughn, R.A. and Flemming, W.R. Linear dimensional changes in elastic impression materials. J Dent Res. 59 (Jul 1980): 1152-5.
- [53] Ghazal, M., Ludwig, K., Habil, R.N. and Kern, M. Evaluation of vertical accuracy of interocclusal recording materials. Quintessence Int. 39 (Oct 2008): 727-32.
- [54] Hannig, M. and Bott, B. In-vitro pulp chamber temperature rise during composite resin polymerization with various light-curing sources. Dental Materials. 15 (1999): 275-81.

ภาคผนวก

การศึกษานำร่อง

การศึกษานำร่องเพื่อศึกษาสมบัติของซีผึ้งบันทึกการสบฟันที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า 3 ผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 27 โดยศึกษาระยะเวลาแทรกผ่านของพีวีไทรมิเตอร์ ค่าความแข็งผิวและการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้น

ตารางที่ 27 แสดงซีผึ้งบันทึกการสบฟันทางการค้าต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษานำร่อง

ลำดับ	ชื่อ	บริษัท	ชื่อย่อ
1	Aluwax Bite & Impression Wax	Aluwax Dental Products Co., USA.	ALUWAX
2	Alminax wax	Associated Dental Products Ltd.,UK.	ALMINAX
3	ซีผึ้งบันทึกการสบฟันที่ผลิตในไทย	มีนา ตัวแทนจำหน่าย	ALUT

ผลการศึกษาระยะการแทรกผ่านโดยพีวีไทรมิเตอร์ของซีผึ้งบันทึกการสบฟันทางการค้าเป็นดังตารางที่ 28 โดยใช้ขั้นตอนทดสอบกลุ่มละ 10 ซีน

ตารางที่ 28 แสดงระยะเวลาแทรกผ่านโดยพีวีไทรมิเตอร์ของซีผึ้งบันทึกการสบฟันทางการค้า

ชื่อ ผลิตภัณฑ์	เวลา (นาที่)						
	1	2	3	4	5	6	7
	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)
ALUWAX	2.885 (0.026)	2.745 (0.031)	2.450 (0.114)	1.611 (0.131)	0.706 (0.089)	0.463 (0.105)	0.251 (0.108)
ALMINAX	2.607 (0.055)	1.544 (0.125)	0.607 (0.142)	0.251 (0.038)	0.067 (0.008)	0.067 (0.008)	0.067 (0.008)
ALUT	2.879 (0.044)	2.722 (0.063)	0.657 (0.108)	0.217 (0.117)	0.091 (0.007)	0.089 (0.009)	0.093 (0.011)

ผลการศึกษาค่าความแข็งผิวชอร์ เอ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีผึ้งบันทึกการสบฟันทางการค้า ดังตารางที่ 29 โดยใช้ขั้นตอนทดสอบกลุ่มละ 10 ซีน พบว่าซีผึ้งบันทึกการสบฟันมีค่าความแข็ง

ผิวที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสอยู่ในช่วง 69.44 (± 0.74) ถึง 74.14 (± 0.42) ค่าความแข็งผิวที่ 30 องศาเซลเซียสอยู่ในช่วง 57.82 (± 0.35) ถึง 69.26 (± 0.34) และค่าความแข็งผิวที่ 37 องศาเซลเซียสอยู่ในช่วง 35.12 (± 0.29) ถึง 60.28 (± 0.43) โดยพบว่า ALUWAX และ ALMINAX มีค่าความแข็งผิวที่ต่ำและสูงที่สุด ตามลำดับ

ตารางที่ 29 แสดงค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ค่าความแข็งผิวของซีเมนต์บ่มที่การสปพื้นที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่อุณหภูมิ 25 30 และ 37 องศาเซลเซียส

ผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิ		
	25°C	30°C	37°C
ALUWAX	69.44 (0.74)	57.82 (0.35)	35.12 (0.29)
ALMINAX	74.14 (0.42)	69.26 (0.34)	60.28 (0.43)
ALUT	70.26 (0.79)	60.22 (0.41)	54.96 (0.28)

ผลการศึกษาร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นตามเวลาของซีเมนต์บ่มที่การสปพื้นทางการค้า ดังตารางที่ 30 โดยใช้ชั้นทดสอบกลุ่มละ 10 ชั้น พบว่าซีเมนต์บ่มที่การสปพื้นมีค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่ 0.5 ชั่วโมง อยู่ในช่วง 0.0516 (± 0.0043) ถึง 0.0619 (± 0.0047) และพบว่าซีเมนต์บ่มที่การสปพื้นทุกผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มมากขึ้นตามเวลา โดยมีร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นมากที่สุดเมื่อเวลาผ่านไป 72 ชั่วโมง ซึ่งอยู่ในช่วง 0.0881 (± 0.0075) ถึง 0.1584 (± 0.0098)

ตารางที่ 30 แสดงค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) การเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของซีเมนต์บ่มที่การสปพื้นที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่อุณหภูมิ 25 30 และ 37 องศาเซลเซียส

ผลิตภัณฑ์	เวลา (ชั่วโมง)				
	0.5	1	24	48	72
ALUWAX	0.0543 (0.0045)	0.0555 (0.0024)	0.0901 (0.0050)	0.0958 (0.0050)	0.0962 (0.0142)
ALMINAX	0.0516 (0.0043)	0.0545 (0.0041)	0.0821 (0.0080)	0.0858 (0.0065)	0.0881 (0.0075)
ALUT	0.0619 (0.0047)	0.0644 (0.0044)	0.1002 (0.0066)	0.1522 (0.0079)	0.1584 (0.0098)

ตารางที่ 31 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิวของซี่ผึ้งที่ใช้เป็นสารตั้งต้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ชนิดซี่ผึ้ง	ค่าความแข็งผิวชอร์ เอ(ยูนิต)	
	ที่ 25°C	ที่ 37°C
พาราฟิน	68.1	59.5
ไมโครคริสตัลไลน์	55.3	45.4
คาร์บูบา	92	82.7
บีแวกซ์	65.6	60.2

จากตารางที่ 32 แสดงการศึกษานำร่องอัตราส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมสูตรซี่ผึ้งขึ้นใหม่ ซึ่งสูตรที่ 1-3 พบว่ายังมีความร่วนเนื่องจากยังมีส่วนประกอบของพาราฟินที่มากเกินไป จึงปรับโดยการเติมไมโครคริสตัลไลน์ในปริมาณที่มากขึ้นเป็นสูตร ที่ 4-6 ซึ่งทำให้มีความร่วนและความเปราะที่ลดลง แต่จะมีความเหนียวติดถุงมือมากขึ้น และมีความยืดหยุ่นต่ำ จึงปรับปรุงเพิ่มโดยการเติมยางสนสังเคราะห์ ซึ่งพบว่าการเติมยางสนสังเคราะห์จะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น โดยใส่เป็นปริมาณร้อยละ 25 จะช่วยลดการหดตัวของซี่ผึ้งได้ จึงได้เป็นสูตรที่ 7-9 ซึ่งมีสมบัติทั่วไปที่ดีแต่ยังมีความเหนียวติดถุงมือ จึงปรับสูตรเพิ่มเติมด้วยการใช้บีแวกซ์เพื่อลดความเหนียวติดถุงมือ และเพิ่มสมบัติการไหลแผ่ที่อุณหภูมิช่องปาก จึงได้เป็นสูตรที่ 10-12 และนำสูตรที่ 7-12 มาทดสอบสมบัติต่าง ๆ ดังตารางที่ 33

ตารางที่ 32 แสดงร้อยละของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมสูตรซีฟิ้งบันทึกการสพพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่

สูตร	P	M	B	MR	ลักษณะ
1	80	20	-	-	ร่วน ไม่สามารถปั้นแต่งได้ เพราะหัก
2	70	30	-	-	ยังมีความร่วน ไม่สามารถปั้นแต่งได้ เพราะหัก
3	60	40	-	-	ร่วนน้อยลง เริ่มปั้นแต่งได้บ้าง แต่ยังไม่เพราะหัก
4	55	45	-	-	ปั้นแต่งได้ดีขึ้นกว่าสูตร 3 ยังมีความเปราะ เริ่มเหนียวติดถุงมือ ยืดหยุ่นได้น้อย
5	50	50	-	-	ปั้นแต่งได้ดีขึ้นกว่าสูตร 4 ซีฟิ้งมีความเนียนเข้ากัน เหนียวติดถุงมือมากกว่าสูตร 4 ยืดหยุ่นได้น้อย
6	40	60	-	-	ปั้นแต่งได้ดี ซีฟิ้งมีความเนียนเข้ากัน ยืดหยุ่นได้น้อย เหนียวติดถุงมือมากกว่าสูตร 5
7	42.5	32.5	-	25	ปรับปรุงจากสูตร 4 ปั้นแต่งได้ดี ซีฟิ้งมีความเปราะ ลดลง ยังเหนียวติดถุงมือเล็กน้อย ยืดหยุ่นได้ดีขึ้น
8	37.5	37.5	-	25	ปรับปรุงจากสูตร 5 ปั้นแต่งได้ดีขึ้น ซีฟิ้งมีความเปราะ ลดลง ยังเหนียวติดถุงมือเล็กน้อย ยืดหยุ่นได้ดีขึ้น
9	27.5	47.5	-	25	ปรับปรุงจากสูตร 6 ปั้นแต่งได้ดีขึ้น ซีฟิ้งมีความเปราะ ลดลง เหนียวติดถุงมือ มากกว่าสูตร 7 และ 8 ยืดหยุ่นได้ดีขึ้น
10	40	30	5	25	ปรับปรุงจากสูตร 7 ปั้นแต่งได้ดี ซีฟิ้งไม่เปราะ ไม่เหนียวติดถุงมือ ยืดหยุ่นได้ดี
11	35	35	5	25	ปรับปรุงจากสูตร 8 ปั้นแต่งได้ดี ซีฟิ้งไม่เปราะ ไม่เหนียวติดถุงมือ ยืดหยุ่นได้ดี
12	25	45	5	25	ปรับปรุงจากสูตร 9 ปั้นแต่งได้ดี ซีฟิ้งไม่เปราะ ยังเหนียวติดถุงมือเล็กน้อย ยืดหยุ่นได้ดี

หมายเหตุ P = Paraffin, M = Microcrystalline, C = Carnauba, B = Beeswax

ตารางที่ 33 แสดงข้อมูลค่าความแข็งแรงผิวของซีเมนต์ที่เตรียมขึ้นใหม่สูตร 7-12

ซีเมนต์สูตรที่	ความแข็งแรงผิวชอร์ เอ (ยูนิต)	
	25°C	37°C
7	73.1	64.3
8	72.4	63.5
9	67.3	60.5
10	72	63.4
11	70	62.7
12	66.6	59.2

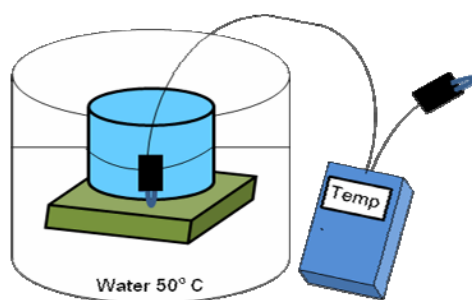
จากตารางที่ 33 พบว่าสูตรซีเมนต์ที่มีค่าความแข็งแรงผิวที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสที่สูงกว่า 70 ยูนิต คือ สูตรที่ 7 8 10 และ 11 จึงนำทั้ง 4 สูตรดังกล่าวมาทดสอบการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่าง ๆ ดังตารางที่ 34

ตารางที่ 34 การศึกษานำร่องแสดงข้อมูลร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นของซีเมนต์บ่มที่การสพพื้นที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าและซีเมนต์ที่เตรียมขึ้นใหม่สูตร 7 8 10 และ 11

สูตร	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลา (ชั่วโมง)				
	0.5	1	24	48	72
ALUWAX	0.0543	0.0555	0.0901	0.0962	0.0958
ALMINAX	0.0516	0.0545	0.0821	0.0858	0.0881ZSa
ALUT	0.0619	0.0644	0.1002	0.1522	0.1584
7	0.0649	0.0755	0.1098	0.1483	0.1619
8	0.0619	0.0706	0.1069	0.1342	0.1471
10	0.0641	0.0728	0.1039	0.1404	0.1626
11	0.0590	0.0615	0.0948	0.1261	0.1305

จากตารางที่ 34 พบว่าซีเมนต์ที่เตรียมขึ้นใหม่สูตรที่ 11 มีการเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นในทุกช่วงเวลาทดสอบ ที่น้อยกว่าซีเมนต์บ่มที่การสพพื้นที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า คือ ALUT (โดย ALUT มีการเปลี่ยนแปลงมิติที่มากกว่า ซีเมนต์บ่มที่การสพพื้นที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าชนิดอื่น ๆ

จึงใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบ) จึงนำสูตร 11 ไปทดสอบการนำความร้อนโดยการเติมผงอะลูมิเนียมในสัดส่วนต่าง ๆ ซึ่งดัดแปลงวิธีการจากการศึกษาของ Hannig and Bott, 1999(54) โดยใช้ซีฟิ่งที่เตรียมขึ้นใหม่สูตร 11 และซีฟิ่งที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า ยึดติดเข้ากับแกนพลาสติกซึ่งเป็นฉนวนกันความร้อน ดังภาพที่ 34 การทดสอบเริ่มต้นที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ปลายเทอร์โมคัปเปิลเสียบบริเวณกึ่งกลางของซีฟิ่ง รอจนอุณหภูมิมิอ่านค่าได้คงที่ 10 นาที บันทึกข้อมูลอุณหภูมิแรกเริ่ม (ซึ่งจะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิห้อง 25 ± 1 องศาเซลเซียส) จากนั้นนำซีฟิ่งที่มีเทอร์โมคัปเปิลเสียบอยู่ วางในน้ำที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 50 ± 1 องศาเซลเซียส จับเวลาและทำการบันทึกค่าอุณหภูมิทุก ๆ 1 นาทีจนกระทั่งครบ 10 นาที โดยซีฟิ่งและเทอร์โมคัปเปิลต้องอยู่นิ่งในตำแหน่งเดิมตลอดการทดสอบ คำนวณการเปลี่ยนแปลงโดยเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่บันทึกได้ในแต่ละนาทีกับอุณหภูมิที่บันทึกได้ขณะเริ่มต้น ซึ่งทำให้ผลดังตารางที่ 35



ภาพที่ 34 ภาพจำลองแบบชิ้นงานระหว่างการทดสอบการนำความร้อน

ตารางที่ 35 การศึกษานำร่องแสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของซีฟิ่งบันทึกการสพพื้นที่ซีฟิ่งสูตร 11 ที่ได้รับการเติมผงอะลูมิเนียม และที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า

สูตร	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่นาที									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ALUWAX	7	8	9	10	10	11	13	15	17	17
ALMINAX	7	9	9	10	12	12	14	15	16	17
ALUT	8	9	9	10	10	12	14	16	18	18
11	8	9	11	12	12	13	15	16	17	17
11+5%AL	9	11	13	14	15	16	17	17	19	20
11+10%AL	10	12	15	18	19	19	20	20	22	23
11+15%AL	10	13	15	18	19	19	20	21	22	23

จากตารางที่ 35 พบว่า สูตร 11 มีการนำความร้อนที่ใกล้เคียงกับขี้ผึ้งที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า การเติมผงอะลูมิเนียมร้อยละ 5 ทำให้มีการนำความร้อนที่ดีกว่าสูตร 11 และการเติมผงอะลูมิเนียมร้อยละ 10 ให้ผลในการนำความร้อนที่ดีกว่าการเติมผงอะลูมิเนียมร้อยละ 5 แต่ไม่แตกต่างจากการเติมผงอะลูมิเนียมร้อยละ 15 ดังนั้นจากการศึกษานำร่องทั้งหมดจึงเลือกสูตรที่ 11 ที่มีการเติมผงอะลูมิเนียมร้อยละ 10 เป็นสูตรหลักในการศึกษาครั้งนี้

ตารางที่ 36 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาการแทรกผ่านของพินิโตรมิเตอร์ในขี้ผึ้งทุกกลุ่มที่เวลา 1 นาที

Descriptives Statistics

wax	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Minimum	Maximum
1 ALUWAX	10	2.8850	.02550	.00806	2.85	2.93
2 ALMINAX	10	2.6070	.05458	.01726	2.50	2.68
3 ALUT	10	2.8790	.04383	.01386	2.80	2.94
4 C00	10	2.9170	.02214	.00700	2.89	2.95
5 C05	10	2.9080	.04158	.01315	2.85	2.99
6 C10	10	2.8200	.03197	.01011	2.78	2.87
7 C15	10	1.8630	.06075	.01921	1.75	1.94
8 C20	10	1.5630	.04855	.01535	1.50	1.63
Total	80	2.5553	.50551	.05652	1.50	2.99

ตารางที่ 37 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบ
ระยะเวลาแทรกผ่านของพีวีไทรมิเตอร์ในซี่ผึ้งทุกกลุ่มที่เวลา 1 นาที

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.218	7	72	.042

ตารางที่ 38 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบ
ระยะเวลาแทรกผ่านของพีวีไทรมิเตอร์ในซี่ผึ้งทุกกลุ่มที่เวลา 1 นาที

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	20.054	7	2.865	1544.618	.000
Within Groups	.134	72	.002		
Total	20.187	79			

Robust Tests of Equality of Means

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	1544.618	7	54.389	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 39 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาแทรกผ่านของ
พินิโตรมิเตอร์ในซี่ผึ้งทุกกลุ่มที่เวลา 1 นาที

Multiple Comparisons

Tamhane

(I) WAX	(J) WAX	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 ALUWAX	2 ALMINAX	.27800*	.01905	.000	.2034	.3526
	3 ALUT	.00600	.01603	1.000	-.0550	.0670
	4 C00	-.03200	.01068	.198	-.0711	.0071
	5 C05	-.02300	.01542	.992	-.0813	.0353
	6 C10	.06500*	.01293	.003	.0174	.1126
	7 C15	1.02200*	.02083	.000	.9392	1.1048
	8 C20	1.32200*	.01734	.000	1.2551	1.3889
	2 ALMINAX	1 ALUWAX	-.27800*	.01905	.000	-.3526
3 ALUT		-.27200*	.02214	.000	-.3534	-.1906
4 C00		-.31000*	.01862	.000	-.3843	-.2357
5 C05		-.30100*	.02170	.000	-.3811	-.2209
6 C10		-.21300*	.02000	.000	-.2890	-.1370
7 C15		.74400*	.02582	.000	.6496	.8384
8 C20		1.04400*	.02310	.000	.9595	1.1285
3 ALUT		1 ALUWAX	-.00600	.01603	1.000	-.0670
	2 ALMINAX	.27200*	.02214	.000	.1906	.3534
	4 C00	-.03800	.01553	.561	-.0982	.0222

	5 C05		-0.02900	.01910	.988	-0.0988	.0408
	6 C10		.05900	.01716	.087	-0.0046	.1226
	7 C15		1.01600*	.02369	.000	.9281	1.1039
	8 C20		1.31600*	.02068	.000	1.2404	1.3916
4 C00	1 ALUWAX		.03200	.01068	.198	-0.0071	.0711
	2 ALMINAX		.31000*	.01862	.000	.2357	.3843
	3 ALUT		.03800	.01553	.561	-0.0222	.0982
	5 C05		.00900	.01490	1.000	-0.0483	.0663
	6 C10		.09700*	.01230	.000	.0512	.1428
	7 C15		1.05400*	.02045	.000	.9714	1.1366
	8 C20		1.35400*	.01687	.000	1.2877	1.4203
5 C05	1 ALUWAX		.02300	.01542	.992	-0.0353	.0813
	2 ALMINAX		.30100*	.02170	.000	.2209	.3811
	3 ALUT		.02900	.01910	.988	-0.0408	.0988
	4 C00		-0.00900	.01490	1.000	-0.0663	.0483
	6 C10		.08800*	.01659	.002	.0268	.1492
	7 C15		1.04500*	.02328	.000	.9581	1.1319
	8 C20		1.34500*	.02021	.000	1.2709	1.4191
6 C10	1 ALUWAX		-0.06500*	.01293	.003	-0.1126	-0.0174
	2 ALMINAX		.21300*	.02000	.000	.1370	.2890
	3 ALUT		-0.05900	.01716	.087	-0.1226	.0046
	4 C00		-0.09700*	.01230	.000	-0.1428	-0.0512
	5 C05		-0.08800*	.01659	.002	-0.1492	-0.0268
	7 C15		.95700*	.02171	.000	.8733	1.0407
	8 C20		1.25700*	.01838	.000	1.1881	1.3259

7 C15	1 ALUWAX	-1.02200*	.02083	.000	-1.1048	-.9392
	2 ALMINAX	-.74400*	.02582	.000	-.8384	-.6496
	3 ALUT	-1.01600*	.02369	.000	-1.1039	-.9281
	4 C00	-1.05400*	.02045	.000	-1.1366	-.9714
	5 C05	-1.04500*	.02328	.000	-1.1319	-.9581
	6 C10	-.95700*	.02171	.000	-1.0407	-.8733
	8 C20	.30000*	.02459	.000	.2095	.3905
	8 C20	1 ALUWAX	-1.32200*	.01734	.000	-1.3889
2 ALMINAX		-1.04400*	.02310	.000	-1.1285	-.9595
3 ALUT		-1.31600*	.02068	.000	-1.3916	-1.2404
4 C00		-1.35400*	.01687	.000	-1.4203	-1.2877
5 C05		-1.34500*	.02021	.000	-1.4191	-1.2709
6 C10		-1.25700*	.01838	.000	-1.3259	-1.1881
7 C15		-.30000*	.02459	.000	-.3905	-.2095

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

ตารางที่ 40 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะการแทรกผ่านของ
พีวีไทรเมเตอริในซีเมนต์ทุกกลุ่มที่เวลา 2 นาที

Descriptives

wax	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Minimum	Maximum
1 ALUWAX	10	2.7450	.03136	.00992	2.70	2.80
2 ALMINAX	10	1.5440	.12518	.03959	1.34	1.70
3 ALUT	10	2.7220	.06250	.01977	2.60	2.80
4 C00	10	2.8000	.02906	.00919	2.74	2.84

5 C05	10	2.6770	.04990	.01578	2.62	2.78
6 C10	10	1.5900	.08524	.02696	1.47	1.70
7 C15	10	.9930	.04644	.01469	.92	1.06
8 C20	10	.9940	.04766	.01507	.90	1.04
Total	80	2.0081	.76376	.08539	.90	2.84

ตารางที่ 41 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบ
ระยะเวลาแทรกผ่านของพีวีไดรไมเตอร์ในซี่ผึ้งทุกกลุ่มที่เวลา 2 นาที

Test of Homogeneity of Variances

PENETRATE

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
7.675	7	72	.000

ตารางที่ 42 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบ
ระยะเวลาแทรกผ่านของพีวีไดรไมเตอร์ในซี่ผึ้งทุกกลุ่มที่เวลา 2 นาที

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	45.762	7	6.537	1469.508	.000
Within Groups	.320	72	.004		
Total	46.083	79			

Robust Tests of Equality of Means

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	1469.508	7	34.405	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 43 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาแทรกผ่านของ
พีวีไตรมิเตอร์ในซีเมนต์ทุกกลุ่มที่เวลา 2 นาที

Multiple Comparisons

Tamhane

(I) WAX	(J) WAX	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 ALUWAX	2 ALMINAX	1.20100 [*]	.04081	.000	1.0303	1.3717
	3 ALUT	.02300	.02211	1.000	-.0628	.1088
	4 C00	-.05500 [*]	.01352	.020	-.1044	-.0056
	5 C05	.06800	.01864	.064	-.0022	.1382
	6 C10	1.15500 [*]	.02872	.000	1.0391	1.2709
	7 C15	1.75200 [*]	.01772	.000	1.6858	1.8182
	8 C20	1.75100 [*]	.01804	.000	1.6834	1.8186
	2 ALMINAX	1 ALUWAX	-1.20100 [*]	.04081	.000	-1.3717
3 ALUT		-1.17800 [*]	.04425	.000	-1.3498	-1.0062
4 C00		-1.25600 [*]	.04064	.000	-1.4268	-1.0852
5 C05		-1.13300 [*]	.04262	.000	-1.3034	-.9626
6 C10		-.04600	.04789	1.000	-.2248	.1328
7 C15		.55100 [*]	.04222	.000	.3808	.7212
8 C20		.55000 [*]	.04236	.000	.3797	.7203

3 ALUT	1 ALUWAX	-0.02300	.02211	1.000	-.1088	.0628
	2 ALMINAX	1.17800 [*]	.04425	.000	1.0062	1.3498
	4 C00	-.07800	.02180	.093	-.1634	.0074
	5 C05	.04500	.02529	.935	-.0481	.1381
	6 C10	1.13200 [*]	.03343	.000	1.0081	1.2559
	7 C15	1.72900 [*]	.02462	.000	1.6378	1.8202
	8 C20	1.72800 [*]	.02486	.000	1.6362	1.8198
	4 C00	1 ALUWAX	.05500 [*]	.01352	.020	.0056
2 ALMINAX		1.25600 [*]	.04064	.000	1.0852	1.4268
3 ALUT		.07800	.02180	.093	-.0074	.1634
5 C05		.12300 [*]	.01826	.000	.0535	.1925
6 C10		1.21000 [*]	.02848	.000	1.0941	1.3259
7 C15		1.80700 [*]	.01732	.000	1.7417	1.8723
8 C20		1.80600 [*]	.01765	.000	1.7392	1.8728
5 C05		1 ALUWAX	-.06800	.01864	.064	-.1382
	2 ALMINAX	1.13300 [*]	.04262	.000	.9626	1.3034
	3 ALUT	-.04500	.02529	.935	-.1381	.0481
	4 C00	-.12300 [*]	.01826	.000	-.1925	-.0535
	6 C10	1.08700 [*]	.03124	.000	.9682	1.2058
	7 C15	1.68400 [*]	.02156	.000	1.6052	1.7628
	8 C20	1.68300 [*]	.02182	.000	1.6033	1.7627
	6 C10	1 ALUWAX	-1.15500 [*]	.02872	.000	-1.2709
2 ALMINAX		.04600	.04789	1.000	-.1328	.2248
3 ALUT		-1.13200 [*]	.03343	.000	-1.2559	-1.0081
4 C00		-1.21000 [*]	.02848	.000	-1.3259	-1.0941

	5 C05	-1.08700 [*]	.03124	.000	-1.2058	-.9682
	7 C15	.59700 [*]	.03070	.000	.4792	.7148
	8 C20	.59600 [*]	.03088	.000	.4779	.7141
7 C15	1 ALUWAX	-1.75200 [*]	.01772	.000	-1.8182	-1.6858
	2 ALMINAX	-.55100 [*]	.04222	.000	-.7212	-.3808
	3 ALUT	-1.72900 [*]	.02462	.000	-1.8202	-1.6378
	4 C00	-1.80700 [*]	.01732	.000	-1.8723	-1.7417
	5 C05	-1.68400 [*]	.02156	.000	-1.7628	-1.6052
	6 C10	-.59700 [*]	.03070	.000	-.7148	-.4792
	8 C20	-.00100	.02104	1.000	-.0778	.0758
8 C20	1 ALUWAX	-1.75100 [*]	.01804	.000	-1.8186	-1.6834
	2 ALMINAX	-.55000 [*]	.04236	.000	-.7203	-.3797
	3 ALUT	-1.72800 [*]	.02486	.000	-1.8198	-1.6362
	4 C00	-1.80600 [*]	.01765	.000	-1.8728	-1.7392
	5 C05	-1.68300 [*]	.02182	.000	-1.7627	-1.6033
	6 C10	-.59600 [*]	.03088	.000	-.7141	-.4779
	7 C15	.00100	.02104	1.000	-.0758	.0778

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

ตารางที่ 44 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะการแทรกผ่านของ
พีวีไทรเมเตอริในซี่ผึ้งทุกกลุ่มที่เวลา 3 นาที

Descriptives

wax	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Minimum	Maximum
1 ALUWAX	10	2.4500	.11431	.03615	2.24	2.58

2 ALMINAX	10	.6070	.14150	.04475	.39	.80
3 ALUT	10	.6570	.10771	.03406	.47	.78
4 C00	10	1.6170	.05293	.01674	1.53	1.70
5 C05	10	.6190	.15051	.04760	.45	.87
6 C10	10	.1480	.03048	.00964	.11	.20
7 C15	10	.2440	.02836	.00897	.20	.28
8 C20	10	.2180	.02530	.00800	.18	.26
Total	80	.8200	.76435	.08546	.11	2.58

ตารางที่ 45 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบ
ระยะเวลาแทรกผ่านของฟีนีโตรมิเตอร์ในซี่ผึ้งทุกกลุ่มที่เวลา 3 นาที

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
12.460	7	72	.000

ตารางที่ 46 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบ
ระยะเวลาแทรกผ่านของฟีนีโตรมิเตอร์ในซี่ผึ้งทุกกลุ่มที่เวลา 3 นาที

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	45.502	7	6.500	717.077	.000
Within Groups	.653	72	.009		
Total	46.155	79			

Robust Tests of Equality of Means

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	717.077	7	38.505	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 47 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาแทรกผ่านของ
พินิตอร์มิเตอร์ในซี่ผึ้งทุกกลุ่มที่เวลา 3 นาที

Multiple Comparisons

Tamhane

(I) WAX	(J) WAX	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 ALUWAX	2 ALMINAX	1.84300 [*]	.05752	.000	1.6315	2.0545
	3 ALUT	1.79300 [*]	.04967	.000	1.6116	1.9744
	4 C00	.83300 [*]	.03983	.000	.6768	.9892
	5 C05	1.83100 [*]	.05977	.000	1.6102	2.0518
	6 C10	2.30200 [*]	.03741	.000	2.1463	2.4577
	7 C15	2.20600 [*]	.03724	.000	2.0501	2.3619
	8 C20	2.23200 [*]	.03702	.000	2.0759	2.3881
	2 ALMINAX	1 ALUWAX	-1.84300 [*]	.05752	.000	-2.0545
3 ALUT		-.05000	.05624	1.000	-.2577	.1577
4 C00		-1.01000 [*]	.04777	.000	-1.2024	-.8176
5 C05		-.01200	.06533	1.000	-.2506	.2266
6 C10		.45900 [*]	.04577	.000	.2657	.6523
7 C15		.36300 [*]	.04564	.000	.1695	.5565

	8 C20	.38900 [*]	.04546	.000	.1953	.5827
3 ALUT	1 ALUWAX	-1.79300 [*]	.04967	.000	-1.9744	-1.6116
	2 ALMINAX	.05000	.05624	1.000	-.1577	.2577
	4 C00	-.96000 [*]	.03795	.000	-1.1077	-.8123
	5 C05	.03800	.05853	1.000	-.1794	.2554
	6 C10	.50900 [*]	.03540	.000	.3624	.6556
	7 C15	.41300 [*]	.03522	.000	.2662	.5598
	8 C20	.43900 [*]	.03499	.000	.2920	.5860
	4 C00	1 ALUWAX	-.83300 [*]	.03983	.000	-.9892
2 ALMINAX		1.01000 [*]	.04777	.000	.8176	1.2024
3 ALUT		.96000 [*]	.03795	.000	.8123	1.1077
5 C05		.99800 [*]	.05045	.000	.7933	1.2027
6 C10		1.46900 [*]	.01931	.000	1.3954	1.5426
7 C15		1.37300 [*]	.01899	.000	1.3000	1.4460
8 C20		1.39900 [*]	.01855	.000	1.3266	1.4714
5 C05		1 ALUWAX	-1.83100 [*]	.05977	.000	-2.0518
	2 ALMINAX	.01200	.06533	1.000	-.2266	.2506
	3 ALUT	-.03800	.05853	1.000	-.2554	.1794
	4 C00	-.99800 [*]	.05045	.000	-1.2027	-.7933
	6 C10	.47100 [*]	.04856	.000	.2652	.6768
	7 C15	.37500 [*]	.04843	.001	.1691	.5809
	8 C20	.40100 [*]	.04826	.000	.1948	.6072
	6 C10	1 ALUWAX	-2.30200 [*]	.03741	.000	-2.4577
2 ALMINAX		-.45900 [*]	.04577	.000	-.6523	-.2657
3 ALUT		-.50900 [*]	.03540	.000	-.6556	-.3624

	4 C00	-1.46900 [*]	.01931	.000	-1.5426	-1.3954
	5 C05	-.47100 [*]	.04856	.000	-.6768	-.2652
	7 C15	-.09600 [*]	.01317	.000	-.1441	-.0479
	8 C20	-.07000 [*]	.01253	.001	-.1160	-.0240
7 C15	1 ALUWAX	-2.20600 [*]	.03724	.000	-2.3619	-2.0501
	2 ALMINAX	-.36300 [*]	.04564	.000	-.5565	-.1695
	3 ALUT	-.41300 [*]	.03522	.000	-.5598	-.2662
	4 C00	-1.37300 [*]	.01899	.000	-1.4460	-1.3000
	5 C05	-.37500 [*]	.04843	.001	-.5809	-.1691
	6 C10	.09600 [*]	.01317	.000	.0479	.1441
	8 C20	.02600	.01202	.720	-.0180	.0700
8 C20	1 ALUWAX	-2.23200 [*]	.03702	.000	-2.3881	-2.0759
	2 ALMINAX	-.38900 [*]	.04546	.000	-.5827	-.1953
	3 ALUT	-.43900 [*]	.03499	.000	-.5860	-.2920
	4 C00	-1.39900 [*]	.01855	.000	-1.4714	-1.3266
	5 C05	-.40100 [*]	.04826	.000	-.6072	-.1948
	6 C10	.07000 [*]	.01253	.001	.0240	.1160
	7 C15	-.02600	.01202	.720	-.0700	.0180

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

ตารางที่ 48 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาแทรกผ่านของ
พีนีโตรมิเตอร์ในขี้ผึ้งทุกกลุ่มที่เวลา 4 นาที

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Minimum	Maximum
1 ALUWAX	10	1.6110	.13169	.04165	1.43	1.78
2 ALMINAX	10	.2510	.03843	.01215	.19	.30
3 ALUT	10	.2170	.11653	.03685	.09	.40
4 C00	10	.8090	.03107	.00983	.76	.85
5 C05	10	.1330	.01059	.00335	.12	.15
6 C10	10	.0420	.00789	.00249	.03	.05
7 C15	10	.0440	.00699	.00221	.03	.05
8 C20	10	.0360	.00843	.00267	.03	.05
Total	80	.3929	.52508	.05871	.03	1.78

ตารางที่ 49 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบ
ระยะเวลาแทรกผ่านของพีนีโตรมิเตอร์ในขี้ผึ้งทุกกลุ่มที่เวลา 4 นาที

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
36.213	7	72	.000

ตารางที่ 50 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบ
ระยะเวลาแทรกผ่านของพีวีไทรมิเตอร์ในซี่ผึ้งทุกกลุ่มที่เวลา 4 นาที

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	21.478	7	3.068	729.256	.000
Within Groups	.303	72	.004		
Total	21.781	79			

Robust Tests of Equality of Means

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	729.256	7	20.881	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 51 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาแทรกผ่านของ
พีวีไทรมิเตอร์ในซี่ผึ้งทุกกลุ่มที่เวลา 4 นาที

Multiple Comparisons

Tamhane

(I) WAX	(J) WAX	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 ALUWAX	2 ALMINAX	1.36000 [*]	.04338	.000	1.1808	1.5392
	3 ALUT	1.39400 [*]	.05561	.000	1.1905	1.5975
	4 C00	.80200 [*]	.04279	.000	.6223	.9817

	5 C05	1.47800 [*]	.04178	.000	1.2968	1.6592
	6 C10	1.56900 [*]	.04172	.000	1.3877	1.7503
	7 C15	1.56700 [*]	.04170	.000	1.3857	1.7483
	8 C20	1.57500 [*]	.04173	.000	1.3937	1.7563
2 ALMINAX	1 ALUWAX	-1.36000 [*]	.04338	.000	-1.5392	-1.1808
	3 ALUT	.03400	.03880	1.000	-.1245	.1925
	4 C00	-.55800 [*]	.01563	.000	-.6155	-.5005
	5 C05	.11800 [*]	.01261	.000	.0657	.1703
	6 C10	.20900 [*]	.01241	.000	.1565	.2615
	7 C15	.20700 [*]	.01235	.000	.1544	.2596
	8 C20	.21500 [*]	.01244	.000	.1625	.2675
3 ALUT	1 ALUWAX	-1.39400 [*]	.05561	.000	-1.5975	-1.1905
	2 ALMINAX	-.03400	.03880	1.000	-.1925	.1245
	4 C00	-.59200 [*]	.03814	.000	-.7508	-.4332
	5 C05	.08400	.03700	.754	-.0763	.2443
	6 C10	.17500 [*]	.03693	.029	.0146	.3354
	7 C15	.17300 [*]	.03692	.031	.0126	.3334
	8 C20	.18100 [*]	.03695	.023	.0206	.3414
4 C00	1 ALUWAX	-.80200 [*]	.04279	.000	-.9817	-.6223
	2 ALMINAX	.55800 [*]	.01563	.000	.5005	.6155
	3 ALUT	.59200 [*]	.03814	.000	.4332	.7508
	5 C05	.67600 [*]	.01038	.000	.6337	.7183
	6 C10	.76700 [*]	.01014	.000	.7246	.8094
	7 C15	.76500 [*]	.01007	.000	.7226	.8074
	8 C20	.77300 [*]	.01018	.000	.7307	.8153

5 C05	1 ALUWAX	-1.47800 [*]	.04178	.000	-1.6592	-1.2968
	2 ALMINAX	-.11800 [*]	.01261	.000	-.1703	-.0657
	3 ALUT	-.08400	.03700	.754	-.2443	.0763
	4 C00	-.67600 [*]	.01038	.000	-.7183	-.6337
	6 C10	.09100 [*]	.00418	.000	.0755	.1065
	7 C15	.08900 [*]	.00401	.000	.0740	.1040
	8 C20	.09700 [*]	.00428	.000	.0812	.1128
	6 C10	1 ALUWAX	-1.56900 [*]	.04172	.000	-1.7503
2 ALMINAX		-.20900 [*]	.01241	.000	-.2615	-.1565
3 ALUT		-.17500 [*]	.03693	.029	-.3354	-.0146
4 C00		-.76700 [*]	.01014	.000	-.8094	-.7246
5 C05		-.09100 [*]	.00418	.000	-.1065	-.0755
7 C15		-.00200	.00333	1.000	-.0142	.0102
8 C20		.00600	.00365	.970	-.0073	.0193
7 C15		1 ALUWAX	-1.56700 [*]	.04170	.000	-1.7483
	2 ALMINAX	-.20700 [*]	.01235	.000	-.2596	-.1544
	3 ALUT	-.17300 [*]	.03692	.031	-.3334	-.0126
	4 C00	-.76500 [*]	.01007	.000	-.8074	-.7226
	5 C05	-.08900 [*]	.00401	.000	-.1040	-.0740
	6 C10	.00200	.00333	1.000	-.0102	.0142
	8 C20	.00800	.00346	.614	-.0047	.0207
	8 C20	1 ALUWAX	-1.57500 [*]	.04173	.000	-1.7563
2 ALMINAX		-.21500 [*]	.01244	.000	-.2675	-.1625
3 ALUT		-.18100 [*]	.03695	.023	-.3414	-.0206
4 C00		-.77300 [*]	.01018	.000	-.8153	-.7307

5 C05	-.09700*	.00428	.000	-.1128	-.0812
6 C10	-.00600	.00365	.970	-.0193	.0073
7 C15	-.00800	.00346	.614	-.0207	.0047

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

ตารางที่ 52 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะการแทรกผ่านของ
พีวีไทรเมเตอรีนซี่ฝงทุกกลุ่มที่เวลา 5 นาที

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Minimum	Maximum
1 ALUWAX	10	.7060	.08872	.02806	.60	.84
2 ALMINAX	10	.0670	.00823	.00260	.06	.08
3 ALUT	10	.0910	.00738	.00233	.08	.10
4 C00	10	.2990	.03035	.00960	.25	.36
5 C05	10	.0590	.00738	.00233	.05	.07
6 C10	10	.0430	.00675	.00213	.03	.05
7 C15	10	.0450	.00527	.00167	.04	.05
8 C20	10	.0360	.00843	.00267	.03	.05
Total	80	.1682	.22247	.02487	.03	.84

ตารางที่ 53 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบ
ระยะเวลาแทรกผ่านของพีวีไดรมิเตอร์ในขั้วฝังทุกกลุ่มที่เวลา 5 นาที

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
46.136	7	72	.000

ตารางที่ 54 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบ
ระยะเวลาแทรกผ่านของพีวีไดรมิเตอร์ในขั้วฝังทุกกลุ่มที่เวลา 5 นาที

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.828	7	.547	480.042	.000
Within Groups	.082	72	.001		
Total	3.910	79			

Robust Tests of Equality of Means

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	480.042	7	11.898	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 55 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาแทรกผ่านของ
พินิโตรมิเตอร์ในซี่ฝังทุกกลุ่มที่เวลา 5 นาที

Multiple Comparisons

Tamhane

(I) WAX	(J) WAX	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 ALUWAX	2 ALMINAX	.63900 [*]	.02818	.000	.5170	.7610
	3 ALUT	.61500 [*]	.02815	.000	.4929	.7371
	4 C00	.40700 [*]	.02965	.000	.2864	.5276
	5 C05	.64700 [*]	.02815	.000	.5249	.7691
	6 C10	.66300 [*]	.02814	.000	.5409	.7851
	7 C15	.66100 [*]	.02810	.000	.5389	.7831
	8 C20	.67000 [*]	.02818	.000	.5480	.7920
	2 ALMINAX	1 ALUWAX	-.63900 [*]	.02818	.000	-.7610
3 ALUT		-.02400 [*]	.00350	.000	-.0368	-.0112
4 C00		-.23200 [*]	.00994	.000	-.2733	-.1907
5 C05		.00800	.00350	.627	-.0048	.0208
6 C10		.02400 [*]	.00337	.000	.0116	.0364
7 C15		.02200 [*]	.00309	.000	.0104	.0336
8 C20		.03100 [*]	.00373	.000	.0174	.0446
3 ALUT		1 ALUWAX	-.61500 [*]	.02815	.000	-.7371
	2 ALMINAX	.02400 [*]	.00350	.000	.0112	.0368
	4 C00	-.20800 [*]	.00988	.000	-.2494	-.1666
	5 C05	.03200 [*]	.00330	.000	.0200	.0440

	6 C10	.04800 [*]	.00316	.000	.0364	.0596
	7 C15	.04600 [*]	.00287	.000	.0353	.0567
	8 C20	.05500 [*]	.00354	.000	.0420	.0680
4 C00	1 ALUWAX	-.40700 [*]	.02965	.000	-.5276	-.2864
	2 ALMINAX	.23200 [*]	.00994	.000	.1907	.2733
	3 ALUT	.20800 [*]	.00988	.000	.1666	.2494
	5 C05	.24000 [*]	.00988	.000	.1986	.2814
	6 C10	.25600 [*]	.00983	.000	.2146	.2974
	7 C15	.25400 [*]	.00974	.000	.2124	.2956
	8 C20	.26300 [*]	.00996	.000	.2217	.3043
5 C05	1 ALUWAX	-.64700 [*]	.02815	.000	-.7691	-.5249
	2 ALMINAX	-.00800	.00350	.627	-.0208	.0048
	3 ALUT	-.03200 [*]	.00330	.000	-.0440	-.0200
	4 C00	-.24000 [*]	.00988	.000	-.2814	-.1986
	6 C10	.01600 [*]	.00316	.002	.0044	.0276
	7 C15	.01400 [*]	.00287	.004	.0033	.0247
	8 C20	.02300 [*]	.00354	.000	.0100	.0360
6 C10	1 ALUWAX	-.66300 [*]	.02814	.000	-.7851	-.5409
	2 ALMINAX	-.02400 [*]	.00337	.000	-.0364	-.0116
	3 ALUT	-.04800 [*]	.00316	.000	-.0596	-.0364
	4 C00	-.25600 [*]	.00983	.000	-.2974	-.2146
	5 C05	-.01600 [*]	.00316	.002	-.0276	-.0044
	7 C15	-.00200	.00271	1.000	-.0120	.0080
	8 C20	.00700	.00342	.801	-.0056	.0196
7 C15	1 ALUWAX	-.66100 [*]	.02810	.000	-.7831	-.5389

	2 ALMINAX	-.02200*	.00309	.000	-.0336	-.0104
	3 ALUT	-.04600*	.00287	.000	-.0567	-.0353
	4 C00	-.25400*	.00974	.000	-.2956	-.2124
	5 C05	-.01400*	.00287	.004	-.0247	-.0033
	6 C10	.00200	.00271	1.000	-.0080	.0120
	8 C20	.00900	.00314	.283	-.0029	.0209
8 C20	1 ALUWAX	-.67000*	.02818	.000	-.7920	-.5480
	2 ALMINAX	-.03100*	.00373	.000	-.0446	-.0174
	3 ALUT	-.05500*	.00354	.000	-.0680	-.0420
	4 C00	-.26300*	.00996	.000	-.3043	-.2217
	5 C05	-.02300*	.00354	.000	-.0360	-.0100
	6 C10	-.00700	.00342	.801	-.0196	.0056
	7 C15	-.00900	.00314	.283	-.0209	.0029

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

ตารางที่ 56 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะการแทรกผ่านของ
พีวีเอไมเตอร์ในซี่ผึ้งทุกกลุ่มที่เวลา 6 นาที

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Minimum	Maximum
1 ALUWAX	10	.4630	.10531	.03330	.31	.60
2 ALMINAX	10	.0670	.00823	.00260	.06	.08
3 ALUT	10	.0890	.00876	.00277	.08	.10
4 C00	10	.0570	.00949	.00300	.04	.07
5 C05	10	.0610	.00738	.00233	.05	.07
6 C10	10	.0420	.00789	.00249	.03	.05

7 C15	10	.0440	.00699	.00221	.03	.05
8 C20	10	.0360	.00843	.00267	.03	.05
Total	80	.1074	.14093	.01576	.03	.60

ตารางที่ 57 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบ
ระยะเวลาแทรกผ่านของพีวีโตรีมิเตอร์ในซีฟิ่งทุกกลุ่มที่เวลา 6 นาที

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
35.419	7	72	.000

ตารางที่ 58 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบ
ระยะเวลาแทรกผ่านของพีวีโตรีมิเตอร์ในซีฟิ่งทุกกลุ่มที่เวลา 6 นาที

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.465	7	.209	144.830	.000
Within Groups	.104	72	.001		
Total	1.569	79			

Robust Tests of Equality of Means

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	144.830	7	9.778	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 59 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาแทรกผ่านของ
พินิตอร์มิเตอร์ในซี่ฝังทุกกลุ่มที่เวลา 6 นาที

Multiple Comparisons

Tamhane

(I) WAX	(J) WAX	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 ALUWAX	2 ALMINAX	.39600 [*]	.03340	.000	.2511	.5409
	3 ALUT	.37400 [*]	.03342	.000	.2291	.5189
	4 C00	.40600 [*]	.03344	.000	.2612	.5508
	5 C05	.40200 [*]	.03338	.000	.2571	.5469
	6 C10	.42100 [*]	.03339	.000	.2761	.5659
	7 C15	.41900 [*]	.03337	.000	.2740	.5640
	8 C20	.42700 [*]	.03341	.000	.2821	.5719
	2 ALMINAX	1 ALUWAX	-.39600 [*]	.03340	.000	-.5409
3 ALUT		-.02200 [*]	.00380	.000	-.0359	-.0081
4 C00		.01000	.00397	.459	-.0045	.0245
5 C05		.00600	.00350	.953	-.0068	.0188
6 C10		.02500 [*]	.00361	.000	.0118	.0382
7 C15		.02300 [*]	.00342	.000	.0105	.0355
8 C20		.03100 [*]	.00373	.000	.0174	.0446
3 ALUT		1 ALUWAX	-.37400 [*]	.03342	.000	-.5189
	2 ALMINAX	.02200 [*]	.00380	.000	.0081	.0359
	4 C00	.03200 [*]	.00408	.000	.0171	.0469
	5 C05	.02800 [*]	.00362	.000	.0147	.0413

	6 C10	.04700 [*]	.00373	.000	.0334	.0606
	7 C15	.04500 [*]	.00354	.000	.0320	.0580
	8 C20	.05300 [*]	.00384	.000	.0390	.0670
4 C00	1 ALUWAX	-.40600 [*]	.03344	.000	-.5508	-.2612
	2 ALMINAX	-.01000	.00397	.459	-.0245	.0045
	3 ALUT	-.03200 [*]	.00408	.000	-.0469	-.0171
	5 C05	-.00400	.00380	1.000	-.0180	.0100
	6 C10	.01500 [*]	.00390	.034	.0007	.0293
	7 C15	.01300	.00373	.078	-.0008	.0268
	8 C20	.02100 [*]	.00401	.002	.0063	.0357
5 C05	1 ALUWAX	-.40200 [*]	.03338	.000	-.5469	-.2571
	2 ALMINAX	-.00600	.00350	.953	-.0188	.0068
	3 ALUT	-.02800 [*]	.00362	.000	-.0413	-.0147
	4 C00	.00400	.00380	1.000	-.0100	.0180
	6 C10	.01900 [*]	.00342	.001	.0065	.0315
	7 C15	.01700 [*]	.00321	.001	.0053	.0287
	8 C20	.02500 [*]	.00354	.000	.0120	.0380
6 C10	1 ALUWAX	-.42100 [*]	.03339	.000	-.5659	-.2761
	2 ALMINAX	-.02500 [*]	.00361	.000	-.0382	-.0118
	3 ALUT	-.04700 [*]	.00373	.000	-.0606	-.0334
	4 C00	-.01500 [*]	.00390	.034	-.0293	-.0007
	5 C05	-.01900 [*]	.00342	.001	-.0315	-.0065
	7 C15	-.00200	.00333	1.000	-.0142	.0102
	8 C20	.00600	.00365	.970	-.0073	.0193
7 C15	1 ALUWAX	-.41900 [*]	.03337	.000	-.5640	-.2740

	2 ALMINAX	-.02300*	.00342	.000	-.0355	-.0105
	3 ALUT	-.04500*	.00354	.000	-.0580	-.0320
	4 C00	-.01300	.00373	.078	-.0268	.0008
	5 C05	-.01700*	.00321	.001	-.0287	-.0053
	6 C10	.00200	.00333	1.000	-.0102	.0142
	8 C20	.00800	.00346	.614	-.0047	.0207
8 C20	1 ALUWAX	-.42700*	.03341	.000	-.5719	-.2821
	2 ALMINAX	-.03100*	.00373	.000	-.0446	-.0174
	3 ALUT	-.05300*	.00384	.000	-.0670	-.0390
	4 C00	-.02100*	.00401	.002	-.0357	-.0063
	5 C05	-.02500*	.00354	.000	-.0380	-.0120
	6 C10	-.00600	.00365	.970	-.0193	.0073
	7 C15	-.00800	.00346	.614	-.0207	.0047

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

ตารางที่ 60 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะการแทรกผ่านของ
พีวีดีเออร์มิเตอร์ในซี่ผึ้งทุกกลุ่มที่เวลา 7 นาที

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Minimum	Maximum
1 ALUWAX	10	.2510	.10826	.03424	.15	.40
2 ALMINAX	10	.0670	.00823	.00260	.06	.08
3 ALUT	10	.0930	.01059	.00335	.08	.11
4 C00	10	.0570	.00949	.00300	.04	.07
5 C05	10	.0590	.00738	.00233	.05	.07

6 C10	10	.0420	.00789	.00249	.03	.05
7 C15	10	.0440	.00699	.00221	.03	.05
8 C20	10	.0360	.00843	.00267	.03	.05
Total	80	.0811	.07649	.00855	.03	.40

ตารางที่ 61 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบ
ระยะการแทรกผ่านของพีนีโตรมิเตอร์ในซีฟิ่งทุกกลุ่มที่เวลา 7 นาที

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
87.745	7	72	.000

ตารางที่ 62 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบ
ระยะการแทรกผ่านของพีนีโตรมิเตอร์ในซีฟิ่งทุกกลุ่มที่เวลา 7 นาที

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.352	7	.050	32.913	.000
Within Groups	.110	72	.002		
Total	.462	79			

Robust Tests of Equality of Means

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	32.913	7	9.792	.000

ตารางที่ 63 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาแทรกผ่านของ
พินิโตรมิเตอร์ในซี่ฝังทุกกลุ่มที่เวลา 7 นาที

Multiple Comparisons

Tamhane

(I) WAX	(J) WAX	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 ALUWAX	2 ALMINAX	.18400 [*]	.03433	.012	.0350	.3330
	3 ALUT	.15800 [*]	.03440	.034	.0091	.3069
	4 C00	.19400 [*]	.03437	.008	.0451	.3429
	5 C05	.19200 [*]	.03432	.009	.0430	.3410
	6 C10	.20900 [*]	.03433	.005	.0600	.3580
	7 C15	.20700 [*]	.03431	.005	.0580	.3560
	8 C20	.21500 [*]	.03434	.004	.0660	.3640
2 ALMINAX	1 ALUWAX	-.18400 [*]	.03433	.012	-.3330	-.0350
	3 ALUT	-.02600 [*]	.00424	.000	-.0416	-.0104
	4 C00	.01000	.00397	.459	-.0045	.0245
	5 C05	.00800	.00350	.627	-.0048	.0208
	6 C10	.02500 [*]	.00361	.000	.0118	.0382
	7 C15	.02300 [*]	.00342	.000	.0105	.0355
	8 C20	.03100 [*]	.00373	.000	.0174	.0446
3 ALUT	1 ALUWAX	-.15800 [*]	.03440	.034	-.3069	-.0091
	2 ALMINAX	.02600 [*]	.00424	.000	.0104	.0416
	4 C00	.03600 [*]	.00450	.000	.0196	.0524
	5 C05	.03400 [*]	.00408	.000	.0188	.0492

	6 C10	.05100 [*]	.00418	.000	.0355	.0665
	7 C15	.04900 [*]	.00401	.000	.0340	.0640
	8 C20	.05700 [*]	.00428	.000	.0412	.0728
4 C00	1 ALUWAX	-.19400 [*]	.03437	.008	-.3429	-.0451
	2 ALMINAX	-.01000	.00397	.459	-.0245	.0045
	3 ALUT	-.03600 [*]	.00450	.000	-.0524	-.0196
	5 C05	-.00200	.00380	1.000	-.0160	.0120
	6 C10	.01500 [*]	.00390	.034	.0007	.0293
	7 C15	.01300	.00373	.078	-.0008	.0268
	8 C20	.02100 [*]	.00401	.002	.0063	.0357
5 C05	1 ALUWAX	-.19200 [*]	.03432	.009	-.3410	-.0430
	2 ALMINAX	-.00800	.00350	.627	-.0208	.0048
	3 ALUT	-.03400 [*]	.00408	.000	-.0492	-.0188
	4 C00	.00200	.00380	1.000	-.0120	.0160
	6 C10	.01700 [*]	.00342	.003	.0045	.0295
	7 C15	.01500 [*]	.00321	.005	.0033	.0267
	8 C20	.02300 [*]	.00354	.000	.0100	.0360
6 C10	1 ALUWAX	-.20900 [*]	.03433	.005	-.3580	-.0600
	2 ALMINAX	-.02500 [*]	.00361	.000	-.0382	-.0118
	3 ALUT	-.05100 [*]	.00418	.000	-.0665	-.0355
	4 C00	-.01500 [*]	.00390	.034	-.0293	-.0007
	5 C05	-.01700 [*]	.00342	.003	-.0295	-.0045
	7 C15	-.00200	.00333	1.000	-.0142	.0102
	8 C20	.00600	.00365	.970	-.0073	.0193
7 C15	1 ALUWAX	-.20700 [*]	.03431	.005	-.3560	-.0580

	2 ALMINAX	-.02300 [*]	.00342	.000	-.0355	-.0105
	3 ALUT	-.04900 [*]	.00401	.000	-.0640	-.0340
	4 C00	-.01300	.00373	.078	-.0268	.0008
	5 C05	-.01500 [*]	.00321	.005	-.0267	-.0033
	6 C10	.00200	.00333	1.000	-.0102	.0142
	8 C20	.00800	.00346	.614	-.0047	.0207
8 C20	1 ALUWAX	-.21500 [*]	.03434	.004	-.3640	-.0660
	2 ALMINAX	-.03100 [*]	.00373	.000	-.0446	-.0174
	3 ALUT	-.05700 [*]	.00428	.000	-.0728	-.0412
	4 C00	-.02100 [*]	.00401	.002	-.0357	-.0063
	5 C05	-.02300 [*]	.00354	.000	-.0360	-.0100
	6 C10	-.00600	.00365	.970	-.0193	.0073
	7 C15	-.00800	.00346	.614	-.0207	.0047

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

ตารางที่ 64 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะการแทรกผ่านของ ฟีนีโตรมิเตอร์ในซีเมนต์ที่ทำการสับฟันผลิตภัณฑ์ ALUWAX ที่เวลาต่าง ๆ โดยโปรแกรม SPSS Statistics version 17.0 และการทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยโปรแกรม SigmaStat version 3.5

Descriptive Statistics

TIME	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
1 1MINUTE PENETRATE	10	2.85	2.93	2.8850	.02550
2 2MINUTE PENETRATE	10	2.70	2.80	2.7450	.03136
3 3MINUTE PENETRATE	10	2.24	2.58	2.4500	.11431
4 4MINUTE PENETRATE	10	1.43	1.78	1.6110	.13169

5 5MINUTE PENETRATE	10	.60	.84	.7060	.08872
6 6MINUTE PENETRATE	10	.31	.60	.4630	.10531
7 7MINUTE PENETRATE	10	.15	.40	.2510	.10826

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Test execution ended by user request, RM ANOVA on Ranks begun

Friedman Repeated Measures Analysis of Variance on Ranks

Group	N	Missing	Median	25%	75%
wax1time1	10	0	2.885	2.860	2.900
wax1time2	10	0	2.745	2.730	2.760
wax1time3	10	0	2.455	2.400	2.550
wax1time4	10	0	1.605	1.510	1.740
wax1time5	10	0	0.700	0.630	0.780
wax1time6	10	0	0.465	0.360	0.560
wax1time7	10	0	0.225	0.150	0.350

Chi-square= 60.000 with 6 degrees of freedom. (P = <0.001)

The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0.001)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparison	Diff of Ranks	q	P<0.05
wax1time1 vs wax1time7	60.000	8.783	Yes
wax1time1 vs wax1time6	50.000	7.319	Yes
wax1time1 vs wax1time5	40.000	5.855	Yes
wax1time1 vs wax1time4	30.000	4.392	Yes
wax1time1 vs wax1time3	20.000	2.928	No
wax1time1 vs wax1time2	10.000	1.464	Do Not Test

wax1time2 vs wax1time7	50.000	7.319	Yes
wax1time2 vs wax1time6	40.000	5.855	Yes
wax1time2 vs wax1time5	30.000	4.392	Yes
wax1time2 vs wax1time4	20.000	2.928	No
wax1time2 vs wax1time3	10.000	1.464	Do Not Test
wax1time3 vs wax1time7	40.000	5.855	Yes
wax1time3 vs wax1time6	30.000	4.392	Yes
wax1time3 vs wax1time5	20.000	2.928	No
wax1time3 vs wax1time4	10.000	1.464	Do Not Test
wax1time4 vs wax1time7	30.000	4.392	Yes
wax1time4 vs wax1time6	20.000	2.928	No
wax1time4 vs wax1time5	10.000	1.464	Do Not Test
wax1time5 vs wax1time7	20.000	2.928	No
wax1time5 vs wax1time6	10.000	1.464	Do Not Test
wax1time6 vs wax1time7	10.000	1.464	Do Not Test

ตารางที่ 65 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาแทรกผ่านของ
 ฟีนีโตรมิเตอร์ในซีเมนต์ที่การสปันผลิตภัณฑ์ ALMINAX ที่เวลาต่าง ๆ โดยโปรแกรม SPSS
 Statistics version 17.0 และการทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยโปรแกรม SigmaStat
 version 3.5

Descriptive Statistics

TIME	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
1 1MINUTE PENETRATE	10	2.50	2.68	2.6070	.05458
Valid N (listwise)	10				
2 2MINUTE PENETRATE	10	1.34	1.70	1.5440	.12518
Valid N (listwise)	10				
3 3MINUTE PENETRATE	10	.39	.80	.6070	.14150
Valid N (listwise)	10				

4	4MINUTE	PENETRATE	10	.19	.30	.2510	.03843
		Valid N (listwise)	10				
5	5MINUTE	PENETRATE	10	.06	.08	.0670	.00823
		Valid N (listwise)	10				
6	6MINUTE	PENETRATE	10	.06	.08	.0670	.00823
		Valid N (listwise)	10				
7	7MINUTE	PENETRATE	10	.06	.08	.0670	.00823
		Valid N (listwise)	10				

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Test execution ended by user request, RM ANOVA on Ranks begun

Friedman Repeated Measures Analysis of Variance on Ranks

Group	N	Missing	Median	25%	75%
wax2time1	10	0	2.600	2.590	2.650
wax2time2	10	0	1.575	1.420	1.650
wax2time3	10	0	0.665	0.480	0.700
wax2time4	10	0	0.260	0.220	0.270
wax2time5	10	0	0.0650	0.0600	0.0700
wax2time6	10	0	0.0650	0.0600	0.0700
wax2time7	10	0	0.0650	0.0600	0.0700

Chi-square= 59.316 with 6 degrees of freedom. (P = <0.001)

The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0.001)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparison	Diff of Ranks	q	P<0.05
wax2time1 vs wax2time7	50.000	7.319	Yes

wax2time1 vs wax2time6	50.000	7.319	Yes
wax2time1 vs wax2time5	50.000	7.319	Yes
wax2time1 vs wax2time4	30.000	4.392	Yes
wax2time1 vs wax2time3	20.000	2.928	No
wax2time1 vs wax2time2	10.000	1.464	Do Not Test
wax2time2 vs wax2time7	40.000	5.855	Yes
wax2time2 vs wax2time6	40.000	5.855	Yes
wax2time2 vs wax2time5	40.000	5.855	Yes
wax2time2 vs wax2time4	20.000	2.928	No
wax2time2 vs wax2time3	10.000	1.464	Do Not Test
wax2time3 vs wax2time7	30.000	4.392	Yes
wax2time3 vs wax2time6	30.000	4.392	Yes
wax2time3 vs wax2time5	30.000	4.392	Yes
wax2time3 vs wax2time4	10.000	1.464	Do Not Test
wax2time4 vs wax2time7	20.000	2.928	No
wax2time4 vs wax2time6	20.000	2.928	Do Not Test
wax2time4 vs wax2time5	20.000	2.928	Do Not Test
wax2time5 vs wax2time7	0.000	0.000	Do Not Test
wax2time5 vs wax2time6	0.000	0.000	Do Not Test
wax2time6 vs wax2time7	0.000	0.000	Do Not Test

ตารางที่ 66 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะการแทรกผ่านของ
 ฟีนีโตรมิเตอร์ในชั้นขึ้นที่ทำการสปันผลิตภัณฑ์ ALUT ที่เวลาต่าง ๆ โดยโปรแกรม SPSS
 Statistics version 17.0 และการทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยโปรแกรม SigmaStat
 version 3.5

Descriptive Statistics

TIME	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
1 1MINUTE PENETRATE	10	2.8790	.04383	2.80	2.94
2 2MINUTE PENETRATE	10	2.7220	.06250	2.60	2.80
3 3MINUTE PENETRATE	10	.6570	.10771	.47	.78
4 4MINUTE PENETRATE	10	.2170	.11653	.09	.40
5 5MINUTE PENETRATE	10	.0910	.00738	.08	.10
6 6MINUTE PENETRATE	10	.0890	.00876	.08	.10
7 7MINUTE PENETRATE	10	.0930	.01059	.08	.11

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Test execution ended by user request, RM ANOVA on Ranks begun

Friedman Repeated Measures Analysis of Variance on Ranks

Group	N	Missing	Median	25%	75%
wax3time1	10	0	2.880	2.850	2.920
wax3time2	10	0	2.745	2.680	2.770
wax3time3	10	0	0.685	0.580	0.750
wax3time4	10	0	0.235	0.1000	0.300
wax3time5	10	0	0.0900	0.0900	0.1000
wax3time6	10	0	0.0900	0.0800	0.1000
wax3time7	10	0	0.0900	0.0900	0.1000

Chi-square= 56.771 with 6 degrees of freedom. (P = <0.001)

The differences in the median values among the treatment groups are greater than
 would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0.001)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparison	Diff of Ranks	q	P<0.05
wax3time1 vs wax3time6	51.000	7.466	Yes
wax3time1 vs wax3time5	48.000	7.026	Yes
wax3time1 vs wax3time7	44.500	6.514	Yes
wax3time1 vs wax3time4	36.500	5.343	Yes
wax3time1 vs wax3time3	20.000	2.928	No
wax3time1 vs wax3time2	10.000	1.464	Do Not Test
wax3time2 vs wax3time6	41.000	6.002	Yes
wax3time2 vs wax3time5	38.000	5.563	Yes
wax3time2 vs wax3time7	34.500	5.050	Yes
wax3time2 vs wax3time4	26.500	3.879	No
wax3time2 vs wax3time3	10.000	1.464	Do Not Test
wax3time3 vs wax3time6	31.000	4.538	Yes
wax3time3 vs wax3time5	28.000	4.099	No
wax3time3 vs wax3time7	24.500	3.586	Do Not Test
wax3time3 vs wax3time4	16.500	2.415	Do Not Test
wax3time4 vs wax3time6	14.500	2.123	No
wax3time4 vs wax3time5	11.500	1.683	Do Not Test
wax3time4 vs wax3time7	8.000	1.171	Do Not Test
wax3time7 vs wax3time6	6.500	0.952	Do Not Test
wax3time7 vs wax3time5	3.500	0.512	Do Not Test
wax3time5 vs wax3time6	3.000	0.439	Do Not Test

ตารางที่ 67 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาการแทรกผ่านของ
พีวีไทรเมเตอร์ในชั้นขี้ผึ้งบันทึกการสับสนสูตร C00 ที่เวลาต่าง ๆ โดยโปรแกรม SPSS Statistics
version 17.0 และการทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยโปรแกรม SigmaStat version 3.5

Descriptive Statistics

TIME	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
1 1MINUTE PENETRATE	10	2.9170	.02214	2.89	2.95
2 2MINUTE PENETRATE	10	2.8000	.02906	2.74	2.84
3 3MINUTE PENETRATE	10	1.6170	.05293	1.53	1.70
4 4MINUTE PENETRATE	10	.8090	.03107	.76	.85
5 5MINUTE PENETRATE	10	.2990	.03035	.25	.36
6 6MINUTE PENETRATE	10	.0570	.00949	.04	.07
7 7MINUTE PENETRATE	10	.0570	.00949	.04	.07

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Test execution ended by user request, RM ANOVA on Ranks begun

Friedman Repeated Measures Analysis of Variance on Ranks

Data source: Data 1 in data setting oneway non-para by each wax.SNB

Group	N	Missing	Median	25%	75%
wax4time1	10	0	2.915	2.900	2.940
wax4time2	10	0	2.805	2.790	2.820
wax4time3	10	0	1.625	1.580	1.650
wax4time4	10	0	0.805	0.790	0.830
wax4time5	10	0	0.295	0.280	0.320
wax4time6	10	0	0.0600	0.0500	0.0600
wax4time7	10	0	0.0600	0.0500	0.0600

Chi-square= 60.000 with 6 degrees of freedom. (P = <0.001)

The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference ($P = <0.001$)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparison	Diff of Ranks	q	P<0.05
wax4time1 vs wax4time7	55.000	8.051	Yes
wax4time1 vs wax4time6	55.000	8.051	Yes
wax4time1 vs wax4time5	40.000	5.855	Yes
wax4time1 vs wax4time4	30.000	4.392	Yes
wax4time1 vs wax4time3	20.000	2.928	No
wax4time1 vs wax4time2	10.000	1.464	Do Not Test
wax4time2 vs wax4time7	45.000	6.587	Yes
wax4time2 vs wax4time6	45.000	6.587	Yes
wax4time2 vs wax4time5	30.000	4.392	Yes
wax4time2 vs wax4time4	20.000	2.928	No
wax4time2 vs wax4time3	10.000	1.464	Do Not Test
wax4time3 vs wax4time7	35.000	5.123	Yes
wax4time3 vs wax4time6	35.000	5.123	Yes
wax4time3 vs wax4time5	20.000	2.928	No
wax4time3 vs wax4time4	10.000	1.464	Do Not Test
wax4time4 vs wax4time7	25.000	3.660	No
wax4time4 vs wax4time6	25.000	3.660	Do Not Test
wax4time4 vs wax4time5	10.000	1.464	Do Not Test
wax4time5 vs wax4time7	15.000	2.196	Do Not Test
wax4time5 vs wax4time6	15.000	2.196	Do Not Test
wax4time6 vs wax4time7	0.000	0.000	Do Not Test

ตารางที่ 68 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะการแทรกผ่านของ ฟีนีโตรมิเตอร์ในชั้นไขมันที่ทำการสับฟันสูตร C05 ที่เวลาต่าง ๆ โดยโปรแกรม SPSS Statistics version 17.0 และการทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยโปรแกรม SigmaStat version 3.5

Descriptive Statistics

TIME	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
1 1MINUTE PENETRATE	10	2.9080	.04158	2.85	2.99
2 2MINUTE PENETRATE	10	2.6770	.04990	2.62	2.78
3 3MINUTE PENETRATE	10	.6190	.15051	.45	.87
4 4MINUTE PENETRATE	10	.1330	.01059	.12	.15
5 5MINUTE PENETRATE	10	.0590	.00738	.05	.07
6 6MINUTE PENETRATE	10	.0610	.00738	.05	.07
7 7MINUTE PENETRATE	10	.0590	.00738	.05	.07

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Test execution ended by user request, RM ANOVA on Ranks begun

Friedman Repeated Measures Analysis of Variance on Ranks

Data source: Data 1 in data setting oneway non-para by each wax.SNB

Group	N	Missing	Median	25%	75%
wax5time1	10	0	2.910	2.870	2.920
wax5time2	10	0	2.665	2.630	2.700
wax5time3	10	0	0.545	0.500	0.750
wax5time4	10	0	0.130	0.130	0.140
wax5time5	10	0	0.0600	0.0500	0.0600
wax5time6	10	0	0.0600	0.0600	0.0700
wax5time7	10	0	0.0600	0.0500	0.0600

Chi-square= 59.452 with 6 degrees of freedom. (P = <0.001)

The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0.001)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparison	Diff of Ranks	q	P<0.05
wax5time1 vs wax5time7	51.000	7.466	Yes
wax5time1 vs wax5time5	51.000	7.466	Yes
wax5time1 vs wax5time6	48.000	7.026	Yes
wax5time1 vs wax5time4	30.000	4.392	Yes
wax5time1 vs wax5time3	20.000	2.928	No
wax5time1 vs wax5time2	10.000	1.464	Do Not Test
wax5time2 vs wax5time7	41.000	6.002	Yes
wax5time2 vs wax5time5	41.000	6.002	Yes
wax5time2 vs wax5time6	38.000	5.563	Yes
wax5time2 vs wax5time4	20.000	2.928	No
wax5time2 vs wax5time3	10.000	1.464	Do Not Test
wax5time3 vs wax5time7	31.000	4.538	Yes
wax5time3 vs wax5time5	31.000	4.538	Yes
wax5time3 vs wax5time6	28.000	4.099	No
wax5time3 vs wax5time4	10.000	1.464	Do Not Test
wax5time4 vs wax5time7	21.000	3.074	No
wax5time4 vs wax5time5	21.000	3.074	Do Not Test
wax5time4 vs wax5time6	18.000	2.635	Do Not Test
wax5time6 vs wax5time7	3.000	0.439	Do Not Test
wax5time6 vs wax5time5	3.000	0.439	Do Not Test
wax5time5 vs wax5time7	0.000	0.000	Do Not Test

ตารางที่ 69 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะการแทรกผ่านของ ฟีนีโตรมิเตอร์ในซีเมนต์ที่ทำการสับฟันสูตร C10 ที่เวลาต่าง ๆ โดยโปรแกรม SPSS Statistics version 17.0 และการทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยโปรแกรม SigmaStat version 3.5

Descriptive Statistics

TIME	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
1 1MINUTE PENETRATE	10	2.8200	.03197	2.78	2.87
2 2MINUTE PENETRATE	10	1.5900	.08524	1.47	1.70
3 3MINUTE PENETRATE	10	.1480	.03048	.11	.20
4 4MINUTE PENETRATE	10	.0420	.00789	.03	.05
5 5MINUTE PENETRATE	10	.0430	.00675	.03	.05
6 6MINUTE PENETRATE	10	.0420	.00789	.03	.05
7 7MINUTE PENETRATE	10	.0420	.00789	.03	.05

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Test execution ended by user request, RM ANOVA on Ranks begun

Friedman Repeated Measures Analysis of Variance on Ranks

Data source: Data 1 in data setting oneway non-para by each wax.SNB

Group	N	Missing	Median	25%	75%
wax6time1	10	0	2.805	2.800	2.850
wax6time2	10	0	1.565	1.530	1.680
wax6time3	10	0	0.140	0.130	0.170
wax6time4	10	0	0.0400	0.0400	0.0500
wax6time5	10	0	0.0400	0.0400	0.0500
wax6time6	10	0	0.0400	0.0400	0.0500
wax6time7	10	0	0.0400	0.0400	0.0500

Chi-square= 59.305 with 6 degrees of freedom. (P = <0.001)

The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0.001)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparison	Diff of Ranks	q	P<0.05
wax6time1 vs wax6time7	45.500	6.661	Yes
wax6time1 vs wax6time6	45.500	6.661	Yes
wax6time1 vs wax6time4	45.500	6.661	Yes
wax6time1 vs wax6time5	43.500	6.368	Yes
wax6time1 vs wax6time3	20.000	2.928	No
wax6time1 vs wax6time2	10.000	1.464	Do Not Test
wax6time2 vs wax6time7	35.500	5.197	Yes
wax6time2 vs wax6time6	35.500	5.197	Yes
wax6time2 vs wax6time4	35.500	5.197	Yes
wax6time2 vs wax6time5	33.500	4.904	Yes
wax6time2 vs wax6time3	10.000	1.464	Do Not Test
wax6time3 vs wax6time7	25.500	3.733	No
wax6time3 vs wax6time6	25.500	3.733	Do Not Test
wax6time3 vs wax6time4	25.500	3.733	Do Not Test
wax6time3 vs wax6time5	23.500	3.440	Do Not Test
wax6time5 vs wax6time7	2.000	0.293	Do Not Test
wax6time5 vs wax6time6	2.000	0.293	Do Not Test
wax6time5 vs wax6time4	2.000	0.293	Do Not Test
wax6time4 vs wax6time7	0.000	0.000	Do Not Test
wax6time4 vs wax6time6	0.000	0.000	Do Not Test
wax6time6 vs wax6time7	0.000	0.000	Do Not Test

ตารางที่ 70 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะการแทรกผ่านของ ฟีนีโตรมิเตอร์ในซีเมนต์ที่ทำการสพพันสูตร C15 ที่เวลาต่าง ๆ โดยโปรแกรม SPSS Statistics version 17.0 และการทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยโปรแกรม SigmaStat version 3.5

Descriptive Statistics

TIME	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
1 1MINUTE PENETRATE	10	1.8630	.06075	1.75	1.94
2 2MINUTE PENETRATE	10	.9930	.04644	.92	1.06
3 3MINUTE PENETRATE	10	.2440	.02836	.20	.28
4 4MINUTE PENETRATE	10	.0440	.00699	.03	.05
5 5MINUTE PENETRATE	10	.0450	.00527	.04	.05
6 6MINUTE PENETRATE	10	.0440	.00699	.03	.05
7 7MINUTE PENETRATE	10	.0440	.00699	.03	.05

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Test execution ended by user request, RM ANOVA on Ranks begun

Friedman Repeated Measures Analysis of Variance on Ranks

Group	N	Missing	Median	25%	75%
wax7time1	10	0	1.880	1.820	1.910
wax7time2	10	0	0.990	0.960	1.030
wax7time3	10	0	0.250	0.220	0.270
wax7time4	10	0	0.0450	0.0400	0.0500
wax7time5	10	0	0.0450	0.0400	0.0500
wax7time6	10	0	0.0450	0.0400	0.0500
wax7time7	10	0	0.0450	0.0400	0.0500

Chi-square= 59.305 with 6 degrees of freedom. (P = <0.001)

The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0.001)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparison	Diff of Ranks	q	P<0.05
wax7time1 vs wax7time7	45.500	6.661	Yes
wax7time1 vs wax7time6	45.500	6.661	Yes
wax7time1 vs wax7time4	45.500	6.661	Yes
wax7time1 vs wax7time5	43.500	6.368	Yes
wax7time1 vs wax7time3	20.000	2.928	No
wax7time1 vs wax7time2	10.000	1.464	Do Not Test
wax7time2 vs wax7time7	35.500	5.197	Yes
wax7time2 vs wax7time6	35.500	5.197	Yes
wax7time2 vs wax7time4	35.500	5.197	Yes
wax7time2 vs wax7time5	33.500	4.904	Yes
wax7time2 vs wax7time3	10.000	1.464	Do Not Test
wax7time3 vs wax7time7	25.500	3.733	No
wax7time3 vs wax7time6	25.500	3.733	Do Not Test
wax7time3 vs wax7time4	25.500	3.733	Do Not Test
wax7time3 vs wax7time5	23.500	3.440	Do Not Test
wax7time5 vs wax7time7	2.000	0.293	Do Not Test
wax7time5 vs wax7time6	2.000	0.293	Do Not Test
wax7time5 vs wax7time4	2.000	0.293	Do Not Test
wax7time4 vs wax7time7	0.000	0.000	Do Not Test
wax7time4 vs wax7time6	0.000	0.000	Do Not Test
wax7time6 vs wax7time7	0.000	0.000	Do Not Test

ตารางที่ 71 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบระยะเวลาการแทรกผ่านของ
พีวีไทรมิเตอร์ในซีเมนต์ที่ทำการสพพันสูตร C20 ที่เวลาต่าง ๆ โดยโปรแกรม SPSS Statistics
version 17.0 และการทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยโปรแกรม SigmaStat version 3.5

Descriptive Statistics

TIME	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
1 1MINUTE PENETRATE	10	1.5630	.04855	1.50	1.63
2 2MINUTE PENETRATE	10	.9940	.04766	.90	1.04
3 3MINUTE PENETRATE	10	.2180	.02530	.18	.26
4 4MINUTE PENETRATE	10	.0360	.00843	.03	.05
5 5MINUTE PENETRATE	10	.0360	.00843	.03	.05
6 6MINUTE PENETRATE	10	.0360	.00843	.03	.05
7 7MINUTE PENETRATE	10	.0360	.00843	.03	.05

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Test execution ended by user request, RM ANOVA on Ranks begun

Friedman Repeated Measures Analysis of Variance on Ranks

Data source: Data 1 in data setting oneway non-para by each wax.SNB

Group	N	Missing	Median	25%	75%
wax8time1	10	0	1.560	1.520	1.610
wax8time2	10	0	1.010	0.970	1.030
wax8time3	10	0	0.215	0.200	0.230
wax8time4	10	0	0.0300	0.0300	0.0400
wax8time5	10	0	0.0300	0.0300	0.0400
wax8time6	10	0	0.0300	0.0300	0.0400
wax8time7	10	0	0.0300	0.0300	0.0400

Chi-square= 60.000 with 6 degrees of freedom. (P = <0.001)

The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference ($P = <0.001$)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparison	Diff of Ranks	q	P<0.05
wax8time1 vs wax8time7	45.000	6.587	Yes
wax8time1 vs wax8time6	45.000	6.587	Yes
wax8time1 vs wax8time5	45.000	6.587	Yes
wax8time1 vs wax8time4	45.000	6.587	Yes
wax8time1 vs wax8time3	20.000	2.928	No
wax8time1 vs wax8time2	10.000	1.464	Do Not Test
wax8time2 vs wax8time7	35.000	5.123	Yes
wax8time2 vs wax8time6	35.000	5.123	Yes
wax8time2 vs wax8time5	35.000	5.123	Yes
wax8time2 vs wax8time4	35.000	5.123	Yes
wax8time2 vs wax8time3	10.000	1.464	Do Not Test
wax8time3 vs wax8time7	25.000	3.660	No
wax8time3 vs wax8time6	25.000	3.660	Do Not Test
wax8time3 vs wax8time5	25.000	3.660	Do Not Test
wax8time3 vs wax8time4	25.000	3.660	Do Not Test
wax8time4 vs wax8time7	0.000	0.000	Do Not Test
wax8time4 vs wax8time6	0.000	0.000	Do Not Test
wax8time4 vs wax8time5	0.000	0.000	Do Not Test
wax8time5 vs wax8time7	0.000	0.000	Do Not Test
wax8time5 vs wax8time6	0.000	0.000	Do Not Test
wax8time6 vs wax8time7	0.000	0.000	Do Not Test

ตารางที่ 72 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสับพื้นที่ทุกกลุ่ม

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Minimum	Maximum
1 ALUWAX T25	10	69.4400	.74117	.23438	68.20	70.40
2 ALUWAX T30	10	57.8200	.35839	.11333	57.40	58.40
3 ALUWAX T37	10	35.1200	.28597	.09043	34.80	35.60
4 ALMINAX T25	10	74.1400	.42216	.13350	73.40	74.60
5 ALMINAX T30	10	69.2600	.34059	.10770	68.60	69.60
6 ALMINAX 37	10	60.2800	.43410	.13728	59.40	61.00
7 ALUT T25	10	70.2600	.78909	.24953	69.20	71.40
8 ALUT T30	10	60.2200	.41580	.13149	59.40	60.80
9 ALUTT37	10	54.9600	.27968	.08844	54.60	55.60
10 C00 T25	10	70.0000	.43205	.13663	69.40	70.80
11 C00 T30	10	67.5400	.87965	.27817	65.60	68.80
12 C00 T37	10	62.7000	.30185	.09545	62.20	63.00
13 C05 T25	10	72.5400	.21187	.06700	72.20	72.80
14 C05 T30	10	70.4600	.23190	.07333	70.20	70.80
15 C05 T37	10	65.2800	.25298	.08000	65.00	65.80
16 C10 T25	10	75.7400	.40056	.12667	75.20	76.40
17 C10 T30	10	73.4400	.32387	.10242	73.00	74.00
18 C10 T37	10	68.0000	.37712	.11926	67.60	68.80
19 C15 T25	10	78.6400	.29515	.09333	78.20	79.00
20 C15 T30	10	76.4200	.19889	.06289	76.20	76.80
21 C15 T37	10	71.1000	.32998	.10435	70.40	71.60

22 C20 T25	10	80.7000	.30185	.09545	80.40	81.20
23 C20 T30	10	78.3000	.32998	.10435	77.60	78.60
24 C20 T37	10	73.5400	.29889	.09452	73.00	74.00
Total	240	68.1625	9.53351	.61539	34.80	81.20

ตารางที่ 73 แสดงการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการการทดสอบค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสับป็นสูตรหลักและทางการค้า

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:HARDNESS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model ^a	12095.529 ^a	11	1099.594	4165.711	.000
Intercept	470927.523	1	470927.523	1784066.665	.000
TEMP	6330.314	2	3165.157	11990.913	.000
WAX	3528.670	3	1176.223	4456.017	.000
TEMP * WAX	2236.545	6	372.757	1412.158	.000
Error	28.508	108	.264		
Total	483051.560	120			
Corrected Total	12124.037	119			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .997)

ตารางที่ 74 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสับฟันสูตรหลักและทางการค้า

Test of Homogeneity of Variances

HARDNESS

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.165	11	108	.001

ตารางที่ 75 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสับฟันสูตรหลักและทางการค้า

ANOVA

HARDNESS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12095.529	11	1099.594	4165.711	.000
Within Groups	28.508	108	.264		
Total	12124.037	119			

Robust Tests of Equality of Means

HARDNESS

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	4165.711	11	61.375	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 76 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงซ้อนตามเฮน (Tamhane's T2) ในการทดสอบค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสปันสูตรหลักและทางการค้า

กลุ่ม	จำนวน	Subset for alpha = 0.05								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
ALUWAX T37	10	35								
ALUT T37	10		55							
ALUWAX T30	10			58						
ALUT T30	10				60					
ALMINAX T37	10				60					
C00 T37	10					63				
C00 T30	10						68			
ALMINAX T30	10							69		
ALUWAX T25	10							69	69	
C00 T25	10								70	
ALUT T25	10							70	70	
ALMINAX T25	10									74

ตารางที่ 77 แสดงการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสปันที่เตรียมขึ้นใหม่ 5 สูตร

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:HARDNESS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3711.613 ^a	14	265.115	1852.513	.000
Intercept	783948.907	1	783948.907	5477903.851	.000
WAX	2274.312	4	568.578	3972.983	.000
TEMP	1435.082	2	717.541	5013.874	.000

WAX * TEMP	2.219	8	.277	1.938	.059
Error	19.320	135	.143		
Total	787679.840	150			
Corrected Total	3730.933	149			

a. R Squared = .995 (Adjusted R Squared = .994)

ตารางที่ 78 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสพพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่ 5 สูตร

Test of Homogeneity of Variances

HARDNESS

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.336	14	135	.006

ตารางที่ 79 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสพพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่ 5 สูตร

ANOVA

HARDNESS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3711.613	14	265.115	1852.513	.000
Within Groups	19.320	135	.143		
Total	3730.933	149			

Robust Tests of Equality of Means

HARDNESS

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	1852.513	14	54.787	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 80 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงซ้อนทามเฮน (Tamhane's T2) ในการทดสอบค่าความแข็งผิวของซี่ฟันที่ทำการสับฟันที่เตรียมขึ้นใหม่ 5 ชุด

กลุ่ม	จำนวน	Subset for alpha = 0.05						
		1	2	3	4	5	6	7
C00T37	10	63						
C05T37	10		65					
C00T30	10			68				
C10T37	10			68				
C00T25	10				70			
C05T30	10				70			
C15T37	10					71		
C05T25	10						73	
C10T30	10							73
C20T37	10							74

ตารางที่ 80 (ต่อ) แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงซ้อนตามเสน (Tamhane's T2) ในการทดสอบค่าความแข็งแรงผิวของซีเมนต์ที่ทำการสับพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่ 5 สูตร

กลุ่ม	จำนวน	Subset for alpha = 0.05					
		6	7	8	9	10	11
C05T25	10	73					
C10T30	10		73				
C20T37	10		74				
C10T25	10			76			
C15T30	10				76		
C20T30	10					78	
C15T25	10					79	
C20T25	10						81

ตารางที่ 81 แสดงการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบค่าความแข็งแรงผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสับพื้นที่ทุกกลุ่ม

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model ^a	21683.819 ^a	23	942.775	5308.084	.000
Intercept	1115070.337	1	1115070.337	6278156.420	.000
WAX	11955.549	7	1707.936	9616.153	.000
TEMP	6434.992	2	3217.496	18115.398	.000
WAX * TEMP	3293.277	14	235.234	1324.433	.000
Error	38.364	216	.178		
Total	1136792.520	240			

Corrected Total	21722.183	239		
-----------------	-----------	-----	--	--

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .998)

ตารางที่ 82 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสปันทุกกลุ่ม

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.316	23	216	.000

ตารางที่ 83 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบค่าความแข็งผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสปันทุกกลุ่ม

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	21683.818	23	942.775	5308.084	.000
Within Groups	38.364	216	.178		
Total	21722.182	239			

Robust Tests of Equality of Means

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	5308.084	23	103.084	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 84 (ต่อ) แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงซ้อนตามเสน (Tamhane's T2) ในการทดสอบค่าความแข็งแรงผิวของซีเมนต์ที่ทำการสับฟันทุกกลุ่มที่อุณหภูมิต่างๆ

กลุ่ม	จำนวน	Subset for alpha = 0.05							
		9	10	11	12	13	14	15	16
ALUWAXT25	10	69							
C00T25	10	70							
ALUTT25	10	70	70	70					
C05T30	10	70	70						
C15T37	10		71	71					
C05T25	10				73				
C10T30	10					73			
C20T37	10					74			
ALMINAXT25	10					74			
C10T25	10						76		
C15T30	10						76		
C20T30	10							78	
C15T25	10							79	
C20T25	10								81

ตารางที่ 85 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่างๆ ของซีเมนต์ที่ทำการสับฟันทุกกลุ่ม

Descriptive Statistics

WAX	TIME		N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
1 ALUWAX	1 0.5HRS	CHANGE	10	.05430	.004528	.049	.064
	2 1HRS	CHANGE	10	.05554	.002401	.052	.059
	3 24HRS	CHANGE	10	.09008	.004972	.082	.099

	4 48HRS	CHANGE	10	.09576	.005030	.089	.106
	5 72HRS	CHANGE	10	.09624	.014200	.059	.109
2 ALMINAX	1 0.5HRS	CHANGE	10	.05156	.004284	.044	.057
	2 1HRS	CHANGE	10	.05452	.004114	.047	.059
	3 24HRS	CHANGE	10	.08213	.008004	.069	.094
	4 48HRS	CHANGE	10	.08583	.006475	.074	.096
	5 72HRS	CHANGE	10	.08806	.007460	.077	.099
3 ALUT	1 0.5HRS	CHANGE	10	.06191	.004707	.054	.069
	2 1HRS	CHANGE	10	.06436	.004411	.059	.072
	3 24HRS	CHANGE	10	.10015	.006588	.086	.109
	4 48HRS	CHANGE	10	.15219	.007863	.133	.158
	5 72HRS	CHANGE	10	.15837	.009767	.138	.173
4 C00	1 0.5HRS	CHANGE	10	.05900	.003943	.052	.064
	2 1HRS	CHANGE	10	.06145	.004406	.054	.067
	3 24HRS	CHANGE	10	.09477	.004542	.089	.104
	4 48HRS	CHANGE	10	.12610	.003943	.121	.133
	5 72HRS	CHANGE	10	.13053	.004417	.121	.136
5 C05	1 0.5HRS	CHANGE	10	.04667	.003184	.042	.052
	2 1HRS	CHANGE	10	.04962	.003955	.042	.057
	3 24HRS	CHANGE	10	.06961	.011242	.052	.079
	4 48HRS	CHANGE	10	.07383	.012144	.052	.084
	5 72HRS	CHANGE	10	.07677	.013558	.052	.094
6 C10	1 0.5HRS	CHANGE	10	.03629	.004045	.030	.042
	2 1HRS	CHANGE	10	.03926	.004711	.032	.047
	3 24HRS	CHANGE	10	.05357	.006692	.044	.062

	4 48HRS	CHANGE	10	.06148	.006415	.049	.069
	5 72HRS	CHANGE	10	.06395	.006326	.057	.072
7 C15	1 0.5HRS	CHANGE	10	.03134	.006254	.025	.040
	2 1HRS	CHANGE	10	.03404	.006762	.025	.044
	3 24HRS	CHANGE	10	.05110	.006671	.042	.059
	4 48HRS	CHANGE	10	.05456	.005992	.047	.064
	5 72HRS	CHANGE	10	.05777	.006978	.049	.069
8 C20	1 0.5HRS	CHANGE	10	.03110	.004063	.025	.037
	2 1HRS	CHANGE	10	.03356	.004810	.027	.042
	3 24HRS	CHANGE	10	.04985	.003816	.042	.057
	4 48HRS	CHANGE	10	.05406	.003563	.047	.059
	5 72HRS	CHANGE	10	.05728	.005162	.049	.064

ตารางที่ 86 แสดงการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการการทดสอบเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่างๆ ของซีพียูบนที่การสับสนสูตรหลักและทางการค้า

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:CHANGE

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.201 ^a	19	.011	262.217	.000
Intercept	1.554	1	1.554	38473.966	.000
WAX	.038	3	.013	310.297	.000
TIME	.139	4	.035	862.353	.000
WAX * TIME	.024	12	.002	50.152	.000
Error	.007	180	4.039E-5		

Total	1.762	200		
Corrected Total	.208	199		

a. R Squared = .965 (Adjusted R Squared = .961)

ตารางที่ 87 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่างๆ ของซีผังบันทึกการสับสนสูตรหลักและทางการค้า

Test of Homogeneity of Variances

CHANGE

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.825	19	180	.023

ตารางที่ 88 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่างๆ ของซีผังบันทึกการสับสนสูตรหลักและทางการค้า

ANOVA

CHANGE

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.201	19	.011	262.217	.000
Within Groups	.007	180	.000		
Total	.208	199			

Robust Tests of Equality of Means

CHANGE

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	262.217	19	84.741	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 90 แสดงการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่างๆ ของซีผังบันทึกการสพพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่ 5 สูตร

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:CHANGE

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.157 ^a	24	.007	156.802	.000
Intercept	.897	1	.897	21439.426	.000
TIME	.057	4	.014	341.554	.000
WAX	.085	4	.021	507.088	.000
TIME * WAX	.015	16	.001	23.043	.000
Error	.009	225	4.184E-5		
Total	1.064	250			
Corrected Total	.167	249			

a. R Squared = .944 (Adjusted R Squared = .938)

ตารางที่ 91 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่างๆ ของซีผังบันทึกการสพพื้นที่เตรียมขึ้นใหม่ 5 สูตร

Test of Homogeneity of Variances

CHANGE

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.027	24	225	.000

ตารางที่ 92 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่างๆ ของซี่มุ้งบันทึกการสับฟันที่เตรียมขึ้นใหม่ 5 สูตร

ANOVA

CHANGE

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.157	24	.007	156.802	.000
Within Groups	.009	225	.000		
Total	.167	249			

Robust Tests of Equality of Means

CHANGE

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	156.802	24	108.540	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 94 แสดงการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่างๆ ของซี่มุ้งบันทึกการสพพื้นทุกกลุ่ม

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model ^a	.374 ^a	39	.010	217.427	.000
Intercept	1.944	1	1.944	44103.308	.000
WAX	.184	7	.026	596.527	.000
TIME	.142	4	.035	805.164	.000
WAX * TIME	.048	28	.002	38.690	.000
Error	.016	360	4.408E-5		
Total	2.334	400			
Corrected Total	.390	399			

a. R Squared = .959 (Adjusted R Squared = .955)

ตารางที่ 95 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่างๆ ของซี่มุ้งบันทึกการสพพื้นทุกกลุ่ม

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.253	39	360	.000

ตารางที่ 96 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่างๆ ของซี่ฟันที่ทำการสบฟันทุกกลุ่ม

ANOVA

CHANGE

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.374	39	.010	217.427	.000
Within Groups	.016	360	.000		
Total	.390	399			

Robust Tests of Equality of Means

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	217.427	39	176.678	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 97 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงซ้อนตามเฮน (Tamhane's T2) ในการทดสอบเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่างๆ ของซี่ฟันที่ทำการสบฟันทุกกลุ่ม

กลุ่ม	จำนวน	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
C20 T0.5	10	0.0311					
C15 T0.5	10	0.0313					
C20 T1	10	0.0336					
C15 T1	10	0.0340					
C10 T0.5	10	0.0363					
C10 T1	10	0.0393	0.0393				
C05 T0.5	10		0.0467	0.0467			

C05 T1	10			0.0496	0.0496		
C20 T24	10			0.0499	0.0499		
C15 T24	10		0.0511	0.0511	0.0511	0.0511	0.0511
ALMINAX T0.5	10			0.0516	0.0516		0.0516
C10 T24	10			0.0536	0.0536	0.0536	0.0536
C20 T48	10			0.0541	0.0541		0.0541
ALUWAXT0.5	10			0.0543	0.0543	0.0543	0.0543
ALMINAX T1	10			0.0545	0.0545	0.0545	0.0545
C15 T48	10			0.0546	0.0546	0.0546	0.0546
ALUWAXT1	10				0.0555	0.0555	0.0555
C20 T72	10				0.0573	0.0573	0.0573
C15 T72	10			0.0578	0.0578	0.0578	0.0578
C00 T0.5	10					0.0590	0.0590
C00 T1	10					0.0615	0.0615
C10 T48	10				0.0615	0.0615	0.0615
ALUTT0.5	10					0.0619	0.0619
C10 T72	10					0.0640	0.0640
ALUTT1	10					0.0644	
C05 T24	10			0.0696	0.0696	0.0696	0.0696
C05 T48	10				0.0738	0.0738	0.0738
C05 T72	10				0.0768	0.0768	0.0768
ALMINAX T24	10						
ALMINAX T48	10						
ALMINAX T72	10						

ตารางที่ 97(ต่อ) แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงซ้อนตามเฮน (Tamhane's T2) ในการทดสอบเปลี่ยนแปลงมิติเชิงเส้นที่เวลาต่างๆ ของซีเมนต์ที่การสพพื้นทุกกลุ่ม

กลุ่ม	จำนวน	Subset for alpha = 0.05				
		8	9	10	11	12
C05 T24	10	0.0696				
C05 T48	10	0.0738	0.0738			
C05 T72	10	0.0768	0.0768	0.0768		
ALMINAX T24	10	0.0821	0.0821			
ALMINAX T48	10	0.0858	0.0858	0.0858		
ALMINAX T72	10	0.0881	0.0881	0.0881		
ALUWAXT24	10	0.0901	0.0901	0.0901		
C00 T24	10		0.0948	0.0948		
ALUWAXT48	10		0.0958	0.0958		
ALUWAXT72	10	0.0962	0.0962	0.0962		
ALUTT24	10			0.1002		
C00 T48	10				0.1261	
C00 T72	10				0.1305	
ALUTT48	10					0.1522
ALUTT72	10					0.1584

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววิไลندا ไทยเจริญพร เกิดเมื่อวันที่ 9 สิงหาคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาทันตแพทยศาสตรบัณฑิตจากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เมื่อปี พ.ศ. 2549 เข้ารับราชการตำแหน่งทันตแพทย์ 4 ที่โรงพยาบาลนาดี จังหวัดปราจีนบุรี เป็นเวลา 1 ปี และสถาบันประสาทวิทยา สังกัดกรมการแพทย์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร เป็นเวลา 2 ปี และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมประดิษฐ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2552